Helena van Vorst (Hg.)

Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDCP)

Entdecken, lehren und forschen im Schülerlabor

Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik

Jahrestagung in Bochum 2024

Inhaltsverzeichnis

Vorwort und Einführung

HELENA VAN VORST 1

Vorwort

ANDREAS BOROWSKI 2

Einführung

Laudation und Plenarvortrag

SABINE FECHNER 4

Laudatio zur Verleihung der GDCP-Ehrenmedialle an Prof. Dr. David Treagust

JULIA LORKE 8

Lernen beim Forschen – was genau machen Kinder und Jugendliche in Citizen Science?

Workshops

JÜRGEN MENTHE, LISA ROTT, SIMONE ABELS, ANDREAS NEHRING, ELISABETH HOFER 17

Ein inklusiver Blick auf das Fach - Barrieren in Lerngegenständen verorten

ALEXANDRA TEPLÁ, ANNA RÜCHEL, BENJAMIN PÖLLOTH, ELISABETH DIETEL, KATJA WEIRAUCH, KATRIN SCHÜßLER, KENDRA ZILZ, REBECCA MÖLLER, ET AL. 22

Welche Awareness braucht die GDCP?

STEFAN SORGE, STEFANIE LENZER, JULIA ARNOLD, NADJA BELOVA, TILL BRUCKERMANN, THOMAS SCHUBATZKY, CHRISTOPH VOGELSANG, PETER WULFF 29

Quo vadis Postdocs – Was braucht die zweite Qualifizierungsphase?

FREDERIC RICHTER-BONIN, ANTONIA KIRCHHOFF, SOPHIA PEUKERT, PATRICK MAISENHÖLDER, MARVIN ROST 35

MINT trifft Philosophie - Reflexionen über die Zusammenarbeit

Vortragsblock A

JENS DAMKÖHLER, WOLFGANG LUTZ, THOMAS TREFZGER 41

ChatGPT als Reflexionscoach: Einblicke in das Würzburger Lehr-Lern-Labor

WOLFGANG LUTZ, JENS DAMKÖHLER, THOMAS TREFZGER 45

Künstliche Intelligenz: Akzeptanz und AI-Literacy unter Lehramtsstudierenden

MICHELE BROTT 49

Neue Perspektiven und Befunde zum Einsatz von KI zur Planung von Chemieunterricht (CUKI)

JOHANNES HUWER, LARS-JOCHEN THOMS, NIKOLAI MAURER, MATHEA BRÜCKNER, SANDRA BERBER, SABRINA SYSKOWSKI, LENA VON KOTZEBUE, TILL BRUCKERMANN, ET AL. 53

Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz – DiKoLAN KI

PATRICIA KÜHNE, SASCHA SCHANZE 57

Umgang mit KI in der Lehrkräftebildung

JANNIK HENZE, ANDRÉ BRESGES, SEBASTIAN BECKER-GENSCHOW 61

Förderung KI-bezogener Kompetenzen im Lehramt: Ergebnisse aus der Praxis

JULIA LADEMANN, SEBASTIAN BECKER-GENSCHOW 65

KI-Chatbots als individuelle Unterstützung des Transfers von Mathematik in die Physik

LARS-JOCHEN THOMS, FLORIAN FURRER, MEREDITH RHINER, MARTIN BULLOCK, TOBIAS ROTHLIN, LEONIE DÄULLARY, MITRA PURANDARE, FRIEDER LOCH, JOHANNES HUWER 69

OrChemSTAR – mit AR und KI Strukturformeln zeichnen lernen

MARVIN ROST, ANJA LEMBENS 73

Wirkung eines KI-basierten Sprachassistenzsystems auf kognitive Belastung von Schüler*innen beim chemischen Experimentieren

MARTIN SIGOT, SEBASTIAN TASSOTI 77

Prompting-Strategien und Prompt-Engineering: Wie lösen Studierende Aufgabenstellungen aus Chemie mit generativer KI?

IRIS KNAPP 81

Eine kritische Analyse von Leseaufgaben mit dem Operator Erklären in Physikschulbüchern der 6. Schulstufe

STEFAN OLTMANNS, CHRISTOPH KULGEMEYER 85

Bewertung von Performanztests mithilfe großer Sprachmodelle

Vortrasgblock B

SARAH WILDBICHLER, CLAUDIA HAAGEN-SCHÜTZENHÖFER, MARKUS OBCZOVSKY, THOMAS SCHUBATZKY 89

Mit visuellen Repräsentationen über den Treibhauseffekt lernen

MATTHIAS FASCHING, THOMAS SCHUBATZKY, MARTIN HOPF 93

Wollen Lehrer:innen im Physikunterricht Klimaschutzmaßnahmen bewerten?

PHILIPP SCHEIGER, STEFAN BEHRENDT 97

Feedback zum Studieneingang Physik - Entwicklung und erste Ergebnisse eines Tests

FLORIAN TRAUTEN, CAROLIN EITEMÜLLER, MAIK WALPUSKI 101

Digitale Lerneinheiten mit automatisiertem Feedback für individualisierte Selbstlernphasen

YANNICK L. LEGSCHA, MARKUS PRECHTL 105

Kritische Rohstoffe didaktisch rekonstruiert

FELIX PAWLAK, DOMINIK DIEKEMPER, STEFAN SCHWARZER 109

Bewerten des werkstofflichen Verwertens von Kunststoffen

SEZEN HOLLWECK, THOMAS MÜNZ, JÜRGEN PAUL 113

Rohstoffkreisläufe mit einem digitalen BNE-Lernspiel erfahrbar machen

ANGELIKA BERNSTEINER, CLAUDIA HAAGEN-SCHÜTZENHÖFER, THOMAS SCHUBATZKY 117

Schüler:innen gegen Desinformationen in sozialen Medien stärken

ANNABEL PAULY, LEONIE BAUMGARTEN 121

Recycling von Solarmodulen im Lehr-Lern-Kontext Chemie

ALEXANDER ENGL, TOBIAS BIER, BJÖRN RISCH 125

CEASEless: Förderung von Circular Literacy und umweltgerechtem Verhalten bei Schüler*innen durch den Kontext von Mikroalgen

BÜSRA ORUC, DIETMAR HÖTTECKE 129

Expert:innen zeichnen: Wie wird Klimawandel-Wissen kommuniziert?

ANNA HAAB, JAN-PHILLIP BURDE, STEFAN SCHWARZER 133

MINT-Studienbotschafter: Authentische Einblicke in Studium und Forschung

JANNE GROß, ELISABETH HOFER, SIMONE ABELS 137

Mädchen in MINT - Ein Einblick in Denkmuster außerschulischer Lehrender

ELISABETH DIETEL, TIMM WILKE 141

Authentische Kontexte zur Interessenförderung für Schule und Schüler*innenlabor

LISA WEDEKIND, PASCAL POLLMEIER, SABINE FECHNER 145

Analogiebildung in kontextorientierten Lernumgebungen

Vortrasgblock C

DANE-VINCENT SCHLÜNZ, STEPHAN DUTKE, DANIEL LAUMANN 149

Räumliche Kontiguität beim Einsatz von Augmented Reality im Experiment

FLORIAN FRANK, CHRISTOPH STOLZENBERGER, THOMAS TREFZGER 153

Zur Lernwirksamkeit einer AR-App und einer Simulation für die E-Lehre

THERESA KOHNE, ANNETTE MAROHN 157

Problemorientierten inklusiven Chemieunterricht gestalten – Entwicklung eines Planungskonzepts

LAURA NAUMANN, SILVIJA MARKIC 161

Wahrnehmung von Diversität und Inklusion
bei angehenden Chemielehrkräften

LILITH RÜSCHENPÖHLER, ANGELIKA BERNSTEINER, ELISABETH HOFER 165

Youth Participatory Science: Gesellschaftliche Partizipation durch MINT?

TOM JUNGBLUTH, SILKE MIKELSKIS-SEIFERT, JOSEF KÜNSTING 169

Konzept der Dichte verstehen mit (meta-)kognitiv aktivierenden Prompts

ANNA LISKES, HELENA VAN VORST 173

Einflüsse von Binnendifferenzierung in einer digitalen Lernumgebung

CHRISTOPH BLEY, VOLKER WOEST 177

Tablet oder Textbook? Evaluation einer multimedialen Lernumgebung zur Aldolreaktion

DAVID KELLER, JOLANDA HERMANNS 181

Lerntagebuchstudie zur Evaluation einer digitalen Lernumgebung der Chemie

STEFAN KRAUS, THOMAS TREFZGER 185

PUMA : Optiklabor – Erprobung einer WebAR-Simulation für die Sekundarstufe I

DENNIS DIETZ, SOPHIE RATHMANN, CLAUS BOLTE 189

Digitale Kompetenzen Studierender zur Online-Informationsrecherche

RIKE GROßE-HEILMANN, JAN-PHILIPP BURDE, JOSEF RIESE, THOMAS SCHUBATZKY, DAVID WEILER 193

Warum erwerben Studierende (kein) fachdidaktisches Wissen zu digitalen Medien im Physikunterricht?

DAVID WEILER, JAN-PHILIPP BURDE, KASIM COSTAN, RIKE GROßE-HEILMANN, CHRISTOPH KULGEMEYER, ARMIN LÄSSER, JOSEF RIESE, THOMAS SCHUBATZKY 197

Bedürfnisse von Lehrkräften zu digitalen Medien adressieren!

Vortrasgblock D

JANNIS MEMMEN, SILVIJA MARKIC 201

Förderung transversaler Kompetenzen im Lernlabor

JONAS TISCHER, MICHAEL KOMOREK 205

Überzeugungen von komplementärer Einbettung außerschulischer Angebote

CONSTANTIN EGERER, AMITABH BANERJI 209

Theoriegeleitete Gestaltungskriterien zur Erstellung von Animationen für den Chemieunterricht

ANTONIA KIRCHHOFF, STEFANIE SCHWEDLER 213

Lehramtsstudierende der Chemie und ihr Modellverständnis von Simulationen – eine epistemologische Perspektive

BIANKA WARTIG, LISA STINKEN-RÖSNER 217

Fachbezogene Motivation und sozioökonomischer Status von Viertklässler*innen: Einblicke in die Skalenentwicklung

MARTINA GRAICHEN, LINDA HINDERER, SILKE MIKELSKIS-SEIFERT 221
Selbstkonzept stärken: Digitales Lernen in Experimentieranleitungen

JULIA WELBERG, JAN-SAMUEL STREITBERGER, DANIEL LAUMANN, SUSANNE HEINICKE 225
Wie empathisierend ist Physikunterricht? - Empirische Befunde

SARAH RAU-PATSCHKE, MARISA ALENA HOLZAPFEL, SOPHIE BUßKAMP 229
Kreativität durch bewegtes Lernen im naturwissenschaftlichen Sachunterricht

ELIAS HEINRICH, NICOLE GRAULICH 233
Epistemische Botschaften in Vorlesungen der Organischen Chemie

SEBASTIAN STUPPAN, MARKUS WILHELM, MARKUS REHM 237
Staunen als Motor der epistemischen Neugier: Eine empirische Studie

LEO LUTZ 241
Von BNE zu BENE:C – Das Planspiel – Von der Kompetenz zur Handlung

KENDRA ZILZ, DIETMAR HÖTTECKE 245
Wie beurteilen Schüler*innen Online-Informationen zum Klimawandel?

Vortrasgblock E

LARISSA HAHN, PASCAL KLEIN 249
Implementation multi-repräsentationaler Lernaufgaben in die Studieneingangsphase

KEVIN KÄRCHER, HANS-DIETER KÖRNER 253
Bearbeitung elementarer Mathematikaufgaben mit Einheiten in der Chemie

BRIAN HESSE, KATHARINA GROß 257
Untersuchung von Vernetzung im Chemieunterricht

KRENARE IBRAJ, MARKUS PRECHTL 261
Wie Studierende komplexe Systeme rezipieren – eine qualitative Analyse

JOSEFINE NEUHAUS, JULIA HOFMANN, LARISSA HAHN, ANDREAS MÜLLER, PASCAL KLEIN 265
Multiple Repräsentationen bei Aufgaben zum Formelverständnis: Eine Eye-Tracking-Studie

PAULA FEHLINGER, SEBASTIAN BECKER-GENSCHOW, BIANCA WATZKA 269
Analyse von Strategien zur Identifikation isothermer Zustandsänderungen

BEATE FICHTNER, KATHARINA GROß 273
Wie werden Diagramme im Chemieschulbuch eingesetzt? Eine qualitative Analyse

STEFANIE PETER, OLAF KREY 277
Rekonstruktion visueller Strategien im Umgang mit Schaltplänen

PAUL MARTIN, MARCUS KUBSCH, BRANDON J. YIK, BENJAMIN T. BURLINGHAM, NICOLE GRAULICH 281
Modellierung von Lerntrajektorien beim KI-gestützten adaptiven Lernen in der Organischen Chemie

KATRIN SCHÜßLER, MICHAEL GIESE, MAIK WALPUSKI 285
JACK: Ein e-learning und e-assessment Tool für die organischen Chemie

PASCAL MEYER, ANNETTE MAROHN 289
Mathematische Begriffe im Chemieunterricht verständlich vermitteln

BENJAMIN PÖLLOTH, DOMINIK DIEKEMPER, CHIARA BOSCH, STEFAN SCHWARZER 293
Die Oktettregel: Eine produktive Ressource in Erklärungen von Schülern?

Vortrasgblock F

MADELEINE HÖRNLEIN, JOSEF RIESE, CHRISTOPH KULGEMEYER 297
„Ich glaub, ich hab‘s verstanden“ – Verstehensillusion bei Erklärvideos

LOTTE HAHN, THORID RABE 301
Interviewstudie: Einstellung von Lehrkräften zu Physik-Erklärvideos

CLAUS BOLTE, ROBERT GIESKE 305
Bedenkliche professionsbezogene Bedenken zur Rolle der Bildungssprache

HAGEN SCHWANKE, MARKUS ELSHOLZ, THOMAS TREFZGER 309
Augmentierte Experimente in der E-Lehre: Ein Praxistest in einem Lehr-Lern-Labor

REGINA SCHAUER, REBECCA MÖLLER, MARKUS SEBASTIAN FESER, JULE BÖHMER, HANNE BRANDT, INGRID GOGOLIN, DIETMAR HÖTTECKE 313
Wirkung von sprachexplizitem Physikunterricht auf fachliches Konzeptlernen

REBECCA MÖLLER, DIETMAR HÖTTECKE 317
Nutzung der Mehrsprachigkeit im sprachexpliziten Physikunterricht
ROBERT GIESKE, CLAUS BOLTE 321
Zusammenhänge zwischen fachsprachlichen und kommunikativen Kompetenzen
VIKTORIA KONIECZNY, HEIKO KRABBE 325
Untersuchung konzeptbildender Unterrichtsdiskurse
LUTZ KASPER 329
Sonne, Erde, Mond: Haben wir das Hinschauen verlernt?
HENDRIK HÄRTIG, CHRISTOPHER JÖRGENS, KEVIN PACK 333
Das Astronomieverständnis von Lernenden in NRW
EVA BÜHLER, HENDRIK LOHSE-BOSSENZ, MARKUS WILHELM, MARKUS REHM 337
Professionelle Wahrnehmung in der frühen naturwissenschaftlichen Bildung
LAURA SIEBERS, SARAH RAU-PATSCHKE, STEFAN RUMANN 341
Lehr-Lern-Labor-Seminar zur Förderung der adaptiven Lehrkompetenz

Vortrasgblock G

JAKUB KNEBLOCH, THOMAS WILHELM 345
Ursachen mangelnder Implementation physikdidaktischer Innovationen
THOMAS PRESTEL, TIM KALTOFEN 349
Hindernisse bei der Implementierung evidenzbasierter Lehrkonzepte unter Physik-Lehrenden an deutschen Hochschulen
SVENJA BOEGEL, MATHIAS ROPOHL 353
Feedback beim Experimentplanen: Zusammenhänge verschiedener Schüler:innenmerkmale
DENNYS GAHRMANN, IRENE NEUMANN, ANDREAS BOROWSKI 357
Prädiktion des Klausurerfolgs durch die Big Five im ersten Fachsemester Physik
SIMON ZACHARIAS LAHME, JOSEFINE NEUHAUS, SEBASTIAN LÖTZSCH-SANDOVAL, PASCAL KLEIN 361
Belastungserleben in der Studieneingangsphase: Eine Interviewstudie

PATRICK SCHUCK, DIETMAR HÖTTECKE 365

Kognitive Strukturen erheben in Studien mit großen Stichproben: Entwicklung eines Algorithmus

JANNIS ZELLER, JOSEF RIESE 369

Assessment des physikdidaktischen Wissens mithilfe von Machine Learning

VALERIE AMACKER, MARKUS WILHELM, DOROTHEE BROVELLI 373

Cognitive Load und Lernerfolg bei verschiedenen Versuchsanleitungen

FABIAN BERNSTEIN, THOMAS WILHELM 377

Usability Tests zur Evaluation physikdidaktischer Entwicklungen

MARKUS OBCZOVSKY, CLAUDIA HAAGEN-SCHÜTZENHÖFER, THOMAS SCHUBATZKY 381

Forschungsprozesse in Design-based Research systematisieren

LAURA PANNULLO, FELIX PAWLAK 385

Interviewleitfäden durch Flow-Charts grafisch strukturieren

Vortrasgblock H

LUKAS MIENTUS, ANNA NOWAK, PETER WULFF, ANDREAS BOROWSKI 389

Unterrichtspraxis reflektieren – automatisiert Rückmeldung geben

MELANIE JORDANS, JOSEF RIESE 393

Welches Wissen nutzen Studierende bei der Planung von Physikunterricht mit digitalen Medien?

ANNA WEIßBACH, CHRISOTPH KULGEMEYER 397

Wie hängen Unterrichtsreflexion und Noticing zusammen?

MARISA ALENA HOLZAPFEL, NADINE DITTERT, CORNELIA SUSANNE GROßE 401

Ein kreatives Lernsetting im Schülerlabor SULab

GIULIA PANTIRI, THOMAS WILHELM, LEA MAREIKE BURKHARDT, VOLKER WENZEL, ARNIM LÜHKEN, DIETER KATZENBACH 405

Interesse und Selbstwirksamkeitserwartung im inklusiven Schülerlabor

SEBASTIAN NICKEL, STEFFEN BROCKMÜLLER, SEBASTIAN HABIG 409

Untersuchung von Repräsentationskompetenzen & Fachwissen in der Chemie

KERSTIN GRESENS, HENDRIK HÄRTIG 413
Hürden bei der Nutzung von Repräsentationen beheben
IRINA BRAUN, SCOTTE. LEWIS, NICOLE GRAULICH 417
Muster erkennen: Analyse der Mesomerie-Wahrnehmung von Studierenden in der Organischen Chemie
LISA-MARIE CHRIST, OLAF KREY, FREDERIK BUB, THORID RABE 421
Identität und Anfangsunterricht Physik – ein qualitativer Zugang
FREDERIK BUB, THORID RABE, LISA-MARIE CHRIST, OLAF KREY 425
Entwicklung von MINT-Identität im Anfangsunterricht Physik
INKA HAAK, MARKUS SEBASTIAN FESER, THORID RABE 429
Was verstehen Physikanfänger*innen unter „Physik-Community“?
NASTJA RIEMER, LEON RICHTER 433
Professionsorientierung in der Physikalischen Chemie für Lehramt
MARVIN KALDEWEY, STEFANIE SCHWEDLER 437
Selbstreguliertes Lernen in der Physikochemie aus Studierendensicht
LUC B. ALBRECHT, CHRISTIANE S. REINERS 441
Kritisches Denken in den Naturwissenschaften: Analyse und Konsequenzen
JOANA KONRAD, ANNETTE MAROHN 445
Kognitive Verzerrungen erkennen und minimieren lernen
DANIEL RÖMER, JAN WINKELMANN 449
Pilotierung einer digitalen Erklärungsumgebung in der Optik

Vortrasgblock I

BENJAMIN HEINITZ, MANFRED HOLODYNSKI, ANDREAS NEHRING 453
Systematische Förderung professioneller Wahrnehmung im Referendariat - Die kriteriengeleitete Implementation von kognitiver Aktivierung
MATTHIAS FISCHER, MANUELA WELZEL BREUER 457
Kompetenzen von naturwissenschaftlichen Lehrkräften in Straßenschulen
LEA GROTEGUT, CHRISTOPH VOGELSANG 461
Objective Structured Teaching Examinations (OSTE) im Lehramtsstudium

NIKLAS PREWITZ, KATHARINA GROß 465

Professionsrelevantes Fachwissen – Von der Theorie in die Praxis

CHRISTOPH MAUT, KAREL KOK, BURKHARD PRIEMER 469

Fachdidaktisches Wissens über Messunsicherheiten

LUZIE SEMMLER, NADJA BELOVA, VALENTIN ENGSTLER, MELISSA GRUBER, CHRISTIAN STRIPPEL, KATHARINA GROß 473

Escape Rooms in Chemie: Einsatz- und Forschungsszenarien in der Lehre

LUZIE SEMMLER, MARIE HANSEL 477

Entwicklung und Effekte von (digitalen) Escape Games in der Hochschullehre

VALENTIN ENGSTLER, ANNETTE MAROHN 481

Kann mit Game-Based Learning Erkenntnisgewinnung gelernt werden?

NADJA BELOVA, KÄTHI NEUFELD, CHANTAL LATHWESEN 485

Educational Escape Rooms in heterogenen Lerngruppen

Postersymposien

MARIE SCHÜßLER, LEA SCHNEIDER, CLAUDIA TENBERGE 489

Digital-gestütztes Unterrichten im Übergang von der Grundschule zur Sekundarstufe – Entwicklung und Adaption von Fortbildungsmodulen im INT -Unterricht

MARTINA GRAICHEN, LAURA SEBABI, SILKE MIKELSKIS-SEIFERT 493

Hybrides Experimentieren mit MuxBooks - Bedarfe von Lehrkräften

ANDRÉ KOLBE, CAROLIN EITEMÜLLER, KATRIN SCHÜßLER, MAIK WALPUSKI 497

Gestaltung von OER zur guten wissenschaftl. Praxis an der Universität

JASMIN KNEUPER, SEBASTIAN HENKE, INSA MELLE 501

Redox- & Elektrochemie in der Studieneingangsphase

KATHARINA FORSTER, ANTONIA LINSMEIER, JENNA KOENEN 505

Entwicklungsschwierigkeiten digitaler Medien- und Reflexionskompetenz im Rahmen des Konzeptes DEAN – Digitaler Experimentier-Assistent

STEFANIE LENZER, MARKUS SEBASTIAN FESER 509

Lehrkräfteprofessionalisierung im Projektverbund DigiProMIN

CLAUDIA HAGEN-SCHÜTZENHÖFER, MARKUS SEBASTIAN FESER, STEFANIE LENZER 513

Lehrkräfteprofessionalisierung im Projektverbund DigiProMIN – SWOT-Analyse eines Critical Friends

KNUT NEUMANN, MARKUS FESER, ANDREAS VORHOLZER 517

Digital gestützte Individualisierung bei forschend-entdeckendem Lernen

PERVIN AYGÜL, GREGOR BENZ, ANDREAS VORHOLZER 521

Digitale Unterstützung zur Förderung fachmethodischer Kompetenzen im Physikunterricht: Ein systematisierter Ansatz für Lehrkräfte

LUKAS MIENTUS, TANJA MUTSCHLER, ANDREAS BOROWSKI 525

Klimaprozesse modellieren – Digitalkompetenz fördern

LEA RUNGE, MARKUS SEBASTIAN FESER, KNUT NEUMANNN 529

Digitale Messwerterfassung im Physikunterricht planen und durchführen

KAREL KOK, CHRISTOPH MAUT, BURKHARD PRIEMER 533

Eine Lehrkräftefortbildung zum Thema Messunsicherheiten

ANN-KATHRIN BRAUER, MARKUS SEBASTIAN FESER, KNUT NEUMANN 537

Mit KI-Chatbots Erklären und Argumentieren im Physikunterricht fördern

ILKA PARCHMANN, AMITABH BANERJI, SASCHA BERNHOLT, JENNA KOENEN, DOMINIK DIERMANN, CONSTANTIN EGERER, CAROLIN FLERLAGE, STEFANIE LENZER 541

Lehrkräfte für einen reflektierten Einsatz digitaler Medien weiterbilden

DOMINIK DIERMANN, AMITABH BANERJI, JENNA KOENEN, CONSTANTIN EGERER 545

Experimentieren mit digitalen Medien bereichern

CONSTANTIN EGERER, CAROLIN FLERLAGE, STEFANIE LENZER, AMITABH BANERJI, SASCHA BERNHOLT 549

Chemielehrkräftefortbildung zur Erstellung von PowerPoint-Animationen

STEFANIE LENZER, CAROLIN FLERLAGE, DOMINIK DIERMANN, JENNA KOENEN, SASCHA BERNHOLT, ILKA PARCHMANN 553

Chemie im Kontext 2.0 - authentisch, motivierend und kollaborativ

CAROLIN FLERLAGE, STEFANIE LENZER, JANNIK LOSSJEW, DOMINIK DIERMANN, JENNA KOENEN, ILKA PARCHMANN, SASCHA BERNHOLT 557

Individuelle Lernverläufe im Chemieunterricht aufzeigen

SASCHA BERNHOLT, DOMINIK DIERMANN, CONSTANTIN EGERER, CAROLIN FLERLAGE, STEFANIE LENZER, AMITABH BANERJI, ILKA PARCHMANN, JENNA KOENEN 561

Von der Fortbildung zur unterrichtlichen Nutzung: Evaluation der Lehrkräftefortbildungen im Teilprojekt Chemie von DigiProMIN

MELANIE RIPSAM, LEA BRÜCKNER, CLAUDIA NERDEL, LEA BRÜCKNER, ILKA PARCHMANN, JESSICA MAIER, MIRJAM STEFFENSKY 565

Fortbildungen zum fächer- und lernorteübergreifenden Unterrichten mit digitalen Medien

Postersessions

AMINA ZEROUALI, BERNHARD WERNER, JIWOO HWANG, JENNA KOENEN 569

How to be a Chempion – Variablenkontrolle spielerisch meistern!

DIANA ZELLER, THORBEN FROHNE, CLAUDIA BOHRMANN-LINDE, NILS MACK, CLAUDIA SCHRADER 573

VR-Lernsetting zu Verbrennungen: Erkundung der Teilchenebene in 3D

SIMEON WALLRATH, BJÖRN RISCH 577

Entwicklung eines Open Source VR-Spiels im Projekt ViR:TuoS

LEONARD MEIERTOBEREND, JÜRGEN MENTHE 581

Augmented Reality-gestützte Lernhilfen für den Chemieunterricht

LUISA LAUER, MARKUS PESCHEL 585

Entscheidungen in Bezug auf den Einsatz von AR(-Technologien) von angehenden Lehrkräften

TILMANN STEINMETZ, PETER GERJETS, ANDREAS LACHNER, WALTHER PARAVICINI, JAN-PHILIPP BURDE 589

Lernen mit KI in der E-Lehre: Ein KI-Tutor für das EPo-Konzept in der Sekundarstufe I

JULIA HOFMANN, LARISSA HAHN, PASCAL KLEIN, SEBASTIAN BECKER-GENSCHOW 593

LEIFIadaptiv: KI-basiertes adaptives Lernen in der Mechanik

BENJAMIN MÜNCH, OLIVER TEPNER 597

Sprachmodellgestützte Klassifikation schriftlicher Unterrichtsreflexionen

HENDRIK PRAUSE, DENNIS DIETZ 601

LLM-gestützte Untersuchungen zum vernetzten Lernen des Energiekonzepts

MARIJA HERDT, HEIDRUN HEINKE 605
Vielfältige Smartphone-Experimente als Ansatz zur Interessenförderung
PASCAL LIEDTKE, NASTJA RIEMER, SASCHA EIDNER 609
Digitales Lernen im Praktikum Physikalische Chemie
NILS BERGANDER, INSA MELLE 613
Lerntransparenz in einer digitalen Lernumgebung
JONAS PONATH, PASCAL POLLMEIER, SABINE FECHNER 617
Erhebung und Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen von Chemielehrkräften
SASCHA SCHANZE, MALTE SCHWEIZER 621
UsingOER - Ein Projekt zur Entwicklung einer offenen Bildungspraxis
MOSAB ABUMEZIED, DOMINIK DORSEL, SEBASTIAN STAACKS, HEIDRUN HEINKE 625
Smartphone-gestützte Experimente zur Untersuchung des Federpendels
JOHANNES SCHLAF, DOMINIK DORSEL, SEBASTIAN STAACKS, CHRISTOPH STAMPFER, HEIDRUN HEINKE 629
Smartphone-gestützte Experimente zur Quantenphysik
MATHIAS ZIEGLER, LISA STINKEN-RÖSNER 633
Einsatz von Experimentiervideos aus der Sicht von Lehrkräften
TOBIAS WINKENS, HEIDRUN HEINKE 637
Vermittlung der Variablenkontrollstrategie: Wege für die Schulpraxis
SEBASTIAN WYROBEK, ENGIN KARDAS, MARCUS KUBSCH, STEFAN SORGE, TOBIAS LUDWIG 641
Review zu verschiedenen Arten von Unsicherheiten beim Experimentieren
JULIA GAFFRON, MARTIN GRÖGER 645
Experimentieren im Sachunterricht zwischen Wunsch und Wirklichkeit - Eine Längsschnittfallstudie zur Durchführung von Experimenten im Vorbereitungsdienst
NIKLAS WEIß, YVONNE KRETZER, LARISSA HAHN, PASCAL KLEIN, STEFAN KLUMPP 649
Modellierung von Blickbewegungen bei der Beurteilung der Divergenz von Vektorfeldern
HANNE RAUTENSTRAUCH, CHRISTIAN PIPKE 653
Gasdrucksensor beim Eiswasserkocher: eine Interventionsstudie

FABIAN BAIERL, THORID RABE 657

Experimentieren zum Treibhauseffekt - Entwicklung und Evaluation einer Lernumgebung für den Physikunterricht

RAMONA SCHAUER-BOLLIG, MARIA HINKELMANN, HEIDRUN HEINKE 661

Mit „Project Find & Link“ physikalische Fachbegriffe spielend lernen

ELENA KLARIC, GABRIELE BLELL, ANDREAS NEHRING 665

„Wie sagt man das am besten?!“ – Fachfremdsprachliches Sprechen beim Experimentieren im CLIL-Chemieunterricht

VALERIE VOGEL, HEIKO KRABBE 669

Evaluation einer Schreibförderung zum experimentellen Prüfen

PETER MICHAEL WESTHOFF, SUSANNE HEINICKE 673

aufGEZEICHNET - die Lernförderlichkeit des Zeichnens bei der Texterschließung

MEIKE WICHMANN, JOLANDA HERMANNS 677

Formen und Farben als Unterstützung beim Erstellen von Reaktionsmechanismen

SABINE STRELLER, PASCAL AZIBERT, ROBERT GIESKE 681

Kopfsache? Vorstellungen von Schüler*innen in Texten zum Lösevorgang

JAKOB PRIEBE, LARISSA HAHN, PASCAL KLEIN 685

Eye-Tracking zur Analyse der Lern- und Problemlöseprozesse komplexer Zahlen

BENEDIKT WEISS, VERENA SPATZ, MARKUS GRÄFE 689

Experiment für Schüler:innen zur Quantenbildgebung mit nicht-detektiertem Licht

HENDRIK FLEISCHER, CONRAD BORCHERS, SASCHA SCHANZE, VINCENT ALEVEN 693

Fehlerklassifizierung beim tutor-gestützten Lösen von Stöchiometrieaufgaben

KERSTIN LINDMAIER, LANA IVANJEK, MARTIN HOPF 697

Entwicklung eines Multiple-Choice-Tests zur Newtonschen Mechanik für die Sekundarstufe I

JULIA HOFMANN, JOSEFINE NEUHAUS, ANDREAS MÜLLER, PASCAL KLEIN 701

Förderung des Formelverständnisses durch physikspezifische Betrachtungsweisen

KATHARINA LEIBFARTH, ULRICH TRAUTWEIN, PETER GERJETS, JAN-PHILIPP BURDE 705

Die Verständlichkeit von Modellen des einfachen Stromkreises

MANUEL SCHLEICHER, OLAF KREY, MARIETTA MENNER, JULIA TURNER-IRMLER 709

Die Vielseitigkeit von Magnetismus im Schüler*innen Labor entdecken

KAI BLIESMER, LUCAS HOFER, RIEKA HAUSMANN, DIYAR SADIQ 713

Lernlabor zur Photolumineszent-Spektrometrie didaktisch rekonstruiert

AYLEEN SPRYSCH, SIMONE KRÖGER 717

enlightening LABels – Fluoreszenzmikroskopie im Schülerlabor

ANDREA-KATHARINA SCHMIDT, UTE BRINKMANN, MARKUS PRECHTL 721

Bildung für nachhaltige Entwicklung im Merck-TU Darmstadt-Juniorlabor

MELANIE BASTEN, MATTHIAS WILDE, NADINE GROßMANN 725

Konzeption eines Schülerlabors zu Socio-scientific issues (SSIs)

LEON RICHTER, STEFAN MÜLLER, NASTJA RIEMER, CLAUDIA GÓMEZTUTOR, JOHANN-NIKOLAUS SEIBERT 729

Erhebung zu mathematischen Fähigkeiten und Workload im Projekt KiWiSS

MICHAEL KUNZ, STEFAN MÜLLER 733

Verständnis über Naturwissenschaften (NOS) im Schülerlabor Chemie

EILEEN RECKMANN, TOBIAS BLOMBERG, KATRIN TEMMEN 737

Neue Wege für das Schülerlabor - Rahmenbedingungen eines mobilen Schülerlabors

MICHAEL KOMOREK, KAI BLIESMER, ALISSA BAUDISCH, BENNET HOLLWEDEL, LYNN RANTERS, MOHAMAD SIBAHI 741

Mobiles Schülerlabor im Museum

THOMAS BENEDIKT STEINMETZ, ALEXANDER GLÖSSL, THOMAS KLINGER, CHRISTIAN KREITER, INGRID KRUMPHALS 745

Entwicklung und Einsatz von Remote-Laboren: Das Projekt OnLabEdu

MARIA HINKELMANN, HEIDRUN HEINKE 749

Zwei Blickwinkel auf außerunterrichtliche MINT-Interessenförderung

NICOLAS WUNN, DANIELA BECKER, GABRIELE HORNUNG, JOHANN-NIKOLAUS SEIBERT 753

Pool-scAN: schülerorientierte chemische Analysen zum Nachweis von Wasserinhaltsstoffen im Kontext „die Chemie des Pools“

NORMAN ROLLWA, MARTIN SCHÖNBECK, GABRIELE HORNUNG 757

Science4Scociety

MELISSA COSTAN, KASIM COSTAN, ANNA WEIßBACH, CHRISTOPH KULGEMEYER 761

Profilanalyse von Wissenschaftsskepsis gegenüber der Physikdidaktik

Helena van Vorst Geschäftsführerin der GDCP

Vorwort

Die Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDCP e. V.) vom 10. bis 13. September 2024 in Bochum unter dem Tagungsthema

Entdecken, lehren und forschen im Schülerlabor

bot wieder zahlreiche Gelegenheiten, die aktuellen Entwicklungen im Bereich des Lehrens und Lernens in den Fächern Chemie, Physik, dem naturwissenschaftsbezogenen Sachunterricht sowie der frühen naturwissenschaftlichen Bildung im Kindergartenalter zu wissenschaftlich diskutiert und die Vernetzung der Forschendes dieser Fachgebiete zu fördern. Fast 500 Tagungsgästen tauschten sich über aktuelle Themen in vier Plenarvorträgen, sieben thematischen Workshops, zehn Poster- und Vortragssymposien sowie 281 Einzelpostern und -vorträgen aus.

Einen besonderen Dank möchte ich an dieser Stelle an die Plenarreferentinnen Julia Lorke (RWTH Aachen University) und Marianne Achiam (University of Copenhagen) sowie die beiden Plenarreferenten Burkhard Priemer (Humboldt-Universität zu Berlin) und Joachim Wirth (Ruhr-Universität Bochum) richten, die in ihren Beiträgen das Schülerlabor als Lernort aus verschiedenen Perspektiven beleuchteten und so neue, wichtige Impulse für die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit dem Thema setzten.

Abschließend richte ich meinen Dank an die örtliche Tagungsleitung an der Ruhr-Universität Bochum, namentlich Katrin Sommer, Heiko Krabbe, Christian Strippel und Marco Seiter sowie ihr Team aus Helferinnen und Helfern. Nur durch ihr großem wurde die Ausrichtung der Tagung erst ermöglicht.

Essen, im Juli 2025 HvV

Andreas Borowski[1] [1]Universität Potsdam

Einführung

Liebe Mitglieder der GDCP, liebe Tagungsteilnehmer*innen,

zur diesjährigen Tagung hatten wir uns „Tief im Westen“ in Bochum getroffen und dort war es „besser viel besser als man glaubt“. Versprochen, er war die letzte Anspielung auf das Lied von Herbert Grönemeyer. Aber ehrlich, es war eine tolle und inspirierende Tagung. Mit dem Tagungsthema „Entdecken, lehren und forschen im Schülerlabor“ habe wir auf der einen Seite das Experimentieren in den Schülerlaboren zusammen mit den außerschulischen Lerngelegenheiten in den Mittelpunkt gestellt. Zu diesem Thema und darüber hinaus wurden auf der Tagung xx Vorträge und xx Poster vorgestellt und diskutiert. Gerahmt wurde das Programm wie zumeist von vier Plenarvorträgen.

Im Eröffnungsvortrag am Montag stellt Prof. Dr. Burkhard Priemer von der Humboldt-Universität zu Berlin die Entwicklung und Vielfalt von Lehr-Lern-Laboren, die vor etwa 25 Jahren in die Lehrkräftebildung der MINT-Fächer integriert wurden, vor. Lehr-Lern-Labore kombinieren Lerngelegenheiten für Schüler*innen, Lehrveranstaltungen der Lehrkräftebildung und manchmal auch fachdidaktische Forschung. Der Vortrag stellte die unterschiedlichen Formate von Lehr-Lern-Laboren vor und diskutierte die Ergebnisse der begleitenden Forschung auch kritisch. Prof. Dr. Joachim Wirth, der von der Ruhr-Universität Bochum im Bereich Lehr-Lernforschung kommt, fokussierte auf die Authentizität von außerschulischen Lernangeboten. In dem zweiten Plenarvortrag der Tagung am Dienstag stellte er vor, dass außerschulische Lernangebote für ihr Potenzial gelobt werden, um das Interesse, sowie Kenntnisse und Fähigkeiten von Lernenden zu fördern. Obwohl dies durch empirische Studien unterstützt wird, bleibt die Datenlage uneinheitlich. Der Vortrag stellte verschiedene theoretische Konzepte von Authentizität vor und analysiert diese im Bezug auf die Eigenschaften, die das Lernen beeinflussen. Prof. Dr. Julia Lorke von der RWTH Aachen ist eine Expertin für Biologiedidaktik und Citizen Science. Ihr Vortrag am Mittwoch behandelte die Rolle von Citizen Science in der Bildung von Kindern und Jugendlichen. Citizen Science ermöglicht es ihnen, in authentischer Forschung mit Schülerlaboren mitzuwirken. Zahlreiche Studien berichten von Lernerfolgen. Doch eine systematische Sicht über verschiedene Projekte hinweg gestaltet sich schwer, da Projekte selbst bei gleichem Typ unterschiedliche Lernmöglichkeiten bieten. Mit Hilfe der Cultural-Historical Activity Theory näherte sich der Vortrag dem Lernen in Citizen Science aus individueller Perspektive und identifiziert Faktoren, die bei übergreifenden Studien beachtet werden sollten. Prof. Dr. Marianne Achiam von der University of Copenhagen ist bekannt für ihre Forschung zur Naturwissenschaftsvermittlung in außerschulischen Lernumgebungen, wie z.B. Museen und Wissenschaftszentren. Am letzten Tag der Tagung sprach sie über die Herausforderungen der naturwissenschaftlichen Bildung in Deutschland, die durch die jüngsten PISA-Ergebnisse verdeutlicht wurden. Sie diskutierte, wie Institutionen für außerschulische naturwissenschaftliche Bildung, darunter Museen und Wissenschaftszentren, ganzheitliche

und inklusive Lernerfahrungen bieten können, die den schulischen Unterricht ergänzen. Dabei diskutierte sie fachspezifische Beispiele aus Chemie, Physik und Biologie.

Wir haben uns auf der Tagung aber nicht nur mit Forschungsergebnissen beschäftigt. Wichtig war auch, dass wir auf der Mitgliederversammlung beschlossen haben, den Vorstand zu erweiterten. Wenn die neue Satzung der GDCP beim Vereinsregister eingetragen ist, dann besteht der Vorstand der GDCP aus sechs Mitgliedern. Hiervon sollen zwei Mitglieder unabhängig von der Fachzugehörigkeit die Interessen des wissenschaftlichen Nachwuchses der Fachgesellschaft vertreten. Ich denke, dass hier gut auf die Entwicklung der letzten Jahre eingegangen wurde, in denen der wissenschaftliche Nachwuchs immer aktiver wurde. An dieser Stelle meinen herzlichen Dank an alle die sich hier engagiert haben. Durch die Aktivitäten sind aber auch die Aufgaben des Mitglieds im Vorstand, das sich insbesondere um die Interessen des Wissenschaftlichen Nachwuchses kümmert, immer mehr geworden. Somit es nur folgerichtig, dass hier nachgesteuert wird und eine weitere Stimme im Vorstand und eine Unterstützung dazukommt. Ich möchte mich ganz herzlichen bei allen bedanken, die diese Aufgaben bisher übernommen haben. Ohne euch wäre die vielen tollen Projekte so nicht möglich gewesen!

Ich wünsche allen viel Spaß und Freude beim Lesen des dieses mal wieder sehr gelungenen Tagungsbandes.

Allen ein herzliches „Glück auf“!

Andreas Borowski

Sabine Fechner[1] [1]Universität Paderborn

Laudatio zur Verleihung der GDCP-Ehrenmedaille an Prof. David F. Treagust

Liebe Mitglieder der GDCP, liebe Anwesende,

ich freue mich, heute die Verleihung der GDCP-Ehrenmedaille moderieren und würdigen zu dürfen, eine Auszeichnung, die wir seit 2021 nicht mehr vergeben haben – viele Anwesende hier im Hörsaal werden sie also vielleicht gar nicht kennen. Daher möchte ich ein paar Worte zu dieser Auszeichnung und auch zur Besonderheit in diesem Jahr vorwegnehmen, bevor der Preisträger bekanntgegeben und persönlich gewürdigt wird.
Die GDCP-Ehrenmedaille wurde erstmals 2008 an Reinders Duit und danach insgesamt 10 weitere Male verliehen. *„Ausgezeichnet werden* [ich zitiere die Satzung] *Persönlichkeiten, die zur Profilierung der Physik- oder Chemiedidaktik und zur chemie- oder physikdidaktischen Forschung und Entwicklung maßgeblich beigetragen haben.“*
In diesem Jahr hat uns als Vorstand die Verleihung der Ehrenmedaille bzw. der dafür eingereichte Vorschlag erst einmal etwas verunsichert, weil er schlicht nicht konventionell war. Wir mussten die Satzung zur Verleihung der Ehrenmedaille noch einmal genau lesen. Unsere Fragen waren: *Ist eine GDCP-Mitgliedschaft Voraussetzung für eine Verleihung? Müssen die Preisträger aus dem deutschsprachigen Raum kommen?*
Nach erneuter Lektüre war unsere Schlussfolgerung klar: Die ausgezeichneten Persönlichkeiten müssen nicht unbedingt aus dem deutschsprachigen Raum kommen und auch nicht unbedingt Mitglied der GDCP sein, sollten aber ganz unbedingt zur Profilierung der chemie- oder physikdidaktischen Forschung und Entwicklung [im deutschsprachigen Raum] maßgeblich beigetragen haben. Wir zeichnen also insbesondere Persönlichkeiten aus, die einen offensichtlichen Verdienst an unserer eigenen Community geleistet haben.
Nach dieser Erkenntnis war der Rest Kür: Die Jury wurde auf einer außerordentlichen Mitgliederversammlung gewählt, in unserem Jury-Treffen wurden konkrete Kriterien diskutiert und dokumentiert und ein sehr eindeutiges Votum im Namen des Vorgeschlagenen verfasst.
Unser Preisträger wollte heute hier anwesend sein, konnte aber aus gesundheitlichen Gründen kurzfristig nicht über eine Distanz von knapp 14.000 km reisen. Er ist aber – soviel kann ich schon sagen – bereits in unserem ZOOM-Raum und wird nach einigen weiteren Sätzen dann endlich auch zu sehen sein.

Lieber Preisträger, dear awardee,

we are honored to have you with us today - although 14.000 kilometers separate us at the moment and it is 10 p.m. where you are –a time most would consider inconvenient for a ZOOM meeting – not for you.
We are proud you were nominated as a recipient of our prestigious award and it was an extraordinary honor for us to select you to be this year’s awardee:

The 2024 GDCP Medal of Honor for outstanding contributions to our community is awarded to **Prof. David F. Treagust**, Curtin University, Western Australia – Congratulations, David!

Dear David, dear members of the GDCP, dear guests,

Today, we celebrate an exceptional colleague whose impact on science education has crossed borders and inspired many of us. It is a privilege and honor for me to give this speech which I will structure along the line of criteria that made us decide you are among the outstanding personalities who shaped our community – even though you are neither German-speaking nor a member of the GDCP [yet].
Our criteria were your general excellence, your contribution to make GDCP members visible and renowned within the international setting, your broad and long-lasting connections and support of GDCP members, your mentorship to early career researchers and your personality as a scholar. And I will underline the reasoning with personal accounts from people I talked to – it was a convenience sample but as all remarks where highly consistent, they reached saturation quite early.

But first, back to our criteria and to state the obvious:
A medal of honor is awarded to researchers with an outstanding track record. You have one: You are the researcher – the name – in the international science education community that comes to our mind when we think about students' conceptions of science and how these relate to conceptual change and multiple representations. The name we think of when we construct a two-tier instrument. You have without any doubt set new standard in this field.
And: This is not your first award, you are also the holder of fellowships from the Royal Society of Chemistry, the Royal Society of Biology, AERA, Academy of Social Sciences Australia. You serve as editor of four research journals with the *International Journal of Science Education* among them, an author of more than 350 publications in major international journals and book series. Your publications are highly cited with an h-index (google scholar) of 102 representing over 40.000 citations.
Born in the UK, you have lived in different English-speaking countries: You hold a PhD and a MSc from the University of Iowa in the US, a BSc from the University of Western Australia, and a Certificate of Education from the University of Birmingham, England. You also used to work as a high school chemistry teacher for more than 10 years which also shaped the way you perceive science education and the relations between theory and practice.
This is your general excellence – we admire it sincerely.

But today, we would like to highlight who you are for us – the GDCP.
In our view, you contributed highly to make the GDCP visible and renowned in international communities. So, your general excellence is not the only reason why we are here: it is primarily your support of German colleagues and the GDCP community.
We need to go back to the 1980s to see how it all started. It was dark times in terms of digital media use at the workplace but high time for – or let's say the advent of – science education. For all the younger ones in the room: it was a different time to work in science education. On the one hand: No internet, no email – huge effort to stay in contact – with writing letters that might take a week from Europe to Australia – just imagine. On the other hand: the discipline was shaping itself and innovative ideas – especially research on students' conceptions and how to get an empirical basis – where hotly debated – there was a lot of movement – maybe comparable to the current excitement about the introduction of AI to education.

But for you, David, the connection to Germany was even more personal: Your wife, Gisela, was of German origin and you decided to broaden your horizons abroad – when you were already working at the WA institute of technology. You heard about the IPN in Kiel, Germany – a prestigious institute – and got into contact. Having written textbooks on solar energy for high school and primary school students you were soon strongly advised to talk to a guy who was at that time working on his habilitation on the energy concept – Reinders Duit.
Reinders became probably your most prominent German colleague and friend since the 1980s. You share about 15 international publications on students' conceptions. I checked your most cited publication published in the IJSE authoring R Duit and DF Treagust on *"Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning"*.
One colleague from ESERA called you and Reinders the "iconic duo" – the two who were furthering the discipline together but also became close friends. The connection to the IPN is still on-going with the chemistry and physics education groups of Ilka Parchmann & Knut Neumann.
But: The connections to our community are also broader – not only tied to the IPN – which we also see as an outstanding contribution. You visited research groups in Bremen, Berlin, Dortmund, Essen and invited many German researchers to Perth – Helmut Fischler was one of the first to visit Australia in the early 1990s. For German circumstances, you crossed borders by identifying yourself as a science educator with a chemistry background and an interdisciplinary scope.
As a next point, you receive the award because of your mentorship to GDCP early career researchers. You not only supervised about 100 PhDs in Australia and the US so far – people say you have a talent in supervision and motivating students – you also had close contact to the graduate school *nwu* in Essen around Hans Fischer and Elke Sumfleth and invited PhD students to your institute (SMEC). You said Hans got the idea that early career researchers should travel and have one publication with an international scholar - so the two of you set up a program and let about 12 youngsters – not only from Essen but different groups – take part in the exchange.
It is only a small sample but I find it remarkable that a considerable number of those who visited you more than 10 years ago are still in the room: Alexander Kauertz, Christoph Kulgemeyer, Kai Niebert [from biology education – not in the room but still there], and myself.
Summing up the reasons that I mentioned so far in physical and metaphorical terminology: We highly appreciate the energy transformation you initiated between you and the German community.
But we have another strong reason to award you with our medal:

It's who you are as a person.
When I spoke to colleagues from our community – and also internationally – they all agree on your excellence and contribution to science education […] but none of them stopped talking there. Most of them continued: *What I find even more remarkable about David is his personality and the way he connects with people*.

They perceive you …
… as a thoughtful listener and deep thinker.
… as a person incredibly open to any kind of conversation with anyone.
… someone who engages in debates meaningfully and as someone…

… who is genuinely interested in knowledge seeking rather than his own track record and h-index.

Colleagues admire you…
…for your appreciative manner.
…for your openness to any kind of controversial discussions, which almost always end in consensus. Hans said – and I need to quote this in German: „Wir haben uns manchmal gefetzt… aber eigentlich nie gestritten.“ [translation: “We sometimes had heated arguments – but never really had a fight”]

And last but not least they admire your…
…sense of humor that makes meeting and working with you a truly enjoyable experience.

David,
we strongly hope to meet you next year at the GDCP conference 2025 in Frankfurt – conveniently close to a large international airport – and then we will certainly offer you to become a member of the GDCP and sign the papers.

We thank you…
…for taking the step in the 1980s to consider Germany as a country worth debating trends and issues in science education and for making meaningful connections.
…for guiding colleagues and young researchers on their way for such a long time – about 40 years now.
…for making conferences, visits and meetings more enjoyable because of who you are.

We – as the GDCP – have benefitted highly from you and appreciate it deeply.
David – Thank you.

Julia Lorke[1] [1]RWTH Aachen University

Lernen beim Forschen – was genau machen Kinder und Jugendliche in Citizen Science?

Citizen Science bietet Bürger*innen die Möglichkeit an authentischer Forschung mitzuwirken und ist somit als Lernangebot für den formalen Bildungsbereich sowie für außerschulische Lernorte von Interesse. Zahlreiche Studien berichten Lernerfolge einzelner Citizen Science-Projekte; die wenigen Reviews (z.B. Aristeidou & Herodotou, 2020 oder Ballard, Lindell & Jadallah, 2024) zum Lernen in Citizen Science zeigen sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede. Eine systematischere projektübergreifende Untersuchung gestaltet sich schwierig, schließlich weisen sogar Projekte gleichen Typs unterschiedliche Lerngelegenheiten auf und Teilnehmende nutzen diese Lerngelegenheiten selbst innerhalb eines Projekts unterschiedlich. Daher wechseln wir die Perspektive: wir nähern uns dem Lernen in Citizen Science auf individueller Ebene, berücksichtigen Angebot- und Nutzungs-Betrachtungen sowie die Cultural-Historical Activity Theory, um Faktoren zu identifizieren, die bei projektübergreifenden Studien beachtet werden sollten.

Eine kurze Begriffsklärung – was ist Citizen Science?

Unter Citizen Science versteht man „wissenschaftliche Arbeit, die von Mitgliedern der allgemeinen Öffentlichkeit vorgenommen wird, oft in Zusammenarbeit mit oder unter der Führung von professionellen Wissenschaftlern oder wissenschaftlichen Institutionen“ (Bonn et al., 2016). Ein wichtiges Kriterium ist, dass dabei neues Wissen, im Sinne neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse generiert wird. Dies ist ein wichtiges Merkmal, das Citizen Science von reinen Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen oder Bildungsaktivitäten abgrenzt. Geprägt wurde der Begriff Mitte der 1990er Jahre aus zwei unterschiedlichen Perspektiven. Alan Irwin forderte in einer Zeit mit vielen Konflikten (z.B. Tschernobyl, BSE) zwischen Politik, Wissenschaft und Gesellschaft unter dem Begriff Citizen Science eine Demokratisierung der Wissensgenerierung, also eine Öffnung der Wissenschaft für gesellschaftliche Teilhabe (Irwin, 1995). Rick Bonney hingegen verwendete den Begriff zur Beschreibung einer gängigen Praxis in der Ornithologie. Am Cornell Lab of Ornithology wurden in der Forschung viele Daten verwendet, die von nicht-professionell in der Wissenschaft tätigen oder formal darin ausgebildeten Personen generiert wurden (Bonney, 1996). In vielen Forschungsdisziplinen gibt es eine lange Tradition wissenschaftlicher Gesellschaften und Vereine, in denen sich “Hobby-Forschende“ ohne formale wissenschaftliche Ausbildung engagieren. Citizen Science ist also nicht unbedingt neu, aber erfährt seit mehreren Jahren Aufwind durch den technologischen Fortschritt, der neue Beteiligungsformate durch z.B. Internet, Smartphones und Apps ermöglicht, und durch ein vermehrtes gesellschaftliches Streben nach Teilhabe in Politik und Wissenschaft.

Lernen und Citizen Science

In den Projektbeschreibungen auf der Plattform SciStarter geben 92% der Citizen Science-Projekte an, dass sie neben wissenschaftlichen Zielen auch Bildungsziele verfolgen (Phillips, Porticella, Constas & Bonney, 2018). Bislang wurden Lerneffekte durch Citizen Science-

Teilnahme allerdings meist in Studien zu einzelnen Projekten untersucht. Dabei wurden durchaus positive Effekte berichtet (siehe auch Lorke & Schmid-Loertzer, 2021). Beispielhaft lässt sich dies anhand einer aktuellen Reviewstudie zu Citizen Science und Umweltbildung aufzeigen (Ballard, Lindell & Jadallah, 2024). In den 100 untersuchten Studien wurden vorallem in den Bereichen Fachwissen (56) und Fähigkeiten in naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen (32) positive Effekte berichtet. Deutlich seltener wurden in den Studien etwa Effekte auf Selbstwirksamkeit oder die naturwissenschaftliche Identität bzw. Agency untersucht, aber auch hier wurden positive Ergebnisse berichtet (in 11 bzw. 4 Studien). Zu den Aspekten Wissen über Natur of Science bzw. Naturwissenschaftsverständnis und Interesse hingegen wurden neben positiven Effekten (15 bzw. 6 Studien) auch Studien mit negativen Ergebnissen gefunden (jeweils 2). Die Studien zu Einzelprojekten und fehlende methodische Vergleichbarkeit der Methodik und Instrumente führen vermehrt zu Forderungen nach projektübergreifenden Studien mittels standardisierter Instrumente im Pre-Post-Testdesign (z.B. Ballard, Lindell & Jadallah, 2024, Finger et al., 2023, Bonn et al., 2022). Die hohe Diversität von Citizen Science-Projekten ist jedoch eine komplexe Herausforderung für ein solches Vorgehen. Eine nähere Betrachtung der Bandbreite der Projekte sowie der Lernangebote und der Nutzung dieser durch die Teilnehmenden zeigt Faktoren auf, die eine standardisierte Untersuchung erschweren und welche berücksichtigt werden sollten, um die Wirkung von Citizen Science-Projekten genauer beschreiben und verstehen zu können.

Citizen Science ist nicht gleich Citizen Science

Citizen Science-Projekte weisen Unterschiede in verschiedenen Merkmalen auf: z.B. Fachdiziplin, Projektziele, Online- oder Feldforschung, Zielgruppen, Teilnahmefrequenz (einmalig, saisonal oder langfristig), Reichweite und Bezugsrahmen (lokal, regional oder global), erforderliche Kenntnisse & Tools (siehe auch Lorke et al., 2024).

Projekttyp und Dauer der Teilnahme

Vielfach wird zur Charakterisierung die Typologie nach Bonney et al. (2009) verwendet. Dieser liegt zugrunde, in welche Phasen des Forschungsprozesses die Teilnehmenden eingebunden werden. Man unterscheidet nach co-created (alle Phasen, z.B. Ginger (https://www.uni-bremen.de/ginger)), collaborative (Datenerhebung und meist Datenanalyse, z.B. WTimpact (https://www.wtimpact.de)) und contributory (Fokus auf Datenerhebung, z.B. City Nature Challenge (https://www.citynaturechallenge.org)). Unterschiedliche Projekttypen beteiligen Citizen Scientists demnach an unterschiedlichen Forschungsphasen, was sich häufig auch auf die Verweilzeit im Projekt auswirkt. In ihrer vergleichenden Untersuchung zu Effekten der Teilnahme an unterschiedlichen Projekttypen, ergänzten Berndt und Nitz (2023) etwa zusätzliche thematisch passende Unterrichtsstunden, um den zeitlichen Unterschied zwischen den Projekttypen auszugleichen. Dies ist für eine Einzelstudie sinnvoll, aber für das Ziel projektübergreifender Untersuchungen unrealistisch.

Fazit: Projekttyp sowie der zeitliche Rahmen der Teilnahme müssen in projektübergreifenden Studien erfasst und berücksichtigt werden.

Angebot und Nutzung von Lernangeboten

Auch für Citizen Science liegt ein Angebot-Nutzungs-Modell vor, welches die relevanten Elemente und Zusammenhänge zur Wirksamkeit systematisch visualisiert. Das sogenannte MODEL-CS (Abb.1, Bruckermann et al., 2020) kann sowohl zum Design von Citizen

Science-Projekten als auch deren Evaluation genutzt werden. Anhand von Beispielen aus der internationalen Research-Practice-Partnership LEARN CitSci lässt sich illustrieren, wie unterschiedlich die Angebote und die Nutzung dieser Angebote selbst innerhalb eines Citizen Science-Projektformats sein kann.

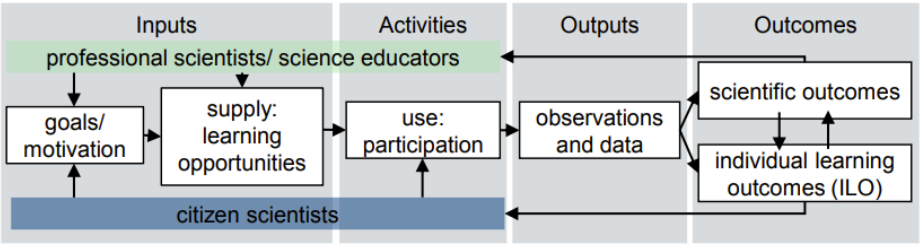


Abb.1: Angebots-Nutzungs-Wirkungsmodell für Citizen Science (MODEL-CS, Bruckermann et al., 2020)

LEARN CitSci untersuchte die Partizipation und das Lernen von Kindern und Jugendlichen (5-19 Jahre) in von Naturkundemuseen in den Vereinigten Staaten und in Großbritannien angebotenen Citizen Science-Projekten.
Dabei stellten sogenannte BioBlitze ein Citizen Science-Format dar, welches durch alle drei beteiligten Museen (California Academy of Sciences, Natural History Museum of Los Angeles County und Natural History Museum, London) angeboten wurde. Ziel eines BioBlitzes ist die Erfassung der Lebewesen in einem abgegrenzten Gebiet über einen festgelegten Zeitraum (2-24h) (Ballard et al., 2017). Die Sichtungen von Lebewesen werden dabei meist mittels der App iNaturalist dokumentiert und nach entsprechender Verifizierung in die Global Biodiversity Information Facility (GBIF) übermittelt. Damit stehen nicht nur den Beteiligten am BioBlitz, sondern Forschenden weltweit die Informationen des biological records, also ein Dateneintrag zur dokumentierten Sichtung eines Lebewesens mit den Angaben zu Was? Wo? Wer? und Wann? (Isaac & Pocock, 2015) für Forschungszwecke zur Verfügung. Insgesamt wurden 14 BioBlitze und dabei 81 focal youth mittels teilnehmender Beobachtungen untersucht. Dabei konnten zwei unterschiedliche BioBlitz-Typen (Meeus et al., 2023) gefunden werden: sieben placed-based, guided BioBlitze und sieben Nature Festival-BioBlitze. Um die Lernangebote der beiden BioBlitz-Typen vergleichend darzustellen, wurden sie in das Rosette-Modell der Wissenschaftskommunikation (Metcalfe, 2019, Lorke, Ballard & Robinson, 2024) eingeordnet.
In place-based, guided BioBlitzen steht die Citizen Science-Aktivität im Mittelpunkt (Abb.2) und wird gerahmt durch eine thematisch-methodische Einführung sowie eine Nachbesprechung mit Darstellung und Diskussion zu den erhobenen Biodiversitätsdaten. Zu diesen Veranstaltungen war meist eine Anmeldung der Teilnehmenden erforderlich, die meisten Teilnehmenden hatten sich somit bewusst vorab für die Teilnahme entschieden. Bei den Nature Festival-BioBlitzen (Abb.3) hingegen zeigt sich, dass die eigentliche Citizen Science-Aktivität nur eines von vielfältigen Lernangeboten ist. Diese Veranstaltungen waren offen für drop-ins, also spontane Teilnahme an Lernangeboten, und boten durch die vielen verschiedenen Angebote viele Zugangsmöglichkeiten für Museums- oder Parkbesucher*innen mit unterschiedlichen Interessen und Bedürfnissen.
Selbst innerhalb des Citizen Science-Formats BioBlitz konnten erhebliche Unterschiede in den durch das Design der Veranstaltungen zur Verfügung stehenden Lernangeboten

festgestellt werden. Das Design der Veranstaltung kann so auch beeinflussen, inwiefern die Citizen Science-Aktivität im Fokus des Formats steht.

Fazit: Die verfügbaren Lernangebote können selbst innerhalb eines Citizen Science-Formats sehr unterschiedlich sein, daher sollten bei projektübergreifenden Studien die Lernangebote für Citizen Scientists miterfasst und berücksichtigt werden.

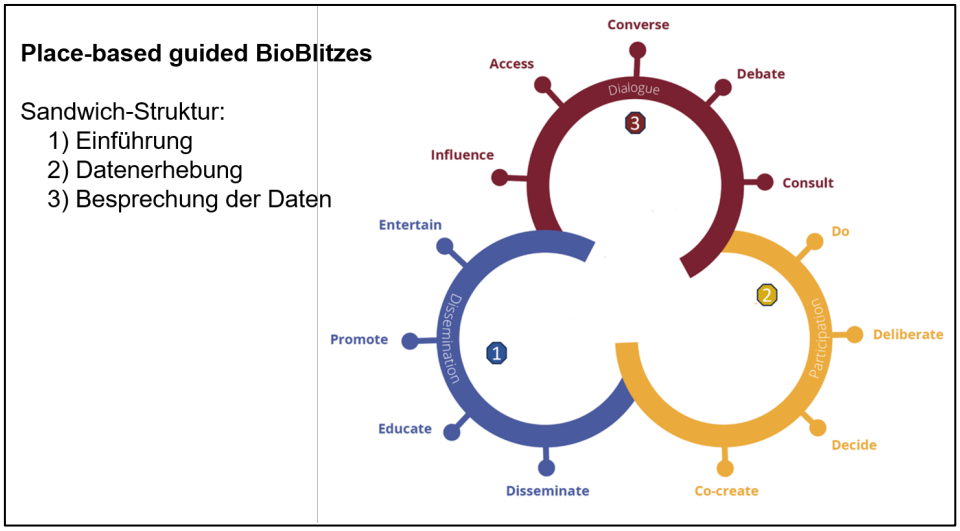


Abb.2: Lernangebote in den beobachteten place-based, guided BioBlitzen (Lorke, Ballard & Robinson, 2024)

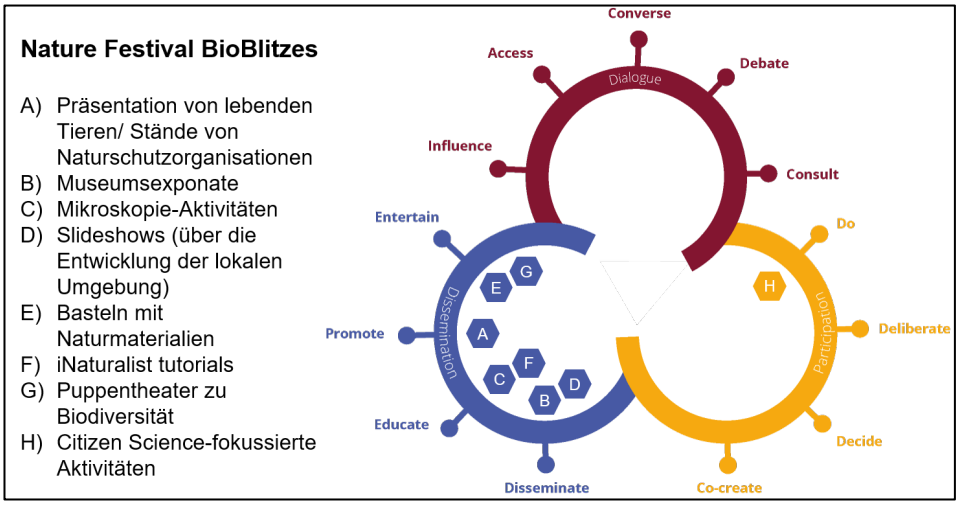


Abb.3: Lernangebote in den beobachteten Nature Festival-BioBlitzen (Lorke, Ballard & Robinson, 2024)

Ergänzend zur Erfassung der Lernangebote, konnte durch teilnehmende Beobachtung die Nutzung der Lernangebote durch Kinder und Jugendliche erfasst werden. Auch auf die Nutzung der Lernangebote also die Tätigkeiten während des BioBlitzes lässt sich das Rosette-Modell anwenden. Die Daten aus der teilnehmenden Beobachtung können im Modell verortet werden und somit die Aktivitäten der Teilnehmenden visualisiert werden (Abb.4).

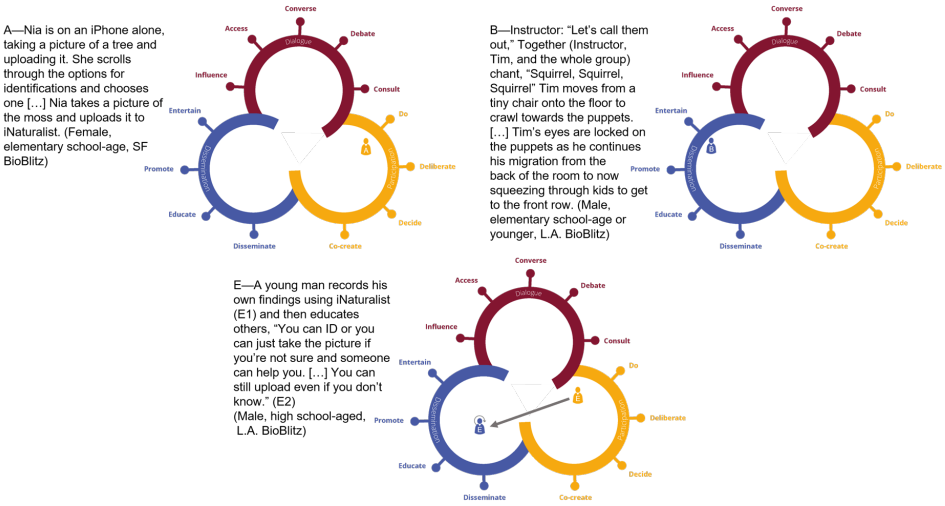


Abb.4: Nutzung der Lernangebote in den beobachteten Nature Festival-BioBlitzen (Lorke, Ballard & Robinson, 2024)

In Fall A führt die Teilnehmerin im Grundschulalter verschiedene Schritte der Citizen Science-Aktivität durch, daher wird ihre Tätigkeit unter Participate – Do verortet. Fall B hingegen wird unter Disseminate – Entertain verortet, da die beobachtete Aktivität hier die Teilnahme am Puppentheater ist. In Fall C konnte beobachet werden, dass der Teilnehmer zunächst selbst die Citizen Science-Tätigkeit ausführt und dann in die Rolle des Vermittlers wechselt und eine andere Teilnehmende bei der Citizen Science-Aktivität anleitet. Im Modell wird der Weg von Participate – Do nach Disseminate – Educate dargestellt, wobei der Pfeil um den Kopf der Figur den Rollenwechsel kenntlich machen soll. Diese Beispiele zeigen, dass sich so die unterschiedliche Nutzung der Lernangebote durch die Teilnehmenden einfach darstellen und vergleichen lässt.

Die Daten aus LEARN CitSci zeigten, dass nicht alle Kinder und Jugendliche bei Teilnahme an einem BioBlitz auch tatsächlich an den Citizen Science-Aktivitäten teilnehmen. Von den 81 Kindern und Jugendlichen in der Studie, nahmen 14 nicht an den Citizen Science-fokusierten Aktivitäten teil (Lorke et. al, 2021). Um die Tätigkeiten der Kinder und Jugendlichen noch genauer zu analysieren, wurde die Citizen Science-Aktivität in einzelne Schritte unterteilt. Um einen sogenannten biological record zu erstellen, muss 1) die Umgebung, teils unter Nutzung entsprechender Werkzeuge (Netze, Fallen, Lupen, etc.) nach Lebewesen erkundet werden, 2) ein Lebewesen gesichtet werden, 3) das Lebewesen bestimmt werden, teils durch machine learning in der App gestützt, 4) die Sichtung dokumentiert werden (meist durch einen Fotobeleg und Erfassung der relevanten Information wie Art und Geodaten in der App) und 5) der erstellte biological record für die wissenschaftliche Community verfügbar gemacht werden (meist durch Hochladen des Datensatzes mittels App). Die

Ergebnisse (Tab.1) zeigen, dass nur 12 Kinder und Jugendliche die Tätigkeit des Verfügbarmachen des Datensatzes ausführen, davon führten neun alle der Einzelschritte aus. Nur wenige der Kinder und Jugendlichen führen den für Citizen Science entscheidenden Schritt des Verfügbarmachen der Daten (5)) durch, nur durch diesen Schritt werden die Daten für wissenschaftliche Forschung nutzbar. Ihre Partizipation kann als Citizen Science profile beschrieben werden. Der Großteil der Kinder und Jugendlichen führt lediglich die Tätigkeiten 1), 2), 3) oder Kombinationen davon aus. Dieses Partizipationsprofil ist vergleichbar mit Bestimmungsübungen im Feld, wie sie in Schule oder Hochschule durchgeführt werden (Environmental Education profile: 36). Beinhaltet das Partizipationsprofil zwar das Dokumentieren ggfs. in Kombination mit anderen Tätigkeiten 1-4), aber nicht das Verfügbar machen der Daten, dann gleicht dies der Tätigkeit von Enagierten im Bereich Naturkunde und Naturgeschichte. Sichtungsdaten werden dabei häufig für den eigenen Gebrauch dokumentiert (Natural History profile: 19).

Tab. 1: Was machen Kinder und Jugendliche während eines BioBlitzes - Partizipation in Einzelschritten der Citizen Science-Aktivität (Lorke et al., 2021)

Einzelschritte der Citizen Science- Aktivität	**Anzahl der Kinder und Jugendlichen (N=81), die eine oder Kombinationen dieser Schritte ausführten**
1) Erkunden (Exploring)	48
2) Sichten/Beobachten (Observing)	57
3) Bestimmen (Identifying)	45
4) Dokumentieren (Documenting)	28
5) Verfügbarmachen des Dateneintrags (Recording)	12
Keine Citizen Science-Aktivität	14

Die Kinder und Jugendlichen nutzen die Lernangebote des BioBlitz-Formats, darunter auch das Ausführen der Einzelschritte der Citizen Science-Aktivität, sehr unterschiedlich. Nur wenige führen den entscheidenden Citizen Science-Schritt, der die erhobenen Daten für eine wissenschaftliche Auswertung verfügbar macht, durch. Für die meisten Kinder und Jugendlichen unterscheidet sich somit ihre Tätigkeit in einem Bioblitz wenig von reinen Bildungsangeboten im Bereich Ökologie.

Fazit: Soll die Wirkung von Citizen Science-Teilnahme untersucht werden, dann muss die tatsächliche Tätigkeit der Teilnehmenden erfasst und in den Kontext der erforderlichen Einzelschritte für die jeweilige Citizen Science-Aktivität eingeordnet werden.

CHAT als mögliches Rahmenmodell

Legt man zugrunde, wie unterschiedlich die Cititzen Science-Projekte und die Aktivitäten der Teilnehmenden darin sind, wären projektübergreifende Studien zur Wirkung von Citizen Science ohne die Berücksichtigung von Projekttyp, Dauer der aktiven Teilnahme, verfügbaren Lernangeboten und deren Nutzung durch die Teilnehmenden wenig aussagekräftig. Eine individuelle Erfassung der angeführten Faktoren inklusive teilnehmender Beobachtung im großen Stil ist aber wohl nicht realistisch. Möglicherweise bietet die cultural-historical activity

theory (CHAT) (dt.: Tätigkeitstheorie, Engeström, 2000, 2001) eine Möglichkeit die Citizen Science-Erlebnisse der Teilnehmende sinnvoll zu clustern (Abb.5).

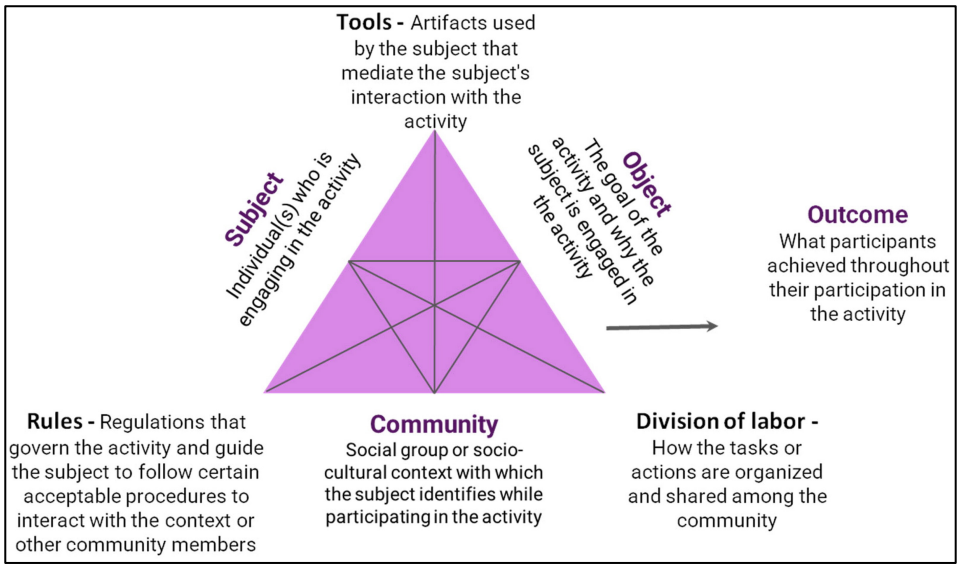


Abb. 5: Elemente des Tätigkeitssystems nach Engeströms cultural-historical activity theory (CHAT) (Ghadiri Khanaposhtani et al., 2022, S.1733)

Die Analyseebenen von CHAT ließen durchaus eine projektübergreifende Charakterisierung von Partizipation in Citizen Science zu. So könnte etwa in Rules erfassen, welche Aktivitäten erlaubt sind (Lernangebote) und unter Division of Labor die tatsächlich praktizierte Arbeitsteilung (Nutzung von Lernangeboten). Zudem könnten auch Ziele und Motivation der Teilnehmenden und/oder Projektleitungen unter Object und unter Community der soziale Teilnahmemodus (z.B. Famile vs. Schulklasse) erfasst werden. Dies könnte ein Ansatz sein, um ähnliche Citizen Science-Teilnahmen projektübergreifend zu erfassen und auf ihre Wirkung hin zu untersuchen.

Außerschulische Lernorte und Citizen Science

Außerschulische Lernorte, wie Schülerlabore, können Schüler*innen einen Zugang zu Naturwissenschaften und Universität eröffnen. Sie können dazu beitragen Citizen Science als Beteiligungsformat an Wissenschaft bekannter zu machen und damit ihr eigenes Angebot erweitern. Dazu können Sie natürlich selbst neue Citizen Science-Projekte entwickeln und die Teilnahme der Schüler*innen und Lehrkräfte begleiten. Ein leichterer Zugang wäre möglich, indem außerschulische Lernorte “fremde” Projekte ins eigene Programm integrieren. Beispielsweise lassen sich auf der mit:forschen-Plattform (www.mitforschen.org) im Projektkatalog geeignete Projekte finden. Auch können außerschulische Lernorte einen Beitrag zum Capacity-building leisten, etwa durch Workshops für Wissenschaftler*innen zur Projektentwicklung (z.B. Trainingsworkshops in Kooperation mit mit:forschen oder eigene Angebote, siehe dazu auch Kiessling, Lorke, Kruse & Brink, 2023), Lehrkräfte-Fortbildungen oder die Integration in Lehr-Lern-Labors (1. Phase der Lehrkräftebildung) (z.B. Lorke et al., 2024). Auf diese Weise können außerschulische Lernorte maßgeblich dazu beitragen Citizen

Science für mehr Menschen zugänglich zu machen und somit neue Erfahrungsräume zur naturwissenschaftlichen Identitätsarbeit schaffen.

Literatur

Aristeidou, M., & Herodotou, C. (2020). Online Citizen Science: A Systematic Review of Effects on learning and Scientific Literacy. Citizen Science Theory and Practice, 5 (1), 1-12

Ballard, H.L., Robinson, L.D., Young, A.N., Pauly, G.B., Higgins, L.M., Johnson, R.F., & Tweddle, J.C. (2017). Contributions to conservation outcomes by natural history museum-led citizen science: examining evidence and next steps. Biological Conservation 208, 87–97

Ballard, H.L., Lindell, A.J., & Jadallah, C.C. (2024). Environmental education outcomes of community and citizen science: a systematic review of empirical research. Environmental Education Research, 30 (6), 1007–1040

Berndt, J., & Nitz, S. (2023). Learning in Citizen Science: The Effects of Different Participation Opportunities on Students' Knowledge and Attitudes. Sustainability, 15, 12264, 1-16

Bonney, R. (1996). Citizen science: A lab tradition. Living Bird, 15 (4), 7–15

Bonn, A., Richter, A., Vohland, K., Pettibone, L., Miriam, B., Feldmann, R., Göbel, C., Grefe, C., Hecker, S., Hennen, L., Hofer, H., Kiefer, S., Stefan, K., Kluttig, T., Krause, J., Küsel, K., Liedtke, C., Mahla, A., Neumeier, V., [...] & Vogel, J. (2016). Grünbuch Citizen Science Strategie 2020 für Deutschland. Museum für Naturkunde Berlin; Deutsches Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung; Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung

Bonn, A., Brink, W., Hecker, S., Herrmann, T.M., Liedtke, C., Premke-Kraus, M., Voigt-Heucke, S., von Gönner, J., Altmann, C.S., Bauhus, W., Bengtsson, L., Brandt, M., Bruckermann, T., Büermann, A., Dietrich, P., Dörler, D., Eich-Brod, R., Eichinger, M., Ferschinger, L., [...] & Woll, S. (2022). Weißbuch Citizen-Science-Strategie 2030 für Deutschland. Helmholtz-Gemeinschaft, Leibniz-Gemeinschaft, Universitäten und außeruniversitäre Einrichtungen

Bruckermann, T., Lorke, J., Rafolt, S., Scheuch, M., Aristeidou, M., Ballard, H., Bardy-Durchhalter, M., Carli, E., Herodotou, C., Kelemen-Finan, J., Robinson, L., Swanson, R., Winter, S., & Kapelari, S. (2020). Learning opportunities and outcomes in citizen science: A heuristic model for design and evaluation. In O. Levrini, & G. Tasquier (Eds..), The Beauty and Pleasure of Understanding: Engaging with Contemporary Challenges Through Science Education. Alma Mater Studiorum (Bologna), 889-898

Engeström, Y. (2000). Activity Theory as a Framework for Analyzing and Redesigning Work. Ergonomics, 43 (7), 960–974

Engeström, Y. (2001). Expansive Learning at Work: Toward an Activity Theoretical Reconceptualization. Journal of Education and Work, 14 (1), 133–156

Finger, L., van den Bogaert, V., Schmidt, L., Fleischer, J., Stadtler, M., Sommer, K., & Wirth, J. (2023) The science of citizen science: a systematic literature review on educational and scientific outcomes. Front. Educ. 8:1226529.

Ghadiri Khanaposhtani,. M., Ballard, H.L., Lorke, J., Miller, A.E., Pratt-Taweh, S., Jennewein., J., Robinson, L.D., Higgins, L., Johnson, R.F., Young, A.N., Pauly, G.B., & Benavides Lahnstein, A.I. (2022). Examining youth participation in ongoing community and citizen science programs in 3 different out-of-school settings. Environ Educ Res., 28(12),1730-1754

Irwin, A. (1995). Citizen Science. A Study of People, Expertise and Sustainable Development. Routledge

Isaac, N.J.B. & Pocock, M.J.O. (2015). Bias and information in biological records. Biological Journal of the Linnean Society, 115 (3), 522–531

Kiessling, T., Lorke, J., Kruse, K., & Brink, W. (2023). Citizen Science mit Schulen - ein Leitfaden mit 10 Empfehlungen für Projektinitiator*innen. Zenodo.

Lorke, J., Ballard, H. L., Miller, A. E., Swanson, R. D., Pratt-Taweh, S., Jennewein, J. N., et al. (2021). Step by step towards citizen science – deconstructing youth participation in BioBlitzes. JCOM, J. Sci. Commun. 20 (4), A03.

Lorke, J., & Schmid-Loertzer, V. (2022). Wie wirkt eigentlich Citizen Science? Ein Blick in die Forschungsliteratur. Zenodo

Lorke, J., Bruckermann, T., Helbing, I., Tchekov, E., & Scheuch, M. (2024).Citizen Science: (Mit-)Forschen in Lehrkräftebildung und Schulpraxis. In N. Graulich, J. Arnold, S. Sorge, & M. Kubsch (Eds.), Lehrkräftebildung von morgen: Beiträge der Naturwissenschaftsdidaktiken zur Förderung überfachlicher Kompetenzen. Waxmann Verlag, 269-279

Lorke, J., Ballard, H.L. and Robinson L.D. (2024) More complex than expected—mapping activities and youths' experiences at BioBlitz events to the rosette model of science communication. Front. Environ. Sci. 11:1270579

Meeus, S., Silva-Rocha, I., Adriaens, T., Brown, P.M., Chartosia, N., Claramunt-Lopez, B., Martinou, A.F., Pocock, M.J.O., Preda, C., Roy, H.E., Tricarico, E., & Groom, Q.J. (2023). More than a bit of fun: the multiple outcomes of a bioblitz. BIOSCIENCE, 73 (5), 389, 168-181

Metcalfe, J. E. (2019). Rethinking science communication models in practice, PhD thesis. Canberra: The Australian National University.

Phillips, T. B., Porticella, N., Constas, M., & Bonney, R.E. (2018). A framework for articulating and measuring individual learning outcomes from participation in citizen science. Citizen Science: Theory and Practice, 3(2), 3, 11-19

Lisa Rott[1] [1]Universität Münster
Jürgen Menthe[2] [2]Universität Hildesheim
Elisabeth Hofer[3] Leuphana Universität Lüneburg
Andreas Nehring[4] Universität Hannover
Simone Abels[5] Leuphana Universität Lüneburg

Ein inklusiver Blick auf das Fach: Barrieren in Lerngegenständen verorten

Ausgangslage

Im Netzwerk inklusiver naturwissenschaftlicher Unterricht (NinU) wurde das sog. „NinU-Schema“ entwickelt, das Ziele naturwissenschaftlichen Unterrichts mit der Perspektive der inklusiven Pädagogik verbindet (Stinken-Rösner et al, 2020). Letztere werden durch drei Schritte repräsentiert: Diversität anerkennen, Barrieren erkennen, Partizipation ermöglichen (Booth & Ainscow, 2016). Aus der Perspektive der Naturwissenschaftsdidaktiken wird auf die vier Zielebenen verwiesen, die sich an Hodson (2014) orientieren: Die Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Kontexten, das Erlernen naturwissenschaftlicher Inhalte, die aktive Erkenntnisgewinnung und das Verständnis über die Bedeutung der Naturwissenschaften.

Eine Konkretisierung der Verschränkung der beiden Perspektiven findet sich im sog. „NinU-Raster“, das für jeden Knotenpunkt gezielte Fragen formuliert, die dabei unterstützen, die Aspekte der inklusiven Pädagogik in die Planung und Reflexion des naturwissenschaftlichen Unterrichts zu integrieren (Ferreira González et al., 2021).

Mit dem Schema und dem Raster verfolgt das NinU das Ziel, die Planung und Reflexion von inklusivem naturwissenschaftlichen Unterricht zu stärken, der „allen Lernenden – unter Wertschätzung ihrer Diversität und ihrer jeweiligen Lernvoraussetzungen – die Partizipation an individualisierten und gemeinschaftlichen fachspezifischen Lehr-Lern-Prozessen […] ermöglicht“ (Menthe et al., 2017, S. 801).

Dieses fachbezogene Inklusionsverständnis lässt sich weiter ausdifferenzieren und reflektieren im Hinblick darauf, welches Adressat*innenverständnis vorliegt und wo Barrieren verortet werden (Abels & Witten, 2023; s. Tab. 1). Findet sich ein enges Verständnis, das den Fokus auf bestimmte Gruppen oder Personen legt, ein weites Verständnis, das die Partizipation aller im Blick hat oder ein Übergangsverständnis, das den Fokus auf die Partizipation von vulnerablen Gruppen in fachbezogenen und nicht fachbezogenen Diversitätsfacetten legt?

Eine andere Perspektive nimmt Köpfer (2020) ein. In seinem systemischen Blick stehen nicht die Personen selbst, sondern die umgebende Struktur, die Organisation oder das System im Mittelpunkt. Folglich sind Barrieren, die eine Partizipation erschweren, dann im System zu verorten. Abels und Witten (2023) deuten diese systemische Sichtweise fachbezogen und betonen, dass systemisch betrachtet Barrieren in Lerngegenständen verortbar sind und für den Unterricht ebenso fachbezogene Diversitätsfacetten eine Rolle spielen (können) (s. Tab. 1).

Struktur Organi-sation System	Analyse von Barrieren des Systems und von Zugangsmöglichkeiten zum System für Schüler*innen mit zugeschriebenen Behinderungen oder diagnostiziertem Förderbedarf	Analyse von Barrieren des Systems und von Zugangsmöglichkeiten zum System besonders für Schüler*innen mit bestimmten Ausprägungen in fachbezogenen und nicht fachbezogenen Diversitätsfacetten	Analyse von Barrieren des Systems und von Zugangsmöglichkeiten zum System für alle Personen in ihrer Vielfalt mit ihren individuellen Potentialen und Bedarfen
Person Personen-(gruppen)-kategorie	Fokus auf die Partizipation von Schüler*innen mit Behinderung oder diagnostiziertem Förderbedarf in Allgemeinen Schulen	Fokus auf die Partizipation von Schüler*innengruppen mit bestimmten Ausprägungen in fachbezogenen und nicht fachbezogenen Diversitätsfacetten	Partizipation aller Personen in ihrer Vielfalt mit ihren individuellen Potentialen und Bedarfen
	enges Adressat*innen-verständnis	alle, aber besonders vulnerable Gruppen adressierend	weites Adressat*innen-verständnis

Tab. 1 Sich wandelndes fachbezogenes Inklusionsverständnis (Abels & Witten, 2023; verändert nach Köpfer, 2021; ergänzt durch Lindmeier & Lütje-Klose, 2015)

Studien zeigen, dass die Haltung von Lehrpersonen, insbesondere eine positive Einstellung und die Anerkennung von Diversität, entscheidend für das Gelingen von Inklusion ist (u. a. Avramidis & Norwich, 2022). Gleichzeitig weisen sie darauf hin, dass Barrieren häufig einseitig und defizitorientiert bei den Lernenden verortet werden. Darüber hinaus kann das Wissen über bestimmte Zuschreibungen die Bewertung dieser Lernenden erheblich beeinflussen (Franz et al., 2023).
In Anlehnung an diese Erkenntnisse, und als Erweiterung bisheriger fachdidaktischer Ansätze der fachlichen Klärung, verfolgt das NinU einen innovativen Ansatz: Bevor im Unterricht die Potenziale und der Unterstützungsbedarf der Lernenden reflektiert werden, wird zunächst die Analyse der Barrieren im Lerngegenstand angestrebt. Dieser Schritt soll dazu beitragen, die Partizipation aller Schüler:innen erfolgreich zu fördern.
Im NinU wird seit längerem diskutiert, wie sich diese Vorgehensweise auf die Planung von Unterricht und das sich darin widerspiegelnde Inklusionsverständnis auswirkt. Wird durch eine gezielte Auseinandersetzung mit Barrieren der Lerngegenstände eine inklusive Planungshaltung geschaffen, die einem weiten Adressat*innenverständnis entspricht, das Barrieren systemisch verankert?

Leitfragen, die wir uns im NinU stellen, sind:
Wie können wir dabei unterstützen, eine ...

… inklusive Haltung Lernenden gegenüber einzunehmen?
… fachliche Partizipation aller Lernenden zu ermöglichen?

Zielstellung des Workshops

Der Workshop hatte das Ziel, gemeinsam mit den Teilnehmenden anhand eines ausgewählten Beispiels zu reflektieren, wie sich Unterrichtsplanungsskizzen unterscheiden, wenn die Planenden aufgefordert werden, lerngegenstands- oder lerngruppenbezogen mit der Planung zu beginnen und welches Inklusionsverständnis durch die verschiedenen Ausgangspunkte sichtbar wird.

Ablauf

Um das Ziel des Workshops zu erreichen, wurde zunächst in einem Impulsvortrag eine Einführung in das NinU-Schema und das NinU-Raster sowie deren Entwicklungsgeschichte gegeben. Darüber hinaus wurde eine differenzierte Sichtweise auf das Inklusionsverständnis nach Abels und Witten (2023) vorgestellt, die für den weiteren Verlauf als Reflexionsgrundlage und als Visualisierungshilfe dienen sollte.

In der ersten Arbeitsphase arbeiteten die Teilnehmenden in Kleingruppen am Thema „Elektromobilität“ und hielten ihre ersten Planungsideen digital in Task-Cards fest. Zwei Gruppen beschäftigten sich mit der Frage: Welche gegenstandsbezogenen Barrieren, sowohl fachlich als auch fachdidaktisch, müssen berücksichtigt werden?

Die anderen beiden Gruppen richteten ihren Fokus auf die Lerngruppe und bearbeiteten die Frage: Welche individuellen Lernvoraussetzungen und Herausforderungen sollten in die Planung einfließen?

Im Anschluss an diese Gruppenarbeit erhielten die Teilnehmenden den Auftrag, ihre Ergebnisse im Hinblick auf das sich darin widerspiegelnde Inklusionsverständnis zu reflektieren. Dies geschah durch das Setzen eines Klebepunkts in der Tabelle 1, um die eigene Einschätzung festzuhalten (s. Abb. 1). Diese strukturierte Reflexion sollte dazu beitragen, das Bewusstsein für das eigene Inklusionsverständnis weiter zu schärfen.

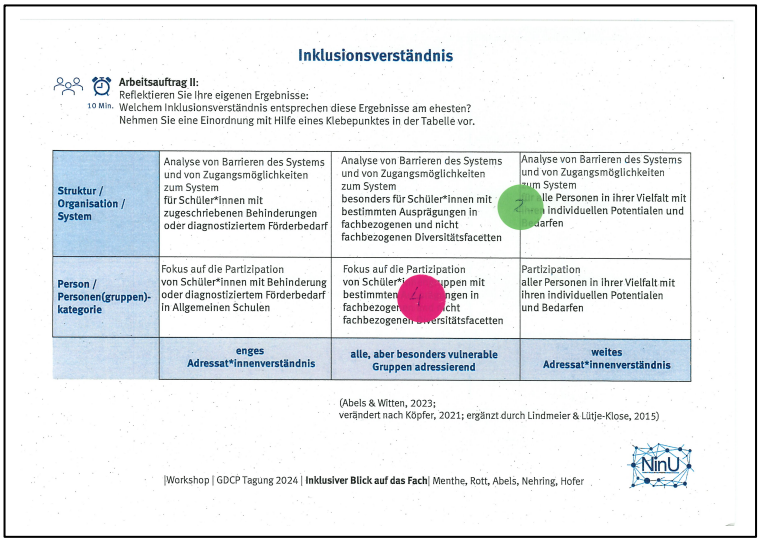


Abb. 1 Ergebnisse einer Gruppenarbeit

Um einen Perspektivwechsel zu ermöglichen, bestand der nächste Arbeitsauftrag darin, die Ergebnisse einer Gruppe zu lesen, die sich in der ersten Arbeitsphase mit dem jeweils anderen Schwerpunkt – entweder gegenstandsbezogen oder lerngruppenbezogen – beschäftigt hatte. Auch diese Ergebnisse wurden im Hinblick auf das Inklusionsverständnis reflektiert und durch das Setzen eines andersfarbigen Klebepunkts festgehalten (s Abb. 1).
Im Anschluss daran präsentierten die Gruppen ihre Ergebnisse in einer gemeinsamen Diskussionsrunde, wobei die Klebepunkte auf ein Plakat übertragen wurden (s. Abb. 2). Grüne Klebepunkte beziehen sich auf die Reflexion der Ergebnisse der Gruppen zur gegenstandsbezogenen Perspektive und pinke Klebepunkte zur lerngruppenbezogenen Perspektive.

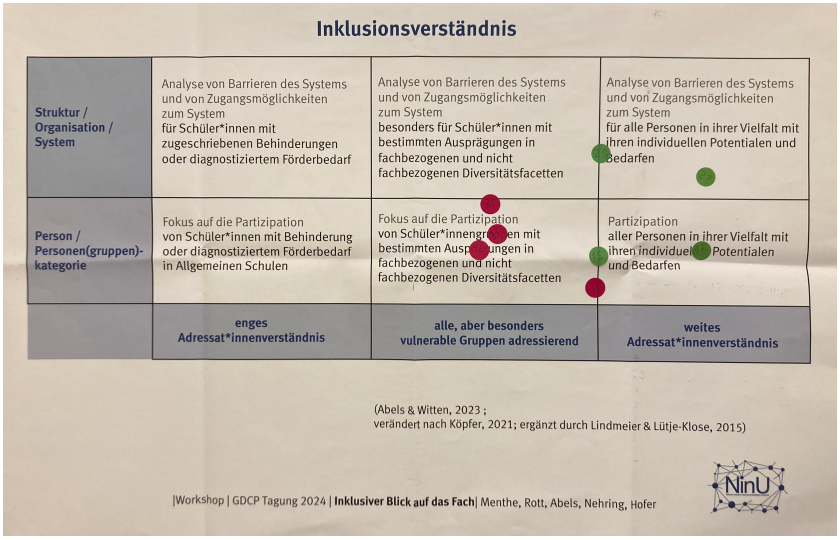


Abb. 2 Gesamtergebnisse der Gruppenarbeitsphase

Es zeigte sich, dass die Teilnehmenden Planungsergebnisse aus gegenstandsbezogener Perspektive tendenziell eher einem weiten Adressat:innenverständnis und eher einer systemischen Perspektive zuordneten. Erste Planungsideen aus lerngruppenbezogener Perspektive wurden erwartungsgemäß Personen zugeordnet und wurden eher als Übergangsverständnis (siehe Tabelle 1, Fokus auf vulnerable Gruppen) reflektiert.
Der Austausch über die Ergebnisse förderte nicht nur das Verständnis für verschiedene Perspektiven, sondern vertiefte auch die Diskussion, die durch folgende Fragen weiter ausdifferenziert wurde:

- Wie beeinflusst das Vorgehen (erst gegenstandsbezogen oder erst lerngruppenbezogen) die Perspektive der handelnden Personen (Studierende, Lehrkräfte, Forschende, …)?
- Resultiert aus dem jeweiligen Vorgehen ein anderes Produkt (Unterrichtsplanung, Unterrichtsgestaltung, Lernbegleitung, etc.)?
- Beeinflusst das Vorgehen die Haltung der Lehrkraft (ressourcenorientierter / defizitorientierter Blick)?
- Sehen Sie weitere Vor- und Nachteile der jeweiligen Vorgehensweisen?

Ergebnisse der Diskussion

In der abschließenden Diskussion des Workshops wurde deutlich, dass für die Teilnehmenden sowohl die Definition als auch die Trennung von gegenstands- und lerngruppenbezogener Perspektive eine Herausforderung darstellte. Beispielsweise wurde überlegt, welcher Perspektive Schüler:innenvorstellungen zuzuordnen sind. Die Teilnehmenden merkten außerdem an, dass sie im eigenen Handeln erkannten, wie stark sie sich bei ihrer Wahrnehmung auf Defizite konzentrierten und stellten fest, dass dies oftmals unbewusst geschehe. Es wurde betont, wie wichtig eine reflektierte Haltung hinsichtlich dieser Frage sei, um einer Fokussierung auf Defizite vorzubeugen und dass eine systemische Perspektive (s. Tab. 1) hierbei womöglich hilfreich sein könnte. Weiterhin wurde angeführt, dass für die Erarbeitung der gegenstandsbezogenen Perspektive eine hohe fachliche Kompetenz benötigt wird.
Diskutiert wurde weiterhin, ob eine auf das NinU-Raster angewendete didaktische Rekonstruktion einen Ansatzpunkt für die Verbindung der Perspektiven bilden könnte. Dabei wurde die Gefahr gesehen, auch hier zu sehr auf individuelle Aspekte zu fokussieren und dadurch die Lerngruppenperspektive aus den Augen zu verlieren. Einige Teilnehmer:innen berichteten zudem von ihrem Erleben, dass bereits in der universitären Lehrkräftebildung eine klare Trennung zwischen fachlichem Wissen und unterrichtspraktischen Fähigkeiten vorgenommen werde, obwohl diese beiden Bereiche eng verknüpft seien. Oft würde thematisiert, wie man einen „regulären“ Unterricht an die Bedürfnisse inklusiver Settings adaptieren könne.
Einige Teilnehmende betonten, dass die gegenstandsbezogene Perspektive es ermögliche, zunächst Potentiale und Perspektiven für Inklusion in einzelnen Lerngegenständen zu identifizieren.

Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse des Workshops bestärken uns darin, die Idee einer systematischen Erforschung des Einflusses der Haltungen bei und der Herangehensweisen an die Planung inklusiven Unterrichts weiter zu verfolgen. Es stellt sich die Frage, ob es zielführend ist, Planungsprozesse grundsätzlich mit dem Blick auf Barrieren in den Lerngegenständen zu beginnen, um das Potential für inklusiven naturwissenschaftlichen Unterricht zu fördern. Von der empirischen Beantwortung dieser Frage wird auch abhängen, ob diese Vorgehensweise auch im NinU Schema und Raster stärker in den Vordergrund gerückt werden wird. Entsprechende Überlegungen zu einer Überarbeitung wurden bereits begonnen.
Das NinU agiert seit Herbst 2024 als wAG inU der GDCP sowie der FdDB und versteht sich weiterhin als offenes Netzwerk. Auf regelmäßigen Netzwerktreffen, die sowohl digital als auch in Präsenz stattfinden, werden aktuelle Entwicklungen des Feldes diskutiert und kooperative Zusammenarbeiten entwickelt. Personen mit Interesse an einer Mitarbeit bei NinU können sich unter *simone.abels@leuphana.de* anmelden.

Literatur

Abels, S., Witten, U. (2023). Was Naturwissenschaftsdidaktiken und Religionspädagogik voneinander über Inklusion lernen können. Zeitschrift für Inklusion, 2. https://www.inklusion-online.net/index.php/inklusion-online/article/view/716

Avramidis, E., & Norwich, B. (2002). Teachers' attitudes towards integration/inclusion: a review of the literature. European journal of special needs education, 17(2), 129-147.

Booth, T., & Ainscow, M. (2016). The index for inclusion: A guide to school development led by inclusive values (4th ed.). Index for Inclusion Network (IfIN).

Ferreira González, L., Fühner, L., Sührig, L., Weck, H., Weirauch, K. & Abels, S. (2021). Ein Unterstützungsraster zur Planung und Reflexion inklusiven naturwissenschaftlichen Unterrichts. In S. Hundertmark, X. Sun, S. Abels, A. Nehring, R. Schildknecht, V. Seremet & C. Lindmeier (Hrsg.), Naturwissenschaftsdidaktik und Inklusion, 4. Beiheft Sonderpädagogische Förderung heute (S. 191–215). Beltz Juventa. https://content-select.com/de/portal/media/view/61052b3a-6a7c-4aad-8a17-08ccc496b0fd

Franz, D. J., Richter, T., Lenhard, W., Marx, P., Stein, R., & Ratz, C. (2023). The influence of diagnostic labels on the evaluation of students: A multilevel meta-analysis. Educational Psychology Review, 35(1), 17.

Hodson, D. (2014). Learning Science, Learning about Science, Doing Science: Different goals demand different learning methods. International Journal of Science Education, 36(15), 2534–2553. https://doi.org/10.1080/09500693.2014.899722

Köpfer, A. (2021). Rekonstruktion und Inklusion – Perspektiven und Spannungsfelder rekonstruktiver Inklusionsforschung in der Erziehungswissenschaft. QfI - Qualifizierung für Inklusion. Online-Zeitschrift zur Forschung über Aus-, Fort- und Weiterbildung pädagogischer Fachkräfte, 3(1). https://doi.org/10.21248/qfi.64

Lindmeier, C., Lütje-Klose, B. (2015). Inklusion als Querschnittsaufgabe in der Erziehungswissenschaft. Erziehungswissenschaft - Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Erziehungswissenschaft, 26(51), 7–16. https://www.dgfe.de/fileadmin/OrdnerRedakteure/Zeitschrift_Erziehungswissenschaft/EW_51.pdf

Menthe, J., Abels, S., Blumberg, E., Fromme, T., Marohn, A., Nehring, A. & Rott, L. (2017). Netzwerk Inklusiver naturwissenschaftlicher Unterricht. In C. Maurer (Hrsg.), Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis. (S. 800–804). Regensburg: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Zürich 2016. Münster: LIT.

Stinken-Rösner, L., Rott, L., Hundertmark, S., Baumann, Th., Menthe, J., Hoffmann, Th.,Nehring, A. & Abels, S. (2020). Thinking Inclusive Science Education from two Perspectives: inclusive Pedagogy and Science Education. RISTAL, 3, 30–45. DOI: https://doi.org/10.23770/pending

Alexandra Teplá[1] [1]Universität Wien
Anna Rüchel[2] [2]Universität Potsdam
Benjamin Pölloth[3] [3]Freie Universität Berlin
Elisabeth Dietel[4] [4]Universität Oldenburg
Katja Weirauch[5] [5]Universität Würzburg
Katrin Schüßler[6] [6]Universität Duisburg-Essen
Kendra Zilz[7] [7]Universität Hamburg
Rebecca Möller[7] [8]PH Niederösterreich
Rita Elisabeth Krebs[8] [9]FAU Erlangen-Nürnberg
Sebastian Nickel[9] [10]Universität Graz
Sebastian Tassoti[10]
Vanessa Fischer[6]

Welche Awareness braucht die GDCP? - Kleine Schritte, große Wirkung

Ausgangslage

Wissenschaftliche Tagungen, wie die GDCP-Jahrestagung, bieten Wissenschaftler*innen Möglichkeiten, sich untereinander auszutauschen und zu vernetzen. Damit eine gleichberechtigte Teilhabe allen Interessierten möglich ist, sollten sich alle Teilnehmenden gleich wertgeschätzt und willkommen fühlen. Hürden, die die Teilhabe einzelner Interessierter beeinträchtigen oder verhindern können, sollten möglichst reduziert werden. Ein gemeinsam gelebtes Awareness-Konzept kann helfen, Hürden zu identifizieren, abzubauen und somit eine gleichberechtigte Teilhabe zu fördern.

Theoretischer Hintergrund

Awareness bedeutet „Achtsamkeit“ oder „sich bewusst machen“ (Maser & Neckel, 2023). Rechtlich betrachtet wird die Awareness-Arbeit in Deutschland z. B. vom Allgemeinen Gleichbehandlungsgesetz (AGG), Artikel drei aus dem Grundgesetz der Bundesrepublik Deutschland (GG), den Antidiskriminierungsgesetzen der Länder, z. B. dem Berliner Landesantidiskriminierungsgesetz (LADG), oder auch verschiedenen Hausrecht-Ordnungen gestützt. Ziel von Awareness-Arbeit ist die Schaffung eines wertschätzenden Sozialklimas durch Haltung, Solidarität und Konsens und damit einhergehend die Minimierung von Diskriminierung und Gewalt. Insbesondere zielt Awareness-Arbeit auf das Erkennen von (eigenen) Privilegien und Perspektiverweiterung hinsichtlich benachteiligter Personen ab (Maser & Neckel, 2023). Als Grundsatz gilt, dass eine Überwindung von normativen Vorstellungen die Grundlage für Veränderung hin zu einer Gesellschaft mit mehr Chancengerechtigkeit, Vertrauen und Wohlfühlen bildet.

Einen allgemeinen Überblick über Diskriminierungserfahrungen in Deutschland bietet eine Studie von Beigang et al. (2017) in Form einer quantitativen Repräsentativbefragung. 31,4 % der Befragten gaben an, in den letzten 24 Monaten mindestens einmal diskriminiert worden zu sein. Werden nicht nur durch das AGG geschützte Merkmale (u. a. Religion, Geschlecht, Alter), sondern weitere Merkmale (u. a. sozioökonomische Lage, Familiensituation) berücksichtigt, sind es sogar 35,6 %. Laut der Studie ist das häufigste Diskriminierungsmerkmal das Alter (14,8 %), gefolgt von der sozioökonomischen Lage (10,1 %) und dem Geschlecht bzw. der Geschlechtsidentität (9,2 %).

Die Studierendenbefragung (Meyer et al. 2022) blickt spezifischer auf den Universitätskontext. Insgesamt wurden im Sommersemester 2021 180.000 Studierende an 28

repräsentativ ausgewählten deutschen Hochschulen befragt, davon wurden ca. 18.000 Teilnehmende in einem randomisierten Split-Design zu ihren Diskriminierungserfahrungen im Kontext der Universität befragt. Die deskriptive Auswertung der Daten zeigt, dass ungefähr ein Viertel der Studierenden von selbst erlebter Diskriminierung im Studium berichten. 46 % der Befragten gaben an, Diskriminierung Anderer beobachtet zu haben. Erlebte Diskriminierungserfahrungen wurden häufig auf das Geschlecht (14 %) und die sprachliche Ausdrucksweise (8 %) zurückgeführt. Jeweils ca. 6 % bezogen die Erfahrungen auf ihre soziale Herkunft, ihren Migrationshintergrund oder ihr äußeres Erscheinungsbild. Als Diskriminierungserfahrungen werden am häufigsten universitätsspezifische Benachteiligungen genannt, z. B. das Herabsetzen erbrachter Leistungen oder das Nicht-Zutrauen von Leistungen. Daneben erleben Studierende allgemeine Diskriminierungsformen wie das Herabsetzen durch Stereotype. 1,4 % aller Befragten berichten, dass sie sexualisierte körperliche Übergriffe im Studium erlebt haben. Eine genauere Analyse der Daten zeigt, dass weibliche Studierende, LGB+-Personen und Menschen mit Migrationshintergrund überproportional häufig Diskriminierung erleben.

Geschlechtsspezifische Gewalt (einschließlich sexueller Belästigung) in Forschungseinrichtungen und Universitäten wurde in einem europaweiten Projekt (UniSAFE) untersucht (Lipinsky et al., 2022). Dabei wurden sechs Formen von geschlechtsspezifischer Gewalt definiert und in einem quantitativen Design erhoben. Ergebnisse der Studie sollen als Basis zur Entwicklung von Präventions- und Interventionsmaßnahmen dienen. Psychologische Gewalt ist die häufigste Form erlebter Gewalt über alle untersuchten Gruppen hinweg (57%) (Humbert et al., 2022). Lediglich 13 % der Betroffenen gaben an, den Vorfall gemeldet zu haben (Lipinski et al., 2022). Als häufigster Grund (47 %) hierfür wurde die Unsicherheit genannt, ob das Verhalten schwerwiegend genug war, um es zu melden. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Prävalenz von geschlechtsspezifischer Gewalt in allen teilnehmenden Ländern Europas vergleichbar ist und es keine Unterschiede zwischen Forschungseinrichtungen und Universitäten gibt (Humbert et al., 2022). Gewalterfahrungen führten bei den Betroffenen zu einem Rückgang der Arbeitsproduktivität, zu verstärkten Überlegungen, den akademischen Sektor zu verlassen, zu einer größeren Distanz zu den Kolleg*innen und zu Unzufriedenheit mit ihrem Arbeitsplatz (Lipinsky et al., 2022).

Eine Sensibilisierung für Heterogenitätsdimensionen und Diskriminierungsfacetten kann dazu beitragen, das Risiko für eine beständige Subgruppenbildung (z. B. anhand von Alter, Geschlecht, Berufserfahrung) innerhalb der GDCP abschätzen zu können. Dieses Phänomen der Subgruppenbildung (*Faultlines*) ist stärker erklärungsmächtig für Differenzen in Gruppen als das reine Vorkommen von Diversität und kann den Zusammenhalt der Gesamtgruppe schwächen, Konflikte fördern und die allgemeine Leistung sowie Zufriedenheit in der Gesamtgruppe senken (Thatcher & Patel, 2011).

Die soziale Fähigkeit, flexibel andere Perspektiven anzuerkennen, mit Fremdheit umgehen zu können und sensibel für Diskriminierung oder Stereotype zu sein, wird als Diversity-Kompetenz bezeichnet und kann als wichtige Schlüsselkompetenz für die Zukunft interpretiert werden, wobei die Ausbildung von Diversity-Kompetenz ein langfristiger Prozess ist und zielgerichtete, professionelle Trainings erfordert, um Diskriminierung vorbeugen zu können (Walter & Schmidt, 2016). Diversitätssensibilität und Inklusionsverständnis sind seit langem Gegenstand der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Bisher fehlt aber eine entsprechende Auseinandersetzung mit Diversität innerhalb der naturwissenschaftlichen Wissenschaftscommunity. Die Gefahr, als Naturwissenschaftsdidaktiker*innen bestehende Stereotype und Diskriminierungsfacetten (Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e. V.,

2024) innerhalb von Forschung und Praxis unbewusst zu reproduzieren oder selbst z. B. auf GDCP-Veranstaltungen zu erleben, stützt die Forderung nach mehr Aufklärung und mehr Awareness in der GDCP.

Fragestellung

In Berichten wird immer wieder deutlich, dass eine zielgruppengerechte Datenerhebung unerlässlich für die Anpassung und Evaluation von Awareness-Maßnahmen ist und ein Fokus auch insbesondere auf die Auswirkungen mehrdimensionaler Diskriminierung (Intersektion) gerichtet sein sollte (Baer et al., 2010). Insbesondere Vereine wie die GDCP, die auf produktive Zusammenarbeit sowie Austausch über Forschungsergebnisse setzen, sind auf konstruktive und gewaltfreie Beziehungen angewiesen. Solche Beziehungsnetzwerke werden nach dem Social Identity Approach (Haslam, 2004) durch die Identifikation mit der Gruppe geschaffen und führen gemäß dem Categorization-Elaboration-Modell (van Knippenberg et al., 2004) zu innovativeren Arbeitsergebnissen.

Auf Initiative des Vorstands der GDCP wurde 2023 eine *Arbeitsgruppe Awareness* innerhalb der GDCP gegründet. Zentrale übergeordnete Fragestellung für die Arbeitsgruppe Awareness ist: „Welche Awareness braucht die GDCP?“.

Zu Beginn der Arbeit lagen keinerlei Informationen dazu vor, welcher Bedarf hinsichtlich Awareness und welche Erfahrungen mit Diskriminierung und Benachteiligung innerhalb der GDCP bestehen. Für die Realisierung von gleichberechtigter und übergreifender Teilhabe an allen GDCP-Veranstaltungen ist es notwendig, ein tragfähiges Konzept für die Realisierung von Awareness-Arbeit im Sinne der Diversitätssensibilität zu entwickeln. Die Erfassung von Bedarfen und Diskriminierungserfahrungen stellt daher eine zentrale Herausforderung dar. Die aktuelle Datenlage (z. B. Mitgliederdatenbank) bietet hierfür keine ausreichende Grundlage, weshalb in einem ersten Schritt über eine Umfrage vereinsbezogene Daten zu Benachteiligungserfahrungen innerhalb der GDCP erhoben werden.

Um über einen gemeinsamen Diskurs Anknüpfungspunkte für Awareness in der GDCP (insbesondere auf der Jahrestagung) zu identifizieren, wurden durch die Arbeitsgruppe Awareness relevante Themen rund um Vielfalt, Gleichstellung und Inklusion erarbeitet. Auf Basis dieser Themen wurden Impulsfragen entwickelt, die dazu anregen sollen, bestehende Strukturen und Verhaltensweisen zu hinterfragen. Um diese Ideen visuell zu unterstützen, wurden Skizzen in personenunabhängige Darstellungen umgesetzt. Die finalen Illustrationen wurden auf Postern arrangiert, die auf der Jahrestagung der GDCP ausgestellt wurden, um die Teilnehmenden zum Nachdenken und Diskutieren anzuregen. Des Weiteren dienten die Poster als Diskussionsanregungen für den Workshop.

Konzeption des Workshops

Der Workshop auf der Jahrestagung wurde auf Basis der Annahme konzipiert, dass ein Awareness-Konzept in der GDCP nur dann realisiert und verankert werden kann, wenn möglichst viele Mitglieder dem Thema Bedeutung beimessen. Deshalb wurde im Workshop ein Einstieg über ein Rollenspiel gewählt, der bei den Teilnehmenden ein Verständnis für

mögliche Benachteiligungserfahrungen im Rahmen der GDCP wecken sollte. Anschließend wurde zunächst der oben dargestellte Forschungsstand zu Diskriminierungsstatistiken und Diversitätsfacetten präsentiert, bevor die zentrale Fragestellung „Welche Awareness braucht die GDCP?“ mit den Teilnehmenden an den Postern in Kleingruppen diskutiert wurde. Abschließend wurden Ideen für kleinere und größere Maßnahmen für mehr Awareness und weniger Teilhabehürden innerhalb der GDCP gesammelt, die den Ausgangspunkt für die weitere Arbeit der Arbeitsgruppe darstellen.

Erste Ergebnisse aus dem Workshop

Poster: Wer bezahlt Ihr Konferenzdinner? Gerade der wissenschaftliche Nachwuchs empfindet ein Spannungsfeld zwischen freiwilliger Veranstaltung und Erwartungshaltung zur Teilnahme. Die finanzielle Belastung durch ggf. privat zu leistende Teilnahmegebühren kann ein Hindernis sein, an einem zentralen Teil der Tagung teilzunehmen und wichtiges Networking zu betreiben.

Poster: Wie inklusiv ist Ihre Sprache? Die Verwendung gendersensibler Sprache wurde in Bezug auf verschiedene Situationen diskutiert. Zum einen wurde herausgearbeitet, dass eine Empfehlung z. B. für Tagungsbandbeiträge oder die Gestaltung von Präsentationsfolien wünschenswert ist. Zum anderen wurde über eine mögliche Angabe der präferierten Pronomen auf den Namensschildern gesprochen.

Poster: Wie reagieren Sie auf religiöse Zeichen bei anderen? Religiöse Personen schienen vielen Teilnehmenden innerhalb der GDCP unterrepräsentiert. Die Ursachen hierfür sind unklar. Mögliche Herausforderungen könnten die Ausübung religiöser Praktiken oder das Einhalten von Speisevorschriften sein, insbesondere da entsprechende Informationen oft fehlen. Hinsichtlich eines Awareness-Konzeptes ist daher zu prüfen, inwiefern hier Hürden existieren und wie diese ggf. abgebaut werden können.

Poster: Wie oft werden Sie beim Reden unterbrochen? Die Diskussionen an diesem Poster verdeutlichten die große Bedeutung des Chairs einer Session in Bezug auf sensible Gesprächsführung und Moderation. Erkennen von grenzüberschreitenden Formulierungen und die Fähigkeit, im Zweifelsfall einzuschreiten, wurden als wichtig angesehen, sodass es wünschenswert schien, dass Personen mit Erfahrung die Chair-Rolle übernehmen sollten. Für eine neutrale Moderation wurde es als ungünstig erachtet, die Chair-Rolle mit einer vortragenden Person aus der Session zu besetzen. Konsens bestand darin, dass bei der Diskussion nach einem Vortrag weniges und dafür ehrliches Lob einem Bedanken am Anfang jeder Wortmeldung vorzuziehen ist. Allgemein wurde der Wunsch nach einem Konzept für die Gesprächskultur geäußert.

Poster: Inwiefern berücksichtigen Sie nicht-sichtbare Erkrankungen und Beeinträchtigungen? Wichtigste Ergebnisse der Diskussion zu diesem Thema waren das klare Bekenntnis zu einem Recht auf Unterstützung sowie der Bedarf nach einer expliziten und solidarischen Einladung an Betroffene, Unterstützungsbedarfe und -möglichkeiten an die GDCP zu kommunizieren. Diskutiert wurden dafür eine Abfrage in der Anmeldemaske der Tagung und eine permanente Telefonnummer oder ein konstant weitergeführter Funktionsaccount für die vertrauliche Kommunikation solcher Belange.

Poster: Wie barrierefrei ist die Konferenz? In der Diskussion wurden einerseits Aspekte, die die Konferenzteilnehmenden berücksichtigen können, und andererseits Aspekte, die die örtliche Tagungsleitung berücksichtigen könnte, aufgezeigt. Für Vorträge und Poster wurden beispielsweise eine geeignete Farbauswahl (kein Rot und Grün nebeneinander), eine

ausreichend große Schrift und starke Kontraste sowie das Wiederholen von Fragen aus dem Plenum über das Mikrofon genannt. Hinsichtlich der Tagungsvorbereitung wurde ein Informationspaket zu den Örtlichkeiten (Dauer von Wegen, Standort von Fahrstühlen, Fotos von Räumlichkeiten, etc.) diskutiert. Darüber hinaus wurde auch an diesem Poster der Wunsch nach einer Bedarfsabfrage im Rahmen der Tagungsanmeldung geäußert. Offen blieb die Frage, an wen sich Menschen auf der Jahrestagung wenden können, wenn individuelle Bedürfnisse auftreten, die im Vorfeld nicht berücksichtigt werden konnten.

Poster: Aspekte, die wir noch nicht bedacht haben. Auf einem weiteren Flipchart konnten alle Teilnehmenden des Workshops weitere Aspekte notieren, die durch keines der Themenposter abgedeckt waren. Zwei zentrale Punkte waren hier Elternschaft und Transparenz bei der Auswahl von Preisträger*innen innerhalb der GDCP.

Ausblick

Die aus der Arbeitsgruppe Awareness hervorgegangenen Impulse haben einen ersten Austausch zum Thema Awareness angestoßen. Wichtige Erkenntnisse werden die Ergebnisse der Mitgliederbefragung zu Benachteiligungserfahrungen innerhalb der GDCP liefern, die spätestens auf der Jahrestagung 2025 präsentiert werden sollen. Alle gewonnenen Erkenntnisse fließen in die weitere Arbeit der Arbeitsgruppe ein. Einige der oben formulierten Ideen aus dem Workshop scheinen uns geeignet, um bereits bei der nächsten Jahrestagung umgesetzt zu werden. Für diese Umsetzung wird eine Ausarbeitung eines Awareness-Konzepts mit professioneller, externer Unterstützung angestrebt. Im Rahmen der Jahrestagung konnte die ursprüngliche Arbeitsgruppe weitere Mitglieder des Nachwuchses für die Verstärkung der *Arbeitsgruppe Awareness* gewinnen.

Danksagung

Die Arbeitsgruppe Awareness bedankt sich ganz herzlich bei allen, die unsere Arbeit durch ihre Zeichnungen für die Poster unterstützt haben.

Literatur

Allgemeines Gleichbehandlungsgesetz, Bundesministerium der Justiz §1 (2006, 30.10.2024). https://www.gesetze-im-internet.de/agg/

Baer, S., Bittner, M. & Göttsche, A. L. (2010, 30.10.2024). Mehrdimensionale Diskriminierung – Begriffe, Theorien und juristische Analyse. Antidiskriminierungsstelle des Bundes (Hrsg.). https://www.antidiskriminierungsstelle.de/SharedDocs/forschungsprojekte/DE/Expertisen_Mehrdim_Diskr_emp_u_jur.html

Beigang, S., Fetz, K., Kalkum, D. & Otto, M. (2017, 30.10.2024). Diskriminierungserfahrungen in Deutschland. Ergebnisse einer Repräsentativ- und einer Betroffenenbefragung. Antidiskriminierungsstelle des Bundes (Hrsg.). Nomos Verlag. https://www.antidiskriminierungsstelle.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/Expertisen/expertise_diskriminierungserfahrungen_in_deutschland.html

Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland, Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland in der im Bundesgesetzblatt Teil III, Gliederungsnummer 100-1, veröffentlichten bereinigten Fassung, das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 19. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2478) geändert worden ist, Bundesministerium der Justiz I. Die Grundrechte (2022, 30.10.2024). https://www.gesetze-im-internet.de/gg/BJNR000010949.html

Haslam, S. A. (2004). Psychology in organizations – The social identity approach (2. Aufl.). London: Sage.

Humbert, A. L., Ovesen, N., Simonsson, A., Strid, S., Hearn, J., Huck, A., Andreska, Z., Linková, M., Pilinkaitė Sotirovič, V., Blažytė, G., & Pereira, B. (2022). UniSAFE D6.1: Report on the multi-level analysis and integrated dataset. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.7540229

Landesantidiskriminierungsgesetz Berlin, Senatsverwaltung für Arbeit, Soziales, Gleichstellung, Integration, Vielfalt und Antidiskriminierung Abschnitt I (2020, 30.10.2024). https://www.berlin.de/sen/lads/recht/ladg/#:~:text=Das%20Landesantidiskriminierungsgesetz%20(LADG)%20ist%20das,ist%20es%20in%20Kraft%20getreten.

Lipinsky, A., Schredl, C., Baumann, H., Humbert, A. & Tanwar, J. (2022). Gender-based violence and its consequences in European Academia, Summary results from the UniSAFE survey. Report, November 2022. UniSAFE project no.101006261.

Maser, N. & Neckel, S. (2023). Awareness: Paradoxien eines Emotionsprogramms. *Leviathan, 51*(2), 300–324. doi.org/10.5771/0340-0425-2023-2-300

Meyer, J., Strauß, S. & Hinz, T. (2022). Die Studierendenbefragung in Deutschland: Fokusanalysen zu Diskriminierungserfahrungen an Hochschulen. DOI: 10.34878/2022.08.DZHW_BRIEF

Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e. V. (Hrsg.) (2024, 30.10.). MINTvernetzt. Mehr Diversität in der MINT-Bildung: Kurzfassung der Studie. https://www.mint-vernetzt.de/content/uploads/2024/02/Kurzfassung_Studie_Mehr-Diversitat-in-der-MINT-Bildung_FINAL.pdf

Thatcher, S. M. B. & Patel, P. C. (2011). Demographic faultlines: A meta-analysis of the literature. *Journal of Applied Psychology*, 96, 1119–1139.

van Knippenberg, D., De Dreu, C. K. W. & Homan, A. C. (2004). Work group diversity and group performance: An integrative model and research agenda. *Journal of Applied Psychology*, *89*(6), 1008–1022. doi:10.1037/1089-2699.11.3.207

Walter, C. & Schmidt, B. (2016): Paradigmenwechsel in der Gesellschaft: Wie schützt Diversity Kompetenz vor Diskriminierung? In: P. Genkova & T. Ringeisen (Hrsg.) *Handbuch Diversity Kompetenz. Band 1: Perspektiven und Anwendungsfelder* (S. 235-250), Springer Reference Psychologie.

Stefan Sorge[1]
Stefanie Lenzer[1]
Julia Arnold[2]
Nadja Belova[3]
Benedikt Heuckmann[4]
Lena von Kotzebue[5]
Daniela Mahler[6]
Thomas Schubatzky[7]
Christoph Vogelsang[8]
Peter Wulff[9]
Till Bruckermann[10]

[1]IPN Kiel
[2]PH FHNW
[3]Universität Bremen
[4]Universität Münster
[5]Universität Salzburg
[6]FU Berlin
[7]Universität Innsbruck
[8]Universität Paderborn
[9]PH Heidelberg
[10]Universität Hannover

Quo vadis Postdoc - Was braucht die zweite Qualifizierungsphase?

Bereits seit einigen Jahren wird darüber diskutiert, die rechtlichen Rahmenbedingungen zur Ausgestaltung insbesondere der Postdoc-Phase zu überarbeiten, um die Arbeitsbedingungen in der Wissenschaft zu verbessern und auch die Wettbewerbsfähigkeit des Wissenschaftssystems in Deutschland zu erhöhen. Gleichzeitig wurden in den sozialen Medien unter dem Hashtag #IchbinHanna vor allem aus dem Wissenschaftsbereich selbst heraus die prekären Arbeitsbedingungen in einer breiten Öffentlichkeit diskutiert (Bahr et al., 2022). So titelte auch die Süddeutsche Zeitung am 12. März 2024 „Hanna ist bald weg“ und unterstrich dabei, welche Auswirkungen dem Wissenschaftsstandort Deutschland drohen könnten, wenn keine entsprechenden Anpassungen der Arbeitsbedingungen von Wissenschaftler*innen erfolgen.

Für die Situation in den Chemie- und Physikdidaktiken konstatierte Starauschek (2005) vor etwa 20 Jahren bereits das Spannungsfeld, dass zu Beginn des Jahrtausends die Anzahl abgeschlossener Promotionen anstieg, gleichzeitig aber die Stellen für Professuren und im Bereich der Physikdidaktik auch für unbefristete Mittelbaustellen deutlich zurückgegangen sind. In seiner Expertise für die Telekom-Stiftung konnte Ralle (2012) feststellen, dass es zu keinem weiteren Rückgang der Fachdidaktik-Professuren gekommen ist und stattdessen vorwiegend neue Juniorprofessuren geschaffen wurden. Beide Autoren betonen jedoch, dass zur erfolgreichen Durchführung von Besetzungsverfahren der Professuren qualifiziertes Personal notwendig ist (Ralle, 2012; Starauschek, 2005). Zur Qualifizierung für Professuren in den Fachdidaktiken ist es den Kriterien und Standards der GFD (2022) folgend notwendig, 1) ein fachdidaktisches Forschungsprofil aufzubauen, das durch entsprechende Publikationen, Drittmittel und die Betreuung von Qualifikationsarbeiten gekennzeichnet wird; 2) Erfahrungen in der fachdidaktischen Lehre und Konzeptentwicklung sowie in der pädagogischen Praxis (in der Regel Schulerfahrung) nachzuweisen; und 3) den Wissenstransfer beispielsweise durch die Entwicklung von Lehrplänen oder Fortbildungen zu unterstützen (siehe auch DPG, 2020; FDdB, 2023; Neumann & Rumann, 2020). Aus diesem Qualifizierungsprofil deutet sich bereits an, dass die naturwissenschaftlichen Fachdidaktiken ein sehr diverses Feld mit einem heterogenen Anforderungsprofil darstellen, das es gilt im Rahmen der zweiten Qualifizierungsphase nach der Promotion optimal und umfassend anzubahnen.

Dabei sind Unterstützungsangebote für Personen in der zweiten Qualifizierungsphase durch externe Anbieter wie den Deutschen Hochschulverband oder Angebote der wissenschaftlichen

Weiterbildung an den Universitäten oft allgemein orientiert und berücksichtigen nicht die Fachspezifik der Naturwissenschaftsdidaktiken zwischen Anwendungs- und Grundlagenforschung mit ihren vielseitigen Bezugsfeldern (Schule, Hochschule, Gesellschaft). Daher hat sich 2023 ein von der Joachim Herz Stiftung gefördertes Netzwerk zur Erarbeitung und Pilotierung eines Unterstützungsangebotes für die zweite Qualifizierungsphase gegründet. Im Rahmen des vorliegenden Beitrags sollen neben einer generellen Einordnung der Situation von Postdocs in Deutschland, der Ablauf und die Evaluation des in diesem Netzwerk entstandenen Programms *Mind the Gap!* beschrieben werden. Zudem wurde im Rahmen der GDCP-Jahrestagung 2024 in Bochum ein Workshop gemeinsam mit Nachwuchswissenschaftler*innen abgehalten, bei dem zusätzliche Bedarfe identifiziert und weitere Unterstützungsmöglichkeiten entwickelt werden sollten. Die Ergebnisse dieses Workshops werden ebenfalls dargestellt und dabei die entwickelten Wege zur Unterstützung der zweiten Qualifizierungsphase in den Naturwissenschaftsdidaktiken aufgezeigt.

Zur Situation von Postdoktorierenden

Die aktuellen Herausforderungen im Wissenschaftssystem werden häufig mit dem spezifischen Blick auf die zweite Qualifizierungsphase (meist Postdoc-Phase genannt) diskutiert. Diese Phase als Postdoc bzw. Postdoktorand*in beschreibt im Vergleich zur Promotion eine sehr diverse Karrierephase und ist somit selbst nicht eindeutig charakterisierbar. Der Begriff des „wissenschaftlichen Nachwuchses“, der oftmals auch noch für Wissenschaftler*innen in der Phase nach ihrer Promotion verwendet wird, wird insbesondere von den dadurch charakterisierten Personen eher abgelehnt, wie beispielsweise Kauhaus et al. (2018) durch eine Befragung von Mitarbeitenden der Universität Jena zeigen. Ein alternatives Rahmenmodell zur Beschreibung der verschiedenen Qualifikationsphasen in der Wissenschaft ist das sogenannte *European Research Career Framework* (European Commission, 2011). Es unterscheidet die folgenden Phasen im Laufe einer wissenschaftlichen Karriere: R1 “First Stage Researcher” (bis zur Promotion), R2 “Recognised Researcher” (in der ersten Jahren nach der Promotion), R3 “Established Researcher” (als Qualifizierungsphase für eine Professur) und R4 “Leading Researcher” (Professur oder andere Spezialisierung). Mit diesem Framework wird deutlich, dass die zweite Karrierephase nach der Promotion somit nicht nur Postdoktorierende im engeren Sinne umfasst, sondern dass ebenfalls Tenure-Track-Professor*innen, Nachwuchsgruppenleitungen und Habilitierende dazu gezählt werden können. Die beiden Phasen R2 und R3 werden dennoch dahingehend unterschieden, dass zunächst im Rahmen der ersten Jahre ein Forschungsprofil aufgebaut wird und dieses dann im weiteren Verlauf vertieft wird. Durch das *European Research Career Framework* wird die zweite Qualifizierungsphase somit genauer ausdifferenziert und durch adäquate Bezeichnungen beschrieben.

Neben einer genaueren, begrifflichen Beschreibung der zweiten Qualifizierungsphase wurden in den letzten Jahren vermehrt Bemühungen vorgenommen, das Erleben dieser Phase genauer zu charakterisieren. So wurden beispielsweise wiederholt im Fachmagazin *Nature* weltweite Befragungen Postdoktorierender veröffentlicht. Zuletzt wurden dabei mehr als 3.000 Postdoktorierende aus 93 Ländern befragt, von denen 54 % angaben, zufrieden in ihrem Job zu sein (Nordling, 2023). 41 % der Befragten äußerten sich optimistisch über die eigene Zukunft, wobei die größten Sorgen die eigene Jobsicherheit, passende Karriere- sowie Fördermöglichkeiten darstellten (Nordling, 2023). Auch in einer Befragung unter Postdoktorierenden der Max-Planck-Gesellschaft in Deutschland gaben zwar 80 % der Befragten an, ein erfülltes Leben zu führen, zeitgleich zeigten aber auch 55 % der Befragten mindestens leichte Symptome einer Depression (Russell et al., 2023). Beide Befragungen verdeutlichen die Ambivalenz im Erleben der Postdoc-Phase zwischen einem erfüllenden Beruf und größeren Zukunftssorgen. Dieses ambivalente Erleben der zweiten Qualifizierungsphase äußert sich auch darin, dass

71 % der Postdoktorierenden und 54 % der Juniorprofessor*innen in einer Umfrage des Deutschen Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung über einen Ausstieg aus der Wissenschaft nachdenken (Fabian et al., 2024). Der Verlust von qualifizierten Wissenschaftler*innen stellt somit gleichsam Herausforderungen für die Individuen, aber auch für das Wissenschaftssystem generell dar. Daher ist es notwendig, passende Angebote für die zweite Qualifizierungsphase zu machen, um diesen Herausforderungen entgegenzuwirken. Diese Angebote sollten dabei auf die Spezifika des entsprechenden Wissenschaftsfeldes abgestimmt sein und beispielsweise die Besonderheiten für eine Qualifizierung im Bereich der Fachdidaktik als Disziplin zwischen Fach, Schule und Öffentlichkeit berücksichtigen.

Das *Mind the Gap!*-Programm

Basierend auf der zuvor geschilderten Problembeschreibung haben sich im Jahr 2022 elf Wissenschaftler*innen aus den Didaktiken der Biologie, Chemie und Physik aus Deutschland, Österreich und der Schweiz zusammengeschlossen, die sich zum damaligen Zeitpunkt an unterschiedlichen Punkten in der zweiten Qualifizierungsphase befanden. Ziel des Netzwerkes war es, themenbezogene Weiterbildungs- und Austauschformate zu entwickeln, zu erproben und schließlich zu disseminieren. Damit die themenbezogenen Weiterbildungs- und Austauschformate den spezifischen Anforderungen der Naturwissenschaftsdidaktiken gerecht werden konnten, wurde ein ko-konstruktiver Ansatz gewählt bei dem alle beteiligten Wissenschaftler*innen gemeinsam die entsprechenden Veranstaltungsformate entwickeln sollten. So wurde insbesondere für das erste Treffen das Format einer sogenannten *Unconference* gewählt (z. B. Budd et al., 2015), bei dem die Struktur, weitere Formate und Inhalte dieses Treffens und der weiteren Treffen zunächst ausgehandelt werden mussten (siehe Tabelle 1). Durch diesen offenen Austausch konnten die spezifischen Themen für die Gruppe, die sich in einer spezifischen Karrierephase in den Naturwissenschaftsdidaktiken befunden haben, identifiziert werden. Alle Teilnehmenden der Treffen sicherten sich dabei gegenseitig Vertraulichkeit durch einen *Code of Conduct* zu.

Tabelle 1. Ablauf des Mind the Gap!-Programms

Zeitraum	**Thema**	**Formate**
März 2023	Kennenlernen, Identifikation von Herausforderungen, Agenda-Setting	Unconference
Juni 2023	Berufungs- und Tenure-Verfahren, Karriereplanung	Peer-Mentoring, Kamingespräch
Dezember 2023	Laterales Führen	Online Workshop
Februar 2024	Karriereverträgliche Entscheidungen treffen	Kamingespräch, Workshop DHV
Juni 2024	Fortsetzung des Netzwerks	Kamingespräch, Peer-Mentoring
September 2024	Dissemination	Workshop durch Netzwerkmitglieder

Für die inhaltliche Ausgestaltung des Programms wurden die Schwerpunkte Berufungs- und Tenureverfahren, laterales Führen, karriereverträgliche Entscheidungen und wiederholtes Peer-Mentoring gewählt. So konnten gezielt Expert*innen ausgewählt werden, die zu den spezifischen Themengebieten inhaltliche Impulse geben konnten. Dabei hat sich herausgestellt, dass eine Einbindung von arrivierten Professor*innen aus der Naturwissenschaftsdidaktik notwendig war, um die Spezifik der Naturwissenschaftsdidaktik angemessen zu berücksichtigen.

Hierzu wurden verschiedene vertrauliche Kamingespräche durchgeführt, bei denen die spezifischen Karrierewege und -entscheidungen der Gäst*innen gemeinsam reflektiert wurden. Zudem war das kollegiale Peer-Mentoring ein wesentlicher Baustein, um auch die Ressourcen aus dem Netzwerk heraus selbst für alle Teilnehmenden nutzbar zu machen.

Zur Evaluation der Veranstaltung wurden wiederholt schriftliche Reflexionen und die Zufriedenheit der Teilnehmenden erfasst. Insgesamt zeigte sich, dass über die Treffen eine sehr hohe Zufriedenheit bei allen Teilnehmenden vorlag (Treffen 2: 4,3; Treffen 4: 4,7; Treffen 5: 4,6 auf einer 5-stufigen Likert-Skala). Zudem konnte basierend auf den schriftlichen Reflexionen festgestellt werden, dass die Teilnehmenden eine hohe Übereinstimmung in den wahrgenommenen Herausforderungen hatten, wobei gleichsam ausreichend diverse Perspektiven vorlagen. Zudem wurde wiederholt der wertschätzende und interessierte Austausch unter den Beteiligten betont, der zu neuen Erkenntnissen zum Beispiel über Berufungs- und Tenure-Verfahren führte. Kritisch wurde unter den Teilnehmenden reflektiert, wie man ein andauerndes Commitment für solch ein Programm in einer volatilen Karrierephase sichern und wie die Weitergabe des Programms gestaltet werden kann. Bezogen auf das Commitment kann resümiert werden, dass über die gesamte Laufzeit alle Teilnehmenden trotz Status- oder Standortwechseln im Programm verblieben sind. In einer abschließenden Reflexion fasst ein*e Teilnehmer*in die Erfahrungen folgendermaßen zusammen:

*Die Reihe hat mich tatsächlich enorm unterstützt. Einerseits halfen die Treffen, gezielt über das eigene Vorankommen und/oder Veränderungen zu reflektieren. Geteilte Herausforderungen zu besprechen war sehr hilfreich und ich konnte auch von den Bewältigungsstrategien der Kolleg*innen profitieren. Die Inputs aus den Kamingesprächen halfen mir ebenso sehr, insbesondere an die eigenen Entscheidungen zu glauben und sich darauf zu fokussieren, was einem selbst wichtig ist, fand ich als zentralen Beitrag.*

Einschränkend muss jedoch festgehalten werden, dass sich die Teilnehmenden vor Programmstart zusammengefunden haben und damit eine generelle Öffnung für weitere Teilnehmende durch die notwendige Vertraulichkeit nicht einfach möglich war. Zur Weitergabe und Weiterentwicklung des Programms wurden zum Abschluss zwei Workshops gestaltet – ein offener Workshop auf der GDCP Jahrestagung 2024 und ein Workshop bei dem Personen, die sich zuvor aufgrund eines offenen Aufrufs beworben haben, gezielt an der Weiterentwicklung des Programms arbeiten konnten. Nachfolgend werden Einblicke in den Ablauf und die Ergebnisse des offenen Workshops auf der Jahrestagung gegeben.

Ablauf und Ergebnisse des Workshops auf der GDCP Jahrestagung

Ziel des Workshops auf der GDCP Jahrestagung 2024 in Bochum war es, das *Mind the Gap!*-Programm im Kontext der herausfordernden Karrierephase "Postdoc" vorzustellen und kritisch zu diskutieren. Dazu wurden zunächst in einem kurzen Impuls die oben dargelegten Befunde zur zweiten Qualifizierungsphase vorgestellt. In einer anschließenden Erarbeitungsphase wurden diese durch Rekurs auf die zahlreichen Erfahrungen der 34 Teilnehmenden vertieft. Die Teilnehmenden stellten sich übergreifend Fragen wie etwa "Referendariat, Ja oder Nein", "Einwerben von Drittmitteln", "Vereinbarkeit von Familie und Beruf", "Psychische Gesundheit" oder "Priorisierung von Aufgaben", in der die oben beschriebenen Herausforderungen einer Qualifizierung in den Naturwissenschaftsdidaktiken im Spannungsfeld zwischen Forschung und Schulpraxis sowie zwischen Eigenständigkeit und Abhängigkeit erneut deutlich wurden. Die Überlegungen der Teilnehmenden wurden dabei auf Flipcharts festgehalten (siehe Abbildung 1). Ausgehend von diesen Problematisierungen wurde die Bedeutung eines Peer-Netzwerkes und daraus resultierende, bedarfsorientierte Unterstützungsangebote wie das *Mind the Gap!*-Programm für die zweite Qualifikationsphase in der Wissenschaft motiviert

und das Programm vorgestellt. Die Teilnehmenden brachten dem Programm viel Interesse gegenüber. Es wurde dabei deutlich, dass Finanzierungsangebote notwendig wären, um eine solche Art von Angeboten auch strukturell in den Naturwissenschaftsdidaktiken zu verorten. Daneben wurden im Workshop auch weitere Vorschläge für spezifische Qualifizierungsangebote entwickelt, wie bspw. ein Postdoc-Mentoring, Antrags-Buddies für die Drittmitteleinwerbung, die Ausrichtung eines Postdoc-Kolloquiums, spezifische Methodenworkshops oder generell das strukturierte Zugänglichmachen von Ressourcen (z.B. zur Betreuung von Doktorierenden, zu Berufungsverfahren, Personalmanagement etc.). Somit konnten im Rahmen des Workshops über die Gestaltung eines Netzwerkprogramms heraus, Unterstützungsformate entwickelt werden, deren Umsetzung vor dem Hintergrund finanzieller und zeitlicher Ressourcen ebenfalls diskutiert wurde.

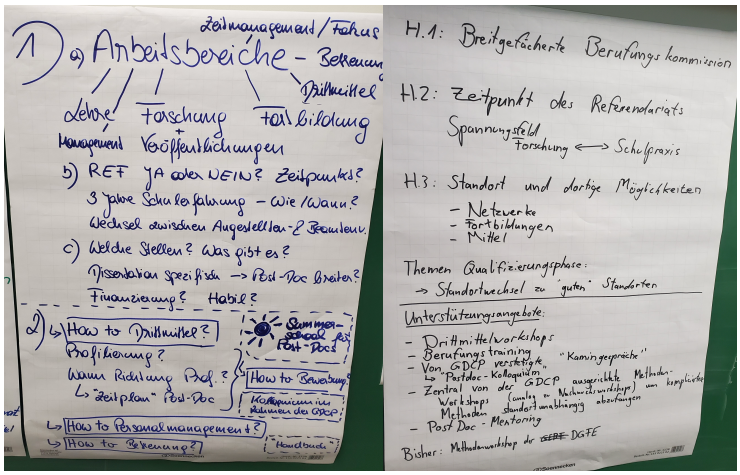


Abbildung 1. Beispielhafte Ideen und Vorschläge der Workshopteilnehmenden

Zusammenfassung und Diskussion

Die Qualifizierungsphase nach der Promotion stellt trotz zunehmender medialer Aufmerksamkeit in den letzten Jahren eine immer noch unzureichend beachtete Herausforderung in Deutschland dar. Für Personen außerhalb wie innerhalb des Systems Wissenschaft ist noch immer nicht ganz klar, wie diese Phase charakterisiert werden kann. Vor allem ist unklar, wie Wissenschaftler*innen in dieser Phase unterstützt werden können, um sich für weitere berufliche Perspektiven in, aber auch außerhalb der Wissenschaft qualifizieren zu können. Dies ist eine besondere Herausforderung in jüngeren Wissenschaftsdisziplinen mit sehr heterogenen Anforderungen, wie den Naturwissenschaftsdidaktiken. Hier bedarf es perspektivisch noch Klärung, welche idealtypisch erwünschten Anforderungen (GFD, 2022) wie in welchem Umfang erfüllt werden können und welche spezifischen Unterstützungsangebote dafür benötigt werden. Die in diesem Beitrag vorgestellten Überlegungen und Initiativen sollen einen ersten Beitrag dazu leisten. Dabei handelt es sich allerdings, um ein *Best-Practice*-Beispiel, das unter spezifischen Bedingungen von und für eine kleine Gruppe an "Gap-Wissenschaftler*innen" aus den Naturwissenschaftsdidaktiken entwickelt wurde. Inwieweit dies auf einen breiteren Kontext bzw. eine größere Gruppe übertragbar und verallgemeinerbar ist, ist nicht klar. Perspektivisch müssen für die Unterstützung von Wissenschaftler*innen in der zweiten Qualifizierungsphase in den Naturwissenschaftsdidaktiken jedoch, genau wie für die Wissenschaftler*innen in der ersten Qualifizierungsphase, festere Strukturen und Unterstützungsangebote geschaffen und nachhaltig implementiert werden. Hier sollten und müssen die fachdidaktischen Fachgesellschaften eine zentrale Rolle spielen.

Literatur

Bahr, A., Eichhorn, K., & Kubon, S. (2022). *#IchBinHanna. Prekäre Wissenschaft in Deutschland.* Suhrkamp.

Budd, A., Dinkel, H., Corpas, M., Fuller, J. C., Rubinat, L., Devos, D. P., Khoueiry, P. H., Förstner, K. U., Georgatos, F., Rowland, F., Sharan, M., Binder, J. X., Grace, T., Traphagen, K., Gristwood, A. & Wood, N. T. (2015). Ten Simple Rules for Organizing an Unconference. *PLoS Computational Biology*, *11*(1), e1003905. https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1003905

Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG). (2020). *Empfehlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e. V. zu Physikdidaktik-Professuren*. https://www.dpg-physik.de/veroeffentlichungen/publikationen/stellungnahmen-der-dpg/bildung-wissenschaftlicher-nachwuchs/pdf/empfehlung_physikdidaktikprofessuren_dpg.pdf

European Commission (2011). *Towards A European Framework For Research Carreers*. https://euraxess.ec.europa.eu/sites/default/files/policy_library/towards_a_european_framework_for_research_careers_final.pdf

Fabian, G., Heger, C., & Fedzin, M. (2024). *Barometer für die Wissenschaft. Ergebnisse der Wissenschaftsbefragung 2023.* Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung GmbH.

Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBIO e.V. (2023). *Empfehlungen zur Besetzung von Professuren für Biologiedidaktik*. https://www.vbio.de/fileadmin/user_upload/fachgesellschaften/images/Besetung_Professuren_Fachdidaktik_Kopie.pdf

Gesellschaft für Fachdidaktik (GFD). (2022). *Kriterien und Standards für Verfahren zur Besetzung fachdidaktischer Professuren: Positionspapier der Gesellschaft für Fachdidaktik*. https://www.fachdidaktik.org/wp-content/uploads/2022/03/GFD-Positionspapier-zur-Besetzung-fachdidaktischer-Professuren.pdf

Kauhaus, H., Franzmann, E., & Krause, N. (2018). *Zweite Jenaer Postdoc-Studie. Analysen zu Arbeitssituation, Qualifizierungsbedingungen und Karrierewegen von Jenaer Postdoktorandinnen und Postdoktoranden.* Report der Graduierten-Akademie, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Neumann, K., & Rumann, S. (2020). Notwendiges Referendariat? *Physik Journal, 19*(6), 16.

Nordling, L. (2023). Back From The Brink: Career Optimism On The Rise. *Nature*, *622,* 419-422. doi: 10.1038/d41586-023-03163-7

Ralle, B. (2012). *MINT-Fachdidaktiken in Deutschland. Eine Experteneinschätzung zur aktuellen Situation.* Deutsche Telekom Stiftung.

Russell, N. J., Schaare, H. L., Bellón Lara,. B., Dang, Y., Feldmeier-Krause, A., Meemken, M.-T., & Oliveira-Lopes, F. N. (2023). *Max Planck PostdocNet Survey Report 2022.* doi:10.17617/2.3507886.

Starauschek, E. (2005). Daten zur Lage der Chemie- und Physikdidaktik in Deutschland. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule, PhyDid, 1*(4), 1-9.

Frederic Richter-Bonin[1] [1]Besselgymnasium Minden
Antonia Kirchhoff[2] [2]Universität Bielefeld
Sophia Peukert[3] [3]TU Chemnitz
Patrick Maisenhölder[4] [4]PH Ludwigsburg
Marvin Rost[5] [5]AECC Chemie, Universität Wien

MINT trifft Philosophie – Reflexionen über die Zusammenarbeit

Der Workshop ist aus einem Kontakt zwischen der *Jungen GPED* (Gesellschaft für Philosophie- und Ethikdidaktik) und der *GDCP* geboren worden. Im April 2024 fand ein Auftakt der Initiative "MINT trifft Philosophie" mit 17 Teilnehmenden statt. An der zweiten Zusammenkunft im Workshop war der Großteil der ca. 25 Teilnehmenden Neu-Interessierte, die beim Auftakt nicht dabei waren. Die Begegnung der beiden Fachkulturen förderte das Bedürfnis sowie die Anschlussfähigkeit eines didaktischen Austausches zu Tage. So unterschiedlich die folgenden Workshop-Teile auch sind, eint sie das zugrundeliegende Anliegen nach Analyse der Komplexität: Naturwissenschaftlicher Unterricht ist mehr als der "WOW-Effekt", Philosophieunterricht ist keine "Laberei". Der Workshop bestand aus einem Input-Vortrag und vier Themen, die frei wählbar in Gruppen bearbeitet wurden.

Wie geht philosophieren? – Ein Vorschlag (Maisenhölder)

Die Fachdidaktik Philosophie und Ethik hatte und hat zum Ziel, Ansätze zu entwickeln, die das Philosophieren in Bildungskontexten anleiten können, um es so besser plan- und durchführbar und analysier- und evaluierbar zu machen. Das *Sokratische Gespräch* kann als das über Fachgrenzen hinaus bekannteste Beispiel hierfür zählen (vgl. Birnbacher, 2017).

Neuere Ansätze versuchen diese Idee weiterzuführen, aber gleichzeitig der Interdisziplinarität der Fachdidaktik gerecht zu werden (vgl. Bussmann, 2023). Im Anschluss an kognitionspsychologische Forschung geht man davon aus, dass man für fachdidaktische Überlegungen zum Philosophieren als Denkprozess eben jene Forschungsbereiche auf- und ernstnehmen muss, die das Denken untersuchen (vgl. Pfister, 2020). Frank Brosows TRAP-Mind-Theory mit ihrer zugehörigen Matrix kann als Modell des Philosophierens gelten, das dies umzusetzen versucht.

Die TRAP-Mind-Theory von Frank Brosow basiert auf der durch Kahneman (Kahnemann, 2011) und andere bekannt gewordene Zwei-System-Theorie. Diese teilt den Denkprozess in ein intuitives, automatisches *System 1* und ein langsames, kontrolliertes *System 2* auf. System 1 trifft auf Basis von Heuristiken schnelle Urteile. System 2 kann diese Urteile durch bewusste Reflexion überprüfen. Jedes dieser Systeme hat seine Stärken. System 1 ist jedoch das *Default-System*, während System 2 die *Interventionsinstanz* ist (Pfister et al., 2017, S. 347). Das heißt, die meiste Zeit über nutzen Menschen System-1-Prozesse. Das ist dann problematisch, wenn es in einem Bereich angewandt wird, in dem das langsame und reflektierte Denken ausschlaggebend sein sollte: Das Philosophieren ist so ein Bereich. Das Modell versucht deshalb systematisch System-2-Prozesse zu fördern.

Dies tut die TRAP-Mind-Theory dadurch, dass sie das zu systematisieren versucht, was man tut, wenn man philosophiert: problemorientiert Gründe sammelt und prüft (vgl. Brosow, 2020, 68). Das Ergebnis dieses Systematisierungsversuches ist die TRAP-Mind-Matrix (siehe Abb. 1).

Abb. 1: Brosow 2020

Brosow definiert drei Problembereiche. Probleme, über die man philosophiert, können in diesen drei Bereichen liegen: Verstehen, Bewerten und Handeln. Beim Verstehen geht es darum, Begriffe klar zu definieren und in Übereinstimmung mit bestehenden Vorstellungen zu bringen. Bewertungsprobleme beziehen sich auf Fragen der Wahrheit, Moral oder Ästhetik, während es beim Handeln um eine begründete Entscheidung zwischen konkurrierenden Maßstäben geht, etwa bei einem Wertekonflikt (vgl. Brosow, 2024, S. 59). Für naturwissenschaftliche Didaktiken ist hier wichtig, dass die Probleme keine philosophischen sein müssen. Auch hinsichtlich nicht-philosophischer Probleme lassen sich Überlegungen anstellen und prüfen. Etwa, wenn man mit einer Lerngruppe der Frage nachgeht, "warum der Mond (außer in Vollmondnächten) nicht als voller Kreis, sondern nur als Sichel oder Halbmond am Nachthimmel zu sehen [ist]"? (Brosow, 2024, S. 63f.) Hier lassen sich Behauptungen aufstellen, Gründe angeben und selbige, empirisch oder nicht-empirisch, auf Plausibilität prüfen. Diese Prüfung geschieht durch die Niveaus und die 3K2V-Kriterien. Das erste Niveau des Denkens macht deutlich, dass das Philosophieren immer von den Intuitionen der Philosophierenden ausgeht. Das ist notwendig für das Philosophieren, aber noch nicht hinreichend. Damit man wirklich vom Philosophieren sprechen kann, müssen Antworten und deren Gründe geprüft werden. Das geschieht durch die Frage nach dem Niveau des Grundes: Für wen kann dieser Grund ein guter Grund sein? Ist es ein subjektiver Grund des Philosophierenden (*Niveau des Nachdenkens*), ist es ein Grund, der für manche, beispielsweise aufgrund bestimmter weltanschaulicher Prämissen, ein guter Grund sein kann (*Niveau des Argumentierens*) oder ist es ein Grund, der von allen nachvollzogen werden kann, die bereit und fähig sind, sich auf einen unparteiischen Standpunkt zu begeben (*Niveau des Philosophierens*)? (vgl. Brosow, 2020, S. 67)

Um die Qualität von Gründen zu beurteilen und einzuschätzen, ob ein Grund wirklich auf diesem Niveau angesiedelt werden kann, führt Brosow die 3K2V-Kriterien ein: Klarheit, Korrelation, Konsistenz, Vollständigkeit und Vergleich. Diese Kriterien bilden die Grundlage für eine systematische Reflexion, da sie es ermöglichen, Gründe zu prüfen und gegen Alternativen abzuwägen. "Eine Überlegung, die mir selbst klar ist und, gemessen an meinen Erfahrungen, konsistent erscheint, muss nicht anderen klar erscheinen und, gemessen an ihren Erfahrungen, konsistent sein" (Brosow, 2020, S. 67f.).

Chemie lernen durch dogmatische Lehrsätze? (Richter-Bonin)

Eine philosophische Bildung erzieht zur kritischen Reflexion. Aus dieser werden epistemische Problematiken im Chemie-Curriculum beim Wechselspiel zwischen Empirie/Experiment und Theorie deutlich. Eine "generalisierende Induktion" stellt ebenso wie das "deduktive Verfahren ohne Bezug zu Hypothesen" (Sommer & Pfeifer, 2018, S. 83f) eine unzulässige Verkürzung dar. Wenn bei der Kritik an der "Pseudoinduktion" (Streller et al., 2019, S. 67f) auf Christen im Jahre 1990 verweisen, zeigt sich, dass diese Punkte keineswegs neu sind, sondern anhaltende Einwände darstellen. Kürzlich formulierte der OECD-Direktor Andreas Schleicher diese grundlegende Kritik durch einen Vergleich: "Wir unterrichten zum Beispiel die Wissenschaft wie Religion. Die Schüler sollen an irgendwelche Theorien glauben und die

Formeln runterbeten" (Schleicher, 2024) - wogegen es schon vor 45 Jahren hieß: "Ein unverstandenes Modell wird verordnet, die Naturwissenschaft wird als Dogma vermittelt" (Jaeckel & Rieß, 1979, S. 278).
Wie könnte demgegenüber ein Lehr-Lerngang aussehen, der auf durchdringendes Verstehen statt bloßem Akzeptieren der Inhalte zielt? In diesem Workshopteil wurde ein Beispiel aus dem Eingangsunterricht Chemie diskutiert: Die Unterscheidung *elementarer Stoff versus Verbindung*. Sie wird für gewöhnlich über das Paar Analyse-Synthese geführt: "Elementare Stoffe und Verbindungen sind Reinstoffe. Verbindungen können in elementare Stoffe zerlegt werden, während sich elementare Stoffe nicht weiter in andere Stoffe zerlegen lassen." (Gietz et al., 2019, S. 131) Doch wie lässt sich dieser Lehrsatz bezeugen? Den Anspitzer zu einem weißgrauen Pulver zu verbrennen ist eine Synthese oder Analyse? Ein dunkelgraues Pulver (Silberoxid) zu einem glänzenden Stoff und einem Gas zu erhitzen, ist was von beidem? Dies kann im Unterricht nicht geklärt werden, wie schon 1978 festgestellt (vgl. KM NRW 1978, S. 16). Hier werden dogmatisch Definitionen gesetzt, die auf erst viel später entwickelter Chemie-Theorie fußen und deshalb von den Lernenden schlicht geglaubt werden müssen.
In der Gruppenarbeit wurden diese Thesen zunächst zustimmend diskutiert und mögliche Auswege antizipiert. Neben widerstrebenden Äußerungen wie "Diese Fragen kommen gar nicht auf, wenn die Praxis funktioniert" oder "Wir stehen nun mal auf den Schultern von Riesen; es ist das Vorherige zu glauben und weiterzugehen" wurde auch in die vorbereitete Richtung gedacht: "Wie ist das denn in der Historie gewesen?". Denn anschließend wurde der Bestimmungsvorschlag von Wilhelm Ostwald angeboten: "Was ist also hiernach ein Element? - Ein Stoff, dessen Umwandlungsprodukte alle mehr wiegen als er selbst. - Ganz richtig!" (Ostwald, 1937 [1904], S. 65). Diese Begründung für die Unterscheidung von Element und Verbindung muss nicht geglaubt, sondern kann nachgeprüft werden. In der weiteren Besprechung wurden die beiden Definitionen als deduktiv vs. induktiv charakterisiert und weitere Fälle (Lösungsprozesse, Schwefel- und Kohlenstoffkonfigurationen, Fällungsreaktionen) in der kritischen Reflexion der Definition einer "chemischen Reaktion" diskutiert.

Was ist das Problem der epistemischen Undurchsichtigkeit computerbasierter Simulationen? (Kirchhoff)

Computerbasierte Simulationen spielen eine zunehmend bedeutende Rolle in Wissenschaft und Gesellschaft und sind, zusammen mit ihren didaktischen Vorteilen, aus diesem Grund auch aus einer *scientific literacy* Perspektive für den Chemieunterricht relevant (Seoane et al., 2022). In ihrem Bezug zur NOS sind es entsprechend auch wissenschaftsphilosophisch-epistemologische Überlegungen, die sowohl im Unterricht als auch in der Lehrendenbildung untersucht werden sollten. Computerbasierte Simulationen sind aufgrund der im Hintergrund stattfindenden Berechnungen mittels komplexer Approximationsalgorithmen epistemisch undurchsichtig (Humphreys, 2009, S. 618). Was genau also zwischen Ein- und Ausgabe passiert, ist unklar. In der Schule, wo die Rechenprozesse für die Schüler*innen nicht nur kognitiv, sondern auch tatsächlich technisch nicht zugänglich sind, wird dieser Effekt noch einmal verstärkt.
Vor diesem Hintergrund wurde in der Gruppenphase die übergeordnete Fragestellung "Wie gehen wir mit der epistemischen Undurchsichtigkeit computerbasierter Simulationen in naturwissenschaftlichen Lehr-Lern-Kontexten um?" diskutiert. Aufgrund Erfahrungen der Gruppenmitglieder zu KI wurde die hier besonders hervortretende und allgemein bekanntere

epistemische Undurchsichtigkeit als Anlass genommen, um erstens die Frage, warum das epistemologische Phänomen überhaupt ein Problem darstellt und zweitens, welche Ansätze im Umgang zur Verfügung stehen, zu diskutieren. Während erstere sich schnell durch Bezüge zu Reliabilität und Rechtfertigung auch in Bezug auf drohende Wissenschaftsskepsis bzw. lehrendengeleitete Überinterpretationen simulationsgenerierter Inhalte beantworten ließ, blieb zweitere bis zum Ende unbeantwortet. Diskutiert wurden Glass Box-Simulationen (Landriscina, 2013), Strategien zur Ergebnisbewertung und computationale Reliabilität (Durán & Formanek, 2018). Für alle drei konnten jedoch jeweils technische, epistemologische oder didaktische Schwierigkeiten herausgearbeitet werden. Insgesamt zeigt sich, dass neben der Nutzung wissenschaftsphilosophischer Grundlagen für Problembeschreibungen im Naturwissenschaftsunterricht auch Fragen nach dem folgenden unterrichtlichen Umgang bedeutsam sind und Potentiale für gemeinsame naturwissenschaftlich-philosophische Forschungsanstrengungen begründen.

Inwieweit kann ein Zusammenspiel zwischen dem Philosophieren mit Kindern und den MINT-Fächern gelingen? (Peukert)

Das Philosophieren mit Kindern (PmK) hat als Unterrichtsfach sowie als Unterrichtsprinzip zum Ziel, dass Kinder zu unterschiedlichen (philosophischen) Themen und Problemstellungen verschiedene Positionen, Erfahrungen und Denkweisen kennenlernen sowie sich mit diesen auseinandersetzen (Michalik, 2015). Diese Auseinandersetzung geschieht u. a. durch das Prüfen von Argumenten und Gründe sowie das kritische und selbstreflektierte Hinterfragen von eigenen Sicht- und Denkweisen (Brüning, 2015; Goebels, 2018; Kim, 2014). Ziel dieses Vorgehens ist, dass Kinder zu den zu untersuchenden Themen oder Problemstellungen zunehmend ein differenziertes Problemverständnis entwickeln (Michalik, 2015). Ausgehend von dem aufgezeigten Verständnis des PmK wurde in der Workshopgruppe herausgearbeitet, dass MINT-Fächer und das PmK (als Unterrichtsprinzip) im Zusammenspiel miteinander eine gelungene Kombination darstellen. Beide Disziplinen können sich gegenseitig im Kontext der (Grund-) Schule bereichern.

Als Bereicherung wurde die Möglichkeit eines Einstiegs durch das PmK in MINT-Unterrichtsthemen erkannt. Durch diese Art des Einstiegs werden Kinder dazu angehalten, ausgehend von ihren eigenen Vorstellungen, über naturwissenschaftliche Problemstellungen (Ist Luft nichts? Wo ist das Ende von der Unendlichkeit?) nachzudenken, sich im Austausch mit den Mitlernenden dazu zu äußern und (kritisch) zu positionieren. Die Kinder haben durch dieses Vorgehen die Möglichkeit, sich ihrer Haltung und ihres Vorwissens bewusst zu werden sowie kritisch über die Fragestellung nachzudenken. Weiterhin erhalten sie ggf. die Möglichkeit, mit Haltungen konfrontiert zu werden, die nicht ihren eigenen entsprechen. Die Ergebnisse aus dieser Einstiegsphase sollten in der Bearbeitung des Unterrichtsthemas wiederholt aufgegriffen und durch die Kinder regelmäßig geprüft und ggf. angepasst bzw. erweitert werden. Neben den genannten Aspekten erhält zudem die Lehrperson durch das aufgezeigte Vorgehen die Möglichkeit, die Präkonzepte der Lernenden zu dem jeweiligen Thema zu erfassen und auf diese in einem nächsten Schritt im Sinne des adaptiven Unterrichts einzugehen.

Eine weitere Bereicherung aus dem Zusammenspiel der beiden Disziplinen wurde darin gesehen, dass Kinder lernen, Wissen oder auf sie einströmende Informationen nicht bloß anzunehmen, sondern sie zunehmend auch kritisch zu hinterfragen. Gleiches trifft auf das bei

den Kindern vorliegende Vorwissen zu. Damit das aufgezeigte Zusammenspiel gelingt, benötigen Lehrpersonen jedoch ein gewisses "Handwerkszeug", um gelungene Fragen stellen und Reize setzen zu können, welche die Kinder zum Nachdenken, Gründe sammeln und prüfen anregen. An dieser Stelle besteht großer Handlungsbedarf bei der Lehrendenaus- und -weiterbildung.

Asymmetrien beim Modellieren (Rost)

Modelle sind in den Naturwissenschaften und im naturwissenschaftlichen Unterricht ein Kernbestandteil. Bemerkenswerterweise liegt eine starke Heterogenität bei der Bearbeitung ontologischer und erkenntnistheoretischer Fragestellungen zu Modellen in den Naturwissenschaftsdidaktiken vor (Rost & Knuuttila, 2022). Eine Ursache dieser Heterogenität sind Asymmetrien bei der Frage danach, in welchem Modus ein Modell als Artefakt konstruiert wird; als Idealisierung oder als Abstraktion. Idealisierungen werden im Allgemeinen als Verzerrungen des zu modellierenden Systems aufgefasst (Winkelmann, 2023; Carrillo & Martínez, 2022), während Abstraktionen typischerweise als das Entfernen von Systemkomponenten bei gleichzeitiger Erhaltung der wesentlichen Eigenschaften des Systems im Modell verstanden werden (Carrillo & Knuuttila, 2023). Beides hat Konsequenzen für die Modellierung von naturwissenschaftlichen Sachverhalten im Unterricht.

In der Workshop-Gruppe wurde erarbeitet, dass speziell das Verhältnis von Abstraktionen und Idealisierungen eine große Herausforderung darstellt. Im Fach Chemie liegt durch den Bezug zur Teilchenebene grundsätzlich kein einfaches Bewertungskriterium dafür vor, ob ein System idealisiert oder abstrahiert dargestellt wird. Das Einfärben oder anderweitig Markieren von Kugeln zur Darstellung von Atomen in einem Molekül wäre klarerweise der Idealisierung zuzuordnen: Farbe ist eine Stoff- und keine Teilcheneigenschaft. Andererseits berücksichtigt die Darstellung eines Atoms als Kugel dessen weitere subatomare Struktur nicht und kann insofern als Abstraktion, also Reduktion auf das Wesentliche, interpretiert werden. Wenn in der Physik der schräge Wurf modelliert wird, dann ist eine quadratische Gleichung zu lösen. Eine der Lösungen ist gelegentlich die Wurzel einer negativen Zahl, die keine physikalische Entsprechung hat. Das Weglassen dieser Lösung kann nicht aus der mathematischen Modellierung selbst stammen, sondern muss als Modellannahme, bzw. Randbedingung formuliert werden. Ob es sich dabei um eine Verzerrung oder um eine Reduktion handelt, bleibt unklar, weil die Abbildung des physikalischen Prozesses auf eine mathematische Struktur weder isomorph noch vollständig reversibel (Bueno & Colvan, 2011) ist. Wenn aber diese Modellierungsprozesse derart herausfordernd sind, dann ist es zumindest nicht verwunderlich, wenn sie einerseits in den verfügbaren Lehrmitteln systematisch verkürzt dargestellt werden (Rost, 2022) und von Lernenden auch entsprechend rezipiert werden. Es besteht also fachdidaktischer Handlungsbedarf zur weiteren Suche nach Konzeptualisierungen für Modellierungsprozesse. Dafür wiederum sollte die Community weitere Kompetenzen aufbauen. Der weitere Schulterschluss mit Philosophierenden ist für diese Arbeit lohnend.

Ausblick

Nach Vorstellung der Ergebnisse aus den Workshop-Teilen wurden in der abschließenden Aussprache mehrere Punkte aus dem Diskurs zum Input-Vortrag erneut aufgegriffen: Das Nennen und Reflektieren von Gründen, um Behauptungen zu stützen, scheint eine Verbindung der Philosophie- und Naturwissenschaftsdidaktik zu kennzeichnen. Dies ist der Kern von

Vermittlungsprozessen, in denen Novizen dazu befähigt werden, sich ein Welt- respektive Wissenschaftsverständnis anzueignen. Inwiefern für diese Kompetenzentwicklung *scaffolds* aus der Zusammenarbeit der beiden Fachdidaktiken resultieren, werden zukünftige Aktivitäten der Initiative "MINT trifft Philosophie" weiter eruieren.

Literatur

Brosow, F. (2020). Die DNA des Philosophierens: Philosophieren über Heimatverlust nach der TRAP-Mind-Theory. Zeitschrift für Didaktik der Philosophie und Ethik, 2, 64–81

Brüning, B. (2015). Philosophieren mit Kindern: Eine Einführung in Theorie und Praxis. LIT

Bueno, O., & Colyvan, M. (2011). An Inferential Conception of the Application of Mathematics. Noûs, 45(2), 345–374 https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1468-0068.2010.00772.x

Carrillo, N., & Knuuttila, T. (2022). Holistic idealization: An artifactual standpoint. Studies in History and Philosophy of Science, 91, 49–59 https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2021.10.009

Carrillo, N., & Knuuttila, T. (2023). Mechanisms and the problem of abstract models. European Journal for Philosophy of Science, 13(3), 27 https://doi.org/10.1007/s13194-023-00530-z

Durán, J. M. & Formanek, N. (2018). Grounds for Trust: Essential Epistemic Opacity and Computational Reliabilism. Minds and Machines, 28(4), 645–666 https://doi.org/10.1007/s11023-018-9481-6

Gietz, P.,Nelle, P. & Schumacher, E. (2020). Elemente Chemie. Ausgabe Nordrhein-Westfalen ab 2019, 1. Auflage. Stuttgart, Leipzig: Ernst Klett Verlag

Goebels, A. (2018). Kleine Eulen zieht es nach Athen: Über das Philosophieren mit Grundschulkindern eine empirische Studie zur Konzeption des Unterrichtsfaches Philosophie. Barbara Budrich

Humphreys, P. (2009). The philosophical novelty of computer simulation methods. Synthese, 169(3), 615–626

Jaeckel, K. & Rieß, F. (1979): Wissenschaftskritische Einwände gegen die Lerntheorie von Jean Piaget. In: Ewers, M. (Hrsg.): Wissenschaftstheorie und Naturwissenschaftsdidaktik. Bad Salzdetfurth: Franzbecker Didaktischer Dienst, 277–295

Kahneman, D. (2011). Thinking, fast and slow, London: Penguin Book

Kim, M. (2014). Der Beitrag des Philosophierens mit Kindern für Toleranz und ethische Reflexionsfähigkeit. Philosophie - ein Kinderspiel? Zugänge zur Philosophie in der Primarstufe. Tagungsband zur Fachtagung am 07. Dezember 2013 in Köln, 51–61

Kultusministerium des Landes Nordrhein-Westfalen und Ministerium für Wissenschaft und Forschung (28.07.1978). Vorläufige Richtlinien und Lehrpläne für das Gymnasium - Sekundarstufe I in NRW Ch Landriscina, F. (2013). Simulation and learning: A model-centered approach. Springer

Michalik, K. (2015). Philosophische Gespräche mit Kindern als Medium für Bildungsprozesse im Sachunterricht. In H. J. Fischer, H. Giest, & K. Michalik (Hrsg.), Bildung im und durch Sachunterricht. Verlag Julius Klinkhardt. 175–182

Oswald, W. ([1904] 1937). Die Schule der Chemie. Erste Einführung in die Chemie für jedermann. Braunschweig: Friedr. Vieweg & Sohn

Pfister, H.-R., Jungermann, H. & Fischer, K. (2017). Die Psychologie der Entscheidung. Eine Einführung, Berlin, Heidelberg: Springer

Rost, M. (2022). Sind Modelle Teilchenabbildungen? Eine Analyse österreichischer Chemieschulbücher mittels Natural Language Processing. CHEMKON, 29(S1), 325–330 https://doi.org/10.1002/ckon.202200018

Rost, M., & Knuuttila, T. (2022). Models as Epistemic Artifacts for Scientific Reasoning in Science Education Research. Education Sciences, 12(4), 276 https://doi.org/10.3390/educsci12040276

Schleicher, A. (18.06.2024). In Deutschlandfunk Campus & Karriere (Hrsg.), PISA-Sonderauswertung: Wie kreativ denken deutsche Schüler?

Seoane, M. E., Greca, I. M. & Arriassecq, I. (2022). Epistemological aspects of computational simulations and their approach through educational simulations in high school. SIMULATION, 98(2), 87–102

Sommer, K., Wambach-Laicher, J. & Pfeifer, P. (2018). Konkrete Fachdidaktik Chemie. Grundlagen für das Lernen und Lehren im Chemieunterricht. 1. Auflage, vollständige Neubearbeitung. Seelze: Friedrich Aulis.

Streller, S., Bolte, C., Dietz, D. & La Noto D., R. (2019). Chemiedidaktik an Fallbeispielen. Anregungen für die Unterrichtspraxis. Berlin: Springer Spektrum (Lehrbuch)

Winkelmann, J. (2023). On Idealizations and Models in Science Education. Science & Education, 277-295

Jens Damköhler[1]
Wolfgang Lutz[1]
Thomas Trefzger[1]

[1]Universität Würzburg

ChatGPT als Reflexionscoach
Einblicke in das Würzburger Lehr-Lern-Labor

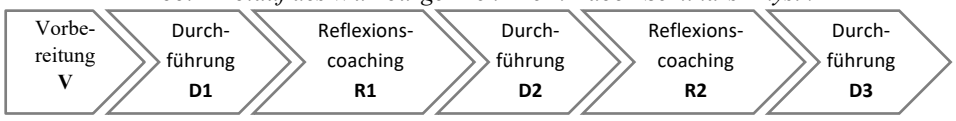
Einleitung

Mit der Veröffentlichung von ChatGPT im November 2022 begann ein bislang beispielloser technologischer Hype (Hu, 02.02.2023/2023), durch den bereits eine nachhaltige Veränderung von Bildungsprozessen und der Gestaltung von Unterricht angestoßen wurde (Samala et al., 2024). Im Rahmen des Würzburger KI-Projekts erhalten Lehramtsstudierende bei der Reflexion ihrer ersten Unterrichtserfahrungen im Lehr-Lern-Labor-Seminar Physik Unterstützung durch Chatbots auf Basis von ChatGPT. Neben der theoriegeleiteten Entwicklung der Gesprächsagenten steht die Evaluation des Lehrformats im Zentrum des Projekts.

Theoretischer Rahmen und Lehrveranstaltungsformat

Die Fähigkeit und Bereitschaft von Lehrkräften zur Reflexion eigener Erfahrungen wird u.a. im Bereich der Professionalisierung als sehr bedeutsam angesehen. Gelegenheiten zur Stärkung der Reflexionspraxis durch Erprobung und Einübung von Reflexionsprozessen erhalten Lehrkräfte im ersten Ausbildungsabschnitt vor allem im Rahmen von Praxisphasen, wie z.B. Lehr-Lern-Laboren mit iterativen Ansätzen (Damköhler, Elsholz & Trefzger, 2023). Das Würzburger Lehr-Lern-Labor-Seminar Physik ist ein Pflichtbestandteil der Lehramtsausbildung für Gymnasien und Realschulen (Völker & Trefzger, 2010) und basiert auf dem in Abb. 1 dargestellten iterativen Konzept.

Abb. 1 Ablauf des Würzburger Lehr-Lern-Labor-Seminars Physik



Während einer ca. zehnwöchigen Vorbereitungsphase (V) entwickeln die Studierenden, betreut von den Dozierenden, theoriebasiert jeweils eigene Experimentierumgebungen (Stationen), die sie in den kommenden Wochen im Rahmen dreier Besuche durch unterschiedliche Schulklassen (D1, D2, D3) erproben. In den Wochen zwischen den Durchführungsterminen (R1, R2) haben die Studierenden Gelegenheit zur Überarbeitung ihrer Stationen und zur Reflexion ihrer gesammelten Erfahrungen.

Dabei kommen in der hier beschriebenen Variante der Lehrveranstaltung zwei Chatbots zum Einsatz, die die Studierenden bei der Reflexion begleiten. Der erste Chatbot leitet die Studierenden bei Überlegungen zur Wirksamkeit ihrer Betreuung und zur Qualität ihrer Materialien an und unterstützt sie durch Vorschläge bei der Weiterentwicklung ihrer Station und der zugehörigen Betreuungsleistung. In einer Zulassungsarbeit zur Reflexionspraxis Studierender im Würzburger Lehr-Lern-Labor Physik findet Imhof (2024) Hinweise, dass Studierende zum zweiten Reflexionstermin geringeres Bestreben zeigen, über eine weitere Verbesserung ihrer Station nachzudenken, sondern sich tendenziell stärker auf Erklärungen

zu durchlebten Situationen fokussieren. Auf Grundlage dieser Erkenntnis wurde das ursprüngliche Konzept für den zweiten Chatbot (vgl. Damköhler, Lutz & Trefzger, 2024) so verändert, dass sich die Studierenden mit der eigenen Lehrpersönlichkeit auseinandersetzen können.

Realisierung der Reflexions-Bots

Die beiden Chatbots wurden auf Basis von ChatGPT (gpt4) über die in ChatGPT integrierte Entwicklungsumgebung für GPTs erstellt. Bei der Konzeption der Chatbots wurde passend zur jeweils zugrunde gelegten Theorie Material zur Verfügung gestellt und integriert. Auf dieses Material greifen die Chatbots im Gesprächsverlauf zurück. Es bezieht sich im Fall des ersten Chatbots auf die Basisdimensionen guten Unterrichtens (Praetorius, Klieme, Herbert & Pinger, 2018) und mit diesen in Zusammenhang stehende Kriterienkataloge, im zweiten Fall auf das Zwiebelmodell von (Korthagen, 2004).

In beiden Fällen wurde anhand der theoretischen Grundlage der Verlauf eines möglichen Coachinggesprächs antizipiert und in kleinere Sinneinheiten gegliedert. Das konkrete Handeln der Bots wurde dann durch Kombination der Hintergrundmaterialien mit dem Prompting einer präzisen Rollenbeschreibung, der Beschreibung allgemeiner Verhaltensweisen sowie des gewünschten Verhaltens innerhalb der einzelnen Gesprächsblöcke erzeugt. Vor der Konfrontation der Studierenden mit den Bots wurden diese in simulierten Coachinggesprächen zu unterschiedlichen Szenarien durch mehrere Testpersonen getestet.

Forschungsinteressen

Neben dem Ziel, ein möglichst authentisches Bild vom Erleben der Studierenden zu erhalten, war die Auswertung vor allem von der Frage geleitet, wie die Studierenden die KI-Unterstützung wahrnehmen und welchen Einfluss die technologischen Werkzeuge auf die Betreuungsbeziehungen haben. Dabei wurden u.a. folgende Fragestellungen verfolgt:

(F1) Inwiefern nehmen die Studierenden die KI als Betreuungs*person* wahr?
(F2) Welche Vorstellungen von KI beschreiben die Studierenden?
(F3) Welche ethischen Bedenken äußern die Studierenden?
(F4) Welche Vorteile sehen die Studierenden beim Einsatz der KI im Seminar?

Stichprobe und Untersuchungsmethode

Die Lehrveranstaltung, die im Sommersemester 2024 an der Universität Würzburg durchgeführt wurde, wurde von insgesamt 13 Studierenden besucht, von denen N = 12 im Rahmen von leitfadengestützten, ca. zehnminütigen Interviews durch die Dozierenden befragt wurden. Die entstandenen Gespräche wurden transkribiert und durch eine inhaltlich strukturierende qualitative Inhaltsanalyse (Kuckartz & Rädiker, 2022) unter Bildung induktiver Kategorien ausgewertet.

Die theoretische Grundlage für die Auswahl der betrachteten thematischen Aspekte bilden Facetten der Konstrukte AI Literacy und AI Self Management in der Darstellung von Carolus et al. (2023) nach Ng et al. (2022). Die Kategorienbildung innerhalb der einzelnen Themen erfolgte induktiv.

Ergebnisse

(F1) Die Studierenden geben in der überwiegenden Zahl (9) an, die Chatbots nicht als Personen wahrzunehmen, einige Studierende (3) zeichnen ein differenzierteres Bild. Die Einschätzung speist sich vor allem aus einer als künstlich empfundenen Gesprächsführung (9)

und einem als „aufgesetzt“ empfundenen Lob (6). Vier Studierende äußern allerdings Zweifel an der Unterscheidbarkeit von einem Chat mit einer realen Person.
(F2) Die Studierenden nennen unterschiedliche Vorstellungen zu ihrem Interaktionspartner. So werden z. B. die Vorstellung der KI als „programmiert“, „Maschine“, „Werkzeug“, „Suchmaschine“ oder Stellvertreter der Betreuer geäußert. Eine Studierende beschreibt die bemerkenswerte Vorstellung der KI als eine „neutralere“, weniger „voreingenommene“ Instanz.
(F3) Die Studierenden beschreiben unterschiedliche ethische Risiken. Diese betreffen potenziell unangebrachte Äußerungen (2) der KI, die fehlende Wahrheitsgarantie (3) mit der Befürchtung der KI fälschlicherweise zu vertrauen (1), bzw. diese zu überschätzen (1) sowie Bedenken zu Datenschutz (3) und Urheberrecht (1). Die überwiegende Zahl (9) der Studierenden sieht allerdings in Bezug auf das Seminarkonzept keine dieser Risiken als ausschlaggebend an, bzw. relativiert diese in diesem Zusammenhang.
(F4) Die Studierenden erkennen unterschiedliche Vorteile beim Einsatz der KI im Seminar. So beschreiben 5 Studierende eine Unterstützungsfunktion der KI-Werkzeuge, wobei sie hier auch Einsatzmöglichkeiten, die über die im Seminar gewählten hinausgehen, beschreiben. Einige Studierende (3) nennen eine Entlastungsfunktion für die Betreuer, z.B. durch Zeitersparnis, die ihnen die Möglichkeit eröffnet, z. B. auf individuelle Bedürfnisse einzugehen. Weitere Studierende (2) beschreiben konkret auf das Seminar bezogen die engere Führung bei der Reflexion und eine gewisse Beharrlichkeit als besonders gewinnbringend. Insgesamt 3 Studierende entdecken noch einen weiteren positiven Effekt des digitalen Reflexionspartners: Durch das Wegfallen einer – bei menschlichen Interaktionspartnern implizit unterstellten – Wertung durch die Chatbots wird eine emotionale Entlastung beschrieben. So können besonders heikle Überlegungen zunächst an einem nicht-wertenden Gesprächspartner getestet werden, bevor sie mit den Betreuern geteilt werden.

Die Erfahrungen mit dem Seminar und die Ergebnisse der Befragung ermutigen zur Weiterentwicklung des Konzepts. Ein eher gering ausgeprägtes Bewusstsein für Risiken, bzw. großes Vertrauen gegenüber dem Einsatz im Seminar mahnen aber zur Vorsicht. Losgelöst sei noch eine Erkenntnis geteilt: Ohne explizit danach gefragt worden zu sein, hoben neun der elf Studierenden die Bedeutung menschlicher, erfahrener Betreuungspersonen hervor.

Förderung

Das beschriebene Projekt wird im Rahmen von WueDive gefördert. WueDive ist ein von der „Stiftung Innovation in der Hochschullehre“ gefördertes Projekt zur Weiterentwicklung digitaler Lehre an der Universität Würzburg. WueDive initiiert und koordiniert mit der Einrichtung eines Digital Higher Education Hub die Auseinandersetzung mit neuen Lernanforderungen und Lerngelegenheiten.

Transparenzhinweis:

Bei der Anfertigung dieses Artikels wurden Werkzeuge der (generativen) KI zur Literaturrecherche, zur Gliederung des Artikels sowie versuchsweise zur Unterstützung bei der Datenauswertung verwendet. Sämtliche Aktivitäten wurden durch die Autoren überwacht und überprüft, so dass sie die Verantwortung entsprechend tragen.

Literaturverzeichnis

Carolus, A., Koch, M. J., Straka, S., Latoschik, M. E. & Wienrich, C. (2023). MAILS - Meta AI literacy scale: Development and testing of an AI literacy questionnaire based on well-founded competency models and psychological change- and meta-competencies. *Computers in Human Behavior: Artificial Humans*, *1*(2), 100014. https://doi.org/10.1016/j.chbah.2023.100014

Damköhler, J., Elsholz, M. & Trefzger, T. (2023). Förderung der Reflexionskompetenz im Lehr-Lern-Labor. Unterstützung der Entwicklung der Reflexionskompetenz Studierender in einem Lehr-Lern-Labor-Seminar. In H. Grötzebauch & S. Heinicke (Hrsg.), *PhyDid B, Didaktik der Physik. Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2023.* Bad Honnef: Fachverband Didaktik der Physik.

Damköhler, J., Lutz, W. & Trefzger, T. (2024). Der digitale Dozent. ChatGPT als Co-Pilot in der Lehrpersonenbildung. *PhyDid B*.

Hu, K. (Thomson Reuters, Hrsg.). (2023). *ChatGPT sets record for fastest-growing user base*. Analyst note. Verfügbar unter: https://www.reuters.com/technology/chatgpt-sets-record-fastest-growing-user-base-analyst-note-2023-02-01/

Imhof, T. (2024). *Reflexionspraxis bei Lehramtsstudierenden. Eine qualitative Untersuchung der Selbstreflexionsprozesse im Lehr-Lern-Labor-Seminar*. Schriftliche Hausarbeit im Rahmen der ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Grundschulen, Würzburg.

Korthagen, F. (2004). In search of the essence of a good teacher: towards a more holistic approach in teacher education. *Teaching and Teacher Education*, *20*(1), 77–97. https://doi.org/10.1016/j.tate.2003.10.002

Kuckartz, U. & Rädiker, S. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. Grundlagentexte Methoden* (Grundlagentexte Methoden, 5. Auflage). Weinheim, Basel: Beltz Juventa. Verfügbar unter: http://www.content-select.com/index.php?id=bib_view&ean=9783779955337

Ng, D. T. K., Luo, W., Chan, H. M. Y. & Chu, S. K. W. (2022). Using digital story writing as a pedagogy to develop AI literacy among primary students. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, *3*, 100054. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100054

Praetorius, A.-K., Klieme, E., Herbert, B. & Pinger, P. (2018). Generic dimensions of teaching quality: the German framework of Three Basic Dimensions. *ZDM – Mathematics Education*, *50*(3), 407–426. https://doi.org/10.1007/s11858-018-0918-4

Samala, A. D., Rawas, S., Wang, T., Reed, J. M., Kim, J., Howard, N.-J. et al. (2024). Unveiling the landscape of generative artificial intelligence in education: a comprehensive taxonomy of applications, challenges, and future prospects. *Education and Information Technologies*. https://doi.org/10.1007/s10639-024-12936-0

Völker, M. & Trefzger, T. (2010). Lehr-Lern-Labore zur Stärkung der universitären Lehramtsausbildung. In *Phydid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung in Hannover.* Bad Honnef: Fachverband Didaktik der Physik.

Wolfgang Lutz[1]
Jens Damköhler[1]
Thomas Trefzger[1]

[1]Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Künstliche Intelligenz
Akzeptanz und AI-Literacy unter Lehramtsstudierenden

Theoretischer Hintergrund

Die fortschreitende Digitalisierung und die dadurch bedingte Transformation schulischer Lehr- und Lernprozesse (Scheiter, 2017) stellen Lehrkräfte bei der Unterrichtsgestaltung immer wieder vor neue Herausforderungen (z.B. Eickelmann, 2018). Lehramtsstudierende müssen zukünftig diese Bildungsaufgaben übernehmen. Auch wenn die Studierenden von klein auf mit digitalen Medien aufgewachsen und scheinbar mit diesen Technologien vertraut sind, zeigt sich in der Forschung ein anderes Bild. Trotz der zunehmenden Relevanz digitaler Medien sammeln Lehramtsstudierende in ihrem Studium häufig zu wenig praktische Erfahrungen mit digitalen Technologien (Eickelmann, Bos & Labusch, 2019) und schätzen ihre digitalen Kompetenzen nur als mittelmäßig ein (Drossel & Eickelmann, 2018). Die Diskrepanz zwischen den digitalen Anforderungen und den unzureichenden Erfahrungen im Lehramtsstudium verdeutlicht einen akuten Handlungsbedarf. Somit gewinnen insbesondere die Auseinandersetzung mit neuen Technologien wie Künstlicher Intelligenz (KI) und deren Implementierung in die Lehre zunehmend an Bedeutung. Die Bereitschaft zur Auseinandersetzung mit KI bildet dabei eine wichtige Grundlage. Im Technologie-Akzeptanz-Modell (siehe Abb. 1) lassen sich zwei Einflussfaktoren auf die Einstellung und somit auf die Akzeptanz einer Technologie durch eine Person identifizieren: Der wahrgenommene Nutzen und die Benutzerfreundlichkeit. Aus diesen beiden Faktoren leiten sich sowohl positive als auch negative Einstellungen ab, die die Gesamteinstellung einer Person formen. Eine positive Einstellung fördert die Absicht zur Nutzung der Technologie, wohingegen eine negative Einstellung die Nutzungsabsicht verringert. Darüber hinaus kann die Nutzungsintention einer Technologie auch unabhängig von den individuellen Ansichten einer Person beeinflusst werden. Dies ist gegeben, wenn beispielsweise der Mehrwert oder die Effizienzsteigerung durch die Technologie offensichtlich erscheint. Die Nutzungsintention bedingt schließlich die tatsächliche Nutzung einer Technologie. Jede Nutzung einer Technologie führt automatisch zu Erfahrungen, sodass sich das Technologie-Akzeptanz-Modell um diese Komponente erweitern lässt. Durch positive Erfahrungen verstärkt sich nach Banduras Selbstwirksamkeitstheorie (Bandura, 1997) das Vertrauen in die eigene Kompetenz und es entsteht ein Gefühl der Kontrolle. Die erfolgreiche Anwendung einer Technologie kann auch den wahrgenommenen Nutzen steigern und sich positiv auf die Einstellung auswirken, da erfahrene Nutzer beispielsweise mehr Einsatzmöglichkeiten einer Technologie erkennen und ihnen die Bedienung aufgrund der Vertrautheit intuitiver erscheint.

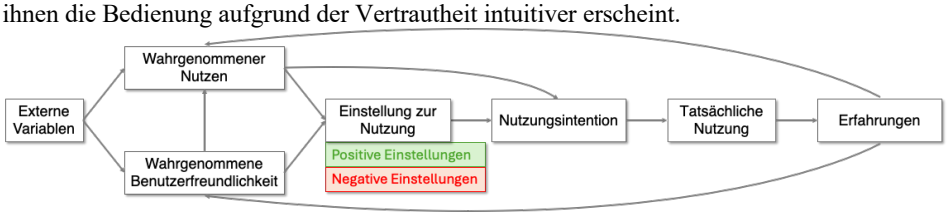


Abb. 1 Um Erfahrungen erweitertes Technologie-Akzeptanz-Modell (nach Davis, 1986)

Forschungsinteresse und Hypothesen

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Analyse der Einstellung und Kompetenzeinschätzung von Lehramtsstudierenden bzgl. KI in Abhängigkeit von bereits gesammelten Erfahrungen. Vor dem dargelegten theoretischen Hintergrund lassen sich folgende Hypothesen ableiten:

- Lehramtsstudierende sammeln im Studium zu wenig Erfahrungen mit digitalen Medien (Eickelmann, Bos, & Labusch, 2019), d.h. (H1) KI-Werkzeuge werden in Lehrveranstaltungen und auch von den Studierenden kaum genutzt.
- Die Einstellung einer Person zu einer Technologie ist ein entscheidender Prädiktor für die Nutzung (Davis, 1986), d.h. (H2) Lehramtsstudierende, die KI-Werkzeuge nutzen, sehen mehr Chancen und weniger Risiken bzgl. der Technologie als unerfahrene Studierende.
- Durch positive Erfahrungen erhöht sich das Vertrauen einer Person in die eigenen Kompetenzen (Bandura, 1997), d.h. (H3) Lehramtsstudierende, die KI-Werkzeuge nutzen, schätzen ihre KI-Kompetenzen, ihre Selbstwirksamkeit und ihre Selbstkompetenz höher ein als unerfahrene Studierende.

Studiendesign und Ergebnisse

Diesem Beitrag liegen Daten aus einer zu Beginn des Sommersemesters 2024 an der Universität Würzburg durchgeführten Online-Erhebung zugrunde. An der anonymen Studie beteiligten sich insgesamt 221 Lehramtsstudierende aller Fächer (60 m, 160 w, 1 d) unterschiedlicher Lehrämter (36,7 % GYM, 35,3 % GS, 15,4 % FS, 7,7 % RS, 5,0 % MS).

Im Rahmen der Erhebung haben die Studierenden auf einer vierstufigen Likert-Skala eingeschätzt, wie häufig KI-Werkzeuge in den von ihnen besuchten Lehrveranstaltungen eingesetzt wurden und wie häufig sie KI-Werkzeuge für ihr Studium nutzen. Hinsichtlich der Lehrveranstaltungen geben die Befragten an, dass KI-Werkzeuge bislang nie (75,1 %) bzw. nur selten (18,6 %) genutzt werden. Nur ein sehr geringer Anteil der Studierenden bewertet die Häufigkeit des Einsatzes als gelegentlich (5,4 %) bzw. regelmäßig (0,9 %). Im Vergleich dazu nutzen Lehramtsstudierende im Studium KI-Werkzeuge etwas häufiger (29,0 % gelegentlich, 6,8 % regelmäßig), obwohl auch hier noch ein erheblicher Anteil diese Technologie nie (40,3 %) oder nur selten (24,0 %) einsetzt. Die Studierenden, die angaben, KI-Werkzeuge für ihr Studium zu nutzen, erhielten automatisch eine ergänzende offene Frage zum spezifischen Nutzungszweck. In den Antworten wurden unter anderem die Unterstützung bei der Recherche für Hausarbeiten, das Lösen von Übungsblättern sowie die Vorbereitung auf Prüfungen genannt.

Basierend auf den angegebenen Erfahrungen im Einsatz von KI-Werkzeugen im Studium wurden die befragten Studierenden für die weiteren Analysen in zwei Erfahrungsgruppen aufgeteilt: Die erste Gruppe umfasst alle Studierenden ohne Nutzungserfahrungen und die zweite Gruppe diejenigen mit vorhandenen Erfahrungen. Zum Vergleich der Einstellungen bezüglich KI in den beiden erwähnten Gruppen wurde das Testinstrument GAAIS (Schepman & Rodway, 2023) genutzt. Der Test besteht aus zwölf Items zu positiven Einstellungen ($\alpha = 0.82$) und acht Items zu negativen Einstellungen ($\alpha = 0.78$), die auf einer fünfstufigen Likert-Skala bewertet werden. Eine einfaktorielle MANOVA zeigt einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Erfahrungsgruppen für die Mittelwerte der positiven und negativen Einstellungen als abhängige Variablen, $F(2, 218) = 18.5$, $p < .0001$, $\eta^2_{part} = 0.15$, Wilk's $\Lambda = 0.855$. In den post-hoc-Analysen zeigen die einfaktoriellen ANOVAs signifikante Unterschiede bei den positiven Einstellungen $F(1, 219) = 37.2, p < 0.0001$, $\eta^2_{part} = 0.145$ (große Effektstärke) und bei den negativen Einstellungen, $F(1, 219) = 4.76, p = 0.03$, $\eta^2_{part} = 0.021$ (kleine Effektstärke).

Mithilfe des Meta-AI-Literacy-Tests MAILS (Carolus et al., 2023) und einem Strukturgleichungsmodell (siehe Abb. 2) wurden übergeordnete Faktoren zur AI-Literacy (AILit), AI-Self-Efficacy (AISEff) und AI-Self-Competency (AISCom) im Umgang mit KI miteinander in Beziehung gesetzt. Die Fit-Indizes (CFI = .95, RMSEA = .052, SRMR = .055) sprechen für eine akzeptable bis gute Passung des Modells (Hu & Bentler, 1999; MacCallum et al., 1996), auch wenn der Chi-Quadrat-Test aufgrund der Komplexität des Modells signifikant ist ($\chi^2(381) = 625^{***}$).

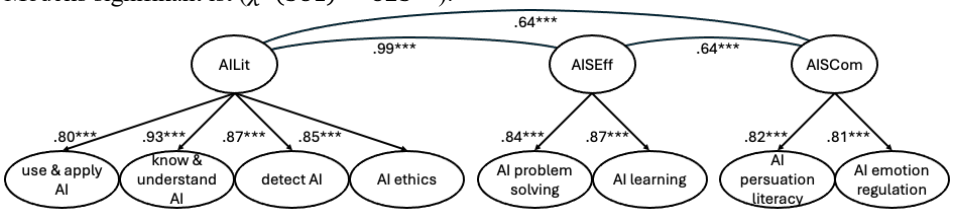


Abb. 2 Strukturgleichungsmodell zum Meta-AI-Literacy-Test (nach Carolus et al., 2023)

Eine einfaktorielle MANOVA zeigt einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Erfahrungsgruppen und den drei abhängigen Variablen AILit, AISEff und AISCom ($F(3, 217) = 12.58, p < .0001, \eta^2_{part} = 0.15$, Wilk's $\Lambda = 0.852$). In den post-hoc-Analysen zeigen alle einfaktoriellen ANOVAs signifikante Unterschiede:

- AILit: $F(1, 219) = 34.4,\ p < 0.0001,\ \eta^2_{part} = 0.136$ (mittlere Effektstärke)
- AISEff: $F(1, 219) = 34.7,\ p < 0.0001,\ \eta^2_{part} = 0.137$ (mittlere Effektstärke)
- AISCom: $F(1, 219) = 9.43,\ p = 0.002,\ \eta^2_{part} = 0.041$ (kleine Effektstärke)

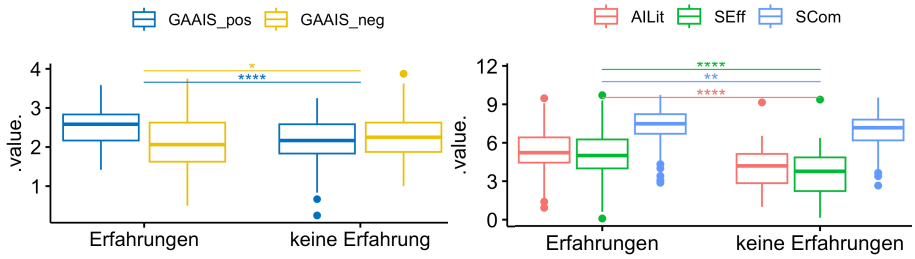


Abb. 3 Ergebnisse zum GAAIS (links) und MAILS (rechts) in Abhängigkeit der Erfahrungen

Ergebnisdiskussion und Ausblick

Ausgehend von den Ergebnissen können alle aufgestellten Hypothesen bestätigt werden. KI scheint bislang in der Hochschullehre noch eine untergeordnete Rolle zu spielen. Ein Großteil der Lehramtsstudierenden nutzt noch keine KI-Werkzeuge im Studium. Sie sehen im Vergleich zu Studierenden, die bereits KI-Werkzeuge verwenden, weniger Chancen und mehr Risiken dieser Technologie. Auch schätzen sie ihre Kompetenzen, ihre Selbstwirksamkeit und ihr Selbstkonzept niedriger ein. Das alles sind entscheidende Faktoren für die Bereitschaft, KI später im schulischen Kontext zu nutzen. Setzen sich Lehramtsstudierende selbst mit KI auseinander, erhöht dies die Wahrscheinlichkeit der zukünftigen unterrichtlichen Nutzung. Gleichzeitig birgt eine unreflektierte Nutzung ethische und datenschutzrechtliche Risiken. Umso wichtiger erscheint es, KI bewusst und didaktisch fundiert in die Hochschullehre zu integrieren. Damit dies gelingt, ist die empirische Erforschung innovativer Ideen wichtig. Ein Beispiel hierfür stellt das Würzburger KI-Projekt dar, bei dem Studierende mit Hilfe von ChatGPT im Rahmen eines Lehr-Lern-Labor ihre ersten Unterrichtserfahrungen reflektieren (Damköhler, Lutz & Trefzger, 2024).

Literatur

Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. Macmillan.

Damköhler, Lutz & Trefzger (2024). Das Würzburger KI-Projekt: ChatGPT als Reflexionscoach im Lehr-Lern-Labor-Seminar Physik. In: Johannes Huwer, Sebastian Becker-Genschow, Christoph Thyssen, Lars-Jochen Thoms, Alexander Finger, Lena von Kotzebue, Erik Kremser, Monique Meier, Till Bruckermann (Hrsg.). Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz Perspektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften. Münster: Waxmann.

Davis, F. D. (1986). A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems. *Theory and Results/Massachusetts Institute of Technology*.

Drossel, K., & Eickelmann, B. (2018). Die Rolle der Lehrerprofessionalisierung für die Implementierung neuer Technologien in den Unterricht–Eine Latent-Class-Analyse zur Identifikation von Lehrertypen. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, *31*, 166-191.

Eickelmann, B. (2018). Digitalisierung in der schulischen Bildung – Entwicklungen, Befunde und Perspektiven für die Schulentwicklung und die Bildungsforschung. In N. McElvany, F. Schwabe, W. Bos & H. G. Holtappels (Hrsg.), Digitalisierung in der schulischen Bildung. Chancen und Herausforderungen (S. 11–25). Münster: Waxmann.

Eickelmann, B., Bos, W., & Gerick, J. (2019): ICILS 2018 #Deutschland: Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking. Münster.

Eickelmann, B. & Gerick, J. (2018). Herausforderungen und Zielsetzungen im Kontext der Digitalisierung von Schule und Unterricht. Teil 3: Neue Aufgaben für die Schulleitung. SchulVerwaltung Hessen/Rheinland-Pfalz, 23(7–8), 200–202.

Hu, L. T., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal, 6(1), 1-55.

MacCallum, R. C., Browne, M. W., & Sugawara, H. M. (1996). Power analysis and determination of sample size for covariance structure modeling. Psychological Methods, 1(2), 130-149.

Scheiter, K. (2017). Lernen mit digitalen Medien – Potenziale und Herausforderungen aus Sicht der Lehr-Lernforschung. Schulmanagement Handbuch, 164(4), 33–47.

Schepman, A., & Rodway, P. (2023). The General Attitudes towards Artificial Intelligence Scale (GAAIS): Confirmatory validation and associations with personality, corporate distrust, and general trust. *International Journal of Human–Computer Interaction*, *39*(13), 2724-2741.

Michele Brott[1] [1]Universität Jena & Potsdam

Neue Perspektiven und Befunde zum Einsatz von KI in der Planung von Chemieunterricht (CUKI)

Bisheriger Forschungsstand

Nach der Veröffentlichung des frei zugänglichen Large Language Models ChatGPT im Winter 2022 wurde die Studie CUKI – Chemieunterricht geplant durch Künstliche Intelligenz – initiiert. Ziel der Studie ist es, zu untersuchen, inwieweit der Chatbot dazu in der Lage ist, qualitativ hochwertige Unterrichtsplanungen im Fach Chemie zu erstellen und ob er Lehramtsstudierende sowie Berufseinsteiger:innen bei der Unterrichtsplanung sinnvoll unterstützen kann. Im Mittelpunkt stehen dabei folgende Forschungsfragen: Welche Kriterien eignen sich zur sinnvollen Messung der Qualität von Unterrichtsplanungen? Können durch den Einsatz von ChatGPT didaktisch und methodisch hochwertige Chemiestunden entworfen werden? In welchem Maße hängt die Qualität der erstellten Planung von der individuellen Planungskompetenz der Anwender:innen ab? Und wie beurteilen die Studierenden ihre eigene Planungskompetenz sowie die Arbeit mit ChatGPT?

Eine Pilotierung mit sieben Masterstudierenden an der Universität Potsdam im Sommersemester 2023 lieferte erste Hinweise darauf, dass die Planungskompetenz der Teilnehmenden signifikant und mit hoher Effektstärke mit der Qualität der durch die KI generierten Planungen korreliert (Brott & Egerer, 2024a). Diese Ergebnisse sollten im Sinne des Design-Based-Research-Ansatzes in einer Wiederholungsstudie überprüft werden (Reinmann, 2005). Diese Ergebnisse werden im Folgenden vorgestellt und diskutiert.

Studiendesign der Wiederholungsstudie

Aufgrund anderer Rahmenbedingungen musste das Studiendesign für die Wiederholungserhebung angepasst werden. Diese fand im Sommersemester 2024 an der Universität Jena mit 21 Chemielehramtsstudierenden des vierten Semesters im Rahmen eines Seminars statt. Bei der Pilotierung handelte es sich um fortgeschrittene Studierende im achten Semester. Die Studie erstreckte sich über den ganzen Semesterverlauf und wurde in einem Pre-Post-Design angelegt. Dies war in der erneuten Erhebung nicht umsetzbar. In einer Seminarsitzung zur Grundlagenvorlesung Chemiedidaktik fand die Erhebung statt und die Studierenden erhielten die Aufgabe, innerhalb von 40 Minuten eine selbstständige Unterrichtsplanung für eine 90-minütige Doppelstunde zum Thema „Leitfähigkeit von Salzen und Salzlösungen“ zu erstellen. Hierzu wurden der Lehrplanausschnitt, eine fiktive Bedingungsanalyse, Lernziele mit zugehörigen Kompetenz- und Anforderungsbereichen sowie eine vorstrukturierte Planungstabelle vorgegeben. Durch die engen Vorgaben sollten der Zeitbedarf für die Planung und die Freiheitsgrade der Entwürfe reduziert werden, um eine bessere Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Im Anschluss daran sollten sie mithilfe von ChatGPT für die gleiche fiktive Lerngruppe eine weitere Stunde, diesmal zum Thema „Flammenfärbung“ planen. Dafür hatten die Studierenden 20 Minuten Zeit und haben wiederum Lernziele vorgegeben bekommen. Zum Abschluss der Seminarsitzung wurden die Studierenden zu ihren Einschätzungen der eigenen Planungskompetenz und der von ChatGPT sowie ihren Vorerfahrungen und Haltungen zum Chatbot befragt.

Anpassung des Untersuchungsinstrumentariums

Nach der Pilotierung ergaben sich einige Defizite im Forschungsinstrumentarium. Der grundlegende Aufbau und die theoretische Fundierung, die bereits im letzten Jahr vorgestellt wurden, blieben aber auch in dieser Erhebung erhalten (Brott & Egerer, 2024b). Demnach wurden die bereits beschriebenen 17 Kriterien für die Analyse der selbstständigen und der KI-generierten Planungen wiederum zur Bewertung der Planungsqualität herangezogen. Ein zusätzliches Kriterium „Gegenseitige Rückmeldung zum Lernprozess“ wurde in dieser Erhebung noch aufgenommen und bezieht sich auf die von Hattie (2008) herausgearbeiteten Einflussfaktoren für erfolgreiches Unterrichten. Aufgrund der geringen Proband:innenzahl und der semesterbegleitenden Durchführung war in der Pilotierung keine Anonymisierung bei der Erstellung der Verlaufsplanungen möglich, wohingegen die Befragung anonym erfolgte, eine Zuordnung zwischen Selbsteinschätzung und Bewertungsergebnis war damit nicht möglich. Die Wiederholungsstudie erfolgte dagegen komplett anonymisiert über die randomisierte Zuteilung einer Fallnummer für jede/n Teilnehmende/n. Die Studierenden gaben diese Nummer dann in einen personalisierten Online-Link ein und gelangten zum Dokument zur Erstellung der Planungen. Sie wählten außerdem das entsprechend nummerierte Chatfenster bei ChatGPT aus und gaben ihre Fallnummer in der abschließenden Befragung ein. Somit konnte eine eindeutige und gleichzeitig anonyme Zuteilung der verschiedenen Untersuchungsinstrumente erfolgen. In der Analyse der Daten aus der Pilotierung zeigte sich daneben, dass die Auswahl auf der gewählten 5-stufigen Skala zur Einschätzung jedes Kriteriums nicht trennscharf genug erfolgen konnte. Es wurde daher für die erneute Erhebung ein detailliertes Bewertungsmanual erstellt, das jeden Skalenwert jedes Kriteriums verbalisiert darstellt und damit die Auswahl wie die Bewertung der Planung objektiv ermöglicht. Tabelle 1 zeigt die Spezifizierung beispielhaft für eines der Kriterien.

Kriterium	**1** *Nicht erfüllt*	**2** *Weniger erfüllt*	**3** *Teilweise erfüllt*	**4** *Eher erfüllt*	**5** *Voll erfüllt*
Berück-sichtigung Lehrplan-vorgaben	Kein Lehr-plan-bezug erkenn-bar	Inhaltliche Vorgaben beachtet, keine weiteren geforderten Kompetenzen, Experimente, vorige Einheiten o. v.v.	Inhalt und Experiment einbezogen, keine weiteren geforderten Kompetenzen, vorige Einheiten o.v.v.	Einbindung geforderter Kompetenzen, Fachbegriffe, Experimente, Vorwissen nicht beachtet o. v.v.	Einbindung geforderter Kompetenzen, Fachbegriffe, Experimente, Berücksichti-gung des Vorwissens

Tab. 1 Bewertungsmanual für die Einschätzung der Planungsqualität

Schließlich wurde auch die Befragung noch einmal überarbeitet und die Einschätzung der eigenen Planung sowie der ChatGPT Planung genau an die Kriterien des Manuals angepasst, um Selbst- und Fremdeinschätzung passender abgleichen zu können. Auf Grundlage des TAM-Modells (Davis, 1989) wurde außerdem die Haltung zum KI-Tool erfasst.

Diskussion der Ergebnisse

Zunächst sollen die Vorerfahrungen und Haltungen der Stichprobe gegenüber ChatGPT dargelegt werden. Von den 21 Proband:innen kannten 20 den Chatbot bereits, 16 hatten ihn schon im privaten, 18 im universitären und zwei im beruflichen Kontext verwendet. Im universitären Bereich gaben 17 an, es für Recherchezwecke nutzen, 14 zur Vertiefung des eigenen Wissens, zwei zur Erstellung von Mails oder Briefen, sechs zur Erstellung wissenschaftlicher Texte, vier zur Erstellung von Präsentationen, 15 zur Bearbeitung von Seminaraufgaben, acht zur Erstellung von Unterrichtsplanungen, zwei für die Erstellung von Schüler:innenaufgaben und eine Person zur Kontrolle von Schüler:innenaufgaben. Von den acht Studierenden, die es bereits für die Unterrichtsplanung verwendet hatten, haben alle damit einen Verlaufsplan erstellt, fünf haben sich Lernziele formulieren lassen, zwei haben Unterrichtsmaterial damit entwickelt und jeweils eine Person gab an, eine Bedingungsanalyse, Sachanalyse und didaktische Reduktion damit erstellt zu haben. Die Proband:innen gaben an, dass ihnen die Arbeit mit ChatGPT Spaß macht (M=4,38) und ihnen die Arbeit mit dem Tool leicht fällt (M=4,57). Außerdem sind sie der Ansicht, dass sie zielführende Prompts für den Chatbot formulieren können (M=4,24). Die Studierenden stimmten hingegen eher nicht zu, dass man die Antworten der KI immer unverändert übernehmen kann (M=2,48). Einige haben Bedenken, was die Entwicklungen auf dem Gebiet der KI betrifft (M=3,24), aber ethisch verwerflich finden die meisten den Einsatz nicht (M=2,09).

Nun sollen die Selbst- und Fremdeinschätzungen zur Bewertung der Unterrichtsplanungen ausgewertet werden. Es hat sich gezeigt, dass die Studierenden sowohl ihre eigenen Planungen als auch die von ChatGPT generierten deutlich besser einschätzten, als dies die Fremdbewertung über das Manual ergab. Hier lässt sich mutmaßen, dass dies auf das Alter und die bislang wenige Unterrichtserfahrung und damit geringere Reflexionskompetenz zurückzuführen sein könnte. Außerdem zeigte sich, dass die Mehrzahl der mit ChatGPT geplanten Stunden schlechter abschneidet, sowohl nach der Selbst- als auch nach der Fremdeinschätzung. Anders als in der Pilotierung gab es aber diesmal durchaus Fälle, wo die KI-generierte Stunde besser abschnitt, sowohl in der Selbst- als auch in der Fremdeinschätzung jeweils bei 7 von den 21 Proband:innen. Auch dies lässt sich einerseits über die fehlenden Erfahrungen in der Unterrichtsplanung der Stichprobe im Vergleich zu den fortgeschrittenen Studierenden der Pilotierung begründen. Ein weiterer Grund für das unterschiedliche Ergebnis dürfte die Nutzung der aktuelleren Version des Chatbots gewesen sein. In der Pilotierung wurde mit GPT 3.5, in dieser Erhebung mit GPT 4o gearbeitet.

In Hinblick auf die Forschungsfragen werden abschließend Gruppenunterschiede und Zusammenhänge besprochen. Zunächst wurde überprüft, ob sich Unterschiede in der Planungsqualität ergeben, wenn man die Kriterien der vorigen Unterrichtserfahrung, der Intensität der Nutzung von ChatGPT oder auch der Vorerfahrung bei der Erstellung von Verlaufsplänen mit ChatGPT heranzieht. Allerdings ergaben sich in keiner der Berechnungen signifikante Unterschiede. Dagegen zeigten sich auch in dieser Erhebung wieder signifikante Korrelationen mittlerer bis hoher Effektstärke zwischen den Mittelwerten der Planungsqualität der selbstständigen und der mit ChatGPT generierten Stundenplanung, sowohl bei der Berechnung aus den Daten der Selbsteinschätzung der Studierenden *(Pearson $r=0,457$; $a=0,037$; Spearman $\rho=0,654$; $a=0,004$)* als auch bei denen der Fremdbewertung *(Pearson $r=0,585$; $a=0,009$; Spearman $\rho=0,653$; $a=0,002$ unter Ausschluss zweier Ausreißerfälle)*. Insgesamt kann nun die in der Pilotierung formulierte Hypothese, dass die Qualität der mit ChatGPT erstellten Planungen umso höher ist, je größer die Planungskompetenz der Anwender:innen ist, anhand dieser Wiederholungsstudie bestätigt werden.

Literatur

Brott, M., Egerer, C. (2024a): Kann ein Chatbot die Vorbereitung für den Chemieunterricht übernehmen? Eine Analyse der Qualität von Unterrichtsplanungen von ChatGPT und Chemielehramtsstudierenden. In: MNU Journal 77(2), S.104-110.

Brott, M., Egerer, C. (2024b): CUKI – Chemie Unterricht geplant durch künstliche Intelligenz. In: van Vorst, H. (Hrsg.): Frühe naturwissenschaftliche Bildung. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Hamburg 2023.

Davis, F. D. (1989): Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use and User Acceptance of Information Technology, MIS Quarterly, 13(3), S. 319-340.

Hattie, J. (2008): Visible Learning. A Synthesis of over 800 Meta-Analyses relating to Achievement. London: Routledge.

Reinmann, G. (2005). Innovation ohne Forschung? - Ein Plädoyer für den Design-Based Research-Ansatz in der Lehr-Lernforschung. In: Unterrichtswissenschaft 33 (1), S. 52-67.

Johannes Huwer[1,2]
Lars-Jochen Thoms[1,2]
Nikolai Maurer[1,2]
Mathea Brückner[1,2]
Sandra Berber[1,2]
Sabrina Syskwoski[1,2]
Lena von Kotzebue[3]
Till Bruckermann[4]
Alexander Finger[5]
Erik Kremser[6,1]
Christoph Thyssen[7]
Monique Meier[8]
Sebastian Becker-Genschow[9]

[1]Universität Konstanz
[2]Pädagogische Hochschule Thurgau
[3]Paris Lodron Universität Salzburg
[4]Leibniz Universität Hannover
[5]Universität Leipzig
[6]Technische Universität Darmstadt
[7]Pädagogische Hochschule Freiburg
[8]Technische Universität Dresden
[9]Universität zu Köln

Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz – DiKoLAN KI

Systeme, welche auf Künstlicher Intelligenz (KI) basieren oder umfänglich nutzen, sind bereits fester Bestandteil des Lebens- und Arbeitsalltags geworden. Der Einfluss von KI auf die Gesellschaft als eine der zentralen Technologien des 21. Jahrhunderts wird nicht erst in ferner Zukunft weiter wachsen. Dies gilt insbesondere auch für das Bildungssystem, das auf allen Ebenen – von der Schule über die Hochschulen bis hin zur Erwachsenenbildung – davon betroffen ist. KI-basierte Anwendungen haben das Potenzial, Lehr-Lernprozesse zu verbessern und Tätigkeiten von Lehrenden effizienter zu gestalten, im Besonderen auch in der Schule. Die Studie „KI@Bildung: Lehren und Lernen in der Schule mit Werkzeugen Künstlicher Intelligenz“ (Deutsche Telekom Stiftung, 2021) identifiziert drei Ebenen, auf denen KI-Anwendungen ihre Wirksamkeit entfalten können: auf der Mikro-Ebene des einzelnen Lernenden z. B. durch „Selbstgesteuertes Lernen“ oder „Üben und Trainieren“, auf der Meso-Ebene der Klasse u. a. durch „Lernstandsanalysen“ und „Individuelle Förderung“ (beides Teil von formativen Assessment) und auf der Makro-Ebene der Schule u. a. mittels „Leistungsprognosen“ und „Schulplanung“.

Hervorzuheben ist jedoch, dass mit diesen Möglichkeiten auch nicht zu vernachlässigende Risiken einhergehen. Man denke nur an die mit wachsenden Datenmengen immer wichtiger werdenden Bereiche Datenschutz und -sicherheit oder eine mögliche Benachteiligung von bestimmten Personengruppen („Bias“). Vor diesem Hintergrund kommt den Lehrpersonen eine besondere Verantwortung zu: „Lehrkräfte und Schulleitungen spielen eine zentrale Rolle bei der erfolgreichen Einführung von KI-Systemen [...]. Deshalb ist es von Bedeutung, dass [sie] die Chancen und Herausforderungen der Nutzung von KI-Systemen kennen und verstehen und wissen, wie sie das Lehren, Lernen und Bewerten verbessern können.“ (Ethische Leitlinien für Lehrpersonen über die Nutzung von KI und Daten für Lehr-Lernzwecke, Europäische Kommission, 2022). Solche Kompetenzen müssen sukzessiv über alle drei Phasen der Lehrpersonenbildung (weiter-)entwickelt werden. Dem stimmt auch die Kultusministerkonferenz zu: In der Ergänzung zur Strategie „Bildung in der Digitalen Welt“ wird festgehalten (KMK, 2021): „Dementsprechend sollte die Lehrerbildung angepasst werden, […] um […] zukunftsweisende Kompetenzen in den Handlungsfeldern Künstliche Intelligenz, Big Data, automatisierte Entscheidungssysteme, virtuelle Realität, und Datenschutz […] integrieren zu können.“ Neben der reinen Kompetenzvermittlung kann die geforderte Integration auch den positiven Effekt haben, dass Ängste und Vorbehalte

gegenüber dieser neuen Technologie bei (angehenden) Lehrpersonen abgebaut und so die Bereitschaft zur Implementation in den regulären Unterricht erhöht werden kann. Es bedarf jedoch einer phasen- und fachspezifischen Konkretisierung, sodass ein transparenter und kumulativer Kompetenzaufbau ermöglicht wird.

Künstliche Intelligenz erfordert mehr als technisches Wissen

Der Orientierungsrahmen DiKoLAN PLUS (Meier et al., 2024) dient zur systematischen Erfassung und Strukturierung von digitalen Basiskompetenzen angehender Lehrpersonen in den Naturwissenschaften. Gegenüber DiKoLAN (Becker et al., 2020) um den Kompetenzbereich „Assessment, Feedback und Adaptivität“ erweitert, beschreibt DiKoLAN PLUS die Tätigkeiten unterrichtlichen Handelns in den Naturwissenschaften. Jeder dieser Kompetenzbereiche operationalisiert fachspezifische Kompetenzerwartungen an angehende Lehrpersonen. Diese dienen nicht nur zum Abgleich des Kompetenzstands von Lehrpersonen (z. B. im DiKoLAN-Grid, von Kotzebue et al., 2021), sondern sind zugleich auch Strukturierungshilfe für eine koordinierte Lehre im Sinne eines spiralcurricularen Kompetenzaufbaus in der Lehrpersonenbildung (von Kotzebue et al., 2021). Dem Orientierungsrahmen DiKoLAN liegt als strukturgebendes Modell u. a. das TPACK-Modell (Technological Pedagogical Content Knowledge) von Mishra und Koehler (2006) zugrunde, wobei zusätzlich erste Aspekte der Digitalität insbesondere im Bereich „Technological Pedagogical Knowledge (TPK)” expliziert wurden (Huwer et al., 2019).

KI reicht jedoch (und dies mit großer Geschwindigkeit) in alle Lebensbereiche, insbesondere im Bereich der Gesellschaft, Bildung oder auch Fachwissenschaften derart grundlegend hinein, dass das TPACK-Modell allein nicht mehr ausreicht, um die für Lehrpersonen relevanten Facetten von KI-Systemen zu erfassen (Mishra et al., 2023). Im Kontext von DiKoLAN bedeutet dies, dass gerade im Fall von KI-Systemen „Technological Knowledge (TK)” (und die daraus resultierenden Schnittmengen) nicht alleinig im Vordergrund stehen, sondern vielmehr Digitalität, z. B. über soziokulturelle Aspekte, berücksichtigt werden muss. Die diesbezüglich erweiterte Perspektive des DPACK Modells (Thyssen et al., 2023) wurde daher für die Konzeption von DiKoLAN^{KI} mit berücksichtigt.

Lernen mit und Lernen über KI

Künstliche Intelligenz verändert jedoch nicht nur gesellschaftliche oder bildungsbezogene Aspekte des Lebens, sondern verändert auch, wie in den Bezugswissenschaften Chemie, Biologie und Physik geforscht wird. Beispiele hierfür reichen von Vorhersagen von Reaktionen oder Materialeigenschaften bis hin zur Modellierung bei inversen Moleküldesigns oder auch Proteinfaltungen mit AlphaFold. So wird KI mittlerweile zu den zehn wichtigsten aufstrebenden Technologien in der Chemie gezählt (Gomollón-Bel, 2023). Somit steht jede Lehrperson vor der Aufgabe, ja in der Pflicht, das Lehren und Lernen mit und über KI-Systeme systematisch in den eigenen Fachunterricht zu integrieren. Diese Perspektive greift DiKoLAN^{KI} auf, indem nicht nur das Lernen mit, sondern insbesondere auch das Lernen über KI-Systeme, integriert wird.

Integration technischer und informatischer Basiskompetenzen sowie rechtlicher Rahmenbedingungen

Die Kompetenzbereiche von DiKoLAN und DiKoLAN PLUS werden von „Technischen Basiskompetenzen“ sowie „Rechtlichen Rahmenbedingungen“ eingerahmt. Diese beiden Bereiche und die daraus resultierenden Kompetenzen von Lehrpersonen sind besonders wichtig, damit fachspezifischer Unterricht mit und über KI stattfinden kann: Im Gegensatz zu

allgemeinen rechtlichen Regelungen bzgl. des Einsatzes digitaler Technologie sind spezifische rechtliche Rahmenbedingungen und Regelungen für den Einsatz von KI aktuell in der Erarbeitung bzw. im politischen Abstimmungsprozess (vgl. AI Act der EU). Lehrpersonen müssen also nicht nur die Potenziale von KI-Systemen kennen, sondern auch kompetent im Umgang mit den Gefahren, die beim (unsachgemäßen) Umgang existieren oder entstehen können. Solange konkrete und explizite gesetzliche Regelungen auf Länderebene fehlen, erscheint es daher erforderlich, dass Lehrpersonen im Rahmen ihrer Möglichkeiten eine Gefährdungsabschätzung vornehmen, wie sie in den Naturwissenschaften unter dem Begriff der „Gefährdungsbeurteilung" etabliert ist, um potenzielle Gefahren, die aus einem Mangel an Erfahrungswerten und Vorgaben resultieren können, zu minimieren. Um diese Aufgabe adäquat bewältigen und zugleich die technischen Potenziale neuer Technologien erschließen zu können, ist es essenziell, dass Lehrpersonen nicht nur technische, sondern auch informatische Grundkompetenzen erwerben (vgl. Diethelm et al., 2023; KMK, 2021; SWK, 2022). Dies betrifft auch die fachspezifische Integration dieser informatischen Grundkompetenzen (Braun & Huwer, 2022; Banerji et al., 2021; Barkmin et al., 2020).

DiKoLAN^{KI}

Die grundlegende Struktur von DiKoLAN und DiKoLAN PLUS resultiert aus der Betrachtung und Beschreibung, von wesentlichen Feldern und Tätigkeiten unterrichtlichen Handelns. Da KI allein keine unterrichtliche Handlung, sondern vielmehr eine dabei nutzbare Technologie ist, ist es sinnvoller, relevante KI-bezogene Kompetenzen als konkrete, operationalisierte Einzelkompetenzen innerhalb der Kompetenzbereiche von DiKoLAN zu erfassen.

Das Ergebnis dieses Vorgehens zeigt, dass die Kompetenzbereiche von DiKoLAN PLUS als Betrachtungsweise für eine auf naturwissenschaftlichen Unterricht bezogene Reflexion einer neuen Technologie wie KI erfolgreich anwendbar sind und damit Lehrpersonenbildung auch für zukünftige Technologien strukturieren können.

Entsprechend lassen sich analog zum Vorgehen in der Genese von DiKoLAN und DiKoLAN PLUS Kompetenzerwartungen formulieren und nach Kompetenzbereichen, Kompetenzniveaus und Schwerpunkten sowie dem TPACK/DPACK-Modell strukturieren.

Die konkrete Operationalisierung in DiKoLAN^{KI} wird generiert, indem ausgehend von den Kompetenzerwartungen von DiKoLAN PLUS in einem Dreischritt Kompetenzerwartungen erschlossen werden:

1) Substitution: Diese einfachste Variante ergibt sich, wenn sich digitale Kompetenzen nahezu 1:1 auf KI-bezogene Kompetenzen übertragen lassen, indem das Wort „digital(e)" durch „KI-bezogene" ersetzt wird.
2) Augmentation: Hier müssen bestehende digitalisierungsbezogene Kompetenzen in spezifische KI-Kompetenzen überführt werden, da neue Aspekte in den Fokus rücken und dies erweiterte und präzisere Formulierungen erfordert.
3) Neudefinition: Diese Variante ergänzt neue Kompetenzen, die in vergleichbarer Form in den bisherigen digitalisierungsbezogenen Kompetenzen nicht vorhanden waren, wodurch die Kompetenzstruktur neu definiert wird.

DiKoLAN^{KI} wurde in mehreren iterativen Zyklen vom Expert*innenteam der AG Digitale Basiskompetenzen und Expert*innen aus der Bildung entwickelt.

Fazit

Lehrpersonen werden zukünftig umfassende fachspezifische Kompetenzen für den naturwissenschaftlichen Unterricht mit und über KI benötigen. Der Orientierungsrahmen

DiKoLAN kann als effizientes und für digitalisierungsbezogene Kompetenzen etabliertes Hilfsmittel für die strukturelle Gliederung und curriculare Verortung KI-bezogener Kompetenzen im naturwissenschaftlichen Lehrberufsstudium dienen. DiKoLAN^{KI} ist das Ergebnis dieses Strukturierungsprozesses.

Literatur

Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C., & Kotzebue, L. v. (2020). Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN. In S. Becker, J. Meßinger--Koppelt, & C. Thyssen (Eds.), Digitale Basiskompetenzen – Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften (pp. 14-43). Joachim-Herz-Stiftung

Banerji, A., Thyssen, C., Pampel, B., & Huwer, J. (2021). Naturwissenschaftsunterricht und Informatik – bringt zusammen, was zusammen gehört?! ChemKon, 28(6). https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ckon.202100008

Barkmin, M., Berger, N., Bröll, L., Huwer, J., Menne, A., & Seegerer, S. (2020). Informatik für alle?! - Informatische Bildung als Baustein in der Lehrkräftebildung. In M. Beißwenger, B. Bulizek, I. Gryl, & F. Schacht (Eds.), Digitale Innovationen und Kompetenzen in der Lehramtsausbildung (pp. 99-120). https://doi.org/https://doi.org/10.17185/duepublico/73330

Braun, D., & Huwer, J. (2022). Computational literacy in science education–A systematic review. Frontiers in Edcuation, 7:937048. https://doi.org/10.3389/feduc.2022.937048

Deutsche Telekom Stiftung. (2021). KI@Bildung: Lehren und Lernen in der Schule mit Werkzeugen Künstlicher Intelligenz. Elektronisch. Zugriff am 27.09.2023 auf https://www.telekom-stiftung.de/sites/default/files/files/media/publications/KI Bildung Schlussbericht.pdf

Europäische Kommission, Generaldirektion Bildung, Jugend, Sport und Kultur. (2022). Ethische Leitlinien für Lehrkräfte über die Nutzung von KI und Daten für Lehr- und Lernzwecke. Elektronisch. Zugriff am 27.09.2023 auf https://data.europa.eu/doi/10.2766/494

Kultusministerkonferenz. (2021). Ergänzung zur Strategie der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt“. Zugriff am 27.09.2023 auf https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2021/2021_12_09-Lehren-und-Lernen-Digi.pdf

Gomollón-Bel, F. (2023). IUPAC’s 2023 Top Ten Emerging Technologies in Chemistry. Chemistry International, 45(4), 14-22. https://doi.org/doi:10.1515/ci-2023-0403

Huwer, J., Irion, T., Kuntze, S., Schaal, S., & Thyssen, C. (2019). Von TPaCK zu DPaCK - Digitalisierung des Unterrichts erfordert mehr als technisches Wissen. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht(5), 358-364.

Kotzebue, L. v., Meier, M., Finger, A., Kremser, E., Huwer, J., Thoms, L.-J., Becker, S., Bruckermann, T., & Thyssen, C. (2021). The Framework DiKoLAN (Digital Competencies for Teaching in Science Education) as Basis for the Self-Assessment Tool DiKoLAN-Grid. education sciences, 11(12), 775. https://www.mdpi.com/2227-7102/11/12/775

Meier, M., Thyssen, C., Becker-Genschow, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Thoms, L.-J., & von Kotzebue, L. (2024). Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN PLUS. In C. Thyssen, M. Meier, S. Becker-Genschow, T. Bruckermann, A. Finger, J. Huwer, E. Kremser, L.-J. Thoms & L. von Kotzebue, (Hrsg.), Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN PLUS. Joachim Herz Stiftung.

Mishra, P. & Koehler, M (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. The Teachers College Record 108(6), 1017-1054.

Mishra, P., Warr, M., & Islam, R. (2023). TPACK in the age of ChatGPT and Generative AI. Journal of Digital Learning in Teacher Education, 39(4), 235-251. https://doi.org/10.1080/21532974.2023.2247480

Patricia Kühne[1]
Sascha Schanze[1]

[1]Leibniz Universität Hannover

Umgang mit KI in der Lehrkräftebildung

Ausgangslage

Mit der zunehmenden Nutzung elektronischer Endgeräte gehört Künstliche Intelligenz (KI) in webbasierten Anwendungen wie Suchmaschinen oder Streamingdiensten zum Alltag. Mit der rasanten Entwicklung der KI-Anwendung ChatGPT und den intensiven Diskussionen über den Umgang mit ChatGPT in Bildungsinstitutionen ist auch die Bedeutsamkeit, sich im Lehr- und Lernkontext damit zu befassen, immer größer geworden. Infolgedessen hat das Thema KI in der Bildung in kurzer Zeit eine starke öffentliche Aufmerksamkeit erhalten. Häufig werden in den Diskussionen allerdings die Potenziale der KI von den Schwächen und Risiken verdeckt. Dies darf nicht Grund dafür sein, KI und besonders den Umgang mit KI aus der Schule auszuschließen. Außerhalb des Unterrichts werden Lernende vermehrt KI-gestützte Anwendungen verwenden. Daher ist es Aufgabe der Lehrkräfte den Lernenden einen kompetenten und reflektierten Umgang mit den KI-gestützten Anwendungen und deren Daten zu vermitteln, was auch ethische Aspekte mit einbezieht. Dementsprechend ist es langfristig wichtig, dass angehende Lehrkräfte zu einem angemessenen, verantwortungsvollen und reflektierten Umgang mit KI befähigt werden und ein Bewusstsein für die Möglichkeiten und Grenzen von KI entwickeln. Dies bedeutet für Lehrkräfte KI-bezogene Verfahren zu analysieren, nachzuvollziehen und aufzubauen, um zum einen KI-gestützte Anwendungen geeignet in den eigenen Unterrichtsalltag integrieren zu können und zum anderen Lernende für einen adäquaten Umgang mit künstlicher Intelligenz zu befähigen (Schanze & Kühne, 2024). Daraus resultiert die Frage nach dem sinnvollen Einsatz und Umgang von KI in Schule und Unterricht.

Insgesamt gilt es zu unterscheiden zwischen Anwendungen im Lehr-Lern-Kontext, die sowohl die Unterrichtsvorbereitung als auch die Begleitung der Lerngelegenheiten und das Unterstützen der Lernprozesse betreffen (Unterrichten mit KI) und den Anwendungen, die Prozesse im gesellschaftlichen und beruflichen Alltag begleiten oder (mit)bestimmen (Unterrichten über KI). Auf beiden Ebenen gibt es viele, sich schnell weiterentwickelnde sowohl domänenübergreifende als auch domänenspezifische Anwendungen.

Um eben diese Zukunft aktiv mitgestalten zu können, ist es notwendig sich intensiv mit den Entwicklungen auseinanderzusetzen. Hierfür Bedarf es an neuen Fähigkeiten, Fertigkeiten und Kompetenzen sowohl bei den Lehrkräften als auch bei den Lernenden.

Das *Frankfurt Dreieck* zur Bildung in der digitalen Welt (Brinda et al., 2019) hat die Funktion „einen überfachlichen Orientierungs- und Reflexionsrahmen für Bildungsprozesse im *digitalen Wandel* bereitzustellen und möglichst alle relevanten Perspektiven daran beteiligter Disziplinen einzubeziehen“ (Brinda et al., 2019, S. 69). So bedarf es aus der technisch-medialen Perspektive der Klärung, wie KI-Anwendungen funktionieren, auch ausgehend von grundlegenden Fragen danach, was z.B. künstliche Intelligenz oder maschinelles Lernen ist. Die gesellschaftlich technische Perspektive stellt Wechselwirkungen zwischen Individuen, Gesellschaft und dem digitalen Werkzeug in einen Zusammenhang. Daraus lassen sich nötiges

Hintergrundwissen und spezifische Kompetenzen ableiten, wie z.B. das Beurteilen von Informationen oder die Analyse und Bewertung von Chancen und Problemen verschiedener Anwendungen. Aus der interaktionsbezogenen Perspektive steht die Frage nach den Nutzungen und Handlungen. Welche (fachbezogenen) Anwendungen oder Methoden können wann, wie oder durch wen genutzt werden? Diese drei Perspektiven können als strukturierendes Prinzip für die Darstellung von Lehr- und Lernangeboten genutzt werden (Brinda et al., 2019).
DiKoLAN (Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften) ist ein Ordnungsrahmen, der digitale Basiskompetenzen beschreibt, die Lehramtsstudierende der naturwissenschaftlichen Fächer bis zum Ende des Studiums erworben haben sollten (Becker et al., 2020). Dieser ist nun um KI-bezogene Kompetenzen erweitert wurden: DiKoLAN^{KI} (Huwer et al., 2024). Diese Struktur kann als Vorlage für das Unterrichten mit KI auch für andere nicht-naturwissenschaftliche Fächer dienen.

Seminarkonzeption
Auf dieser Grundlage ist erstmals im WiSe 2022/23 an der Leibniz Universität Hannover eine Lehrveranstaltung „Datengestütztes Lernen – wie gut werden Lernende und Lehrende bereits unterstützt?“ gestartet. Das Seminar ist eingebettet in das Projekt „Leibniz AI Academy - Disziplinübergreifende, hybride Micro-Degrees für Studium & Weiterbildung“ aus der Bund-Länder-Förderinitiative "Künstliche Intelligenz in der Hochschulbildung“.
Das Seminar ist für alle Lehramtsstudiengänge an der LUH zugänglich und wird als Wahlpflichtseminar (Schlüsselkompetenzen im Fächerübergreifenden Bachelor ab dem 1. Fachsemester) angeboten. Es werden keine Vorkenntnisse über KI und KI-gestützte Anwendungen vorausgesetzt, da auf eine interaktive Art und Weise in das Themenfeld der KI eingeführt wird. Das Seminarkonzept bestehet aus 4 Blocksitzungen von jeweils 180 Minuten mit asynchronen Arbeitsphasen zwischen den Sitzungen (Schanze & Kühne, 2024).
Das Ziel ist es, Lehramtsstudierende aus verschiedenen Studiengängen und Fachkombinationen mit den Verfahren der KI vertraut zu machen. Die Studierenden lernen Potenziale und Grenzen von Anwendungen und beziehen dabei verschiedene Dimensionen wie den Umgang mit Heterogenität, einem potenziellen Bias, Privatsphäre und Ethik mit ein. Dabei analysieren, verstehen und entwickeln Lehramtsstudierende KI-bezogene Kompetenzen, Verfahren und Vorgehensweisen, um KI-gestützte Anwendungen angemessen in die eigene Unterrichtspraxis integrieren zu können.
Dem Seminarkonzept liegt ein Dreischritt zugrunde: Studierenden entwickeln ihre Rolle von bloßen Nutzer*innen von KI-gestützten Anwendungen über das Verstehen und Klassifizieren der KI (Aufbau einer KI-Kompetenz mit reflektierter Nutzung von KI-gestützten Anwendungen) bis hin zu Gestalter*innen potenzieller Lernangebote mit und über KI. Die detaillierte Seminarkonzeption mit den adressierten KI-gestützten Anwendungen und zusätzlichen Materialien kann im Artikel von Schanze & Kühne (2024) eingesehen werden.
Die Grundlage der Seminarkonzeption bilden sowohl die drei genannten Perspektiven des Frankfurt-Dreieck (Brinda et al., 2019) als auch die allgemeinen Kompetenzen des DiKoLAN^{KI} (Huwer et al., 2024). Aufgrund der fächerübergreifenden Teilnehmer*innenschaft und der Zielsetzung der Lehrveranstaltung werden die fachspezifischeren Kompetenzen in den Hintergrund gerückt. Der Schwerpunkt liegt hier auf *Unterricht & Methodik*, da KI-gestützte Anwendungen immer mit Blick auf den

Unterrichtseinsatz analysiert, besprochen und diskutiert werden. Im letzten Schritt des Seminars, der Gestaltung potenzieller Lernangebote mit KI-gestützten Anwendungen im eigenen Domänenkontext, werden die fachspezifischeren Kompetenzen und der Schwerpunkt *fachwissenschaftlicher Kontext* und *spezielle Technik* stärker in den Fokus gerückt. Dies ist ausführlicher im Bericht von Kühne & Schanze (2024) dargestellt.
Aus den vorangegangenen Seminaren lässt sich schließen, dass die Lehramtsstudierenden zu Beginn des Seminars kaum Erfahrungen mit KI im Bereich des Lehrens und Lernens besitzen, obwohl sie einige alltägliche Anwendungen aufzeigen können. Häufig wird der Begriff KI ausschließlich mit ChatGPT assoziiert. Dies liegt daran, dass es kaum domänenspezifische KI-Anwendungen gibt. Die Studierenden erkennen noch nicht den fachspezifischen Einsatz von allgemeinen KI-Anwendungen incl. der Grenzen. Dies führt zu Unsicherheiten im Umgang mit und über KI im Unterricht. Das Seminar trägt wesentlich dazu bei, angehende Lehrkräfte zu befähigen, KI kompetent und reflektiert für die eigene Unterrichtspraxis zu nutzen und einzusetzen (Kühne & Schanze, 2024).

Ausblick

Von Semester zu Semester nimmt die Vielfalt an KI-gestützten Anwendungsmöglichkeiten und Lehrgängen mit und über KI (für Schule und Unterricht) im Internet zu. Diese behandeln vergleichbare Themen in einer unterschiedlichen Tiefe, die auf dem ersten Blick aber nicht immer offensichtlich ist. Das bedeutet insbesondere für unerfahrene Personen eine Überforderung, passende Angebote zu finden. Schließlich fehlt auch ein Überblick darüber, was derzeit bedeutsame Inhalte für die Ausbildung sind bzw. sein könnten. Mit dem Projekt „UsingAI“ knüpfen wir hier an und machen existierende Angebote für das Unterrichten mit und über KI für alle Fächer in einer strukturierten webbasierten Darstellung sichtbar.
Ein weiteres Ziel ist es in Bezug zu DIKoLAN^{KI} Lehr- und Lernangebote zu entwickeln, die die fachspezifischeren Kompetenzen adressieren (Huwer et al., 2024). Basierend auf einer Bedarfsanalyse werden mit Dozierenden und Lehrkräften passende Lehr- und Lernangebote entwickelt und bereitgestellt. Bisher besitzen viele Lehrkräfte gegenüber digitalen Technologien immer noch eine negative Einstellung und sind dadurch mit der Integration von digitalen Technologien in den Unterricht eher zurückhaltend (Zimmerman, 2006). Dies gilt auch für KI (Sanusi et al., 2024; Velander et al., 2024; Zhang et al., 2023). So ist es besonders wichtig vertiefende Einblicke in die Vorstellungen und Einstellungen zum Umgang mit KI im Unterricht zu bekommen, um schulrelevante und fachspezifische Anwendungsbeispiele für die Unterrichtspraxis entwickeln zu können. In „UsingAI“ werden Lehramtsstudierende und Lehrkräfte über ihr inhaltliches Wissen zu KI für den Unterricht befragt; einschließlich der Fragen danach, wo die Befragten das Wissen sowie ihre Vertrautheit zur KI und ihre Vorstellungen von KI in der Zukunft erworben haben (Lindner & Berges, 2020; Velander et al., 2024). Damit werden Bedarfe hinsichtlich spezifischer Inhalte und Formate für eine KI-bezogene Ausbildung ermittelt.
Langfristig zielt „UsingAI“ darauf ab, im Rahmen der Lehrkräftebildung an der Leibniz Universität Hannover angehende Lehrkräfte aller Fächer durch strukturierte Angebote zu befähigen, mit KI angemessen, verantwortlich und reflektiert zu interagieren und ein Bewusstsein für die Möglichkeiten und Limitationen von KI zu entwickeln.

Literatur

Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C. & von Kotzebue, L. (2020). Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN. In S. Becker, J. Meßinger-Koppelt & C. Thyssen (Eds.). Digitale Basiskompetenzen. Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften. Hamburg: Joachim Herz Stiftung. 14-43

Brinda, T., Brüggen, N., Diethelm, I., Knaus, T., Kommer, S., Kopf, C., … Weich, A. (2019). Frankfurt-Dreieck zur Bildung in der digital vernetzten Welt. Merz - Medien + Erziehung. Zeitschrift Für Medienpädagogik, 63(4), 69-75

Huwer, J., Becker, S., Thyssen, C., Thoms, L.-J., von Kotzebue, L., Finger, A., Kremser, E., Berber, S., Brückner, M., Maurer, N., Bruckermann, T. & Meier, M. (2024). Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz in den Naturwissenschaften: DiKoLAN^{KI}. In J. Huwer, S. Becker, C. Thyssen, L.-J. Thoms, A. Finger, L. von Kotzebue, E. Kremser, M. Meier & T. Bruckermann (Eds.). Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz. Perspektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften. Münster; New York: Waxmann Verlag GmbH. 4-59

Kühne, P. & Schanze, S. (2024). KI in der naturwissenschaftlichen Lehrkräfteausbildung: KI-kompetente Lehrkräfte für die Gestaltung modernen Unterrichts. In J. Huwer, S. Becker, C. Thyssen, L.-J. Thoms, A. Finger, L. von Kotzebue, E. Kremser, M. Meier & T. Bruckermann (Eds.). Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz. Perspektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften. Münster; New York: Waxmann Verlag GmbH. 106-109

Lindner, A., & Berges, M. (2020). Can you explain AI to me? Teachers' pre-concepts about Artificial Intelligence. Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE, 2020-October

Sanusi, I. T., Ayanwale, M. A., & Chiu, T. K. F. (2024). Investigating the moderating effects of social good and confidence on teachers' intention to prepare school students for artificial intelligence education. Education and Information Technologies, 29(1), 273-295

Velander, J., Taiye, M. A., Otero, N., & Milrad, M. (2024). Artificial Intelligence in K-12 Education: eliciting and reflecting on Swedish teachers' understanding of AI and its implications for teaching & learning. Education and Information Technologies, 29(4), 4085-4105

Schanze, S., & Kühne, P. (2024). AI in Teacher Education: KI-kompetente Lehramtsstudierende für die Gestaltung modernen Unterrichts. In N. Graulich, J. Arnold, S. Sorge, & K. Kubsch (Eds.), Lehrkräftebildung von morgen: Beiträge der Naturwissenschaftsdidaktiken zur Förderung überfachlicher Kompetenzen. Münster; New York: Waxmann Verlag GmbH. 309-317

Zhang, C., Schießl, J., Plößl, L., Hofmann, F., & Gläser-Zikuda, M. (2023). Acceptance of artificial intelligence among pre-service teachers: a multigroup analysis. International Journal of Educational Technology in Higher Education, 20(1)

Zimmerman, J. (2006). Why some teachers resist change and what principals can do about it. NASSP Bulletin, 90(3), 238-249

Jannik Henze[1]
André Bresges[1]
Sebastian Becker-Genschow[1]

[1]Universität zu Köln

Förderung KI-bezogener Kompetenzen im Lehramt
Ergebnisse aus der Praxis

Theoretischer Hintergrund und Motivation

Die rasante Entwicklung und weitreichende Verbreitung von Künstlicher Intelligenz (KI) stellt das deutsche Bildungssystem vor fundamentale neue Herausforderungen, eröffnet jedoch gleichzeitig ein erhebliches Transformationspotenzial für die Zukunft der Bildung (Vodafone Stiftung Deutschland gGmbH, 2023). Die Ständige Wissenschaftliche Kommission der Kultusministerkonferenz (SWK) hebt nachdrücklich die Notwendigkeit hervor, das innovative Potenzial dieser generativen KI-Technologien aktiv zu nutzen und dabei ihre technischen und ethischen Grenzen realistisch einzuschätzen (Ständige Wissenschaftliche Kommission der Kultusministerkonferenz, 2023). In diesem Kontext prägen und verändern KI-Anwendungen bereits heute zahlreiche Bereiche der Hochschulbildung grundlegend, von der wissenschaftlichen Forschung bis hin zur didaktischen Gestaltung von Lehre (Mahligawati et al., 2023).

Vor diesem Hintergrund gewinnt das Konzept der KI-Kompetenzen zunehmend an Bedeutung. Analog zu etablierten Konzepten wie Medienkompetenz oder wissenschaftlicher Kompetenzen umfasst es die essenziellen Fähigkeiten und Kompetenzen, die erforderlich sind, um KI fundiert zu verstehen, kritisch zu reflektieren und effektiv in verschiedenen Kontexten einzusetzen (Long and Magerko, 2020; Hornberger et al., 2023; Kurban and Şahin, 2024). Hervorzuheben ist dabei die enge Verflechtung der KI-Kompetenzen mit anderen wichtigen Kompetenzdimensionen wie der individuellen Selbstwirksamkeit, dem persönlichen Interesse an KI-Technologien und einer grundsätzlich aufgeschlossenen Einstellung gegenüber KI-Systemen (Hornberger et al., 2023).

Angesichts dieser Entwicklungen stellt die systematische Förderung von KI-bezogenen Kompetenzen im Hochschulbereich eine zentrale bildungspolitische und didaktische Aufgabe dar. Ziel ist es, sowohl Lehrende als auch Studierende optimal auf die vielfältigen Anforderungen der KI-Ära vorzubereiten. Der didaktische Ansatz ist dabei KI sowohl als Lehr- und Lerngegenstand als auch als innovatives Lehr- und Lernwerkzeug einzusetzen.

Moderne KI-Systeme eröffnen dabei neue Perspektiven für die Personalisierung des Lernens. Sie können gezielt auf individuelle Bedürfnisse, Lernstile und Entwicklungsstände der Lernenden eingehen (Abas et al., 2023), etwa durch maßgeschneidertes Feedback, Anleitungen oder Zusammenfassungen (Kasneci et al., 2023). Diese Entwicklung bringt jedoch auch neue Herausforderungen mit sich: Da Chatbots Informationen aus verschiedenen Quellen eigenständig zusammenfassen und präsentieren, wird die Kompetenz zur kritischen Bewertung von Quellen und zur verlässlichen Unterscheidung von Fakten und KI-generierten Halluzinationen immer wichtiger (Ständige Wissenschaftliche Kommission der Kultusministerkonferenz, 2023).

Chatbots ermöglichen es Lernenden, individuell Fragen zu stellen, bedarfsgerechte zusätzliche Erklärungen anzufordern und Lerninhalte in ihrem persönlichen Tempo zu bearbeiten (Kasneci et al., 2023). Dieser adaptive Ansatz trägt wesentlich dazu bei, die kognitive

Belastung während des Lernprozesses auf ein optimales Niveau zu regulieren (Liang et al., 2023).
Im Folgenden werden praxisnahe Forschungsergebnisse aus der Hochschullehre präsentiert, um einen fundierten Einblick in die konkreten Möglichkeiten und die nachgewiesene Effektivität dieser innovativen Ansätze zu geben. Diese empirischen Befunde bilden eine wichtige Grundlage für die weitere Entwicklung und Integration von KI in der Hochschulbildung.

Forschungsdesign & Forschungsfragen
Lernentwicklung und Interventionseffekte einer Lehrveranstaltung
Die Intervention erfolgte über zwei Semester: Im Wintersemester 2023/2024 wurden zwei 90-minütige Präsenzsitzungen durchgeführt, die sich der Vermittlung von KI-Grundlagen widmeten. Die Teilnehmenden arbeiteten dabei mit verschiedenen KI-Werkzeugen: Sie erstellten maschinelle Lernmodelle mittels Googles *Teachable Machine* und nutzten *ChatGPT* sowie *Perplexity* für die Literaturrecherche. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der praktischen Anwendung generativer KI-Modelle zur Unterrichtsplanung sowie zur Erstellung von Klassenarbeiten und Multiple-Choice-Tests. Die entwickelten Materialien wurden anschließend kollektiv evaluiert. Eine Diskussion zum Thema *KI in der Bildung: Chance oder Risiko?* erfolgte zum Schluss der Intervention, wobei die Teilnehmenden gezielt Gegenpositionen zu ihrer eigenen Haltung entwickeln sollten.
Im Sommersemester 2024 wurde eine 90-minütige Präsenzsitzung abgehalten sowie eine 90-minütige Selbstlerneinheit, in denen die erlernten Fähigkeiten weiter vertieft und angewendet wurden, durchgeführt. Die Inhalte der Präsenzsitzung umfassten die Erarbeitung grundlegender KI-Kenntnisse und die Erstellung einfacher maschineller Lernmodelle mithilfe Googles *Teachable Machine*. Die Erarbeitung eigener Unterrichtskonzepte sowie die Einführung in die Literaturrecherche wurden als Selbstlerneinheit konzipiert.

Vergleichende Analyse der KI-gestützten und Excel-basierten Experimentalauswertung
Neben der Vermittlung von KI-Kompetenzen im Rahmen der Lehrveranstaltung stellte sich auch die Frage nach der praktischen Anwendbarkeit von KI-Systemen in der physikalischen Ausbildung der Studierenden. Dazu wurde eine komparative Studie durchgeführt, die klassische Excel-basierte Auswertungsmethoden physikalischer Experimente mit einem eigens entwickelten ChatGPT-basierten ChatBot zur Analyse verglich. Die Untersuchung fokussierte drei zentrale Forschungsfragen:
- Gibt es signifikante Veränderungen im Lernzuwachs innerhalb der einzelnen Gruppen von Prä zu Post?
- Gibt es signifikante Unterschiede im Lernzuwachs zwischen den einzelnen Gruppen?
- Unterscheiden sich emotional-motivationale Reaktionen bei der Nutzung von Excel im Vergleich zur Nutzung eines KI-Tools zur Datenauswertung?

Die methodische Umsetzung erfolgte mittels randomisierter Gruppenzuweisung (Excel vs. KI-Tool) bei identischer Aufgabenstellung. Die Erfassung der Lerneffekte sowie der emotional-motivationalen Variablen basierte auf einem Prä-Post-Test-Design.

Ergebnisse

Lernentwicklung und Interventionseffekte einer Lehrveranstaltung

Die Untersuchungsergebnisse zeigen ein differenziertes Bild der Lernentwicklung: Die Studierenden verzeichneten insgesamt moderate Verbesserungen ihres Wissensstands, wobei sich semesterspezifische Unterschiede abzeichneten. Im Wintersemester wurde ein leichter, aber messbarer Anstieg des Medians beobachtet. Die erhöhte Streuung der Ergebnisse deutet auf eine heterogene Wirksamkeit der Intervention hin. Das Sommersemester zeichnete sich durch einen konstanten Median bei ebenfalls erhöhter Streuung aus. Diese Befunde weisen darauf hin, dass die eingesetzte Intervention zwar Potenzial aufweist, jedoch einer Optimierung bedarf, um konsistentere Lernerfolge zu erzielen. Es zeigt sich eine Diskrepanz zwischen den messbaren Lernfortschritten und der subjektiven Wahrnehmung der Studierenden: Trotz der begrenzten Wissenszuwächse berichteten sie eine hohe Zufriedenheit mit den KI-bezogenen Inhalten und nahmen selbst einen deutlichen Lernfortschritt wahr. Dies deutet auf einen möglicherweise unterschätzten Mehrwert der praktischen Arbeit mit dem Chatbot hin, bei der affektive und motivationale Aspekte eine zentrale Rolle spielen.

Vergleichende Analyse der KI-gestützten und Excel-basierten Experimentalauswertung

In der vergleichenden Analyse von KI-basierten und konventionellen Auswertungsmethoden (Excel) bei physikalischen Experimenten zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Vergleichsgruppen in Bezug auf emotionale und motivationale Aspekte beim Lernen sowie bei der Effektivität und Motivation der Werkzeugnutzung. Bei initial vergleichbaren Ausgangsbedingungen entwickelten sich messbare Differenzen: Die KI-Gruppe berichtete ein positiver geprägtes emotionales Erleben mit mehr Freude und weniger Frustration bei der Arbeit mit ihrem Werkzeug. Sie bewertete ihr Analysewerkzeug im Vergleich zur Excel-Gruppe als interessanter und zugänglicher, zeigte eine höhere Nutzungsbereitschaft für zukünftige Analysen und schätzte die Qualität ihrer Ergebnisse positiver ein.

Die Wahrnehmung des Lernerfolgs, das physikalische Verständnis und die Einschätzung fachlicher Komplexität zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Auch die Bewertung der Anleitungsqualität und des physikalischen Kontextverständnisses wies keine signifikanten Differenzen auf.

Fazit

Die vorgestellten Forschungsergebnisse unterstreichen das differenzierte Potenzial von KI-Systemen in der Hochschullehre. Während die Interventionsstudie moderate Wissenszuwächse bei gleichzeitig hoher subjektiver Zufriedenheit der Studierenden aufzeigte, lieferte die vergleichende Analyse der Experimentalauswertung wichtige Erkenntnisse zur emotionalen und motivationalen Dimension des KI-Einsatzes. Besonders hervorzuheben ist dabei die positive affektive Resonanz auf KI-gestützte Werkzeuge, auch wenn sich dies nicht zwangsläufig in signifikant besseren Lernergebnissen niederschlägt. Diese Befunde verdeutlichen die Notwendigkeit einer ausgewogenen Integration von KI in der Hochschullehre, die sowohl die fachlich-methodischen als auch die emotional-motivationalen Aspekte des Lernens berücksichtigt.

Literatur

Abas, M. A., Arumugam, S. E., Yunus, M. M., & M. Rafiq, K. R. (2023). ChatGPT and Personalized Learning: Opportunities and Challenges in Higher Education. International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences 13 (12), 3936–3945. http://doi.org/10.6007/IJARBSS/v13-i12/20240

Hornberger, M., Bewersdorff, A., & Nerdel, C. (2023). What do university students know about Artificial Intelligence? Development and validation of an AI literacy test. Computers and Education: Artificial Intelligence 5. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100165

Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., et al. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. Learning and Individual Differences 103. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274

Kurban, C. F., & Şahin, M. (2024). The Impact of ChatGPT on Higher Education: Exploring the AI Revolution. Leeds: Emerald Publishing Limited.

Liang, Y., Di Zou, Xie, H., & Wang, F. L. (2023). Exploring the potential of using ChatGPT in physics education. Smart Learning Environments 10 (1). https://doi.org/10.1186/s40561-023-00273-7

Long, D., & Magerko, B. (2020). What is AI Literacy? Competencies and Design Considerations. In R. Bernhaupt (Hrsg.) Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: Association for Computing Machinery, 1–16. https://doi.org/10.1145/3313831.3376727

Mahligawati, F., Allanas, E., Butarbutar, M. H., & Nordin, N. A. N. (2023). Artificial intelligence in Physics Education: A comprehensive literature review. Journal of Physics: Conference Series 2596. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2596/1/012080

Ständige Wissenschaftliche Kommission der Kultusministerkonferenz (Hrsg.) (2024). Large Language Models und ihre Potenziale im Bildungssystem: Impulspapier der Ständigen Wissenschaftlichen Kommission der Kultusministerkonferenz. https://doi.org/10.25656/01:28303

Vodafone Stiftung Deutschland gGmbH (Hrsg.) (2023). Aufbruch ins Unbekannte: Schule in Zeiten von künstlicher Intelligenz und ChatGPT.

Julia Lademann[1]
Sebastian Becker-Genschow[1]

[1]Universtität zu Köln

Custom Chatbots als individuelle Unterstützung des Transfers von Mathematik in die Physik

Theoretischer Hintergrund und Motivation

Verständnisprobleme von Schülerinnen und Schülern im Physikunterricht sind nicht selten auf unzureichende mathematische Kompetenzen zurückzuführen (Christensen & Thompson, 2012; Leinhardt et al., 1990; Pollock et al., 2007). Oft basieren sie aber auch auf der Schwierigkeit, die im Rahmen des Mathematikunterrichts erworbenen Fähigkeiten auf den physikalischen Kontext zu übertragen (Becker et al., 2023; Redish & Kuo, 2015). Die Ursachen für diese Schwierigkeiten sind mannigfaltig (Uhden, 2016). Generative KI kann an dieser Stelle mit der individuellen Förderung durch Chatbots eine mögliche Lösung darstellen. Chatbots können den Lernenden personalisiertes Feedback geben und auf individuelle Lernschwierigkeiten und Fragen eingehen (Kasneci et al., 2023; Adiguzel et al., 2023; Neumann et al., 2024). Des Weiteren lassen sie sich gezielt zu Custom Chatbots konfigurieren, sodass beim Erlernen physikalischer Inhalte Hilfestellungen und Feedback mit Bezug zu dem zugehörigen mathematischen Kontext bereitgestellt werden können.

Der Einfluss von Chatbots auf das Lernerleben und die Lernleistung ist jedoch noch weitgehend unerforscht. In der Handlungsempfehlung der Kultusministerkonferenz heißt es, dass sich "[die Forschung] [i]m Bereich 'Generative KI-Anwendungen in Bildungsprozessen' […] noch in einem Entwicklungsstadium [befindet]" (KMK, 2024). Die Kultusministerkonferenz fordert daher, dass Wissenschaft und Schulpraxis zusammenarbeiten und äußert, dass "Forschungsvorhaben in diesem Bereich [...] zu unterstützen [sind]" (KMK, 2024).

Die Ständige Wissenschaftliche Kommission fordert ebenfalls „weitere[ ] Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen […], um den gewinnbringenden Einsatz […] in Lehr-Lernsituationen sicherzustellen." (SWK, 2023). Zusätzlich wird konstatiert, dass „es […] vor allem die Erprobung in Schulen mit fachdidaktischer Begleitung und Evaluierung sein [wird], über die schnell gesicherte Erkenntnisse zu Einsatzmöglichkeiten und Risiken erreicht werden können" (SWK, 2023). Es wird somit deutlich, dass insbesondere Forschungsprojekte der Fachdidaktiken und vor allem solche mit Bezug zur schulischen Praxis von hoher Relevanz für die Weiterentwicklung des Forschungsfeldes sind. Die Arbeitsgruppe Digitale Bildung mit Schwerpunkt Künstliche Intelligenz widmet sich dieser praxisorientierten Forschung zur Wirksamkeit einer KI-Unterstützung von Unterricht. Ein spezifisches Forschungsprojekt soll im Folgenden dargestellt werden.

Leitfragen des Projekts

Die folgenden Leitfragen sollen im Rahmen des Forschungsprojektes näher erörtert werden:

Wie wirkt sich das Lernen mit Custom Chatbots

- … auf das Lernerleben aus?

- … auf die Lernleistung in einem mathematischen und physikalischen Lernkontext aus – insbesondere im Hinblick auf die notwendige Transferleistung auf den physikalischen Kontext?

Custom Chatbot-Design

Die Kultusministerkonferenz stellt fest, dass „im Bildungskontext zusätzlich speziell für den schulischen Einsatz trainierte generative KI-Anwendungen benötigt werden“ (KMK, 2024). Dies motiviert eine gezielte Konfiguration und Erprobung von Chatbots für den schulischen Einsatz, wie es auch im Rahmen dieses Projekts angestrebt wird.

Verschiedene Plattformen – darunter unter anderem OpenAI und Anthropic – bieten die Möglichkeit, auf Basis ihrer Modelle eigene, und somit auf individuelle Bedürfnisse und Anwendungsgebiete spezialisierte, sogenannte GPTs als Custom Chatbot zu konfigurieren. Nutzende instruieren den GPT anhand eines eigenständig festgelegten, ausführlichen Konfigurationsprompts zu gewünschten Verhaltensweisen und Reaktionen. Des Weiteren kann dem Custom Chatbot fach- oder situationsspezifisches Wissen mitgegeben werden, indem entsprechende Dateien hochgeladen werden.

Für einen ersten schulischen Praxiseinsatz wurde im Rahmen des Projekts ein Custom Chatbot konfiguriert, der auf die Analyse und Interpretation der verschiedenen Darstellungsformen (Graph, Tabelle, Formel) proportionaler Zuordnungen spezialisiert ist und eine motivierende und altersgerechte Sprache verwendet. Der Einsatz des Chatbots eignet sich für Schülerinnen und Schüler der sechsten und siebten Jahrgangsstufe an weiterführenden Schulen und soll sowohl beim Erlernen mathematischer Inhalte als auch bei der Anwendung von Mathematik im Physikunterricht gezielt und individuell unterstützen.

Die Konfiguration des Chatbots erfolgte auf Basis von GPT 4.0 in mehreren Zyklen: Auf eine Konfigurationsphase folgte jeweils eine Testphase, in der systematisch überprüft wurde, ob die Antworten des Chatbots zuvor festgelegte Kriterien ausreichend erfüllten. Entsprechend der Ergebnisse dieser Analyse, wurde der Konfigurationsprompt nach jeder Testphase des Chatbots sukzessive angepasst und verfeinert.

Praxiseinsatz – Design und Evaluation

In einem ersten Praxiseinsatz des Chatbots mit begleitender empirischer Evaluation wurde untersucht, inwiefern KI-generierte Erklärungen dem Material aus einschlägigen Schulbüchern gleichwertig oder überlegen sind – hinsichtlich Lernerleben und Lernleistung in einem mathematischen und physikalischen Lernkontext.

Design

Insgesamt nahmen $N = 214$ Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufe sechs an weiterführenden Schulen in Deutschland an der Evaluation teil. Innerhalb der jeweiligen Schulklassen wurden die Lernenden randomisiert einer Experimental- und einer Kontrollgruppe zugeteilt. Beide Gruppen erhielten Lernmaterialien zu dem für sie neuen mathematischen Thema „Proportionale Zuordnungen“, welches einen Anwendungsbezug in der Physik hat. Die Kontrollgruppe lernte ausschließlich mit herkömmlichem Schulbuchmaterial. Die Experimentalgruppe erhielt Schulbuchmaterial sowie eine darauf bezogene Erklärung des Themas, die mittels eines vorher definierten Prompts von dem oben beschriebenen Custom Chatbot erstellt wurde. Beide Gruppen lernten ausschließlich mit Material in Papierform, um

Verzerrungen durch den Einsatz digitaler Medien zu vermeiden. Um einen fairen Vergleich zu ermöglichen, war die Lernzeit in beiden Gruppen exakt gleich. Zudem wurden die Lernenden in beiden Gruppen zuvor nicht über die Art des vorliegenden Lernmaterials informiert.

Evaluation
Nach dem Lernen mit den Materialien wurden verschiedene Konstrukte anhand einer vierstufigen Likert-Skala erhoben. Erfasst wurden die erlebten Emotionen und das situationale Interesse der Teilnehmenden. Darüber hinaus wurde die intrinsische und extrinsische kognitive Belastung beim Lernen mit den Materialien sowie die Selbstwirksamkeitserwartung im Hinblick auf das Lösen einer themenbezogenen Aufgabe erhoben. Um die Lernleistung und die Fähigkeit zur Transferleistung mathematischer Inhalte in den physikalischen Kontext zu vergleichen, bearbeiteten die Lernenden abschließend einen Leistungstest.

Trends erster Analysen
Erste Auswertungen zeigen eine Tendenz zu Unterschieden zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich des Erlebens positiver Emotionen sowie des situationalen Interesses – zugunsten des KI-gestützten Lernens. Auch die Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf das Lösen einer themenbezogenen Aufgabe ist unter den Schülerinnen und Schülern, welche sich mit den Lernmaterialien des Chatbots beschäftigt haben, höher, während die kognitive Belastung niedriger ist. Diese ersten Ergebnisse deuten darauf hin, dass das Lernen mit KI-Chatbots einen positiven Effekt auf das Lernerleben von Schülerinnen und Schülern haben kann, und eröffnen den Raum für weiterführende Forschung.
Eine Auswertung des Leistungstests zeigt hingegen tendenziell keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich der Lernleistung.

Folgestudie
Im Rahmen einer sich bereits in Planung befindlichen Folgestudie sollen die im beschriebenen Praxiseinsatz beobachteten Trends vertiefend untersucht werden. Dazu wird in einem ersten Schritt der erprobte Chatbot im Anschluss an die vollständige Auswertung der Ergebnisse überarbeitet, optimiert und an die didaktischen Rahmenbedingungen – vorgegeben durch Thema und Zielgruppe – der Folgestudie angepasst. Das Konzept der Folgestudie sieht eine selbstständige Anwendung des Chatbots seitens der Schülerinnen und Schüler vor. Dabei soll insbesondere untersucht werden, welchen Einfluss die Interaktion mit dem Chatbot auf motivationale Aspekte hat. Des Weiteren soll durch ein Prä-Post-Design ein stärkerer Fokus auf der Lernleistung liegen – vornehmlich bezogen auf die Fähigkeit zur Transferleistung des mathematischen Wissens auf den physikalischen Kontext.

Literatur

T. Adiguzel, M. H. Kaya und F. K. Cansu (2023). Revolutionizing education with AI: Exploring the transformative potential of ChatGPT. In: *Cont ed Technology 15 (3), ep429*.

S. Becker, L. Knippertz, S. Ruzika und J. Kuhn (2023). Persistence, context, and visual strategy of graph understanding: Gaze patterns reveal student difficulties in interpreting graphs. In: *Phys. Rev. Phys. Educ. Res. 19 (2)*.

E. Kasneci, K. Sessler, S. Küchemann, M. Bannert, D. Dementieva, F. Fischer et al. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. In: *Learning and Individual Differences 103, 102274*.

Kultusministerkonferenz (KMK) (2024): Handlungsempfehlung für die Bildungsverwaltung zum Umgang mit künstlicher Intelligenz in schulischen Bildungsprozessen. *https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2024/2024_10_10-Handlungsempfehlung-KI.pdf*.

G. Leinhardt, O. Zaslavsky und M. K. Stein (1990). Functions, Graphs, and Graphing: Tasks, Learning, and Teaching. In: *Review of Educational Research 60 (1), S. 1-64*.

K. Neumann, J. Kuhn und H. Drachsler (2024). Generative Künstliche Intelligenz in Unterricht und Unterrichtsforschung – Chancen und Herausforderungen. In: *Unterrichtswissenschaft*.

E. B. Pollock, J. R. Thompson und D. B. Mountcastle (2007). Student Understanding Of The Physics And Mathematics Of Process Variables In P-V Diagrams. In: *AIP Conference Proceedings 951 (1), S. 168-171*.

E. F. Redish und E. Kuo (2015). Language of Physics, Language of Math: Disciplinary Culture and Dynamic Epistemology. In: *Sci & Educ 24 (5-6), S. 561-590*.

Ständige Wissenschaftliche Kommission der Kultusministerkonferenz (SWK) (2023): Large Language Models und ihre Potenziale im Bildungssystem. Impulspapier der Ständigen Wissenschaftlichen Kommission(SWK) der Kultusministerkonferenz. http://dx.doi.org/10.25656/01:28303.

O. Uhden (2016). Verständnisprobleme von Schülerinnen und Schülern beim Verbinden von Physik und Mathematik. In: *ZfDN 22, S. 13-24*.

Lars-Jochen Thoms[1,2]
Florian Furrer[1]
Meredith Rhiner[1]
Martin Bullock[1,2]
Tobias Rothlin[3]
Leonie Däullary[3]
Mitra Purandare[3]
Frieder Loch[3]
Johannes Huwer[1,2]

[1]Pädagogische Hochschule Thurgau
[2]Universität Konstanz
[3]Ostschweizer Fachhochschule

OrChemSTAR – mit AR und KI Strukturformeln zeichnen lernen

Die Strukturen chemischer Verbindungen können auf unterschiedliche Weise dargestellt werden. Diese mannigfachen Repräsentationsformen stellen jeweils bestimmte Eigenschaften einer Verbindung in den Vordergrund. Dazu gehören auch chemische Strukturformeln, die ein zentrales Mittel der fachspezifischen Kommunikation in der Chemie und regelmäßig Bestandteil der Bildungspläne sind. Sie ermöglichen es, die räumliche Anordnung von Atomen in Molekülen darzustellen, was jedoch insbesondere für Lernende herausfordernd ist. Häufige Schwierigkeiten liegen in der abstrakten Natur dieser Darstellungen und dem Übergang zwischen verschiedenen Repräsentationen oder Repräsentationsebenen (makroskopisch, submikroskopisch, symbolisch; Johnstone, 1983). Das Lesen dieser Darstellungen, die Auswahl einer für einen bestimmten Zweck geeigneten Darstellungsform und das Zeichnen chemischer Strukturformeln erfordern von Lernenden entsprechende Kompetenzen. Während Expert*innen leicht verschiedenen Darstellungsformen ineinander übersetzen können (Kozma, 2020), müssen Anfänger die erforderlichen mentalen Modelle erst noch aufbauen (Sunyono et al., 2015) sowie die Gestaltungsregeln der verschiedenen Darstellungsformen erlernen und das Zeichnen einüben. Dieser Prozess kann von außen z. B. durch die Verwendung multipler Repräsentationen unterstützt werden (Kozma & Russell, 2005; Sunyono et al., 2015). Im vom Schweizerischen Nationalfonds geförderten Projekt **OrChemSTAR** (Schweizerischer Nationalfonds, 2024) wird untersucht, wie Lernende in diesem Lernprozess mithilfe einer auf **Künstlicher Intelligenz (KI)** und **Augmented Reality (AR)** basierender Lernumgebung unterstützt werden können, z. B. durch adaptive Hilfestellungen und individuelle Lernwege.

Die Forschungsfragen lauten konkret:
- Welche Erfolgsbedingungen existieren für den Einsatz einer AR-App, die chemische Verbindungen erkennt und multiple Repräsentationen der Verbindungen darstellt?
- Können tiefe neuronale Netze trainiert werden, um handschriftliche Strukturformeln zu erkennen, so dass sich typische Lernendenfehler in gezeichneten Formeln erkennen lassen?
- Wie wirkt sich der Grad der Adaptivität (adaptives Lernen vs. technische Adaptivität vs. keine Adaptivität) auf den Lernerfolg der Lernenden aus?

Methoden

Im Projekt OrChemSTAR wurde zunächst eine App entwickelt, die sowohl gedruckte als auch handgezeichnete chemische Strukturformeln erkennt und analysiert. Die Entwicklung der App verfolgte eine mehrstufige Methodik. Zunächst wurden Chemielehrpersonen im deutschsprachigen Raum befragt, um die im Unterricht verwendeten Darstellungsweisen zu nennen und

typische Fehler bei der Erstellung von Strukturformeln zu identifizieren. An der Online-Umfrage nahmen 125 Lehrpersonen teil, gefolgt von 13 vertiefenden Online-Interviews. Diese Daten lieferten wertvolle Einblicke in die häufigsten Schwierigkeiten der Lernenden beim Lesen und Zeichnen von Strukturformeln aus Sicht der Lehrpersonen. Ergänzend wurden Strukturformeln ausgewählter chemischer Verbindungen von Schüler*innen gezeichnet. Diese Zeichnungen wurden auf typische Lernendenfehler analysiert und außerdem für das Training des in der App verwendeten KI-Bilderkennungs-Modells (Jiang et al., 2022) genutzt.

Darauf aufbauend wurde die App entwickelt, die folgende drei Modi zur Verfügung stellt:
- **AR-Modus**: Dieser Modus erkennt gedruckte chemische Verbindungen und blendet interaktive Elemente direkt in das Kamerabild des Texts ein.
- **Scan-Modus**: Hier werden handgezeichnete chemische Strukturformeln analysiert und typische Fehler identifiziert (Abb. 1-2).
- **Übungsmodus**: In diesem Modus bearbeiten Lernende vorgegebene Aufgaben und erhalten Feedback, um aus ihren Fehlern zu lernen.

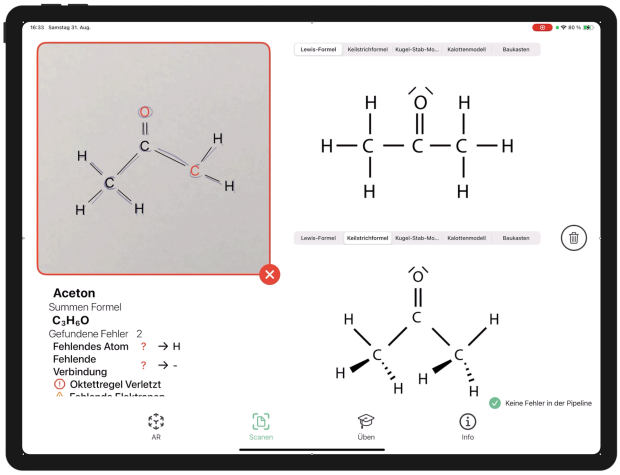


Abb. 1: Screenshot aus der App OrChemSTAR: Erkennen von Fehlern in Strukturformeln. Die eingescannte Strukturformel wird als Aceton erkannt. Das Sauerstoffatom und ein Kohlenstoffatom werden als problematisch gewertet und rot markiert (fehlende freie Elektronenpaare bzw. fehlendes H-Atom und fehlende Verbindung zum H-Atom).

Ergebnisse

Die Befragung der Chemielehrpersonen ergab wichtige Erkenntnisse darüber, welche Darstellungsweisen ab welcher Jahrgangsstufe genutzt werden und welche chemischen Verbindungen den Schüler*innen besonders oft Schwierigkeiten bereiten. Besonders häufig wurden einfache Verbindungen wie Wasser, Ammoniak, Kohlenstoffdioxid und Sauerstoff sowie einfache Alkane, Alkene und Alkine als relevant benannt, da Lernende hier oft falsche Bindungen (Einfach-, Doppel- oder Dreifachbindungen) oder falsche oder überschüssige Atome einzeichnen. Auch Fehler bei der Ladungsverteilung und die Verletzung der Oktettregel sind häufig. In den Interviews äußerten Lehrpersonen, dass Lernende durch umfassendes Üben ihre Fähigkeiten im Zeichnen von Strukturformeln verbessern können, allerdings fehle im Unterricht häufig die Zeit für ausreichende Übungseinheiten. Hierfür bietet die App OrChemSTAR eine

Möglichkeit, Lernenden individualisiertes Feedback zu geben und durch adaptives Lernen gezielt auf ihre Fehler einzugehen. Ein Prototyp der App wurde entwickelt und erfolgreich in ersten Tests eingesetzt. Die App konnte auch handgezeichnete chemische Strukturformeln erkennen und den Lernenden Feedback zu Fehlern wie fehlenden oder überschüssigen Bindungen, Atomen und Elektronen geben.

Diskussion

Die Entwicklung der App OrChemSTAR zeigt vielversprechende Ansätze für den Einsatz von AR und KI im Chemieunterricht. Besonders der Aspekt des **adaptiven Lernens** und der **technischen Adaptivität** bietet großes Potenzial, um individuelle Lernpfade zu gestalten und so das Verständnis chemischer Strukturen bei Lernenden nachhaltig zu fördern. Die Befragungen von Lehrpersonen belegen, dass die größte Herausforderung in der Vermittlung chemischer Strukturformeln darin liegt, Lernenden das Übersetzen zwischen den verschiedenen Darstellungsweisen zu vermitteln. Hierbei kann OrChemSTAR unterstützen, indem es multiple Repräsentationen kombiniert (Abb. 2) und den Lernenden durch Echtzeit-Feedback hilft, ihre mentalen Modelle auf- und auszubauen. Diese basiert auf einer spezifischen **Fehlerdiagnose**. Die Ergebnisse der ersten Tests zeigen, dass die App insbesondere bei der Fehlererkennung in handgezeichneten Formeln hilfreich ist. **Zukünftige Schritte** beinhalten die Durchführung einer Hauptstudie, um die Wirksamkeit der App im Unterricht zu evaluieren und die Effekte verschiedener Lernmethoden (adaptives Lernen vs. technische Adaptivität) auf den Lernerfolg der Schüler*innen zu untersuchen. Zudem soll erforscht werden, inwiefern die App und ihre Grundlagen in weiteren Kontexten eingesetzt werden können, z. B. in der Lehrpersonenbildung (Thoms et al, 2024).

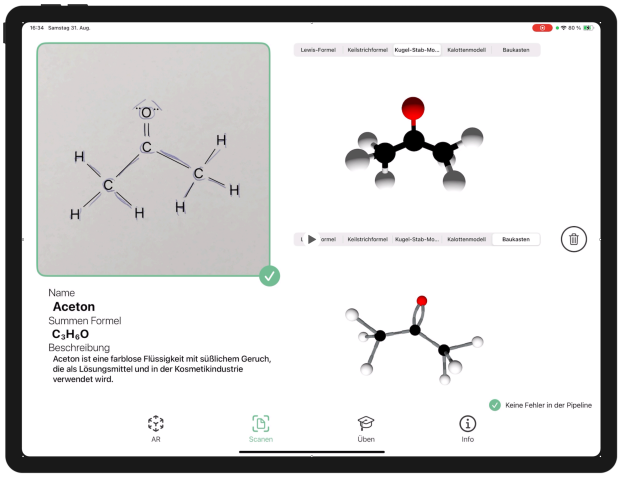


Abb. 2. Screenshot aus der App OrChemSTAR: Multiple Repräsentationen. Zwei Darstellungen (Lewis-Formel, Keil-Strich-Formel, Kugel-Stab-Modell, Kalottenmodell, Molekülbaukastenmodell) können ausgewählt und miteinander verglichen werden.

Förderhinweis

Das Projekt „OrChemSTAR – Organic Chemistry Science Teaching and Learning with Augmented Reality“ (Projektnummer: CRSK-1_221108) wird gefördert durch den Schweizerischen Nationalfonds (SNF).

Literatur

Jiang, P., Ergu, D., Liu, F., Cai, Y., & Ma, B. (2022). A Review of Yolo Algorithm Developments. *Proc. Comp. Sci.*, *199*, 1066–1073. https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.135

Johnstone, A. (1983). Macro- and micro-chemistry. *School Science Review, 64*, 337–379.

Kozma, R. B. (2020). Use of multiple representations by experts and novices. In P. Van Meter, A. List, D. Lombardi, & P. Kendeou (Hrsg.), *Handbook of Learning from Multiple Representations and Perspectives* (1. Aufl.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780429443961

Kozma, R., & Russell, J. (2005). Students becoming chemists: Developing representational competence. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in science education* (pp. 121–145). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-3613-2_8.

Schweizerischer Nationalfonds. (2024). *OrChemSTAR – Organic Chemistry Science Teaching and Learning with Augmented Reality.* SNSF Data Portal. Abgerufen am 7. Juni 2024, von https://data.snf.ch/grants/grant/221108

Sunyono, S., Yuanita, L., & Ibrahim, M. (2015). Supporting students in learning with multiple representation to improve student mental models on atomic structure concepts. *Science Education International, 26*(2), 104–125.

Thoms, L.-J., Rothlin, T., Purandare, M., Loch, F., & Huwer, J. (2024). ChemStrucLearn – KI-basierte Bilderkennung zur Diagnose von Schülerfehlern beim Zeichnen von Strukturformeln. In J. Huwer, S. Becker-Genschow, C. Thyssen, L.-J. Thoms, A. Finger, L. von Kotzebue, E. Kremser, M. Meier, & T. Bruckermann (Hrsg.), *Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz: Perspektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 66–69). Waxmann.

Marvin Rost[1]
Anja Lembens[1]

[1]AECC Chemie, Universität Wien

Wirkung eines KI-basierten Sprachassistenzsystems auf die kognitive Belastung von Schüler*innen beim chemischen Experimentieren

Einführung

Im Projekt *Artificial Intelligence for Chemistry Lab Learning* (*ArtifICheL$_2$)* wird die Wirkung eines KI-gestützten Sprachassistenzsystems (*LabTwin*) auf die kognitive Belastung durch instruktives Prompting beim experimentellen Arbeiten im Fach Chemie untersucht. *LabTwin* ist eine Software, in der Experimentiervorschriften hinterlegt und per Sprachbefehl angesteuert werden können. Die Aufzeichnungen von Beobachtungen und Messwerterfassungen werden mit einem Zeitstempel hinterlegt und nach der Laborarbeit automatisch zu einem vorstrukturierten und editierbaren Protokoll zusammengeführt. Damit entfällt der Aufmerksamkeitswechsel zwischen der Arbeitsvorschrift und dem eigentlichen Handlungsschritt. Der Beitrag berichtet aus der Vorstudie, die die Kausalmodellierung der theoretischen Zusammenhänge von intrinischer kognitiver Belastung mit Vorwissen, einen simulierten Datensatzes und die Beobachtungsdaten aus einer Klassenraumerhebung kombiniert.

Theorie

Beim Anleiten von Noviz*innen im Labor ist ein schrittweises Vorgehen angezeigt. Das liegt an der kognitiven Architektur von Menschen, die mit der Cognitive Load Theory (Sweller, 2010, 2016) beschrieben wird. Dort wird zwischen dem Langzeitgedächtnis (LG) und dem Arbeitsgedächtnis (AG) unterschieden. Das LG zeichnet sich dadurch aus, dass Wissen schnell und mühelos abgerufen werden kann. Im AG werden neue Informationen mit dem LG verknüpft. Damit nimmt das AG beim Design von Lernumgebungen eine Schlüsselfunktion ein. Im Gegensatz zum LG kann es nur wenige Einzelinformationen gleichzeitig behalten und ist störanfällig. Drei Typen von Cognitive Load (CL) werden unterschieden und als Intrinsic (ICL), Extrinsic (ECL) und Germane (GCL) Cognitive Load bezeichnet. ICL ist die Belastung, die durch die Merkmale der zu bearbeitenden Aufgabe auftritt und die kaum reduzierbar ist. Insofern ist die Schätzung von ICL beim Einsatz von mediengestützten Instruktionen ein wichtiger Indikator für die Einsatzmöglichkeiten bei Noviz*innen. ECL kann durch Lehrkräfte direkt beeinflusst werden. Dazu gehört beispielsweise die Reduktion unnötiger Zusatzinformationen. GCL bezeichnet eine gewünschte Belastung des AG, in der die aktive Verknüpfung von neuen Informationen mit dem LG stattfindet. In der Theorie sind ICL und GCL außerdem mit dem domänenspezifischen Vorwissen verbunden (Klepsch et al., 2017). Je höher das Vorwissen, desto mehr Ressourcen können aus dem LG abgerufen und mit den Informationen im AG verknüpft werden. Mit hohem Vorwissen ist ein Teil der zu verarbeitenden Informationen einer Aufgabe nicht mehr neu, muss also nicht mit Mühe im AG behalten werden und lässt somit Kapazitäten frei. Folglich ist ein positiver Zusammenhang zwischen Vorwissen und GCL sowie ein negativer Zusammenhang zwischen ICL und Vorwissen zu erwarten. Zur Schätzung des ICL bei Experimentieranweisungen durch LabTwin ergeben sich die folgenden Forschungsfragen: *1. Wie verändert sich der wahrgenommene ICL von Lernenden beim Einsatz von LabTwin? 2. In welchem Zusammenhang steht das ICL mit dem Vorwissen der Lernenden?*

Design

Vier Facetten wurden für die Studie im Sinne eines Value-added Design bei der Untersuchung digitaler Tools (Buchner & Kerres, 2023) besonders betont. A) Die Versuchsvorschriften für die grundlagenorientierte Feldstudie wurden gemeinsam mit den Lehrkräften er- und überarbeitet. B) Es sollten Prozessdaten für den CL-Verlauf im Klassenraum erhalten werden. C) Eine Kausalanalyse mit *Directed Acyclical Graphs* (DAGs; Cinelli et al., 2022; Rohrer, 2018; Weidlich et al., 2023) sollte mit einem bayesianischen Mehrebenenmodell kombiniert werden, das durch die natürlichen Cluster von Teilnehmenden, Klassen und Schulen impliziert ist. D) Das nicht-experimentelle Design erfordert den Vergleich mit einem simulierten Datensatz, in dem die aus dem Kausalmodell abgeleiteten Zusammenhänge hinterlegt sind, um empirische Evidenzen ableiten zu können (Goldfeld & Wujciak-Jens, 2020; McElreath, 2020). Das gewählte Experiment war eine Säure-Base-Titration in zwei Schulen. Aus Schule 1 nahmen drei Klassen der 10. Schulstufe eines Gymnasiums teil, in dem Chemie als Regelunterricht 2-stündig pro Woche unterrichtet wird. Es lag kaum Erfahrung mit nasschemischen Analysen vor. Aus Schule 2 nahmen zwei Klassen der 11. Schulstufe teil, die an berufsbezogenen Laborunterricht teilnahmen und bereits viel Vorerfahrung bei Titrationen besaßen (N_{gesamt}=55). Der simulierte Datensatz bestand aus 3 Schulen und 5 Klassen (N_{gesamt}=39). Das Vorwissen wurde über einen Multiple-Choice-Test vor dem Experiment erhoben (Raschmodell, *M2*=119.8(104), *p*=.13; *CFI*=.94; *RMSEA*=.054, *95% CI*[0;0.093]; *SRMSR*=.14, $Rel._{WLE}$=.78). Der CL wurde zu drei Messzeitpunkten über einen adaptierten Fragebogen (Klepsch et al., 2017) erfasst (Graded Response Model, $EAP\text{-}PV_{ICL/ECL/GCL}$=.83/.92/.94). Abbildung 1 zeigt einen Ausschnitt des Kausalmodells, dessen

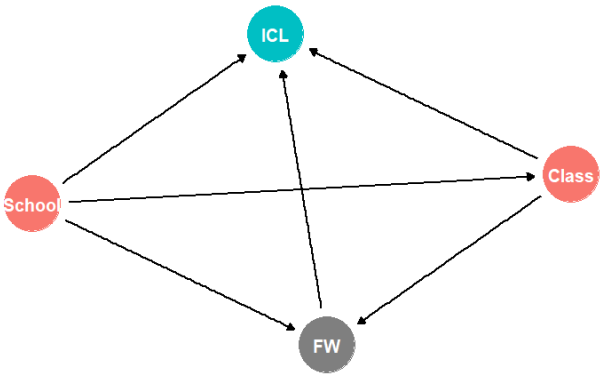


Abb. 1: Teil-DAG der Zusammenhänge von Schule, Klassenraum und Fachwissen auf ICL. Die durch Pfeile dargestellten Wirkrichtungen implizieren die Kontrolle für Fachwissen unter Berücksichtigung einer Mehrebenenstruktur.

Ergebnisse hier berichtet werden.

Ergebnisse

Abbildung 2 zeigt den Verlauf des ICL über die Messzeitpunkte (MP). Abbildung 3 zeigt den Zusammenhang von Vorwissen und ICL für beide Datensätze zu MP2.

Diskussion

Die unerfahrene Gruppe wusste nicht, was sie im Experiment erwartete, die Erfahrenen waren mit Titrationen bereits vertraut. In der Folge zeigten beide Gruppen zum Beginn keinen Unterschied im wahrgenommenen CL. Dies ändert sich durch die Konfrontation mit der tatsächlichen Arbeit bei MP2. Das Mehrebenenmodell reproduzierte den Zusammenhang von Vorwissen und ICL aus dem Simulationsdatensatz zu MP2 sehr gut. Dasselbe Modell findet

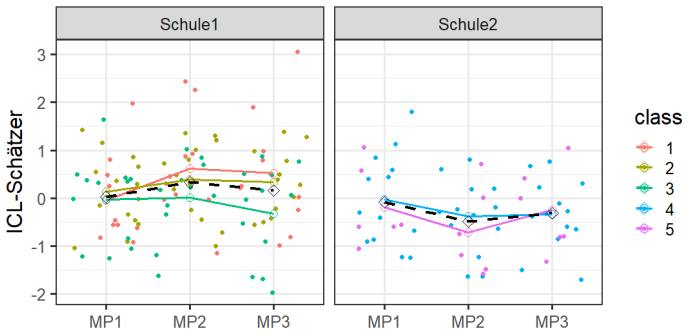


Abb. 2: Schätzwerte für ICL über den Verlauf der Messzeitpunkte. Auffällig sind die schulbezogenen Unterschiede zu MP2.

im Realdatensatz allerdings einen umgekehrten Zusammenhang. Die angenommene Wirkrichtung von Wissen auf ICL kann folglich nicht aufrechterhalten werden.

Ausblick

Aus den Ergebnissen wird die Hypothese abgeleitet, dass beim Einsatz des Sprachassistenzsystems eine fokussierte Unterstützung insbesondere in der Mitte des Experimentierprozesses sinnvoll ist. Dies ist die Interventionsbedingung für die Hauptstudienerhebung. Der nicht theoriekonforme Zusammenhang mit dem Vorwissen muss darüber hinaus durch weitere DAGs und Simulationen erkundet werden. Durch den Einsatz eines Simulationsdatensatzes für eine ökologisch valide Klassenraumstudie und die Berücksichtigung der Mehrebenenstruktur, geht das Projekt über oberflächliche Medienvergleichsstudien (Buchner & Kerres, 2023) hinaus. Es kann als anwendungsorientierte Grundlagenstudie (Klahr, 2019) eingeordnet werden, das als Framework für andere Felduntersuchungen nutzbar ist.

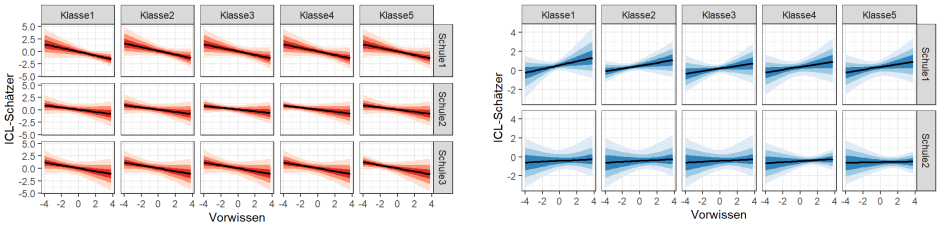


Abb. 3: Grenzeffekte des Zusammenhangs von Vorwissen und ICL zu MP2 unter Berücksichtigung der Mehrebenenstruktur (Simulationsdaten: rot; Realdaten: blau). Der Zusammenhang im Realdatensatz ist nicht theoriekonform und mit hohen Messunsicherheiten verbunden.

Referenzen

Buchner, J., & Kerres, M. (2023). Media comparison studies dominate comparative research on augmented reality in education. *Computers & Education*, *195*, 104711. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104711

Cinelli, C., Forney, A., & Pearl, J. (2022). A Crash Course in Good and Bad Controls. *Sociological Methods & Research*, 004912412210995. https://doi.org/10.1177/00491241221099552

Goldfeld, K., & Wujciak-Jens, J. (2020). simstudy: Illuminating research methods through data generation. *Journal of Open Source Software*, *5*(54), 2763. https://doi.org/10.21105/joss.02763

Klahr, D. (2019). Learning Sciences Research and Pasteur's Quadrant. *Journal of the Learning Sciences*, *28*(2), 153–159. https://doi.org/10.1080/10508406.2019.1570517

Klepsch, M., Schmitz, F., & Seufert, T. (2017). Development and Validation of Two Instruments Measuring Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. *Frontiers in Psychology*, *8*, 1997. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01997

McElreath, R. (2020). *Statistical Rethinking. A Bayesian Course with Examples in R and Stan* (Second Edition). CRC Press.

Rohrer, J. M. (2018). Thinking Clearly About Correlations and Causation: Graphical Causal Models for Observational Data. *Advances in Methods and Practices in Psychological Science*, *1*(1), 27–42. https://doi.org/10.1177/2515245917745629

Sweller, J. (2010). Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. *Educational Psychology Review*, *22*(2), 123–138. https://doi.org/10.1007/s10648-010-9128-5

Sweller, J. (2016). Working Memory, Long-term Memory, and Instructional Design. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, *5*(4), 360–367. https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2015.12.002

Weidlich, J., Hicks, B., & Drachsler, H. (2023). Causal reasoning with causal graphs in educational technology research. *Educational Technology Research and Development*. https://doi.org/10.1007/s11423-023-10241-0

Martin Sigot[1] [1]Universität Graz
Sebastian Tassoti[1]

Prompting-Strategien und Prompt-Engineering: Wie lösen Studierende Aufgabenstellungen aus Chemie mit generativer KI?

Einleitung

Generative künstliche Intelligenz (GenAI) wird mittlerweile in Forschungsbereichen wie der Medikamentenforschung oder auch im Materialdesign vermehrt eingesetzt (Deb et al., 2024; Wang et al., 2023). Im Kontext Chemie wurde gezeigt, dass Prompt-Engineering eine Kernkomponente in der erfolgreichen Anwendung von GenAI zum Lösen komplexerer Aufgabenstellungen ist (Zheng et al., 2023). Es gibt nun zwar vielfältige Vorschläge dazu, wie GenAI genutzt werden kann, um Lernprozesse zu unterstützen, aber nur wenige Ansätze diskutieren das Erlernen des Umgangs mit der GenAI vor dem Einsatz durch Lernende. So wird zum Beispiel vorgeschlagen GenAI als Unterstützung im Labor zu verwenden (Humphry & Fuller, 2023) oder die Verwendung zur Durchführung von Berechnungen im Kontext Säure-Base-Chemie (Clark et al., 2023). Manche Einschätzung der Möglichkeiten von GenAI sind allerdings durch die dabei angewandten Prompting-Techniken kompromittiert, wie Schrier mit dem Einsatz gezielten und reflektierten Promptings zeigt (Schrier, 2024).

Einen ähnlichen unreflektierten Einsatz von GenAI zeigen Studierende in mehreren Untersuchungen. Sie verwenden GenAI zum Beispiel wie eine Suchmaschine ohne ihr Prompting zu reflektieren (Knoth et al., 2024) und erhalten dadurch eventuell schlechtere Ergebnisse. Gleichzeitig reflektieren Studierende die von GenAI generierten Antworten wenig (Krupp et al., 2023). Anzeichen für diese unreflektierte Akzeptanz konnten wir ebenfalls feststellen (Tassoti, 2024). In diesem Beitrag möchten wir zeigen, inwiefern Studierende beim Lösen von Aufgabenstellungen aus Chemie einen reflektierten Umgang mit GenAI-Generaten zeigen.

Methode

Im Rahmen der Lehrveranstaltung ‚Digitale Medien im Chemieunterricht' an der Universität Graz wurden n = 23 Studierende des Lehramtes Chemie im 7. Semester des Bachelorstudiums mit der Bearbeitung von Aufgabenstellungen unter Einsatz generativer KI beauftragt. Dazu erhielten sie ein Prompting-Framework, das sogenannte ‚5S Framework for Educators', als Hilfestellung für ihr Prompting. Eine Einführung und Untersuchung zur Verwendung dieses Frameworks haben wir bereits veröffentlicht (Tassoti, 2024). Für die vorliegende Betrachtung wurden von Studierenden mithilfe von GenAI 3 Aufgaben (2 aus der Sekundarstufe, eine aus einer Universitätsprüfung) in einem Bearbeitungsprotokoll festgehalten. Die Studierenden lösten die Aufgaben und sollten die Antworten der GenAI auf einer 5-stufigen Likert Skala in 5 Dimensionen (Richtigkeit, Verständlichkeit, Vollständigkeit, Chemisches Verständnis, Generelle Zufriedenheit) bewerten. Danach sollten sie ihren Prompt bewerten, verbessern und eine erneut ausgegebene Antwort wiederum in 5 Dimensionen bewerten. Diese Bearbeitungsprotokolle wurden anonymisiert eingereicht. Die Teilnahme an der Erhebung erfolgte freiwillig und es wurden 67 vollständige Datensätze gesammelt.

Die so gesammelten Prompts der Studierenden wurden in einer evaluativen qualitativen Inhaltsanalyse nach Kuckartz (Kuckartz, 2016) analysiert und ausgewertet. Dabei wurde

nach dem 5S Framework eine hohe Ausprägung eines bestimmten S gewertet, wenn Merkmale eines Framework-Teils (Set the Scene, be Specific, Share Feedback, Structure the Output, Simplify your Language) überwiegend erfüllt waren, während eine niedrige Ausprägung bei Nichterfüllung gewertet wurde. Die Interrater-Reliabilität zwischen den beiden Autoren war dabei zuerst akzeptabel ($\kappa = 0.68$) und wurde nach kommunikativer Validierung und Abänderung des Codierleitfadens auf einen guten Wert ($\kappa = 0.82$) verbessert. Außerdem wurden die Inhalte der GenAI-Antworten auf ihre fachliche Richtigkeit geprüft.
Während in der bereits veröffentlichten Betrachtung die Strategien im Allgemeinen beschrieben wurden möchten wir in diesem Beitrag vor allem auf die reflektierte Nutzung der GenAI fokussieren. Dazu möchten wir Beispiele der Anwendung der 5S-Strategie ‚Share Feedback' geben sowie einige GenAI-Antworten zeigen und die durch die Studierenden gegebene Bewertung für diese Antwort zuordnen.

Prompting-Strategien beim Aufgabenlösen bei Lehramtsstudierenden: Share Feedback
In unserer Untersuchung zeigte sich, dass Studierende ohne vorherige Instruktion keinen reflektierten Zugang zu GenAI haben und ein reflektierter Umgang mit AI geübt und erlernt werden muss (Sigot & Tassoti, eingereicht *Journal of Chemical Education*). Die ersten Anzeichen für einen reflektierten Umgang mit der AI zeigten sich nach einer allgemeinen Einführung über GenAI, die 5S-Promptstrategien und einer allgemeinen Übungsphase zu den 5S-Strategien. Selbst dann trat bei der Nutzung von GenAI im Kontext von Chemie zu Beginn noch sehr selten die Strategie ‚Share Feedback', also ein kritisch-reflexiver Umgang mit dem AI-Generat auf.

Aufgaben aus der Sekundarstufe wurden in der Regel zuerst bearbeitet und die Antworten darauf nahezu ausnahmslos ohne kritisches Feedback übernommen – lediglich in einem Fall (siehe unten, ‚Flo'). Es wurde versucht durch Variationen des ersten Prompts bessere Ergebnisse auf die Antworten zu erzielen (z.B. Zerlegung der Aufgabenstellung in Teilaufgaben; Ergänzung einzelner 5S-Aspekte) oder eher allgemeineres Feedback gegeben (vor allem zum Ausgabenformat z.B: *Auf diese Art will ich die Reaktionsgleichungen haben: $CaCO_3$ --> CaO + CO_2*). Anzeichen auf kritisches Hinterfragen der Antworten gab es im Chatverlauf nicht.

Erst bei der Aufgabenstellung aus einer Universitätsprüfung aus organischer Chemie mit mehreren Teilaufgaben kam es zu einer reflektierten Nutzung von GenAI. Hier nutzte ein Viertel der Studierenden ‚Share Feedback' für kritische Kommentare. Dabei gingen die Studierenden unterschiedlich sicher in der reflektiven Nutzung vor. Im ersten Fall zeigen wir eine unsichere, teils reflektierte Nutzung. ‚Robin' erhält die Antwort *"(..) c. In der organischen Chemie unterscheidet man vier Oxidationsniveaus, die als "Methan", "Methyl", "Methylen" und "Methin" bezeichnet werden. Diese Bezeichnungen repräsentieren die Anzahl der gebundenen Wasserstoffatome und die Art der Bindungen, die Kohlenstoff eingehen kann (..)*" (diese Antwort ist nicht korrekt), woraufhin die unsichere Nachfrage „*Bist du dir sicher, dass die Antwort auf c. korrekt ist?*" folgt. Die GenAI generiert dieselbe Antwort noch einmal in anderer Reihenfolge und entschuldigt sich für die Verwirrung - Robin bewertet die neue, weiterhin nicht korrekte Antwort etwas besser.
Im zweiten Fall bekommt ‚Alex' auf dieselbe Aufgabenstellung eine sehr ähnliche Antwort, reagiert aber direkter und konfrontiert die GenAI mit einer anderen Quelle: „*An einer*

anderen Stelle finde ich die Information, dass es sechs Oxidationsniveaus in der Organischen Chemie gibt, du sagst es sind vier. Was stimmt?“. Alex bekommt daraufhin tatsächlich eine andere Antwort als Robin: „*Entschuldigung für die Verwirrung. Tatsächlich gibt es in der organischen Chemie sechs allgemein anerkannte Oxidationsniveaus, die zur Kategorisierung von Verbindungen verwendet werden. Diese werden als Methan, Methyl, Alkyl, Alken, Alkadien und Alkin bezeichnet.*“ (diese Antwort ist ebenfalls nicht korrekt, Alex bewertet sie schlecht).
Etwas anders geht ‚Flo‘ vor – hier sieht man einen Wandel von unsicherer zu sicherer reflektierter Nutzung. Die GenAI generiert die Antwort „*In Dichlormethan ist der Kohlenstoff an zwei Wasserstoffatome und zwei Chloratome gebunden, was zu einer stärkeren Elektronegativitätsdifferenz führt und eine höhere Oxidationszahl von +4 ergibt.*“ worauf hin sie unsicher erwidert: „*bist du dir da sicher?*“. Flo bekommt eine Antwort mit mehreren Fehlern - „*In Dichlormethan hat der Kohlenstoff die Oxidationszahl +4, da er von einem Chloratom und drei Wasserstoffatomen umgeben ist.*“ - worauf hin sie sicherer erwiderte „*Nein, Dichlorethan weißt (sic!) zwei Chloratome auf*“. Die GenAI generiert daraufhin wiederum eine falsche Antwort - „*Entschuldigung für den Fehler. Sie haben Recht. In Dichlorethan (CH2Cl2) hat der Kohlenstoff die Oxidationszahl von +2, nicht +4, da er von zwei Chloratomen und zwei Wasserstoffatomen umgeben ist.*“. Im späteren Konversationsverlauf bleibt Flo kritisch-reflektiert. Als die Aufgabenstellung zu den Oxidationsniveaus kommt und eine nicht korrekte Antwort als Output generiert wird, lautet die Replik „*hast du das erfunden?*“ und es wird direkt eine korrekte Antwort auf die Frage ausgegeben.

Diese Entwicklung von unsicherer zu sicherer reflektierter Nutzung zeigt sich auch im späteren Verlauf des Kurses, unabhängig von der bearbeiteten Thematik. Studierende benutzten Konjunktive und Fragesätze bei den ersten Versuchen, in denen sie kritisches Feedback geben (z.B. *“Aber es gibt doch schon genug Schwefel im Boden, also sollten wir wirklich extra noch Schwefel durch Düngemittel dem Boden zuführen?“*). Erst im weiteren Gesprächsverlauf und nach mehrmaligem Feedback stellen sie sicherer ihr eigenes Wissen über das AI-Generat (z.B. *Das ist immer noch falsch. Auf der rechten Seite ist immer noch mehr Wasserstoff als auf der linken Seite“*). Dabei erkennt man auch, dass Studierende, die besonders häufig Feedback geben, immer öfter sicher und bestimmt auftreten und die Antworten auf Korrektheit prüfen und Fehler in der Konversation besprechen. In Summe wurde eine reflektierte Nutzung in Form von Feedback im Verlauf des Kurses immer häufiger. Trotzdem wurde es im gesamten Kursverlauf nur bei rund einem Drittel der Studierenden regelmäßig beobachtet.

Feedback und reflektierendes Prompting als Desiderat

In diesem Beitrag möchten wir einen sehr limitierten Einblick in Prompting und die reflektierende Nutzung von GenAI durch Studierende geben. Aus diesem Einblick wird klar, dass nur ein Drittel der Studierenden in ihrem Prompting einen kritisch-reflektierenden Umgang mit GenAI zeigen. Inwiefern Studierende die Antworten gegen andere Quellen überprüft haben, ist dabei noch nicht Untersuchungsgegenstand gewesen.
GenAI kann viele Aufgabenstellungen also nicht verlässlich lösen, es ist aber realistisch anzunehmen, dass Studierende und Schüler:innen sie dazu verwenden. Hier haben wir gezeigt, dass uninstruierte Nutzung oft unreflektiert ist und wollen dazu aufrufen, in den Naturwissenschaftsdidaktiken an der Erforschung reflektierter Nutzung zu forschen.

Literatur

Clark, T. M., Anderson, E., Dickson-Karn, N. M., Soltanirad, C., & Tafini, N. (2023). Comparing the Performance of College Chemistry Students with ChatGPT for Calculations Involving Acids and Bases. *Journal of Chemical Education*, *100*(10), 3934–3944. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00500

Deb, J., Saikia, L., Dihingia, K. D., & Sastry, G. N. (2024). ChatGPT in the Material Design: Selected Case Studies to Assess the Potential of ChatGPT. *Journal of Chemical Information and Modeling*. https://doi.org/10.1021/acs.jcim.3c01702

Humphry, T., & Fuller, A. L. (2023). Potential ChatGPT Use in Undergraduate Chemistry Laboratories. *Journal of Chemical Education*, *100*(4), 1434–1436. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00006

Knoth, N., Tolzin, A., Janson, A., & Leimeister, J. M. (2024). AI literacy and its implications for prompt engineering strategies. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, *6*, 100225. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100225

Krupp, L., Steinert, S., Kiefer-Emmanouilidis, M., Avila, K. E., Lukowicz, P., Kuhn, J., Küchemann, S., & Karolus, J. (2023). *Unreflected Acceptance—Investigating the Negative Consequences of ChatGPT-Assisted Problem Solving in Physics Education*. https://doi.org/10.48550/ARXIV.2309.03087

Kuckartz, U. (2016). *Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (3., überarbeitete Auflage). Beltz Juventa.

Schrier, J. (2024). Comment on "Comparing the Performance of College Chemistry Students with ChatGPT for Calculations Involving Acids and Bases". *Journal of Chemical Education*, *101*(5), 1782–1784. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00058

Sigot, M., Tassoti. S. (eingereicht). A Longitudinal Investigation of the Transformation of Prompting Strategies in a Project-Based Chemistry Education Course

Tassoti, S. (2024). Assessment of Students Use of Generative Artificial Intelligence: Prompting Strategies and Prompt Engineering in Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00212

Wang, R., Feng, H., & Wei, G.-W. (2023). ChatGPT in Drug Discovery: A Case Study on Anticocaine Addiction Drug Development with Chatbots. *Journal of Chemical Information and Modeling*, *63*(22), 7189–7209. https://doi.org/10.1021/acs.jcim.3c01429

Zheng, Z., Zhang, O., Borgs, C., Chayes, J. T., & Yaghi, O. M. (2023). ChatGPT Chemistry Assistant for Text Mining and the Prediction of MOF Synthesis. *Journal of the American Chemical Society*, *145*(32), 18048–18062. https://doi.org/10.1021/jacs.3c05819

Knapp Iris[1] [1] Pädagogische Hochschule Steiermark

Eine kritische Analyse von Leseaufgaben mit dem Operator Erklären in Physikschulbüchern der 6. Schulstufe

Einleitung

Um in Österreich einen positiven Abschluss der Zentralmatura und somit eine Studienberechtigung zu erlangen, ist die Anwendung sprachlicher Operatoren, also Handlungsverben wie „Beschreiben", „Erklären" oder „Interpretieren" (Tajmel & Hägi-Mead, 2017), unumgänglich (Abraham & Saxalber, 2016). Daher soll nun aufgrund des neuen Lehrplans für Mittelschulen in Österreich (Rechtsinformationssystem des Bundes [RIS], 2023) in allen Fächern ein Fokus auf sprachliche Bildung und Lesen gelegt werden. Boubakri et al. (2016) erklären, dass sprachliche Operatoren jedoch nicht nur aufgrund ihrer Präsenz im Lehrplan eine große Rolle spielen, sondern dass ihre wiederholte Anwendung zu einem erhöhten Verständnis physikalischer Prozesse und auch zu einer verbesserten schriftlichen Ausdrucksweise von Schüler:innen führt, also auch fachspezifische Vorteile mit sich bringt. Doch nicht nur die korrekte Umsetzung sprachlicher Operatoren, sondern auch die Bildungs- und Fachsprache spielt insbesondere im naturwissenschaftlichen Unterricht eine wesentliche Rolle für das Verständnis von Texten und Inhalten (Boubakri et al., 2016). Dies bedeutet wiederum, dass Lernende im Laufe ihrer Schullaufbahn mit Operatoren konfrontiert werden und die Umsetzung der jeweiligen Handlungsaufforderungen erlernen sollten.

Leider stellt die Komplexität bildungs- und fachsprachlicher Texte in Schulbüchern viele Schüler:innen vor das Problem, dass sie dem Unterricht oder den Texten im Schulbuch nicht folgen und somit keinen Lernzuwachs erzielen können (Niederhaus, 2011). Diese Problematik stellt vor allem für Schüler:innen mit einer nichtdeutschen Muttersprache eine sprachliche Barriere dar, da ihre Berührung mit der deutschen Bildungssprache meist nur in Bildungseinrichtungen erfolgt. Aus diesem Grund wurde der didaktische „Grundsatz 7: Sprachsensibler Fachunterricht findet in allen Unterrichtsgegenständen statt" (RIS, 2023, S. 6) in den neuen Lehrplan für Mittelschulen aufgenommen. Um der Frage nachzugehen, inwiefern bzw. auf welche Weise Leseaufgaben in Physikschulbüchern Schüler:innen bei der produktiven Bewältigung des Operators „Erklären" unterstützen, wurde eine induktive qualitative Inhaltsanalyse durchgeführt. Dabei wurden die vier am häufigsten gewählten Physikschulbücher in Mittelschulen der Steiermark, die an den neuen Lehrplan approbiert wurden analysiert.

Scaffolds im sprachsensiblen Fachunterricht und Schulbüchern

In der Didaktik des sprachsensiblen Fachunterrichts hat sich der Begriff „Scaffolds", übersetzt „Gerüst", bereits etabliert, um Unterstützungen bei der Bewältigung von Aufgabenstellungen zu beschreiben. Studien zeigen, dass Lehrkräfte verschiedenste Variationen von Scaffolds, besonders im naturwissenschaftlichen Unterricht, nutzen. Diese fokussieren sich jedoch hauptsächlich auf Sprachfestigung (Petersen, 2022; Øyehaug et al., 2024). Øyehaug et al. (2024) weisen zwar darauf hin, dass Lehrpersonen versuchen, nicht nur auf der Verständnisebene, sondern auch auf der sprachlichen Ebene Scaffolds bereitzustellen, diese jedoch bei den Lernenden oft nicht den gewünschten Effekt erzielen. Häufig gelingt es den Lernenden zwar, das physikalische Konzept zu verstehen, jedoch nicht dieses auch mit eigenen Worten wiederzugeben. Betrachtet man die Fachliteratur zum sprachsensiblen

Fachunterricht, so zeigt sich, dass der Begriff „Scaffolds“ zumeist auf Unterstützung bei der Sprachproduktion abzielt (Tajmel & Hägi-Mead, 2017). Die Wirksamkeit von Scaffolds zur Textproduktion, insbesondere zur Strukturierung von Texten und der sprachlichen Umsetzung der Operatoren „Beschreiben“ und „Erklären“ in Versuchsprotokollen, wurde bereits empirisch nachgewiesen (Knapp, 2023). Diese Erkenntnisse, zusammen mit Studien, die belegen, dass die didaktischen Methoden, die von Lehrkräften im Unterricht angewandt werden, stark von den Inhalten der Schulbücher beeinflusst werden (Vojíř & Rusek, 2022), verdeutlichen, dass Schulbücher verschiedene Formen von Scaffolds enthalten sollten. Dies umfasst Scaffolds für Lese- und Schreibstrategien, zur Strukturierung von Texten sowie zur bildungssprachlichen Bewältigung von Sprachhandlungen. Ziel der Studie ist es, Formen von Scaffolds zu identifizieren und zu kategorisieren, die in Leseaufgaben mit dem sprachlichen Operator „Erklären“ in Physikschulbüchern verwendet werden.

Stichprobe und Methode

Die Analyse wurde mittels induktiver Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) durchgeführt. Geplant war, die fünf am häufigsten bestellten Physikschulbücher der 6. Schulstufe in Mittelschulen der Steiermark im Schuljahr 2023/2024 auszuwählen. Dabei sollten die neuen Auflagen, die sich auf den neuen Lehrplan (RIS, 2023) beziehen, analysiert werden. Es wurden jedoch nur vier dieser fünf Schulbücher für den neuen Lehrplan approbiert, daher umfasst die Stichprobe vier Schulbücher. Die einzelnen Analyseeinheiten umfassen alle Leseaufgaben, die den expliziten Operator „Erklären“ verwenden. Leseaufgaben wurden dabei, angelehnt an Hattendorf et al. (2013), als Aufgabenstellungen definiert, die Schüler:innen dazu anregen und motivieren, einen Text zu lesen und sich mit dessen Inhalt auseinanderzusetzen.

Für diese Studie wurden sowohl kontinuierliche (klassische Texte) als auch nicht-kontinuierliche Textformate (Diagramme, Tabellen und Graphiken) (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung [OECD], 2021) berücksichtigt, da beide Formate vom Lehrplan (RIS, 2023) gefordert werden und in den Naturwissenschaften von großer Bedeutung sind. Unter Berücksichtigung dieser Definitionen umfasst die Stichprobe 41 Aufgabenstellungen, die sich wie folgt auf die analysierten Lehrwerke verteilen: *Impuls Physik 2* (Blauensteiner et al., 2024) enthält zwei, *Genial! Duo Physik 2* (Duenbostl et al., 2024 a&b) sechs, *Mehrfach Physik 2* (Lankes & Mayrhofer-Reithuber, 2024 a&b) 15 und *Physik verstehen 2* (Mašin et al., 2024 a&b) 18 Leseaufgaben, die den sprachlichen Operator „Erklären“ verwenden. Analysiert wurden dabei die jeweilige Aufgabenstellung sowie alle damit verbundenen Texte, Grafiken, Begriffe, Tabellen oder Hilfszeilen.

Ergebnisse

Die qualitative Inhaltsanalyse mit induktiver Vorgehensweise wurde in drei Kodierungszyklen durchgeführt, die Ergebnisse dieser Analyse sind in Abb. 1 visualisiert. Im ersten Kodierungszyklus zeigte sich, dass über 60%, präzise gesagt 26 der Aufgabenstellungen keine Form von Scaffolds aufwiesen. Einige Aufgabenstellungen (10 Aufgabenstellungen) bieten mehr als eine Kategorie von Scaffolds an. Es ließen sich zwei große Kategorien an Scaffolds identifizieren, nämlich Scaffolds zur Unterstützung des Leseprozesses und Scaffolds zur Unterstützung der sprachlichen Produktion der Erklärung. Die Analyse hat jedoch gezeigt, dass nur eine einzige aus 41 Aufgabenstellungen, die den Operatoren „Erklären“ verlangen sprachliche Scaffolds bietet, die Lernende dabei unterstützt von der Wort- auf die Satzebene die sprachlich komplexe, aber unumgängliche Sprachhandlung einer Erklärung (Fanta & Schmölzer-Eibinger, 2014) umzusetzen. Diese Abwesenheit von sprachlicher Unterstützung erschwert es einerseits Lehrpersonen einen sprachsensiblen Physikunterricht zu halten und

andererseits den Schüler:innen die sprachliche Komplexität von Bildungs- und Fachsprache im Physikunterricht zu bewältigen. Die Analyse hat auch gezeigt, dass eine der Aufgabenstellungen den sprachlichen Operator “Erklären” inkorrekt verwendet. Dabei wird von Schüler:innen verlangt, dass sie spezifische Punkte auf einer Graphik benennen, jedoch wird in der Aufforderung wörtlich verlangt, dass die Punkte erklärt werden, was sprachlich nicht umsetzbar ist. Auch wenn es sich hier bloß um eine aus 41 Aufgabenstellungen handelt, zeigt dieses Ergebnis dennoch, dass sprachliche Operatoren nicht immer korrekt genutzt werden, was es für Schüler:innen erschwert den Operator Erklären mit der tatsächlich damit verbundenen Sprachhandlung zu lernen, damit sie diesen bei künftigen Aufgabenstellungen korrekt umsetzen können.

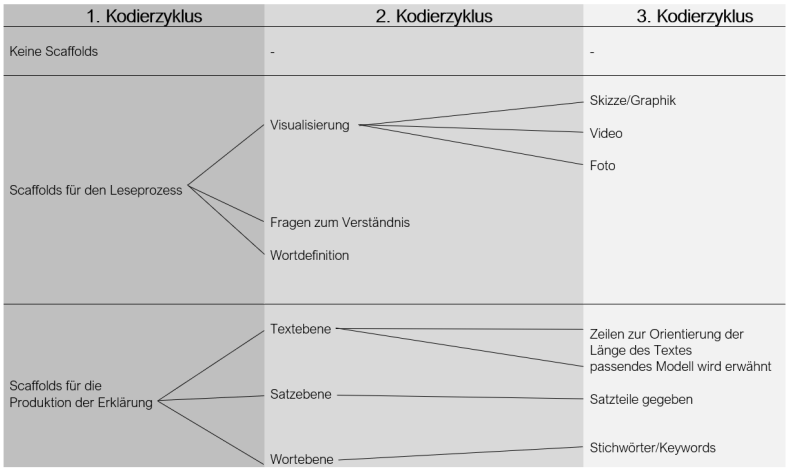


Abb. 1 Kodierungsprozess der qualitativen Analyse nach Mayring (2025)

Ausblick

Im Kontext der Anforderung des Lehrplans nach einem sprachsensiblen Fachunterricht ist das Ergebnis, dass über 50 % der analysierten Aufgabenstellungen keinerlei sprachliche Unterstützung bieten, als unzureichend zu bewerten. Die wenigen vorhandenen Unterstützungsmaßnahmen konzentrieren sich primär auf das rezeptive Verstehen, etwa durch Visualisierungen und kurze Denkanstöße. Wenn Scaffolds zur Sprachproduktion angeboten werden, beschränken sich diese meist jedoch auf die Wortebene. Scaffolds, die auf die Satzebene beziehen, wurden lediglich in einer von 41 Aufgabenstellungen identifiziert. Dies weist auf eine erhebliche Verantwortung des Lehrpersonals hin, sprachlich adäquate Aufgabenstellungen im Unterricht zu integrieren. Daraus ergibt sich ein signifikanter Fortbildungsbedarf bei Lehrkräften.

Es ist jedoch zu beachten, dass sich diese Studie ausschließlich auf Leseaufgaben konzentriert, was eine Einschränkung in der Generalisierbarkeit der Ergebnisse darstellt. Dennoch lässt sich bereits ein klarer Trend erkennen, wonach Schulbücher kaum bis gar keine sprachliche Unterstützung, über die Wortebene hinaus, bei der Umsetzung des Operators „Erklären“ bieten.

Literatur

Abraham, U., & Saxalber, A. (2016). *Typen sprachlichen Handelns (Operatoren) in der standardisierten schriftlichen Reifeprüfung bzw. Reife- und Diplomprüfung (SRDP) Deutsch. BMBWF.* https://www.matura.gv.at/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=1277&token=7f3972321ed2fa574078c8ea63f379a6d0dc12d6

Blauensteiner, B., Margl. V., Micko, A. (2024). *Impuls Physik 2*. Österreichischer Bundesverlag Schulbuch Gmbh & Co. KG.

Boubakri, Ch., Krabbe, H., & Fischer, H. E. (2016). Sprachkompetenz im Versuchsprotokoll Erste Ergebnisse aus der Pilotierung im Projekt SchriFT. In *Authentizität und Lernen – das Fach in der Fachdidaktik* (Bd. 36, S. 205–207).

Fanta, J., & Schmölzer-Eibinger, S. (2014). Erklären lernen. Ein prozedurenorientiertes didaktisches Modell zur Förderung literaler Handlungskompetenz am Beispiel des Erklärens. In *Werkzeuge des Schreibens. Theorie und Potentiale einer Didaktik der Textprozeduren* (S. 157–175). Klett und Balmer Verlag.

Hattendorf, E. & Schulz, K. & Bittins, P. (2013) *Auf dem Weg zur „lesenden Schule" Systematische schulische Leseförderung in den Jahrgangsstufen 5–10.* Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Wissenschaft.

Duenbostl, T., Mathelitsch, L., Matouschek, S., & Oudin, T., Waldör, R. (2024a). *Genial! Duo Physik 2 Infoteil* (4.). Ed. Hölzel.

Duenbostl, T., Mathelitsch, L., Matouschek, S., & Oudin, T., Waldör, R. (2024b). *Genial! Duo Physik 2 Trainingsteil* (4.). Ed. Hölzel.

Knapp, I. (2023). *Sprachbewusstes Protokollieren in der Sek. 1: Mit sprachbewussten Aufgabenstellungen Text- und Sprachkompetenz fördern*. Graz University Library Publishing. https://doi.org/10.25364/97839033742637

Lanker, G., & Mayerhofer-Reinhartshuber, P. (2024a). *Mehrfach Physik 2 Teil 1—Wissen & Verstehen* (Bd. 1). Veritas.

Lanker, G., & Mayerhofer-Reinhartshuber, P. (2024b). *Mehrfach Physik 2 Teil 2—Üben & Anwenden* (Bd. 2). Veritas.

Mašin, C., Grois, G., Glaeser, P. (2024a). *Physik verstehen 2*. Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG.

Mašin, C., Grois, G., Glaeser, P. (2024b). *Physik verstehen 2 Arbeitsheft*. Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG.

Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (12., überarbeitete Auflage). Beltz.

Niederhaus, C. (2011). *Fachsprachlichkeit in Lehrbüchern: Korpuslinguistische Analysen von Fachtexten der beruflichen Bildung*. Waxmann.

Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung [OECD] (2021). *21st-Century Readers: Developing Literacy Skills in a Digital World*, PISA, OECD Publishing, Paris, Abgerufen von https://doi.org/10.1787/a83d84cb-en (Abgerufen am: 17.11.2023)

Øyehaug, A. B., Kouns, M., & Savelsbergh, Elwin. R. (2024). Teachers' use of inquiry and language scaffolding questions when preparing an experiment. *European Journal of Science and Mathematics Education*, *12*(1), 139–155. https://doi.org/10.30935/scimath/14074

Petersen, M. R. (2022). Strategies to Scaffold Students' Inquiry Learning in Science. *Science Education International*, *33*(3), 267–275. https://doi.org/10.33828/sei.v33.i3.1

Rechtsinformationssystem des Bundes [RIS]. (2023). *Verordnung der Bundesministerin für Unterricht, Kunst und Kultur über die Lehrpläne der Mittelschulen*. Abgerufen von RIS - Lehrpläne der Mittelschulen - Bundesrecht konsolidiert, Fassung vom 17.11.2023 (bka.gv.at)

Tajmel, T., & Hägi-Mead, S. (2017). *Sprachbewusste Unterrichtsplanung: Prinzipien, Methoden und Beispiele für die Umsetzung*. Waxmann.

Vojíř, K., & Rusek, M. (2022). Of teachers and textbooks: Lower secondary teachers' perceived importance and use of chemistry textbook components. *Chemistry Education Research and Practice*, *23*(4), 786–798. https://doi.org/10.1039/D2RP00083K

Stefan Oltmanns[1] [1]Universität Bremen
Christoph Kulgemeyer[1]

Bewertung von Performanztests mithilfe großer Sprachmodelle

Die Erklärkompetenz ist eine zentrale Kompetenz von Lehrkräften im naturwissenschaftlichen Unterricht (Osborne und Patterson, 2011). Schüler:innen erachten insbesondere Lehrkräfte dann als gut, wenn diese aus gut erklären können (Wilson und Mant, 2011), wobei Erklären von Lehrkräften als schwierig empfunden wird (Merzyn, 2005). Folglich ist die Messung und Förderung der Erklärkompetenz von Lehramtsstudierenden von besonderem Interesse.
Im Rahmen der Projekte *ProfiLe-P* und *ProfiLe-P+* wurde ein Performanztest zur Erklärkompetenz entwickelt: In einer nachgestellten Realsituation mussten die Probanden einer Schüler:in (gespielt von geschulten Studierenden) in einem Zeitraum vom 10 Minuten physikalische Konzepte anhand einer vorgegebene Aufgabenstellung erklären. Die Aufgabenstellung beinhaltet ein spezifisches Anwendungsszenario, wie etwa eine Kurvenfahrt oder die Sprengung eines Asteroiden. In dieser Nachhilfesituation werden von der Hilfskraft systematisch gezielte Rückfragen gestellt. Die Bewertung der Erklärungen erfolgt mit einem validierten Kodiermanual, mit welchem sich die Erklärkompetenz bewerten lässt (Kulgemeyer und Tomczyszyn, 2015).
Da die Auswertung und Bewertung durch Analyse der videographierten Durchführungen erfolgt, sind diese ressourcenintensiv und damit ungeeignet für Large-Scale Assessments. In einem ersten Ansatz wurde der offene Performanztest in ein geschlossenes Format überführt (Bartels und Kulgemeyer, 2018), jedoch hat eine Schließung einen signifikanten Einfluss auf das Testinstruments, da die Proband:in verstärkt nicht mehr selber handelt, sondern zum Beobachter wird (Kulgemeyer et al., 2023).

Ziel

Um den Performanztest in einem offenen Format großflächig einsetzbar zu machen, ist eine automatisierte Auswertung erforderlich. In der Vergangenheit wurde für Sprachmodelle wie BERT (Devlin et al., 2018) gezeigt, dass mit ihnen eine Auswertung von offenen Tests möglich ist (Wulff et al., 2020). Dabei werden die vorhandenen Kodierungen verwendet, um das Sprachmodell zu trainieren.
Die ursprüngliche Auswertung des Erklärtests betrachtet zwei Aspekte: Die Sachgerechtheit und die Adressatengemäßheit der Erklärungen. Da die Sachgerechtheit im wesentlichen Fachwissen ist, welches sich durch andere Testmethoden gut prüfen lässt, wird sich an dieser Stelle auf die Adressatengemäßheit fokussiert: Zur Bewertung der Adressatengemäßheit liegen zwölf Kategorien vor, wobei jeweils nur das erste Auftreten der Kategorien kodiert wird. Der Gesamtscore entspricht der Anzahl der aufgetretenen Kategorien.

Vorbereitung des Datensatzes

Insgesamt liegen 287 videographierte Testdurchführungen inklusive Kodierung vor. Die vorliegende Kodierung teilt die Videos in Segmente anhand von Sprecher:innenwechseln ein. Das erste Auftreten einer Kategorie kann einem spezifischen Segment zugeordnet werden, wobei mehrere Kategorien gleichzeitig einem Segment zugeordnet sein können. Wie in Tabelle 1 ersichtlich, unterscheidet sich die Häufigkeit des Auftretens stark, während in nur

29 Durchführungen ein physischer Gegenstand mit dem Szenario verknüpft wird, werden in 276 Durchführungen Fachbegriffe umschrieben.

Umschreibung von Fachbegriffen	276
Unangemessenes Beispiel	41
Zahlenbeispiel	176
Nonverbal verknüpfen	168
Gegenstand als Hilfsmittel	142
Gegenstände mit Szenario verknüpfen	29
Experiment	73
Verständnisversicherung	58
Handlungsaufforderung	30
Rückblick	127
Zusammenfassung	87
Ermunterung/Lob	36

Tab. 1: Anzahl der Durchführungen, in denen eine Kategorie vorkommt

Um eine Verarbeitung der in der Vergangenheit videographierten Situation in einem Sprachmodell zu ermöglichen, wird eine automatische Transkription des Tons mittels Whisper (Radford et al., 2022) angefertigt. Der Ton der vorliegenden Daten hat in vielen Fällen nur eine geringe Qualität (verursacht durch Nebengeräusche während der Testdurchführung, weit von den Sprecher:innen entferntes Mikrofon und wiederholte verlustbehaftete Konvertierung der Dateiformate), weshalb eine manuelle Überarbeitung der automatisch erstellten Transkripte erforderlich ist.
Die Transkripte werden anschließend auf Grundlage der vorhandenen Kodierung der Sprecher:innenwechsel in Abschnitte segmentiert. Für das Zusammenstellen der Trainingsdaten sind zwei Aspekte unbedingt zu beachten: 1) Ein Abschnitt kann einer, keiner oder mehreren Kategorien zugeordnet sein, folglich ist ein Modell, welches einen Abschnitt einer von 12 Kategorien zuordnet ungeeignet. 2) Da nur das erste Auftreten einer Kategorie kodiert wurde, können die Abschnitte einer Durchführung, die zeitlich nach dem Auftreten einer Kategorie folgen, nicht mehr für das Training dieser Kategorie verwendet werden, da ab dieser Stelle unbekannt ist, ob die Kategorie in dem Abschnitt auftritt oder nicht.

Ergebnisse der Sprachmodelle

Das Training in BERT erfolgte über 20 Epochen, wobei 80 % der Daten zum Training und 20 % der Daten zum Testen verwendet wurden. Für jede Kategorie wurde ein individuelles Modell mit zwei Ausgangsklassen (Kategorie kommt vor: Ja bzw. Nein) trainiert. Für alle Kategorien liegen deutlich mehr Negativ- als Positiv-Beispiele vor. Um ein ausgewogenen Datensatz zu erhalten, wurden in jeder Epoche alle Positiv-Beispiele verwendet und die gleiche Anzahl an wechselnden Negativ-Beispielen.
Abbildung 1 zeigt exemplarisch die Ergebnisse der automatisierten Bewertung von vier Kategorien mit zwei verschiedenen Samplings (die zufällige Aufteilung in Test- und Trainingsdaten): Es wird deutlich, dass eine zuverlässige Zuordnung mit BERT nicht möglich ist. Auffällig ist insbesondere, dass das spezifische Sampling einen großen Einfluss hat, was darauf hindeutet, dass die Datenmenge zu gering ist. Diese Annahme wird auch dadurch

gestützt, dass dieses Problem bei den Kategorien mit niedriger Häufigkeit deutlich ausgeprägter ist.

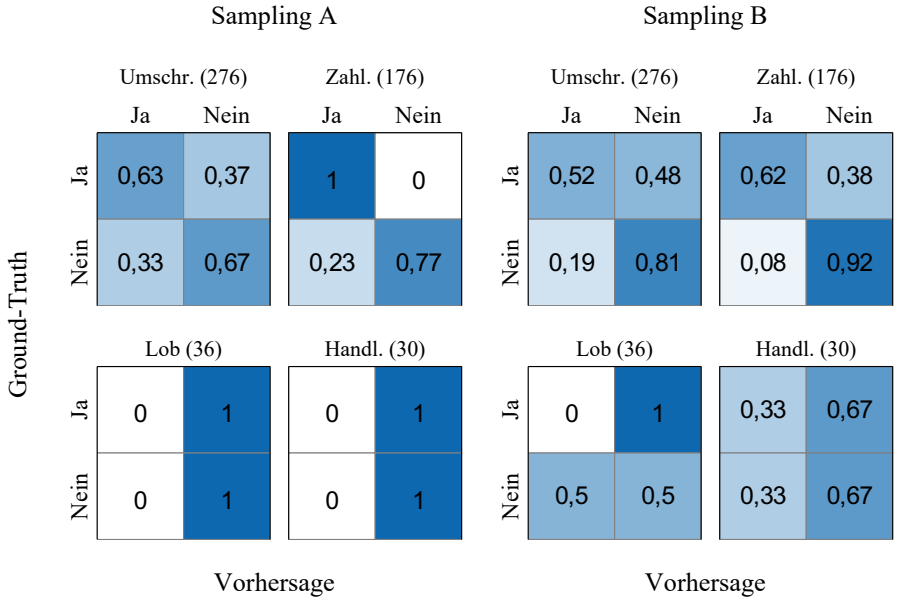


Abb. 1: Confusion-Matrizen des trainierten BERT-Modells mit zwei verschiedenen Samplings, je für zwei Kategorien mit hohem und niedrigem Auftreten

Eine weitere Problematik ist, dass bei manueller Kontrolle der ursprünglichen Kodierung mit dem Kodiermanual eindeutige Fehlzuordnungen festgestellt werden konnten. Die Interraterreliabilität in der ursprünglichen Untersuchung weist ein zwar ein Cohens κ von 0,80 ± 0,03 auf, jedoch wurde dies zu Beginn ermittelt, es ist unklar ob dieser Wert mit später hinzugekommenen Hilfskräften reproduziert werden kann. Über alle Kategorien und mehrere Samplings gemittelt beträgt die Übereinstimmung des Modells mit den menschlichen Ratern Cohens $\kappa = 0{,}20 \pm 0{,}05$.

Da die Datenmenge zum Trainieren von BERT zu gering erscheint, wurden auch wesentlich neuere Sprachmodelle der LLaMA-Familie (Touvron et al., 2023) getestet. Es zeigte sich, dass das LLaMA-Instruct Modell 3.1 mit 8 Milliarden Parametern (Dubey et al., 2024) nicht geeignet ist, was möglicherweise daran liegt, dass insbesondere nicht-englischsprachige Texte bei der reduzierten Modellgröße nur noch mit verminderter Qualität verarbeitet werden können. Das Modell mit 70 Milliarden Parametern konnte auf Grund begrenzter Hardware-Ressourcen nicht mehr trainiert werden, jedoch zeigte sich hier, dass allein durch Prompting bereits ein Cohens κ von 0,15 über alle Kategorien erreicht werden kann, wobei der höchste Wert einer Kategorie hierbei mit $\kappa = 0{,}42$ in der Kategorie Handlungsaufforderung auftritt.

Literatur

Bartels, H., & Kulgemeyer, C. (2018). Ein Videovignettentest zur Messung der Erklärfähigkeit von Lehrkräften. In C. Maurer (Hrsg.), Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Regensburg (S. 162–165). Universität Regensburg.

Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2018). BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. arXiv.

Dubey, A., Jauhri, A., Pandey, A., Kadian, A., Al-Dahle, A., Letman, A., Mathur, A., Schelten, A., Yang, A., Fan, A., Goyal, A., Hartshorn, A., Yang, A., Mitra, A., Sravankumar, A., Korenev, A., Hinsvark, A., Rao, A., Zhang, A., … Zhao, Z. (2024). The Llama 3 Herd of Models. arXiv.

Kulgemeyer, C., Riese, J., Vogelsang, C., Buschhüter, D., Borowski, A., Weißbach, A., Jordans, M., Reinhold, P., & Schecker, H. (2023). How authenticity impacts validity: Developing a model of teacher education assessment and exploring the effects of the digitisation of assessment methods. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 26(3), 601–625.

Kulgemeyer, C., & Tomczyszyn, E. (2015). Physik erklären – Messung der Erklärensfähigkeit angehender Physiklehrkräfte in einer simulierten Unterrichtssituation. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 21, 111–126.

Merzyn, G. (2005). Junge Lehrer im Referendariat. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, 58(1), 4–7.

Osborne, J. F., & Patterson, A. (2011). Scientific argument and explanation: A necessary distinction? Science Education, 95(4), 627–638.

Radford, A., Kim, J. W., Xu, T., Brockman, G., McLeavey, C., & Sutskever, I. (2022). Robust Speech Recognition via Large-Scale Weak Supervision. arXiv.

Touvron, H., Lavril, T., Izacard, G., Martinet, X., Lachaux, M.-A., Lacroix, T., Rozière, B., Goyal, N., Hambro, E., Azhar, F., Rodriguez, A., Joulin, A., Grave, E., & Lample, G. (2023). LLaMA: Open and Efficient Foundation Language Models. arXiv.

Wilson, H., & Mant, J. (2011). What makes an exemplary teacher of science? The pupils' perspective. School Science Review, 93(342), 121–125.

Wulff, P., Buschhüter, D., Westphal, A., Nowak, A., Becker, L., Robalino, H., Stede, M., & Borowski, A. (2020). Computer-Based Classification of Preservice Physics Teachers' Written Reflections. Journal of Science Education and Technology, 30(1), 1–15.

Sarah Wildbichler[1]
Claudia Haagen-Schützenhöfer[2]
Markus Obczovsky[2]
Thomas Schubatzky[1]

[1]Universität Innsbruck
[2]Universität Graz

Mit visuellen Repräsentationen über den Treibhauseffekt lernen

Problemstellung

In Zeiten des anthropogenen Klimawandels ist Climate Literacy ein essenzielles Ziel naturwissenschaftlicher Bildung. Dazu gehört unter anderem ein Verständnis der wesentlichen (naturwissenschaftlichen) Prinzipien des Klimasystems der Erde (USGCRP, 2009), wozu der Treibhauseffekt zählt. Um alle Schüler:innen zu erreichen, ist das Ziel Climate Literacy bereits im Pflichtschulbereich anzustreben. Allerdings wird in empirischen Studien zu Schülervorstellungen von zahlreichen und weit verbreiteten alternativen Vorstellungen zu den naturwissenschaftlichen Prinzipien des Klimawandels und im Speziellen zum Treibhauseffekt berichtet (Wildbichler et al., 2024). Chang (2022) argumentiert, dass alternative Vorstellungen im Rahmen schulischer Bildung hin zu angemessenen Ideen entwickelt werden sollten, um einem drohenden Kreislauf aus Unwissenheit und Untätigkeit entgegenzuwirken. Ziel dieses Forschungsprojektes ist es daher, eine Lernumgebung zum Treibhauseffekt für die Sekundarstufe I (Pflichtschulbereich) zu entwickeln. Ein besonderer Fokus liegt hierbei auf visuellen Repräsentationen der Prozesse, die dem Treibhauseffekt zugrunde liegen. Autor:innen, die Schülervorstellungen zum Treibhauseffekt untersuchen, führen alternative Vorstellungen unter anderem auf missverständliche bildliche Darstellungen in Medien, Schulbüchern und anderen Lernmaterialien zurück (Wildbichler et al., 2024). Daraus leiten wir den Auftrag an die Naturwissenschaftsdidaktik ab, visuelle Repräsentationen zu entwickeln, die Schüler:innen beim Aufbau eines angemessenen Verständnisses des Treibhauseffektes unterstützen.

Forschungsfragen und Forschungsdesign

Aus der umrissenen Problemstellung ergeben sich folgende Forschungsfragen:

(1) Wie kann ein lernwirksames Lernarrangement zum Thema Treibhauseffekt für die Sekundarstufe 1 inklusive visueller Repräsentationen aussehen?
(2) Wie interagieren Lernende mit dem Lernarrangement?
(3) Wie entwickelt sich das konzeptionelle Verständnis der Lernenden während ihrer Interaktion mit dem Lernarrangement?

Als methodologischen Rahmen wählen wir Design-Based Research (z.B. McKenney & Reeves, 2019). Innerhalb dieses Rahmens verfolgen wir zwei Ziele, die Entwicklung eines Lernarrangements und die Erforschung des Lernens und Lehrens anhand dieses Lernarrangements (Sandoval & Bell, 2004).

Zwar gibt es bereits einige Studien über Unterrichtsinterventionen zum Treibhauseffekt, allerdings liegt der Fokus dieser Untersuchungen oftmals auf den Lernpfaden einzelner Schüler:innen (z.B. Reinfried & Tempelmann, 2014), Schülervorstellungen und deren Entwicklung (z.B. Niebert & Gropengießer, 2014), oder der Wirksamkeit der Interventionen allgemein (Monroe et al., 2019). Um die Passung zwischen Lernarrangement und Lernenden zu optimieren, umfasst das Forschungsdesign mehrere Teiluntersuchungen.

Zunächst wurden theoretisch und empirisch fundierte Designannahmen formuliert und folglich Designkriterien abgeleitet (Obczovsky et al., 2024). Diese Designkriterien definieren Maßnahmen und Strategien für die Umsetzung der Designannahmen. Um einzelne Designannahmen zu stärken und die Umsetzung betreffende Designentscheidungen abzusichern, wurde an dieser Stelle im Entwicklungsprozess eine Vorbefragung mittels Online-Fragebogen durchgeführt, bei der Schüler:innen der achten Schulstufe (N = 231, convenience sample) und Erwachsene (N = 100, convenience sample) zur visuellen Repräsentation mehrerer Phänomene, etwa der Absorption von Strahlung, befragt wurden. Dazu wurden mehrere Single-Select Items entwickelt, bei denen die Teilnehmer:innen der Befragung jeweils eine bestimmte Darstellung auswählen konnten.

Im nächsten Schritt wurde eine erste Version des Lernarrangements entwickelt und anschließend parallel in zwei Workshops mit jeweils zehn Schüler:innen und in fünf Akzeptanzbefragungen mit jeweils zwei Schüler:innen (Wiesner & Wodzinski, 1996) der achten Schulstufe getestet. Ziel der Workshops und der Akzeptanzbefragungen war es, Einblicke zu gewinnen, wie Schüler:innen mit dem Lernarrangement interagieren, welche Hürden auftreten und wo noch Potenziale liegen. Das gesamte Forschungsdesign ist in Abb. 1 dargestellt.

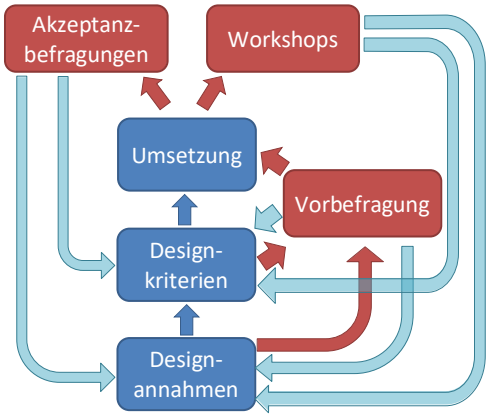


Abb. 1: Forschungsdesign der Studie.

Designprozess

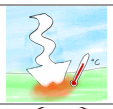
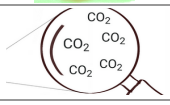
Aus den Designannahmen ergaben sich für die Umsetzung des Lernarrangements einige grundlegende Prinzipien: (a) Da der Treibhauseffekt für Schüler:innen der Sekundarstufe I ein neues Phänomen und zu komplex für Selbsterklärungen ist und auch das Vorwissen der Schüler:innen vermutlich gering ist, eignet sich die instruktionale Erklärung (Kulgemeyer, 2018) als Grundstruktur für das Lernarrangement. Neben der kognitiven Aktivierung und der konstruktiven Unterstützung der Schüler:innen sind Verständnisdiagnosen und Lernaufgaben wesentliche Bestandteile davon. (b) Der Inhalt der instruktionalen Erklärung wird durch die wissenschaftlichen Grundideen des Treibhauseffekts (Shepardson et al., 2017) definiert. (c) Da im Lernarrangement verbale Erklärungen mit visuellen Repräsentationen verknüpft werden, orientiert sich die Umsetzung an den Multimedia-Prinzipien zur Reduktion des Cognitive Load nach Mayer & Moreno (2003).

Für eine transparente, systematische Reflexion der Designannahmen und -kriterien wurden die Designannahmen in „starke“ und „schwache“ Annahmen eingeteilt. Basiert eine Designannahme etwa auf den Ergebnissen von Metaanalysen, sehen wir sie als „starke“ Designannahme. Basiert sie jedoch auf nicht generalisierbaren Einzelstudien, sehen wir sie als „schwache“ Designannahme. In der Vorbefragung, den Workshops und den Akzeptanzbefragungen liegt der Fokus auf den „schwachen“ Designannahmen, um Argumente dafür zu sammeln, diese in der Folge gegebenenfalls auszuschärfen, zu überarbeiten oder zu verwerfen.

Ergebnisse Vorbefragung und Workshops

Die Daten der Vorbefragung wurden mit Chi-Quadrat Tests ausgewertet. Bei allen Items wurde jeweils eine Darstellung signifikant häufiger gewählt als die übrigen, mit einer Ausnahme bei den Schüler:innen. Ausgewählte Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt. Für die Umsetzung der visuellen Repräsentation im Lernarrangement wurden die jeweils am häufigsten gewählten Darstellungen verwendet.

Tabelle 1: Ausgewählte Ergebnisse der Vorbefragung.

Frage	**Häufigste Antwort**	**Schüler:innen**		**Erwachsene**	
		p-Wert	Residue	p-Wert	Residue
Visualisierung IR-Strahlung		< 0.01	4.33	< 0.01	8.6
Visualisierung unsichtbarer Strahlung		0.01	3.84	< 0.01	5.2
Absorption von Strahlung/Licht		< 0.01	10.75	< 0.01	11
Visualisierung Moleküle		< 0.01	14.09	< 0.01	10.21

An den Workshops nahmen insgesamt N = 20 Schüler:innen der achten Schulstufe teil. Nach der Instruktion wurde ein Multiple Choice-Test mit sechs Items aus dem Testinstrument CCCI-422 (Schubatzky et al., 2023) durchgeführt. Dabei erreichten die Schüler:innen im Mittel 4,8 von 6 möglichen Punkten ($M = 4{,}8$; $SD = 1{,}0$). Bei der Frage nach der Beschreibung des gesamten Treibhauseffektes wählten 15 der 20 Schüler:innen aus fünf möglichen Antworten die angemessene aus. Von den Schüler:innen während der Workshops ausgefüllte Arbeitsblätter wurden mittels Qualitativer Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2018) ausgewertet. Die Analyse zeigt, dass die teilnehmenden Schüler:innen die im Lernarrangement verwendeten Darstellungsmöglichkeiten für eigene visuelle Repräsentationen (teilweise leicht angepasst) übernehmen. In schriftlichen Erklärungen der Schüler:innen sind viele aus naturwissenschaftlicher Sicht angemessene Vorstellungen zu finden, allerdings kommen auch immer wieder reflexionsbasierte Erklärungen vor, die Prozesse wie die Strahlungsumwandlung ausklammern.

Diskussion und Ausblick

Die Auswertung der Workshops zeigt, dass die teilnehmenden Schüler:innen die angebotenen visuellen Repräsentationen insofern akzeptieren, dass sie sie etwa für eigene Darstellungen verwenden. Als besonders herausfordernd wurde die Überwindung von reflexionsbasierten Ideen identifiziert. Um detailliertere Einblicke in die Interaktion der Schüler:innen mit dem Lernarrangement zu erhalten, die Ergebnisse der Workshops und der Vorbefragung zu triangulieren und weitere Hürden, Herausforderungen und Potenziale zu identifizieren, werden im nächsten Schritt die Akzeptanzbefragungen mittels Qualitativer Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2018) ausgewertet. Anschließend werden auf Basis der Ergebnisse der Workshops und der Akzeptanzbefragungen die Designannahmen und -kriterien überarbeitet und das Lernarrangement entsprechend angepasst. So wird etwa das Augenmerk auf die Vermeidung reflexionsbasierter Ideen verstärkt.

Literatur

Chang, C. H. (2022). Climate Change Education: Knowing, Doing and Being (2. Aufl.). London: Routledge

Kuckartz, U. (2018). Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung (4., überarbeitete Aufl.). Grundlagentexte Methoden. Weinheim:Beltz

Kulgemeyer, C. (2018). Towards a framework for effective instructional explanations in science teaching. Studies in Science Education, 54(2), 109–139

Mayer, R. E., & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. Educational Psychologist, 38(1), 43–52

McKenney, S., & Reeves, T. (2019). Conducting Educational Design Research (2. Aufl.), Routledge

Monroe, M. C., Plate, R. R., Oxarart, A., Bowers, A., & Chaves, W. A. (2019). Identifying effective climate change education strategies: a systematic review of the research. Environmental Education Research, 25(6), 791–812

Niebert, K., & Gropengießer, H. (2014). Understanding the Greenhouse Effect by Embodiment-Analysing and Using Students' and Scientists' Conceptual Resources. International Journal of Science Education, 36(2), 277–303

Obczovsky, M., Bernsteiner, A., Haagen-Schützenhöfer, C., & Schubatzky T. (2024): Systematizing Decisions in Design-based Research: From Theory to Design. Science Education, 1-14

Reinfried, S., & Tempelmann, S. (2014). The impact of secondary school students' preconceptions on the evolution of theirmental models of the greenhouse effect and global warming. International Journal of Science Education, 36(2), 304–333

Sandoval, W., & Bell, P. (2004). Design-Based Research Methods for Studying Learning in Context: Introduction. Educational Psychologist 39(4), 199-201

Schubatzky, T., Wackermann, R., Wöhlke, C., Haagen-Schützenhöfer, C., Jedamski, M., Lindemann, H., & Cardinal, K. (2023). Entwicklung des Concept-Inventory CCCI-422 zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 29 (1), 10

Shepardson, D. P., Roychoudhury, A., & Hirsch, A.S. (2017). Using conceptual and physical models to develop students' mental models of the greenhouse effect. In D.P. Shepardson, A. Roychoudhury, & A.S. Hirsch (Eds.). Teaching and learning about climate change. A framework for educators. New York: Routledge

USGCRP (2009). Climate Literacy. The Essential Principals of Climate Science. https://www.globalchange.gov/reports/climate-literacy-essential-principles-climate-science-0

Wiesner, H., & Wodzinski, R. (1996). Akzeptanzbefragungen als Methode zur Untersuchung von Lernschwierigkeiten. In R. Duit & C. von Rhöneck (Eds.). Lernen in den Naturwissenschaften: Beiträge zu einem Workshop an der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg (250-274). IPN

Wildbichler, S., Haagen-Schützenhöfer, C., & Schubatzky, T. (2024). Students' ideas about the scientific underpinnings of climate change: A systematic review of the literature. Studies in Science Education, 1-53

Matthias Fasching[1] [1]Universität Wien
Thomas Schubatzky[2] [2]Universität Innsbruck
Martin Hopf[1]

Wollen Lehrer:innen im Physikunterricht Klimaschutzmaßnahmen bewerten?

Im sechsten Sachstandsbericht des „Intergovernmental Panel on Climate Change“ werden die aktuellen Maßnahmen zur Klimawandeleindämmung und -anpassung als unzureichend beurteilt (IPCC, 2023). Dabei beschlossen die Vereinten Nationen schon 2015 das Nachhaltigkeitsziel, „umgehend Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels und seiner Auswirkungen [zu] ergreifen“ (UN Generalversammlung, 2015). Klimabildung als ein Aspekt davon ist auch im neuen österreichischen Physiklehrplan für die Sekundarstufe 1 enthalten. Schüler:innen sollen am Ende der 8. Schulstufe „Maßnahmen zur Einhaltung aktueller Klimaschutzziele […] einordnen und ihre Umsetzungsmöglichkeiten diskutieren“ können (BMBWF, 2023). Das Thema soll dabei explizit als „socioscientific issue“ (Sadler, 2011) unterrichtet und zur Förderung der Bewertungskompetenz (Bögeholz et al., 2018) der Lernenden genutzt werden. Lehrpersonen sind beim Unterrichten solcher Themen jedoch mit zahlreichen Herausforderungen konfrontiert, darunter beispielsweise die Komplexität sowie Umstrittenheit dieses politisch aufgeladenen Themas (Kranz et al., 2022). Um Lehrer:innen erfolgreich und wirksam für einen „Unterricht zur Bewertung von Klimaschutzmaßnahmen“ (UBKM) fortbilden zu können, gilt es, diese Herausforderungen in entsprechenden Kurs- und Weiterbildungsangeboten zu adressieren (van Dijk & Kattmann, 2007).

Theoretischer Rahmen und Forschungsfragen

Die Zusammenhänge zwischen von Lehrpersonen wahrgenommenen Herausforderungen und der tatsächlichen Umsetzung eines UBKM können mit der „Theory of Planned Behavior“ (TPB) dargestellt werden (Ajzen, 1991). Nach Ajzen (2011) hängt die Umsetzung des Unterrichts zunächst von der *Umsetzungsintention* ab, welche wiederum durch drei Komponenten beeinflusst wird: den *Einstellungen* gegenüber UBKM, den *subjektiven Normen*, sowie der *wahrgenommenen Kontrollierbarkeit*. Während die *subjektiven Normen* der Wahrnehmung eines sozialen Drucks aus dem persönlichen Umfeld entsprechen, beschreibt die *wahrgenommene Kontrollierbarkeit* einer Person deren Einschätzung darüber, ob sie die Umsetzung des UBKM tatsächlich selbst steuern kann oder nicht. Da das Thema laut dem neuen Lehrplan verpflichtend zu unterrichten ist und dies möglicherweise die *Umsetzungsintentionen* beeinflusst, wird ein zusätzliches Konstrukt auf derselben Ebene der TPB eingeführt: Die *Umsetzungsbereitschaft* beschreibt, ob Lehrer:innen UBKM auch freiwillig und ohne verpflichtende Lehrplanvorgaben umsetzen würden (Heuckmann et al., 2020).

Sowohl mögliche Unterschiede zwischen *Intention* und *Bereitschaft*, als auch deren Zusammenhänge mit anderen TPB-Konstrukten wurden bisher für die Umsetzung eines UBKM nicht untersucht. Entsprechende Erkenntnisse sind jedoch hilfreich, um Anknüpfungspunkte für die Gestaltung wirksamer Lehrer:innenfortbildung zu identifizieren. Aus dem Problemaufriss und dem theoretischen Rahmen leiten wir daher folgende Forschungsfragen ab:

- Inwieweit unterscheiden sich *Intention* und freiwillige *Bereitschaft* für die Umsetzung eines UBKM bei Physiklehrer:innen?

- Inwieweit können *Intention* und *Bereitschaft* von Physiklehrer:innen zur Umsetzung eines UBKM durch die TPB-Konstrukte erklärt werden?

Methodik

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurde zwischen Oktober 2023 und Februar 2024 eine Online-Querschnittsstudie mit österreichischen Physiklehrpersonen durchgeführt. Der eingesetzte Fragebogen wurde auf Basis des umfangreich getesteten Forschungsinstruments von Heuckmann et al. (2018, 2020) entwickelt, welches die TPB-Konstrukte *Einstellungen* und *wahrgenommene Kontrollierbarkeit* in je zwei Subskalen unterteilt (siehe Tabelle 1). Insgesamt haben 206 Gymnasiums- und Mittelschullehrpersonen an der Studie teilgenommen. Unter Anwendung eines Rasch-Modells wurden mit Fixierung der mittleren Itemschwierigkeit auf null für alle TPB-Konstrukte die Personenfähigkeiten ermittelt (Bond et al., 2020). Anhand dieser Personenfähigkeiten konnten deskriptive Auswertungen und multiple lineare Regressionsanalysen durchgeführt werden.

Tabelle 1. Übersicht über TPB-Konstrukte, Beispielitems, psychometrische Eigenschaften und deskriptive Ergebnisse des Fragebogens.

TPB-Konstrukt	Item-zahl	Beispielitem	Relia-bilität	M (SD)
Umsetzungsintention (bei Lehrplanvorgaben)	5	Ich werde UBKM durchführen.	0,87	2,99 (1,69)
Umsetzungsbereitschaft (bei Freiwilligkeit)	6	Ich möchte UBKM durchführen.	0,88	2,21 (1,36)
Einstellungen Einfachheit der Umsetzung	5	Ich empfinde die Durchführung von UBKM als leicht.	0,79	1,22 (0,68)
Einstellungen Wichtigkeit der Umsetzung	3	Ich empfinde die Durchführung von UBKM als notwendig.	0,71	2,80 (1,23)
Subjektive Normen	4	Menschen, die für meinen Unterricht von Bedeutung sind, finden die Durchführung von UBKM wichtig.	0,83	1,19 (0,94)
Kontrollierbarkeit Selbstwirksamkeitserwartung	3	Ich fühle mich gut auf die Durchführung von UBKM vorbereitet.	0,83	1,94 (1,28)
Kontrollierbarkeit Autonomieempfinden	3	Ich habe die freie Wahl, UBKM durchzuführen.	0,72	1,44 (0,64)

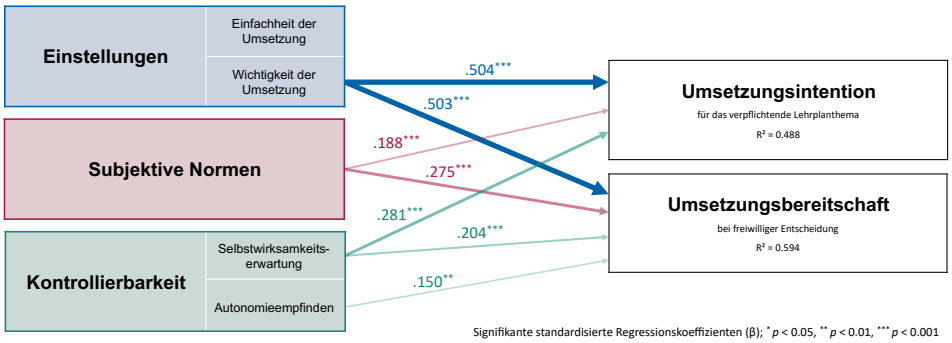
Ergebnisse

Die *Intention* zur Umsetzung von UBKM in Physik ist wie auch die freiwillige *Bereitschaft* zur Umsetzung positiv (siehe Tabelle 1). Die meisten Lehrpersonen intendieren demnach eine Umsetzung des Themas und würden dieses auch unterrichten, wenn sie freiwillig entscheiden könnten. Dabei ist die *Umsetzungsintention* ($M = 2{,}99$, $SD = 1{,}69$) jedoch signifikant höher als die freiwillige *Umsetzungsbereitschaft* ($M = 2{,}21$, $SD = 1{,}36$), $t(205) = 10{,}01$, $p < 0{,}001$.

Ebenso wie die *Intention* und *Bereitschaft* zur Umsetzung von UBKM sind alle anderen TPB-Konstrukte positiv (siehe Tabelle 1). Die Lehrpersonen nehmen die Umsetzung von UBKM als eher einfach und sehr wichtig wahr. Sie erkennen eine geringe Erwartungshaltung ihres Umfelds zur Umsetzung, haben eine moderate Selbstwirksamkeitserwartung und ein geringes Autonomieempfinden. Insgesamt können durch diese TPB-Konstrukte 48,8 % der Varianz der *Umsetzungsintention* bei Lehrplanvorgaben, sowie 59,4 % der *Umsetzungsbereitschaft* bei Freiwilligkeit erklärt werden. In beiden Fällen stellt die *wahrgenommene Wichtigkeit* der Umsetzung den wichtigsten signifikanten Prädiktor dar (siehe Abbildung 1). Weiters sind die *subjektiven Normen* und die *Selbstwirksamkeitserwartung* signifikante Prädiktoren. Das *Autonomieempfinden* weist einen signifikanten Zusammenhang nur mit der

Umsetzungsbereitschaft der Lehrpersonen auf, während die *wahrgenommene Einfachheit* der Umsetzung von UBKM keinerlei Signifikanz in der Regressionsanalyse zeigt.

Abbildung 1. Zusammenhänge zwischen TPB-Konstrukten nach multipler linearer Regressionsanalyse.



Diskussion und Ausblick

Ziel dieser Studie war es, Zusammenhänge zwischen *Intention* und *Bereitschaft* zur Umsetzung von UBKM sowie den TPB-Konstrukten besser zu verstehen, um daraus Schlüsse für die Gestaltung von Lehrer:innenfortbildung ziehen zu können. Zunächst fällt eine hohe *Umsetzungsintention* auf, die womöglich mit den Lehrplanvorgaben zusammenhängt. Auf dieser Basis erscheint es sinnvoll, die Bewertung von Klimaschutzmaßnahmen auch in andere nationale Curricula aufzunehmen, da dies von Lehrkräften scheinbar positiv aufgenommen wird. Gleichzeitig erscheint es in Anbetracht der signifikant geringeren *Bereitschaft*, das Thema auch freiwillig zu unterrichten, jedoch sinnvoll, solche „top-down"-Maßnahmen auch durch „bottom-up"-Ansätze zu unterstützen. Dies könnte mittels Lehrer:innenfortbildungen passieren, die sich explizit mit den Wahrnehmungen zur *Wichtigkeit* des Themas und den *subjektiven Normen*, sowie mit der *Selbstwirksamkeitserwartung* und dem *Autonomieempfinden* von Lehrpersonen auseinandersetzen. Hierzu könnten beispielsweise die Bildung einer professionellen Gemeinschaft und die Wahrnehmung eines positiven Effekts auf die Schüler:innen gefördert (Goddard & Goddard, 2001), oder fachdidaktisches Wissen vermittelt und bereits vorhandene Fähigkeiten bei den Lehrpersonen aufgezeigt werden (Fasching et al., 2024; Li et al., 2021).

Limitiert ist die Studie sowohl aufgrund theoretischer wie auch methodischer Aspekte. Während in der TPB beispielsweise von rationalen Entscheidungen der Individuen ausgegangen wird und die Auswahl der berücksichtigten Konstrukte begrenzt ist, können in der Praxis auch affektive Komponenten oder das fachdidaktische Wissen von Lehrpersonen einen Einfluss auf die *Umsetzungsintention* und *-bereitschaft* haben (Ajzen, 2020). Zudem führen die Verbreitungskanäle sowie die Freiwilligkeit der Studie dazu, dass die Ergebnisse nur für Lehrpersonen generalisierbar sind, die entsprechende Kanäle nutzen und auch am Thema im Speziellen sowie der fachdidaktischen Forschung im Allgemeinen interessiert sind. Die Ergebnisse und Implikationen können dennoch als Ausgangspunkt dienen, um Ausprägungen einzelner TPB-Konstrukte für Teilgruppen von Lehrpersonen genauer zu untersuchen, sowie um ein Fortbildungsprogramm forschungsbasiert zu entwickeln und zu evaluieren.

Literatur

Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, *50*(2), 179–211. https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T

Ajzen, I. (2011). Behavioral Interventions: Design and Evaluation Guided by the Theory of Planned Behavior. In M. M. Mark, S. I. Donaldson, & B. Campbell (Eds.), *Social psychology and evaluation* (pp. 74–103). Guilford Press.

Ajzen, I. (2020). The theory of planned behavior: Frequently asked questions. *Human Behavior and Emerging Technologies*, *2*(4), 314–324. https://doi.org/10.1002/hbe2.195

BMBWF. (2023). *Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen*. Retrieved May 16, 2024, from https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568

Bögeholz, S., Hößle, C., Höttecke, D. & Menthe, J. (2018). Bewertungskompetenz. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Eds.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (pp. 261–282). Springer Berlin Heidelberg.

Bond, T. G., Yan, Z. & Heene, M. (2020). *Applying the Rasch model*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9780429030499

Fasching, M., Schubatzky, T. & Wildbichler, S. (2024). Zwischen Emotionen, Fachwissen und Politik. Wie kann mit Lernenden sinnvoll im Kontext "Klimwandel" diskutiert werden? Plus Lucis, 24(2), 22–26.

Goddard, R. D. & Goddard, Y. L. (2001). A multilevel analysis of the relationship between teacher and collective efficacy in urban schools. Teaching and Teacher Education, 17(7), 807–818. https://doi.org/10.1016/S0742-051X(01)00032-4

Heuckmann, B., Hammann, M. & Asshoff, R. (2018). Entwicklung, Erprobung und Validierung eines Erhebungsinstruments zur Erfassung von Einflussfaktoren auf die Intention, das Thema Krebserkrankungen zu. In M. Hammann & M. Lindner (Eds.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik. "Biologiedidaktik als Wissenschaft" (Bd. 8)* (pp. 357–374). Studien Verlag.

Heuckmann, B., Hammann, M. & Asshoff, R. (2020). Identifying predictors of teachers' intention and willingness to teach about cancer by using direct and belief-based measures in the context of the theory of planned behaviour. *International Journal of Science Education*, *42*(4), 547–575. https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1717671

IPCC. (2023). Climate change 2023: Summary for policymakers. In H. Lee, K. Calvin, D. Dasgupta, G. Krinner, A. Mukherji, P. W. Thorne, C. Trisos, J. Romero, P. Aldunce, K. Barrett, G. Blanco, W. W. Cheung, S. Connors, F. Denton, A. Diongue-Niang, D. Dodman, M. Garschagen, O. Geden, B. Hayward, . . . S. L. Connors (Eds.), *Climate change 2023: Synthesis report. contribution of working groups I, II and III to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.* IPCC.

Kranz, J., Schwichow, M., Breitenmoser, P. & Niebert, K. (2022). The (un)political perspective on climate change in education—A systematic review. *Sustainability*, *14*(7), Article 4194. https://doi.org/10.3390/su14074194

Li, C. J., Monroe, M. C., Oxarart, A. & Ritchie, T. (2021). Building teachers' self-efficacy in teaching about climate change through educative curriculum and professional development. Applied Environmental Education & Communication, 20(1), 34–48. https://doi.org/10.1080/1533015X.2019.1617806

Sadler, T. D. (Ed.). (2011). *Contemporary Trends and Issues in Science Education Ser*. *Socio-Scientific Issues in the Classroom: Teaching, Learning and Research*. Springer.

UN Generalversammlung. (2015). *Transformation unserer Welt: die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung*. Retrieved September 2, 2024, from https://www.un.org/depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf

van Dijk, E. M. & Kattmann, U. (2007). A research model for the study of science teachers' PCK and improving teacher education. *Teaching and Teacher Education*, *23*(6), 885–897. https://doi.org/10.1016/j.tate.2006.05.002

Philipp Scheiger[1] [1]Universität Stuttgart
Stefan Behrendt

Feedback zum Studieneingang Physik
Entwicklung und erste Ergebnisse eines Tests

Die Bedeutung eines fundierten physikalischen Vorwissens ist für den Erfolg in der Studieneingangsphase vieler MINT-Studiengänge unbestritten. Die Herausforderungen, die sich aus einer unzureichenden Vorbereitung ergeben, können nicht nur zu einer erhöhten Studienbelastung führen, sondern auch die Motivation und das Selbstbewusstsein der Studierenden erheblich beeinträchtigen. Vor diesem Hintergrund wurde ein Test entwickelt, der die grundlegenden physikalischen Fachkompetenzen von Studierenden erfasst und auf Basis der Testergebnisse auch individuelle Rückmeldungen zum Leistungsvermögen ermöglichen soll. Dieser Artikel stellt die Entwicklung dieses Tests, seine Struktur, die verwendeten Fragentypen sowie erste Ergebnisse der Pilotierung vor.

Motivation und Zielsetzung

Die Erfahrung zeigt, dass immer wieder stärkere Studierende an sich und ihren Fähigkeiten zweifeln, während schwächere Studierende die eigenen Wissenslücken nicht erkennen. Unterstützungsangebote und offene Lernräume werden deshalb häufig nicht von den Studierenden aufgesucht, die diese Angebote am dringendsten benötigen. Zusätzlich können Lehrende davon profitieren, wenn sie Informationen darüber erhalten, auf welchem Leistungsstand ihre Studierenden stehen, welche Teilnehmenden spezifische Unterstützung benötigen und in welchen Bereichen sie diese Unterstützung am dringendsten benötigen. Die Schaffung eines Feedbacksystems, das eine anonyme Rückmeldung ermöglicht, birgt von daher ein großes Potential die Studieneingangsphase für viele Studierende in Zukunft erfolgreicher zu gestalten.

Stefan Behrendt und Kollegen (Behrendt et al., 2023) haben an der Universität Stuttgart einen Eingangstest entwickelt, der auf Basis von Fachwissensfragen zur Mittelstufenmathematik Studierende in verschiedene Niveaustufen einteilt. Diese Niveaustufen korrelieren gut mit der Wahrscheinlichkeit des Scheinerwerbs in der Vorlesung „Höhere Mathematik 1“ an der Universität Stuttgart. Nach Durchführung dieses Tests erhalten Studierende Feedback zu ihren momentanen Fähigkeiten in der Mittelstufenmathematik, die Teilfähigkeiten im Vergleich zu ihren Mitstudierenden, eine Einordnung des eigenen Ergebnisses, Links zu Lernangeboten der Universität, sowie den Verweis auf die zentrale Studienberatung, bei einem entsprechend schlechten Abschneiden. Ziel ist es, die Studierenden in ihrer Selbstreflexion zu unterstützen und ihnen konkrete Handlungsanleitungen zu geben.

In diesem Artikel wird die Entwicklung eines Tests auf die physikalischen Grundlagen vorgestellt, der anschließend die gleiche Funktion wie der Mathematiktest haben soll.

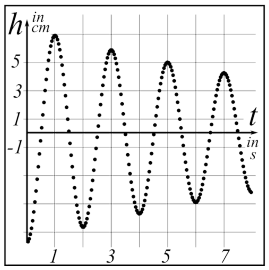
Testentwicklung: Konzept und Struktur

Grundlage der Testentwicklung ist eine umfassende Analyse der curricularen Anforderungen der Sekundarstufe I im Bildungsplan Physik des Landes Baden-Württemberg (Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg, 2016), um sicherzustellen, dass der Test das potentielle Vorwissen abfragt und zu allen relevanten Bereichen den Studierenden Feedback geben kann. Die zentralen Themenbereiche umfassen den Elektromagnetismus, die Mechanik, die Optik, die Wärmelehre und das Überthema Energie.

Die technischen und strukturellen Rahmenbedingungen orientieren sich an dem vorher erwähnten Mathematiktest (Behrendt et al., 2023). Die Bearbeitungszeit beträgt etwa 40 Minuten, und die Fragen sind so konzipiert, dass sie den Kenntnisstand der Mittelstufe widerspiegeln. Der Test umfasst insgesamt 52 Fragen, die zu 33 Items zusammengefasst werden können, die in verschiedene Aufgabentypen unterteilt sind:

Messwerte und Formeln: In diesen Aufgaben müssen Studierende, Messwerte aus verschiedenen Informationsmedien ablesen, Formeln entsprechend umformen und anwenden, um physikalische Größen zu berechnen. Beispielsweise wird in einer Aufgabe die Bestimmung der Härte einer Feder verlangt, wobei die Periodendauer aus einem Diagramm ermittelt werden muss.

Für die Kreisfrequenz einer vereinfachten harmonischen Schwingung eines Federpendels gilt: $\omega = \sqrt{\frac{D}{m}}$. Bestimmen Sie die Federhärte D.



Periodendauer: ☐

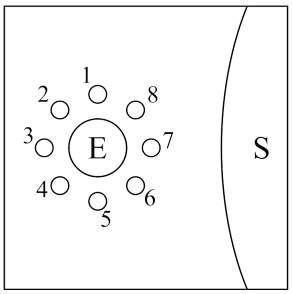
Formel für die Federhärte: ☐

Berechnete Federhärte: ☐

Abb. 1 Testfrage zur Messwertebestimmung und Formelanwendung am Beispiel des Federpendels.

Konzeptfragen: Hierbei handelt es sich um Fragen, die das Verständnis von physikalischen Konzepten prüfen. Im Test ist jedes Themengebiet mit zwei Aufgaben vertreten, um ein breites Spektrum an physikalischen Konzepten und Inhalten abzudecken. Eine Beispielaufgabe ist die Zuordnung von Mondphasen zu den entsprechenden Positionen in einem Schaubild.

Im Schaubild sind die Sonne S, die Erde E und verschiedene Positionen des Mondes eingezeichnet. Ordnen Sie diese Positionen verschiedenen Mondphasen zu (Mehrfachnennungen sind möglich).



Vollmond				Halbmond			
☐ 1	☐ 5			☐ 1	☐ 5		
☐ 2	☐ 6			☐ 2	☐ 6		
☐ 3	☐ 7			☐ 3	☐ 7		
☐ 4	☐ 8			☐ 4	☐ 8		

Abb. 2 Frage zur Strahlenoptik bei den Mondphasen.

Schülervorstellungen: Diese Fragen zielen darauf ab, die alltäglichen physikalischen Vorstellungen der Studierenden zu erfassen, bzw. deren Fähigkeit die Richtigkeit von typischen Schüleraussagen zu evaluieren. Diese typischen Aussagen sind dem Buch „Schülervorstellungen und Physikunterricht“ (Schecker et al., 2018) entnommen. Beispielsweise soll die physikalische Richtigkeit der folgenden Aussage bewertet werden:

„Deckt man bei einer Sammellinse die obere Hälfte ab, so verschwindet die untere Hälfte der Abbildung.“

Methodik und Pilotierung

Die Pilotierung des Tests wurde an einer Stichprobe mit 99 Erstsemestern durchgeführt, von denen etwa 14 % weiblich waren und die aus verschiedenen naturwissenschaftlichen und ingenieurtechnischen Studiengängen der Universität Stuttgart kamen. Die Durchführung der Pilotierung erfolgte online in einer kontrollierten Umgebung, um die Bedingungen für alle Teilnehmenden zu standardisieren. Die Auswertung erfolgte mithilfe der Item-Response-Theorie, die eine differenzierte Analyse der Lösungswahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit von den Fähigkeiten der Testteilnehmenden ermöglicht (vgl. De Ayala, 2009). Die besten Ergebnisse erzielte eine Auswertung mit zwei Parametern (2PL), dem Schwierigkeits- und dem Diskriminierungsparameter. Die Ergebnisse der Pilotstudie zeigten eine EAP/PV-Reliabilität von .88, was auf eine hohe Konsistenz der Testergebnisse hinweist.

Eine erste Itemanalyse zeigte, welche missverständliche oder fehlerhafte Fragestellungen überarbeitet werden müssen, um die Validität des Tests weiter zu erhöhen. Zudem weisen die Testergebnisse darauf hin, dass bestimmte Themen, wie die lineare Optik, für Studierende aus Baden-Württemberg eine besondere Herausforderung darstellen. Die Analyse der häufig gewählten falschen Antworten deutet an, dass die Abwägung von Effektstärken, wenn mehrere physikalische Effekte an einem Prozess beteiligt sind, und die Verzerrung von Dimensionen oder Größenverhältnissen generell Herausforderungen für Studierende darstellen.

Mehrdimensionale Analyse der Fähigkeiten

Entscheidend für die Testentwicklung ist die Frage, ob es eine allgemeine Physikfähigkeit gibt, mit der das Abschneiden in allen Themenbereichen und Methodiken der Physik vorhergesagt werden kann, oder ob die Ausdifferenzierung von verschiedenen Unterfähigkeiten ein besseres Modell liefert. Erste mehrdimensionale Analysen, die die Items nach den Themengebieten der Physik sortieren oder nach den in den KMK-Standards (KMK, 2020) formulierten Basiskonzepten, *„Erhaltung und Gleichgewicht“*, *„Superposition und Komponenten“*, sowie *„Mathematisierung und Vorhersagen“*, liefern noch keine verbesserten Ergebnisse gegenüber einem eindimensionalen Modell.
Zudem kann ein Niveaustufenmodell entwickelt werden, das es ermöglicht, die Leistungen der Studierenden im Test auch mit physikalischen Kompetenzen zu kategorisieren.

Zusammenfassung und Ausblick

Der entwickelte Test zur Diagnose grundlegender physikalischer Kompetenzen bildet einen ersten Schritt, um gezielte und individuelle Rückmeldungen zu den fachlichen Kompetenzen von Studierenden in der Studieneingangsphase zu geben. Die Ergebnisse der Pilotierung zeigen mit einer EAP-PV Reliabilität von 0.88 vielversprechende Werte, was die Vorhersagekraft des Tests betrifft. Erste Analysen zu mehrdimensionalen Modellen von verschiedenen physikrelevanten Unterfähigkeiten zeigten noch keine Verbesserung gegenüber einem Modell mit nur einer Physikfähigkeit. Darüber hinaus konnte ein erster Entwurf für eine Fähigkeitsskala mit mehren Niveaustufen für das individuelle Feedback erstellt werden.

Literatur

Behrendt, S. et al. (2023) Konstruktion und psychometrische Prüfung eines Tests zur Diagnostik mathematischer Studieneingangsleistungen, ZeHf – Zeitschrift für empirische Hochschulforschung, 1-2023, S. 74-95.

De Ayala, R. (2009). The theory and practice of item response theory. Reference and Research Book News, 24(2)

KMK – Ständige Konferenz der Kultusminister in der Bundesrepublik Deutschland (2020): Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Physik.pdf (Stand 10/2024)

Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg. (2016). Bildungsplan des Gymnasiums - Physik. Neckar-Verlag GmbH, Villingen-Schwenningen https://www.bildungsplaene-bw.de/site/bildungsplan/get/documents/lsbw/export-pdf/depot-pdf/ALLG/BP2016BW_ALLG_GYM_PH.pdf (Stand 10/2024)

Schecker, H. et al. (2018). Schülervorstellungen und Physikunterricht. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin.

Florian Trauten[1]
Carolin Eitemüller[1]
Maik Walpuski[1]

[1]Universität Duisburg-Essen

Digitale Lerneinheiten mit automatisiertem Feedback für individualisierte Selbstlernphasen

Theoretischer Hintergrund

Viele Studienabbrüche im Studiengang Chemie (Abbruchquote 52 %, Heublein et al., 2022) lassen sich auf Lern- und darauf folgende Leistungsprobleme zurückführen. Verfügen Studierende nur über ein geringes Konzeptverständnis, ist es aufgrund der kumulativen Struktur des Fachs Chemie schwer, Defizite abzubauen. Defizite sollten daher besonders früh im Studium aufgearbeitet werden, da sich andernfalls die Abbruchwahrscheinlichkeit deutlich erhöht (Heublein et al., 2017). Der hohe Zeitaufwand zum Schließen von Wissenslücken stellt Studierende vor Probleme (Schwedler, 2017). Je geringer das Vorwissen ist, desto höher ist der Aufwand zur Aufarbeitung von Defiziten und umso wichtiger wird die Fähigkeit des selbstregulierten Lernens (SRL), um erfolgreich zu sein. Leider stellt SRL für die Mehrheit der Studierenden zu Beginn ihres Studiums eine große Herausforderung dar (Trentepohl et al., 2022). Eine Meta-Analyse ergab, dass Studierende mit hohem Vorwissen dazu neigen, ihren Lernprozess stärker zu planen und zu überwachen als Studierende mit geringem Vorwissen, die gleichzeitig auch geringe Fähigkeiten zum selbstregulierten Lernen mitbringen (Winters et al., 2008). Darüber hinaus haben Winters et al. (2008) gezeigt, dass das Erleben eines hohen Maßes an Selbstbestimmung beim Lernen sich positiv auf die Leistungen von Lernenden auswirkt, die über ein hohes Maß an Selbstregulierung verfügen, während sich dieser Effekt umgekehrt negativ auf die Leistung von Lernenden mit gering ausgeprägten Selbstregulationsfähigkeiten auswirkt. Die Kombination aus großen Defiziten im Vorwissen und der damit einhergehenden erhöhten Wahrscheinlichkeit geringer Selbstregulationsfähigkeiten von Studierenden deutet auf einen Bedarf an Unterstützung hinsichtlich der Strukturierung des Lernprozesses in der Studieneingangsphase hin, insbesondere da Studierende – bei gleichzeitigem Überschätzen der eigenen Fähigkeiten (Bruin et al., 2017) – den Zeitaufwand für das Erlernen der Inhalte häufig unterschätzen (Thibodeaux et al., 2017).

Zusätzlich muss – anders als in der Schule – Feedback zum Lernerfolg oder zu Fehlern an der Universität aktiv eingefordert werden. Die Kontaktaufnahme zu anderen Studierenden und zu Lehrenden wird damit zu einem entscheidenden Faktor für den Verbleib an der Hochschule (Sarcletti & Müller, 2011). Gerade zu Beginn des Studiums fehlen diese Kontakte aber, da die Studieneingangsphase zunächst auch eine Phase der Integration in ein neues soziales Setting ist (Trautwein & Bosse, 2017). Insbesondere Studierende, die später ihr Studium abbrechen, nehmen äußerst selten Feedback von Hochschullehrenden in Anspruch. Da Feedback nach Hattie und Timperley (2007) als eine der bedeutendsten Einflussgrößen auf Lern- und Motivationsprozesse klassifiziert werden konnte, ist ein Mangel an Feedback eine zusätzliche Herausforderung für Studierende.

Interaktive Lernaufgaben mit adaptivem, fehlerspezifischem Feedback konnten bereits als valide Unterstützungsmöglichkeit klassifiziert werden, um den Wissenserwerb in der Studieneingangsphase zu fördern und Defizite aufzuholen (Trauten et al., 2022). Auch Assessments (z. B. Freasier et al., 2003) haben sich bereits als vielversprechende

Möglichkeiten erwiesen, Selbstlernphasen im Studium zu optimieren. So liefern qualitative Studien zum Einsatz von formativen Assessments die Erkenntnis, dass diese den Lernenden helfen können, ihre Fähigkeiten realistischer einzuschätzen, da sie es als externes Performance-Maß ermöglichen, Stärken und Schwächen zu erkennen, was wiederum die Lernenden bei der Selbstregulierung ihres Lernprozesses unterstützt (z. B. Chung et al., 2006). In interaktiven E-Lerneinheiten lassen sich beide Aspekte (feedbackgestützte Lernaufgaben und automatisiert ausgewertete Assessments) realisieren. Zudem können die zu lernenden Inhalte strukturiert, multimedial aufbereitet und interaktiv dargestellt werden. Daher wurden digitale Lerneinheiten – basierend auf einer validierten *Learning Progression* über die ersten drei Lernjahre in der Chemie (Walpuski & Celik, 2024) – für Selbstlernphasen im Studium entwickelt, die Fachwissensdefizite in wichtigen Teilbereichen der Chemie adressieren. Dass die Art und Weise, wie Selbstlernmaterialien in eine Lehrveranstaltung eingebettet werden, die Nutzung und Akzeptanz beeinflussen können, zeigt sich in folgenden Beispielen. Für formative Assessments konnten Karay et al. (2020) beispielsweise zeigen, dass eine unbegrenzte und selbstbestimmte Nutzung zu einer häufigeren Verwendung und einer höheren Akzeptanz von Assessments führen kann. Parker und Loudon (2013) konnten zeigen, dass auch unmittelbares automatisiertes elaboriertes Feedback zu Studierendenlösungen die Einstellung gegenüber einem digitalen Tool, mit dem Hausaufgaben bearbeitet werden können, positiv beeinflussen konnte. Dennoch erkannten sie in dieser Fallstudie, dass selbst bei hoch motivierten Lernenden eine zusätzliche Fremdregulation erforderlich ist, um die Nutzung des Systems zu gewährleisten. Ähnlich dazu berichten Trentepohl et al. (2022) hinsichtlich des Lernerfolgs, dass sich deutlich bessere Lernergebnisse im Rahmen eines Hochschulkurses (Bauingenieurwesen, Studieneingangsphase) erzielen lassen, wenn eine mangelnde Selbstregulation der Studierenden durch regelmäßig von der Lehrperson eingeforderte verbindliche Abgaben kompensiert wird. Fraglich ist daher, ob Fremdregulation erforderlich ist, um das Potential so beschaffener Hilfsangebote ausschöpfen zu können.

Ziel und Fragestellung

Neben der Prüfung der Lernwirksamkeit der E-Lerneinheiten ist es das Ziel des Projekts, den Einfluss verschiedener Implementationsbedingung auf das Nutzungsverhalten und die Akzeptanz seitens der Studierenden hinsichtlich des Angebots zu prüfen. Die zugrundeliegende Frage lautet:

Wie wirken sich interaktive E-Lerneinheiten mit automatisiertem Feedback und formativem Assessment in Abhängigkeit von den Implementationsbedingungen (IG1: selbstbestimmt vs. IG2: verpflichtend) auf (a) die Akzeptanz hinsichtlich der E-Lerneinheiten (b) auf das Nutzungsverhalten und (c) den Studienerfolg von Erstsemesterstudierenden in der Allgemeinen Chemie aus?

Methode und Design

Diese Fragestellung wurde im Wintersemester 2023/2024 im Rahmen einer Interventionsstudie im Zwei-Gruppen-Prä-Post-Design an $N_{Total} = 138$ Studierenden überprüft. Hierzu wurden Lehramtsstudierende mit dem Fach Chemie (IG1: verpflichtende Bearbeitung) mit Studierenden der Fachstudiengänge Bachelor Chemie und Bachelor Water Science (IG2: eigenverantwortliche Bearbeitung) im Rahmen des Moduls „Allgemeine Chemie“ verglichen. Beide Interventionsgruppen besuchen – bei gleichen Modulzielen –

getrennt voneinander eine Präsenz-Übung sowie die dazugehörige Vorlesung. Zur Beantwortung der Teilfragen zur Akzeptanz (a) und zur Nutzung des Materials (b) wurde in Anlehnung an Kärchner et al. (2023) ein Fragebogen zur Evaluation digitaler Lernumgebungen mit zwei Subskalen entwickelt. Beide Subskalen weisen eine gute interne Konsistenz (empfundene Nützlichkeit, Cronbachs-$\alpha = .84$; Akzeptanz, Cronbachs-$\alpha \geq .82$) auf. Der Studienerfolg (c) wird - operationalisiert durch den Klausurerfolg am Ende des Semesters - unter Kontrolle des Vorwissens (Fachwissenstest adaptiert nach Freyer, 2013 und nach Averbeck, 2020) zu Beginn der Intervention untersucht. Am Ende des Semesters wurden zudem $n = 13$ Studierende im Rahmen leitfadengestützter Interviews unter anderem zur Nutzerfreundlichkeit und Zuverlässigkeit der Bewertung sowie zum Nutzungsverhalten und zum Nützlichkeitsempfinden befragt.

Ergebnisse

Die Datenlage zeigt, dass die E-Lerneinheiten fast ausschließlich und sehr umfänglich von IG2 (verpflichtende Bearbeitung) genutzt wurden. Bei freiwilliger Bearbeitung haben nur 7 der 82 Studierende in IG1 mindestens eine der Lerneinheiten bearbeitet. Die zu IG2 vorliegenden Skalen zur Nutzerfreundlichkeit ($M = 3.2$, das entspricht „eher nutzerfreundlich“) und Akzeptanz ($M = 3.1$, das entspricht „eher zufrieden“) weisen zufriedenstellende Mittelwerte auf. Die Interviewstudie konnte bestätigen, dass die Studierenden die E-Lerneinheiten als gelungenes Unterstützungsangebot empfinden allerdings auch der Meinung sind, dass die Bearbeitung der E-Lerneinheiten verpflichtend sein sollte, damit sie auch wirklich bearbeitet werden. Zudem zeigt sich ein grundsätzlicher Vorteil im Klausurerfolg für die Bearbeitung der E-Lerneinheiten. Beide IGs haben die gleichen Klausuraufgaben bearbeitet, die Klausur wurde dabei mithilfe eines Kodiermanuals von zwei Ratern mit sehr guter Übereinstimmung codiert (Cohens $\kappa = .91$). Im Rahmen eines Regressionsmodells wurden mehrere Prädiktoren miteingeschlossen ($F(3,77) = 15.87$, $p < .001$, $R^2 = .358$) (vgl. Tabelle 1). Es zeigt, dass alle Studierende signifikant vom Lernen mit den E-Lerneinheiten profitieren. Das Vorwissen bleibt stärkster Prädiktor für den Klausurerfolg.

Tabelle 1: Regression zur Vorhersage des Klausurerfolgs

Variable	*B*	*β*	*SE*
Konstante	28.945 ***		3.989
Fachwissen Chemie (Prä)	15.047 ***	.507	2.693
Kurswahl (LK Nein/Ja)	14.582 *	.239	5.562
Interventionsgruppe (frei/verpfichtend)	13.341 *	.194	6.185
corr. R^2	.358		

Im Vergleich mit IG1 zeigt sich, dass die Bearbeitung der E-Lerneinheiten unter Kontrolle des Vorwissens zu einem im Mittel um drei Tendenzen besseren Klausurergebnis führt. Damit erreichen Studierende ohne Chemie Leistungskurs aus IG2 bei kontrolliertem Vorwissen ähnlich gute Klausurergebnisse wie Studierende aus IG1, die nicht mit den E-Lerneinheiten gearbeitet und einen Leistungskurs Chemie in der Oberstufe belegt haben.

Literaturverzeichnis

Averbeck, D. (2020). *Zum Studienerfolg in der Studieneingangsphase des Chemiestudiums*. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 308* [IV, 333 Seiten]. Logos.

Bruin, A. B. H. de, Kok, E. M., Lobbestael, J. & Grip, A. de (2017). The impact of an online tool for monitoring and regulating learning at university: overconfidence, learning strategy, and personality. *Metacognition and Learning*, *12*(1), 21–43. https://doi.org/10.1007/s11409-016-9159-5

Chung, G., Shel, T. & Kaiser, W. J. (2006). An Exploratory Study of a Novel Online Formative Assessment and Instructional Tool to Promote Students' Circuit Problem Solving. *The Journal of Technology, Learning and Assessment*, *5*(6). Retrieved from https://ejournals.bc.edu/index.php/jtla/article/view/1645

Freasier, B., Collins, G. & Newitt, P. (2003). A Web-Based Interactive Homework Quiz and Tutorial Package To Motivate Undergraduate Chemistry Students and Improve Learning. *Journal of Chemical Education*, *80*(11), 1344. https://doi.org/10.1021/ed080p1344

Freyer, K. (2013). *Zum Einfluss von Studieneingangsvoraussetzungen auf den Studienerfolg Erstsemesterstudierender im Fach Chemie*. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 156*. Logos.

Hattie, J. & Timperley, H. (2007). The Power of Feedback. *Review of Educational Research*, *77*(1), 81–112. https://doi.org/10.3102/003465430298487

Heublein, U., Ebert, J., Hutzsch, C., Isleib, S., König, R., Richter, J. & Woisch, A. (2017). *Zwischen Studienerwartungen und Studienwirklichkeit: Ursachen des Studienabbruchs, beruflicher Verbleib der Studienabbrecherinnen und Studienabbrecher und Entwicklung der Studienabbruchquote an deutschen Hochschulen*. *Forum Hochschule*. Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung GmbH.

Heublein, U., Hutzsch, C. & Schmelzer, R. (2022). *Die Entwicklung der Studienabbruchquoten in Deutschland* (DZHW Brief). Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung (DZHW). https://www.dzhw.eu/publikationen/pub_show?pub_id=7922&pub_type=kbr https://doi.org/10.34878/2022.05.DZHW_BRIEF

Karay, Y., Reiss, B. & Schauber, S. K. (2020). Progress testing anytime and anywhere - Does a mobile-learning approach enhance the utility of a large-scale formative assessment tool? *Medical teacher*, *42*(10), 1154–1162. https://doi.org/10.1080/0142159X.2020.1798910

Kärchner, H., Gehle, M. & Schwinger, M. (2023). Entwicklung und Validierung des Modularen Fragebogens zur Evaluation digitaler Lehr-Lern-Szenarien (MOFEDILLS). *ZeHf – Zeitschrift für empirische Hochschulforschung*, *6*(1), 62–84. https://doi.org/10.3224/zehf.v6i1.05

Parker, L. L. & Loudon, G. M. (2013). Case Study Using Online Homework in Undergraduate Organic Chemistry: Results and Student Attitudes. *Journal of Chemical Education*, *90*(1), 37–44. https://doi.org/10.1021/ed300270t

Sarcletti, A. & Müller, S. (2011). Zum Stand der Studienabbruchforschung. Theoretische Perspektiven, zentrale Ergebnisse und methodische Anforderungen an künftige Studien. *Zeitschrift für Bildungsforschung*, *1*(3), 235–248. https://doi.org/10.1007/s35834-011-0020-2

Schwedler, S. (2017). Was überfordert Chemiestudierende zu Studienbeginn? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *23*(1), 165–179.

Thibodeaux, J., Deutsch, A., Kitsantas, A. & Winsler, A. (2017). First-Year College Students' Time Use. *Journal of Advanced Academics*, *28*(1), 5–27. https://doi.org/10.1177/1932202X16676860

Trauten, F., Eitemüller, C. & Walpuski, M. (2022). Lernwirksamkeit automatisierter Feedback-Loops in einem E-Lernsetting zur Allgemeinen Chemie. In S. Habig & H. van Vorst (Hrsg.), *Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen: Virtuelle Jahrestagung 2021* (S. 220–223). Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik.

Trautwein, C. & Bosse, E. (2017). The first year in higher education—critical requirements from the student perspective. *Higher Education*, *73*(3), 371–387. https://doi.org/10.1007/s10734-016-0098-5

Trentepohl, S., Waldeyer, J., Fleischer, J., Roelle, J., Leutner, D. & Wirth, J. (2022). How Did It Get So Late So Soon? The Effects of Time Management Knowledge and Practice on Students' Time Management Skills and Academic Performance. *Sustainability*, *14*(9), 5097. https://doi.org/10.3390/su14095097

Walpuski, M. & Celik, K. N. (2024). Empirical Validation of a Learning Progression in Initial Chemistry Education. *Creative Education*, *15*(02), 212–237. https://doi.org/10.4236/ce.2024.152013

Winters, F. I., Greene, J. A. & Costich, C. M. (2008). Self-Regulation of Learning within Computer-based Learning Environments: A Critical Analysis. *Educational Psychology Review*, *20*(4), 429–444. https://doi.org/10.1007/s10648-008-9080-9

Yannick L. Legscha[1]
Markus Prechtl[1]

[1]Technische Universität Darmstadt

Kritische Rohstoffe didaktisch rekonstruiert

Ausgangslage

Die globale Klimakrise erfordert einen grundlegenden Wandel hin zu einer postfossilen Gesellschaft mit nachhaltiger Energieversorgung. Für diesen Transformationsprozess sind jedoch erhebliche Mengen an Rohstoffen notwendig, die in Europa entweder nicht vorkommen oder nicht in ausreichendem Maße abgebaut werden. Folglich ist die EU bei der Versorgung mit Rohstoffen wie Lithium, Cobalt, Platin und Seltenerdelementen stark auf Importe aus teils geopolitisch instabilen Herkunftsländern angewiesen (European Commission, 2020). Aus Sorge vor einer erhöhten Wahrscheinlichkeit von Versorgungsunterbrechungen gewinnt das Konzept der kritischen Rohstoffe an Bedeutung (Schrijvers et al., 2020). Dementsprechend wird es immer wichtiger, diesen Themenbereich in den naturwissenschaftlichen Unterricht zu integrieren. So wird verstärkt gefordert, das Konzept im Chemieunterricht (Reiners, 2017) sowie im Rahmen der Bildung für nachhaltige Entwicklung (Zowada et al., 2019) zu thematisieren. Bereits entwickelte Lernumgebungen fokussieren als Schwerpunkte die Digitalisierung (Bütow & Eilks, 2023; Huwer et al., 2022) oder ausgewählte Elementgruppen (Hermanns, 2014; Prechtl, 2022). Im Rahmen des SFB 1487 Iron, upgraded! nutzen wir im Ö-Teilprojekt den Ansatz der didaktischen Rekonstruktion, um zu erforschen, wie das Konzept der kritischen Rohstoffe im Kontext nachhaltiger chemischer Technologien effektiv vermittelt werden kann. Unser Ziel ist es, durch die Analyse der Vorstellungen von Wissenschaftler*innen und Schüler*innen, ein strukturiertes und praxisnahes Vermittlungskonzept zu entwickeln.

Das Konzept der kritischen Rohstoffe

Nach Schrijvers et al. (2020) wird die Rohstoffkritikalität als Kombination aus Wahrscheinlichkeit und Folgen von Versorgungsunterbrechungen eines Rohstoffs verstanden.

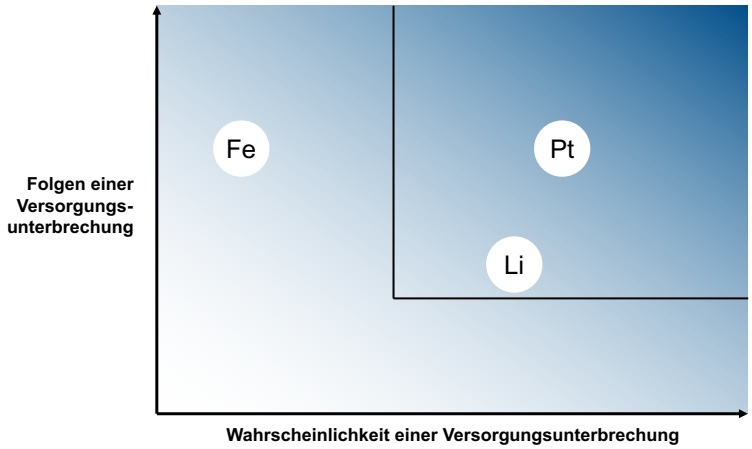


Abb. 1: Schematische Darstellung der Kombination von Wahrscheinlichkeit und Folgen einer Versorgungsunterbrechung als Kritikalitätsmatrix angelehnt an NRC (2008).

Die Methoden zur Durchführung eines Kritikalitätsassessments sind vielfältig und werden auf verschiedenen Ebenen angewandt: für einzelne Materialien (Bach et al., 2016), Technologien (Helbig et al., 2018), Länder oder Regionen (European Commission, 2020; NRC, 2008) sowie auf globaler Ebene (Graedel et al., 2012). Daher existiert kein einheitliches Standardverfahren zur Beurteilung der Kritikalität eines Rohstoffs (Schrijvers et al., 2020). In der Praxis wird häufig eine Kritikalitätsmatrix zur Visualisierung des Konzepts genutzt (Abb. 1). Die Kritikalität eines Rohstoffs steigt mit zunehmender Entfernung vom Ursprung, was durch die intensivere Schattierung verdeutlicht wird (NRC, 2008). Ein Rohstoff wird anhand seiner wirtschaftlichen Bedeutung und Verfügbarkeit in der Matrix lokalisiert. Die Kritikalität kann auf zwei Arten interpretiert werden: entweder als ein „mehr-oder-weniger"-Problem, wobei Platin in diesem Beispiel kritischer wäre als Lithium und Eisen, oder durch die Festlegung von Grenzwerten als „entweder-oder"-Problem, sodass Platin und Lithium in diesem Fall als kritische Rohstoffe gelten würden, Eisen hingegen nicht.

Ausgewählte Ergebnisse der didaktischen Rekonstruktion

In unserer Studie wurden die Vorstellungen von Wissenschaftler*innen und Schüler*innen zum Konzept der kritischen Rohstoffe untersucht. Ziel war es, auf Basis einer vergleichenden Analyse dieser Perspektiven didaktische Leitlinien zu entwickeln. Für die fachliche Klärung wurden zunächst die Sichtweisen der Wissenschaftler*innen erfasst. Hierzu erfolgte ein Auswahlprozess, angelehnt an eine systematische Literaturrecherche und an Schrijvers et al. (2020), in dem 40 Methoden der Kritikalitätsbewertung ausgewählt wurden. Die entsprechenden wissenschaftlichen Artikel und behördlichen Berichte wurden im Anschluss mittels einer strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse (Gropengießer, 2008; Mayring, 2022) in MAXQDA untersucht. Zur Qualitätssicherung wurden bei der Durchführung folgende Maßnahmen ergriffen: eine umfassende Verfahrensdokumentation, ein methodisch kontrolliertes Vorgehen sowie eine interne Validierung.

*Tabelle 1: Exemplarische Denkfigur der Wissenschaftler*innen.*

Denkfigur	Beispielzitate
VERSORGUNGSUNSICHERHEIT AUFGRUND EINER DAS ANGEBOT ÜBERSTEIGENDEN NACHFRAGE	*"The growing economies of the world are competing for a bigger share of the world's material resources. That increased demand can put a strain on the supply chain […]."* (Duclos et al., 2010, S. 36) *"The analysis of how raw material demand is driven by the use of new technologies clearly reveals the influence of technological change on criticality."* (European Commission, 2010, S. 41)

Tabelle 1 zeigt exemplarisch eine Denkfigur, die aus der Analyse der genutzten Indikatorsets und Erklärungsmuster der Wissenschaftler*innen rekonstruiert wurde. Die Denkfigur beschreibt die Vorstellung, dass ein Anstieg der Nachfrage zu Versorgungsunterbrechungen führen kann, wenn er die Produktion übersteigt. Als treibende Faktoren gelten dabei sowohl ökonomisches Wachstum als auch die Nutzung neuer Technologien. Zusammenfassend lässt sich diese Denkfigur folgendermaßen verallgemeinern: VERSORGUNGSUNSICHERHEIT AUFGRUND EINER DAS ANGEBOT ÜBERSTEIGENDEN NACHFRAGE.

Die Lernendenperspektive wurde mit einer leitfadengestützten Interviewstudie untersucht. Es wurden 15 Einzelinterviews mit Schüler*innen der gymnasialen Oberstufe (17–18 Jahre) geführt und transkribiert. Die Interviews wurden ebenfalls einer strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse in MAXQDA unterzogen. Ergänzend zu den bereits in der fachlichen Klärung getroffenen Maßnahmen wurde eine interne Triangulation zur Qualitätssicherung angewandt.

*Tabelle 2: Exemplarische Denkfigur der Schüler*innen.*

Denkfigur	Beispielzitate
VERSORGUNGSUNSICHERHEIT AUFGRUND EINER DAS KNAPPE ANGEBOT ÜBERSTEIGENDEN NACHFRAGE	*„Das Bevölkerungswachstum steht in Verbindung mit dem Rohstoffverbrauch. […] Die globale Nachfrage steigt, was bedeutet, dass es nicht genug für jedes einzelne Land gibt.“* (Chiara, 18) *„Neue Technologien werden zu einer höheren Nachfrage führen. Zum Beispiel ist Lithium, das für Batterien wichtig ist, relativ knapp. Eine weltweite Nutzung wird die Versorgung problematisch machen.“* (Sebastian, 18)

Die Analyse der Schüler*innen-Aussagen ermöglichte die Rekonstruktion der in Tabelle 2 dargestellten Denkfigur. Diese spiegelt die Vorstellung wider, dass ein Nachfrageanstieg durch Bevölkerungswachstum und die Nutzung neuer Technologien bedingt ist, welcher bei einem begrenzten Angebot zu Versorgungsproblemen führen kann. In den Beispielzitaten wird deutlich, dass die Lernenden das Bevölkerungswachstum als zentralen Faktor für die steigende Rohstoffnachfrage ansehen. Zudem wird die potenzielle physische Knappheit der Rohstoffe thematisiert. Verallgemeinert lautet die Denkfigur: VERSORGUNGSUNSICHERHEIT AUFGRUND EINER DAS KNAPPE ANGEBOT ÜBERSTEIGENDEN NACHFRAGE.

Der Vergleich der rekonstruierten Vorstellungen von Wissenschaftler*innen und Schüler*innen ermöglicht die Ableitung spezifischer didaktischer Leitlinien. Im ausgewählten Fall zeigt sich, dass Lernende das Bevölkerungswachstum als zentrale Ursache für den Anstieg der Rohstoffnachfrage kritisch reflektieren und zudem die Rolle wirtschaftlicher Aktivitäten als potenziell destabilisierenden Faktor besser verstehen sollten. Die Ergebnisse der gesamten Studie deuten auf eine zentrale Differenz in den Wahrnehmungen hin: Während die Schüler*innen vorwiegend eine absolute physische Knappheit als Hauptgrund für Versorgungsunterbrechungen sehen, argumentieren die Wissenschaftler*innen, dass eine solche Knappheit in absehbarer Zukunft nicht zu erwarten ist. Stattdessen führen sie die Versorgungsunsicherheiten primär auf geopolitische Abhängigkeiten zurück, die durch die Konzentration der Rohstoffproduktion auf wenige Länder entstehen.

Fazit und didaktische Implikationen

Da das Konzept der kritischen Rohstoffe ursprünglich im Kontext von Assessments entwickelt wurde, ist eine didaktische Aufarbeitung erforderlich. Die Erkenntnisse bieten eine evidenzbasierte Grundlage für die Entwicklung zielgerichteter Unterrichtsmaterialien, die das Wissen der Lernenden aufgreifen und um wissenschaftlich fundierte Perspektiven erweitern.

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – Projektnummer 443703006 – SFB 1487

Literatur

Bach, V., Berger, M., Henßler, M., Kirchner, M., Leiser, S., Mohr, L., Rother, E., Ruhland, K., Schneider, L., Tikana, L., Volkhausen, W., Walachowicz, F. & Finkbeiner, M. (2016). Integrated method to assess resource efficiency – ESSENZ. Journal of Cleaner Production, 137, 118–130. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.077

Bütow, J.-C. & Eilks, I. (2023). Über das Konzept der kritischen Rohstoffe im Chemieunterricht mit einer digitalen Lernumgebung lernen. Chemkon, 31(2) 54-59. https://doi.org/10.1002/ckon.202200054

Duclos, S. J., Otto, J. P. & Konitzer, D. G. (2010). Design in an era of Constrained Resources. Mechanical Engineering, 132(09), 36–40. https://doi.org/10.1115/1.2010-Sep-3

European Commission. (2010). Critical Raw Materials for the EU, Report of the Ad-hoc Working Group on Defining Critical Raw Materials. Brüssel. 25 final. Online verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52011DC0025

European Commission. (2020). Critical Raw Materials for the EU. Report of the Ad-hoc Working Group on Defining Critical Raw Materials. Brüssel. 474 final. Online verfügbar unter: https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42849

Graedel, T. E., Barr, R., Chandler, C., Chase, T., Choi, J., Christoffersen, L., Friedlander, E., Henly, C., Jun, C., Nassar, N. T., Schechner, D., Warren, S., Yang, M.-Y. & Zhu, C. (2012). Methodology of metal criticality determination. Environmental science & technology, 46(2), 1063–1070. https://doi.org/10.1021/es203534z

Gropengießer, H. (2008). Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. In P. Mayring & M. Gläser-Zikuda (Hrsg.), Studium Pädagogik: Die Praxis der qualitativen Inhaltsanalyse (2., neu ausgestattete Aufl.). Beltz Verlag.

Helbig, C., Bradshaw, A. M., Wietschel, L., Thorenz, A. & Tuma, A. (2018). Supply risks associated with lithium-ion battery materials. Journal of Cleaner Production, 172, 274–286. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.122

Hermanns, J. (2014). Eine Podiumsdiskussion zum Thema Seltene Erden. MNU, 67(3), 152–154.

Huwer, J., Siol, A. & Eilks, I. (2022). Seltene Erden & Co: Digitales Lernen in Unterricht, Schülerlabor und Lehrer*innenbildung über die stofflichen Auswirkungen der zunehmenden Nutzung digitaler Medien. In J. Weselek, F. Kohler & A. Siegmund (Hrsg.), Digitale Bildung für nachhaltige Entwicklung (S. 227–237). Springer Heidelberg.

Mayring, P. (2022). Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken (13., überarbeitete Auflage). Beltz.

NRC. (2008). Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy. National Academies Press. https://doi.org/10.17226/12034

Prechtl, M. (2022). Seltenerdelemente: Ein facettenreiches und forderndes Thema für den Unterricht. Plus Lucis, (1), 4–10.

Reiners, C. S. (2017). Kritische Rohstoffe! - Kritische Unterrichtsstoffe? Eine fachdidaktische Reflexion am Beispiel der Seltenen Erden. NiU-Ch, 28(161), 8–12.

Schrijvers, D., Hool, A., Blengini, G. A., Chen, W.-Q., Dewulf, J., Eggert, R., van Ellen, L., Gauss, R., Goddin, J., Habib, K., Hagelüken, C., Hirohata, A., Hofmann-Amtenbrink, M., Kosmol, J., Le Gleuher, M., Grohol, M., Ku, A., Lee, M.-H., Liu, G., . . . Wäger, P. A. (2020). A review of methods and data to determine raw material criticality. Resources, Conservation and Recycling, 155, 104617. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104617

Zowada, C., Niebert, K. & Eilks, I. (2019). Wenn nicht jetzt, wann dann? Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht. NiU-Ch, 30(172), 2–9.

Felix Pawlak[1]
Dominik Diekemper[1]
Stefan Schwarzer[1]

[1]Universität Tübingen

Bewerten des werkstofflichen Verwertens von Kunststoffen

Ausgangslage

Im Jahr 2023 wurden in Deutschland durchschnittlich 124,9 Liter Erfrischungsgetränke (u. a. Softdrinks) und 124,3 Liter Mineral- und Heilwässer pro Kopf getrunken (WAG, 2024). Dabei wurden 2021 wiederum nur 42,6 Prozent der verbrauchten Getränke in Mehrwegverpackungen abgefüllt – Tendenz sinkend (Caye & Leighty, 2024). Das führt dazu, dass allein in Deutschland stündlich fast 1,9 Millionen Einweg-Kunststoffflaschen verbraucht werden (Deutsche Umwelthilfe, 2024). Insgesamt fallen jährlich 5,67 Millionen Tonnen an Kunststoffabfällen an.

Die Verursachung dieser großen Mengen an Kunststoffabfällen rückt die Abwendung von der Linearwirtschaft und hin zum Schließen von Energie- und Materialkreisläufen im Sinne einer Circular Economy in den Fokus (Garcia-Saravia et al., 2023). Eine der R-Strategien der Circular Economy ist das Recycling, bei dem der Abfall aufbereitet wird und als Rezyklat wieder als Ausgangsstoff für neue Produkte dienen kann (Geissdoerfer et al., 2020). Dieses Vorgehen bietet sich insbesondere beim werkstofflichen Verwerten bzw. dem Recycling von Kunststoffen an, wobei sich die Klasse der Thermoplasten insbesondere dafür eignet, da sie aufgrund der linearen Struktur der Polymere gut einzuschmelzen und beim Abkühlen in neue Formen zu bringen sind.

Auch aus der Sicht diverser Werbeversprechen scheint das Recycling von Einweg-Kunststoffflaschen die Lösung vieler Probleme zu sein. Beispielsweise sei die „Kreislaufflasche“ von LIDL „laut neuester Ökobilanz: Eine der ökologischsten Flaschen“ (LIDL, 2024) und schneidet dabei sogar „im CO_2-Vergleich besser als Glas- & PET-Mehrweg“ ab.

Doch was ist an solch großen Werbeversprechen dran, die konträr zur bisherigen Annahme stehen, dass das Mehrwegsystem nachhaltiger ist (Bałazińska et al., 2021)? Wie kann der Chemieunterricht dazu beitragen, Fachwissen bzw. inhaltsbezogene Kompetenzen aufzubauen, die schließlich zu einer informierten Bewertung des Recyclings (bzw. werkstofflichen Verwertens) beitragen können? Welchen Beitrag leistet eine Scientific Literacy zu solchen Bewertungsprozessen?

Theoretischer Hintergrund

Die Ziele einer naturwissenschaftlichen Bildung bzw. Scientific Literacy können vielfältig sein. Dabei bewegen sich die Zielstellungen mehr und mehr von einer reinen Fokussierung auf Fachwissen hin zum kritischen Denken und zur transformativen Bildung (Valladares, 2021; Sjöström & Eilks, 2018). Dabei rückt unter anderem die Nachhaltigkeit bzw. nachhaltige Entwicklung ins Blickfeld einer Scientific Literacy.

Im Rahmen dieser Zielstellungen adressieren die (neuen) Empfehlungen der Kultusminierkonferenz (KMK) die Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) als ein zentralen Aspekt der schulischen Bildung und als ein fächerübergreifendes Vorhaben (KMK, 2024). BNE ist sogar mittlerweile als Leitperspektive in den fachspezifischen Bildungsplänen der Bundesländer verankert (u. a. MSB BW, 2022).

BNE zielt in der Schule darauf ab, dass die Schüler:innen Fähigkeiten für eine positive Zukunftsgestaltung erwerben, um verantwortungsvolle Entscheidungen treffen zu können, eigene Handlungsspielräume zu erkennen und sich trotz Widersprüchen an Aushandlungs- und Gestaltungsprozessen zu beteiligen (KMK, 2024).
Gleichzeitig wird die Förderung einer BNE mit der prozessbezogenen Bewertungskompetenz verknüpft, da es durchaus große Schnittmengen und Synergien gibt. Für die Bewertungskompetenz liegen fachliche und überfachliche Perspektiven zu Grunde, bei denen Aussagen anhand verschiedener Kriterien zu beurteilen sind, begründet Meinungen gebildet werden sowie Entscheidungen auch auf ethischer und informierter Grundlage zu treffen sind (KMK, 2024; Eggert, 2008). Genau in diesem Bereich ist das Göttinger Modell der Bewertungskompetenz für Gestaltungsaufgaben im Kontext nachhaltiger Entwicklung zu verorten (Eggert, 2008), welches in seiner dritten Teilkompetenz das „Bewerten, Entscheiden und Reflektieren“ differenziert.
Allerdings ist die Förderung der Bewertungskompetenz aufgrund der Komplexität sehr herausfordernd (Bögeholz et al., 2018). In komplexen Gestaltungssituationen nachhaltiger Entwicklung reicht ein intuitives oder rechtfertigendes Entscheidungsverhalten nicht aus (Eggert, 2008). Zusätzlich werden individuelle und gesellschaftliche Probleme mit naturwissenschaftlich-technischem Bezug nur teilweise auf der Basis rationalen Abwägens bewertet (Gebhard et al., 2017). In diesem Zusammenhang zeigt sich auch, dass das Einbeziehen von Fachwissen in das Bewerten und Entscheidungen für Schüler:innen herausfordernd ist (Müller, 2021; Schmitz & Reiners, 2021).
Infolgedessen soll das (erfolgreiche) Einbeziehen des Fachwissens bzw. der inhaltsbezogenen Kompetenzen in das Bewerten, Entscheiden und Reflektieren untersucht werden, um einen potenziellen Beitrag für eine BNE zu untersuchen.

Ziele, Konzeption und Vorstudien

Das Ziel des Forschungsprojektes ist es demnach, nachhaltige(re)s Entscheiden der Schüler:innen beim werkstofflichen (Kunststoff-)Recycling zu fördern und dazu Einblicke in die Bewertungsprozesse der Schüler:innen zu geben. In diese Bewertungsprozesse soll zudem die Einbindung von Fachwissen gefördert und analysiert werden. Das Forschungsvorhaben setzt sich somit aus den folgenden Phasen zusammen:

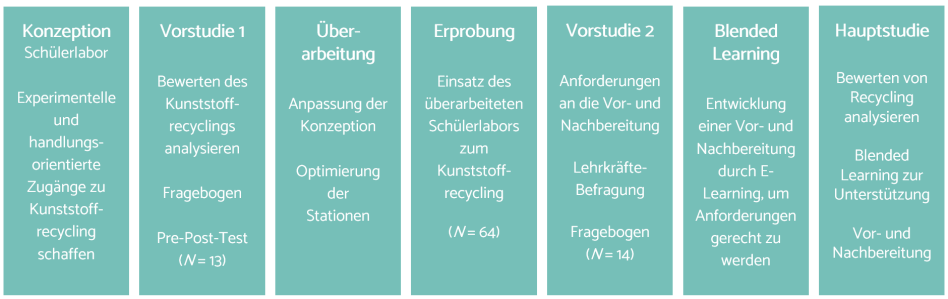


Abb. 1: Überblick über die Phasen des Forschungsprojektes und der Konzeption des Schülerlabors

Hierfür wurde zunächst ein Schülerlabor konzipiert (Schwarzer et al., 2023; Pawlak & Schwarzer, 2024a) und in einer Vorstudie das Bewerten des Kunststoffrecyclings untersucht

(Kistela, 2024). Schüler:innen bewerteten das Recycling zunächst ausschließlich positiv. Nach dem Besuch des Schülerlabors wurden jedoch vermehrt auch negative Aspekte genannt, wie der hohe Energieaufwand und der mögliche Qualitätsverlust des recycelten Materials. Positive Aspekte wurden dennoch weiterhin angeführt, was somit als eine differenziertere Betrachtung eingestuft werden konnte. Darüber hinaus zeigte sich ein gesteigertes Bewusstsein für das Verpackungsmaterial beim Kauf von Lebensmitteln. Allerdings wurde auch deutlich, dass die Vermittlung der Bewertungskompetenz aufgrund ihrer Komplexität herausfordernd ist.

Auf Basis der Erkenntnisse der Vorstudie wurde das Schülerlabor überarbeitet und erneut erprobt. Hierbei zeigte sich, dass trotz differenzierter Materialien die Grenzen im Rahmen eines Tages im Schülerbor (u. a. im Umfang) erreicht wurden. Zum einen galt es die vielfältigen Voraussetzungen der Schüler:innen zu berücksichtigen. Zum anderen musste das notwendige Vorwissen für den Besuch und das erfolgreiche Lernen im Schülerlabor sichergestellt werden (z. B. Wissen über funktionelle Gruppen, Veresterung und Thermoplasten).

Hierzu wurde in einer zweiten Vorstudie im Rahmen einer Befragung von Lehrkräften ($N = 14$) untersucht (Pawlak & Schwarzer, 2024b), welche Anforderungen an die schulische Vor- und Nachbereitung zu stellen sind. Ziel sollte es sein, vorab die notwendigen Voraussetzungen zu schaffen, damit eine Vertiefung und Anwendung im Schülerlabor möglich sind. Es zeigte sich im Rahmen der zweiten Vorstudie, dass für eine angemessene Vorbereitung mehr Einblicke in Versuche (u. a. Anforderungen, Inhalte) erforderlich sind. Außerdem sollte das E-Learning verschiedene Lern-/Erklärvideos und spielerische Wiederholungseinheiten, wie LearningApps oder Quizze enthalten. Zusätzlich wünschten sich Lehrkräfte, dass Angebote für zuhause unterbreiten werden.

Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde eine Vorbereitung im E-Learning-Format konzipiert, mit deren Hilfe inhaltsbezogene Kompetenzen vorab vermittelt werden, um daraufhin im Schülerlabor das Experimentieren bzw. die prozessbezogenen Kompetenzen der Erkenntnisgewinnung und des Bewertens im Sinne des Blended Learning anwenden und transferieren zu können.

Ausblick: Hauptstudie

Im Rahmen der Hauptstudie soll anschließend untersucht werden, ob das Blended Learning-Format das Bewerten des Recyclings von Kunststoffen der Schüler:innen unterstützen kann, welche Informationen (ggf. Fachwissen) und Kriterien die Schüler:innen zur Bewertung heranziehen und ob die Schüler:innen die gewonnenen Erkenntnisse zum Recycling von Einweggetränkeflaschen auf das Recycling von Kleidung im Rahmen der Bewertungskompetenz transferieren können.

Danksagung

Ein herzlicher Dank gilt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) für die finanzielle Unterstützung (Aktenzeichen: 38330/01). Ebenso geht ein großer Dank an die beteiligten Studierenden, die im Rahmen ihrer Abschlussarbeiten und Praktika wertvolle Beiträge geleistet haben.

Literatur

Bałazińska, M., Kruczek, M. & Bondaruk, J. (2021). The environmental impact of various forms of waste PET bottle management. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 28/5, 473-480.

Bögeholz, S., Hößle, C., Höttecke, D., & Menthe, J. (2018). Bewertungskompetenz. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin & Heidelberg: Springer, 261-281.

Cayé, N. & Leighty, A. (2024). Bundesweite Erhebung von Daten zum Verbrauch von Getränken in Mehrweggetränkeverpackungen 2020. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Deutsche Umwelthilfe e.V. (2024). Warum Mehrweg der beste Weg ist! https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Mehrweg/240415_Warum_Mehrweg_der_beste_Weg_ist_final.pdf (zuletzt abgerufen am: 28.10.2024)

Eggert, S. (2008). Bewertungskompetenz für den Biologieunterricht: Vom Modell zur empirischen Überprüfung. Georg-August-University Göttingen. https://doi.org/10.53846/goediss-287

Garcia-Saravia Ortiz-de-Montellano, C., Samani, P. & van der Meer, Y. (2023). How can the circular economy support the advancement of the Sustainable Development Goals (SDGs)? A comprehensive analysis. In: Sustainable Production and Consumption, 40, 352-362.

Gebhard, U., Höttecke, D., & Rehm, M. (2017). Die politische Dimension der Naturwissenschaft im Unterricht – Bewerten, Urteilen und Entscheiden. In U. Gebhard, D. Höttecke, & M. Rehm, Pädagogik der Naturwissenschaften. Wiesbaden: Springer, 65-84. https://doi.org/10.1007/978-3-531-19546-9_5

Geissdoerfer, M., Pieroni, M., Pigosso, D. & Soufani, K. (2020). Circular business models: A review. Journal of Cleaner Production, 277, 1-15.

Kistela, C. (2024). PLA-Recycling im Schülerlabor: Eine qualitative Analyse zur Förderung der Bewertungskompetenz von Schüler:innen im Kontext des Kunststoff-Recycling-Kreislaufs. Masterarbeit.

Kultusministerkonferenz (KMK) (2024). Empfehlung der Kultusministerkonferenz zur Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Schule. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 13.06.2024.

Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg. (2022). Bildungsplan des Gymnasiums. Chemie – Überarbeitete Fassung vom 25. März 2022. Neckar-Verlag.

LIDL (2024). Die Kreislaufflasche – eine der ökologischsten Flaschen. https://diekreislaufflasche.de/ (zuletzt abgerufen am: 28.10.2024)

Müller, L. (2021). Alltagsentscheidungen für den Chemieunterricht erkennen und Entscheidungsprozesse explorativ begleiten. Berlin: Logos Verlag.

Pawlak, F., & Schwarzer, S. (2024a). Ein biobasiertes Polykondensat: Synthese von PLA und Analyse der Polymerisation im Schülerexperiment. CHEMKON, 31(3), 82-89. https://doi.org/10.1002/ckon.202300040

Pawlak, F., & Schwarzer, S. (2024b). MINT-Cluster "MINT me!": Blended Learning im Schülerlabor. In H. van der Vorst (Hrsg.), Frühe naturwissenschaftliche Bildung, 44, GDCP-Tagungsband.

Schmitz, L., & Reiners, C. S. (2021). Alltägliche Entscheidungssituationen von Lernenden für den Chemieunterricht identifizieren. CHEMKON, 28(8), 327–335. https://doi.org/10.1002/ckon.202000006

Schwarzer, S., Diekemper, D. & Pawlak, F. (2024) R-Strategien "Recycle" und "Rethink"- Circular Economy im Schülerlabor TüChemLab. In: LeLa Magazin, 36, 12–13.

Valladares, L. (2021). Scientific Literacy and Social Transformation: Critical Perspectives About Science Participation and Emancipation. Science & Education, 30(3), 557–587. https://doi.org/10.1007/s11191-021-00205-2

Wirtschaftsvereinigung Alkoholfreie Getränke e.V. (WAG) (2024). Entwicklung des Pro-Kopf-Verbrauchs von Alkoholfreien Getränken nach Getränkearten 2012 - 2023. https://www.wafg.de/fileadmin/dokumente/pro-kopf-verbrauch.pdf (zuletzt abgerufen am: 28.10.2024)

Sezen Hollweck[1]
Thomas Münz[1]
Jürgen Paul[1]

[1]Universität Bayreuth

Rohstoffkreisläufe in einem digitalen BNE-Lernspiel erfahrbar machen

Kurzfassung
Die Umsetzung einer Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) bleibt eine zentrale Herausforderung für den schulischen Unterricht. Der Einsatz digitaler Lernspiele hat sich dabei als vielversprechender Ansatz erwiesen, um umweltfreundliches Verhalten und Handeln bei Schüler*innen zu fördern, indem die unmittelbare Erfahrung der Auswirkungen getroffener Entscheidungen die Selbstwirksamkeit der Lernenden steigert. In dem hier auszugsweise vorgestellten Projekt wurde das digitale Lernspiel „Project Planet" entwickelt sowie die durch das Spiel ausgelösten Lernprozesse beleuchtet. Bei einem Schulvergleich wurden im Rahmen einer quantitativen Erhebung mit 156 Schüler*innen zunächst Unterschiede in den Bereichen Umwelteinstellung, Verhaltensintention und Selbstwirksamkeit im Hinblick auf die Schulform ermittelt. Anschließend wurde der Einfluss des digitalen Lernspiels auf diesbezügliche Lernprozesse untersucht. Die Ergebnisse zeigen deutliche Unterschiede hinsichtlich der Umwelteinstellung und Verhaltensintention der Lernenden in Abhängigkeit von der Schulform. Darüber hinaus bewirkte das digitale Lernspiel einen signifikanten Anstieg der Selbstwirksamkeitserfahrung, und zwar unabhängig von der Schulform. Dies verdeutlicht, dass ein digitales BNE-Lernspiel eine effektive Methode darstellen kann, um Schüler*innen Handlungsfähigkeit im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung zu vermitteln.

Einleitung

Mit der UN-Dekade „Bildung für nachhaltige Entwicklung" (BNE) hatten sich die Vereinten Nationen bereits 2005 dazu verpflichtet, die Prinzipien der Nachhaltigkeit in ihren Bildungssystemen zu verankern. Jedoch stellen verschiedenste Studien immer wieder fest, dass der Einfluss schulischer Umwelterziehung – als ein Teilaspekt der BNE – auf das Umwelthandeln nach wie vor nur gering ist (z.B. Lude, 2001; Olsson et al., 2016). Daher sollten Handlungs- und Erfahrungsorientierung im Unterricht Priorität erlangen, um Jugendliche zu befähigen, aktiv zur nachhaltigen Entwicklung beizutragen und die sogenannte „*knowledge-action gap*" zu überwinden (Barth et al., 2012; De Haan & Kuckartz, 1996; Unterbruner, 2013). Hierbei gilt es, das im Unterricht erworbene Wissen in nachhaltiges Handeln zu transformieren, was zugleich gesellschaftliche Teilhabe fördern und die Selbstwirksamkeit der Schüler*innen steigern soll.
Trotz zahlreicher Fortbildungsangebote fühlen sich viele Lehrkräfte bezüglich der Umsetzung einer BNE noch immer unsicher, weshalb das Thema im Unterricht weiterhin unterrepräsentiert bleibt (Borgstedt et al., 2010; Lindemann-Matthies & Knecht, 2011). Die Digitalisierung schafft hier jedoch Potenzial für Verbesserungen: Digitale Medien, besonders interaktive Lernspiele, haben sich als vielversprechendes Medium erwiesen, um Umweltthemen ansprechend zu vermitteln. Studien zeigen, dass solche Spiele das Interesse und die Motivation der Lernenden fördern sowie komplexe Zusammenhänge simulieren können, sodass Schüler*innen in Echtzeit die Auswirkungen ihrer Entscheidungen erleben (Jacob & Teuteberg, 2017; Hwang & Wu, 2012; Muenz et al., 2023; Wouters et al., 2013).

Trotz der Vielzahl an digitalen Lernspielen gibt es bislang nur wenige Projekte, die *game-based learning* mit BNE für den schulischen Unterricht verbinden (Schaal et al., 2018). Für eine vollständige Transformation hin zu einer nachhaltigen Gesellschaft müssen alle Bevölkerungsschichten einbezogen werden. Das Erreichen der *Sustainable Development Goals* (SDGs) ist damit stark von der Sicherstellung gleicher Bildungschancen abhängig (Friedman et al., 2020; Citro et al., 2019). Alle Schülerinnen, unabhängig von ihrer Schulform, sollten von der Grundschule bis zur Hochschule gleichermaßen von BNE profitieren. In Deutschland geht jedoch die Bildungsschere immer weiter auseinander, was insbesondere Schüler*innen aus bildungsfernen Schichten benachteiligt (Jungbauer-Gans et al., 2004; Prenzel, 2006).

Ziel

Das hier vorgestellte Projekt verfolgte das Ziel, Schüler*innen durch ein digitales Lernspiel einen handlungs- und erfahrungsorientierten Zugang zur BNE zu ermöglichen. Unter anderem zu den Themen Rohstoffkreisläufe und Recycling mit dem Leitfach Chemie wurde das digitale BNE-Lernspiel „Project Planet“ entwickelt und seine Wirkung empirisch untersucht. Zwei zentrale Forschungsfragen standen dabei im Fokus:

- *Forschungsfrage 1 (FF1): Schwerpunkt Bildungsgerechtigkeit*: Inwiefern unterscheiden sich Schüler*innen gleichen Alters verschiedener Schularten (Gymnasium, Mittelschule) in ihren Einstellungen und ihrem Verhalten in Bezug auf Nachhaltigkeit?
- *Forschungsfrage 2 (FF2): Schwerpunkt Handlungsorientierung:* Initiiert das digitale Lernspiel „Project Planet“ Lernprozesse, die Einstellung, Verhalten und Selbstwirksamkeit von Schüler*innen im Kontext von BNE verändern?

Methode

Die Studie folgte einem quasi-experimentellen Ansatz mit einem Prä-/Posttest-Design. In einer quantitativen Untersuchung wurden 156 Schüler*innen aus einer Mittelschule und zwei Gymnasien mithilfe einer Fragebogenerhebung befragt. Für die Treatmentgruppe wurde das digitale Lernspiel als Intervention in den Unterricht eingebettet. Die Kontrollgruppe absolvierte stattdessen eine inhaltsgleiche Unterrichtseinheit ohne digitale Medien. Jeweils vor und nach der Intervention füllten die Schüler*innen die Fragebögen aus. Folgende bereits validierte Erhebungsinstrumente kamen zum Einsatz:

- Umwelteinstellungen (2-MEV Model nach Bogner, 2018; PRE α= ,67, UTL α= ,65)
- Verhaltensintention (GEB nach Kaiser et al., 2007; α= ,79)
- Selbstwirksamkeitserwartung (SEEA nach Porticella et al., 2017; α= ,85)

Ausgewählte Ergebnisse

Spielkonzeption

Im Spiel übernehmen die Spieler*innen die Rolle eines Bürgermeisters bzw. einer Bürgermeisterin einer Kleinstadt und versuchen, mit den verfügbaren Ressourcen nachhaltig zu wirtschaften. Das Ziel des Spiels besteht darin, ein Gleichgewicht zwischen den drei Dimensionen der Nachhaltigkeit (Ökologie, Ökonomie und Soziales) zu wahren. Dabei lernen die Spielerinnen, dass nicht die maximale Ausnutzung der Ressourcen zielführend ist, sondern nur nachhaltiges Handeln langfristigen Erfolg gewährleistet. Jede getroffene Entscheidung wirkt sich direkt auf die drei Säulen der Nachhaltigkeit aus. Zur leichteren Integration in den Unterricht wurden speziell entwickelte Materialien bereitgestellt, die es den Lehrkräften ermöglichen, das Spiel mit dem Lehrplan zu verknüpfen. Die vier Szenarien des Spiels lassen

sich dabei den schulischen Leitfächern Biologie, Chemie, Geographie und Wirtschaft zuordnen. In jedem Szenario wird ein für das Fach relevanter BNE-Aspekt thematisch fokussiert, was den interdisziplinären und kumulativen Ansatz des Spiels unterstützen und vernetztes Lernen fördern soll.
Das Chemie-Szenario adressiert die Umsetzung von Rohstoffkreisläufen mithilfe von Recycling von Kunststoffen. Zentraler Lerninhalt ist, ein Verständnis für begrenzte Rohstoffvorkommen und für die Bedeutung der Mülltrennung im Rohstoffkreislauf zu entwickeln. Die Spieler*innen schalten Gebäude frei, die für die Kunststoffherstellung und -verarbeitung relevant sind, und werden mit Dilemma-Situationen konfrontiert, in denen sie zwischen den Bedürfnissen der Bewohner*innen, Ressourcenknappheit und Umweltverschmutzung abwägen müssen. Der Umgang mit Kunststoffmüll spielt dabei eine zentrale Rolle: Die Schüler*innen erleben direkt die Auswirkungen ihrer Entscheidungen auf das Stadtbild; Strategien wie Deponierung oder Verbrennung wirken sich langfristig negativ aus.

Empirische Ergebnisse
Der Vergleich der beiden unterschiedlichen Schultypen (erste Forschungsfrage, *FF1*) ergab signifikante Unterschiede in der Umwelteinstellung (UTL: $\chi^2(2{,}156) = 26{,}3$, $p < {,}001$) und in der Verhaltensintention ($\chi^2(2{,}156) = 13{,}22$, $p < {,}001$). Schüler*innen des Gymnasiums weisen dabei deutlich stärker der Umwelt und dem Umweltschutz zugewandte Einstellungen auf und zeigen eine höhere Bereitschaft, ihr Verhalten langfristig nachhaltig auszurichten, im Vergleich zu Schüler*innen aus der Mittelschule. Schüler*innen im Gymnasium haben also ein stärker ausgeprägtes Umweltbewusstsein. In Bezug auf die Selbstwirksamkeit hinsichtlich nachhaltigen Verhaltens wurden keine Unterschiede zwischen den Schulen festgestellt.
Der Vergleich zwischen der Treatment- und der Kontrollgruppe (*FF2*) zeigte dagegen signifikante Unterschiede bezüglich der Selbstwirksamkeit ($Z = -1{,}84$, $p = {,}03$, $d = 0{,}4$). In der Gruppe mit Lernspiel stieg die Selbstwirksamkeit, Unterschiede zu Kontrollgruppe bei Umwelteinstellung und Verhaltensintention waren jedoch nicht signifikant.

Diskussion und Ausblick
Die Ergebnisse dieser Studie deuten auf wahrscheinliche Zusammenhänge zwischen Bildungsgrad und Umwelteinstellung hin. So betrachten Schüler*innen der Mittelschule die Natur vorwiegend aus einem praktischen Nutzungsaspekt heraus und entwickeln ihre ethische Sicht auf die Umwelt überwiegend danach, wie sie menschliche Interessen berührt. Die Verwirklichung der in den SDGs formulierten Ziele hängt stark davon ab, inwieweit die gesamte Bevölkerung einer Gesellschaft zur Transformation bewegt werden kann (Friedman et al., 2020; Citro et al., 2019). Somit wird Bildungsgerechtigkeit wichtiger denn je.
Die Intervention verdeutlichte zudem, dass das eingesetzte Lernspiel einen Zuwachs an Selbstwirksamkeitserfahrung in Bezug auf nachhaltiges Verhalten bewirkte und dass dies unabhängig von dem besuchten Schultyp der Lernenden erfolgte. In einem ähnlichen Kontext konnten derartige Lernprozesse auf unmittelbares Feedback im Spiel als Ursache zurückgeführt werden (vgl. Münz et al., 2023). Somit kann mithilfe eines digitalen Lernspiels die Wahrscheinlichkeit umweltbewussten Verhaltens erhöht werden, wobei Lernende verschiedener Bildungsschichten gleichermaßen erreichbar erscheinen. Zukünftige Studien sollten daher weiterführend untersuchen, wie BNE-Lernspiele die Umwelteinstellungen sowie nachhaltiges Verhalten von Lernenden langfristig positiv beeinflussen können und welche Rolle die Selbstwirksamkeit dabei einnimmt.

Literatur

Barth, M., Fischer, D., Michelsen, G., Nemnich, C., & Rode, H. (2012). Tackling the Knowledge–Action Gap in Sustainable Consumption: Insights from a Participatory School Programme. Journal of Education for Sustainable Development, 6(2), 301–312. https://doi.org/10.1177/0973408212475266

Borgstedt, S., Christ, T., & Reusswig, F. (2010). Umweltbewusstsein in Deutschland 2010: Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. Online: http://www. umwelt bundesamt. de/sites/default/files/medien/publikation/long/4045. pdf [Zugriff: 17.10. 2024]

Citro, C., Nielsen, N., Koenig, J., & Edley Jr, C. (Eds.). (2019). *Monitoring educational equity*. National Academies Press

De Haan, G., Kuckartz, U.(1996): Umweltbewußtsein. Denken und Handeln in Umweltkrisen. Opladen

Friedman, J., York, H., Graetz, N., Woyczynski, L., Whisnant, J., Hay, S., & Gakidou, E. (2020). Measuring and forecasting progress towards the education-related SDG targets. Nature, 580, 636 - 639. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2198-8

Hwang, G. J., & Wu, P. H. (2012). Advancements and trends in digital game-based learning research: A review of publications in selected journals from 2001 to 2010. *British Journal of Educational Technology*, *43*(1)

Jacob, A., & Teuteberg, F. (2017). Game-Based Learning, Serious Games, Business Games und Gamification–Lernförderliche Anwendungsszenarien, gewonnene Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen. *Gamification und Serious Games: Grundlagen, Vorgehen und Anwendungen*, 97-112

Jungbauer-Gans, M. (2004). Einfluss des sozialen und kulturellen Kapitals auf die Lesekompetenz. Ein Vergleich der PISA 2000-Daten aus Deutschland, Frankreich und der Schweiz. *Zeitschrift für Soziologie*, *33*(5), 375-397

Lindemann-Matthies, P., & Knecht, S. (2011). Swiss elementary school teachers' attitudes toward forest education. *The Journal of Environmental Education*, *42*(3), 152-167

Lude, A. (2001). Naturerfahrung & Naturschutzbewusstsein. Studien-Verlag

Muenz, T. S., Schaal, S., Groß, J., & Paul, J. (2023). How a digital educational game can promote learning about sustainability. *Science Education International*, *34*(4), 293-302.

Olsson, D., Gericke, N., & Chang Rundgren, S. N. (2016). The effect of implementation of education for sustainable development in Swedish compulsory schools–assessing pupils' sustainability consciousness. Environmental Education Research, 22(2), 176-202

Prenzel, M. (2007). *Pisa 2006*. Waxmann Verlag

Schaal, S., Otto, S., Schaal, S., & Lude, A. (2018). Game-related enjoyment or personal pre-requisites–which is the crucial factor when using geogames to encourage adolescents to value local biodiversity. *International Journal of Science Education, Part B*, *8*(3), 213-226

Wouters, P., Van Nimwegen, C., Van Oostendorp, H., & Van Der Spek, E. D. (2013). A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. *Journal of educational psychology*, *105*(2), 249

Unterbruner, U. (2013). Umweltbildung. In *Fachdidaktik Biologie (Hrsg. von H. Gropengießer, U. Harms & U. Kattmann)* (pp. 169-190). Aulis Verlag in der Stark Verlagsgesellschaft

Angelika Bernsteiner[1]
Claudia Haagen-Schützenhöfer[1]
Thomas Schubatzky[2]

[1]Universität Graz
[2]Universität Innsbruck

Schüler:innen gegen Desinformationen in sozialen Medien stärken

Problemstellung und Zielsetzung

Jugendliche nützen soziale Medien wie Instagram nicht nur zur Unterhaltung und zum sozialen Austausch, sondern auch zur Informationsbeschaffung (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2023; Kresin et al., 2024). Das kann problematisch sein, da es in sozialen Medien an Gatekeeping-Mechanismen fehlt und dadurch die rasche und relativ einfache Verbreitung von Desinformationen möglich ist (Höttecke & Allchin, 2020; Kresin et al., 2024; Stark et al., 2022). Damit Jugendliche Desinformationen in sozialen Medien als solche erkennen und von wissenschaftlich fundierten Informationen unterscheiden können, benötigen sie Unterstützung (Höttecke & Allchin, 2020; Kresin et al., 2024). Dazu hat sich der Ansatz der aktiven, logikbasierten Inokulation und des Debunkings (Compton, 2012; Cook et al., 2017) als hilfreich erwiesen (Bernsteiner et al., 2023; Cook et al., 2017; Schubatzky & Haagen-Schützenhöfer, 2023). Wir untersuchen deshalb in einer ersten Pilotierung eine Intervention, die auf diesem Ansatz beruht und die Schüler:innen der Sekundarstufe II (SEKII) dabei unterstützen soll, Desinformationen in sozialen Medien zu erkennen.

Vorerhebung

Um Informationen über das Konsumverhalten von Jugendlichen bezogen auf soziale Medien zu erhalten und um zu untersuchen, nach welchen Kriterien Jugendliche die Glaubwürdigkeit von Informationen in sozialen Medien beurteilen, setzten wir eine Online-Befragung mit N = 1055 österreichischen Schüler:innen im Alter von 14-19 Jahren um. Die Ergebnisse zeigen unter anderem, dass Schüler:innen laut Selbstauskunft neben Youtube insbesondere Instagram als Informationsquelle nutzen. Außerdem gaben Schüler:innen an, dass sie zur Beurteilung der Glaubwürdigkeit von Informationen in sozialen Medien eher ihrem eigenen Fachwissen zum Thema vertrauen, als dass sie die Vertrauenswürdigkeit der Autor:innen und der im Beitrag präsentierten Inhalte überprüfen (vgl. Plausibilitäts- und Vertrauensstrategie nach Bromme & Kienhues, 2014 und Zilz & Höttecke, 2022). Zudem äußerten Schüler:innen, dass für sie soziale Belege wie Likes und Kommentare sowie gestalterische Merkmale zur Beurteilung der Glaubwürdigkeit eines Beitrages relevant seien.
Insbesondere Glaubwürdigkeitsbeurteilungen, die auf nicht gesichertem Fachwissen beruhen oder sich auf soziale Belege beziehen, können zu Fehlinterpretationen hinsichtlich der Glaubwürdigkeit von Informationen führen (Traberg et al., 2022; Zilz & Höttecke, 2022). Das Überprüfen der Vertrauenswürdigkeit von Autor:innen jedoch kann hilfreich sein, um die Glaubwürdigkeit von Beiträgen adäquat einzuschätzen (Zilz & Höttecke, 2022).

Interventionsdesign

Auf Basis der Vorerhebung fokussiert unsere Intervention auf die Arbeit mit Instagram. Aktiver Inokulation und Debunking folgend, soll die Intervention Schüler:innen der SEKII auf das Überprüfen der Vertrauenswürdigkeit von Autor:innen und der im Beitrag enthaltenen Informationen vorbereiten sowie Möglichkeiten zur kritischen Reflexion über das eigene Wissen zum jeweiligen Beitrag, über soziale Belege und über gestalterische Merkmale bieten.

Die Intervention umfasst drei Phasen und dauert insgesamt 150 Minuten. In der ersten Phase werden Techniken vorgestellt, die von Wissenschaftsleugner:innen häufig eingesetzt werden, um Desinformationen zu verbreiten (vgl. PLURV-Techniken nach Cook et al., 2017). Darüber hinaus werden spezifische Aspekte sozialer Medien, wie soziale Belege und die Verifizierung von Profilen, thematisiert. Die Schüler:innen lernen zudem vier Perspektiven kennen, um die Glaubwürdigkeit von Informationen in sozialen Medien zu beurteilen: (1) die inhaltliche Perspektive zur Beurteilung der fachlichen Korrektheit eines Beitrages, (2) die gestalterische Perspektive zur Beurteilung gestalterischer Merkmale eines Beitrags, wie z.B. die Qualität von Grafiken, (3) die soziale Perspektive zur Beurteilung sozialer Belege zu einem Beitrag, wie etwa die Anzahl an Likes, und (4) die Vertrauenswürdigkeitsperspektive zur Beurteilung der Vertrauenswürdigkeit der Autor:innen sowie der im Beitrag enthaltenen Informationen.
In der zweiten Phase der Intervention nehmen die Schüler:innen im Sinne einer aktiven Inokulation selbst die Rolle von Wissenschaftsleugner:innen ein. In Teams erstellen sie mithilfe einer Vorlage einen fiktiven Fake-News-Instagram-Beitrag zu einer vorgegebenen Desinformation im Kontext elektromagnetischer Strahlung. Dabei sollen sie gezielt eine der PLURV-Techniken anwenden und eine der vier vorgestellten Perspektiven täuschend adressieren, beispielsweise indem sie die Vertrauenswürdigkeit der Autor:innen vortäuschen. Die von den Schüler:innen erstellten Beiträge werden nicht veröffentlicht.
Die dritte Phase widmet sich dem Debunking, also dem Entlarven der Desinformationen. Jedes Schüler:innen-Team erhält den Beitrag einer anderen Gruppe und muss sowohl die Desinformation, die eingesetzte PLURV-Technik als auch die adressierte Perspektive erkennen.
Durch diese aktive Auseinandersetzung mit Desinformationen in abgeschwächter Form bzw. mit Techniken zu deren Verbreitung, sollen Schüler:innen lernen, wie Desinformationen funktionieren und darauf vorbereitet werden, in ihrem Alltag Desinformationen als solche zu erkennen bzw. eine Art Widerstandsfähigkeit gegenüber Desinformationen aufzubauen.

Forschungsfrage

Bei der Pilotierung der Intervention verfolgten wir unter anderem folgende Forschungsfrage: Welchen Effekt hat eine Intervention, die auf aktiver Inokulation beruht, wie Schüler:innen der SEKII vorgehen, um die Glaubwürdigkeit von Instagram-Beiträgen einzuschätzen?

Untersuchungsdesign

Direkt vor der Intervention sowie unmittelbar danach setzten wir eine jeweils 25-minütige Prä- bzw. Post-Erhebung um, was insgesamt 4 geblockte Schulstunden in Anspruch nahm. Eine Woche nach der Intervention erfolgte eine 25-minütige Follow-up-Erhebung.
Neben demographischen Daten ermittelten wir mit den Erhebungen auch den Umgang der Schüler:innen mit Informationen in sozialen Medien. Da Schüler:innen nicht immer bewusst ist, welche Kriterien sie zur Beurteilung der Glaubwürdigkeit von Informationen heranziehen (Kresin et al., 2024), erhoben wir den Umgang der Schüler:innen mit Informationen sowohl durch Selbsteinschätzung als auch durch die Auseinandersetzung mit echten Instagram-Beiträgen. Der Fokus dieses Beitrags liegt auf der Erhebung der Selbsteinschätzung.
Zur Ermittlung der Selbsteinschätzung der Schüler:innen hinsichtlich ihrer Vorgehensweisen zur Beurteilung der Glaubwürdigkeit von Informationen in sozialen Medien nutzten wir 19 Items und eine vierstufige Skala (stimme gar nicht zu – stimme voll und ganz zu). Die Items basieren auf qualitativen Studien (u.a. Belova et al., 2022; Kresin et al., 2024; Tseng, 2018) und wurden in unserer Vorerhebung getestet. In Tab. 1 sind 5 Beispielitems dargestellt.

Tab. 1: Beispielitems: Erhebung der Selbsteinschätzung von Schüler:innen hinsichtlich ihres Umgang mit Informationen in sozialen Medien

Um die Glaubwürdigkeit von Beiträgen in sozialen Medien zu überprüfen…
achte ich auf die sprachliche Qualität (Rechtschreibung, Grammatik) des Beitrags.
recherchiere ich über den Expert:innen-Status des/der Autor:in des Beitrags.
achte ich auf die Anzahl an Likes.
vertraue ich auf mein Fachwissen zum Thema des Beitrages.
vertraue ich auf meinen Hausverstand.

Stichprobe

Die vorgestellte Intervention wurde im Sommersemester 2024 mit 82 Schüler:innen der SEKII am beteiligten Schulstandort pilotiert. Die Stichprobenbeschreibung ist Tab. 2 zu entnehmen.

Tab. 2: Stichprobenbeschreibung der an der Pilotierung teilgenommenen Schüler:innen

gesamt	Geschlecht	Alter	Schulstufe (SSt)
$N_{gesamt} = 82$	$N_{männlich} = 23$	16.85 ± 1.03 Jahre	$N_{10.SSt} = 36$
	$N_{weiblich} = 57$		$N_{11.SSt} = 12$
	$N_{divers} = 2$		$N_{12.SSt} = 34$

Ergebnisse

An der Prä- und Post-Erhebung nahmen alle 82 Schüler:innen teil, während für die Follow-up-Erhebung Daten von 46 Schüler:innen vorliegen. Nachfolgend werden die Ergebnisse präsentiert, die durch besonders hohe oder besonders niedrige Einschätzungen herausstechen. Die Ergebnisse der Prä-Erhebung zeigen unter anderem, dass Schüler:innen laut Selbstauskunft kaum über den Expert:innen-Status von Autor:innen eines Beitrages recherchieren ($M_{Prä} = 1.78 \pm .77$), um die Glaubwürdigkeit von Informationen zu beurteilen. In der Post- und in der Follow-up-Erhebung tätigten die Schüler:innen dahingehend positivere Einschätzungen ($M_{Post} = 2.39 \pm .83$, $M_{Follow} = 2.37 \pm .77$). Im Gegensatz dazu gaben die Schüler:innen in der Prä-Erhebung an, ihrem Hausverstand zu vertrauen ($M_{Prä} = 3.38 \pm .66$), um die Glaubwürdigkeit von Informationen einzuschätzen. In der Post- und Follow-up-Erhebung tätigten sie dahingehend geringere Einschätzungen ($M_{Post} = 3.26 \pm .84$, $M_{Follow} = 3.02 \pm .75$). Neben diesen deskriptiven Ergebnissen zeigt ein Dunn-Bonferroni-Test, dass Schüler:innen in der Follow-up-Erhebung signifikant häufiger als in der Prä-Erhebung angaben, über den Expert:innen-Status von Autor:innen zur recherchieren, um die Glaubwürdigkeit von Informationen zu überprüfen ($z = -2.554$, $p = .032$, $n = 46$, $r = .38$, $Mdn_{Prä}$: 2.00, Mdn_{Follow}: 2.00).

Diskussion und Ausblick

Die Ergebnisse unserer Pilotierung sind aufgrund noch nicht hinreichend belegter Validitäts-argumente und der bestehenden Datenlage nur sehr vorsichtig zu interpretieren. In Folgestudien planen wir daher unter anderem, Validitätsnachweise für die eingesetzten Erhebungsinstrumente zu erarbeiten und tiefere Einblicke in das Antwortverhalten von Schüler:innen zu gewinnen. Zudem möchten wir untersuchen, inwieweit Schüler:innen die mittels Selbstauskunft angegebenen Vorgehensweisen auch tatsächlich umsetzen.

Literatur

Belova, N., Krause, M. & Siemens, C. (2022). Students' Strategies When Dealing with Science-Based Information in Social Media - A Group Discussion Study. Education Sciences, 12(9), 603

Bernsteiner, A., Schubatzky, T. & Haagen-Schützenhöfer, C. (2023). Misinformation as a Societal Problem in Times of Crisis: A Mixed-Methods Study with Future Teachers to Promote a Critical Attitude towards Information. Sustainability, 15(10), 8161

Bromme, R. & Kienhues, D. (2014). Wissenschaftsverständnis und Wissenschaftskommunikation. In T. Seidel & A. Krapp (Eds.), Pädagogische Psychologie. Weinheim: Beltz, 55-81

Cook, J., Lewandowsky, S. & Ecker, U. K. H. (2017). Neutralizing misinformation through inoculation: Exposing misleading argumentation techniques reduces their influence. PloS one, 12(5), e0175799

Compton, J. (2012). Inoculation Theory. In J. Dillard & L. Shen (Eds.), The SAGE Handbook of Persuasion: Developments in Theory and Practice. Carlifornia: SAGE Publications, 220-236

Höttecke, D. & Allchin, D. (2020). Reconceptualizing nature-of-science education in the age of social media. Science Education, 104(4), 641-666

Kresin, S., Kremer, K. & Büssing, A. G. (2024). Students' credibility criteria for evaluating scientific information: The case of climate change on social media. Science Education, 108(3), 762-791

Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (Eds.). (2023). JIM 2023. Jugend, Information, Medien: Basisuntersuchung zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger in Deutschland. https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2022/JIM_2023_web_final_kor.pdf

Schubatzky, T. & Haagen-Schützenhöfer, C. (2023). Inoculating Adolescents Against Climate Change Misinformation. In G. S. Carvalho, A. S. Afonso & Z. Anastácio (Eds.), Contributions from Science Education Research. Fostering Scientific Citizenship in an Uncertain World. Cham: Springer International Publishing, 275-292

Stark, B., Magin, M. & Geiß, S. (2022). Meinungsbildung in und mit sozialen Medien. In J.-H. Schmidt & M. Taddicken (Eds.), Handbuch Soziale Medien. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 213-231

Traberg, C. S., Roozenbeek, J. & van der Linden, S. (2022). Psychological Inoculation against Misinformation: Current Evidence and Future Directions. The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science, 700(1), 136–151

Tseng, A. S. (2018). Students and evaluation of web-based misinformation about vaccination: critical reading or passive acceptance of claims? International Journal of Science Education, Part B, 8(3), 250-265.

Zilz, K. & Höttecke, D. (2022). Promoting Pre-service Physics Teachers' Science Media Literacy. Science Education Review Letters, 1-6

Annabel Pauly[1] [1]Universität Mainz
Leonie Baumgarten[1]

Recycling von Solarmodulen im Lehr-Lern-Kontext Chemie

Solarmodule spielen eine zentrale Rolle in der Energiewende und tragen maßgeblich zur Erzeugung erneuerbarer Energie bei. Mit einer Lebensdauer von durchschnittlich 25 bis 30 Jahren stellt sich jedoch die Frage, wie diese am Ende ihres Lebenszyklus nachhaltig entsorgt und recycelt werden können. Bis 2030 wird allein in Deutschland mit etwa 1,7 Millionen Tonnen Solarmüll gerechnet. Dieser Umstand verdeutlicht die Dringlichkeit effektiver Recyclingstrategien. Die EU-Richtlinie für Elektro- und Elektronik-Altgeräte (WEEE) schreibt vor, dass mindestens 80 % eines Solarmoduls recycelt werden müssen. Dies stellt sowohl eine technologische als auch eine logistische Herausforderung dar, insbesondere in Bezug auf die Trennung und Wiederverwertung der enthaltenen Materialien wie Glas, Aluminium und Silizium.

Recycling von Solarmodulen

Solarmodule bestehen hauptsächlich aus Glas, Aluminium, Silizium und Kunststoff. Die größten Anteile entfallen dabei auf Glas (70-80 %) und Aluminium (ca. 10 %), während Silizium und Kunststoff nur kleinere Anteile ausmachen. Für Glas und Aluminium bestehen bereits gut etablierte Recyclingprozesse mit hohen Recyclingquoten von bis zu 100 % (IRENA and IEA-PVPS, 2016). Schwieriger gestaltet sich das Recycling von Silizium, das nur 5-10 % der Masse eines Moduls ausmacht, jedoch in der Produktion erheblich zur CO_2-Bilanz beiträgt (Peplow, 2022). Trotz des Potenzials, durch das Recycling von Silizium große Mengen CO_2 und Energie zu sparen, werden derzeit nur 10-20 % des verwendeten Siliziums recycelt. Der Grund dafür liegt unter anderem im Aufbau einer Solarzelle. Um den Silizium-Wafer vor Wettereinflüssen zu schützen, wird dieser in eine Schicht aus Ethylenvinylacetat (EVA) eingebettet. In einem sogenannten Laminator werden die Schichten dann im Vakuum auf 150 °C erhitzt, wobei das EVA schmilzt, und eine dauerhafte Verbindung der Schichten bewirkt. Diese Laminierung ist für den Schutz der Solarzelle sehr wichtig, stellt jedoch ein großes Hindernis beim Recycling dar (Mertens, 2015). Die Delaminierung gestaltet sich als komplex und energieintensiv (Akram Cheema et al., 2024). Verschiedene Methoden zur Entfernung der EVA-Schicht – mechanisch, chemisch oder thermisch – werden derzeit erforscht und in der Industrie angewendet, wobei keine Methode bislang flächendeckend zum Einsatz kommt (Tembo & Subramanian, 2023). Die Herausforderung besteht darin, kosteneffiziente und umweltfreundliche Verfahren zu entwickeln, die gleichzeitig eine hohe Reinheit der zurückgewonnenen Materialien gewährleisten.

Recycling von Solarmodulen als Gegenstand des Lehr-Lern-Kontextes Chemie

Das Thema „Recycling von Solarmodulen“ bietet einen idealen Anknüpfungspunkt für die curriculare Innovationsforschung im Chemieunterricht. Es verknüpft zentrale chemische Konzepte, wie die Materialtrennung, chemische Reaktionen und Energieeinsparungen, mit innovativen Themen der Industrie und Forschung wie auch aktuellen gesellschaftlichen Herausforderungen. Im Rahmen der Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) kann das Recycling von Solarmodulen nicht nur als technisches Thema, sondern auch im Kontext

globaler Ressourcenknappheit und Umweltschutzes thematisiert werden. Die curriculare Innovationsforschung zielt darauf ab, neue, zukunftsorientierte Themen in den Unterricht zu integrieren, die Schülerinnen und Schüler zu einer kritischen Auseinandersetzung mit Nachhaltigkeitsfragen anregen (Tausch, 2004). Der Chemieunterricht bietet hierbei eine hervorragende Plattform, um anhand realer Fragestellungen – wie der Rückgewinnung von Silizium oder der Trennung von EVA-Schichten – experimentelle Kompetenzen zu fördern und gleichzeitig ökologische und ökonomische Zusammenhänge zu vermitteln. Das Thema kann zudem in verschiedene Unterrichtsformate eingebunden werden, von klassischen Experimenten im Labor bis hin zu projektbasiertem Lernen, bei dem die Schülerinnen und Schüler interdisziplinär arbeiten und dabei chemische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Aspekte berücksichtigen. So wird das Fach Chemie nicht nur als naturwissenschaftliches Fach, sondern auch als Medium für die Entwicklung von Problemlösungsfähigkeiten und verantwortungsbewusstem Handeln in einer zunehmend technologisierten und nachhaltigkeitsorientierten Welt genutzt.

Untersuchungsdesign und -methodik

Die Studie gliedert sich in zwei wesentliche Teile: einen praktischen und einen empirischen Teil.

Der **empirische Teil** der Studie untersucht allgemeine und spezifische Aspekte für eine sinnvolle Umsetzung von innovativen Themen im Chemieunterricht. Hierzu wurden qualitative Interviews mit Chemielehrkräften durchgeführt, um deren Wünsche, Anforderungen und Herausforderungen bei der Integration von technischen Themen wie dem Recycling von Solarmodulen in den Unterricht zu erfassen. Durchgeführt wurde die qualitative Fragebogenstudie mit fünf Gymnasiallehrkräften aus Rheinland-Pfalz. Die Auswertung der Interviews erfolgte mittels der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2022) in Form einer induktiven Kategorienbildung.

Ergänzt wird dies durch eine quantitative Fragebogenstudie, die die Akzeptanz und Umsetzbarkeit solcher Themen im Schulkontext untersucht. Neben der allgemeinen Betrachtung von Unterrichtskonzepten zu aktuellen Forschungsinhalten liegt ein Fokus auf der spezifischen Thematik *Recycling von Solarmodulen*. Die Fragebogenstudie befindet sich gerade in der Durchführung und bislang haben n =245 Lehrkräfte aus Rheinland-Pfalz an der Befragung teilgenommen.

Der **praktische Teil** zielt auf die Entwicklung von Experimenten für den Chemieunterricht ab, die auf der aktuellen Forschung aus Industrie und Technik basieren. Dabei werden Experimente konzipiert, die zentrale chemische und technologische Aspekte des Recyclings von Solarmodulen veranschaulichen. Die Experimente orientieren sich an Forschungsergebnissen aus der Industrie, wie zum Beispiel der chemischen oder thermischen Entfernung der EVA-Schicht oder der Wiederaufbereitung von Siliziumwafern.

Durch diese zweigeteilte Untersuchungsmethodik wird sowohl die praktische Umsetzung im Unterricht als auch die theoretische Fundierung des Konzepts in der schulischen Praxis beleuchtet, um ein möglichst fundiertes und praxisnahes Unterrichtsmodell zu entwickeln.

Erste Erkenntnisse der empirischen Untersuchung

Die qualitative Befragung der Chemielehrkräfte ergab Einblicke in die Umsetzung innovativer Themen wie das *Recycling von Solarmodulen* im Chemieunterricht. Dabei wurden die *Einbindungsmöglichkeiten*, *allgemeine* sowie *inhaltliche Anforderungen* an ein Unterrichtskonzept sowie die *Herausforderungen* beleuchtet.

Ein zentrales Ergebnis ist, dass das Recycling von Solarmodulen aber auch Photovoltaik bislang wenig oder gar nicht im Unterricht integriert wird. Die Lehrkräfte sehen es jedoch als geeignetes Thema für die Oberstufe, insbesondere im Zusammenhang mit den Themengebieten Atommodelle, Metalle, Halbleiter und Kunststoffe. Hier wird es immer als eine Vertiefungsmöglichkeit genannt. Daraus folgt eine notwendige Agilität der zu vermittelnden Inhalte in Bezug auf die verschiedenen Anknüpfungspunkte. Die Lehrkräfte äußerten auch allgemein in Bezug auf aktuelle Themen aus Industrie und Forschung den Wunsch nach flexiblen und modularen Unterrichtskonzepten, die es ermöglichen, bestimmte Inhalte gezielt in den Unterricht zu integrieren oder je nach Bedarf zu erweitern oder zu vertiefen. Ein weiteres Anliegen war die Bereitstellung fundierter, leicht zugänglicher Daten und Zahlen, insbesondere im Bereich des Recyclings. Viele gaben an, dass verlässliche, aussagekräftige und insbesondere aktuelle Daten, Zahlen und Fakten eine zu zeitintensive Recherche benötigen, was eine Herausforderung für die Unterrichtsgestaltung darstellt.
„Das was mir zum Beispiel fehlt beim Recycling oder bei vielen Betrachtungen sind wirklich Zahlen […]. Dass man da halt keine Recherche mehr betreiben muss, weil das Problem ist zum Beispiel auch bei vielen Recyclingfragen. Ich komme da schlecht an Zahlen ran, die wirklich valide sind. Oder die auch wirklich eine echte Aussagekraft haben.“
Inhaltlich betonten die Lehrkräfte, dass Silizium als zentrales Material für die Photovoltaik im Fokus eines solchen Unterrichtskonzepts stehen sollte. Darüber hinaus wurde die Integration gesellschaftspolitischer Aspekte, wie die Bedeutung des Recyclings für die Nachhaltigkeit und die Interessen der Wirtschaft, als relevant erachtet. Insgesamt herrschte Konsens darüber, dass das Thema *Recycling von Solarmodulen* eine hohe Relevanz für die Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) besitzt und einen Beitrag zum Verständnis moderner Technologien und ihrer Auswirkungen auf Umwelt und Gesellschaft leisten kann. Es wurde verdeutlicht, dass eine Umsetzung auch Informationen aus realen Recyclingbetrieben und eventuell auch der Aufbereitung von Solarmüll umfassen sollte. Als Herausforderungen wurden insbesondere der zeitliche Faktor sowie der Stundenumfang eines solchen Projektes genannt. Auch die Frage, wie neben dem Einsatz von Modellexperimenten auch die Nutzung von realem Solarmüll in das Konzept integriert werden könnte, stand im Fokus der Betrachtungen.

Fazit und Ausblick

Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass das Recycling von Solarmodulen, insbesondere die Rückgewinnung von Silizium, noch vor großen Herausforderungen steht. Im Bildungsbereich besteht großes Potenzial, das Thema *Recycling von Solarmodulen* verstärkt in den Unterricht zu integrieren, um Schülerinnen und Schüler für die technischen und gesellschaftlichen Aspekte des nachhaltigen Ressourcenmanagements zu sensibilisieren und Nachhaltigkeitskompetenzen zu stärken. Es besteht der Wunsch nach flexiblen und modularen Unterrichtskonzepten, die es Lehrkräften erlauben, aktuelle Themen aus Industrie und Forschung bedarfsgerecht zu integrieren. Dabei zeigt sich ein Mangel an leicht zugänglichen, aktuellen und verlässlichen Daten als wesentliche Herausforderung, die eine zeiteffiziente Vorbereitung erschwert. Auch die Betrachtung des Recyclings der physischen Infrastruktur erneuerbarer Energien aber auch die chemischen Aspekte des Ressourcenmanagements von Technologien wie KI stellen Themen für diesen Bereich dar.

Literatur

Akram Cheema, H., Ilyas, S., Kang, H. & Kim, H. (2024). Comprehensive review of the global trends and future perspectives for recycling of decommissioned photovoltaic panels. Waste management (New York, N.Y.), 174, 187–202. DOI: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.11.025

IRENA and IEA-PVPS. (2016). End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panals. Inter-national Renewable Energy Agency and International Energy Agency Photovoltaic Power Systems. https://www.irena.org/publications/2016/Jun/End-of-life-management-Solar-Photovoltaic-Panels (29.10.2024)

Mayring, P. (2022). Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken (13. Aufl.). Beltz

Mertens, K. (2015). Photovoltaik: Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis (3., neu bearbeitete und erweiterte Auflage). Hanser Verlag

Peplow, M. (2022). Solar Panels Face Recycling Challenge. ACS central science, 8(3), 299–302. https://doi.org/10.1021/acscentsci.2c00214 (29.10.2024)

Tausch, M. (2004). Curriculare Innovation. Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule (53), Artikel 8, 18–21

Tembo, P. M. & Subramanian, V. (2023). Current trends in silicon-based photovoltaic recycling: A technology, assessment, and policy review. Solar Energy, 259, 137–150. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.05.009 (29.10.2024)

Alexander Engl[1]
Tobias Bier[1]
Björn Risch[1]

[1]Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau (RPTU in Landau)

CEASEless: Förderung von Circular Literacy und umweltgerechtem Verhalten bei Schüler*innen durch den Kontext von Mikroalgen

Circular Economy (CE) ist bisher ein weißer Fleck auf der Angebotskarte (non)formaler Bildungsangebote, jedoch ein hochaktuelles Thema mit Lösungsansätzen für eine nachhaltige Welt. Im Projekt CEASEless lernen Schüler*innen der zehnten Jahrgangsstufe in einer mehrtägigen Intervention das Potential von CE kennen (Risch et al., 2023). Inhaltlich setzen sie sich im Schülerlabor experimentell-forschend und kritisch-analytisch mit Mikroalgen als alternative Rohstoffquelle zur Optimierung der Stickstoffbilanz in der Landwirtschaft auseinander. Die Evaluation des Projekts leistet einen Beitrag zu der Frage, inwieweit CEASEless deklaratives Wissen über CE sowie umweltgerechtes Verhalten der Teilnehmenden fördert. Vor diesem Hintergrund wurden zwei Testinstrumente entwickelt und im Rahmen der dreitägigen Intervention pilotiert.

Circular Literacy als Teil der ökonomischen Kompetenz?

Ökonomische Kompetenz ist nach Kaiser et al. (2020) als die Fähigkeit definiert, in ökonomisch geprägten Lebenssituationen (Verbraucher*in, Erwerbstätige*r, Bürger*in) adäquat handeln und entscheiden zu können. Das Konstrukt gliedert sich in die drei Kompetenzbereiche Entscheidungsfindung und Rationalität (z. B. Handlungskonsequenzen analysieren und evaluieren), Beziehungen und Interaktionen (z. B. Konstellationen von Interessen analysieren und verstehen) sowie System und Ordnung (Märkte und Regulierungsgesetze analysieren) (ebd.). Circular Literacy hingegen wird nach Zwiers et al. (2020) als die wissensbasierte Fähigkeit definiert, CE-Modelle zu implementieren, mit dem Ziel nachhaltige Entwicklung zu fördern. Das Konstrukt gliedert sich in die drei Wissensbereiche Systemwissen (komplexe Systeme verstehen), Zielwissen (nachhaltigkeitsrelevante Ziele formulieren) und Transformationswissen (Mechanismen von Konsum und Produktion erneuern). Die Definitionen zeigen Querbezüge zwischen den beiden Konstrukten auf, wobei die ökonomische Kompetenz weiter gefasst ist. Daher werden die drei Wissensbereiche der Circular Literacy als die Anwendung des nachhaltigkeitsspezifischen CE-Kontext als Teil der ökonomischen Kompetenz verstanden.

Interventionsstrategien zur Förderung umweltgerechten Verhaltens

Im Rahmenmodell für Interventionsstrategien zur Förderung umweltgerechten Verhaltens (Becker-Beck & Beck, 2015) wird der Begriff des umweltgerechten Verhaltens umfassend definiert. Er umfasst sowohl zielgerichtetes und geplantes Handeln (Ajzen, 1991), das bewusst und mit einer klaren Absicht erfolgt, als auch automatisiertes Verhalten, das aus Gewohnheit und ohne tieferes Nachdenken gezeigt wird (Becker-Beck & Beck, 2015).

Im Vergleich zu anderen Faktoren, wie Kosten-Nutzen-Abwägungen, Gewohnheiten oder externen Barrieren, fungieren Selbstwirksamkeit und Betroffenheit als starke emotionale und kognitive Treiber für umweltgerechtes Verhalten (Becker-Beck & Beck, 2015; Gifford &

Nilsson, 2014). Diese beiden Faktoren beeinflussen, ob die Menschen ihre Handlungsoptionen als realistisch einschätzen und ob sie motiviert sind, ihr Verhalten tatsächlich zu ändern. Sie sind dabei eng mit der Handlungskontrolle verknüpft (Fishbein & Ajzen 2011). Unter Handlungskontrolle wird die Einschätzung verstanden, wie realistisch umweltgerechtes Verhalten umgesetzt werden kann. Als zentraler Motivationsfaktor wird die Selbstwirksamkeit beschrieben. Sie spielt eine entscheidende Rolle bei der Einschätzung der Handlungsmöglichkeiten. Personen neigen eher dazu, umweltgerechtes Verhalten zu zeigen, wenn sie das Gefühl haben, dass ihr eigenes Handeln eine positive Wirkung haben kann (ebd.). Dies wird als Verstärker wahrgenommen, der die Umsetzung umweltgerechten Handelns unterstützt (Becker-Beck & Beck, 2015). Rückmeldungen über positive Ergebnisse verstärken diese Wahrnehmung zusätzlich (Bandura, 1977). Personen, die eine hohe persönliche Betroffenheit von den Risiken des Klimawandels empfinden, sind tendenziell eher bereit, Maßnahmen zu ergreifen (Swim et al., 2011).

Testentwicklung

Zur Erfassung der drei Wissensbereiche der Circular Literacy wurden 37 Single Choice Items mit vier Antwortmöglichkeiten in Anlehnung an den Aktionsplan der Europäischen Union „Den Kreislauf schließen“ (Eur-Lex, 2015) mit den sechs CE-Prämissen Recycle, Refuse, Reuse, Reduce, Repair und Rethink entwickelt. Dabei wurden folgende Inhalte thematisiert: Donut Ökonomie, Grenzen des Wachstums, Suffizienz Strategie, Externalitäten, Cradle-to-Cradle, Sharing Economy, Ressourcennutzung, Reparaturen, Abfallvermeidung, Upcycling und Greenwashing. Die Items wurden mit 107 Studierenden des ersten Semesters (*MW* = 22 Jahre, n♀ = 67%) im Studiengang Wirtschaftswissenschaften prepilotiert und eine Itemanalyse durchgeführt. Die Itemformulierungen wurden auf Basis der Itemkennwerte sowie der Inhaltsvalidität überarbeitet.

Als Indiz für umweltgerechtes Verhalten wurden die persönliche Betroffenheit als kognitive Komponente und die Selbstwirksamkeit als motivationale Komponente mittels Q-Sort erhoben. Q-Sort ist eine Forschungsmethode zur systematischen Untersuchung subjektiver Sichtweisen. Im Gegensatz zum klassischen Q-Sort stimmen die Befragten bei der "unforced" Variante Aussagen (Q-Statements) auf einer Likert-Skala zu oder lehnen diese ab, ohne dabei einer vorgegebenen Normalverteilung zu folgen (Brown, 1993). Beim "unforced" Q-Sort können die Teilnehmenden frei entscheiden, wie viele Aussagen sie den einzelnen Kategorien zuordnen (ebd.). Dies ermöglicht eine natürlichere Darstellung individueller Ansichten (Watts & Stenner, 2012). Die anschließende Analyse identifiziert Muster in den subjektiven Bewertungen und gruppiert ähnliche Sichtweisen. In der vorliegenden Untersuchung wurden 16 Abbildungen mit Bezug zum Klimawandel von den Proband*innen zu zwei Statements auf einer siebenstufigen Skala von 1 = “Trifft gar nicht zu“ bis 7 = „Trifft zu“ eingeordnet: Statement (1) *„Dieses Bild gibt mir das Gefühl, dass der Klimawandel ein wichtiges Thema ist.“,* Statement (2) *„Dieses Bild gibt mir das Gefühl, dass ich etwas gegen den Klimawandel tun kann.“*

Die beiden Aussagen in der Q-Sort-Studie – *Statement 1* zur subjektiven Betroffenheit des Klimawandels und *Statement 2* zur Selbstwirksamkeit sowie die verwendeten Abbildungen wurden in mehreren empirischen Studien validiert, und die gefundenen Ergebnisse konnten in wiederholten Untersuchungen repliziert werden (O’Neill et al., 2013; Metag et al., 2016). Die

Aussagen bilden die Punkte Betroffenheit und Selbstwirksamkeit im Rahmenmodell von Becker-Beck & Beck (2015) ab, indem sie die subjektive Wahrnehmung von Umweltauswirkungen und Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels behandeln. Insgesamt wurden n = 104 Personen (*MW* = 14 Jahre) befragt.

Pilotierung

Als Intervention wurde eine dreitägige Projektwoche mit 44 Lernenden aus zwei Klassen der zehnten Jahrgangsstufe (*MW* = 15 Jahre, n♀ = 36%) unter Nutzung der Lernangebote von CEASEless (vgl. www.lernenmitcirculareconomy.de) durchgeführt. Der erste Projekttag bot eine Einführung zur Circular Economy mit der Journalistenmethode, eine fachwissenschaftliche Grundlage zum globalen biogeochemischen Stickstoffkreislauf mit einem digitalen Lernmodul und thematisierte Herausforderungen der Agrarwirtschaft mit einem Mystery (Risch et al. 2024). Am zweiten Projekttag wurde ein Photobioreaktor zur Kultivierung von Mikroalgen aus 3D gedruckten Teilen und Low Cost Materialien gebaut und in Betrieb genommen (Wallrath et al. 2023) sowie Modellexperimente mit Mikroalgen durchgeführt. Am dritten Projekttag führen die Lernenden eine Podiumsdiskussion zu einem sozial-ökologischen Dilemma der Agrarwirtschaft aus verschiedenen ökonomisch-politischen Perspektiven durch (Zachert & Risch, 2024).

Zur Datenerhebung wurde vor und nach der Intervention der Q-Sort Fragebogen, sowie nach der Lerneinheit zu Circular Economy der Fragebogen zum deklarativen Wissen der Circular Literacy und zur ökonomischen Kompetenz eingesetzt. Die Datenauswertung erfolgte deskriptiv sowie inferenzstatistisch mittels Unterschiedsprüfung der Mediane mit dem Wilcoxon Matched Pair Test auf Basis der Q-Sort-Daten und einer Korrelationsanalyse nach Pearson basierend auf Daten zum deklarativen Wissen und zur ökonomischen Kompetenz.

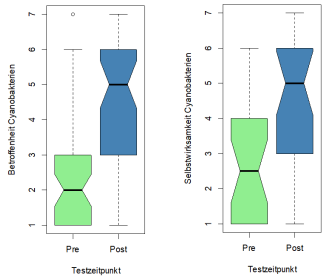


Abb. 1: Boxplot Diagramme zum Pre-Post-Vergleich zur persönlichen Betroffenheit links und Selbstwirksamkeit rechts.

Die Pre-Post-Vergleiche in Abbildung 1 des Wilcoxon Matched Pairs Tests zeigen eine signifikante Zunahme der subjektiven Betroffenheit der Proband*innen ($V = 58$, $p < 0.001$, $r = 0.79$) und der Selbstwirksamkeit von Cyanobakterien im Kontext des Klimawandels mit großer Effektstärke ($V = 22$, $p < 0.001$, $r = 0.78$). Die deskriptiven Ergebnisse in Abbildung 2 zum deklarativen Wissen der Circular Literacy liegen im mittleren Bereich, die ökonomische Kompetenz der Probanden ist etwas niedriger. Beide Konstrukte korrelieren untereinander mit einem mittleren Effekt ($t(42) = 3.01$, $p = 0.004$, $r = 0.42$).

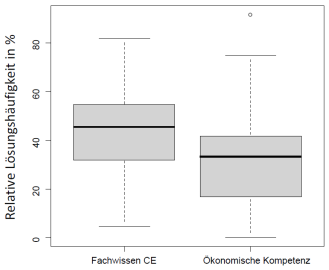


Abb. 2: Boxplot Diagramme zum deklarativen Wissen im Bereich CE und zur ökonomischen Kompetenz als relative Lösungshäufigkeit der Items.

Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass die Intervention ein Indiz für die Förderung umweltgerechten Verhaltens ist und dass Circular Literacy mit ökonomischer Kompetenz zusammenhängt, was zur Konstruktvalidität beiträgt.

Literatur

Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational behavior and human decision processes, 50*(2), 179-211.

Bandura, A. (1977). Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review, 84*(2), 191-215.

Becker-Beck, U., & Beck, D. (2015). Vom Wissen zum Handeln-Konzepte und Methoden zur Förderung umweltgerechten Verhaltens im Kontext des Klimawandels: Stand der sozialwissenschaftlichen Forschung.

Brown, S. R. (1993). A primer on Q methodology. *Operant subjectivity, 16*(3/4), 91-138.

Eur-Lex (2015). *Den Kreislauf schließen – Ein Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft.* https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A52015DC0614 (26.09.2022)

Fishbein, M., & Ajzen, I. (2011). *Predicting and changing behavior: The reasoned action approach.* Taylor & Francis.

Kaiser, T., Oberrauch, L., & Seeber, G. (2020). Measuring economic competence of secondary school students in Germany. *Research in Economic Education, 51*(3-4), 227-242. doi: 10.1080/00220485.2020.1804504

O'Neill, S. J., Boykoff, M., Niemeyer, S., & Day, S. A. (2013). On the use of imagery for climate change engagement. *Global Environmental Change*, *23*, 413-421. doi:10.1016/j.gloenvcha.2012.11.006

Risch, B., Bier, T., Engl, A., Jupke, I., Strieth, D., Wallrath, S., Weinberger, P. & Zachert, I. (2024). CEASEless: Circular Economy begreifen – Algen im Schülerlabor erforschen. In LernortLabor – Bundesverband der Schülerlabore e. V. (Hrsg.). *Es geht rund im Schülerlabor - Circular Economy vermitteln.* S. 26-33.

Risch, B., Zachert, I., Engl, A., Przywarra; T. & Strieth, D. (2023). Circular Economy Begreifen – Algen im Schülerlabor Erforschen (CEASEless). In van Vorst, H. (Hrsg.), *Lernen, Lehren und Forschen in einer digital geprägten Welt.* Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Aachen 2022. S. 616-619.

Swim, J. K., Stern, P. C., Doherty, T. J., Clayton, S., Reser, J. P., Weber, E. U., ... & Howard, G. S. (2011). Psychology's contributions to understanding and addressing global climate change. *American Psychologist, 66*(4), 241.

Wallrath, S., Engl, A., Erdmann, N., Kollmen, J., Strieth, D. & Risch, B. (2023). Mikrocontroller als Low-Cost Technologie: Monitoring von Wachstumsparametern bei Mikroalgen in einem 3D-gedruckten IoT-Photobioreaktor. *MNU journal, 76*(5), 360-365.

Watts, S., & Stenner, P. (2012). *Doing Q methodological research: Theory, method & interpretation.* Sage.

Zachert, I. & Risch, B. (2024). Eine Rolle spielen – Bewertungskompetenz im Chemieunterricht fördern. In van Vorst, H. (Hrsg.), *Frühe naturwissenschaftliche Bildung.* Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Hamburg 2023. S. 1002-1005.

Zwiers, J., Jaeger-Erben, M. & Hofmann, F. (2020). Circular Literacy. A knowledge-based approach to the circular economy. *Culture and Organization, 26*(2), 121-141. doi: 10.1080/14759551.2019.1709065

Büsra Oruc[1] [1]Universität Hamburg
Dietmar Höttecke[1]

Expert:innen zeichnen: Wie wird Klimawandel-Wissen kommuniziert?

Hintergrund

Der durch Wissenschaft und Technik zunehmend geprägte Alltag stellt die Bürger:innen vor die Herausforderung, in komplexen und gesellschaftlich relevanten Problemstellungen (Klimawandel, Climate Engineering, Energiewende, Endlagerung, Kernfusion, Artensterben, Digitalisierung, globale Stoff- und Energieströme etc.) zu urteilen. Wissenschaftliches Wissen bildet dabei eine Grundlage, um informiert urteilen und entscheiden zu können. Das didaktische Leitbild sind dabei nicht die Schüler:innen, die in wissenschaftlichen Sachfragen über experten-artige Kompetenzen verfügen, sondern die *competent outsiders* in der Rolle der informierten und partizipierenden Bürger:innen (Feinstein, 2015). In stark ausdifferenzierten Gesellschaften sind diese Bürger:innen auf das Wissen von Expert:innen vieler Disziplinen angewiesen. Kommuniziert wird wissenschaftliches Wissen dabei überwiegend über Medien (Bonfadelli et al., 2017). Klassisch erfolgt die Kommunikation über journalistische Medien, die als Gatekeeper den Informationsfluss in die Öffentlichkeit steuern und kontrollieren. Zum Beispiel hinterfragen, kritisieren und filtern sie das Wissen für die Öffentlichkeit. Bei der Kommunikation verfolgen sie allerdings auch eigene Interessen, infolgedessen sie das Wissen auch transformieren und kontextualisieren (Höttecke & Allchin, 2020). Neben journalistischen Medien informieren sich insbesondere junge Erwachsene zunehmend in online und sozialen Medien (Medienpädagogischer Forschungsverbund, 2023). In diesen Medien sind den Nutzenden eine Vielzahl von Informationen von unterschiedlichsten Kommunizierenden in verschiedensten Formen zugänglich, die fachlich oft nicht zutreffend sind (*CO_2 ist doch so wenig, das kann gar keinen großen Einfluss haben*) und den Charakter von Mis- oder sogar absichtsvoll lancierter Desinformation haben können.
Um Informationen zum Beispiel aus den sozialen Medien adäquat einschätzen zu können, sind angemessene Vorstellungen über den Prozess der Wissenschaftskommunikation sowie die Motive und Interessen der Kommunizierenden erforderlich (Höttecke & Allchin, 2020). Aus diesem Grund werden im Rahmen des KnoWs-Projekts die Vorstellungen von Expert:innen und Studierenden zu naturwissenschaftsbezogener Wissenschaftskommunikation exemplarisch am Kontext Klimawandel qualitativ untersucht.

Expertenstudie

Für die Expertenstudie setzt sich die Stichprobe aus 14 Expert:innen zusammen, die zu den Expertise-Bereichen *Journalistische Medien*, *Naturwissenschaft*, *Politikwissenschaft*, *Wissenschaftskommunikationsforschung* und *Transfer* angehören. Alle Expert:innen forschen oder berichten im Zusammenhang mit dem Klimawandel und weisen mehr als 10 Jahre Berufserfahrung auf. In den wissenschaftlichen Bereichen tragen die Expert:innen zusätzlich einen akademischen Titel (Prof. oder Dr.).

Erhebung und Analyse der Daten

Zeichnungsbasierte Instrumente haben sich in der fachdidaktischen Forschung etabliert. Studien untersuchen damit die Schülervorstellungen über Nature of Science (NOS), naturwissen-

schaftliches Konzeptverstehen, Vorstellungen vom naturwissenschaftlichen Lernen oder Lehren, Fähigkeiten des Modellierens (Chang et al., 2020) oder die Selbstbilder angehender Lehrkräfte (Libarkin et al., 2015). In dieser Studie wurden Daten mittels metaphorischer Zeichnung (Henke & Höttecke, 2013) und anschließendem Interview erhoben. Die Kombination aus Zeichnung und Interview wurde gewählt, um eine möglichst valide Analyse der Zeichnung zu ermöglichen, da gezeichnete Elemente u.U. mehrfache Bedeutungen tragen können, die geklärt werden sollten (Reinisch et al., 2017), und weil sich in Nachinterviews – zumindest für NOS – weniger stereotype Vorstellungen artikulieren (Samares et al., 2012). In unserer Studie wurden die Expert:innen gebeten, sich die Kommunikation von Klimawandel-Wissen als Wege vorzustellen und ihre Vorstellung auf ein freies Blatt Papier zu zeichnen. Die Weg-Metapher wurde in Anlehnung an andere Studien eingesetzt (Henke & Höttecke, 2013; Krüger, 2017; Zilz & Höttecke, 2022). Um die Expert:innen zur Nutzung der Metapher anzuregen, wurde eine Sammlung von verschiedenen Schülerzeichnungen aus den Studien von Henke & Höttecke (2013) und Krüger (2017) gezeigt. Im nachfolgenden Interview wurden Fragen zur angefertigten Zeichnung gestellt. Während des Interviews durfte die Zeichnung von den Testpersonen weiter ergänzt und verändert werden.
Die Zeichnung und das Interview-Transkript wurden parallel und qualitativ-inhaltsstrukturierend (Kuckartz, 2018) mittels MAXQDA analysiert. Mit einer deduktiv-induktiven Vorgehensweise wurde ein Kategoriensystem bestehend aus den drei inhaltlichen Hauptkategorien *Ziel, Struktur* und *Akteursgruppen der Wissenschaftskommunikation* entwickelt, die jeweils in Subkategorien differenziert wurden. Zum Beispiel wurden zu jeder Akteursgruppe jeweils die Subkategorien *Funktion* und *Motiv bzw. Interesse* codiert.

Erste Ergebnisse
In dem vorliegenden Beitrag werden die Vorstellungen von zwei Fällen aus dem Sample vergleichend betrachtet. Beide Fälle sind in naturwissenschaftlichen Disziplinen tätig.

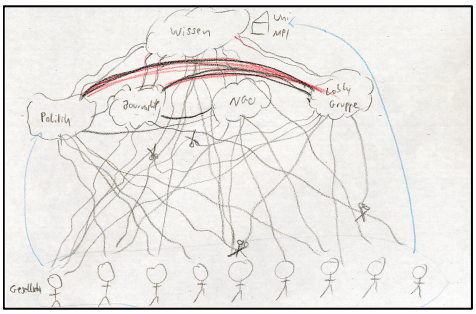


Abb. 1: Zeichnung von Fall 01

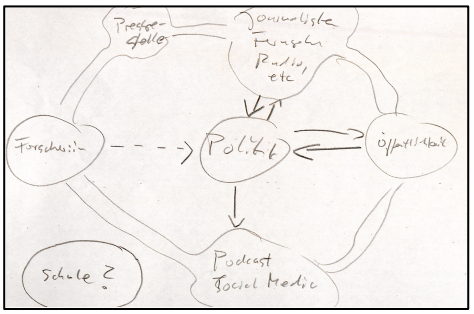


Abb. 2: Zeichnung von Fall 02

Ziel der Wissenschaftskommunikation: Bei den Fällen lassen sich für die Wissenschaftskommunikation zum Klimawandel unterschiedliche allgemeine Ziele identifizieren. Während Fall 01 das Ziel in der Aufklärung der Öffentlichkeit sieht, zielt Kommunikation für Fall 02 auf das Engagement der Öffentlichkeit in einem politischen Sinne ab. Wissenschaftliches Wissen bildet dabei eine Grundlage dafür.

Akteursgruppen der Wissenschaftskommunikation: Die Öffentlichkeit wird von beiden Fällen als Rezipientin von Kommunikationsprozessen über Klimawandel-Wissen konstruiert.

Die beiden Fälle unterscheiden sich darin, dass sie die Öffentlichkeit dabei als unterschiedlich aktiv betrachten. Anders als bei Fall 01 ist die Öffentlichkeit bei Fall 02 ein aktiver Rezipient von Klimawandel-Wissen, in dem sie selbst aktiv wird und sich „gewissenhaft" informiert. Beim Rezipieren von Wissen setzen gemäß Fall 01 Mechanismen ein, die das Wissen mit dem Motiv, ein glückliches Leben führen zu wollen, filtern und transformieren.
Unabhängig davon, ob die Öffentlichkeit das Wissen aktiv oder passiv rezipiert, wird für beide Fälle das wissenschaftliche Wissen primär von journalistischen Medien aufbereitet und vermittelt. Fall 01 beschreibt die journalistischen Medien als „zwischengeschaltete Multiplikatoren", was einerseits die Funktion des Vermittelns unterstützt und andererseits die Interessen-Neutralität impliziert. Ähnlich Fall 02, der die Verantwortung der journalistischen Medien darin sieht, wissenschaftliche Wahrheiten zu kommunizieren. Diese Wahrheitskommunikation und die damit einhergehende Interessen-Neutralität werden für Fall 02 nicht durchgehend und von allen journalistischen Medien umgesetzt.
Anders als die journalistischen Medien ist die Wissenschaft an der öffentlichen Kommunikation des Klimawandel-Wissens im Wesentlichen passiv und nur indirekt beteiligt. Obwohl Fall 01 der Wissenschaft Verantwortung dabei zuschreibt, wissenschaftliches Wissen „irgendwie" zu verbreiten, soll sich die Wissenschaft aus dem „Tagesgeschäft so ein bisschen" heraushalten und als vertrauenswürdige Instanz fungieren. Für Fall 02 stellt die Wissenschaft die Rahmenbedingungen auf, „in denen sich die Gesellschaft bewegen kann". Innerhalb dieser Rahmenbedingungen bewege sich die Gesellschaft im „Einklang mit der Wirklichkeit".

Struktur der Wissenschaftskommunikation: Zwischen der Wissenschaft und den weiteren Akteursgruppen ist die dominante Struktur der Wissenschaftskommunikation für beide Fälle unidirektional, damit ist die Wissenschaft nach ihrer Vorstellung gegenüber weiteren Akteursgruppen autonom und abgegrenzt. Entsprechend konzipieren beide Fälle den Raum zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit im Sinne einer Barriere für Kommunikation. Unterschiedliche Vorstellungen haben die beiden Fälle bezüglich der Struktur zwischen weiteren Akteursgruppen wie beispielsweise zwischen Öffentlichkeit und journalistischen Medien. Für Fall 01 ist die Struktur der Wissenschaftskommunikation in Bezug auf die Öffentlichkeit weiterhin unidirektional (s. Abb. 1). Fall 02 hingegen spricht von einem „Rückkopplungskreis" zwischen Politik, Öffentlichkeit sowie journalistischen Medien und strukturiert die Wissenschaftskommunikation an der Stelle zirkulär. Von diesem Rückkopplungskreis ist Wissenschaft entkoppelt, auch wenn die äußersten Wege oben und unten in der Zeichnung eine solche Verbindung suggerieren können (s. Abb. 2).

Ausblick

Das Ziel der Expertenstudie ist neben der Untersuchung der Expertenvorstellungen die Entwicklung eines Expertenmaßstabs, um in einer zweiten Studie die Vorstellungen von Studierenden entlang dieses Maßstabs zu bestimmen und zu bewerten. Im Rahmen der weiteren Analyse ist zu untersuchen, inwiefern die Entwicklung eines Expertenmaßstabs möglich ist oder ob das Ergebnis lediglich einen Referenzrahmen für weitere Untersuchungen darstellt.

Literatur

Bonfadelli, H., Fähnrich, B., Lüthje, C., Milde, J., Rhomberg, M. & Schäfer, M.S. (2017). Das Forschungsfeld Wissenschaftskommunikation. In: Bonfadelli, Fähnrich, Lüthje, Milde, Rhomberg & Schäfer (Hg.): Forschungsfeld Wissenschaftskommunikation. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 3-14.

Chang, H.-Y., Lin, T.-J., Lee, M.-H., Wen-Yu Lee, S.W.-Y, Lin, T.-C., Tan, A.-L. & Tsai, C.-C. (2020). A systematic review of trends and findings in research employing drawing assessment in science education. Studies in Science Education, 56 (1), 77-110.

Feinstein, N.W. (2015). Education, Communication, and Science in the Public Sphere. JRST, 52 (2), 145-163.

Henke, A. & Höttecke, D. (2013). Students Beliefs about the Diachronic Nature of Science: A Metaphor-Based Analysis of 8th- Graders´ drawings of „the Way of Science". In: Silva & Prestes (Eds.), Aprendendo Ciência e Sobre Sua Natureza: Abordagens Históricase Filosóficas, São Carlos, 327-356.

Höttecke, D. & Allchin, D. (2020). Reconceptualizing Nature-of-Science Education in the Age of Social Media. In: Science Education, 104 (4), 641-666.

Krüger, J. (2017). Schülerperspektiven auf die zeitliche Entwicklung der Naturwissenschaften: theoretische Grundsatzüberlegungen und empirische Erkenntnisse. Berlin: Logos Verlag Berlin GmbH.

Kuckartz, U. (2018). Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. 4. Auflage. Weinheim: Beltz Verlagsgruppe.

Libarkin, J.C., Thomas, S.R. & Ording, G. (2015). Factor Analysis of Drawings: Application to college student models of the greenhouse effect. IJSE, 37 (13), 2214-2236.

Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (2023). JIM-Studie 2023. Jugend, Information, Medien. Basisuntersuchung zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger.

Reinisch, B., Krell, M., Hergert, S., Gogolin, S. & Krüger, D. (2017). Methodical challenges concerning the Draw-A-Scientist Test: a critical view about the assessment and evaluation of learners' conceptions of scientists. In: International Journal of Science Education Routledge, 39 (14), 1952-1975.

Samaras, G., Bonoti, F. & Chistidou, V. (2012). Exploring children's perceptions of scientists through drawings and interviews. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 46, 1541-1546.

Zilz, K. & Höttecke, D. (2022). Promoting Pre-Service Physics Teachers' Science Media Literacy. In: Science Education Review Letters, 1-6.

Anna Haab
Jan-Philipp Burde
Stefan Schwarzer

Universität Tübingen

MINT-Studienbotschafter/innen: Authentische Einblicke in Studium und Forschung

Motivation und Vorstellung des Projekts MINT-Studienbotschafter/innen

Die Wahl eines Studiengangs und Berufes zählt zu den bedeutendsten Entscheidungen im Leben junger Menschen (Brämer, Vieback & Hirsch, 2012). Bereits in der 10. Klasse stellt die Wahl von Fachrichtungen und Profilen eine erste Weichenstellung für oder gegen eine spätere Entscheidung im MINT-Bereich dar (Bieg & Röddiger, 2017). Leistungskurse am Gymnasium ermöglichen dabei oft eine gezielte fachliche Vertiefung, die im Idealfall mit der späteren Studienwahl und den Inhalten im Studium einhergeht (Elster, 2007; Heublein, Hutzsch & Schmelzer, 2022).

Um Schüler/innen frühzeitig über Chancen und Möglichkeiten eines MINT-Studiums zu informieren und potenzielle Stereotype abzubauen, bringt das Projekt MINT-Studienbotschafter/innen[1] Schule und Hochschule in einen praxisnahen Dialog und bietet authentische Einblicke in den Studien- und Forschungsalltag. Seit 2014 besuchen engagierte MINT-Studierende in verschiedenen Studienphasen gezielt Gymnasien im Umkreis von 100 km rund um die Universität Tübingen, um Schüler/innen der 9. Klasse vor der Leistungskurswahl in der 10. Klasse bei ihrer Entscheidungsfindung zu unterstützen. In anschaulichen Kurzvorträgen teilen die Studierenden ihre Begeisterung für das eigene MINT-Fach mit, indem sie eine Vielfalt an Studienmotiven und Fachrichtungen vorstellen. Ein besonderes Merkmal des Programms sind praxisorientierte Hands-on-Aktivitäten, die inhaltlich zum vorgestellten Studiengang passen. Unter dem Motto „Meet, Ask & Do MINT“ bieten die Studierenden den Jugendlichen die Möglichkeit, durch Experimente typische Problemstellungen kennen-zulernen und Einblicke in die Denk- und Arbeitsweisen in MINT-Studiengängen zu bekommen. Die Schüler/innen nehmen an binnendifferenzierten Aktivitäten teil und reflektieren dabei eigene Vorstellungen über MINT. Seit Projektbeginn haben über 6.700 Schüler/innen von diesem Angebot profitiert.

Studiendesign, Stichprobe und ausgewählte Forschungsfragen

Das Forschungsprojekt konzentriert sich auf die empirische Begleitforschung zur Intervention der MINT-Studienbotschafter/innen, um zentrale Projektmerkmale systematisch zu analysieren und auf dieser Grundlage Optimierungs- und Professionalisierungsansätze zu entwickeln. Im Fokus stehen ausgewählte Forschungsfragen, die wesentliche Erkenntnisse darüber liefern sollen, wie Schüler/innen MINT-Studierende wahrnehmen. Untersucht wird insbesondere, wie die Schüler/innen die typischen Tätigkeiten von MINT-Studierenden einschätzen und welche Persönlichkeitsmerkmale sie ihnen zuschreiben.

Zur Beantwortung dieser Fragen wurde ein Prä-Post-Follow-up-Test-Design eingesetzt: Im Prätest nehmen Schüler/innen der 9. Klasse vor dem Besuch der MINT-Studienbotschafter/innen in einem Fragebogen eine Einschätzung über MINT-Studierende vor und bewerten sich selbst mithilfe einer etablierten Skala (Hannover & Kessels, 2004). In einer

[1] Webseite: https://uni-tuebingen.de/de/116973 | Instagram: instagram.com/mint_stubos_tue

Vorstudie wurden insgesamt 154 Schüler/innen – 72 weibliche (46,8 %), 76 männliche (49,4 %) und 6 diverse Teilnehmende (3,9 %) – untersucht, die an allen drei Erhebungszeitpunkten teilgenommen haben. Das Durchschnittsalter liegt bei 15,05 Jahren (SD = 0,64). Ausgewählte Ergebnisse dieser Vorstudie werden hier vorgestellt.

Einschätzung von Schüler/innen über die Tätigkeiten von MINT-Studierenden nach dem RIASEC+N-Modell

Das RIASEC+N-Modell[2] bietet eine systematische Grundlage zur Einordnung der Tätigkeiten von MINT-Studierenden (Stamer, 2019). Ursprünglich wurde es von Holland zur Berufswahl-Diagnostik entwickelt und zur besseren Charakterisierung naturwissenschaftlicher Aktivitäten durch Dierks et al. um die Dimension „Networking" ergänzt (Dierks, Höffler & Parchmann, 2014). In der vorliegenden Studie wird das Modell verwendet, um Wissen über die typischen Tätigkeiten von MINT-Studierenden zu erfassen.

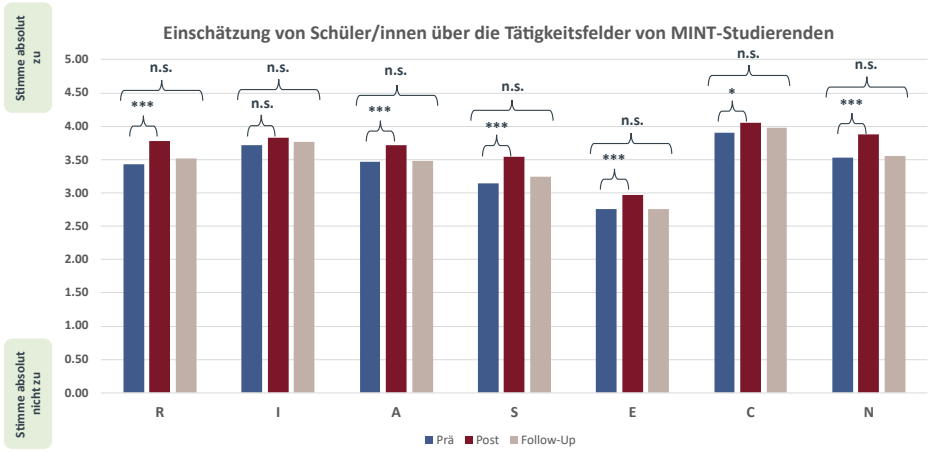


Abb. 1: Einschätzung von Schüler/innen über die Tätigkeiten von MINT-Studierenden in den verschiedenen RIASEC+N Dimensionen (blau: Prätest, dunkelrot: Posttest, braun: Follow-Up) von 0: „stimme absolut nicht zu" bis 5: „stimme absolut zu"
$p \leq 0{,}05$ (*), $p \leq 0{,}01$ (**), $p \leq 0{,}001$ (***), $p > 0{,}05$ (n.s.)

Die Ergebnisse zeigen, dass Schüler/innen die Tätigkeitsfelder von MINT-Studierenden differenziert wahrnehmen. Bereits im Prätest werden die Dimensionen *Realistic*, *Investigative*, *Artistic*, *Conventional* und *Networking* relativ hoch eingeschätzt, wohingegen die sozialen (*Social*) und unternehmerischen (*Enterprising*) Aspekte als weniger relevant bewertet werden. Nach der Kurzzeitintervention (Dauer: 90 Minuten) zeigen sich mithilfe einer ANOVA mit Messwiederholung und einem anschließenden Post-hoc-Test hochsignifikante Veränderungen in den Vorstellungen der Schüler/innen bezüglich der Dimensionen *Realistic*, *Artistic* und *Networking*. Besonders erfreulich sind hochsignifikant höhere Einschätzungen bzgl. der Dimensionen *Social* und *Enterprising*, die zuvor weniger bekannt waren. In der Dimension *Conventional* zeigen sich leicht signifikante Effekte, während in der Dimension *Investigative* keine nennenswerten Veränderungen auftreten.

Im Follow-up wurde jedoch kein signifikanter Langzeiteffekt über die gesamte Stichprobe der 9.-Klässler/innen festgestellt, was im Einklang mit der Literatur steht und auch beispielsweise aus der Forschung im Kontext von Schülerlaboren bekannt ist (Ralle, 2020).

[2] Realistic (R), Investigative (I), Artistic (A), Social (S), Enterprising (E), Conventional (C) + Networking (N)

Selbsteinschätzung von Schüler/innen und Einschätzung der Schüler/innen zu Persönlichkeitsmerkmalen von MINT-Studierenden

In der hier vorgestellten Studie wurden ausgewählte Attribute von Hannover und Kessels genutzt, um die Übereinstimmung zwischen dem Selbstbild der Schüler/innen und den Personenstereotypen zu prüfen (Hannover & Kessels, 2004).

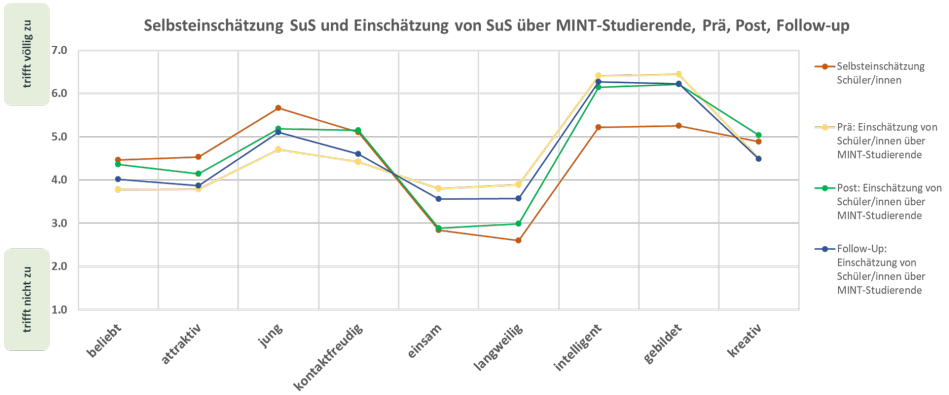


Abb. 2: Selbsteinschätzung von Schüler/innen (SuS) und Einschätzung der Schüler/innen zu Persönlichkeitsmerkmalen von MINT-Studierenden (rot: Selbsteinschätzung SuS, gelb: Prätest, grün: Posttest, blau: Follow-Up) von 1: „trifft nicht zu" bis 7: „trifft völlig zu"

Die Ergebnisse der Vorstudie zeigen, dass Schüler/innen im Prätest die MINT-Studierenden als weniger *beliebt*, *attraktiv*, *jung*, *kontaktfreudig* und *kreativ* wahrnehmen, während sie gleichzeitig als *einsamer*, *langweiliger*, jedoch auch *intelligenter* und *gebildeter* eingeschätzt werden. Direkt nach der Intervention nähert sich das Bild der Schüler/innen von den MINT-Studierenden stärker ihrem eigenen Selbstbild an: Die Studierenden werden nun als ebenso *beliebt*, *kontaktfreudig*, *kreativ* und weniger *einsam* wahrgenommen. Zudem bewerten die Schüler/innen die Studierenden als *attraktiver*, *jünger* und weniger *langweilig*. Die Wahrnehmung von Intelligenz und Bildung bleibt dabei auf hohem Niveau stabil. Im Follow-up zeigt sich jedoch kein nachhaltiger Langzeiteffekt, sodass hier weitere Analysen erforderlich sind, um mögliche Einflussfaktoren genauer zu untersuchen.

Ausblick

Weitere Analysen konzentrieren sich insbesondere auf spezifische Untergruppen, wie etwa Schüler/innen mit bereits bestehendem Interesse an MINT-Fächern oder solche, die grundsätzlich interessiert sind, sich jedoch in ihren Fähigkeiten nicht gefestigt fühlen. In diesen Gruppen könnten differenzierte Effekte sichtbar werden, die in der Gesamtstichprobe bislang unentdeckt blieben. Eine umfangreichere Hauptstudie mit etwa 600 zusätzlichen Schüler/innen soll darüber hinaus weitere Einblicke ermöglichen und die Validität der bisherigen Befunde stärken.

Literaturverzeichnis

Bieg, M. & Röddiger, A. P. (2017). Befragung zur MINT-Studienfach- und -Berufswahl von Abiturientinnen und Abiturienten in Baden-Württemberg. *Lehren & Lernen: Zeitschrift für Schule und Innovation in Baden-Württemberg*, *7*, 24–32.

Brämer, S., Vieback, L. & Hirsch, S. (2012). Berufs- und Studienorientierung als Instrument der Fachkräftesicherung. Orientierungsaktivitäten an allgemein- und berufsbildenden Schulen für technische Berufsausbildungen und ingenieurwissenschaftliche Studiengänge. In K. Friedrich & P. Pasternack (Hrsg.), *Demographischer Wandel als Querschnittsaufgabe. Fallstudien der Expertenplattform "Demographischer Wandel" beim Wissenschaftszentrum Sachsen-Anhalt* (S. 253–269). Halle-Wittenberg.

Dierks, P. O., Höffler, T. N. & Parchmann, I. (2014). Profiling interest of students in science: Learning in school and beyond. *Research in Science & Technological Education*, *32*(2), 97–114. https://doi.org/10.1080/02635143.2014.895712

Elster, D. (2007). Student interests — the German and Austrian ROSE survey. *Journal of Biological Education*, *42*(1), 5–10. https://doi.org/10.1080/00219266.2007.9656100

Hannover, B. & Kessels, U. (2004). Self-to-prototype matching as a strategy for making academic choices. Why high school students do not like math and science. *Learning and Instruction*, *14*(1), 51–67. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2003.10.002

Heublein, U., Hutzsch, C. & Schmelzer, R. (2022). *Die Entwicklung der Studienabbruchquoten in Deutschland*. https://doi.org/10.34878/2022.05.DZHW_BRIEF

Ralle, B. (2020). Empirische Forschung in Schülerlaboren–eine anspruchsvolle Aufgabe. In K. A. Sommer, J. T. C. Wirth & M. G. Vanderbeke (Hrsg.), *Handbuch Forschen im Schülerlabor. Theoretische Grundlagen, empirische Forschungsmethoden und aktuelle Anwendungsgebiete* (S. 13–17). Münster: Waxmann.

Stamer, I. (2019). *Authentische Vermittlung von Naturwissenschaften im Schülerlabor. Förderung der authentischen Wahrnehmung von Naturwissenschaften durch Einblicke in die Forschung des Sonderforschungsbereichs (SFB) 677 mittels Videos*. Dissertation. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel.

Janne Groß[1]
Elisabeth Hofer[1]
Simone Abels[1]

[1]Leuphana Universität Lüneburg

Mädchen in MINT - Ein Einblick in Denkmuster außerschulischer Lehrender

Seit Jahren werden den MINT-Fächern Genderblindheit und Strukturen vorgeworfen, die weiterhin Tendenzen genderstereotyper Berufswahl und Ausbildung fördern (Onnen, 2015; Stich, 2024). Dabei können traditionelle Geschlechterrollen, Stereotype oder das Fehlen von Vorbildern mitunter als Hürden für Mädchen und junge Frauen[1] wirken, eine berufliche Laufbahn in den MINT-Fächern anzustreben (z.B. acatech & Joachim Herz Stiftung, 2022). Außerschulische MINT-Lernorte haben das Potenzial, diese Hürden zu überwinden, indem sie MINT-Bildung in einem Umfeld ohne schulischen Leistungsdruck und traditionelle Rollenbilder für alle Kinder und Jugendlichen erlebbar machen (Baar & Schönknecht, 2018). Jedoch halten viele dieser Lernorte genderspezifische Hierarchien eher aufrecht als diese abzubauen (Archer et al., 2021). Dabei liegt die Vermutung nahe, dass das Handeln von Lehrenden an außerschulischen MINT-Lernorten – wie auch jenes von Lehrkräften an Schulen – von ihrem Fachwissen, ihren pädagogischen Orientierungen, Wertevorstellungen, genderspezifischen Denkmustern etc. beeinflusst wird und sich in ihrer Praxis inkl. Körpersprache, Mimik oder Stimme widerspiegelt (Elsen, 2020; Hand et al., 2017; Helmke, 2017). Auch wenn sich dieses implizites Wissen auf ihr Handeln auswirkt, haben Lehrkräfte retrospektiv keinen Zugriff darauf (Bohnsack et al., 2013; Rabe et al., 2023). Während eine breite Datenbasis über den genderstereotypen Einfluss von Lehrkräften an Schulen existiert (Übersicht bei Elsen, 2020), liegen für außerschulische MINT-Lehrende bislang wenig bis keine Ergebnisse vor (Archer et al., 2021; Rodéhn, 2019; Silfver, 2018). Vor dem Hintergrund, dass diese Lehrenden (insbesondere an Lernorten ohne pädagogische Trägerschaft) oft über ein breites Spektrum an beruflichen Erfahrungen verfügen, häufig aber keine pädagogische Qualifizierung haben (Tran, 2008), kann nicht davon ausgegangen werden, dass sie im Umgang mit Gender in MINT erfahren oder qualifiziert sind (Rodéhn, 2019). Forschungsbasierte Erkenntnisse und Entwicklungen aus dem schulischen Bereich können hier somit nicht einfach übertragen werden.

Ziel der Studie

Um die Partizipation aller zu fördern und Genderhierarchien in MINT abzubauen, ist die Anpassung der jeweiligen Angebote vor Ort notwendig (Archer et al., 2021; Rodéhn, 2019; Silfver, 2018). Wie oben dargelegt, spielt dabei das implizite Wissen der Lehrenden eine entscheidende Rolle und muss deshalb mit in den Blick genommen werden. Zu diesem Zweck wurde eine Kooperation mit einem deutschen, außerschulischen MINT-Lernort ohne pädagogische Trägerschaft eingegangen. Dieser Lernort verfolgt das Ziel, MINT für Kinder und Jugendliche erlebbar zu machen und ihr Interesse an MINT zu wecken. Dieser ist jedoch gleichzeitig mit einer stetig sinkenden Teilnahmezahl von Mädchen an den Workshop-

[1] Trotz einer allmählichen Öffnung hin zu mehr Gendervielfalt in MINT bleiben Forschungsergebnisse meist auf eine binäre Genderperspektive beschränkt. Da auch die Interviewpartner*innen im Projekt von Mädchen und Jungen als dichotome Ausprägungen sprechen, wird im Beitrag die binäre Genderdefinition verwendet.

Angeboten konfrontiert. Dieser Hintergrund führt zu folgender Forschungsfrage: *Welche impliziten Orientierungsrahmen haben außerschulische Lehrende über Mädchen in MINT?*

Datenerhebung & -auswertung

Im Rahmen einer explorativen Fallstudie wurden episodische Interviews (Flick, 2011a) mit N=7 Lehrenden des außerschulischen MINT-Lernorts durchgeführt. Die befragten Lehrenden sind zum Zeitpunkt der Erhebung zwischen 27 und 74 Jahre alt, alle hauptamtlich am Lernort tätig und stark divers bzgl. Ausbildung und beruflichem Werdegang (z.B. Ausbildung in Tischlerei, Studium Maschinenbau-LRT, Promotion in Geologie). Von den befragten Personen identifizieren sich N=4 als weiblich, N=2 als männlich und N=1 als Mensch.

Die für episodische Interviews charakteristische Kombination von Erzählung und Befragung ermöglicht es durch konkrete Erzählanstöße nach Alltagssituationen und konkrete, u.U. auf subjektive Theorien abzielende (Rück-)Fragen, Zugang zum impliziten Wissen zu erhalten (Flick, 2011a, 2011b). Diese methodeninterne Triangulation kann zudem den Einfluss sozialer Erwünschtheit zu emotional aufgeladenen Themen, wie z.B. Gender, reduzieren.

Die Interviews dauerten zwischen 68 und 152 Minuten, wurden vollständig transkribiert und mittels Dokumentarischer Methode nach Nohl (2017) ausgewertet. Dieses qualitativ-rekonstruierende Verfahren gilt als besonders geeignet für einen tiefgreifenden Einblick in implizite Orientierungsrahmen, da bei der Analyse nicht nur die expliziten Aussagen, sondern auch die Art und Weise des Gesagten und dessen Kontext in den Blick genommen werden (Nohl, 2010, 2017; Rabe et al., 2023). Hierfür wird die Analyse in zwei Kernschritten durchgeführt: In der formulierenden Interpretation werden thematische Verläufe der Interviews erstellt, für die Forschungsfrage relevante Abschnitte identifiziert und dadurch die explizite Inhaltsebene des Gesagten erfasst. In der anschließenden reflektierenden Interpretation mitsamt komparativer Sequenzanalyse werden zugrundeliegende Orientierungsrahmen über Mädchen herausgearbeitet (Nohl, 2017; Rabe et al., 2023). Die regelmäßige Teilnahme an Forschungs- und Interpretationswerkstätten diente der Sicherstellung der wissenschaftlichen Qualität der eigenen Interpretation sowie der kontinuierlichen Reflexion der eigenen Standortgebundenheit (Rabe et al., 2023).

Einblick vorläufige Ergebnisse

Aktuell konnte die Analyse von drei Interviews inklusive der zuvor erläuterten Kernschritte vollumfänglich abgeschlossen werden. Inhaltliche Schwerpunkte, die aus der formulierenden Interpretation hervorgingen und sich konkret auf den Kontext des außerschulischen Lernorts beziehen, waren das Agieren von Mädchen in den Workshops, die Adressierung von Mädchen am außerschulischen Lernort (beides jeweils auch in Abgrenzung zu Jungen) sowie das eigene Rollenverständnis der Lehrenden. Mit bis dato N=295 thematischen Zuordnungen bildet die Adressierung der Mädchen am Lernort das am häufigsten angesprochene Thema, wobei zwei Ebenen der Adressierung identifiziert werden konnten, die der Organisation und die der Personen. Zu der Ebene der Personen zählt mitunter das Agieren der Lehrenden und dazu wiederum die Kommunikation in den Workshops. Im Rahmen der reflektierenden Interpretation konnten Orientierungsrahmen rekonstruiert werden, die sich auf disziplinspezifische Begriffe und Formulierungen beziehen, wobei die „Verwendung von Reizwörtern“ mit der (nicht gelungenen) Adressierung von Mädchen in Verbindung gebracht wird.

Verwendung von Reizwörtern – Mädchen brauchen eine eigene Sprache in MINT

Aus Sicht der Lehrenden trägt eine disziplinspezifische Kommunikation in den Workshops wesentlich dazu bei, dass Mädchen „abgeschreckt“ und für die Lehrenden nicht mehr

erreichbar sind, wie HA_003 ausführt: „Das ist was, was glaub ich, für Mädchen jetzt erstmal eher abschreckend wirkt, (…), wenn dann halt so gefachsimpelt wird über irgendwas, ne (…) so- so ins Programmi- in diese Programmier- äh Fachbegriffe geht“ (HA_003_refl_Int, Pos. 76-80). Begriffe, die auf Mathematik, Technik oder Programmieren hindeuten, werden dabei als besonders kritisch gesehen. „Das sind Reizwörter, da geht die Klappe runter. (…) Du, du wusstest genau, du darfst das Wort nicht benutzen, Mathematik“ (HA_001_form_Int., Pos. 288). Dass bestimmte Schlagwörter eine abschreckende Wirkung auf Mädchen haben, untermauert HA_002 mit eigenen Erfahrungen aus der Schulzeit: „Wenn dann das Fachvokabular rauskam und (…) da war ich sofort abgehängt. [Ich] habe sofort gedacht so, öh ok, ich sage nichts mehr“ (HA_002_refl_Int, Pos. 112). Solche „Reizwörter“, die Mädchen potenziell abschrecken, sollten demnach möglichst vermieden werden, da „man da [sonst] nen essenziellen Fehler sozusagen machen kann“ (HA_001_refl_Int, Pos. 290).
Insgesamt zeigt sich, dass die Lehrenden eine mädchenkonforme Sprache und eine damit einhergehende sprachliche Verschleierung „kritischer Disziplinen“, wie Mathematik, Technik oder Programmieren, in den Workshops als notwendig ansehen, damit Mädchen sich nicht zurückziehen, erreichbar und für MINT empfänglich bleiben. Eng damit verbunden ist ein weiterer rekonstruierter Orientierungsrahmen, wonach Mädchen – im Gegensatz zu Jungen – von Natur aus nicht kompatibel mit MINT sind und infolgedessen einer „anderen“ sprachlichen Adressierung bedürfen.

Diskussion

Die identifizierte Notwendigkeit einer mädchenkonformen Sprache bedingt automatisch auch auf Genderausprägungen (Mädchen vs. Jungen) spezifizierte Verhaltensweisen in den Workshops. Diese, von den Lehrenden postulierte, Herangehensweise widerspricht jedoch dem übergeordneten Ziel des MINT-Lernorts, MINT für alle Kinder und Jugendlichen erlebbar zu machen (Archer et al., 2021; Baar & Schönknecht, 2018; Beyer et al., 2020). Zudem bergen auf Genderausprägungen spezifizierte Sprach- und Verhaltensweisen die Gefahr, gender- sowie fachspezifische Stereotype zu reproduzieren. Fraglich ist, warum die impliziten, genderstereotypen Orientierungsrahmen der Lehrenden trotz einer scheinbaren Sensibilisierung - „Mädchen fühlen sich nicht angesprochen“ - weiterhin so wirkmächtig sind. Mögliche Gründe dafür reichen von fehlenden Reflexionsanlässen für die Lehrenden, über den unterschätzten Einfluss eigener Orientierungsrahmen bis hin zur fehlenden pädagogischen Qualifizierung. Für eine finale Identifizierung bedarf es hier weiterer Forschung.

Implikationen und Ausblick

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen einen dringenden Handlungsbedarf, was das Bewusstsein und die Reflexion über implizite, genderstereotype Orientierungsrahmen von außerschulischen Lehrenden betrifft. Zudem gilt es, Konzepte und Strategien zu erarbeiten, wie außerschulische Lehrende in ihrem Rollenverständnis sowie ihrer Kompetenzentwicklung im Umgang mit Gender in MINT sensibilisiert und professionalisiert werden können. Überlegungen über geeignete Maßnahmen können (und sollen) angesichts der großen Varietät außerschulischer MINT-Lernorte nicht in einem übergeordneten Konzept für die Qualifikation außerschulischer Lehrender münden. Vielmehr sind standortspezifische, regelmäßig angeleitete Reflexionsanlässe anzustreben. Des Weiteren wäre es denkbar, entsprechende Kompetenzen als Einstellungsvoraussetzungen zu formulieren bzw. die Thematik Gender in MINT als fixen Bestandteil kontinuierlicher Professionalisierungsmaßnahmen für Lehrende an außerschulischen MINT-Lernorten zu verankern.

Literatur

acatech & Joachim Herz Stiftung (2022). MINT Nachwuchsbarometer 2022. www.acatech.de/publikation/mint-nachwuchsbarometer-2022 [28. 09. 2024]

Archer, L., Godec, S., Calabrese, Barton A., Dawson, E., Mau, A. & Patel U. (2021). Changing the field: A Bourdieusian analysis of educational practices that support equitable outcomes among minoritized youth on two informal science learning programmes. Science Education, 105, 166-203

Baar, R. & Schönknecht, G. (2018). Außerschulische Lernorte: didaktische und methodische Grundlagen. Weinheim: Beltz

Beyer, L., Gorr, C, Kather., C, Komorek, M., Röben, P. & Selle, S. (2020). Außerschulische Lernorte und die Weiterentwicklung in der Bildungslandschaft. In L. Beyer, C. Gorr, C. Kather, M. Komorek, P. Röben & S. Selle (Hrsg.), Orte und Prozesse außerschulischen Lernens erforschen und weiterentwickeln. Tagungsband zur 6. Tagung außerschulische Lernorte an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg vom 29.-31. August 2018. Frechen: LIT Verlag, 11-24

Elsen, H. (2020). Gender – Sprache – Stereotype. Stuttgart: utb

Flick, U. (2011a). Das episodische Interview. In G. Oelerich & H.-U. Otto (Hrsg.), Empirische Forschung und Soziale Arbeit. Ein Studienbuch (S. 273-280). Wiesbaden: Springer Fachmedien

Flick, U. (2011b). Triangulation. Eine Einführung (3. Aufl.). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften

Helmke, M. (2017). Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität. Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts. Hannover: Klett & Kallmeyer

OECD (2022). Bildung auf einen Blick 2022. wbv Media, Bielefeld / OECD Publishing

Nohl, A.-M. (2017). Interview und Dokumentarische Methode. Anleitungen für die Forschungspraxis (5. Aufl.). Wiesbaden: Springer VS

Nohl, A.-M. (2010). Narrative Interview and Documentary Interpretation. In R. Bohnsack, N. Pfaff & W. Weller (Hrsg.), Qualitative analysis and documentary method in international educational research (S. 195-217). Opladen, Berlin, Toronto: Barbara Budrich

Onnen, C. (2015). Studying Gender to Teach Gender. Zur Vermittlung von Gender-Kompetenzen. In J. Wedl & A. Bartsch (Hrsg.), Teaching Gender? Zum reflektierten Umgang mit Geschlecht im Schulunterricht und in der Lehramtsausbildung (S. 83-102). Bielefeld: transcript

Rabe, T., Abels, S., Menthe, J. (2023). Naturwissenschaftsdidaktik und Dokumentarische Methode. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (ZfDN), 29(1), 16

Rodéhn, C. (2019). Science centres, gender and learning. Cultural Studies of Science Education, 14, 157-167

Schafferschik, A., Binanzer, A., Supik, L. (2023). Geschlechtersensibilität im Lehramtsstudium?! Diskriminierungskritische Bildung am Beispiel der Differenzlinie Geschlecht. Herausforderung Lehrer*innenbildung. Zeitschrift zur Konzeption, Gestaltung und Diskussion, 6(1), 218-234

Silfver, E. (2019). Gender performance in an out-of-school science context. Cultural Studies of Science Education, 14, 139-155

Stich, G. (2024). Berufswahl und Geschlecht. Empirische Befunde zur pädagogischen Bearbeitung von geschlechterbezogenen Berufswahlentscheidungen. Wiesbaden: Springer Fachmedien

Tran, L. U. (2008). The professionalization of educators in science museums and centers. Journal of Science Communication, 7(4), 1-6

Elisabeth Dietel[1]
Timm Wilke[1]

[1]Universität Oldenburg

Authentische Kontexte zur Interessenförderung für Schule und Schüler*innenlabor

Ausgangslage

Aus der PISA-Erhebung 2015 geht hervor, dass Deutschland sowohl in den Bereichen Lernfreude und Lernmotivation als auch bei naturwissenschaftlichen Berufsvorstellungen noch immer unter dem OECD-Durchschnitt liegt und gravierende Geschlechterunterschiede bestehen (OECD, 2016). Fachkräftemangel in den MINT-Disziplinen wird regelmäßig in Trendberichten hervorgehoben (Anger et al., 2024). Um Interesse an den Naturwissenschaften zu fördern, wird bereits seit langer Zeit die lebensweltbezogene Anbindung an bedeutungsvolle, relevante Kontexte als Möglichkeit beschrieben (Linnenbrink-Garcia et al., 2013).

Didaktisches Potenzial medizinischer Kontexte

Ein als interessant und relevant wahrgenommenes Themenfeld ist die Medizin (Sjoberg & Schreiner, 2005). Durch die Überlappung von Health Literacy und Scientific Literacy ist nicht nur eine Interessenförderung bei der Verwendung medizinischer Themen im Chemieunterricht möglich, sondern auch interdisziplinäre Kompetenzförderung (Ploomipuu et al., 2020). Trotz des Potenzials gibt es nur wenige chemiedidaktische Arbeiten hierzu. Bestehende Materialien beziehen sich häufig auf Pharmakologie (Rodriguez et al., 2018) oder Nanomedizin (Fruntke et al., 2022). Anbindungen an alltägliche medizinische Situationen finden sich bisher nur im medizindidaktischen Bereich unter der Verwendung von möglichst authentischen Fällen (Lee et al., 2022). Die lernförderlichen Effekte von kontextbasierten Lerneinheiten wurden bereits intensiv evaluiert, auch den Chemie- oder Physikunterricht betreffend (Habig et al., 2018; Tutal, 2023). Dadurch drängt sich die Frage auf, wie genau das bisher nicht vollständig ausgeschöpfte Potenzial alltäglicher medizinischer Themen nutzbar gemacht werden kann.

Modellierung des Zusammenspiels von Kontext, Interesse und Authentizität

Die Befunde zur lernförderlichen Auswirkung von Kontexten sind überwiegend positiv, aber teilweise uneindeutig (Tutal, 2023). Da situationales Interesse als eine initiale Bedingung für einen erfolgreichen Lernprozess gilt (Rotgans & Schmidt 2017), sollten verschiedene Kontexte zur Förderung von situationalem Interesse differenziert analysiert werden. Zudem spielen individuelle Dispositionen eine entscheidende Rolle in der Interessenentwicklung (Krapp & Prenzel, 2011). Außerdem ist eine kompensatorische Beziehung zwischen der Gewissenhaftigkeit als Persönlichkeitsmerkmal und dem individuellen Interesse bekannt (Song et al., 2020). Diese Erkenntnisse und die situationale Erwartungs-Wert-Theorie (SEVT; Eccles & Wigfield, 2020) lassen sich gemeinsam zu einem Modell für die Voraussage von Beziehungen zwischen den verschiedenen lernrelevanten Konstrukten vereinen (Abb. 1).
Neuere Forschung fokussiert sich auf die authentische Gestaltung von Lernumgebungen zur Verstärkung von Relevanz und Lebensweltbezug (Nachtigall et al., 2024). Dabei ist der individuellen Authentizitätswahrnehmung ein Authentifikationsprozess vorgeschaltet, der zum einen durch individuelle Dispositionen und zum anderen durch das Aufgabendesign

beeinflusst wird (Betz et al., 2016) und somit dem Gefüge aus der SEVT ähnelt (Abb. 1). Im chemiedidaktischen Kontext wurde der Einfluss der wahrgenommenen Authentizität bisher nur bezüglich der Einstellungen Chemie als Wissenschaft gegenüber oder im Hinblick auf das Bild von Chemiker*innen als Wissenschaftler*innen untersucht (Finger et al., 2022). Eine kausale Verknüpfung von Authentizität und Relevanzwahrnehmung bzw. Lebensweltbezug mit dem situationalen Interesse an Chemie wurde bisher nicht untersucht.

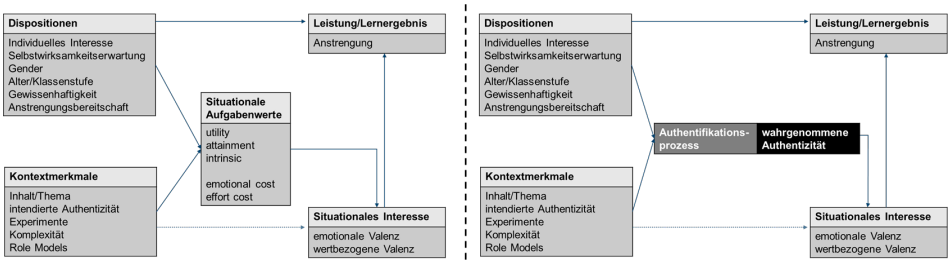


Abbildung 1: Gegenüberstellung der etablierten Modelle, SEVT links.

Aus dem Ausgangsproblem und den bestehenden theoretischen Modellen ergibt sich folgende Forschungsfrage: Wie können die genaue Rolle authentischer Kontexte im Zusammenspiel der Konstrukte gemäß der SEVT und der Einfluss der wahrgenommenen Authentizität auf affektiv-motivationale Komponenten wie das situationale Interesse geprüft werden?

Methodisches Vorgehen

Drei geeignete Schnittstellen von Medizin und Chemie wurden identifiziert, in denen sich lebensnahe Phänomene mit curricular wichtigen Inhaltsfeldern der Chemie verknüpfen lassen (Dietel & Wilke, 2024). Daraus wurden authentische Krankheitsfälle konstruiert, die als Grundlage für die Gestaltung der Kontexte dienen. Die Lernmaterialien wurden in dreistündigen Schüler*innenlaborkursen erprobt und mit drei anderen dreistündigen Kursen ohne authentischen Kontext verglichen. Dabei konnten Daten von insgesamt 96 Schüler*innen für die medizinischen Formate Knochengesundheit (Kl. 9), Blut- und Atemkreislauf (Kl. 10) und Wundversorgung (Kl. 12) sowie 58 Datensätze aus den anderen Formaten Cannabinoide (Kl. 11), Feuerwerk (Kl. 8) und Metalle (Kl. 8) ausgewertet werden. Zur Erhebung der dispositionellen Merkmale wurden bestehende Skalen zum individuellen Interesse (*Ind*; Frey et al., 2015), der Selbstwirksamkeitserwartung (*Swe*; Beierlein et al., 2014) und zur Gewissenhaftigkeit (*Gewi*; Rammstedt et al., 2014) adaptiert und im Pre-Test mit fünfstufiger Likert-Skala zu Beginn durchgeführt. Im Pre-Test war außerdem eine Skala zur Erhebung des situationalen Interesses enthalten (*SitPre*), die basierend auf anderen Arbeiten (Habig et al., 2018) weiterentwickelt wurde (Dietel & Wilke, 2024). Das situationale Interesse wurde in einem Post-Test erneut erhoben (*SitPost*), kombiniert mit stark adaptierten Items zur wahrgenommenen Authentizität (Finger et al., 2022). Die Auswertung erfolgte über SPSS.

Erste Ergebnisse

Im Vergleich der Daten zeigen sich im Mann-Whitney-U-Test ausschließlich für die Authentizitätswahrnehmung (*Auth*) signifikante Unterschiede zugunsten der medizinischen Kontexte gegenüber den anderen Kontexten ($U = 2116.0$, $Z = -2.644$, $p = .008$). Eine Korrelationsanalyse nach Spearman ergab folgende Unterschiede (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 1: Korrelationsvergleich der Gruppen „medizinischer Kontext“ (m) und „andere“ (a).

	Ind	**Swe**	**Gewi**	**SitPre**	**SitPost**
Swe	ρ_a = .41** **$\boldsymbol{\rho_m}$ = .52****				
Gewi	- **$\boldsymbol{\rho_m}$ = .27****	- -			
SitPre	ρ_a = .60** -	- -	- **$\boldsymbol{\rho_m}$ = .32****		
SitPost	ρ_a = .53** **$\boldsymbol{\rho_m}$ = .22***	- -	- **$\boldsymbol{\rho_m}$ = .31****	ρ_a = .78** **$\boldsymbol{\rho_m}$ = .65****	
Auth	ρ_a = .28* **$\boldsymbol{\rho_m}$ = .26***	- -	- **$\boldsymbol{\rho_m}$ = .33****	ρ_a = .33* **$\boldsymbol{\rho_m}$ = .46****	ρ_a = .52** **$\boldsymbol{\rho_m}$ = .67****

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass in authentischen Lernsettings die bisher bekannten Kausalitäten verschoben werden. Insbesondere liefert die Korrelationsanalyse Hinweise darauf, dass individuelles Interesse an Chemie in einer solchen Kontextsituation nicht als Prädiktor für das situationale Interesse fungieren kann. Stattdessen zeigen sich in den medizinischen Lernumgebungen signifikante Korrelationen mit der Gewissenhaftigkeit. Dies kann als Indiz dafür gedeutet werden, dass das individuelle Interesse an Chemie durch die Kontextstruktur der Lernumgebung nicht bei allen Lernenden aktiviert wird. Nach Geschlecht unterteilt lässt sich eine höhere Selbstwirksamkeitserwartung der Jungen ($U = 3476.0$, $Z = 2.736$, $p = .006$) und eine höhere Gewissenhaftigkeit der Mädchen ($U = 1952.0$, $Z = -3.175$, $p = .001$) belegen. Insbesondere gekoppelt mit den signifikanten Unterschieden in der Gewissenhaftigkeit zwischen den Geschlechtern stellen sich die beschriebenen Kontexte als Möglichkeit zur Mädchenförderung und als Möglichkeit zur Interessenförderung für individuell nicht stark an Chemie interessierte Lernende dar.

Implikationen und Fazit

Trotz der kleinen Stichprobe lassen sich bereits schlagkräftige Implikationen für künftige Forschung ableiten. Die Hinweise, dass in authentischen Kontexten möglicherweise andere Lernende motivational begünstigt werden als in nicht authentisch kontextualisierten Formaten, bedarf der Beforschung der Abhängigkeiten der erfassten Konstrukte und erfordert die Aufklärung der Abweichungen des Modells in authentischen Lernumgebungen von den bisherigen Theorien. Wir schlagen deshalb vor, dass sich künftige Studien auf eine Analyse der Kausalzusammenhänge in authentischen (medizinischen) Settings, die Verknüpfung von Aufgabenwerten mit Aspekten der wahrgenommenen Authentizität sowie auf eine qualitative Untersuchung verschiedener Einflüsse auf den individuellen Authentifikationsprozess fokussieren.

Literatur

Anger, C., Betz, J., & Plünnecke, A. (2024). MINT-Frühjahrsreport 2024: Herausforderungen der Transformation meistern, MINT-Bildung stärken.

Beierlein, C., Kovaleva, A., Kemper, C. J., & Rammstedt, B. (2014). Allgemeine Selbstwirksamkeit Kurzskala (ASKU).

Betz, A., Flake, S., Mierwald, M., & Vanderbeke, M. (2016). Modelling Authenticity in Teaching and Learning Contexts: A Contribution to Theory Development and Empirical Investigation of the Construct. In C.-K.

Looi, J. Polman, U. Cress, & P. Reimann (Chairs), The International Conference of the Learning Sciences, Singapore.

Dietel, E., & Wilke, T. (2024). Situationales Interesse an medizinischen Kontexten im Chemieunterricht: Pilotstudie. In H. van Vorst (Hrsg.), Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik 2023, Hamburg.

Eccles, J. S., & Wigfield, A. (2020). From expectancy-value theory to situated expectancy-value theory: A developmental, social cognitive, and sociocultural perspective on motivation. Contemporary Educational Psychology, 61, 101859.

Finger, L., van den Bogaert, V., Fleischer, J., Raimann, J., Sommer, K., & Wirth, J. (2022). Das Schülerlabor als Ort authentischer Wissenschaftsvermittlung? Entwicklung und Validierung eines Fragebogens zur Erfassung der Authentizitätswahrnehmung der Wissenschaftsvermittlung im Schülerlabor. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 28(1), 21–35.

Frey, A., Taskinen, P., Schütte, K., Prenzel, M., Artelt, C., Baumert, J., Blum, W., Hammann, M., Klieme, E., & Pekrun, R. (2015). PISA 2006 Skalenhandbuch: Dokumentation der Erhebungsinstrumente.

Fruntke, A., Behnke, M., Stafast, L. M., Träder, T., Dietel, E., Vollrath, A., Weber, C., Schubert, U. S., & Wilke, T. (2022). Targeted Drug Delivery: Synthesis of Smart Nanocarriers for School Chemistry Education. Journal of Chemical Education.

Habig, S., van Vorst, H., & Sumfleth, E. (2018). Merkmale kontextualisierter Lernaufgaben und ihre Wirkung auf das situationale Interesse und die Lernleistung von Schülerinnen und Schülern. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 24(1), 99–114.

Krapp, A., & Prenzel, M. (2011). Research on Interest in Science: Theories, methods, and findings. International Journal of Science Education, 33(1), 27–50.

Lee, J., Campbell, S., Choi, M., & Bae, J. (2022). Authentic learning in healthcare education: A systematic review. Nurse Education Today, 119, 105596.

Linnenbrink-Garcia, L., Patall, E. A., & Messersmith, E. E. (2013). Antecedents and consequences of situational interest. The British Journal of Educational Psychology, 83(Pt 4), 591–614.

Nachtigall, V., Shaffer, D. W., & Rummel, N. (2024). The authenticity dilemma: Towards a theory on the conditions and effects of authentic learning. European Journal of Psychology of Education, 1–27.

OECD (2016), "Einstellungen gegenüber Naturwissenschaften und naturwissenschaftlich orientierte Berufsvorstellungen", in PISA 2015 Results (Volume I): Excellence and Equity in Education, OECD Publishing, Paris.

Ploomipuu, I., Holbrook, J., & Rannikmäe, M. (2020). Modelling health literacy on conceptualizations of scientific literacy. Health Promotion International, 35(5), 1210–1219.

Rammstedt, B., Kemper, C. J., Klein, M. C., Beierlein, C., & Kovaleva, A. (2014). Big Five Inventory (BFI-10).

Rodriguez, M., Salzner, J., & Lühken, A. (2018). Aspirin® – so schnell wie nie?! CHEMKON, 25(3), 104–111.

Rotgans, J. I., & Schmidt, H. G. (2017). How individual interest influences situational interest and how both are related to knowledge acquisition: A microanalytical investigation. The Journal of Educational Research, 111(5), 530–540.

Sjoberg, S., & Schreiner, C. (2005). How do learners in different cultures relate to science and technology? Results and perspectives from the project ROSE (the Relevance of Science Education). Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching, 6(2).

Song, J., Gaspard, H., Nagengast, B., & Trautwein, U. (2020). The Conscientiousness × Interest Compensation (CONIC) model: Generalizability across domains, outcomes, and predictors. Journal of Educational Psychology, 112(2), 271–287.

Tutal, Ö. (2023). Does Context-Based Learning Increase Academic Achievement and Learning Retention? A Review based on Meta-Analysis. Journal of Practical Studies in Education, 4(5), 1–16.

Lisa Wedekind[1]
Pascal Pollmeier[1]
Sabine Fechner[1]

[1]Universität Paderborn

Analogiebildung in kontextorientierten Lernumgebungen

Motivation & theoretischer Hintergrund

Die Anwendung von bereits erworbenem Wissen auf unbekannte Kontexte (Transfer) wird als Herausforderung beschrieben (Gilbert et al., 2011). Instruktionale Ansätze begegnen dieser Problematik u.a. durch das Nutzen von Analogien im Lernprozess. Unter einer Analogie wird hierbei verstanden, dass zwei Bereiche ein gemeinsames Muster aufweisen, das lernrelevant ist (Holyoak, 2005). Die Bereiche können hierbei entweder fachbezogene oder kontextbezogene Ausprägungen aufweisen und greifen meist auf ein gemeinsames Schema zurück (Konzept, Problemlösestruktur etc.). Analoges Denken wird in diesem Zusammenhang als komplexer Prozess beschrieben, bei dem auf einen bereits bekannten Quellbereich zurückgegriffen werden muss, um strukturiertes Wissen abzurufen. Anschließend werden Beziehungen zwischen den beiden Bereichen hergestellt, um neue Schlüsse über den unbekannten Zielbereich bilden zu können. Gray & Holyoak (2020) berichten in diesem Zusammenhang von Problemen im analogen Transfer beim Bilden von Analogien zwischen ähnlich komplexen Problemstellungen im Bereich Medizin und Militär.

Studien zu instruktionalen Ansätzen unter Verwendung von Analogiebildung zeigen jedoch eine positive Wirkung auf den Lernprozess. So konnten Vieira & Morais (2022) zeigen, dass der Einsatz vertrauter und interessanter Quellbereiche aus dem Bereich Musik das Chemielernen fördern kann. Zusätzlich konnte in einer Studie von Wang (2023) berichtet werden, dass das Unterrichten abstrakter Konzepte anhand von instruktionalen Beispielen unter Verwendung von Analogien das konzeptionelle Verständnis erleichtern kann. Jacobson et al. (2020) zeigen, dass analoges Denken die Transferleistung verbessern kann, indem ähnliche Situationen präsentiert werden. Sezer & Karataş (2022) schlussfolgern in ihrem Beitrag, dass gerade die Verwendung von Analogien in der Chemie mit ihren abstrakten Themen und Konzepten hilfreich sein kann.

Für den naturwissenschaftlichen Unterricht wurde gezeigt, dass das Vergleichen von lebensweltlichen Kontexten die Analogiebildung und den Transfer fördern kann (Kehne, 2019; Mason & Tornatora, 2016). Es gibt Hinweise darauf, dass durch Aufgaben mit multiplen Kontexten Lernenden mehr Abrufhinweise für fachliches Wissen zur Verfügung stehen (Kehne, 2019).

Holyoak (2019) beschreibt dazu den Analogietransferprozess und postuliert, dass die zentralen Schritte der Analogiebildung *Access* und *Mapping* sind. Beim *Access* wird vorhandenes Wissen aktiviert, während beim *Mapping* die Eigenschaften von Quell- und Zielbereich herausgearbeitet werden, um Rückschlüsse auf den Zielbereich ziehen zu können (*Inferences*), was transferförderlich sein und positive Lerneffekte haben könnte.

Unklar ist, ob das Arbeiten mit multiplen Kontexten das Generieren spezifischer Analogiearten von Lernenden in Bezug auf den Transferprozess fördert. Zudem ist noch nicht hinreichend untersucht, wie diese gebildeten Analogien aufgebaut sind und in Beziehung zur Transferleistung stehen. Diese Studie analysiert daher den Einfluss multipler Kontexte auf das Bilden spezifischer Analogiearten und deren Einfluss auf den Analogietransferprozess. Dafür wird auf Prozessdaten der Interventionsstudie von Kehne (2019) zurückgegriffen.

Hintergrundstudie

Ziel der Interventionsstudie von Kehne (2019) war u.a. den Einfluss des Designs der Lernumgebung auf die Transferleistung der Lernenden zwischen verschiedenen Kontexten zu analysieren. Die Stichprobe lag bei N=193 Lernenden der 8. Klasse (M_{Alter}=13.27; SD=0.58; M_{NoteCh}=2.4; SD=0.81). Die Lernenden wurden auf drei Interventionsgruppen aufgeteilt, die sich in der Art, wie Kontexte zum Erwerb fachlichen Wissens genutzt wurden, unterschieden. Die Lernenden bearbeiteten jeweils vier Lerneinheiten, in denen sie video- oder audiographiert wurden. Die Kontextgruppe bearbeitete vier kontextorientierte Lerneinheiten und sollte diese miteinander vergleichen, während die Konzeptgruppe zwei kontextorientierte Lerneinheiten ohne Vergleichsaufforderung bearbeitete und eine Schemagruppe, die in der letzten Lerneinheit zum Vergleich der vorangegangenen Kontexte in Bezug auf das Schema (Donator-Akzeptor-Prinzip) aufgefordert wurde. Die Lernenden arbeiteten in Partnerarbeit und bearbeiteten in der ersten und dritten Lerneinheit identische experimentelle Aufgaben. In der ersten Lerneinheit sollte die Frage beantwortet werden, wie Ötzi an sein Kupfer kam, und in der dritten Lerneinheit sollten die Lernenden diskutieren, welches Medikament am besten gegen Sodbrennen hilft. In der zweiten Lerneinheit erhielt die Kontextgruppe den Kontext "Taucherfackel" und sollte diesen mit dem Ötzi-Kontext vergleichen. In der vierten Lerneinheit bearbeitete die Kontextgruppe den Kontext "saurer Fußballrasen" und sollte alle Lerneinheiten miteinander vergleichen. Die Konzeptgruppe arbeitete hingegen in beiden Lerneinheiten dekontextualisiert und ohne Vergleichsaufforderung. Die Ergebnisse zeigten signifikante Unterschiede in der Transferleistung zwischen der Kontext- und Konzeptgruppe.

Da eines der Ziele ist, zu untersuchen, welchen Einfluss multiple Kontexte auf die Analogiebildung haben und die Kontextgruppe mit den meisten und die Konzeptgruppe mit den wenigsten Kontexten arbeitet, wurde auf die Analyse der dritten Interventionsgruppe (Schemagruppe) verzichtet. Somit ergibt sich eine Stichprobe von N=88. Da die erste Lerneinheit als Einstieg gilt und dort noch kein Vergleichskontext vorliegt, wurde auf eine Auswertung des Materials der ersten Lerneinheit verzichtet.

Forschungsfragen

Mit Bezug zur Studie von Kehne (2019) sollen die selbstgenerierten Analogien aus der Interventionsstudie untersucht werden, um die Bedeutung der Analogiearten im Transferprozess tiefergehend zu analysieren. Da unklar ist, ob das Arbeiten mit multiplen Kontexten das Generieren spezifischer Analogien fördert, lautet die erste Forschungsfrage: „Welchen Einfluss haben multiple Kontexte auf die Bildung von Analogien?“ Außerdem ist noch offen, in welchem Zusammenhang der Analogietransferprozess zu den spezifischen Analogiearten steht und ob das Bilden einer gewissen Analogieart besonders förderlich auf den Analogietransferprozess sein kann. Daraus ergibt sich die zweite Forschungsfrage: „Welchen Einfluss hat die Analogieart auf den Transferprozess?“

Methode

Die Audio- und Videodaten aus der Interventionsstudie von Kehne (2019) wurden transkribiert. Das methodische Vorgehen entspricht den Abläufen nach Seidel (2005). Zur Datenauswertung wurde ein deduktives Kategoriensystem auf Grundlage von Curtis & Reigeluth (1984) sowie Holyoak (2019) entwickelt und induktiv ergänzt (u.a. Analogiebereich). Pilotstudiendaten von Kehne (2019) wurden in MAXQDA kodiert, um die Güte des Kategorien-

systems zu bestimmen. Die Intercoderreliabilität lag zwischen κ = .70 und 1.00. Nach Anpassungen, die sich aus einem Konsensmeeting ergaben, wurden die Daten der Hauptstudie kodiert (κ = .70 bis .91, für 20% des Materials). Für weitere Analysen wurden die Daten quantifiziert und in SPSS überführt. Die Daten wurden personenbezogen ausgewertet. Die Kategorien „Grad der Anreicherung" und „Analoge Beziehung" wurden als Ränge notiert, weil analysiert werden soll, was die höchste erreichte Niveaustufe in den Lerneinheiten ist (0=keine Analogie, 1=einfache/strukturelle Analogie; 2=angereicherte/funktionale Analogie; 3=erweiterte/ strukturell-funktionale Analogie). Lernenden wurde die höchste Niveaustufe zugewiesen, die sie in der Lerneinheit erreicht haben, um ihre Fähigkeiten zu verdeutlichen. Für die Schritte des Analogietransferprozesses wurden Häufigkeiten ermittelt, um zu analysieren, wie häufig die Lernenden die einzelnen Schritte durchlaufen und wie dies mit den gebildeten Analogiearten zusammenhängt. Eine vertiefte qualitative Analyse des Analogietransferprozesses steht noch aus.

Ergebnisse

Durch den Mann-Whitney-U Test können signifikante Unterschiede der Interventionsgruppen in den gebildeten Analogiearten aufgezeigt werden. Der Grad der Anreicherung zeigt, dass die Kontextgruppe in der zweiten (z=-4.785, p<.001, r=.510) sowie vierten Lerneinheit (z=-4.492, p<.001, r=.479) häufiger angereicherte Analogien bilden kann als die Konzeptgruppe. Für die analogen Beziehungen zeigt sich, dass die Kontextgruppe sowohl in der zweiten Lerneinheit (z=-5.037, p<.001, r=.537) als auch in der vierten Lerneinheit (z=-3.376, p<.001, r=.360) in der Lage ist, häufiger funktionale Analogien zu bilden als die Konzeptgruppe. Ebenso konnten signifikante Unterschiede im *Mapping* zwischen den Interventionsgruppen in Lerneinheit zwei (z=-5.348, p<.001, r=.570) sowie vier erkannt werden (z=-4.090, p<.001, r=.436). Zusätzlich wurden die Spearman-Korrelationen im Analogietransferprozess bestimmt. In der Kontextgruppe korreliert in der dritten Lerneinheit das *Mapping* signifikant mit den *Inferences* (r_S=.379, p=.007, N=49). In der vierten Lerneinheit bestehen signifikante Korrelationen zwischen *Access* und *Inferences* (r_S=.333, p=.020, N=49) sowie zwischen *Mapping* und *Inferences* (r_S=.377, p=.008, N=49). In der Konzeptgruppe korrelieren in der dritten Lerneinheit *Access* und *Mapping* signifikant miteinander (r_S=.421, p=.008, N=39) sowie *Mapping* und *Inferences* (r_S=.407, p=.010, N=39). In der vierten Lerneinheit korrelieren *Mapping* und *Inferences* signifikant (r_S=.355, p=.026, N=39). Zusammenfassend zeigt sich, dass die Kontextgruppe häufiger das *Mapping* durchläuft sowie eher angereicherte und funktionale Analogien im Vergleich zur Konzeptgruppe bilden kann.

Diskussion & Ausblick

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Vergleiche und das Arbeiten mit multiplen Kontexten die Bildung angereicherter/funktionaler Analogien und das *Mapping* positiv beeinflussen könnten. Diese positiven Effekte untermauern bereits bekannte Studienergebnisse (Kehne, 2019; Mason & Tornatora, 2016). In der dritten Lerneinheit zeigen sich keine signifikanten Unterschiede, was darauf hinweist, dass das Fehlen einer Vergleichsinstruktion in der Kontextgruppe eine mögliche Ursache sein könnte. Im weiteren Vorgehen soll untersucht werden, welchen Einfluss die Analogiearten auf die von Kehne (2019) erhobene Transferleistung und damit auf den Lernprozess haben. Basierend auf den Ergebnissen von Kehne (2019) könnte vermutet werden, dass die Unterschiede in der Transferleistung durch das Bilden angereicherter sowie funktionaler Analogien und das *Mapping* entstehen könnten.

Literatur

Curtis, R. V. & Reigeluth, C. M. (1984). The use of analogies in written text. *Instructional Science, 13* (2), 99–117.

Gray, M.E. & Holyoak, K.J. (2020). Individual differences in relational reasoning. *Memory & Cognition, 48*, 96-110.

Gilbert, J. K., Bulte, A. M. W. & Pilot, A. (2011). Concept development and transfer in context-based science education. *International Journal of Science Education, 33* (6), 817-837.

Holyoak, K. J. (2005). Analogy. In K. J. Holyoak & J. E. Morrison (Eds.), *The cambridge handbook of thinking and reasoning* (S. 117-142). Cambridge: Cambridge University Press.

Holyoak, K. J. (2019). *The spider's thread: Metaphor in mind, brain, and poetry.* The MIT Press.

Jacobson, M.J., Goldwater, M., Markauskaite, L., Lai, P.K., Kapur, M., Roberts, G. & Hilton, C. (2020). Schema abstraction with productive failure and analogical comparison: Learning designs for far across domain transfer. *Learning and Instruction, 65*, 1-15.

Kehne, F. (2019). *Analyse des Transfers von kontextualisiert erworbenem Wissen im Fach Chemie*. Logos.

Mason, L. & Tornatora, M.C. (2016). Analogical encoding with and without instructions for case comparison of scientific phenomena. *Educational Psychology, 36* (2), 391-412.

Seidel, T. (2005). Video analysis strategies of the IPN Video Study. A methodological overview. In T. Seidel, M. Prenzel & M. Kobarg (Hrsg.), *How to run a video study. Technical report of the IPN video study.* Münster: Waxmann.

Sezer, K. & Karataş, F.Ö. (2022). Research trends about analogy studies in science education: A descriptive content analysis. *Journal of Science Learning, 5* (2), 217-225.

Vieira, H. & Morais, C. (2022). Bridging music and chemistry: A marching band analogy to teach kinetic-molecular theory. *Journal of Chemical Education*, *99* (2), 729-735.

Wang, C. (2023). Evaluating the effects of the analogical learning approach on eighth graders' learning outcomes: the role of metacognition. *Chemistry Education Research and Practice, 24* (2), 535-550.

Dane-Vincent Schlünz
Stephan Dutke
Daniel Laumann

Universität Münster

Räumliche Kontiguität beim Einsatz von Augmented Reality im Experiment

Hintergrund & Forschungsstand

Das breite Spektrum digitaler Technologien als mögliche Ergänzungen von Experimenten in der Lehre erfordert theoretische Ideen und empirische Befunde zur lernwirksamen Gestaltung multimedialer sowie multirepräsentationaler Lernumgebungen. Für die Nutzung verschiedenartiger Medien und Repräsentationen finden sich in der Literatur theoretische Hinweise auf mögliche positive Einflüsse auf das Lernen. Als zentrale Theorien sind dabei u.a. die kognitive Theorie des multimedialen Lernens (Moreno & Mayer, 2007), das DeFT-Rahmenmodell zum Lernen mit multiplen Repräsentationen (Ainsworth, 1999) oder auch das integrative Modell des Text- und Bildverstehens (Schnotz & Bannert, 2003) zu nennen. Aufbauend auf diese theoretische Grundlagen finden sich in der Literatur zahlreiche empirische Befunde zu der konkreten Gestaltung von Lernumgebungen und -materialien. Hierzu gehören bspw. die Gestaltungsprinzipien aus dem Kontext der kognitiven Theorie multimedialen Lernens (Mayer & Fiorella, 2021), u.a. das Modalitätsprinzip (Ginns, 2005) oder auch das zeitliche und räumliche Kontiguitätsprinzip (Schroeder & Cenkci, 2018). Für zahlreiche dieser Prinzipien finden sich bereits umfassende Analysen zu Vorteilen mit Blick auf die kognitive Belastung von Lernenden, im Sinne der Theorie der kognitiven Belastung beim Lernen (Sweller, 1999) oder den Lernerfolg (Çeken & Taşkın, 2022; Noetel et al., 2022).

Bei genauerer Betrachtung offenbart jedoch gerade die naturwissenschaftsdidaktische Perspektive einen in den bisherigen Arbeiten noch weitestgehend unbearbeiteten Aspekt. Dieser ergibt sich durch die starke Fokussierung der Theorien und Studien auf verbale und piktoriale Repräsentationen (in instruktionalen Medien wie Sprache, Text, Bild etc.) in den Modalitäten des Sehens und Hörens. Da reale Phänomene und darauf aufbauend chemische oder physikalische Experimente eine Vielzahl an vermittelnden Medien (Messwerte, konkret physisch manipulierbare Objekte, etc.) bedienen und neben den genannten insbesondere auch weitere Modalitäten wie die Somatosensorik (Treede & Baumgärtner, 2019; Müller & Grunwald, 2022) einbeziehen können, erscheint es notwendig, hier die Transferierbarkeit der bisherigen Befunde nicht zwangsläufig als gegeben anzunehmen. Demnach ist es von besonderem Interesse, eigenständige Studien durchzuführen, die die Anwendbarkeit der bisherigen Ansätze auf typische naturwissenschaftliche Lernumgebungen wie reale Experimente und Phänomene untersuchen.

Der bisherige Forschungsstand umfasst insbesondere zwei Arbeiten, die das empirische Spektrum der Gestaltungsprinzipien durch den Einbezug weiterer Repräsentationen erweitern: Zum einen weist die Studie von Krüger und Bodemer (2022) zum Lernen von Merkmalen von Pflanzen mit der Anwendbarkeit multimedialer Gestaltungsprinzipien in einer Augmented Reality (AR)-Lernumgebung einen technologischen Fokus auf, welche letztlich weiterhin primär das Hören und Sehen als Modalitäten einbezieht. Zum anderen finden sich demgegenüber bei Schlummer (2024) konkrete empirische Befunde zur Anwendbarkeit des räumlichen Kontiguitätsprinzips auf eine AR-Lernumgebung zu einem realen physikalischen Experiment zur optischen Polarisation, bei dem neben dem Sehen auch gerade die Somatosensorik als Modalität fachlich relevante Informationen vermittelt (Schlummer et al., 2023). Die Studien-

ergebnisse von Schlummer (2024) zu beschriebener AR-Lernumgebung mit $N = 136$ Studierenden der Physik und Geophysik im 4. Semester im Rahmen eines physikalischen Laborpraktikums weisen insgesamt für die Bedingung hoher räumlicher Kontiguität – im Gegensatz zu klassischen Befunden (Schroeder & Cenkci, 2018) – keine Vorteile hinsichtlich des Lernerfolgs oder der kognitiven Belastung aus. Jedoch zeigt sich als differenzieller Effekt, dass die extrinsische kognitive Belastung bei besonders komplexen Aufgaben oder allgemein für Lernende mit geringeren experimentellen Fähigkeiten in der Bedingung hoher räumlicher Kontiguität signifikant reduziert werden kann. Dieser Befund erscheint konsistent mit entsprechenden Hypothesen zu notwendigen Bedingungen des Auftretens von Kontiguitätseffekten (Schroeder & Cenkci, 2018) sowie der fähigkeitsabhängigen Wirksamkeit von Gestaltungsprinzipien (Kalyuga, 2007).

Zielsetzung, Forschungsfrage und Methode

Die Studie von Schlummer (2024) bietet bereits Hinweise hinsichtlich der möglichen Relevanz der kognitiven (fachbezogenen und allgemeinen) Fähigkeiten von Lernenden für räumliche Kontiguitätseffekte. Als weiterführendes Indiz soll in dieser Studie eine aufgrund ihrer Fähigkeiten bewusst ausgewählte Gruppe als Stichprobe dienen. Dafür wird die Lernumgebung der Studie von Schlummer (2024) bestehend aus einem um AR erweiterten realen Experiment zur optischen Polarisation adaptiert. Die vorliegende Studie untersucht die Wirksamkeit der skizzierten Lernumgebung in geringer bzw. hoher räumlicher Kontiguität (unabhängige Variable) bzgl. des Lernerfolgs und extrinsischer kognitiver Belastung (abhängige Variablen) für $N = 47$ begabte Schülerinnen und Schüler der Oberstufe im Rahmen einer außerschulischen Lernveranstaltung der Deutschen Schülerakademie („Quantenakademie“). Dieser Gruppe kann im Vergleich zu Studierenden der Physik und Geophysik im 4. Semester in diesem Zusammenhang eine geringere Expertise zugewiesen werden.

Diese Daten dienen zur Beantwortung folgender Forschungsfrage: *Wie unterscheiden sich der Lernerfolg und die extrinsische kognitive Belastung in einem um AR erweiterten physikalischen Experiment hinsichtlich räumlicher Kontiguität für Novizinnen und Novizen?*

Die Studie umfasst einen Fragebogen als Prätest (demographische Daten, Vorwissen der Lernenden – 15 Multiple Choice Items, Eigenentwicklung), eine ca. 30-minütige Intervention mit dem AR-erweiterten Experiment in Begleitung zweier Kurzfragebögen (kognitive Belastung – 8 Rating Items, Klepsch et al., 2017; situationales Interesse – 1 Rating Item, Eigenentwicklung; Time on Task – Eigenentwicklung) jeweils nach den beiden Aufgabenteilen der Lerneinheit sowie einem Fragebogen als Posttest (Fach- und Transferwissen zu optischer Polarisation – 15 Multiple Choice Items, Eigenentwicklung).

Dem Studiendesign folgend werden Gruppenunterschiede im Fach- und Transferwissen der Lernenden kontrolliert für das Vorwissen der Lernenden (Kovariate) mittels einer einfaktoriellen ANCOVA ermittelt. Analog werden Gruppenunterschiede im Verlauf der extrinsischen kognitiven Belastung über zwei Messzeitpunkte (zwei Aufgabenteile) kontrolliert für die intrinsische kognitive Belastung der Lernenden (Kovariate) mittels einer Mixed ANCOVA bestimmt.

Ergebnisse & Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass sich das Fach- und Transferwissen bei Lernenden in der Lernumgebung mit hoher räumlicher Kontiguität ($N = 22$, $M = 0.77$, $SD = 0.16$) nicht von Lernenden in einer Lernumgebung mit geringer räumlicher Kontiguität ($N = 25$, $M = 0.83$, $SD = 0.22$), kontrolliert für das Vorwissen der Lernenden, unterscheidet ($F(1,44) = 0.61$, $p = .441$,

$d = 0.23$). Dies ermöglicht die Folgerung, dass im Vergleich zur Studie von Schlummer (2024) auch für Lernende als Novizinnen und Novizen für die untersuchte Lernumgebung kein räumlicher Kontiguitätseffekt mit Blick auf den Lernerfolg beobachtet werden kann. Aufgrund der gegebenen Stichprobengröße lassen sich jedoch nur starke Effekte über $d = 0.85$ nachweisen. Da jedoch nach z.B. Schroeder und Cenkci (2018) eher mittlere Effekte ($g = 0.63$) zu erwarten sind, erscheint die Erhebung weiterer Daten notwendig.
Hinsichtlich der extrinsischen kognitiven Belastung der Lernenden zeigen die Ergebnisse, dass sich ebenfalls kein Unterschied zwischen der Lernumgebung mit hoher bzw. geringer räumlicher Kontiguität, kontrolliert für die intrinsische kognitive Belastung der Lernenden insgesamt, ausbildet ($F(1,44) = 0.38$, $p = .551$, $d = 0.19$). Die Ergebnisse deuten analog zu den Befunden für den Lernerfolg an, dass bzgl. der Studie von Schlummer (2024) auch für Lernende mit Novizenstatus in skizzierter Lernumgebung kein räumlicher Kontiguitätseffekt mit Blick auf die extrinsische kognitive Belastung identifiziert werden kann. Aufgrund der gegebenen Stichprobengröße lassen sich jedoch auch hier Einschränkungen feststellen, da nur starke Effekte über $d = 0.43$ nachgewiesen werden könnten.
Die Befunde erweitern somit das noch in der Entstehung befindliche Forschungsfeld zur Analyse von multimedialen Gestaltungsprinzipien in (naturwissenschaftlichen) Lernumgebungen unter Einbezug realer Experimente und Phänomene. Analog zu Ergebnissen von Schlummer (2024) zeigen sich auch in den vorliegenden Daten keine räumlichen Kontiguitätseffekte für Lernerfolg oder extrinsische kognitive Belastung.

Ausblick

Die vorliegenden Befunde stützen insgesamt die Hypothese, dass multimediale Gestaltungsprinzipien, deren theoretischer Ursprung und empirische Nachweise insbesondere Text und Bild als Repräsentationen sowie Hören und Sehen als Modalitäten einbeziehen, nicht zwangsläufig auf Lernumgebungen angewendet werden können, die vielfältigere Repräsentationen oder Modalitäten erfordern. Aufgrund der geringen Stichprobengröße der vorliegenden Studie und des singulären Anwendungsbeispiels der Intervention erscheinen jedoch weitere Studien mit unterschiedlichen Stichproben sowie verschiedenartigen Interventionen notwendig, um entsprechende Fragestellungen belastbar beantworten zu können. Die Bedeutung von Experimenten für das Lernen in den Naturwissenschaften als zentralem Element „multimedialen“ Lernens lassen weitere Studien zu vergleichbaren Fragestellungen jedoch umso relevanter erscheinen.

Literatur

Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers & Education*, *33*(2–3), 131–152.

Çeken, B., & Taşkın, N. (2022). Multimedia learning principles in different learning environments: A systematic review. *Smart Learning Environments*, *9*(1), 19.

Ginns, P. (2005). Meta-analysis of the modality effect. *Learning and instruction*, *15*(4), 313-331.

Kalyuga, S. (2007). Expertise reversal effect and its implications for learner-tailored instruction. *Educational psychology review*, *19*, 509-539.

Klepsch, M., Schmitz, F., & Seufert, T. (2017). Development and validation of two instruments measuring intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Frontiers in psychology*, *8*, 1997.

Krüger, J. M., & Bodemer, D. (2022). Application and investigation of multimedia design principles in augmented reality learning environments. *Information*, *13*(2), 74.

Mayer, R. E., & Fiorella, L. (Eds.). (2021). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (3rd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

Moreno, R., & Mayer, R. E. (2007). Interactive multimodal learning environments. *Educational Psychology Review*, *19*, 309.

Müller, S. M., Winkelmann, C., & Grunwald, M. (2022) *Lehrbuch Haptik: Grundlagen und Anwendung in Therapie, Pflege und Medizin*. Berlin, Heidelberg: Springer.

Noetel, M., Griffith, S., Delaney, O., Harris, N. R., Sanders, T., Parker, P., del Pozo Cruz, B., & Lonsdale, C. (2022). Multimedia Design for Learning: An Overview of Reviews With Meta-Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, *92*(3), 413-454.

Schnotz, W., & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and instruction*, *13*(2), 141-156.

Schroeder, N. L., & Cenkci, A. T. (2018). Spatial contiguity and spatial split-attention effects in multimedia learning environments: A meta-analysis. *Educational Psychology Review*, *30*, 679-701.

Schlummer, P. (2024). *Hands-On Multimedia Learning. Assessing the Potentials of Mixed Reality Optics-Experiments.* (Dissertationsschrift). Universität Münster.

Schlummer, P., Abazi, A., Borkamp, R., Lauströer, J., Schulz-Schaeffer, R., Schuck, C., Pernice, W., Heusler, S. & Laumann, D. (2023). Seeing the unseen—enhancing and evaluating undergraduate polarization experiments with interactive Mixed-Reality technology. *European Journal of Physics*, *44*(6), 065701.

Sweller, J. (1999). *Instructional design in technical areas.* Camberwell, Australia: ACER Press.

Treede, R. D., & Baumgärtner, U. (2019). Das somatosensorische System. In R. Brandes, F. Lang, R. F. Schmidt (Eds.), *Physiologie des Menschen*, Berlin, Heidelberg: Springer, 644-665.

Florian Frank[1]
Christoph Stolzenberger[1]
Thomas Trefzger[1]

[1]Universität Würzburg

Zur Lernwirksamkeit einer AR-App und einer Simulation für die E-Lehre

Einleitung, theoretischer Hintergrund und Forschungsinteresse

Im Rahmen des BMBF-Forschungsverbunds „CoTeach“ wurden digitale Unterstützungsmaterialien (in Form einer Simulation und einer Augmented Reality (AR)-Applikation) für die Vermittlung der Grundlagen der Elektrizitätslehre konzipiert und entwickelt (Frank, Stolzenberger & Trefzger, im Druck). Dafür wurden ausgehend von Aussagen der Theorie der kognitiven Belastung (Sweller, van Merriënboer & Paas, 2019) die für die Lernvorgänge in der Elektrizitätslehre wichtigen Ressourcen identifiziert: das Realexperiment, die am Realexperiment erhobenen Messdaten und die (häufig analogiebasierten) Modellvorstellungen, die zur Veranschaulichung der Gesetzmäßigkeiten des Realexperiments dienen (Frank, Stolzenberger & Trefzger, 2024). Eine gleichzeitige und -räumliche Darbietung aller für einen Lernprozess notwendigen Ressourcen entlastet die Schüler*innen im Lernprozess und kann damit das Lernen erleichtern (Mayer, 2014; Mayer & Fiorella, 2014). Entsprechend dieser Zielsetzung kann die im Projekt entwickelte Simulation genutzt werden, um passend zu einem Experiment adaptive Repräsentationen ausgewählter Modellvorstellungen darzustellen. Die Tablet-basierte AR-Applikation verfolgt dasselbe Ziel, indem mittels video-see-through das Realexperiment auf dem Tablet-Bildschirm mit denselben adaptiven Darstellungen der Modellvorstellungen überblendet wird. Zusätzlich unterstützt die AR-Applikation auch die Verbindung zwischen Realexperiment und Messdaten, indem am Realexperiment erhobene Daten mittels Bluetooth-Messbox an die Applikation übermittelt und am Experiment angezeigt werden (Stolzenberger, Frank & Trefzger, akzeptiert). In einer Schülerlaborstudie wurde geprüft, ob der Einsatz digitaler Unterstützungsmaterialien das Lernen beeinflusst.

Zentrale Forschungsfragen sind „*Welchen Einfluss haben verschiedene Arten der Modelldarstellung beim Experimentieren auf das Lernen?*“ und „*Welchen Einfluss haben verschiedene Arten der Messwerterfassung und -darstellung beim Experimentieren auf das Lernen?*“.

Im Beitrag werden die Ergebnisse der Prüfung folgender Hypothesen vorgestellt:

- H1.1: Die Art der Modelldarstellung beeinflusst die Entwicklung des Konzeptwissen.
- H1.2: Die Art der Modelldarstellung beeinflusst die Bearbeitungszeit an den Stationen.
- H2.1: Die Art der Messwerterfassung und -darstellung beeinflusst die Entwicklung des Konzeptwissen.
- H2.2: Die Art der Messwerterfassung und -darstellung beeinflusst die Bearbeitungszeit an den Stationen.

Methodik der Studie und Interventionsdesign

Zur Untersuchung wurde ein quasi-experimentelles Prätest/Posttest-Studiendesign mit einer Kontroll- und drei Testgruppen gewählt. Die Kontrollgruppe (IG & MM) arbeitete im Verlauf der Intervention mit per Informationsgrafiken (IG) dargestellten Modellvorstellungen und nutzte Multimeter (MM) zur Erhebung der Messdaten. Testgruppen 2 und 3 (SIM & MM bzw. AR & MM) nutzten ebenso Multimeter zur Messwerterfassung, arbeiteten aber für die Modelldarstellung mit der Simulation bzw. der AR-Applikation. Testgruppe 4 (AR & AR) arbeitete ebenso wie Gruppe AR & MM mit per AR-Applikation dargestellten Modellvorstellungen

und nutzte die AR-Applikation zusätzlich auch zur Messwerterfassung und -darstellung. (Frank, Stolzenberger, Elsholz & Trefzger, 2024)
Von Dez. 2022 bis Feb. 2024 nahmen insgesamt 412 Schüler*innen aus 19 Klassen der bayerischen gymnasialen 8. Jahrgangstufe teil. In die Analysen gingen 360 Datensätze ein (davon 86 aus der Gruppe IG & MM, 80 aus der Gruppe SIM & MM, 84 aus der Gruppe AR & MM, und 110 aus der Gruppe AR & AR). Die Klassen wurden randomisiert in drei Gruppen geteilt und jede der Gruppen einer Interventionsart zugewiesen. Die einer Interventionsart zugeteilten Schüler*innen bearbeiteten die Aufgabenstellungen zu zweit oder dritt in Kleingruppen.
Im Schülerlabor, in dessen Rahmen die Studie durchgeführt wurde, erarbeiten die Schüler*innen die Inhalte der Elektrizitätslehre anhand eines Arbeitsbuches, eines Experimentiersatzes und des zwischen den Gruppen variierenden digitalen Zusatzmaterials. Das Schülerlabor besteht aus vier einzelnen Stationen, die in vorgegebener Reihenfolge durchlaufen werden. In Station 1 werden die bekannten Konzepte Stromstärke und Spannung wiederholt. Dafür werden die zuvor unbekannten digitalen Unterstützungsmaterialien (Simulation und AR-Applikation) genutzt. Station 2 behandelt den elektrischen Widerstand. Dabei werden U-I-Kennlinien eines Ohm'schen und eines Nicht-Ohm'schen Widerstands gemessen und ausgewertet. Diese Station fokussiert auf die Messwerterfassung und -darstellung mittels der Multimeter bzw. der AR-Applikation. Stationen 3 und 4 umfassen sowohl Modelldarstellung und Messwerterfassung und -darstellung. Die Schüler*innen erarbeiten hier die Gesetzmäßigkeiten an Parallelschaltungen bzw. Reihenschaltungen. (Frank, Stolzenberger & Trefzger, 2023)
Um die Entwicklung des Konzeptwissens abzubilden, wurde dieses vor und nach dem Schülerlabor mittels des 2T-SEC-Tests (Ivanjek, Morris, Schubatzky, Hopf, Burde, Haagen-Schützenhofer, Dopatka, Spatz & Wilhelm, 2021) erhoben. Die Bearbeitungszeit an den Stationen wurde durch die betreuenden Studierenden minutengenau protokolliert. Zusätzlich wurden die letzten Zeugnisnoten der Schüler*innen in den Fächern Mathematik und Physik erfragt.

Auswertung und Diskussion

Die Daten zum Konzeptwissen wurden gemäß der probabilistischen Testtheorie (Neumann, 2014; Embretson & Reise, 2009, S. 110-115) aufbereitet. Im Rahmen der Aufbereitung wird jedem Beantwortungsmuster (und damit jeder Person) ein Fähigkeitswert zugeordnet. Ein hoher Fähigkeitswert deutet dabei auf ein hohes Konzeptwissen hin. Die der Konzeptwissensentwicklung zugeordneten Hypothesen H1.1 und H2.1 werden auf Personen-Ebene untersucht. Für die Prüfung der Hypothesen werden jeweils Kovarianzanalysen mit Messwiederholung (für das vor und nach der Intervention erhobene Konzeptwissen) durchgeführt. Als Kovariate wird als Maß für die physikalisch-mathematische Grundkompetenz der Schnitt der Zeugnisnoten hinzugezogen.
Für die Bearbeitungszeiten wurden die Zeitspannen protokolliert, nach der alle Schüler*innen die Inhalte der jeweiligen Station erfolgreich bearbeitet hatten. Daher werden die Hypothesen H1.2 und H2.2 auf Großgruppen-Ebene getestet. Für jede Klasse geht pro Interventionsart nur ein Datenpunkt in die Analyse ein. Geprüft wurden die Hypothesen jeweils mittels Varianzanalysen mit Messwiederholung (für die Bearbeitungszeiten der vier Stationen).
Für Hypothese H1.1 ergab die Analyse, dass die Art der Modelldarstellung einen signifikanten Einfluss auf die Entwicklung des Konzeptwissens hat ($F(2, 246) = 3.482$, $p = .032$, $\eta^2 = .028$, Abb. 1). Post-Hoc-Tests ergaben, dass das Konzeptwissen in der Gruppe AR & MM signifikant stärker angestiegen ist als in der Gruppe SIM & MM ($\Delta = .392$, $p = .027$). Für Hypothese H1.2 ergab die Analyse, dass die Art der Modelldarstellung einen signifikanten Einfluss auf die Bearbeitungszeit hat ($F(6, 99) = 3.848$, $p = .002$, $\eta^2 = .189$, Abb. 2). Post-Hoc-Tests für

die einzelnen Stationen ergaben, dass die Schüler*innen der Gruppe AR & MM bei Station 1 signifikant länger gebraucht haben als die Schüler*innen der Gruppe IG & MM ($\Delta = 9.2$, $p < .001$) und die Schüler*innen der Gruppe SIM & MM ($\Delta = 8.8$, $p = .001$). Zusätzlich wurde auch für Station 3 eine signifikant längere Bearbeitungszeit bei der Gruppe AR & MM im Vergleich zu der Gruppe SIM & MM gefunden ($\Delta = 5.9$, $p = .039$).

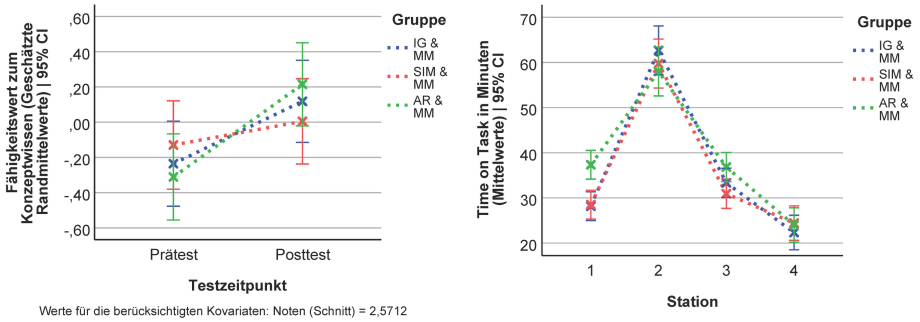


Abb. 1 & 2: Konzeptwissen und Bearbeitungszeit in Abhängigkeit der Modelldarstellung

Für Hypothese H2.1 ergab die Analyse, dass die Art der Messwerterfassung und -darstellung keinen signifikanten Einfluss auf die Entwicklung des Konzeptwissens hat ($F(1,191) = 2.453$, $p = .119$, $\eta^2 = .013$, Abb. 3). Für Hypothese H2.2 ergab die Analyse, dass die Art der Messwerterfassung und -darstellung einen signifikanten Einfluss auf die Bearbeitungszeit hat ($F(3, 87) = 6.748$, $p < .001$, $\eta^2 = .189$, Abb. 4). Post-Hoc-Tests für die einzelnen Stationen ergaben, dass bei Stationen 2 und 3 die Gruppe AR & AR eine signifikant kürzere Bearbeitungszeit aufweist als die Gruppe AR & MM (S2: $\Delta = 10.2$, $p < .001$; S3: $\Delta = 9.6$, $p < .001$).

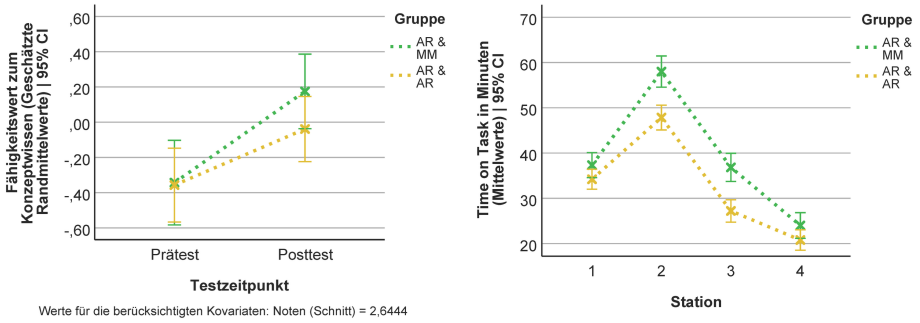


Abb. 3 & 4: Konzeptwissen und Bearbeitungszeit in Abhängigkeit der Messwerterfassung

Die Auswertungen zur Modelldarstellung ergaben, dass die Nutzung einer AR-Applikation einerseits den höchsten Zuwachs im Konzeptwissen, andererseits aber auch die längste Bearbeitungszeit mit sich bringt. Es scheint, als müsse der Umgang mit der AR-Applikation erst (im Rahmen von Station 1) zeitintensiv erlernt werden, führe aber anschließend zu einer tieferen Beschäftigung mit dem Lernmaterial. Im Vergleich der Nutzung der AR-Applikation und der Multimeter zur Messwerterfassung zeigt sich keine signifikant unterschiedliche Konzeptwissensentwicklung. Der Konzeptwissenstest erfasst dabei nicht die experimentelle Kompetenz, welche sehr wahrscheinlich zwischen den Gruppen variiert. Im Blick auf die Bearbeitungszeit lässt sich erkennen, dass die zur Vermittlung notwendige Zeit durch den Einsatz der AR-Applikation zur Messung signifikant gesenkt wird (Gesamtunterschied 26 Minuten).

Literatur

Embretson, S. E., & Reise, S. P. (2009). Item response theory for psychologists (Reprinted 2009 by Psychology Press). Psychology Press

Frank, F., Stolzenberger, C., Elsholz, M., & Trefzger, T. (2024). Using Augmented Reality and Simulations to Support Learning of Fundamental Electrical Concepts. In M. Sardag, G. Kaya, & M. Sogut (Hrsg.), Proceedings Book Series-1 of the ESERA 2023 Conference. Connecting Sciene Education with Cultural Heritage, Strand 4 (co-ed. M. Napal & L. Garcia-Romano) (S. 290–304). Nobel Bilimsel Eserler

Frank, F., Stolzenberger, C., & Trefzger, T. (2023). Schülerlaborstudie zum Einsatz von Augmented Reality in der Elektrizitätslehre. In H. Grötzebauch & S. Heinicke (Hrsg.), PhyDid B - Didaktik der Physik—Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung

Frank, F., Stolzenberger, C., & Trefzger, T. (2024). Studie zur Wirkung digitaler Medien in Schülerlaboren für die E-Lehre. In H. van Vorst (Hrsg.), Frühe naturwissenschaftliche Bildung—Beiträge zur Jahrestagung der GDCP (Bd. 43)

Frank, F., Stolzenberger, C., & Trefzger, T. (im Druck). Über Elektrizität lernen mit AR-Applikation und Simulation. In A. Füting-Lippert, M. Eisenmann, S. Grafe, H.-S. Siller, & T. Trefzger (Hrsg.), Digitale Medien in Lehr-Lern-Konzepten der Lehrpersonenbildung in interdisziplinärer Perspektive: Ergebnisse des Forschungsprojekts Connected Teacher Education. Springer VS

Ivanjek, L., Morris, L., Schubatzky, T., Hopf, M., Burde, J.-P., Haagen-Schützenhöfer, C., Dopatka, L., Spatz, V., & Wilhelm, T. (2021). Development of a two-tier instrument on simple electric circuits. Physical Review Physics Education Research, 17(2), 020123

Mayer, R. E. (2014). Cognitive Theory of Multimedia Learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), The Cambridge Handbook of Multimedia Learning (2. Aufl., S. 43–71). Cambridge University Press

Mayer, R. E., & Fiorella, L. (2014). Principles for Reducing Extraneous Processing in Multimedia Learning: Coherence, Signaling, Redundancy, Spatial Contiguity, and Temporal Contiguity Principles. In R. E. Mayer (Hrsg.), The Cambridge Handbook of Multimedia Learning (2. Aufl., S. 279–315). Cambridge University Press

Neumann, K. (2014). Rasch-Analyse naturwissenschaftsbezogener Leistungstests. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung (S. 355–369). Springer Berlin Heidelberg

Stolzenberger, C., Frank, F., & Trefzger, T. (akzeptiert). Multimedia-supported electricity teaching via the application “PUMA : Spannungslabor”. Journal of Physics: Conference Series

Sweller, J., Van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (2019). Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. Educational Psychology Review, 31(2), 261–292

Förderung

Die Julius-Maximilians-Universität Würzburg und das Projekt „Connected Teacher Education“ wurde im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Theresa Kohne[1]
Annette Marohn[1]

[1]Universität Münster

Problemorientierten inklusiven Chemieunterricht gestalten – Entwicklung eines Planungskonzepts

Hintergrund

In einem problemorientierten Chemieunterricht lassen sich Kompetenzen im Bereich der Erkenntnisgewinnung fördern. Lernende entdecken naturwissenschaftliche Problemstellungen, entwickeln Lösungsideen und wenden fachspezifische Methoden wie Experimente und Modelle zur Problemlösung an (Pahl & Berchtold, 2019; Martius, Delvenne & Schlüter, 2016). Lehrkräfte stehen vor der Herausforderung, einen entsprechenden Unterricht problemorientiert aufzubereiten und gleichzeitig die Diversität der Lerngruppe zu berücksichtigen. Im Sinne eines weiten Inklusionsverständnisses (Löser & Werning, 2015; Ainscow, 2020) sollte der Unterricht so gestaltet werden, dass alle Lernenden partizipieren können. Ziel des vorliegenden Forschungsprojektes *Plic* (*Problem-based learning in inclusive classes*) ist die Entwicklung eines Planungskonzepts für den problemorientierten inklusiven Chemieunterricht zur Unterstützung von (angehenden) Lehrkräften.

Methodischer Rahmen

Das Projekt folgt einem Design-Based Research-Ansatz (Knogler & Lewalter, 2014; Rohrbach-Lochner & Marohn, 2018), bei dem mehrere Forschungszyklen, sogenannte *Mesozyklen*, durchlaufen werden. Jeder Mesozyklus gliedert sich in drei Phasen: 1) Analyse: Erarbeitung von Grundlagen, 2) Design: Entwicklung einer Intervention, 3) Evaluation: Erprobung und Erforschung der Intervention. Ziel ist es, sowohl theoretische Erkenntnisse als auch innovative Ideen für die Praxis zu generieren.

Das Plic-Planungskonzept

Im Rahmen von drei Mesozyklen wurde das Plic-Planungskonzept entwickelt. Dieses setzt sich aus drei Bausteinen zusammen: Einem Prozessmodell für den problemorientierten Unterricht, einer Problemmatrix zur Entwicklung von Problemstellungen und dem Plic-3-Schritt als Planungswerkzeug zur Gestaltung inklusiven Chemieunterrichts. Die Bausteine können als Einheit oder unabhängig voneinander genutzt werden. Das Konzept basiert auf zwei grundlegenden Ideen: a) Der Unterricht wird konsequent von den *Handlungen der Lernenden* aus geplant und b) die inklusive Gestaltung erfolgt ausgehend von *fachimmanenten Herausforderungen* und nicht ausgehend von potenziellen „Einschränkungen“ der Lernenden. Im Folgenden werden die drei Mesozyklen und damit die Entwicklung des Planungskonzepts genauer skizziert.

1. Mesozyklus: Entwicklung eines Prozessmodells

Analyse

Bestehende Prozessmodelle (u.a. Schmidkunz & Lindemann, 1992; Bewersdorff, Baur & Emden, 2020) sowie bildungspolitische Vorgaben (KMK, 2020; Ministerium für Schule und Weiterbildung, 2013) wurden analysiert, um prozessbezogene und nicht prozessbezogene Handlungen von Lernenden im problemorientierten Chemieunterricht abzugrenzen.

Design

Basierend auf der vorherigen Analysephase wurde der *Problemzyklus* (s. Abb. 1) entwickelt. Dieser grenzt in einer diversitätssensiblen Visualisierung einzelne Unterrichtsphasen voneinander ab. Er kann sowohl die Unterrichtsplanung für Lehrende strukturieren als auch in der Durchführung den Problemlöseprozess für Lernende visualisieren.

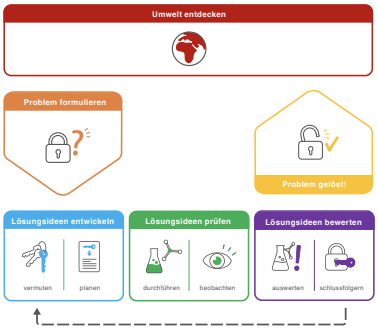


Abb. 1: Der Problemzyklus als Prozessmodell für einen problemorientierten Chemieunterricht

Evaluation

Der *Problemzyklus* wurde mit Studierenden erprobt, die anhand der Phasierung des Zyklus eine problemorientierte Stunde planten. Die Planungsphasen wurden audiographiert (N = 12 Gruppen) und weitere Rückmeldungen über Fragebögen (N = 33) und Interviews (N = 9) eingeholt. Die Studierenden bewerteten das Prozessmodell als hilfreiche Planungsgrundlage. Während der Planung wurden die Noviz:innen durch Vorstrukturierungen, Impulsfragen und Beispiele unterstützt. Schwierigkeiten zeigten sich noch bei der Einnahme der Lernendenperspektive und der Fokussierung auf deren Unterrichtshandlungen.

2. Mesozyklus: Abgrenzung von Problemlösehandlungen

Analyse

Die Problemstellung nimmt eine bedeutende Rolle ein, da sie die Richtung des Unterrichts und damit die Handlungen der Lernenden zur Problemlösung bestimmt. Auf Grundlage der Analyse von Schulbuchaufgaben (N = 1078 Aufgaben in 5 Schulbüchern) und bestehender Literatur (u.a. Gut et al., 2014; Nehring et al., 2016) wurden *Problemlösehandlungen* für den Chemieunterricht abgegrenzt.

Design

Die *Problemlösehandlungen* wurden mit weiteren Planungselementen (Fachinhalt, Kontext, Lernziele und Vorwissen) verknüpft und die *Problemmatrix* (s. Abb. 2) entwickelt, die als Grundlage für eine Unterrichtsplanung genutzt werden kann. Bei der Entwicklung einer Problemstellung können verschiedene Handlungen miteinander kombiniert und so die Komplexität der Unterrichtsstunde angepasst werden.

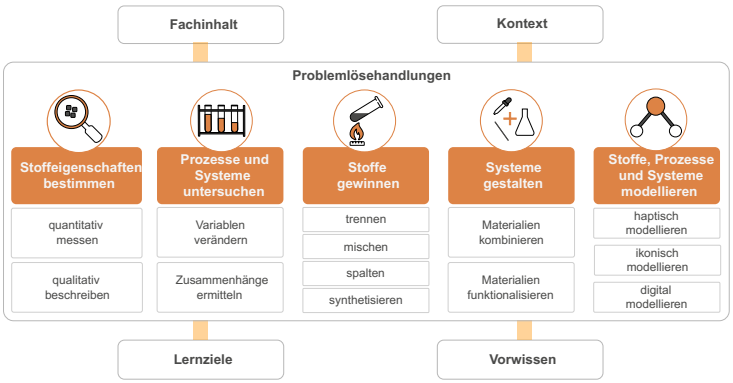


Abb. 2: Problemmatrix mit Problemlösehandlungen zur Entwicklung einer Problemstellung

Evaluation
Die Kategorisierung wurde im Rahmen einer Expert:innenbefragung (N = 14) evaluiert und angepasst. Darüber hinaus wurde die Anwendung der *Problemlösehandlungen* mit Studierenden in einer Gruppenarbeitsphase erprobt (N = 6 Gruppen) und ein fragebogenbasiertes Feedback eingeholt (N = 20). Die Kategorisierung sensibilisierte die Studierenden für die Vielfalt möglicher Probleme. Es wurden jedoch auch Schwierigkeiten in der Anwendung deutlich. Die Vielzahl an Handlungen und Planungselementen kann insbesondere bei Planungsnoviz:innen zu einer Überforderung führen.

3. Mesozyklus: Entwicklung eines Planungswerkzeuges für eine inklusive Gestaltung
Analyse
Mittels einer Literaturrecherche wurden bestehende Planungsansätze (u.a. Stinken-Rösner et al., 2020), fachspezifische Herausforderungen im Chemieunterricht (u.a. Menthe & Hoffmann, 2015) sowie Ansätze zur inklusiven Gestaltung (u.a. Rose & Meyer, 2002) analysiert. Ergänzt wurden die Ergebnisse durch Interviews mit Lehrkräften (N = 5). Mittels einer qualitativen Inhaltsanalyse wurden Kategorien von Herausforderungen und Maßnahmen im problemorientierten inklusiven Chemieunterricht abgegrenzt.
Design
Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde ein Planungswerkzeug, der *Plic-3-Schritt* (s. Abb. 3), entwickelt. Dieser leitet die Planung inklusiver Lernsituationen in drei Schritten an: 1) Handlungen der Lernenden konkretisieren (z.B. SuS stellen Vermutungen über Verbrennungsprodukte an), 2) Fachspezifische Herausforderungen in dieser Handlung identifizieren (z.B. Komplexität des Inhalts „Verbrennung“), 3) Maßnahmen zur Bewältigung dieser Herausforderungen einsetzen (z.B. Strukturierung durch Vorgabe möglicher Produkte im Multiple-Choice-Ansatz). Die konkrete Planung der einzelnen Schritte wird durch die in der Analysephase abgegrenzten Kategorien angeleitet und unterstützt.
Evaluation
Der *Plic-3-Schritt* wurde in ein Seminar zur Planung von Experimenten implementiert. In einer Gruppenarbeitsphase (N = 7 Gruppen) identifizierten die Studierenden Herausforderungen anhand einer Versuchsvorschrift, wobei sie die Kategorien des Plic-3-Schrittes als Unterstützung nutzten. Die Ergebnisse zeigen, dass die Studierenden Herausforderungen mit dem *Plic-3-Schritt* überwiegend *fachlich* begründeten. Darüber hinaus bewerteten sie das Planungswerkzeug als strukturiert und unterstützend. Nach dem Besuch der Veranstaltung schätzten sich die Kursteilnehmenden (N = 60) signifikant kompetenter hinsichtlich der Gestaltung inklusiven Chemieunterrichts ein.

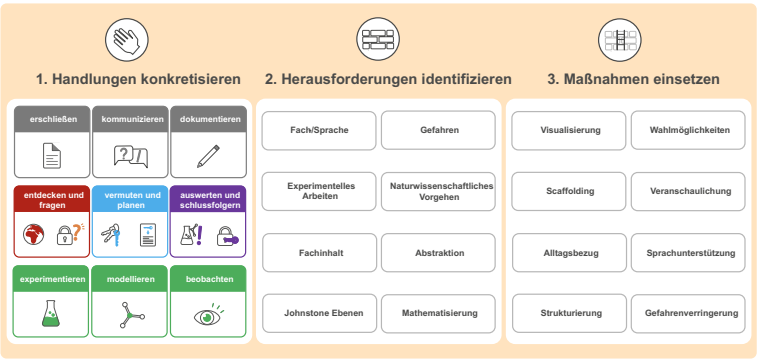


Abb. 3: Der Plic-3-Schritt als Planungswerkzeug zur inklusiven Gestaltung

Literatur

Ainscow, M. (2020). Promoting inclusion and equity in education: lessons from international experiences. Nordic Journal of Studies in Educational Policy, 6 (1), 7-16

Bewersdorff, A., Baur, A., & Emden, M. (2020). Analyse von Unterrichtskonzepten zum Experimentieren hinsichtlich theoretisch begründeter Unterrichtsprinzipien: Bestandsaufnahme und kriteriale Gegenüberstellung. Zeitschrift für Didaktik der Biologie, 24, 108-130

Gut, C., Metzger, S., Hild, P., & Tardent, J. (2014). Problemtypenbasierte Modellierung und Messung experimenteller Kompetenzen. PhyDid B. Verfügbar unter: https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/532/680 (Zugriff 08.10.24)

Knogler, M., & Lewalter, D. (2014). Design-Based Research im naturwissenschaftlichen Unterricht. Das motivationsfördernde Potenzial situierter Lernumgebungen im Fokus. Psychologie in Erziehung und Unterricht, 61, 2-14

Kultusministerkonferenz (2020). Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.06.2020. Verfügbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Chemie.pdf (Zugriff 08.10.2024)

Löser, J. M., & Werning, R. (2015). Inklusion – allgegenwärtig, kontrovers, diffus? Erziehungswissenschaft, 26 (51), 17-24

Martius, T., Delvenne, L., & Schlüter, K. (2016). Forschendes Lernen. Verschiedene Konzepte, ein gemeinsamer Kern? MNU, 4, 220-228

Menthe, J., & Hoffmann, T. (2015). Inklusiver Chemieunterricht: Chance und Herausforderung. In J. Riegert & O. Musenberg (Eds.), Inklusiver Fachunterricht in der Sekundarstufe. Stuttgart: Kohlhammer, 131-141

Ministerium für Schule und Weiterbildung (2013). Kernlehrplan für die Gesamtschule-Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen. Naturwissenschaften Biologie, Chemie, Physik. Verfügbar unter: https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/130/KLP_GE_NW.pdf (Zugriff 08.10.2024)

Nehring, A., Stiller, J., Nowak, K. H., Upmeier zu Belzen, A., & Tiemann, R. (2016). Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen im Chemieunterricht – eine modellbasierte Videostudie zu Lerngelegenheiten für den Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung. Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften, 22 (1), 77-96

Pahl, A., & Berchtold, C. (2019). Problemlösen im naturwissenschaftlichen Unterricht: Die Methode des Experimentierens. In U. Stadler-Altmann & A. Pahl (Eds.), MINT-Didaktik und allgemeine Didaktik im Gespräch. Opladen, Berlin & Toronto: Barbara Budrich, 47-78

Rohrbach-Lochner, F., & Marohn, A. (2018). How research-based learning can increase teacher students' knowledge and abilities: a design-based research project in the context of pupils' (mis)conceptions in science. Research in Subject-Matter Teaching and Learning, 1, 35-50

Rose, D. H., & Meyer, A. (2002). Teaching Every Student in the Digital Age. Universal Design for Learning. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development

Schmidkunz, H., & Lindemann, H. (1992). Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren: Problemlösen im naturwissenschaftlichen Unterricht (6. Ed.). Hohenwarsleben: Westarp Wissenschaften

Stinken-Rösner, L., Rott, L., Hundertmark, S., Menthe, J., Hoffmann, T., Nehring, A., & Abels, S. (2020). Thinking Inclusive Science Education from two Perspectives: Inclusive Pedagogy and Science Education. Ristal, 3, 30-45

Laura Naumann[1]
Silvija Markic[1]

[1] Ludwig-Maximilians-Universität München

Wahrnehmung von Diversität und Inklusion bei angehenden Chemielehrkräften

Theoretischer Hintergrund

Der OECD „Strength through Diversity"-Bericht (2023) betont, dass unsere Bildungssysteme zunehmend auch mit Fragen sozialer Gerechtigkeit konfrontiert werden. Die Gründe dafür sind globale Entwicklungen wie zum Beispiel demografische Veränderungen, Migration und Fluchtbewegungen. Die OECD sieht die ganzheitliche Betrachtung von Diversität und Inklusion daher als zentrale Maßnahme, um langfristig alle Schüler:innen beim Lernen zu unterstützen und so eine aktive Beteiligung aller zu ermöglichen und den gesellschaftlichen Zusammenhalt zu fördern.

Wenn von Diversität und Inklusion in der (Lehrkraft-)Bildung gesprochen wird, muss zunächst geklärt werden, welches Begriffsverständnis zugrunde liegt. In Bezug auf Diversität wird im Folgenden das Verständnis der John-Hopkins-Universität (2021) verwendet. Dieses besagt, dass Diversität ein mehrdimensionales Konstrukt ist, das verschiedene soziale und persönliche Dimensionen eines Individuums, wie Geschlecht, Alter oder sozioökonomischen Status, umfasst. Damit zusammenhängend wird Inklusion sowohl bei der OECD (2023) als auch bei Sliwka (2010) als aktiver Prozess bezeichnet, der die Diversität der Lernenden als Bereicherung sieht und versucht, das System insofern anzupassen, als dass es das Lernen für alle ermöglicht.

Dass dies vor allem im MINT-Bereich nicht vollständig gelingt, wird zum Beispiel im MINT-Herbstreport des Instituts der deutschen Wirtschaft (Anger *et al.*, 2022) deutlich. Dort wird aufgezeigt, dass der Anteil der Frauen in MINT-Berufen in den letzten Jahren gestiegen ist, aber weiterhin niedrig bleibt. Weiterhin wurde innerhalb einer Pilotstudie von Markic *et al.* (2019) die fehlende Sensibilisierung der Lehrkräfte für die Dimensionen der Diversität gezeigt, in der angehende Chemielehrkräfte ihren Unterricht als „kulturfreie Zone" betrachteten. Im Gegensatz dazu stellten Rüschenpöhler und Markic (2019) fest, dass der kulturelle Hintergrund einen relevanten Einfluss auf das Chemie-Selbstkonzept und damit auf den Lernerfolg hat.

Die Förderung der MINT-Kompetenzen von Mädchen, aber auch von Kindern mit Migrationshintergrund und Sprachbarrieren könnte eine zentrale Rolle spielen, um dem zunehmenden Fachkräftemangel entgegenzuwirken. Um dieses Ziel zu erreichen, werden sensibilisierte und gut ausgebildete MINT-Lehrkräfte benötigt, wobei auch hier ein zunehmender Mangel prognostiziert wird (Geis-Thöne, 2022).

Um zu untersuchen, inwiefern unsere Chemielehramtsstudierenden bereits für Diversität in all ihren Dimensionen und Inklusion sensibilisiert sind und welche Aus- und Fortbildungsmaßnahmen sie in diesem Prozess unterstützen können, wurde eine diagnostische Studie durchgeführt.

Methode

Die hier vorgestellte Studie folgte einem Mixed-Methods-Ansatz mit einem quantitativen und einem qualitativen Fragebogen. Die beiden Fragebögen wurden innerhalb derselben Gruppe

von Chemie-Lehramtsstudierenden durchgeführt. Da keine direkte Zuordnung zwischen den offenen und geschlossenen Fragen möglich war, entspricht dieser Ansatz einer Triangulation. Der quantitative Fragebogen fokussierte sich auf die Selbsteinschätzung der Studierenden hinsichtlich ihrer Fähigkeit, Diversität zu erkennen und entsprechende Methoden im Unterricht anzuwenden. Sie wurden explizit gefragt, wie sicher sie sich im Unterrichten von Schüler:innen mit unterschiedlichen Diversitätsdimensionen fühlen. Unter anderem sollten sie einschätzen, wie sicher sie sich fühlen, Schüler:innen mit unterschiedlichen kulturellen oder ethnischen Hintergründen sowie Schüler:innen mit unterschiedlichen Sprachkenntnissen, zu unterrichten.
Der qualitative Fragebogen enthält fünf offene Fragen und richtete den Fokus auf die Reflexion der eigenen Erfahrungen und Einschätzungen. Dazu sollten die Teilnehmenden ihr Verständnis von Diversität und Inklusion beschreiben. Anschließend wurden sie nach den Methoden und Strategien gefragt, die sie für inklusiven naturwissenschaftlichen Unterricht während ihrer Ausbildung kennengelernt haben. Die Teilnehmenden sollten reflektieren, ob sie in der Schule Widersprüche zu dem gesehen haben, was sie im Bezug auf inklusive naturwissenschaftliche Bildung gelernt haben. Zuletzt wurde nach Bedenken bezüglich bestimmter Gruppen in ihren zukünftigen Klassen gefragt. Die Auswertung erfolgte mit MAXQDA, wobei eine semi-induktive Kategorienbildung angewandt wurde.

Probanden
Am quantitativen Fragebogen nahmen insgesamt 26 Lehramtsstudierende teil, von denen 14 männlich und 11 weiblich waren und eine Person keine Angabe zum Geschlecht machte. Der qualitative Fragebogen wurde von 29 Studierende ausgefüllt, wobei 13 männlich und 15 weiblich waren und eine Person keine Angabe zum Geschlecht machte.

Ergebnisse
Im quantitativen Teil zeigte sich, dass die Teilnehmenden generell ein hohes Vertrauen in ihre eigenen Fähigkeiten haben. Auffällig war, dass sie ihre Fähigkeit, Diversität zu erkennen, höher einschätzten als ihre Fähigkeit, daraus resultierende Bedürfnisse zu erkennen oder entsprechende Lehrmethoden anzuwenden.
Mehr als 80% der Teilnehmenden gaben an, sich sicher bis sehr sicher zu fühlen, Schüler:innen mit verschiedenen sozio-ökonomischen, kulturellen und ethnischen Hintergründen unterrichten zu können. Über 70% der Teilnehmenden fühlten sich sicher bis sehr sicher, Schüler:innen mit unterschiedlichen Begabungsniveaus zu unterrichten. Ähnlich sicher fühlten sich 60% der Studierenden Schüler:innen mit unterschiedlichen körperlichen Fähigkeiten zu unterrichten. Die größte Unsicherheit bestand beim Unterrichten von Schüler:innen mit unterschiedlichen Sprachkenntnissen. Nur knapp 40% der Teilnehmenden fühlten sich sicher bis sehr sicher, während etwa 30% angaben, sich überhaupt nicht sicher zu fühlen.
Im qualitativen Teil beschrieben 20 Studierende Diversität als das Vorhandensein verschiedener Individuen, die gemeinsame oder unterschiedliche Merkmale haben. Ethnizität wurde dabei am häufigsten genannt, gefolgt von kognitiven und körperlichen Fähigkeiten, Geschlecht und Kultur. Inklusion wurde mehrheitlich als Prozess oder aktive Maßnahme verstanden, wobei 15 Studierende den Aspekt der Teilhabe hervorhoben. Die Definitionen variieren zum Teil stark, wobei einige Studierende nur auf die Dimension der körperlichen Einschränkungen bezogen.

Im Hinblick auf die bekannten Methoden für inklusiven naturwissenschaftlichen Unterricht wurde Differenzierung am häufigsten genannt, gefolgt von kooperativem Lernen. Acht Teilnehmende gaben an, keine Methoden zu kennen. In Bezug auf die Widersprüche zwischen dem Gelernten und ihren eigenen Erfahrungen wurde kritisiert, dass Differenzierung kaum stattfand und wenn, hauptsächlich in Form von Extraaufgaben für schnelle Schüler:innen. Das kooperative Lernen sei eher pragmatisch angewendet worden, im Sinne von Gruppeneinteilungen anhand des Sitzplans. Zuletzt wurde nach Schüler:innen gefragt, bei denen die angehenden Lehrkräfte in Zukunft noch unsicher sind, diese effektiv unterrichten zu können. Während 5 Teilnehmende keinerlei Bedenken hatten, wurden von den anderen Teilnehmenden als Gruppencharakteristika mit sechs Nennungen jeweils die Sprachbarriere, körperliche Einschränkungen und geringes Interesse oder Motivation am häufigsten genannt.

Diskussion

Die Ergebnisse liefern eine gute Grundlage, um die Wahrnehmung unserer Studierenden von Diversität und Inklusion tiefer zu verstehen. Die beiden Teile der Studie ergänzen und bestärken sich in einigen Aspekten. So zeigte sich, dass unterschiedliche Sprachniveaus der Schüler:innen für die Teilnehmenden eine Herausforderung darstellen. Gleichzeitig zeigte sich in beiden Teilen der Studie, dass die Studierenden ein hohes Selbstvertrauen haben, diverse Gruppen von Schüler:innen zu unterrichten.

Die Diskrepanz zwischen der positiven Einschätzung der eigenen Fähigkeit, diverse Gruppen zu unterrichten und dem begrenzten Wissen über entsprechende Methoden, wirft jedoch Fragen auf. Eine mögliche Erklärung liegt in einem guten, allgemeinen Verständnis von Diversität und ihren Dimensionen, aber einer fehlenden Sensibilisierung für die Bedeutung dieser Konzepte im Chemieunterricht, wie bei auch bei Markic, Rüschenpöhler und Schneider (2019) gezeigt wurde.

Abschließend stellt das fehlende Bewusstsein, das zu einer Überschätzung der eigenen Fähigkeiten führen könnte, kombiniert mit dem geringen Methodenwissen der Studierenden die wichtigste Beobachtung unserer Studie dar. Daher stellt die Notwendigkeit einer stärkeren Sensibilisierung für diese Themen eine der wichtigsten Implikationen aus dieser Studie dar. Für Seminare innerhalb des Lehramtsstudiums könnte das Modell von Tolsdorf und Markic (2018) eine geeignete Möglichkeit bieten. Dabei würden nach einer Sensibilisierung für das Thema der Diversität verschiedene Methoden in die Ausbildung der Lehramtsstudierenden integriert werden, wofür das Modell von Kieferle *et al.* (2024) für inklusives, naturwissenschaftliches Lernen als Ausgangspunkt dienen könnte. Diese Maßnahmen könnten das Bewusstsein der angehenden Lehrkräfte steigern und sie mit verschiedenen Methoden ausstatten, sodass sie später das Lernen für alle Schüler:innen im Chemieunterricht ermöglichen können.

Danksagung

Diese Forschung wurde durch das ERASMUS+ Projekt „acasSTEMy - Trans-national STEM teacher education focussing on transversal competence and sustainability education“ unterstützt, das von der Europäischen Union finanziert wurde. Wir möchten der Europäischen Union für ihre finanzielle Unterstützung danken. Die Unterstützung der Europäischen Kommission für die Erstellung dieser Veröffentlichung stellt keine Billigung des Inhalts dar, welcher nur die Ansichten der Verfasser wiedergibt, und die Kommission kann nicht für eine etwaige Verwendung der darin enthaltenen Informationen haftbar gemacht werden.

Literatur

Anger, C., Betz, J., Geis-Thöne, W., & Plünnecke, A. (2022). MINT-Herbstreport 2023. MINT sichert Zukunft, Gutachten für BDA, Gesamtmetall und MINT Zukunft schaffen,

Carey Business School. (2021). Roadmap for Diversity, Equity, Inclusion and Belonging of Report. Johns Hopkins University, Carey Business School, Baltimore, MD. https://carey.jhu.edu/sites/default/files/2021-06/2021-2-497-roadmap-deib_v3b.pdf

Geis-Thöne, W. (2022). Lehrkräftebedarf und-angebot: Bis 2035 steigende Engpässe zu erwarten. Szenariorechnungen zum INSM-Bildungsmonitor, Köln,

Kieferle, S., Devetak, I., Essex, J., Hayes, S., Stojanovska, M., Mamlok-Naaman, R., & Markic, S. (2024). A Rising Tide Lifts All Boats? The Model of Differentiation As a Tool for Diversity in Science toward Social Inclusion. Journal of Chemical Education, 101 (3), 789-797

Markic, S., Rüschenpöhler, L., & Schneider, M. (2019). Chemie als „kulturfreie Zone "? Die Perspektive der Lehrpersonen. Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Wien, 242-245

OECD. (2023). Equity and Inclusion in Education: Finding Strength through Diversity. Paris: OECD Publishing

Rüschenpöhler, L., & Markic, S. (2019). A mixed methods approach to culture-sensitive academic self-concept research. Education Sciences, 9 (3), 240

Sliwka, A. (2010). From homogeneity to diversity in German education of the chapter. In Educating Teachers for Diversity: Meeting the Challenge (pp.). OECD Publishing

Tolsdorf, S., & Markic, Y. (2018). Participatory action research in university chemistry teacher training. CEPS Journal, 8 (4), 89-108

Lilith Rüschenpöhler[1] [1]NTNU
Angelika Bernsteiner[2] [2]Universität Graz
Elisabeth Hofer[3] [3]Leuphana Universität Lüneburg

Youth Participatory Science: Gesellschaftliche Partizipation durch MINT?

Theoretischer Hintergrund

Partizipative Forschungsformate wie Citizen Science gewinnen an Beliebtheit, da sie darauf abzielen, Interesse für und Partizipation in MINT zu steigern (Rüschenpöhler, 2024). Studien zeigen jedoch, dass Citizen Science nicht alle Jugendlichen anspricht (Williams et al., 2021). Ein Grund könnte sein, dass die am Forschungsprozess beteiligten Wissenschaftler:innen andere Ziele verfolgen als die Jugendlichen.

Als Alternative wurde Youth Participatory Science (YPS) entwickelt (Morales-Doyle & Frausto, 2021). YPS richtet sich v.a. an benachteiligte Jugendliche und ermöglicht ihnen eine eigenständige Forschung, basierend auf der kritischen Pädagogik nach Freire (Freire, 1996; Rüschenpöhler, 2024). Kern von YPS sind Social Justice Science Issues (SJSI), also Problemstellungen, die naturwissenschaftliche Fragestellungen mit Fragen nach Gerechtigkeit verbinden (Morales-Doyle, 2017). Das erste YPS-Projekt in den USA thematisierte beispielsweise Schwermetallbelastungen, denen die Bevölkerung in unterschiedlichem Grad ausgesetzt ist (Morales-Doyle & Frausto, 2021). Historisch unterdrückte Teile der Gesellschaft sind in manchen Teilen der USA stärkeren Schwermetallbelastungen ausgesetzt als die historisch dominierende Gruppe. Dies beschreibt Environmental Racism, der auf Segregation und den kolonialen Herrschaftsverhältnissen beruht (Henderson & Wells, 2021; Holifield, 2001).

Forschungsfragen

Die Forschung zu YPS entstammt aus den USA, Studien aus Europa sind noch nicht bekannt. Ziel dieses Forschungsprojekts war es, (1) YPS für den deutschsprachigen Raum nutzbar zu machen und (2) seine Auswirkungen auf Schüler:innen zu untersuchen. Dies sollte als Grundlage dienen, um erste Erkenntnisse zu gewinnen, inwiefern YPS auch im deutschsprachigen Raum gewinnbringend eingesetzt werden kann.

(FF1) Wie kann Youth Participatory Science (YPS) im deutschsprachigen Raum genutzt werden?

a) Welche Social Justice Science Issues (SJSI) könnten geeignet sein?
b) Wie kann eine Unterrichtseinheit für den Regelunterricht in Naturwissenschaften im Sinne von YPS gestaltet sein?
c) Welche Voraussetzungen stellt YPS an Lehrkräfte, Schule, Schüler:innen, …?

(FF2) Wie wirkt Youth Participatory Science auf Schüler:innen im deutschsprachigen Raum?

a) Inwiefern verändert sich ihr Science (Chemistry) Capital?
b) Inwiefern verändert sich ihre Wahrnehmung von Relevanz der Naturwissenschaften?
c) Inwiefern verändert sich ihre spezifische Selbstwirksamkeitserwartung?

Methoden

Entwicklung einer Unterrichtseinheit: In Partizipativer Aktionsforschung (Eilks & Ralle, 2002; Mamlok-Naaman & Eilks, 2012) mit Chemiedidaktiker:innen und -lehrer:innen wurde eine YPS-Unterrichtseinheit zum Thema ‚Formaldehydbelastungen in der Lebenswelt' für die Jgst. 10-12 entwickelt (Abb. 1). Formaldehydbelastungen wurden als SJSI gewählt, begründet dadurch, dass an einer Schule erhöhte Belastungen gemessen wurden. ("Macht Formaldehyd die Lehrer krank?," 2014). Die Einheit umfasst u.a. den Bau eines Formaldehydmessgeräts auf Basis eines Microcontrollers (Arduino), angeleitetes sowie offenes forschendes Lernen und Wissenschaftskommunikation.

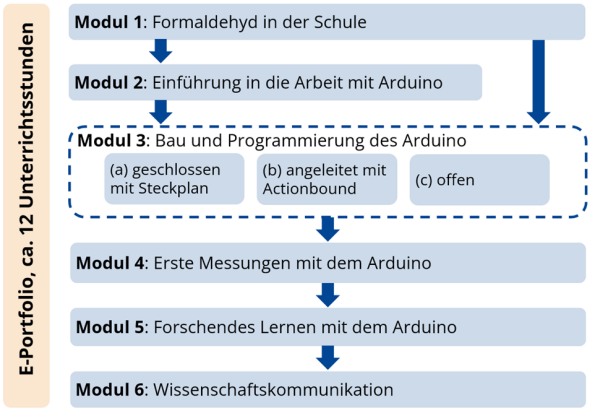


Abb. 1: Überblick über die YPS-Unterrichtseinheit.

Erhebungsinstrumente: Die Arbeit wurde angeleitet und begleitet durch ein E-Portfolio, in das Reflexionsbögen integriert waren. Die Portfolios wurden qualitativ exploriert (FF1). Weiterhin wurde ein Fragebogen im Prä-Post-Design eingesetzt (FF2; Tab. 1). Der Fragebogen wurde pilotiert und nur leicht modifiziert. Es liegen 177 Prä-Fragebögen und 93 Post-Fragebögen vor. Von den Prä-Fragebögen gehören N=83 zur Baselinegruppe und N=95 zur Interventionsgruppe.

Erprobung: In Phase 1 wurde die Unterrichtseinheit mit zwei Klassen aus zwei Schulen in Deutschland und Österreich durchgeführt (Jgst. 10/11). Der Verlauf der Unterrichtseinheit wurde in enger Absprache mit den unterrichtenden Lehrkräften reflektiert und auf dieser Basis sowie den Daten aus Portfolios/Fragebögen überarbeitet. Weiterhin wurde ein Leitfaden für Lehrer:innen verfasst. In Phase 2 wurde die Unterrichtseinheit an drei Schulen aus Deutschland und Österreich durchgeführt (Jgst. 10-12). Hier waren auch Lehrkräfte beteiligt, die nicht aktiv an der Aktionsforschungsgruppe teilgenommen hatten. Ziel auch war zu überprüfen, inwieweit das Material von externen Lehrkräften genutzt werden kann.

Ergebnisse

Die Skalen des Fragebogens wiesen eine hohe Reliabilität auf (Tab. 1). Mit Werten für Cronbachs α zwischen .77 und .95 lagen die Werte jedoch höher als in dem nach Kline (2000) gewünschten Bereich (.7 bis .8), was darauf hindeutet, dass die Items einander tendenziell innerhalb der Skalen zu stark ähnelten. T-Tests ergaben keine signifikanten Unterschiede zwischen Prä- und Posttests. Auch die qualitative Exploration der Portfolios ließ keine klaren Rückschlüsse auf Wirkungen der Unterrichtseinheit zu. Jedoch fanden sich Hinweise, dass die Vielfalt der Module Schüler:innen auf unterschiedlichen Ebenen adressiert. Insgesamt können jedoch keine eindeutigen Effekte der Unterrichtseinheit auf Chemistry Capital oder die Haltungen der Schüler:innen zu Naturwissenschaften/Chemie nachgewiesen werden (Tab. 1).

	Items	α	M_{pre}	M_{post}	t	df	p
Chemistry Capital							
- Familiäre Unterstützung in Chemie	9	.83	2.43	2.53	-1.09	190.11	.279
- Haltung der Eltern zur Chemie	8	.77	2.49	2.53	-0.44	172.95	.660
- Strategien zum Erwerb von CC	9	.95	2.58	2.34	1.57	114.39	.119
Persönliche Relevanz der NW	5	.95	2.53	2.44	0.80	151.45	.426
Allgemeine Relevanz der NW	10	.90	2.91	2.73	1.86	157.57	.065
Selbstwirksamkeitserwartung	5	.83	2.28	2.30	-0.27	133.11	.785

Tab. 1: Ergebnisse aus dem Fragebogen. Skalen zu Chemistry Capital basieren auf Rüschenpöhler und Markic (2020), DeWitt et al. (2013) und Mokoro et al. (2014); Relevanzskalen aus PISA 2006 (OECD, 2009); Selbstwirksamkeitsskala selbst entwickelt. Abkürzungen: α: Cronbachs α; CC: Chemistry Capital, NW: Naturwissenschaften.

Diskussion

Dieses Projekt leistet erste Schritte auf dem Weg zu Youth Participatory Science im deutschsprachigen Raum in Europa. Es zeigt Fragestellungen auf, die geklärt werden müssen:

(1) Welche Social Justice Science Issues (SJSI) im deutschsprachigen Raum relevant sind, ist offen. YPS in den USA thematisiert Environmental Racism. Im deutschsprachigen Raum wird dies mit ‚Umweltgerechtigkeit' übersetzt, was jedoch andere Strukturen beschreibt (Bunge & Böhme, 2024; Henderson & Wells, 2021; Holifield, 2001). Formaldehydbelastungen waren lokal für eine Schule relevant. Die Forschung der Schüler:innen ergab jedoch, dass es in anderen Kontexten weniger bedeutsam ist. Die Wahl des SJSI bedarf weiterer Forschung: Unklar ist u.a., welche SJSIs Schüler:innen erkennen und als relevant wahrnehmen. Weiterhin ist ein Einbezug der Schüler:innen bei Identifikation und Auswahl der SJSIs anzudenken.

(2) YPS basiert auf kritischer Pädagogik (Freire, 1996; Rüschenpöhler, 2024) und erfordert hierin gebildete Lehrer:innen. Kritische Pädagogik ist jedoch in der deutschsprachigen Naturwissenschaftsdidaktik spärlich vertreten und hat damit vermutlich wenig Einfluss auf die naturwissenschaftsdidaktischen Bildungsangebote für Lehrer:innen im deutschsprachigen Raum. Das Unterrichtsmaterial in Kombination mit dem Leitfaden für die Lehrer:innen schien in diesem Projekt nicht ausreichend, um die Kerngedanken von YPS zu tragen.

(3) Morales-Doyle (2017; 2021) führte YPS in einem Team durch, das auch Naturwissenschaftler:innen umfasste. In Phase 2 unseres Projekts wurde die Unterrichtseinheit bewusst Lehrer:innen zur eigenständigen Arbeit übergeben, um die Praxistauglichkeit von YPS zu prüfen. Da YPS in unserem Projekt nicht die gewünschten Wirkungen zeigte, ist unklar, ob fehlende Zusammenarbeit mit Forschenden (aus Didaktik/NW) ausschlaggebend war.

Insgesamt sehen wir großes Potential in Ansätzen wie YPS, zur Bildung kritischer Bürger:innen beizutragen. Unser Projekt zeigt jedoch, dass die Übertragbarkeit von YPS-Einheiten in andere Kontexte nicht trivial ist und noch weiterer Forschung und Entwicklung bedarf.

Danksagung

Dieses Projekt wurde gefördert durch das Margarete-von-Wrangell-Programm, kofinanziert vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg und der PH Ludwigsburg, sowie durch eine interne Forschungsförderung der PH Ludwigsburg.

Literatur

Bunge, C., & Böhme, C. (2024). Umweltgerechtigkeit. *Leitbegriffe Der Gesundheitsförderung Und Prävention. Glossar Zu Konzepten*, Strategien und Methoden. https://doi.org/10.17623/BZGA:Q4-I136-4.0

DeWitt, J., Osborne, J., Archer, L., Dillon, J., Willis, B., & Wong, B. (2013). Young children's aspirations in science: The unequivocal, the uncertain and the unthinkable. *International Journal of Science Education*, *35*(6), 1037–1063. https://doi.org/10.1080/09500693.2011.608197

Eilks, I., & Ralle, B. (2002). Participatory action research within chemical education. In B. Ralle & I. Eilks (Eds.), *Research in chemical education: What does this mean?* (pp. 87–98). Shaker.

Freire, P. (1996). *Pedagogia da autonomia: Saberes necessários à prática educativa* (33. ed, 2006). Paz e Terra.

Henderson, S., & Wells, R. (2021). Environmental racism and the contamination of black lives: A literature review. *Journal of African American Studies*, *25*(1), 134–151. https://doi.org/10.1007/s12111-020-09511-5

Holifield, R. (2001). Defining environmental justice and environmental racism. *Urban Geography*, *22*(1), 78–90. https://doi.org/10.2747/0272-3638.22.1.78

Kline, P. (2000). *The handbook of psychological testing* (2nd ed). Routledge.

Macht Formaldehyd die Lehrer krank? (2014, April 30). *Stuttgarter Zeitung*.

Mamlok-Naaman, R., & Eilks, I. (2012). Different types of action research to promote chemistry teachers' professional development—A joined theoretical reflection on two cases from Israel and Germany. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *10*(3), 581–610. https://doi.org/10.1007/s10763-011-9306-z

Mokoro, J. M., Wambiya, P., & Aloka, P. J. O. (2014). Parental influence on econdary school students' attitudes towards chemistry. *Mediterranean Journal of Social Sciences*. https://doi.org/10.5901/mjss.2014.v5n20p1457

Morales-Doyle, D. (2017). Justice-centered science pedagogy: A catalyst for academic achievement and social transformation. *Science Education*, *101*(6), 1034–1060. https://doi.org/10.1002/sce.21305

Morales-Doyle, D., & Frausto, A. (2021). Youth participatory science: A grassroots science curriculum framework. *Educational Action Research*, *29*(1), 60–78. https://doi.org/10.1080/09650792.2019.1706598

OECD. (2009). *PISA 2006 Technical report*. OECD Publishing.

Rüschenpöhler, L. (2024). A review of science teaching approaches for equity focusing on race, class, and religion from the perspectives of Freire's and Arendt's theories of education. *Science Education*, *108*(4), 1191–1221. https://doi.org/10.1002/sce.21868

Rüschenpöhler, L., & Markic, S. (2020). Secondary school students' acquisition of science capital in the field of chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, *21*(1), 220–236. https://doi.org/10.1039/C9RP00127A

Williams, K. A., Hall, T. E., & O'Connell, K. (2021). Classroom-based citizen science: Impacts on students' science identity, nature connectedness, and curricular knowledge. *Environmental Education Research*, *27*(7), 1037–1053. https://doi.org/10.1080/13504622.2021.1927990

Tom Jungbluth [1]
Silke Mikelskis-Seifert [1]
Josef Künsting [1]

[1] Pädagogische Hochschule Freiburg

Konzept der Dichte verstehen mit (meta-)kognitiven Prompts

Motivation. Das Verstehen des Phänomens "Schwimmen, Schweben und Sinken" durch selbstreguliertes Experimentieren stellt Lernende oftmals vor Herausforderungen (Hardy, Jonen, Möller & Stern, 2006). Ein Grund dafür liegt in den wissenschaftlich anspruchsvollen Konzepten, die Schwimmen, Schweben und Sinken als komplexes Zusammenspiel von Größen wie Gewichtskraft, Masse, Volumen, Dichte, Auftriebskraft und den damit verbundenen Prozessen modellieren (Perkins & Grotzer, 2005). Schüler:innen haben häufig kognitive Schwierigkeiten, das Konzept der Dichte zu verstehen, da es eine komplexe Verbindung zwischen den abstrakten Größen Masse und Volumen erfordert und die Fähigkeit, diese Konzepte proportional zueinander zu denken. Metakognitiv haben Lernende Schwierigkeiten, in Experimenten den Einfluss von Volumen und Masse auf das Schwimmverhalten systematisch zu untersuchen und dabei geeignete kognitive Strategien wie die Variablenkontrollstrategie (VKS) anzuwenden (Chen & Klahr, 1999; Zimmerman & Croker, 2013). Das Grundverständnis über die systematisch zu untersuchenden Variablen stellt jedoch eine essenzielle Voraussetzung für erfolgreiches Experimentieren dar (Chang et al., 2008). Entsprechend stellt sich die Frage, wie Lernende instruktional so unterstützt werden können, dass diese einerseits adäquate Experimentierstrategien beim Planen ihrer Experimente anwenden und zugleich das Schwimmen, Schweben und Sinken von Vollkörpern über das Konzept der Dichte nachhaltig besser verstehen.

Theoretische Rahmung. Metakognitive und kognitive Unterstützungsmaßnahmen, wie „Prompts", können selbstreguliertes Lernen bedeutsam fördern (Bannert, 2009), was sich auch für die Lernform des selbstregulierten Lernens durch Experimentieren zeigen ließ (Künsting, et al., 2013). Prompts sind sogenannte Lernstrategieaktivatoren, die als nondirektiver Hinweis Lernende zur Nutzung metakognitiver und kognitiver Lernstrategien anregen sollen und in diesem Zuge zu einer metakognitiven bzw. kognitiven Aktivierung führen. Maßnahmen zur (meta-) kognitiven Aktivierung sollen hierbei Lernende zur Tiefenverarbeitung des Lerngegenstands (Dichtekonzept, Experimentierstrategiewissen) anregen, um einen verstehensbasierten, nachhaltig vernetzten Wissensaufbau zu fördern. Für die Initiierung, Aufrechterhaltung und den Erfolg selbstregulierter Lernprozesse ist jedoch ein Mindestmaß an Motivation erforderlich (Artelt & Wirth, 2014), wobei in diesem Zusammenhang auch einem hinreichend positiven Selbstkonzept der Lernenden lern- und leistungsförderliche Effekte zugeschrieben werden können (Huang, 2011; Wu et al., 2021).

Forschungsfragen. Mit einem entwickelten simulations- und dialogbasierten Lerncomic (ComicLab) zum Thema Schwimmen, Schweben und Sinken ("Mission Aqua"), der auch experimentierende Lernhandlungen zulässt (angelehnt an Künsting et al., 2013; Salim et al., 2023; s. Jungbluth et al., 2022; Jungbluth et al., 2023), wird im Wesentlichen zwei Forschungsfragen nachgegangen: (1) In einem ersten Schritt wird untersucht, ob durch das Design der Lernumgebung positive motivationale und selbstkonzeptsteigernde

Voraussetzungen für eine erfolgreiche Selbstregulation im Planungsprozess von Experimenten zur Untersuchung des Schwimmverhaltens von Körpern erzielt werden können. (2) Des Weiteren wird in ersten Auswertungen der Hauptstudie überprüft, ob das Konzeptverständnis zur Dichte beim Lernen mit Erklärvideos über die zu untersuchenden Variablen Masse und Volumen durch präsentierte kognitive Impulse (Prompts) signifikant verbessert wird. Auswertungen, inwieweit die Selbstregulation beim eigenständigen Experimentieren mit der Nutzung von VKS durch präsentierte metakognitive Impulse (Prompts) gefördert wird (z.B. im Sinne häufigerer VKS-Nutzung), werden zukünftig erfolgen.

Methodik. *Stichprobe*: An der Hauptstudie nahmen N = 137 Schüler:innen der 5. und 6. Jahrgangsstufe aus Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz teil (44.52 % weiblich; 5. Klasse: Alter (*M* (*SD*) = 10.56 (1.12)); 6. Klasse: Alter (*M* (*SD*) = 11.70 (0.46))). *Design*: Der Hauptstudie liegt ein experimentelles 2x2-Design mit Randomisierung auf Individualebene und Prä-(Delayed)-Post-Messung zugrunde. Mit den zwei Faktoren des Designs (I. Metakognitive Prompts, ja vs. nein; II. Kognitive Prompts, ja vs. nein) liegen vier Gruppen vor: Experimentalgruppe 1 (EG1, n = 43) mit metakognitiven Prompts, EG2 (n = 33) mit kognitiven Prompts, EG3 (n = 33) mit metakognitiven und kognitiven Prompts sowie eine Kontrollgruppe (KG, n = 28) ohne Prompts (Normalverteilung der Schüler:innen auf die insgesamt vier Gruppen: $\chi^2(3, N = 137) = 3.467$, $p = .325$). *Instrumente*: Im Pre-Posttest-Design wurden folgende Instrumente eingesetzt:

Interesses an Lerncomics	Pre & Post	5 Items	$\alpha_{Prä/Post}$= .91/.89
Naturwissens. Fähigkeitsselbstkonzept	Pre & Post	9 Items	$\alpha_{Prä/Post}$=.84/.91
Strategiewissen zur Variablenkontrolle	Pre & Post	4 Items	$\alpha_{Prä/Post}$= .58/.55
Wissenstest	Pre & Post	13 Items	$\alpha_{Prä/Post}$= .59/.71
Aktuelle Motivation - Interesse	im Comic	4 Items	$\alpha_{Prä/Post}$=.83/.88
Aktuelle Motivation - Herausforderung	im Comic	4 Items	$\alpha_{Prä/Post}$=.68/.81
Cognitive Load (metakognitiven Prompts)	Post	4 Items	α_{Post}= .70
Cognitive Load (kognitiven Prompts)	Post	4 Items	α_{Post}= .84

Im Rahmen des oben erläuterten 2x2-Designs wurden die Schüler:innen je innerhalb ihrer Klassen randomisiert den insgesamt vier Gruppen zugewiesen. Anschließend arbeiteten die Schüler:innen in dem digitalen Lerncomic „Mission Aqua“ zum physikalischen Inhaltsbereich „Schwimmen, Schweben und Sinken von Vollkörpern“ (Jungbluth et al., 2022; Jungbluth et al. 2023). *Kognitive Prompts*: Um ein tiefes Verständnis über die später zu untersuchenden Variablen zu erlangen (Chang et al., 2008; Volumen, Masse), werden die Schüler:innen zur Nutzung wirksamer kognitiver Tiefenverarbeitungsstrategien angeregt. Hierbei soll durch kognitive Prompts einerseits das Vorwissen zu den Variablen aktiviert werden sowie die jeweilige Variable in Form einer Selbsterklärung nochmal in eigenen Worten erklärt werden („Überlege dir: Wie würdest du mir den Begriff Volumen in deinen eigenen Worten erklären?“). *Metakognitive Prompts*: Um die zu untersuchenden Variablen später in einem Experiment adäquat, im Sinne der VKS, zu untersuchen, brauchen Schüler:innen, gerade bei komplexen Themen wie das Schwimmverhalten von Vollkörpern, metakognitive

Unterstützung bei der Planung ihrer Experimente, weshalb zwei metakognitive Prompts zur Unterstützung bei der Planung (z.B. „Wie könntest du die Würfel aussuchen, um den Einfluss des Volumens?“) des Experiments und später zur kritischen Reflexion über das vorherige geplante Experiment eingesetzt werden.

Ergebnisse. Lernförderliche Voraussetzungen: Lernende schätzen ihre Fähigkeiten in den Naturwissenschaften vor der Intervention moderat bis hoch ein ($2.05 \leq M \leq 2.25$), ebenso ihr Interesse an Lerncomcis ($1.18 \leq M \leq 1.77$) und die aktuelle Motivation ($1.89 \leq M \leq 2.21$), so dass davon ausgegangen werden kann, dass die Schüler:innen hinreichend hoch motiviert waren und über ein ausreichend starkes Selbstkonzept verfügten, bevor sie mit dem selbstständigen Planen ihrer Experimente begannen (Maximalwert für alle Skalen = 3). Mittels varianz–analytischer Verfahren konnte ein signifikanter Zuwachs des Interesses am Lerncomic ($F(2, 74) = 6.858$, $p < .002$, $\eta^2 = 0.085$) von der Pre- zur Inter-Messung verzeichnet werden. Hierbei unterschieden sich die Experimentalgruppen mit einem hohen Interesse unmittelbar nach der Intervention signifikant von der Kontrollgruppe mit geringerem Interesse ($F(3, 102) = 13.166$, $p = .028$, $\eta^2 = 0.088$). Das Selbstkonzept verblieb ohne signifikanten Zuwachs konstant in allen Gruppen auf hohem Niveau ($2.10 \leq M \leq 2.26$). Gleiches konnte für die aktuelle Motivation gemessen werden ($1.81 \leq M \leq 2.33$). Wissensakquise: Es konnten keine signifikanten Gruppenunterschiede festgestellt werden, weder zu den Messzeitpunkten (Prä: $F(3, 157) = 0.840$, $p = .474$; Post: $F(3, 135) = 0.297$, $p = .827$), noch in den Entwicklungen ($F(3, 133) = 0.68$, $p = .567$) der Wissensakquise. Grund dafür ist ein signifikanter Lernzuwachs in jeder Gruppe ($F(1, 133) = 30.25$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.185$), der durch das Vorwissen der Lernenden beeinflusst wird ($F(1, 133) = 26.027$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.168$). Der ausbleibende Prompteffekt auf den Lernzuwachs dürfte nicht auf kognitive Überforderung durch das Anwenden verschiedener Lernstrategien (Chandler & Schweller, 1991) zurückzuführen sein, da keine signifikanten Gruppenunterschiede im Cognitive Load gemessen wurden ($F(3, 103) = 0.423$, $p = .737$) (Chandler & Schweller, 1991). Der Cognitive Load bleibt in allen Gruppen moderat auf einem stabilen Niveau. Fehlendes Training in der Lernstrategienutzung könnte die Wirksamkeit der Prompts beeinträchtigt haben, da die Lernenden die nötigen Strategien möglicherweise nicht erfolgreich anwenden konnten, um den vollen Nutzen aus diesen zu ziehen (s. auch Zimmermann, 2002). Auch könnte eine bereits an sich wirksame Lernumgebung die Nutzung der Prompts verringert haben, indem die Lernumgebung aufgrund ihrer motivierenden und grundsätzlichen didaktischen Merkmale das Lernen bereits so fördern konnte, dass eventuell auch dadurch die Prompts als zusätzliche instruktionale Unterstützungsmaßnahmen weniger notwendig wurden. Im Gesamten und in allen vier einzelnen experimentellen Bedingungen zeigen sich für die Lernumgebung „Mission Aqua“ positive Effekte auf Motivation, naturwissenschaftliches Selbstkonzept und Dichte–verständnis.

Ausblick

Weitere Untersuchungen sollen klären, wie sich die Verweildauer auf den Promptseiten zwischen den Gruppen unterscheidet, um die tatsächliche Nutzung der Prompts näher in den Blick zu nehmen. Zudem werden Daten zur metakognitiven Wirkung der Prompts auf die Anwendung der Variablenkontrollstrategie und das Strategiewissen analysiert.

Literatur

Artelt, C., & Wirth, J. (2014). Kognition und Metakognition. In: T. Seidel & A. Krapp (Hg.), *Lehrbuch Pädagogische Psychologie* (S. 167–192). Weinheim: Beltz

Bannert, M. (2009). Promoting self-regulated learning through prompts. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, *23*(2), 139-145

Boom, G., Paas, F., & van Merriënboer, J. J. (2007). Effects of elicited reflections combined with tutor or peer feedback on self-regulated learning and learning outcomes. *Learning and Instruction, 17*(5), 532-548.

Brandenburger, M., Salim, C. A., Schwichow, M., Wilbers, J., & Mikelskis-Seifert, S. (2022). Modellierung der Struktur der Variablenkontrollstrategie und Abbildung von Veränderungen in der Grundschule. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *28*(1), 5

Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction, 8*(4), 293-332.

Chang, K. E., Chen, Y. L., Lin, H. Y., & Sung, Y. T. (2008). Effects of learning support in simulation-based physics learning. *Computers & Education*, *51*(4), 1486-1498

Chen, Z., & Klahr, D. (1999). All other things being equal: acquisition and transfer of the control of variables strategy. *Child Development*, *70*(5), 1098-1120

Hardy, I., Jonen, A., Möller, K., & Stern, E. (2006). Effects of instructional support within constructivist learning environments for elementary school students' understanding of "floating and sinking.". *Journal of Educational Psychology*, *98*, 307-326

Huang, C. (2011). Self-concept and academic achievement: A metaanalysis of longitudinal relations. *Journal of School Psychology*, *49*, 505–528.

Jungbluth, J., Mikelskis-Seifert, S., & Künsting, J. (2022, September). *Schwimmen und Sinken verstehen durch eine digitale Comic-Lernumgebung*. Beitrag präsentiert an der 49. Tagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Aachen, Deutschland.

Jungbluth, T., Mikelskis-Seifert, S., & Künsting, J. (2023). Schwimmen und Sinken digital verstehen. Untersuchung des Schwimmverhaltens von Körpern im Comic Lab "Mission Aqua." *MNU Journal*, *76*(5), 407-413

Kalyuga, S. (2007). Expertise reversal effect and its implications for learner-tailored instruction. *Educational psychology review*, *19*, 509-539

Kramarski, B., & Dudai, V. (2009). The effects of metacognitive and meta-affective prompts on E-learning environments: A dual perspective. *Educational Media International*, *46*(3), 233-246.

Künsting, J., Kempf, J., & Wirth, J. (2013). Enhancing scientific discovery learning through metacognitive support. *Contemporary Educational Psychology*, *38*(4), 349-360.

Liu, L., Jones, B.F., Uzzi, B. *et al.* Data, measurement and empirical methods in the science of science. *Nat Hum Behav, 7*, 1046–1058 (2023).

Mikelskis-Seifert, S., & Duit, R. (2010). Erfolgreicher unterrichten durch „Physik im Kontext"? Die Evaluation des Projektes: Evaluationsdesign und Ergebnisse. In: Duit, R., Mikelskis-Seifert, S: *Physik im Kontext. Konzepte, Ideen, Materialien für effizienten Physikunterricht*. Sonderband Unterricht Physik, 14-16

Perkins, D. N., & Grotzer, T. A. (2005). Dimensions of causal understanding: The role of complex causal models in students' understanding of science. *Studies in Science Education*, *41*(1), 117-165

Rheinberg, F., Vollmeyer, R., & Burns, B. D. (2001). FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern-und Leistungssituationen (Langversion, 2001). *Diagnostica*, *2*, 57-66

Salim, C. A., Schwichow, M. & Mikelskis-Seifert, S. (2023). Schwimmen und Sinken anhand einer Matrix verstehen. *MNU Journal*, *76*(1), 32-35

Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory into Practice*, *41*(2), 64-70.

Zimmerman, C., & Croker, S. (2013). Learning science through inquiry. In G. Feist & M. Gorman (Eds.), *Handbook of the psychology of science* (pp. 49–70). New York, NY: Springer

Anna Liskes[1]
Helena van Vorst[1]

[1]Universität Duisburg-Essen

Einflüsse von Binnendifferenzierung in einer digitalen Lernumgebung

Im naturwissenschaftlichen Unterricht stellt sich zunehmend die Frage, wie Lernende mit unterschiedlichen Lernvoraussetzungen und Interessen bestmöglich gefördert werden können. Um dieser Herausforderung zu begegnen, eignet sich der didaktische Ansatz der *Binnendifferenzierung*, bei welchem Lernende meist anhand kognitiver Kriterien in Gruppen aufgeteilt werden und ein angepasstes Lernangebot erhalten (Wagner, 2016). Dazu können Methoden des *Scaffoldings* genutzt werden. Beim Scaffolding werden Lernende durch ein „Lerngerüst" adaptiv unterstützt, das sich dem individuellen Lernfortschritt anpassen kann, was zu einer bedarfsgerechten Förderung führt (van de Pol et al., 2010). Studien belegen positive Effekte des Scaffoldings auf kognitive Lernendenmerkmale wie den Wissenszuwachs, jedoch werden Einflüsse auf affektive Faktoren nur selten berücksichtigt (Belland et al., 2017). Ein anderer Ansatz, der affektive Lernbedürfnisse adressiert, ist das *kontextbasierte Lernen*. Ziel des Ansatzes ist es, fachliches Wissen mit relevanten Anwendungen der Naturwissenschaften in außerfachlichen Situationen zu verknüpfen und so das Interesse der Lernenden zu steigern (u. a. J. Bennett & Lubben, 2006). Studien zum kontextbasierten Lernen zeigen positive Effekte auf die Motivation und das Interesse der Lernenden, während die Auswirkungen auf kognitive Lernerfolge nicht eindeutig sind (D. Bennett et al., 2016; Ültay & Calik, 2016). Neue Forschungsergebnisse legen nahe, dass verschiedene Lernendengruppen von spezifischen Kontexten unterschiedlich stark profitieren und damit der Einsatz angepasster Kontexte zur Binnendifferenzierung gemäß unterschiedlicher Interessen der Lernenden ermöglicht wird (Güth & van Vorst, 2024).

Fragestellung und Hypothesen

Insgesamt zeigt der aktuelle Forschungsstand noch Forschungslücken hinsichtlich der affektiven Wirksamkeit von Scaffolding und der Auswirkungen von kontextbasiertem Lernen auf kognitive Faktoren. Außerdem wurde auch eine Kombination aus beiden Ansätzen bisher noch nicht betrachtet. Aus diesem Grund fokussiert dieses Forschungsvorhaben folgende Forschungsfrage:

Inwiefern werden die affektiven und kognitiven Faktoren von Lernenden im Chemieunterricht beim Einsatz von…

a) interessensbasierter Binnendifferenzierung,
b) leistungsbasierter Binnendifferenzierung und
c) interessensbasierter und leistungsbasierter Binnendifferenzierung in Kombination

…beeinflusst?

Aus der bereits vorhandenen Literatur lassen sich folgende Hypothesen formulieren:

(1) Leistungsbasierte Binnendifferenzierung durch *Scaffolding* wirkt sich positiv auf kognitive Faktoren der Lernenden aus.
(2) Interessensbasierte Binnendifferenzierung durch *kontextbasiertes Lernen* wirkt sich positiv auf affektive Faktoren der Lernenden aus.

(3) Die Kombination aus leistungs- und interessensbasierter Binnendifferenzierung beeinflusst sowohl die kognitiven als auch die affektiven Faktoren der Lernenden positiv.

Studiendesign und Methode

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurde in Zusammenarbeit mit einer SINUS-Gruppe der QUA-LIS NRW eine vollständig digitalisierte Lerneinheit zum Inhaltsfeld 10: Organische Chemie (Sek I; 10. Klasse) (MSB KLP, 2019) entwickelt. Die leistungsbasierte Binnendifferenzierung wird mithilfe niveauadaptiven Scaffoldings realisiert, die interessensbasierte Binnendifferenzierung mittels der Variation zwischen einem alltäglichen, einem besonderen und einem innerfachlichen Kontext.

Das Lernmaterial wurde in einer quasi-experimentellen Interventionsstudie im Prä-/Post-Design eingesetzt. Die Intervention dauerte etwa 12 Schulstunden á 45 Minuten. Die Lernenden (N = 703) wurden gemäß des in Abb. 1 dargestellten Designs auf drei Interventionsgruppen und eine Kontrollgruppe klassenweise randomisiert verteilt. Lernende der Gruppe *SK* (N = 190) bearbeiteten das vollständige Lernmaterial, in welchem sowohl leistungsbasierte Binnendifferenzierung durch unterschiedlich angebotene Scaffolds als auch eine interessensbasierte Binnendifferenzierung durch das Angebot verschiedener Kontexte realisiert wurden. Das Lernmaterial der Gruppe *S* (N = 170) wurde ausschließlich in einen innerfachlichen Kontext eingebettet, sodass nur eine leistungsbasierte Binnendifferenzierung erfolgte. Umgekehrt wurden Lernenden der Gruppe *K* (N = 205) zur interessensbasierten Binnendifferenzierung unterschiedliche Kontexte angeboten, jedoch ohne Scaffolding. Lernende der Gruppe *KG* (N = 138) stellten die Kontrollgruppe dar und erhielten Materialien ohne eine Form der Binnendifferenzierung.

Gruppe *SK*: **(+) leistungsbasierte Binnendifferenzierung** **(+) interessensbasierter Binnendifferenzierung**	Gruppe *S*: **(+) leistungsbasierte Binnendifferenzierung** (–) interessensbasierte Binnendifferenzierung
Gruppe *K*: (–) leistungsbasierte Binnendifferenzierung **(+) interessensbasierte Binnendifferenzierung**	Kontrollgruppe *KG*: (–) leistungsbasierte Binnendifferenzierung (–) interessensbasierte Binnendifferenzierung

Abbildung 1: 2x2 Design der Interventionsstudie; SK = Scaffolding & Kontexte, K = Kontexte; S = Scafollding, SK = Kontrollgruppe

In den Prä-/Post-Tests wurden folgende kognitive und affektive Variablen erhoben: das Vorwissen in Chemie, das Fachwissen im Bereich der organischen Chemie, das Interesse und Engagement im Fach Chemie sowie das chemiebezogene Selbstkonzept. Außerdem wurden zum Prä-Messzeitpunkt demographische Daten und die (geplante) Kurswahl für die Oberstufe erfasst. Während der Intervention wurden in mehreren Zwischenschritten das situationale Interesse, die Zufriedenheit mit dem Lernmaterial und ein Fachwissenstest erhoben. Im Post-Test wurden außerdem die Usability der Lernumgebung Moodle und des Lernmaterials allgemein sowie die Zufriedenheit allgemein erfasst.

Ergebnisse

Die Analyse der Kontrollvariablen zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen hinsichtlich Geschlecht, Chemienote und Wahl des Chemiekurses. Jedoch gibt es signifikante Unterschiede im Prä-Fachwissen. Gruppe *SK* hat ein signifikant höheres Fachwissen im Prä-Test als die anderen Gruppen ($F(3, 699) = 4.44$, $p = .004$, $\eta^2 = .02$). Auch beim Engagement zeigen sich signifikante Unterschiede im Prä-Test ($F(3, 658) = 2.63$, $p = .049$, $\eta^2 = .01$), wobei die Kontrollgruppe ein höheres Engagement als Gruppe *SK* aufweist. Diese beiden Variablen werden in den folgenden Analysen als Kovariaten berücksichtigt.

Fachwissen

Um das Fachwissen zu erfassen, wurde eine ANOVA durchgeführt, die einen signifikant positiven Haupteffekt der Zeit auf das Fachwissen der Lernenden in allen Interventionsgruppen zeigt ($F(1, 699) = 436.63$, $p < .001$, $\eta^2p = .38$). Aufgrund signifikanter Unterschiede zum Prä-Messzeitpunkt zwischen den Interventionsgruppen wurde anschließend eine ANCOVA durchgeführt. Nach Kontrolle der Kovariaten Fachwissen und Engagement zeigen sich weiterhin signifikante Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen im Post-Fachwissen ($F(3, 656) = 3.36$, $p = 0.02$, $\eta^2 = .02$). Gruppe *K* hat signifikant mehr dazugelernt als Gruppe *SK* ($p = .03$).

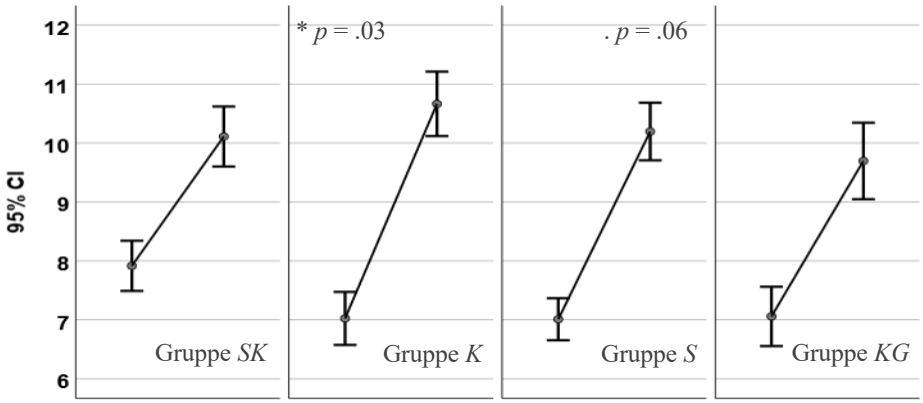


Abbildung 2: Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen zum Post-Messzeitpunkt

Engagement

Das Engagement der Lernenden nimmt in der ANOVA über die Zeit in allen Interventionsgruppen signifikant zu ($F(1, 458) = 12.73$, $p < .001$, $\eta^2p = .03$). Wie beim Fachwissen, wird auch hier eine ANCOVA mit den Kovariaten Fachwissen und Engagement durchgeführt. Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen über die Zeit ($F(3, 457) = 0.44$, $p = .73$, $\eta^2 = .003$).

Situationales Interesse

Das situationale Interesse der Lernenden wurde mittels einer ANOVA mit Messwiederholung erfasst. Die Ergebnisse zeigen einen signifikanten Anstieg im Verlauf der Studie in allen Interventionsgruppen ($F(2, 577) = 4.48$, $p < .004$, $\eta^2p = .023$). Auch hier wurden das Fachwissen und Engagement zum Prä-Messzeitpunkt als Kovariaten einbezogen. Es zeigen sich nur marginal signifikante Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen, $F(3, 577) = 2.22$, $p = .08$, $\eta^2 = .01$). Werden die Messzeitpunkte einzeln betrachtet, ergeben sich jedoch signifikante Unterschiede zu Messzeitpunkt 1 zwischen den Gruppen *SK* & *S* ($p = .04$) sowie zwischen den Gruppen *S* & *KG* ($p = .04$). Gruppe *KG* zeigt das höchste situationale Interesse, Gruppe *S* das niedrigste. Zu den anderen Messzeitpunkten lassen sich nur marginale Unterschiede erkennen. Ein möglicher Grund für das insgesamt gesteigerte situationale Interesse könnte die hohe Attraktivität des Lernmaterials sein. Außerdem könnten die zunehmende Vertrautheit und Kompetenz der Lernenden im Umgang mit dem Lernmaterial eine wichtige Rolle spielen.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass sowohl die kognitiven als auch die affektiven Faktoren der Lernenden in allen Interventionsgruppen über die Zeit hinweg signifikant zunehmen. Jedoch zeigt sich, dass Gruppe *K* nach Kontrolle der Kovariaten am meisten dazulernt und so ein Vorteil der interessensbasierten Binnendifferenzierung durch kontextbasiertes Lernen ersichtlich wird. Im Gegensatz zum Fachwissen weisen das Engagement und das situationale Interesse keine oder nur marginale Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen auf. Demnach müssen vorerst alle drei Hypothesen verworfen werden. Die Studie hebt jedoch die

Bedeutung von attraktivem, digitalem Lernmaterial hervor, das das Lernen von Schülerinnen und Schülern fördert. Dies könnte ein Hinweis dafür sein, weshalb es zunächst keine hypothesenkonformen Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen gibt. Weitere Analysen, darunter Mehrebenenmodelle, werden durchgeführt, um Verzerrungen in der Studie zu reduzieren.

Literatur

Belland, B. R., Walker, A. E., Kim, N. J. & Lefler, M. (2017). Synthesizing Results From Empirical Research on Computer-Based Scaffolding in STEM Education: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, *87*(2), 309–344. https://doi.org/10.3102/0034654316670999

Bennett, D., Power, A., Thomson, C., Mason, B. & Bartleet, B.-L. (2016). Reflection for learning, learning for reflection: Developing Indigenous competencies in higher education. *Journal of University Teaching and Learning Practice*, *13*(2), 99–118. https://doi.org/10.53761/1.13.2.7

Bennett, J. & Lubben, F. (2006). Context-based Chemistry: The Salters approach. *International Journal of Science Education*, *28*(9), 999–1015. https://doi.org/10.1080/09500690600702496

Güth, F. & van Vorst, H. (2024). To choose or not to choose? Effects of choice in authentic context-based learning environments. *European Journal of Psychology of Education*, 1–31. https://doi.org/10.1007/s10212-024-00798-6

MSB KLP. (2019). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen. Chemie* (1. Aufl.). https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/198/g9_ch_klp_%203415_2019_06_23.pdf

Ültay, N. & Calik, M. (2016). A Comparison of Different Teaching Designs of 'Acids and Bases' Subject. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *12*(1), 57–86. https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.1422a

van de Pol, J., Volman, M. & Beishuizen, J. (2010). Scaffolding in Teacher–Student Interaction: A Decade of Research. *Educational Psychology Review*, *22*(3), 271–296. https://doi.org/10.1007/s10648-010-9127-6

Wagner, L. (2016). Adaptive und evidenzbasierte Förderung im Unterricht - Wozu braucht man das? *ZEIF Fachportal Wissenschaft - Praxis*.

Christoph Bley[1]
Volker Woest[1]

[1]Friedrich-Schiller-Universität Jena

Tablet oder Textbook? Evaluation einer multimedialen Lernumgebung zur Aldolreaktion

Problemstellung

Viele Studierende sehen in der organischen Chemie die zentrale Herausforderung innerhalb ihres Studiums (Bhattacharyya, Bodner, 2005). Das Teilgebiet kennzeichnet sich durch eine Vielzahl von Schwierigkeiten. So zum Beispiel durch hohe Abstraktheit der Inhalte sowie die Tatsache, dass beim Lösen von Problemen stets verschiedene Konzepte gegeneinander abgewogen werden müssen. Empirisch evident ist, dass Studierende bei mechanistischen Problemen häufig auf inadäquate Lösungsstrategien zurückgreifen. Besonders Anfänger*innen gelingt es selten, die strukturellen Eigenschaften eines Moleküls in Gänze deuten und basierend darauf eine begründete Voraussage für den Ausgang einer chemischen Reaktion zu formulieren (Graulich, Bhattacharyya, 2017). In den letzten Jahren sind unter dieser Problemstellung multimediale Lernumgebungen zunehmend in den Fokus der fachdidaktischen Forschung gerückt.

Theoretischer Hintergrund

Ausgangspunkt für das Design von multimedialen Lernumgebungen ist MAYERS Cognitive Theory of Multimedia Learning (Mayer, 2014). Die Theorie ist ihrerseits tief in der Cognitive Load Theory (Sweller, van Merrienboer, Paas, 1998) verwurzelt und übernimmt die Annahme, dass das Arbeitsgedächtnis als zentrale Instanz für das Lernen in seiner Kapazität streng begrenzt ist. In Anlehnung an PAIVIO (1969) postuliert die CTML weiterhin eine Zweiteilung des menschlichen Arbeitsgedächtnisses in einen Bild- und einen Sprachkanal. Die Kanäle verarbeiten die jeweilige Art von Informationen und liefern ein visuelles sowie ein auditives mentales Modell. Beide Modelle werden gemeinsam mit dem Vorwissen des Langzeitgedächtnisses zu einem höherwertigen mentalen Modell zum Problemlösen integriert.

Design

Als Lerngegenstand diente die Aldolreaktion, da ihr Mechanismus ein vergleichsweise komplexes Problem darstellt, allerdings in wenigen Reaktionsschritten übersichtlich dargestellt werden kann. Neben dem prominenten Multimedia Principle wurden bei der Erstellung der multimedialen Lernumgebung ebenso das Spatial Contiguity Principle, das Signalling Principle, das Redundancy Principle, das Segmentation Principle sowie das Worked Example Principle umgesetzt (Mayer, Fiorella 2014). Für die Makrostruktur der Lernumgebung wurde weiterhin das 4C/ID-Modell herangezogen (van Merrienboer, 2020). Schließlich erfolgte ein inhaltsgleicher Übertrag auf das monomediale Format als Treatment der Kontrollgruppe.

Forschungsfragen und Studiendesign

Im visuell ohnehin höchst anspruchsvollen Teilgebiet der organischen Chemie nehmen Lehrbücher und Skripte nach wie vor eine sehr prominente Stellung ein. Durch die zahlreichen visuellen Informationen kann der Bildkanal laut CTML leicht überladen, was den Lernprozess beeinträchtigen kann (Mayer, 2014). In Reaktion darauf liefert die CTML zahlreiche Gestal-

tungskriterien für multimediale Lernumgebungen, die die besondere Architektur des Arbeitsgedächtnis und damit das Lernen unterstützen können. Sie alle zielen darauf ab, kognitive Ressourcen bei der Verarbeitung einzusparen, welche dann für die Konstruktion elaborierterer und leistungsfähigerer mentaler Modelle eingesetzt werden können. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden daher folgende Forschungsfragen untersucht:

FF1: Wie bewerten Studierende die Gestaltungskriterien der CTML in Abhängigkeit vom Treatment?
FF2: Unterscheiden sich Kontroll- und Experimentalgruppe hinsichtlich ihrer Transferleistung?
FF3: Unterscheiden sich Kontroll- und Experimentalgruppe hinsichtlich ihrer Argumentationsfähigkeit?

Ergebnisse
Die Studie wurde über einen Zeitraum von 2 Semestern mit Studierenden des Nebenfachs durchgeführt (N = 43). Die Teilnehmenden waren Studierende des Lehramts, der Ernährungswissenschaften sowie der Biochemie, die laut Musterstudienplan alle das gleiche Modul besuchten. Die Studierenden hatten zum Zeitpunkt der Evaluation keinerlei Vorwissen zur Aldolreaktion, allerdings zum für Carbonylverbindungen typischen Additions-Eliminierungs-Mechanismus. Via Fragebogen wurden die Studierenden gefragt, inwieweit sie die o.g. Gesaltungskriterien im jeweiligen Treatment auf einer 6-stufigen Likert-Skala bewerten.

	α	***M (SD)***		***t (43)***	***p***
		KG	EG		
Spatial Contiguity	0.89	4.72 *(0.67)*	3.67 *(1.39)*	3.115	< 0.001
Signaling	0.84	5.50 *(0.38)*	4.37 *(1.20)*	4.212	< 0.001
Redundancy	0.83	5.34 *(0.41)*	4.79 *(1.13)*	2.103	0.004
Segmentation	0.81	5.33 *(0.47)*	4.46 *(1.21)*	3.140	0.001
Worked Example	0.84	5.10 *(0.70)*	4.42 *(1.38)*	2.067	< 0.001

Tabelle 1: Ergebnisse t-Test für unabhängige Stichproben zur Bewertung der Gestaltungskriterien

Zur Beantwortung der **FF2** wurde mit dem Fragebogen von Klepsch et al. (2017) zunächst der Cognitive Load gemessen (Abb. 3). Die Transferfähigkeit wurde mit Hilfe eines Post-Tests gemessen, der aus 3 unbekannten Aufgaben zur Aldolreaktion bestand. Tab. 2 zeigt den Score für Kontroll- und Experimentalgruppe sowie den Cognitive Load.

	M (SD)		***p***
	KG	EG	
Cognitive Load			
ICL	3.57 *(1.39)*	4.42 *(1.73)*	0.089
GCL	6.51 *(0.49)*	5.44 *(1.47)*	0.004
ECL	2.21 *(0.74)*	3.47 *(1.99)*	0.012
Score (Post-Test)	4.57 *(2.01)*	7.45 *(1.89)*	< 0.001

Tabelle 2: Ergebnisse der Cognitive Load-Messung und summierte Scores des Post-Tests

Schließlich wurden die Teilnehmenden in einem Interview gebeten, die im Post-Test gegebenen Antworten zu verbalisieren. Dazu wurden sie möglichst erzählgenerierend aufgefordert, zunächst die Umlagerung von Atomen und Elektronen zu beschreiben und schließlich auch zu erklären. Die Interviews wurden transkribiert und mit Hilfe von MAXQDA nach dem Framework von Toulmin codiert, dem zufolge eine Argumentation aus Claim, Evidence und Reasoning besteht (Lieber, Graulich, 2022). Die vorläufigen Ergebnisse (N = 27) zeigt Tab. 3.

	M (SD)		***t (27)***	***p***
	KG	EG		
Claim	10.07 *(3.08)*	11.23 *(2.01)*	- 1.168	0.255
Evidence	12.29 *(3.25)*	7.00 *(2.42)*	4.824	< 0.001
Claim/Evidence	0.87 *(0.33)*	1.75 *(0.53)*	- 5.144	< 0.001

Tabelle 3: Ergebnisse der Analyse der Argumentationsstrukturen

Diskussion

Die Ergebnisse zur **FF1** zeigen, dass Kontroll- und Experimentalgruppe die Gestaltungskriterien in beiden Treatments grundsätzlich gut bewerteten. Die Bewertung fällt allerdings für alle Kriterien statistisch signifikant zugunsten der Experimentalgruppe aus, wenngleich die Standardabweichung in der Experimentalgruppe durchweg größer ist. Dies legt nahe, dass die Kriterien zwar auf monomediale Lernumgebungen angewendet werden können, in multimedialen Lernumgebungen allerdings effektiver sind. Die Ergebnisse der Cognitive Load-Messung sind konsistent mit den Vorhersagen der CTML und zeigt für den ECL und GCL signifikante Vorteile zugunsten der Experimentalgruppe. Einzig im ICL konnte kein signifikanter Unterschied gefunden werden, was insofern erwartungsgemäß war, als dass für beide Gruppen wegen der gleichen gestellten Aufgaben kein Unterschied zu erwarten war. Diese Befunde stehen im Einklang mit den Ergebnissen des Post-Tests: Die Experimentalgruppe erzielte hierbei signifikant bessere Scores als die Kontrollgruppe. Insofern kann für **FF2** festgehalten werden, dass die Befunde konform mit den Vorhersagen der CTML sind und dass das multimediale Treatment ursächlich für eine geringere kognitive Belastung und mithin für eine höhere Transferleistung ist. Dies wird gestützt durch die Ergebnisse der Analyse der Argumentationsstrukturen. Zwar ließen sich keine signifikanten Unterschiede in den gegebenen Claims finden, allerdings gaben die Teilnehmenden der Experimentalgruppe signifikant mehr Evidence, um ihre Behauptungen zu stützen. Ebenso zeigt die Experimentalgruppe einen geringeren Claim/Evidence-Wert, was auf ein multiperspektivisches Argumentieren schließen lässt. Der höhere Wert der Kontrollgruppe kann hingegen mit raten oder bloßem Memorieren gedeutet werden, was im Einklang mit Studien mit o.g. Studien steht. Mithin lässt sich auch **FF3** zugunsten der Experimentalgruppe bejahen.

Fazit

Der vorliegende Beitrag zeigt, dass die CTML ein vielversprechendes Instrument zur Planung und Gestaltung von multimedialen Lernumgebungen in der organischen Chemie darstellt. Im Kontext der untersuchten Forschungsfragen können auf ihrer Grundlage geplante Lernumgebungen ferner eine wertvolle Hilfe beim Erwerb adäquater Lösungsstrategien für Anfänger*innen sein.

Literatur

Bhattacharyya G., Bodner G. M. (2005). "It Gets Me to the Product": How Students Propose Organic Mechanisms. J. Chem. Educ., 82, 9, 1402

Graulich N., Bhattacharyya G. (2017). Investigating students' similarity judgments in organic chemistry., Chem. Educ. Res. Pract.,18, 774-784

Klepsch M., Schmitz F., Seufert T. (2017). Development and Validation of Two Instuments Measuring Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load., Front. Psychol., 8, 1-18.

Lieber, L., Graulich N. (2022). Investigating students' argumentation when judging the plausibility of alternative reaction pathways in organic chemistry., Chem. Educ. Res. Pract., 23, 38-54.

Mayer, R., Fiorella L (2014). Principles for Reducing Extraneous Processing in Multimedia Learning: Coherence, Signaling, Redundancy, Spatial Contiguity, and Temporal Contiguity Principles. In R. Mayer (Eds.), The Cambridge Handbook of Multimedia Learning. Cambridge: Cambridge University Press, 279-315

Mayer, R. (2014). Cognitive Theory of Multimedia Learning. In R. Mayer (Eds.), The Cambridge Handbook of Multimedia Learning. Cambridge: Cambridge University Press, 43 – 71

Paivio A. (1969). Mental imagery in associative learning and memory. Psychological Review, 76(3), 241–263

Sweller J., van Merrienboer J. J. G., Paas F. G. W. C. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. Educational Psychology Review, 10(3), 251–296

van Merriënboer, J. J. G. (2020). Das Vier-Komponenten Instructional Design (4C/ID) Modell. In: Niegemann, H., Weinberger, A. (Eds.), Handbuch Bildungstechnologie. Springer, Berlin, Heidelberg,153–170.

David Keller[1] [1]Universität Potsdam
Jolanda Hermanns[1] [1]Universität Potsdam

Lerntagebuchstudie zur Evaluation einer digitalen Lernumgebung der Chemie

Einleitung

Die Studienabbruchquoten im Studiengang Bachelor Chemie lagen im Jahr 2016/17 bei über 50 %. Eine Studie zu Abbruchmotiven zeigt, dass die Studierenden das universitäre Niveau im abstrakt-mathematischen Bereich als hoch oder zu hoch empfinden. Daneben berichten die Studierenden v.a. von ihrem subjektiven Stressempfinden. Das Vorwissen spielt v.a. in Themenbereiche, die die Studierenden nicht aus ihrer Schulzeit bereits kennen, eine Rolle beim Stresserleben. Studierende, die Wissenslücken aufholen müssen, beklagen den erhöhten Zeitaufwand, den sie hierfür aufwenden müssen (Schwedler, 2017). Um diesen Zeitaufwand zu minimieren und um geeignete Übungsmaterialien zur Verfügung zu stellen, wurde eine digitale Lernumgebung zu den Themen der Studieneingangsphase entwickelt (Keller, 2025). Diese ist als ad-on zu bestehenden Lehrveranstaltungen zu verstehen und enthält Selbsttests sowie Trainingsmaterialien und Lernspielen zu den Themen Periodensystem der Elemente, chemische Bindung, chemische Formeln sowie chemische Reaktionen. In der Lernumgebung sind auch ein PSE sowie ein Fachbegriffsglossar enthalten. Zielgruppe für diese digitale Lernumgebung sind Studierende der ersten drei Semestern aus den Studiengängen Chemie, Lehramt Chemie, Biowissenschaften, Ernährungswissenschaften, und Geoökologie. Die Studierenden können mit Hilfe der Lernumgebung ihre chemischen Fähigkeiten selbstständig überprüfen und trainieren. Im Sinne eines selbstgesteuerten Lernens (Puteh & Ibrahim, 2010) können die Studierenden das Ziel eigenständig setzen, für sie geeignete Lernstrategien und Lerntaktiken auswählen und somit Lernhindernisse oder Ablenkungen überwinden.

Die Evaluation der digitalen Lernumgebung

Die Evaluation beinhaltete sowohl die Evaluation einzelner Elemente als auch der gesamten Lernumgebung. Es wurden Expertenratings zu den Fachbegriffen (zur Vorbereitung des Fachbegriffsglossars) und zu den Trainingsmaterialien durchgeführt. Die Fachwissensaufgaben wurden in Lehrveranstaltungen oder begleitend dazu getestet (Keller & Hermanns, 2024). Eine Interviewstudie wurde zu den Anwendungsaufgaben der Lernumgebung durchgeführt. Die Evaluation der gesamten Lernumgebung besteht aus drei Elementen: Die Erwartungen der Studierenden an die Lernumgebung sowie die Erfahrungen der Studierenden mit dieser und die Lerntagebuchstudie, die hier beschrieben und diskutiert wird.

Lerntagebuchstudien als Evaluationsinstrument

Tagebücher können in der Forschung in Bezug auf Lernen eingesetzt werden (Rausch, 2014). Alle Lerntagebücher sammeln Daten, welche die Probanden selbständig aufzeichnen wobei hierbei Anleitungen, Zeit und Bedingungen vom Forschenden vorgegeben werden (Laireiter & Thiele, 1995). Lerntagebuchstudien bieten sich an, wenn man Phänomene aufzeichnen möchte, die sonst schwer beobachtbar sind oder für eine Beobachtung nicht zugänglich sind, wie z.B. subjektive und interne Prozesse (Rausch, 2014). Da die Teilnahme an einer Lerntagebuchstudie zeitaufwendig ist, besteht die Gefahr, dass die Studierenden sich anders

verhalten oder die Studie gar abbrechen (Brandstätter, 2007). Zum Aufzeichnen der Daten können diese sowohl aufgeschrieben werden (*paper-and-pencil-diaries*), eventuell unter Nutzung einer elektronischen Erinnerung, oder aufgezeichnet werden mit Hilfe mobiler Endgeräte wie z.B. Smartphones. Als Variante geschieht diese Aufzeichnung internetbasiert, wobei hier die Verfügbarkeit einer stabilen Internetverbindung wichtig ist (Rausch, 2014). In der hier diskutierten Studie wird ein sog. *Work Task Diary* verwendet: die Studierenden bearbeiten Aufgaben und idealerweise lernen sie dabei. Andere Formen für Lerntagebücher sind das *Social Interaction Diary,* das *Problem Diary* sowie das *Interruption Diary* (Rausch, 2014).
Lerntagebücher können allgemein zur Unterstützung von Lernprozessen (Hascher & Kittinger, 2014; Kivimäki, 2023) aber auch zur Auseinandersetzung mit der Metakognition von Studierenden (Tiarsiwi, 2021), zur Entwicklung von metakognitiven Strategien (Clipa, Ignat & Stanciu, 2012), zum *Scaffolding* (Engin, 2011), oder zur Evaluation der eigenen Lehre (Kanter, 2020) verwendet werden.

Die Lerntagebuchstudie zur digitalen Lernumgebung der Chemie
In der Lerntagebuchstudie wurden sowohl die gesamte digitale Lernumgebung als auch einzelne Bestandteile evaluiert. Die gewonnenen Erkenntnisse sollten dann zur Weiterentwicklung der Lernumgebung genutzt werden. Hierbei sind v.a. die Einblicke im Umgang der Studierenden mit der Lernumgebung von Interesse. Im Wintersemester 2023/24 konnten 10 Lehramtsstudierende aus der Lehrveranstaltung „Organische Chemie 1 für Lehramtsstudierende“ für die Studie gewonnen werden. Die folgende Tabelle (Tabelle 1) gibt eine Übersicht über die einzelnen Bestandteile der Studie:

Woche 1	Woche 2	Woche 3
Einführungsvideo Erkunden der Lernumgebung Erster Eindruck von der Lernumgebung	Zwei Anwendungsaufgaben zum PSE Trainingsmaterialien und Lernspiele ausprobieren Reflexion zum eigenen Lernen	Zwei Anwendungsaufgaben zur chem. Bindung Trainingsmaterialien und Lernspiele ausprobieren Reflexion zum eigenen Lernen Abschließender Eindruck von der Lernumgebung
Fachwissenstest zum PSE Reflexion zum eigenen Lernen	Fachwissenstest zur chemischen Bindung Reflexion zum eigenen Lernen	--

Tabelle 1. Bestandteile der Lerntagebuchstudie

Die Studierenden hatten insgesamt drei Wochen Zeit, um die Studie selbstständig durchzuführen. Diese Zeit wurde durch das Vorstrukturieren in fünf Einheiten bereits organisiert; die Studierenden konnten jedoch selbst entscheiden, wann sie die jeweilige Einheit durchführen wollten. Es wurde jedoch empfohlen nicht zwei Einheiten am selben Tag zu absolvieren. Die Lerntagebuchstudie wurde mit Hilfe einer dafür gedruckten Mappe (siehe Abbildung 1) im *paper-pencil* Format durchgeführt. Um die Anzahl zu testenden Aufgaben

zu erhöhen, gab es zwei Varianten (A und B). Die Studierenden haben 40 Euro für die investierte Zeit erhalten.

Die Studierenden schätzen die beiden Fachwissenstests (zum PSE und zur chemischen Bindung) als für sie passend ein. Die Umsetzung der Tests wurde ebenfalls sehr gut bewertet. Eine gute Passung wurde auch für die Verknüpfung zwischen Fachwissenstests und Anwendungsaufgaben bescheinigt. Auch hier wurde die Umsetzung im Bereich gut – sehr gut bewertet. Obwohl der Schwierigkeitsgrad der Aufgaben nicht gut zum Lernstand der Studierenden gepasst hat (leider konnten nur Studierenden des dritten Semesters für die Studie gewonnen werden), wurden die Angebote der Lernumgebung als Lernmöglichkeiten bewertet. Eine Stärke der Lernumgebung liegt im Anzeigen der Anwendung von Fachwissen, welches eines der zentralen Ziele der Entwicklung war.

Als Fazit lässt sich feststellen, dass die digitale Lernumgebung in der jetzigen Fassung für das selbstständige Erarbeiten grundlegender fachlichen Fähigkeiten und Kompetenzen als geeignet eingeschätzt wird, weshalb eine größere Feldstudie in Planung ist.

Abbildung 1. Die Mappe zur Lerntagebuchstudie

Literatur

Brandstätter, H. (2007). The Time Sampling Diary (TSD) of emotional experience in everyday life situations. In J. A. Coan & J. J. B. Allen (Eds.), *Handbook of emotion elicitation and assessment,* Oxford, UK: Oxford University Press, 318-331.

Clipa, O., Ignata, A.-A., Stanciub, M. (2012). Leaning diary as a tool for metacognitive strategies development, *Procedia - Social and Behavioral Sciences, 33,* 905 – 909.

Engin, M. (2011). Research Diary: A Tool for Scaffolding. *Int. J. Qual. Methods, 10* (3) 296-306.

Hascher, T., Kittinger, C. (2014). Learning processes in student teaching: analyses from a study using learning diaries. In. K.-H. Arnold, A. Gröschner & T. Hascher (Hrsg.), *Schulpraktika in der Lehrerbildung*, Münster, Deutschland: Waxmann, 221-235.

Kanter, H. (2020). Dem (eigenen) Lehren ‚auf die Spur' kommen: das Tagebuch als Erhebungsmethode im Rahmen einer praxeologischen Erforschung von Lehre. *ZQF, 21* (1) 121–138.

Keller, D., Hermanns, J. (2024). Development of a self-test for undergraduate chemistry students: how do students solve tasks on basic content knowledge? *Chem. Teach. Int,. 6* (1), 65-75.

Keller, D. (2025). Entwicklung, Erprobung und Evaluation einer digitalen Lernumgebung zur chemischen Bindung und Formelsprache, Dissertation, Universität Potsdam, eingereicht.

Kivimäki, V. (2023). Structured learning diary and epistemic beliefs predict academic achievement in higher education. *Front. Educ.* 8:1153618.

Laireiter, A.-R., Thiele, C. (1995). Psychologische Soziodiagnostik: Tagebuchverfahren zur Erfassung sozialer Beziehungen, sozialer Interaktionen und sozialer Unterstützung. *Diagnostica, 16* (3), 125–151.

Puteh, M., Ibrahim, M. (2010). The Usage of Self-Regulated Learning Strategies among Form Four Students in the Mathematical Problem-Solving Context. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, *8*, 446-452.

Rausch, A. (2014). Using diaries in research on work and learning. In. C. Harteis, A. Rausch & J. Seifried (Eds.), *Discourses on Professional Learning*, Heidelberg, Deutschland: Springer Verlag, 341-366.

Schwedler, S. (2017). Was überfordert Studierende zu Studienbeginn? Eine qualitative Analyse zur Ausprägung des Stresserlebens und Ursachen der Fehlbeanspruchung im Studium der Chemie und chemienaher Fächer. *ZfDN*, *23*, 165-179.

Studis-online (2022). https://www.studis-online.de/Studieren/art-2683-studienabbruchstudie-2022.php (Tag des Zugriffs: 18.10.24).

Tiarsiwi, F. (2021). The use of learners' diaries: does it work to engage students' metacognition in learning if clauses? *ELLTER-J*, *2* (2), 36-25.

Stefan Kraus[1]
Thomas Trefzger[1]

[1]Universität Würzburg

PUMA : Optiklabor - Eine webbasierte AR-Simulation für die Sekundarstufe 1

Ausgangssituation

Experimente sind ein fester und wichtiger Bestandteil des Physikunterrichts. Das zunehmende Angebot von Schülerexperimentiersets erleichtert es Lehrkräften, Experimente durch Lernende durchführen zu lassen. So stehen ausgesuchte Materialien mitsamt Anleitungen zur Durchführung in Kleingruppen jederzeit ohne großen Aufwand zur Verfügung. Diesen Möglichkeiten steht in der Realität allerdings oft das geringe Budget zur Ausstattung der Physiksammlung entgegen. So werden oft nur die wichtigsten Experimentiersets beschafft, die Mitgabe nach Hause erscheint bei Stückpreisen von einigen hundert Euro unrealistisch. (Schürmann, 2020)

Neben dem Kostenfaktor spielt im Unterricht oftmals auch Zeit eine entscheidende Rolle. Die Bereitstellung und das Aufräumen der Gerätschaften erfordert Ressourcen, die sich durch ein Demonstrationsexperiment einsparen lassen. Auch dies reduziert die Anzahl durchgeführter Schülerexperimente.

Alternativ gibt es Bildschirmsimulationen, die einen bestimmten Sachverhalt abdecken. Der Abstraktionsgrad ist allerdings häufig so hoch, dass den Jugendlichen der Transfer auf die Realität schwerfällt. Zudem lassen sich meist nur wenige Dimensionen des Experiments steuern, was den Immersionsgrad weiter senkt.

Konzept

Die hier vorgestellte Applikation versucht eine weitere Art der Simulation bereit zu stellen, welche näher am echten Experiment sein soll, ohne dessen Nachteile zu vorzuweisen. Ziel dabei soll keinesfalls sein, das echte Experiment zu ersetzen. Es geht darum, neue Gelegenheiten des Experimentierens zu erschließen.

Kernidee ist das Schaffen haptischer Erfahrung trotz der Durchführung eines rein digitalen Experiments. Hierbei soll keine größere Einarbeitung notwendig sein, die mit der Bedienung einer Software und ihrer Eigenheiten einhergehen. Dadurch konzentrieren sich die Schülerinnen und Schüler auf den Versuch als solches. Ablenkungen, die mit dem eigentlichen Experiment nichts zu tun haben, werden vermieden. Die Simulation umfasst die Physik hinter dem Experiment, so dass die Schülerinnen und Schüler nicht auf einen bestimmten Versuchsaufbau beschränkt sind. Dies lädt zum freien Experimentieren und Ausprobieren ein. Größtmöglicher Immersionsgrad wird durch den Einsatz von Augmented Reality (AR) erreicht. Die einzig notwendige Hardware beschränkt sich auf „Marker“ zum Preis eines Blattes Papier. Die Applikation läuft plattformunabhängig auf Smartphones und Tablet-PCs aller Betriebssysteme. Sie ist aus dem Stegreif einsetzbar und steht sowohl in der Schule wie auch im häuslichen Umfeld kostenlos zur Verfügung. Ein weiterer Mehrwert des digitalen Experiments ist die Möglichkeit, Grenzen der Physik zu verschieben. Im Gegensatz zur Realität kann hier während des Versuchs beispielsweise die Brennweite einer Linse oder der Brechungsindex eines Wasserbeckens beliebig im realistischen, wie auch im unrealistischen Bereich angepasst werden.

Die Applikation
Die Schülerinnen und Schüler erhalten Kärtchen (sogenannte „Marker“), die von einer webbasierten Applikation erkannt werden. Darüber blendet die App Gegenstände wie Laser, Linsen etc. ein. Diese interagieren miteinander, so dass das Experiment rein virtuell stattfindet. Dadurch, dass die Marker auf dem Tisch hin- und hergeschoben werden können, erfährt die Nutzung eine haptische Komponente, die den Immersionsgrad immens fördert. Je nach Objekt werden Buttons eingeblendet, die die Manipulation weiterer Parameter ermöglichen.

Elemente
Zum Experimentieren wurde eine Reihe von ausdruckbaren Markern entwickelt, auf denen Gegenstände eingeblendet werden. Der aktuelle Entwicklungsstand umfasst folgende Marker:
Erste völlig ungefährliche Schattenversuche lassen sich mit **Kerzen** durchführen, deren Helligkeit und Flammenfarbe während des Versuchs einstellbar sind. Die eingestellte Flammenfarbe verknüpft zugleich interdisziplinäre Kenntnisse der aus der Chemie charakteristischen Flammenfärbung durch bestimmte Elemente.
Sonnenauf-, Sonnenuntergang, **Mond**phasen, Sonnen- und Mondfinsternis sind Beispiele aus der Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler, die eine willkommene Anwendung des Gelernten aus dem Bereich Lichtquellen und Schatten anbieten. Die Animation des Mondes um die Erde kann pausiert werden, um die Phänomene genauer zu analysieren. Die Größenverhältnisse sind nicht maßstabsgetreu, ein solcher Modus als später aber denkbar.
Der **Zylinder** stellt ein Hindernis für Schattenexperimente mit ein oder mehreren Kerzen und deren Kern- und Halbschatten dar.
Auf dem **Schirm** werden beleuchtete und verschattete Bereiche sichtbar. Für viele Schülerinnen und Schüler überraschend sind dabei die Halbschatten bei Versuchen mit Kerzen verschiedener Farben.
Grundversuche der geometrischen Strahlenoptik benötigten einen **Laser**strahl. Dieser ist in dieser Simulation auch ohne Nebel durchgehend sichtbar. Es lassen sich ein, drei oder fünf parallele Laserstrahlen einblenden. Die Laserstrahlen können in ihrer Farbe verändert werden. Zusätzlich steht weißes Licht kontinuierlichen Spektrums zur Auswahl.
Ebenso steht ein einfacher **Spiegel** bereit, der an beliebigen Stellen in den Strahlenverlauf positioniert werden kann. Vorgesehen ist die Einblendung von Einfallslot und Winkelscheibe.
Ebene Flächen erleichtern den Einstieg in die Lichtbrechung, bevor es an komplexere Systeme wie Linsen geht. In der Grundkonfiguration handelt es sich hierbei um einen **Glasquader**, wobei dessen Materialeigenschaften verändert werden können. Ebenso kann beeinflusst werden, ob sowohl Brechung als auch Reflexion angezeigt werden sollen oder nur eins dieser Phänomene. Die Anzeige des Einfallslots sowie eine virtuelle Winkelscheibe sind in Planung.
Auch eine **Sammel- und Zerstreuungslinse** liegen dem virtuellen Experimentierkasten bei. Wie bereits beschrieben, lässt sich die Brennweite während des Versuchs verändern.
Neben dem Quader stellt das **Prisma** ein interessantes Objekt zur Strahlmanipulation dar. Eine unterschiedliche Brechung je nach Wellenlänge des Einfallsstrahls ist in Planung.
Die meisten Experimente im Schulkontext betrachten das Verhalten eines Lichtstrahls von Luft kommend in einen Körper höherer optischer Dichte. Ein **Wasserbecken** mit einer **Luftlinse** dreht dies um und erzeugt kognitive Konflikte, die zu einer weiteren Vertiefung des physikalischen Verständnisses führen sollen.
Eine weitere lebensnahe Anwendung des Gelernten ist die Abbildung im **Auge**. Ein Marker stellt ein halbes Auge dar, der andere Marker einen kleinen Baum, der zusätzlich ins Auge projiziert wird. Des Weiteren lässt sich eine Fehlsichtigkeit simulieren, die den Augapfel

verlängert oder verkürzt. Durch eine zuschaltbare Brille und variabel einstellbare Brennweite der Brille können die Schülerinnen und Schüler die Fehlsichtigkeit korrigieren und die Projektionsebene wieder auf die Netzhaut legen.

Übungsaufgaben
Die Durchführung größerer Experimente mit Messreihen und dem Erlernen ausführlicher Dokumentation ist nicht der Anspruch dieser spontan einsetzbaren Simulation. Es wurden aber 12 Übungsaufgaben in Form von Karten entwickelt, auf deren Vorderseite eine Kurzanleitung und auf der Rückseite Lösungshinweise gegeben sind. Über den aufgedruckten QR-Code gelangt man zur WebAR-Applikation. Die benötigten Marker sind leicht erkennbar. Die Karten können digital oder ausgedruckt verwendet werden. Die Themen reichen dabei von Schatten über die Anwendung bei Mondphasen, bis hin zur Fehlsichtigkeit des Auges.

Studie
Die Entwicklung des digitalen Schülerexperimentierkastens erfolgt nach dem Schema des Design-Based-Research (Reinmann, 2005). Um wissenschaftlich fundierte Daten zu erhalten, erfolgt eine Erprobung in 8. Klassen des bayerischen Gymnasiums und 7. & 8. Klassen der bayerischen Realschule (je nach Zweigwahl) und begleitet das dort im Lehrplan verankerte Thema Optik. Die Studie wurde durch das Bayerische Staatsministerium für Unterricht und Kultus genehmigt und beforscht sowohl die Erfahrungen der Lehrkräfte, wie auch der Lernenden. Bei den Jugendlichen wird zudem der Einfluss auf affektive Faktoren und Schülervorstellungen beleuchtet. Die gewonnenen Kenntnisse werden in zwei Iterationen zur Weiterentwicklung der Materialien genutzt. (Kraus, Trefzger, 2024)

Kontext: PUMA
Der Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik der Universität Würzburg unter Prof. Dr. Thomas Trefzger widmet sich in mehreren Projekten der Augmentierung von Physikunterricht. (Frank, Kraus, Kreikenbohm, Schwanke, Stolzenberger, Trefzger, 2024) Dabei steht der Einfluss von Augmented Reality auf die Lernenden im Vordergrund. So wurden neben dem Optiklabor auch ein Magnetlabor (Schwanke, Kreikenbohm, Trefzger, 2024) und ein Spannungslabor (Stolzenberger, Frank, Trefzger, 2024) entwickelt, die sich bereits in der Datenauswertung befinden. Bei diesen Projekten wurden native Applikationen mittels Unity implementiert, die Realexperimente graphisch und mit Zusatzinformationen unterstützen.

Ausblick
Im September 2024 steht die Finalisierung der Implementierungsarbeiten an WebApp und Webplattform sowie das Angebot von Lehrkräftefortbildungen an. Dabei soll nicht nur der Dialog mit Lehrkräften gesucht und das Optiklabor bekannt gemacht, sondern auch Studienteilnehmerinnen und Studienteilnehmer akquiriert werden. Im gesamten Schuljahr 2024/25 haben die Lehrkräfte die Möglichkeit, mit ihren Klassen an der Studie mitzumachen. Dabei zeichnen sich curricular bedingt zwei Phasen ab: ab Januar und ab Juni 2025, je nachdem, ob das Thema Optik als zweites oder drittes Teilgebiet gewählt wurde. Ab August 2025 werden die Daten ausgewertet und fließen sowohl in die zugehörige Dissertation wie auch in die Überarbeitung der Materialien, um diese schließlich in optimierter Form öffentlich zur Verfügung stellen zu können.

Literatur

Frank, F., Kraus, S., Kreikenbohm, A., Schwanke, H. Stolzenberger, C. Trefzger, T. (2024). Das Projekt PUMA (Physikunterricht Mit Augmentierung). In: Beiträge zur Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) in Hannover 2023. S. 277-279. https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1407/1605 (letzter Zugriff 16.10.2024)

Kraus, S., Trefzger, T. (2024). Optiklabor – eine WebAR-Anwendung zur Unterstützung der Optiklehre. In: Vorst, H., Frühe naturwissenschaftliche Bildung: Tagungsband der 50. Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDCP) 2023. 865-868. https://gdcp-ev.de/tagungsbaende/tagungsband-2023-band-43 (letzter Zugriff 15.10.2024)

Reinmann, Gabi (2005). Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research-Ansatz in der Lehr-Lernforschung. In: Unterrichtswissenschaft 33, 52-69. https://doi.org/10.25656/01:5787

Schwanke, H. Kreikenbohm, A., Trefzger T. (2024). Ein AR-Lehr-Lern-Labor zum Themengebiet (Elektro-) Magnetismus in der Sekundarstufe I. In: Beiträge zur Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) in Hannover 2023. 309-312. https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1407/1605 (letzter Zugriff 16.10.2024)

Schürmann, Patrick (2020). Experimente zur optischen Interferenz aus dem 3D-Drucker. Wiesbaden: Springer-Spektrum, 1. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-28894-5

Stolzenberger, C., Frank, F., Trefzger, T. (2024). Theorie trifft Realexperiment - Stromkreise verstehen mit der AR-App "PUMA : Spannungslabor". https://doi.org/10.18420/avril2024_01

Dennis Dietz[1]
Sophie Rathmann[1]
Claus Bolte[1]

[1]Freie Universität Berlin

Digitale Kompetenzen Studierender zur Online-Informationsrecherche

1. Ausgangspunkt und Theorie

Die zielgerichtete Recherche von Informationen im Internet und deren Glaubwürdigkeitseinschätzung stellen zentrale zu erwerbende Kompetenzen im Lehramtsstudium dar (u.a. Becker et al., 2020). Da es bisher kaum Untersuchungen dazu gibt, inwieweit Studierende diese sowohl im DiKoLAN (Akronym für: Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften; Becker et al., 2020) als auch im DigCompEdu (Akronym für: Digital Competence Framework for Educators; Redecker, 2017) beschriebenen Kompetenzen im Laufe ihres Studiums erwerben, möchten wir uns dieser Forschungslücke zuwenden.

Grundsätzlich nutzen Menschen Heuristiken, um die Glaubwürdigkeit von Informationen im Internet zu beurteilen (u.a. Metzger et al., 2010; Dietz et al., 2024). Unter Heuristiken werden zeit-ökonomische Strategien, bspw. das Betrachten der Ästhetik einer Webseite, verstanden (für einen detaillierten Überblick über Heuristiken s. Bolte et al., 2024; Dietz et al., 2024; Dietz & Bolte, im Druck).

Darüber hinaus bedienen sich professionelle Faktenchecker besonderer Strategien, wie dem „click-restraint“ (dem Widerstehen des Impulses die ersten Webseiten nach einer Suchanfrage aufzurufen) und dem „lateral reading“ (dem gleichzeitigen Öffnen mehrerer Webseiten zur gezielten Überprüfung einzelner Informationen) (u.a. Wineburg et al., 2022). Im Zuge des „lateral reading“ klären professionelle Faktenchecker i.d.R. drei zentrale Fragen: 1. Wer hat diese Information verfasst und disseminiert? 2. Welche Evidenz besitzt die Information? Und: 3. Was sagen andere Quellen über den recherchierten Sachverhalt aus (McGrew et al., 2018, S. 168; Wineburg et al., 2022, S. 897)?

In einer ersten Studie konnten wir zeigen, dass Studierende mit Fach Chemie Probleme damit haben, Informationen im Internet zielgerichtet zu recherchieren und die Glaubwürdigkeit der recherchierten Informationen zu evaluieren (Dietz et al., 2024; Dietz & Bolte, im Druck). So konzentrieren sich Studierende, wenn sie für einen freundschaftlichen Rat zu den Gesundheitsgefahren von E-Zigaretten im Internet recherchieren, hauptsächlich auf die ersten Webseiten einer Suchmaschine. Außerdem prüfen sie kaum die Richtigkeit von Informationen auf anderen Webseiten, sondern bedienen sich überwiegend schwächerer Heuristiken (z.B. „Reputation“ und „Überzeugungsabsicht“; s. Dietz et al., 2024; Dietz & Bolte, im Druck). Da bereits erkannt wurde, dass die Motivation des Recherchierenden sowohl das Rechercheverhalten als auch das Vorgehen zur Einschätzung der Glaubwürdigkeit beeinflusst (Metzger, 2007, S. 2088), haben wir in der hier vorgelegten Studie untersucht, ob Studierende mit Fach Chemie die gleichen Strategien zur Recherche und zur Einschätzung der Glaubwürdigkeit anwenden, wenn sie in einem vermeintlich authentischeren und stärker motivierenden (da stärker professionsbezogenen) Setting im Internet offen recherchieren. In diesem Zusammenhang sind wir folgenden Forschungsfragen nachgegangen:

1.a Wie gehen Lehramtsstudierende mit Fach Chemie vor, wenn Sie zum Zwecke einer Unterrichtsplanung Informationen zu einer naturwissenschaftlich relevanten Fragestellung im Internet recherchieren?
1.b Wie gehen Lehramtsstudierende mit Fach Chemie vor, wenn sie für eine Unterrichtsplanung die Glaubwürdigkeit von recherchierten Informationen einschätzen müssen?
2. Inwieweit deckt sich dieses Vorgehen mit den Strategien von professionellen Faktencheckern?

2. Design und Methode

Für die Beantwortung der Forschungsfragen haben wir Lehramtsstudierende mit Fach Chemie gebeten, in einem Zeitraum von 30 Minuten zur Ökobilanz von Polypropylen, Polylactid, Bambus und Edelstahl online zu recherchieren, um schlussendlich eine Unterrichtsstunde im Themenfeld „Kunststoffe“ zu planen (SenBJF & MBJS, 2021). Wie auch in unserer ersten Untersuchung (Dietz et al., 2024; Dietz & Bolte, im Druck) haben wir die Proband*innen unter Anwendung der Methode „lautes Denken“ während ihrer offenen Internetrecherche videographiert und im Anschluss retrospektiv interviewt. Um dem von Metzger (2007, S. 2087) beschriebenen Problem der Glaubwürdigkeitsforschung von Verzerrungseffekten zu begegnen, haben wir die Proband*innen erst während des retrospektiven Interviews über das Erkenntnisinteresse der Studie informiert. Alle Äußerungen während der Internetrecherche und des Interviews haben wir qualitativ-inhaltsanalytisch mit einem theoriebasierten und bereits erfolgreich erprobten Kategoriensystem ausgewertet (Dietz et al., 2024; Dietz & Bolte, im Druck). Zusätzlich haben wir die Motivation der Studierenden zur Bearbeitung des Rechercheauftrags untersucht (aus Platzgründen in diesem Beitrag ohne Darstellung).

3. Ausgewählte Ergebnisse

Im Herbst 2023 haben wir 22 Lehramtsstudierende mit Fach Chemie (weiblich: 14, männlich: 8, Durchschnittsalter: 24,7 ± 7,5 Jahre) im Bachelor-Studiengang gebeten, die in Abschnitt 2 beschriebene Rechercheaufgabe zu bearbeiten.

Das Gros der Proband*innen nutzte die vorgegebenen 30 Minuten zur Recherche. Die Teilnehmer*innen besuchten dabei durchschnittlich 13,8 ± 4,7 Webseiten. 68 % der von ihnen ausgewählten Webseiten befanden sich dabei unter den ersten drei Vorschlägen, die von der jeweiligen Online-Suchmaschine angezeigt wurden.

Im Mittel haben wir für 11,7 ± 4,0 Webseiten pro Proband*in eine Glaubwürdigkeits-einschätzung auf Grundlage unseres Kategoriensystems rekonstruieren können. Während ihrer Recherche haben die Proband*innen im Mittel 16,6 ± 8,5 Heuristiken verwendet; das bedeutet, dass sie i.d.R. mehr als eine Heuristik pro Webseite für ihre Einschätzung der Glaubwürdigkeit genutzt haben (1,7 ± 0,9 Heuristiken pro Webseite).

Die von uns in dieser Studie untersuchten Studierenden haben am häufigsten auf die Heuristiken „Reputation“ und „Ästhetik“ im Zuge ihrer Glaubwürdigkeitseinschätzungen zurückgegriffen (s. N_1 und N_2 in Tab. 1). 19 von 22 Studierenden hinterfragten mindestens einmal die Reputation des Autors bzw. der Autorin einer Webseite, um die Glaubwürdigkeit der recherchierten Information einzuschätzen (s. R1 in Tab. 1). Auffällig ist, dass weniger als die Hälfte der Proband*innen während ihrer Recherche wenigstens einmal das Vorhandensein von Quellenangaben auf der Webseite für die Einschätzung der Glaubwürdigkeit geprüft hat (s. Ev1 in Tab. 1). Lediglich ein/e Proband*in hat – lediglich in einem Fall – eine vorab

recherchierte Information auf einer weiteren Webseite gezielt bzgl. des Wahrheitsgehalts überprüft (s. C1 in Tab. 1).
Bemerkenswert ist außerdem, dass fast 20 % der Studierenden explizit die Position der Webseite auf der Ergebnisseite der Online-Suchmaschine als glaubwürdigkeitserzeugendes Merkmal benannt haben (s. Em4 in Tab. 1).

Tabelle 1. Ausgewählte Ergebnisse zu den von den Studierenden mit Fach Chemie angewandten Heuristiken zur Beurteilung der Glaubwürdigkeit von Online-Informationen. N_1: Anzahl der insgesamt 22 Studierenden, die eine Heuristik während ihrer Recherche mindestens einmal verwendeten; N_2: Anzahl der Kodierungen in der gesamten Stichprobe (N_{Ges} = 367)

Heuristik	**Kat.**	**Kategorienbeschreibung**	**N_1 (je Stud.)**	**N_2 (gesamt)**
Reputation	R1	Reputation durch wahrgenommene Expertise	19	83
	R2	Reputation durch eigene Erfahrungen	14	39
Evidenz	Ev1	Angabe von Quellen	9	23
	Ev3	Plausibilität der Argumente, Sachlogik	14	28
	Ev4	Informationsgehalt	10	17
Konsistenz	K1	Gezielte Überprüfung einer Information auf einer anderen Webseite	1	1
	K2	Zufälliger Abgleich einer Information mit einer Information auf einer anderen Webseite	4	7
	Em4	Empfehlung durch eine Suchmaschine	4	6
Ästhetik	Ä1	Professionelles Design	10	21
	Ä5	Professionelle Qualität, Struktur & Schreibweise	18	45

4. Diskussion und Ausblick

Lehramtsstudierende mit Fach Chemie unterliegen zum Teil bedenklichen Fehlvorstellungen, wenn sie bspw. der Position einer Webseite in den Ergebnissen von Online-Suchmaschinen oder der Ästhetik einer Webseite eine überhöhte Bedeutung für die Einschätzung der Glaubwürdigkeit von recherchierten Informationen beimessen. Hinzu kommt, dass Lehramtsstudierende mit Fach Chemie Strategien professioneller Faktenchecker nicht anwenden – auch nicht, wenn sie professionsbezogen für die Planung einer Unterrichtsstunde im Themenfeld „Kunststoffe“ im Internet recherchieren.
Inwieweit die erzielten Ergebnisse durch die begrenzte Zeitvorgabe für die offene Internetrecherche beeinflusst wurde, ist eine offene Frage. Mit Blick auf die ökologische Validität der Studie ist jedoch zu argumentieren, dass 30 Minuten für die Recherche fachinhaltlicher Sachverhalte und zur Vorbereitung auf eine Unterrichtsstunde angemessen sein sollte und der Praxis entsprechen dürfte. Weiterhin ist anzumerken, dass während des retrospektiven Interviews nur wenige Proband*innen auf Nachfrage den Wunsch nach mehr Zeit für die Online-Recherche geäußert haben.
Alles in allem bestätigen die Ergebnisse der hier vorgestellten Studie bedauerlicherweise die Ergebnisse unserer ersten Studie; auch in dieser Studie scheint es den Studierenden an notwendigen Kompetenzen zur Recherche glaubwürdiger Informationen im Internet zu fehlen (s. Abschnitt 1; Dietz et al., 2024; Dietz & Bolte, im Druck). Aus diesem Grund haben wir ein Fortbildungsangebot für Studierende und Lehrkräfte entwickelt, in dem professionsbezogene digitale Kompetenzen zur Recherche von Informationen im Internet und deren Glaubwürdigkeitseinschätzung vermittelt werden. Darüber hinaus arbeiten wir zurzeit daran, ein Verfahren zur Evaluation unseres Fortbildungsangebots zu entwickeln.

Literatur

Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C. & von Kotzebue, L. (2020). *DiKoLAN – Digital Competencies for Teaching in Science Education.* Workgroup Digital Core Competencies. Verfügbar unter: http://dikolan.de/, letzter Zugriff: 04.10.24

Bolte, C., Rathmann, S. & Dietz, D. (2024). Research Strategies and Assessments of Online Source Credibility by Pre-Service Chemistry Teachers. In: *The Power of Chemistry Education for Advancing SDGs* (S. 38–41). Proceedings zur 27th IUPAC International Conference on Chemistry Education, Pattaya, Thailand.

Dietz, D. & Bolte, C. (im Druck). Fact oder Fake?! Strategies of pre-service chemistry teachers for searching credible information on the Internet. *Proceedings of the 14th Nordic Research Symposium on Science Education.*

Dietz, D., Petter, A. & Bolte, C. (2024). Strategien zur Beurteilung der Glaubwürdigkeit von Online-Quellen. In: H. Van Vorst (Hrsg.), *Frühe naturwissenschaftliche Bildung* (S. 278–281). Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung 2023 in Hamburg. Essen: Universität Duisburg-Essen.

McGrew, S., Breakstone, J., Ortega, T., Smith, M., & Wineburg, S. (2018). Can Students Evaluate Online Sources? Learning From Assessments of Civic Online Reasoning. *Theory and Research in Social Education, 46(2),* 165–193.

Metzger, M. J. (2007). Making sense of credibility on the Web: Models for evaluating online information and recommendations for future research. *Journal of the American Society for Information Science and Technology, 58(13),* 2078–2091.

Metzger, M. J., Flanagin, A. J. & Medders, R. B. (2010). Social and Heuristic Approaches to Credibility Evaluation Online. *Journal of Communication, 60(3),* 413–439.

Redecker, C. (2017). European framework for the digital competence of educators. Verfügbar unter: https://op.eu-ropa.eu/en/publication-detail/-/publication/fcc33b68-d581-11e7-a5b9-01aa75ed71a1/language-en, letzter Zugriff: 04.10.24

SenBJF: Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie Berlin & MBJS: Ministerium für Bildung, Jugend und Sport Brandenburg. (2021). *Teil C – Chemie -Rahmenlehrplan für die gymnasiale Oberstufe.* Verfügbar unter: https://www.berlin.de/sen/bildung/unterricht/faecher-rahmenlehrplaene/rahmenlehrplaene/rlp_go_teil_c-chemie_2021.pdf?ts=1705017673, letzter Zugriff: 04.10.24

Wineburg, S., Breakstone, J., McGrew, S., Smith, M. D., & Ortega, T. (2022). Lateral Reading on the Open Internet: A District-Wide Field Study in High School Government Classes. *Journal of Educational Psychology, 114(5),* 893–909.

Rike Große-Heilmann[1]
Jan-Philipp Burde[2]
Josef Riese[1]
Thomas Schubatzky[3]
David Weiler[2]

[1]Universität Paderborn
[2]Universität Tübingen
[3]Universität Innsbruck

Warum erwerben Studierende (kein) fachdidaktisches Wissen zu digitalen Medien im Physikunterricht?

Der Einsatz digitaler Medien eröffnet neue Möglichkeiten für den naturwissenschaftlichen Unterricht (Girwidz, 2020; Hillmayr et al., 2020). Um solche Potentiale auch nutzen zu können, sollten angehende Lehrkräfte digitalisierungsbezogene Kompetenzen in ihrer Ausbildung erwerben (SWK, 2022). Im Projekt DiKoLeP (*Digitale Kompetenzen von Lehramtsstudierenden im Fach Physik*) der Universitäten Paderborn, Tübingen, Graz und Innsbruck wurden daher physikdidaktische Lehrveranstaltungen zur Förderung solcher Kompetenzen entwickelt und hinsichtlich des Erwerbs fachdidaktischen Wissens (FDW) zum Einsatz digitaler Medien evaluiert. Dieser Teilbeitrag im Projekt beschäftigt sich mit der Erkundung von Gründen für gemessene Veränderungen im FDW zum Einsatz digitaler Medien und des Zusammenhangs solcher Veränderungen mit Erfahrungen in den Lehrveranstaltungen.

Theoretischer Hintergrund

Das fokussierte FDW zum Einsatz digitaler Medien zählt als Facette des FDW in Physik zum Professionswissen einer (angehenden) Lehrkraft (z.B. Baumert & Kunter, 2006; Riese, 2009). Diese fachdidaktische Facette beinhaltet das Wissen über Möglichkeiten und Anforderungen für eine inhaltsspezifisch angemessene Nutzung digitaler Medien im Unterricht (Gramzow et al., 2013). So ist dieses FDW zum Einsatz digitaler Medien vergleichbar mit dem zentralen Wissensbereich *technological pedagogical content knowledge* im TPACK-Modell (Mishra & Koehler, 2006). Das TPACK-Modell spezifiziert jedoch keine konkreten Anforderungen für einzelne Fächer (von Kotzebue, 2021). Für eine solche Spezifizierung ist aus fachdidaktischer Sicht eine Orientierung an fachlichen Lernzielen und Arbeitsweisen sowie fachtypischen Medien sinnvoll (Ropohl et al., 2018). Für das Fach Physik zählen dazu beispielsweise (mobile) Systeme zur digitalen Messwerterfassung (z.B. Girwidz, 2020) oder Simulationen als fachtypische Methode der Erkenntnisgewinnung (z.B. Rutten et al., 2012). Das FDW zum Einsatz digitaler Medien beinhaltet demnach Wissen über Möglichkeiten und Anforderungen zur angemessenen Nutzung ebensolcher fachtypischen oder -spezifischen Medien.

Ausgangslage im Verbundprojekt DiKoLeP

Im Verbundprojekt wurde ein universitäres Lehrkonzept zur Förderung fachdidaktischer digitaler Kompetenzen entwickelt und u.a. im Hinblick auf das FDW zum Einsatz digitaler Medien evaluiert. Das Lehrkonzept berücksichtigte standortübergreifend abgestimmte Kerninhalte zu lernpsychologischen Grundlagen zum Einsatz digitaler Medien sowie zu fachdidaktischen Grundlagen zu physiktypischen Medien. In standortspezifischen praktischen Anteilen entwickelten die teilnehmenden Studierenden Unterrichtssequenzen unter Einbindung digitaler Medien und erprobten diese in realen Schulklassen oder in Form von Micro-Teachings im Seminar (Weiler et al., 2023). Das Lehrkonzept wurde an den Projektstandorten in Form von fachdidaktischen Seminaren implementiert und in Prä-Post-Erhebungen

evaluiert. Zur Untersuchung der Entwicklung des FDW zum Einsatz digitaler Medien wurde ein im Projekt entwickelter und auf verschiedene Aspekte der Konstruktvalidität untersuchter Leistungstest verwendet (Große-Heilmann et al., 2022). Dabei zeigte sich ein signifikanter Zuwachs im FDW zum Einsatz digitaler Medien mit kleiner Effektstärke ($t(69) = 2{,}18$; $p = 0{,}033$; $d = 0{,}26$) über die untersuchten Seminare (Große-Heilmann et al., in Druck). Dieser Beitrag untersucht, was dieses Ergebnis im Hinblick auf die individuelle Wissensentwicklung bedeutet und warum sich möglicherweise kein größerer Wissenszuwachs zeigt.

Ziel und Forschungsfrage

Um einen vertieften Einblick in die Wissensentwicklung der Studierenden zu bekommen, wurde ausgehend von der quantitativen Untersuchung zur Entwicklung des fokussierten FDW eine qualitative retrospektive Interviewstudie durchgeführt. In diesen retrospektiven Interviews wurden Gründe für Veränderungen im gemessenen FDW erkundet und identifiziert, welche Elemente des Seminars lernförderlich oder eher lernhinderlich für den Wissenserwerb sind. Die zugrundeliegende Forschungsfrage lautet:

> FF) *Welche Elemente des Lehrkonzepts bzw. der Seminarkonzepte sind lernförderlich oder lernhinderlich und stehen mit Verbesserung oder Verschlechterung im gemessenen FDW zum Einsatz digitaler Medien in Verbindung?*

Die Interviewstudie soll anknüpfend dazu beitragen, Schlussfolgerungen für die Gestaltung von Lerngelegenheiten zum Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht zu generieren.

Methodisches Vorgehen

In der qualitativen Interviewstudie wurden anknüpfend an die quantitative Erhebung zum FDW zum Einsatz digitaler Medien über die untersuchten Seminare retrospektive Interviews mit einem Teil der Befragten durchgeführt (von 70 Befragten im Prä-Post-Test waren dies alle $N = 19$ Studierenden, die sich freiwillig zu einem Interview bereit erklärten). Ziel dieser retrospektiven Interviews war die Erkundung von Gründen für individuelle Veränderungen in den Testantworten von Prä- zu Posttest und die Untersuchung, inwiefern diese Veränderungen mit den Inhalten und Erfahrungen im Seminar zusammenhingen. In den Interviews wurden den Teilnehmenden dazu ihre individuellen Antworten im Prä- und Posttest gezeigt und zu veränderten Antworten erfragt, wie sie diese begründen würden. Die Auswertung der Interviews erfolgte mittels inhaltlich-strukturierender qualitativer Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2018) zur Kategorisierung der von den teilnehmenden Studierenden genannten Gründe für veränderte Testantworten. Durch eine anknüpfende Triangulation (Flick, 2011) mit den quantitativen Prä-Post-Daten wurde untersucht, inwiefern einzelne Gründe mit Bezug zum Seminar zu einer positiven bzw. negativen Veränderung der Antwort (gemäß der Testbewertung) geführt haben, um somit Indizien für lernförderliche bzw. lernhinderliche Elemente des Lehrkonzepts zur Beantwortung der Forschungsfrage zu gewinnen.

Ergebnisse

Die Kategorisierung der Gründe für veränderte Testantworten beruht auf 314 kodierten Segmenten zu veränderten Testantworten, von denen nur 246 inhaltlich nutzbar sind, da z. T. keine Änderung begründet wurde oder keine Erinnerung vorlag. Dabei zeigt sich, dass die Befragten am häufigsten das besuchte Seminar explizit (über Inhalte, Erfahrungen) als Grund für die veränderte Antworten benannten (107 Segmente). Wenn Studierende ihre Änderungen reflektiert begründeten und dabei Wissen zu digitalen Medien nutzten, wurde die Kategorie Anwendung medienbezogenen Wissens vergeben (62 Segmente). Teilweise war in dieser

Kategorie (und einer weiteren) auch ein indirekter Bezug zum Seminar naheliegend (insg. 61 Segmente). Seltener wurden die Veränderungen z.B. mit Erfahrungen in anderen Lehrveranstaltungen (12 Segmente), aufgrund einer (sprachlichen) Uminterpretation der Fragestellung (29 Segmente) oder aufgrund von Unentschlossenheit (22 Segmente) begründet. Demnach stellte das Seminar häufig (explizit oder indirekt) einen Grund für veränderte Testantworten dar (insg. 168 der 246 inhaltlich nutzbaren Segmente). Damit ist jedoch nicht geklärt, inwiefern diese Veränderungen mit Bezug zum Seminar auch mit Verbesserungen (oder Verschlechterungen) im gemessenen FDW einhergehen und somit mögliche lernförderliche (oder lernhinderliche) Elemente des untersuchten Seminar- oder Lehrkonzepts darstellen. Dazu wurden die kodierten Gründe mit (indirektem) Seminarbezug jeweils auf positiv bzw. negativ veränderte Testantworten bezogen und die entsprechenden Interviewsegmente systematisch aufgelistet und inhaltlich gruppiert.
Für positiv veränderte Antworten (Identifikation lernförderlicher Seminarelemente) zeigten sich Erfahrungen mit praktischem Einsatz von Medien im Seminar (z.B. beim Ausprobieren der Medien im theoretischen Seminarteil oder der eigenen Erprobung im praktischen Seminarteil) als Gründe, die mit einer Verbesserung in den Testantworten zusammenhängen. Gleichzeitig traten hier auch eher theoretische Seminarinhalte wie die Designprinzipien zum Multimedialen Lernen (Mayer, 2009) und deren Anwendung auf Erklärvideos oder Aspekte aus den abgestimmten Kerninhalten zu einem Medium (z.B. Gestaltungsmerkmale, typische Vorteile) als häufig genannte Gründe für positiv veränderte Testantworten mit Seminarbezug auf.
Eine entsprechende Gruppierung der negativ veränderten Testantworten zur Identifikation lernhinderlicher Seminarelemente machte deutlich, dass durch diese Analyse vor allem Indizien für mögliche Probleme oder typische Fehler der Studierenden in der Beantwortung der Testaufgaben oder ihrer Argumentation dazu identifiziert werden konnten. So wurden einmalige Erfahrungen mit digitalen Medien in einem bestimmten Kontext fälschlicherweise übergeneralisiert. Beispielsweise wurden häufig positive Erfahrungen mit einem Medium zu typischen Vorteilen verallgemeinert und/oder Disktraktoren im Posttest aufgrund einer (positiven) Erfahrung nicht ausreichend kritisch bewertet.

Diskussion

Die Ergebnisse der Interviewstudie liefern einerseits Indizien für lernförderliche Elemente des Lehrkonzepts wie z.B. praktische Erfahrungen mit digitalen Medien. Andererseits weist die Analyse auch auf mögliche Probleme hin (z.B. Übergeneralisierung positiver Einzelerfahrungen), die bei der Gestaltung entsprechender Lerngelegenheiten berücksichtigt werden sollten. Zur Interpretation der Ergebnisse müssen auch die Grenzen dieser Studie berücksichtigt werden (z.B. Positivauswahl der Stichprobe, Häufigkeit nicht nutzbarer Segmente oder subjektive Einschätzung der Gründe, die nicht zwingend der wahren Ursache entsprechen muss). Nichtsdestotrotz ermöglichen die retrospektiven Interviews anknüpfend an die Prä-Post-Erhebung einen vertieften Einblick in die Denkprozesse der Studierenden hinsichtlich ihres FDW zum Einsatz digitaler Medien. Im Hinblick auf die Ausgangslage zum gemessenen FDW-Zuwachs mit „nur“ kleiner Effektstärke bietet die Interviewanalyse eine mögliche Erklärung: aufgrund der teilweise unpassenden Übergeneralisierung von (positiven) Einzelerfahrungen und fehlender kritischen Reflexion kommt es teilweise auch zu Verschlechterungen (in Einzelaufgaben) im FDW zum Einsatz digitaler Medien. Im Seminar oder ähnlichen Lerngelegenheiten zu digitalen Medien sollte eine kritische Reflexion von vorgestellten Medienbeispielen oder -einsätzen daher unbedingt berücksichtigt und für eine Unterscheidung zwischen anekdotischer und empirischer Evidenz sensibilisiert werden.

Literatur

Baumert, J. & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *9*(4), 469–520.

Flick, U. (2011). Triangulation. In: Oelerich, G., Otto, HU. (Hrsg.), *Empirische Forschung und Soziale Arbeit. VS Verlag für Sozialwissenschaften*. https://doi.org/10.1007/978-3-531-92708-4_23.

Girwidz, R. (2020). Multimedia und digitale Medien im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & H. E. Fischer (Hrsg.), *Physikdidaktik. Grundlagen* (4. Aufl., S. 457–527). Berlin, Heidelberg: Springer.

Gramzow, Y., Riese, J. & Reinhold, P. (2013). Modellierung fachdidaktischen Wissens angehender Physiklehrkräfte. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *19*, 7–30.

Große-Heilmann, R., Burde, J. P., Riese, J., Schubatzky, T., & Weiler, D. (in Druck). Entwicklung fachdidaktischen Wissens zum Einsatz digitaler Medien bei Lehramtsstudierenden im Fach Physik. In B. Herzig, B. Eickelmann, F. Schwabl, J. Schulze & J. Niemann (Hrsg.), Lehrerkräftebildung in der digitalen Welt. Münster: Waxmann.

Große-Heilmann, R., Riese, J., Burde, J. P., Schubatzky, T., & Weiler, D. (2022). Fostering Pre-Service Physics Teachers' Pedagogical Content Knowledge Regarding Digital Media. *Education Sciences*, 12(7), 440. http://www.doi.org/10.3390/educsci12070440.

Hillmayr, D., Ziernwald, L., Reinhold, F., Hofer, S. I., & Reiss, K. M. (2020). The potential of digital tools to enhance mathematics and science learning in secondary schools: A context-specific meta-analysis. *Computers & Education*, 153, 103897. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103897.

von Kotzebue, L. V., Meier, M., Finger, A., Kremser, E., Huwer, J., Thoms, L. J., ... & Thyssen, C. (2021). The framework DiKoLAN (digital competencies for teaching in science education) as basis for the self-assessment tool DiKoLAN-Grid. *Education Sciences*, 11(12), 775. https://doi.org/10.3390/educsci11120775.

Kuckartz, U. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (4. Auflage). Weinheim: Beltz Juventa.

Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning* (2nd ed.). New York: Cambridge University Press.

Mishra, P. & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers college record*, *108*(6), 1017–1054. www.doi.org/10.1111/j.1467-620.2006.00684.x

Riese, J. (2009). *Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften*. Logos Verlag.

Ropohl, M., Härtig, H., Kampschulte, L., Lindmeier, A., Ostermann, A. & Schwanewedel, J. (2018). Planungsbereiche für Medieneinsatz im Fachunterricht. *MNU*, 71(3), 148–155.

Rutten, N., Van Joolingen, W. R., & Van Der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & education*, 58(1), 136–153. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017.

Ständige Wissenschaftliche Kommission der Kultusministerkonferenz (SWK) (2022). *Digitalisierung im Bildungssystem: Handlungsempfehlungen von der Kita bis zur Hochschule.* Gutachten der Ständigen Wissenschaftlichen Kommission der Kultusministerkonferenz (SWK). www.doi.org/10.25656/01:25273.

Weiler, D., Burde, J.-P., Große-Heilmann, R., Lachner, A., Riese, J. & Schubatzky, T. (2023). *Förderung von digitalisierungsbezogenen Kompetenzen von angehenden Physiklehrkräften mit dem SQD-Modell im Projekt DiKoLeP*. In M. Meier, G. Greefrath, M. Hammann, R. Wodzinski & K. Ziepprecht (Hrsg.), Edition Fachdidaktiken. Lehr-Lern-Labore und Digitalisierung (S. 47–62). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-40109-2_4.

David Weiler[1]
Jan-Philipp Burde[1]
Kasim Costan[2]
Rike Große-Heilmann[3]
Christoph Kulgemeyer[2]
Armin Lässer[4]
Josef Riese[3]
Thomas Schubatzky[4]

[1]Universität Tübingen
[2]Universität Bremen
[3]Universität Paderborn
[4]Universität Innsbruck

Bedürfnisse von Lehrkräften zu digitalen Medien adressieren!

Einleitung und Projektrahmung

Die zum Teil großen Verständnisschwierigkeiten von zentralen physikalischen Konzepten stellen eine große Herausforderung für den Physikunterricht dar (Schecker et al., 2018). Digitale Medien sind eine Möglichkeit, diesen Herausforderungen zu begegnen (Hillmayr et al., 2020; Wilhelm, 2023). Aufgrund der Neuheit digitaler Medien, wie insbesondere z. B. Augmented Reality, hatten die meisten Lehrkräfte in ihrer Ausbildung jedoch keine Gelegenheit, den fachdidaktisch sinnvollen Einsatz der jeweiligen Technologien zu erlernen (Eickelmann et al., 2019). Es besteht damit ein Bedarf nach entsprechenden, u.a auch auf das Fach Physik bezogenen Lehrkräftefortbildungen, die den fachdidaktisch begründeten Einsatz digitaler Medien fokussieren (Endberg & Lorenz, 2022). Offen ist bisher jedoch noch die Frage, welche Inhalte, Formate und spezifische Fortbildungsaktivitäten für fachspezifische Fortbildungen zum Einsatz digitaler Medien von praktizierenden Lehrkräften gewünscht sind. Das Bundesministerium für Bildung um Forschung hat daher den Kompetenzverbund „lernen:digital“ ins Leben gerufen, um Fortbildungsmaßnahmen zum fachspezifischen Einsatz digitaler Medien im Unterricht zu fördern. Eine geförderte Maßnahme ist das ComeMINT-Netzwerk. Hierbei handelt es sich um ein Verbundprojekt, in dem forschungsbasierte Fortbildungen zum Einsatz digitaler Medien in den unterschiedlichen MINT-Fächern konzipiert und angeboten werden. Das ComeNet Physik als Untereinheit dieses Netzwerks entwickelt ein adaptives Förder- und Fortbildungskonzept zum Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht (PhU), das sich an den Bedürfnissen der Lehrkräfte orientiert. Hierzu wurde vorbereitend eine Bedürfnisanalyse unter praktizierenden Physik-Lehrkräften durchgeführt.

Erhebungsinstrumente und Stichprobe

Zur Erhebung der Bedürfnisse der Lehrkräfte wurde eine Online-Umfrage konzipiert, die (1) angelehnt an Vogelsang et al. (2019) Vorerfahrungen mit physikspezifischen digitalen Medien (z. B. „Ich habe schon Erfahrungen mit interaktiven Bildschirmexperimenten.“), (2) das subjektive Bedürfnis nach Fortbildungsthemen („Wie hoch ist ihr Bedarf an Fortbildungen zu folgenden Themen?“ z. B. „Animationen“) und (3) das Interesse an inhaltlichen Aspekten der Fortbildungen (z. B. „Praktisches Ausprobieren der Medien“) mit 6-stufigen Likert-Skalen abgefragt hat. Ergänzend wurde das präferierte Fortbildungsformat (z. B. „Präsenz“ oder „Hybrid“), die Selbstwirksamkeitserwartung zum Einsatz digitaler Medien (z. B. „Ich kann digitale Medien so auswählen, dass diese zu einem besseren konzeptionellen Verständnis im Unterricht beitragen.“; Weiler et al., 2022) sowie demographische Variablen erhoben.
Die Online-Umfrage wurde über die Verteiler der beteiligten Universitäten Bremen, Innsbruck, Paderborn und Tübingen an Lehrkräfte und Seminare für Lehrkräftebildung

versandt. Die Bearbeitungszeit lag zwischen 10 und 20 Minuten. Es nahmen 162 Personen teil, wovon $N = 122$ Lehrkräfte den Fragebogen vollständig ausgefüllt haben. Davon gaben die Mehrheit der Personen an, sich als männlich zu identifizieren (m = 71, w = 49, N.A. = 2). Die Lehrkräfte waren im Schnitt 44 Jahre alt ($M = 44.18$; $SD = 11.69$; $min = 25$; $max = 72$) und hatten 16 Jahre Berufserfahrung ($M = 16.01$; $SD = 11.47$; $min = 0$; $max = 46$). Von den befragten Lehrkräften gaben 111 an, gegenwärtig als Lehrkraft im Schuldienst aktiv zu sein. Die Befragten kamen aus neun deutschen und sechs österreichischen Bundesländern.

Ergebnisse der Bedürfnisanalyse

Im Rahmen der Erhebung wurde das Interesse an den didaktischen Möglichkeiten der unterschiedlichen fachspezifischen digitalen Medien sowie allgemeinen inhaltlichen Themen abgefragt. Am beliebtesten waren hier insbesondere die Themengebiete „Schülerexperimente mit digitalen Medien“ (93 von 122 Personen gaben an mindestens ein „eher hohes“ Interesse daran zu haben, was einem Likert Wert > 3 auf einer Skala von 1-6 entspricht), „Einbettung digitaler Medien in einen lernförderlichen PhU“ (79 von 122 Personen) und „Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR)“ (78 von 122 Personen). Am wenigsten Interesse äußerten die Lehrkräfte an Themen wie „Erklärvideos und das Lernen von Physik“ (56 von 122 Personen), „Lernpsychologisches Hintergrundwissen bzgl. des Einsatzes digitaler Medien im PhU“ (48 von 122 Personen) und „Gesellschaftliche Relevanz digitaler Medien“ (46 von 122 Personen). Eine vollständige Auflistung inklusive Median und Standardabweichung findet sich in Weiler et al. (im Druck).

Hinsichtlich der inhaltlichen Aspekte von Fortbildungen zu digitalen Medien zeigt sich eine klare Zweiteilung des subjektiven Bedürfnisses der Lehrkräfte. Während das „praktische Ausprobieren“ ($M = 4.41$; $SD = 1.24$) und die „didaktischen Einsatzmöglichkeiten“ ($M = 4.16$; $SD = 1.28$) als überwiegend positiv betrachtet wurden, waren „empirische Befunde“ ($M = 3.51$; $SD = 1.56$) und „Eigene Unterrichtseinheiten planen mit Feedback erhalten“ ($M = 3.48$; $SD = 1.36$) verhältnismäßig unbeliebt.

Bezüglich des gewünschten Fortbildungsformats waren mit 89 Nennungen Präsenzfortbildungen am beliebtesten, gefolgt von Online-Formaten ($n = 54$), Hybrid-Formaten ($n = 42$) und Selbstlerneinheiten ($n = 37$). Hinsichtlich der Organisationsform der Fortbildungen zeigten sich „Halbe Tage in Präsenz“ ($n = 65$) als das favorisierte Format, gefolgt von Fortbildungsreihen ($n = 59$). 30-minütige Selbstlernmodule ($n = 45$) wurden umfangreicheren 90-minütigen Selbstlernmodulen ($n = 37$) vorgezogen. Am unbeliebtesten waren Selbstlernmodule auf Basis einer Online-Diagnose mit nur 28 Nennungen.

Auf die Frage „Ich habe schon Erfahrung mit [digitales Medium]“ konnten die Lehrkräfte von 1 = „trifft gar nicht zu“ bis 6 = „trifft voll und ganz zu“ antworten. Die bisherigen Erfahrungen mit digitalen Medien waren im Mittel eher durchschnittlich ($M = 3.86$; $SD = 0.96$). Wenige Erfahrungen liegen insbesondere mit VR ($M = 1.56$; $SD = 1.34$), AR ($M = 1.65$; $SD = 1.49$) und Mikrocontrollern ($M = 2.59$; $SD = 1.77$) vor. Viele Vorerfahrungen hatten Lehrkräfte hingegen mit Erklärvideos ($M = 5.52$; $SD = 0.85$), Simulationen ($M = 5.52$; $SD = 1.14$) und Animationen ($M = 5.49$, $SD = 1.15$).

Die Lehrkräfte wiesen eine hohe Selbstwirksamkeitserwartung zum Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht auf ($M = 4.51$; $SD = 0.69$). Dabei zeigten sich weder geschlechtsspezifische Unterschiede noch solche in Bezug auf die Berufserfahrung. Es konnte jedoch ein signifikanter Zusammenhang zwischen den gemittelten bisherigen Erfahrungen mit digitalen Medien und der Selbstwirksamkeitserwartung festgestellt werden (Pearson’s $r = 0.445$, $p < 0.01$).

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass Physiklehrkräfte sich überwiegend halbtägige Präsenzfortbildungen zu den didaktischen Möglichkeiten digitaler Medien, insbesondere mit Blick auf den Einsatz im Rahmen von Schülerexperimenten, wünschen. Ein besonderes Interesse haben die Lehrkräfte dabei an einer praktischen Auseinandersetzung mit den Möglichkeiten z.B. von „Augmented Reality“ oder Smartphone-Experimenten. Sollten Online-Selbstlernmodule angeboten werden, ist es vor dem Hintergrund der Bedürfnisanalyse ratsam, diese eher kurzzuhalten. Da es sich bei der freiwilligen Befragung um eine Positivauswahl handelt, ist es unklar, inwieweit die Ergebnisse verallgemeinerbar sind.

Fortbildungsdesign

Für die Fortbildungen wurde auf eine Kombination aus Selbstlernmodulen, Präsenzanteilen und Online-Reflexion gesetzt (siehe Abb. 1). In kurzen Selbstlernmodulen auf iMoox.at werden sowohl die theoretischen Grundlagen zu digitalen Medien im Allgemeinen als auch spezifische Informationen zu einzelnen digitalen Medien aufbereitet. Durch die kurzen Selbstlernmodule bleibt in den Präsenzfortbildungen zu den jeweiligen digitalen Medien mehr Zeit für das praktische Ausprobieren. Zudem wird sich in den Präsenzfortbildungen vertieft mit Einsatzszenarien und Gelingensbedingungen für den Unterricht für den Einsatz des jeweiligen Mediums beschäftigt. Die Lehrkräfte planen kooperativ Unterrichtsstunden, in denen das digitale Medium dann fachdidaktisch begründet integriert wird. Im Anschluss an die Präsenzfortbildung sollen die Lehrkräfte, sofern möglich, die geplanten Unterrichtsstunden selbst in der Praxis ausprobieren. Als Reflexionsmöglichkeit wird eine Online-Nachbereitung der gemachten Erfahrungen angeboten.
Die Online-Selbstlernmodule starten am 01. November 2024 auf iMoox.at und bleiben über den Projektzeitraum hinaus bestehen.

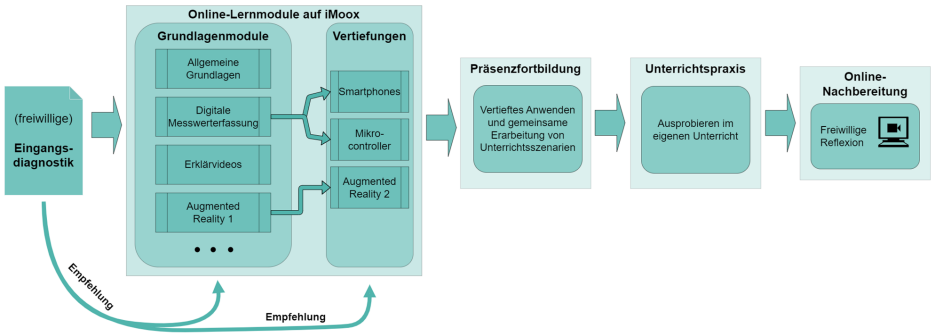


Abb. 1: Fortbildungsdesign im ComeNet Physik

Förderhinweis

Finanziert durch die Europäische Union – NextGenerationEU und gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung unter der FKZ 01JA23M06L. Die geäußerten Ansichten und Meinungen sind ausschließlich die der Autoren und spiegeln nicht unbedingt die Ansichten der Europäischen Union, Europäischen Kommission oder des Bundesministeriums für Bildung und Forschung wider. Weder Europäische Union, Europäische Kommission noch Bundesministerium für Bildung und Forschung können für sie verantwortlich gemacht werden.

Literatur

Eickelmann, B., Bos, W., Gerick, J., Goldhammer, F., Schaumburg, H., Schwippert, K., Senkbeil, M., & Vahrenhold, J. (Hrsg.). (2019). *ICILS 2018 #Deutschland. Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking*. Waxmann.

Endberg, M., & Lorenz, R. (2022). Selbsteingeschätzte Kompetenzen von Lehrpersonen der Sekundarstufe I zum Einsatz digitaler Medien im Unterricht im Bundesländervergleich 2021 und im Trend seit 2017. In R. Lorenz, S. Yotyodying, B. Eickelmann, & M. Endberg (Hrsg.), *Schule digital—Der Länderindikator 2021: Lehren und Lernen mit digitalen Medien in der Sekundarstufe I in Deutschland im Bundesländervergleich und im Trend seit 2017* (1. Auflage, S. 89–115). Waxmann.

Hillmayr, D., Ziernwald, L., Reinhold, F., Hofer, S. I., & Reiss, K. M. (2020). The potential of digital tools to enhance mathematics and science learning in secondary schools: A context-specific meta-analysis. *Computers & Education*, 153, 103897. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103897

Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M., & Duit, R. (Hrsg.). (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2

Vogelsang, C., Finger, A., Laumann, D., & Thyssen, C. (2019). Vorerfahrungen, Einstellungen und motivationale Orientierungen als mögliche Einflussfaktoren auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 25(1), 115–129. https://doi.org/10.1007/s40573-019-00095-6

Weiler, D., Burde, J.-P., Lachner, A., Große-Heilmann, R., Riese, J., & Schubatzky, T. (2022). Bedarfsanalyse zu digitalen Medien bei Physik-Lehramtsstudierenden. In S. Habig & H. van Vorst (Hrsg.), *Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen* (S. 768–771). https://gdcp-ev.de/wp-content/uploads/2022/05/Tagungsband-2022-Stand-13522.pdf

Weiler, D., Burde, J.-P., Costan, K., Große-Heilmann, R., Kulgemeyer, C., Riese, J., Schubatzky, T. (im Druck). Förderung digitaler Kompetenzen von Physik-Lehrkräften im ComeNet Physik. In Grötzebauch, H. (Hrsg.), *PhyDid B – Beiträge zur Frühjahrstagung 2024*.

Wilhelm, T. (Hrsg.). (2023*). Digital Physik unterrichten: Grundlagen, Impulse und Perspektiven* (1. Auflage). Klett | Kallmeyer.

Jannis Memmen[1]
Silvija Markic[1]

[1]Ludwig-Maximilians-Universität München

Förderung transversaler Kompetenzen im Lernlabor

Theoretischer Hintergrund

Die Entwicklung transversaler Fähigkeiten und Kompetenzen ist entscheidend, um die Lücke zwischen schulischer Bildung und den Anforderungen des Arbeitsmarkts zu schließen (Belchior-Rocha, Almeida, Casquilho & Ferreira, 2017). Zu diesen zählen unter anderem Teamarbeit, Kommunikationsfähigkeiten und Problemlösefähigkeiten, die traditionell als Soft Skills bezeichnet werden (Ritter, Small, Mortimer & Doll, 2018).

Non-formales Lernen, wie beispielsweise in Lernlaboren wie dem LMUchemlab, bietet ein hohes Potential zur Förderung dieser transversalen Fähigkeiten und Kompetenzen. Nach Kieferle & Markic (2023a) sind kooperatives Lernen, game-based learning, kontextbasiertes Lernen und forschendes Lernen zentral für non-formales Lernen mit dem Schwerpunkt auf der Inklusion aller Schüler:innen. Diese überschneiden sich mit den oben genannten Fähigkeiten, die den transversalen Fähigkeiten inhärent sind. Kooperatives Lernen unterstützt beispielsweise die Entwicklung von Kommunikations- und Planungsfähigkeiten sowie die Fähigkeit zur Reflexion (Larraz, Vázquez & Liesa, 2017). Game-based learning fördert insbesondere Teamarbeit, Entscheidungsfindung und eigenständiges Arbeiten (Reuter, Dias, Madaleno, Amorim & Vitória, 2020). Kontextbasiertes Lernen trägt zur Ausbildung wissenschaftlicher Argumentationsfähigkeiten bei (Abebe, Faris & Tafari, 2023), während forschendes Lernen das kritische Denken der Lernenden stärkt (Duran & Dökme, 2016).

Somit ist zu schließen, dass außerschulische Lernorte, die diese Ansätze integrieren, einen wichtigen Beitrag zur Förderung transversaler Kompetenzen leisten und die schulische Ausbildung gezielt ergänzen können.

Lernumgebung zur Lebensmittelchemie

Im Zuge der Änderung des bayrischen LehrplanPLUS wurde das Modul ‚Ernährung der Zukunft' für den Themenbereich der Lebensmittelchemie für das LMUchemlab entwickelt. Das Ziel der Lernumgebung ist es, transversale Fähigkeiten und Kompetenzen der Schüler:innen zu fördern und alternative Zugänge zu dieser Thematik zu schaffen. Die Lernumgebung orientiert sich dabei an den Leitlinien von Kieferle & Markic (2023a) für inklusive außerschulische Lernorte, die explizit die aktive Teilhabe aller Lernenden und forschendes Lernen ermöglichen. Diese Leitlinien betonen die Bedeutung strukturierter Lernumgebungen mit intuitivem Material, klarer Hilfestellungen in verschiedenen Formaten und der kooperativen Gruppenarbeit (Kieferle & Markic, 2023a).

Das genannte Modul ist durch ein fiktives Szenario der Re-Organisation der Schulkantine kontextualisiert. Die Lernenden sollen dabei die angebotenen Lebensmittel anhand selbst festgelegter Kriterien bewerten. Im Labor überlegen die Lernenden zunächst, was ihnen bei Lebensmitteln wichtig ist. Durch die Durchführung quantitativer Experimente und die Nutzung von Zusatzinformationen, die in Form von Tabellen, Texten oder Videos bereitgestellt werden, sammeln sie relevante Daten für den Entscheidungsprozess. Anschließend sollen sie anhand der gewonnenen Informationen eine Empfehlung geben, ob eine Umgestaltung des Essensplans der Schulmensa mit dem Vorschlag eines Startups durchgeführt werden soll.

Die Entwicklung der Lernumgebung orientiert sich an der Partizipativen Fachdidaktischen Aktionsforschung nach Eilks & Ralle (2002). Dieser iterative Prozess umfasst die Entwicklung von Experimenten und Material, ihre Erprobung in der Praxis, die Evaluation sowie die Reflektion und Überarbeitung. Vor diesem Hintergrund werden in der Studie zwei zentrale Forschungsfragen untersucht: *Wie kann ein inklusives Lehr-Lernlabor für Themen der gymnasialen Oberstufe gestaltet werden?* und *Welche weiteren Charakteristika braucht ein inklusives Lehr-Lernlabor, um transversale Kompetenzen zu fördern?*

Methode

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde untersucht, wie ein Lehr-Lernlabor für die gymnasiale Oberstufe – speziell im Themenbereich der Oberstufe, gestaltet werden kann. Hierbei wurden die inklusiven Aspekte der vorherigen Lernlabore (Kieferle & Markic, 2023a) um Aspekte ergänzt, welche die Förderung transversaler Kompetenzen ermöglichen können. Für die Erprobung wurden Schüler:innen aus Münchner Schulen zu einem Laborprogramm eingeladen.

Als Instrument wurde ein quantitativer Fragebogen verwendet, welcher die Kategorien *situationales Interesse* (Chen, Darst & Pangrazi, 2001), *kooperatives Lernen* (Kieferle & Markic, 2023b), *aktive Partizipation* (Kieferle & Markic, 2023b), *forschendes Lernen* (Kieferle & Markic, 2023b) und *decision-making* umfasst. Die Skalen wurden aus bestehenden Skalen übernommen und an die Lernumgebung angepasst und um die Skala ‚decision-making' ergänzt. Die Antworten wurden auf einer 5-Punkte-Likert-Skala erhoben (1 = stimme überhaupt nicht zu, 5 = stimme voll zu). Die Stichprobe umfasste 154 Schüler:innen (65 Schülerinnen, 82 Schüler, 1 divers) mit einem Altersdurchschnitt von 17 Jahren.

Ergebnisse

Situationales Interesse. Die Items in dieser Kategorie wurden von den Lernenden größtenteils positiv bewertet. Exemplarisch kann hier das Item ‚Ich finde die Themen interessant, die wir heute im Labor gelernt haben' (2,6 % stimme überhaupt nicht zu, 8,4 % stimme nicht zu, 22,7 % weder noch, 44,8 % stimme zu, 21,4 % stimme voll zu) aufgeführt werden. Neben den positiv bewerteten Items wurde das Item ‚Was wir gelernt haben, kann ich im Alltag anwenden' (18,3 % stimme überhaupt nicht zu, 26,8 % stimme nicht zu, 26,1 % weder noch, 22,2 % stimme zu, 6,5 % stimme voll zu) allerdings negativer bewertet. Dies deutet darauf hin, dass die Inhalte besser in den gewählten Kontext eingebunden werden sollten.

Teamarbeit. Auch die Zusammenarbeit im Team wurde überwiegend sehr positiv bewertet (z.B. ‚Unser Team hat gut zusammengearbeitet'; 1,3 % stimme überhaupt nicht zu, 0,6 % stimme nicht zu, 10,4 % weder noch, 37,7 % stimmen zu, 50,0 % stimmen voll zu). Die Lernenden gaben dem Item ‚Ich glaube, dass ich durch das Experimentieren in einem Team viel gelernt habe' (3,2 % stimme überhaupt nicht zu, 14,9 % stimme nicht zu, 25,3 % weder noch, 46,8 % stimme zu, 9,1 % stimme voll zu) von allen Items allerdings am wenigsten volle Zustimmung. Da dies allerdings eine essenzielle Komponente des kooperativen Lernens ist, wird dieses mit in der Diskussion betrachtet.

Selbstständiges Arbeiten. Die Rückmeldungen zu den Items dieser Kategorie fielen deutlich gemischter aus. Items bezüglich der eigenen Beteiligung während der Experimentierphase wurden als sehr positiv bewertet. Die Items bezüglich des Begleitmaterials wurden jedoch deutlich schlechter bewertet. Als Beispiel ist das Item ‚Das Material im Labor war gut, um ohne die Hilfe der Betreuer:innen zu arbeiten' (16,3 % stimme überhaupt nicht zu, 39,2 %

stimme nicht zu, 22,2 % weder noch, 18,3 % stimme zu, 3,9 % stimme voll zu) anzuführen. Hieraus kann geschlossen werden, dass das forschende Lernen ohne ausreichende Unterstützung nicht optimal funktionierte.

Freies Experimentieren. Die Bewertung in dieser Kategorie bestätigten die Schwierigkeiten der vorangegangenen Kategorie. Gerade das Item ‚Die angebotenen Hilfen (gestufte Hilfen, Glossar, Erklärvideos) haben uns beim Experimentieren geholfen' (8,2 % stimme überhaupt nicht zu, 15,6 % stimme nicht zu, 36,7 % weder noch, 29,9 % stimme zu, 9,5 % stimme voll zu) unterstreicht die Notwendigkeit, das Material noch klarer und strukturierter zu gestalten, um den initialen Bedingungen von Kieferle & Markic (2023a) gerecht zu werden. Es ist wichtig, dass das Material klare Hilfestellungen und Anweisungen bietet, ohne den explorativen Charakter der Laborumgebung zu stark einzuschränken.

Decision-Making. In dieser Kategorie ist festzustellen, dass die Mehrheit der Lernenden den Aussagen nicht zustimmte, allerdings auch nicht ablehnte. Ein Großteil der Lernenden stimmten der Aussage ‚Durch den Laborbesuch habe ich meine Fähigkeit, komplexe Themen aus unterschiedlichen Perspektiven zu betrachten, weiter gefördert' (2,0 % stimme überhaupt nicht zu, 11,1 % stimme nicht zu, 31,4 % weder noch, 50,3 % stimme zu, 5,2 % stimme voll zu). Kritischer waren jedoch die Rückmeldungen zum Item ‚Ich kann fachlich begründete Entscheidungen besser treffen als vor dem Laborbesuch' (5,9 % stimme überhaupt nicht zu, 17,1 % stimme nicht zu, 43,4 % weder noch, 30,3 % stimme zu, 3,3 % stimme voll zu). Da jedoch gerade diese Komponente des decision-makings im LMUchemlab gefördert werden soll, muss dies stärker in den Fokus gerückt werden.

Diskussion

Die Ergebnisse dieser Studie stellen sowohl Gelingensbedingungen als auch die Verbesserungspotentiale der Lernumgebung heraus. Die Rückmeldungen in der Kategorie ‚Teamarbeit' deuten darauf hin, dass der Aspekt des kooperativen Lernens durch klarere Aufgabenstellungen und Protokollierung weiter verstärkt werden sollte, um den Lernzuwachs sichtbarer zu machen. Die Items aus den Kategorien ‚Selbstständiges Arbeiten' und ‚Freies Experimentieren' deuten zudem daraufhin, dass durch unzureichendes Material nicht allen Teilnehmenden eine aktive Teilhabe am selbstständigen Experimentieren ermöglicht wird. Deshalb sollte das Begleitmaterial überarbeitet werden, um den Leitlinien von Kieferle & Markic (2023a) gerecht zu werden. Ein weiteres kritisches Ergebnis zeigt sich im Bereich des ‚decision-making'. Die Lernenden bewerteten die Möglichkeit, Lebensmittel aus verschiedenen Perspektiven zu betrachten, als durchaus positiv, allerdings gaben sie an, dass sie in anderen Bereichen dieser Kategorie nicht maßgeblich gefördert wurden. Um dies zu adressieren, sollten die Aufgaben rund um das decision-making präsenter für die Lernenden dargestellt werden. Für den nächsten Evaluationszyklus (Eilks & Ralle, 2002) soll in der Vorbesprechung des Labors unter anderem schon auf das Sammeln der Informationen verstärkt eingegangen werden. Nach einer Think-Pair-Share Methode sollen die Schüler:innen zunächst über ihre eigenen Kriterien bei Lebensmitteln nachdenken und anschließend in der Gruppe Kriterien für die „Ernährung der Zukunft" entwickeln. Eine Anpassung des Begleitmaterials und eine präsentere Informationsbereitstellung und geführtere Informationsverarbeitung können dazu beitragen, die Lernenden besser zu unterstützen und die aktive Teilhabe aller zu ermöglichen. Zusammenfassend sollte sich der nächste Evaluationszyklus darauf konzentrieren, die Gestaltung der Lernmaterialien zu überarbeiten, um das selbstständige Arbeiten und den Entscheidungsprozess gezielter zu unterstützen.

Literatur

Abebe, W. K., Faris, S. B. & Tafari, H. W. (2023). Effect of Context-Based Approach on Students' Scientific Reasoning on Heredity Concepts. *Pedagogical Research 8*(4).

Belchior-Rocha, H., Almeida, F., Casquilho, I. & Ferreira, J. (2017). *Preparing students to apply transversal skills - a case study in higher education*. Edulearn17 Proceedings, IATED.

Chen, A., Darst, P. W. & Pangrazi, R. P. (2001). An examination of situational interest and its sources. *British journal of educational psychology 71*(3), 383-400.

Duran, M. & Dökme, I. (2016). The effect of the inquiry-based learning approach on student's critical-thinking skills. *Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education 12*(12).

Eilks, I. & Ralle, B. (2002). *Partizipative Fachdidaktische Aktionsforschung. Ein Modell für eine begründete und praxisnahe curriculare Entwicklungsforschung in der Chemiedidaktik*. CHEMKON: Forum für Unterricht und Didaktik, Wiley Online Library.

Kieferle, S. & Markic, S. (2023a). Development and implementation of innovative concepts for language-sensitive laboratories. *Chemistry Education Research and Practice 24*.

Kieferle, S. & Markic, S. (2023b). Aktive Teilhabe und Forschendes Lernen ermöglichen – inklusive Lernumgebungen im SchülerInnenlabor der Sekundarstufe I. *Chemkon 31*(1), 21-27.

Larraz, N., Vázquez, S. & Liesa, M. (2017). Transversal skills development through cooperative learning. Training teachers for the future. *On the horizon 25*(2), 85-95.

Reuter, J., Dias, M. F., Madaleno, M., Amorim, A. & Vitória, A. (2020). *Game based learning on transversal skills development: An applied state of the art*. EDULEARN20 Proceedings, IATED.

Ritter, B. A., Small, E. E., Mortimer, J. W. & Doll, J. L. (2018). Designing management curriculum for workplace readiness: Developing students' soft skills. *Journal of Management Education 42*(1), 80-103.

Jonas Tischer[1] [1]Universität Oldenburg
Michael Komorek[1]

Überzeugungen von komplementärer Einbettung außerschulischer Angebote

Herausforderung mit denen unsere Gesellschaft konfrontiert ist, zeichnen sich durch eine hohe Komplexität aus und erfordern damit eine multiperspektivische Betrachtung. Beispiele sind der Klimawandel, die nachhaltige Energieversorgung, ‚Fluch und Segen' von Kunststoffen oder die Digitalisierung. Bildung muss Schüler:innen – auch unter dem Blickwinkel der gesellschaftlichen Partizipation – auf den Umgang mit solchen Herausforderungen vorbereiten (Ohl, 2018) und dabei die notwendigen vielfältigen Perspektiven des jeweiligen komplexen Kontexts berücksichtigen. Gleichzeitig bieten solch komplexe Kontexte auch Motivationspotenzial (Lewalter & Geyer, 2009). Schulen bieten bereits gute Voraussetzungen für Zugänge aus verschiedenen Perspektiven; ein Zugang jedoch, der Perspektiven vernetzt, gestaltet sich als schwierig, da die Zugänge der Schulfächer meist wenig aufeinander bezogen sind.
Außerschulische Lernstandorte hingegen können ihre Angebote freier gestalten und somit multiperspektivische Zugänge in einzelnen Angeboten anbieten. Dennoch reicht der singuläre Besuch eines außerschulischen Lernortangebots nicht aus, um einen komplexen Kontext wie den Klimawandel multiperspektivisch und in seiner Tiefe zu erfassen.
Im von der Deutschen Telekom Stiftung geförderten Projekt ReBiS wird ein Ansatz erprobt, in dem Schulen und außerschulische Lernstandorte ihre Angebote ‚komplementär' vernetzen, um einen Zugang zu komplexen Problemkontexten herzustellen. Vier Schulen und sechs außerschulische Lernorte aus dem Raum Wilhelmshaven/Friesland/Oldenburg erproben gemeinsam Formate dieser Einbettung.

Komplementäre Vernetzung schulischer und außerschulischer Angebote

Um einen multiperspektivischen Zugang zu komplexen Kontexten herzustellen, werden im Projekt ReBiS zwei Schritte unternommen: Zum einem werden mehrere außerschulische Lernstandorte besucht, um weitere Perspektiven und Zugänge zum Problemkontext zu ermöglichen. Zum anderen werden die Besuche außerschulischer Lernorte in die Fachunterrichte der Schulen eingebettet. Beteiligte Lehrkräfte wählen mit ihren Schüler:innen einen komplexen Problemkontext am Beginn des Schuljahres aus und entscheiden, aus welchen Schulfächern heraus und zusammen mit welchen außerschulischen Angeboten der Problemkontext bearbeitet werden soll.
Ein Beispiel: Im Kontext von ‚Fluch und Segen von Kunststoffen' etwa untersuchten Schüler:innen einer 7. Klasse an einem ersten außerschulischen Lernstandort die negativen Auswirkungen von Mikroplastik auf das Wattenmeer, bevor sie in einem Schülerlabor die Möglichkeiten des Recyclings kennenlernten. Und an einem dritten Lernstandort, einem weiteren Schülerlabor, fokussierten sie auf die Stärken von Kunststoffen, z. B. in der Medizin. Eingebettet waren diese Angebote in unterschiedliche Schulfächer aus den Bereichen Naturwissenschaft und Gesellschaftswissenschaften. Diese Einbettungen wirkten sich positiv auf das fachliche Lernen aus (wie auch berichtet wird bei Guderian, 2007 und Klees & Tillmann, 2015).
Bei ReBiS wird die Einbettung häufig über ‚Cliffhanger' realisiert. Dabei kommen die Schüler:innen im Unterricht an einen Punkt, an dem sich die Notwendigkeit ergibt, die Schule

zu verlassen und einen Ort aufzusuchen, an dem sie neue Erfahrungen sammeln, mit anderen Materialien experimentieren oder Experten befragen können. Und am außerschulischen Lernort wiederum wird die Notwendigkeit hergestellt, in der Schule zu vertiefen. Bei ReBiS werden außerschulische und schulische Angebote so kombiniert, dass sie ein neues Bildungsangebot darstellen. Die einzelnen Parts ergänzen einander oder stehen im Kontrast zueinander, um mehrere Perspektiven aufeinander zu beziehen oder auch um Dilemmata herauszuarbeiten. Dieses Vorgehen wird komplementäre Vernetzung genannt (Sajons & Komorek, 2020).
Erprobt wurde der ReBiS-Ansatz erstmals in einer Projektwoche (Sajons & Komorek, 2020), in der Schulklassen an vier Tagen vier außerschulische Angebote besuchten und das Erlebte am fünften Tag in der Schule nachbereiteten. Es hat sich gezeigt, dass die Schüler:innen die Multiperspektivität grundsätzlich fassen können, doch durch die hohe Informations- und Aktivitätsdichte ergab sich eine Überforderung (Tischer, 2020). Zudem wünschten sich Lehrkräfte die Möglichkeit einer besseren Einbettung (Zinn, 2019). Deswegen sind spätere Umsetzungen über ein ganzes Schuljahr zeitlich entzerrt worden.

Begleitforschung: Forschungsfragen und Studiendesign
In ReBiS ist Begleitforschung auf drei Ebenen integriert. Zum einen wird untersucht, welche Prozesse der Vernetzung zwischen den Akteuren (Schulen/Lehrkräfte und Lernstandorte/Lernortpädagog:innen) zu beobachten sind. Zum zweiten wird erhoben, wie es einzelnen Schulen und Schulfächern gelingt und welche Strategien sie entwickeln, außerschulische Lernangebote in den Fachunterricht einzubetten und welche Handlungen und Kognitionen bei den Schüler:innen mittels der außerschulischen und schulischen Angebote angeregt werden. Drittens werden die subjektiven Vorstellungen der beteiligten Lehrkräfte und Lernortpädagog:innen von der Bedeutung außerschulischen Lernens, von der Funktion der Einbettung und von der Rolle der Komplexität in den betrachteten Kontexten erhoben.
Insbesondere die subjektiven Überzeugungen der ReBiS-Lehrkräfte sind insofern bedeutsam, weil die Lehrkräfte der Dreh- und Angelpunkt des Projekts sind. Die Forschungsfrage lautet: *Über welche subjektiven Überzeugungen (beliefs) verfügen Lehrkräfte hinsichtlich der Einbettung außerschulischer Angebote in den Fachunterricht, des Umgangs mit Komplexität und der Rolle komplexer interdisziplinärer Themenfelder im Fachunterricht?*
Methodisch wurde sich in der Studie einer großen Bandbreite an Instrumenten bedient. Zur Erhebung der subjektiven Vorstellungen der Lehrkräfte wurden qualitative leitfadengestützte Interviews genutzt. Die beteiligten Lehrkräfte wurden zu Projektbeginn und ebenso ein Jahr später befragt. Fragen waren unter anderem

- *Inwiefern unterstützen außerschulische Lernangebote das Lernen von Schüler:innen?*
- *Wie lassen sich Lernortangebote in den Fachunterricht einbetten?*
- *Welchen Mehrwert hat eine systematische Einbettung der außerschulischen Angebote für die Schüler:innen?*

Begleitet wurde die Befragung durch einen Fragebogen, den die Lehrkräfte vor den jeweiligen Interviews ausgefüllt hatten. Die Antworten im Fragebogen dienten im Interview als Stimulus und Gesprächsanlass. Die Interviewdaten wurden mittels qualitativer Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2018) ausgewertet, wobei deduktive Hauptkategorien durch induktive Unterkategorien ausdifferenziert wurden.

Überzeugungen von Lehrkräften im Kontext der komplementären Vernetzung
Folgende Aussagen sind Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse.

Außerschulische Angebote bieten erweiterte Lernzugänge. Es wurde als eine zentrale Aussage herausgearbeitet, dass Lehrkräfte an außerschulischen Lernstandorten vor allem die Möglichkeit perspektivisch neuer Zugänge schätzen. Diese seien durch andere Materialien bzw. Ausstattung, andere Personen/Experten, einen anderen Betreuungsschlüssel und die im Gegensatz zum Unterricht länger andauernde Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand am außerschulischen Lernort unterstützt. Auch andere Arbeitsformen als in der Schule sorgten für reichhaltigere Kognitionen bei den Schüler:innen und für eine nützliche Emotionalität.
Systematische Einbettung als zentrale Voraussetzung. Als einen zentralen Aspekt nennen die Lehrkräfte die Einbettung der Lernortbesuche in den Unterricht. Deren Notwendigkeit wird durch die Abhängigkeit von den Lernzielen begründet und zielt vor allem auf eine Unterstützung des fachlichen Lernens. Die Äußerungen der Lehrkräfte machen die Sicht der Lehrkräfte deutlich, wonach eine kognitive Wirksamkeit des Lernortbesuchs nicht ohne eine systematische Einbettung gelingen könne. Stehen soziale Ziele (z. B. die Stärkung der Klassengemeinschaft) im Fokus eines außerschulischen Lernortbesuchs, so wird eine Einbettung als weniger notwendig erachtet.
Die Einbettung erfüllt aus Lehrkräftesicht verschiedene Aufgaben: Zum einen entlastet die Einbettung die Anforderungen an den außerschulischen Lernortbesuch, indem die kognitive Belastung der Schüler:innen reduziert sei. Hier hat der einbettende Unterricht eine zentrale Bedeutung, indem bestimmte Konzepte des außerschulischen Angebots, seine spezifischen Fachtermini und bestimmte Methoden, von denen die Lehrkraft im Vorfeld weiß, geklärt werden. So können sich die Schüler:innen am Lernstandort auf das Problemlösen und das fachliche Lernen konzentrieren sowie den Lernort auch genießen. Zudem wird von den Befragten der didaktische Wert der Nachbereitung betont. Gemeint ist, das am Lernstandort Wahrgenommene zu reflektieren, durch z. B. eigene Experimente zu vertiefen und mit den Einsichten und Erkenntnissen, die an anderen Lernstandorten sowie in den anderen Fächern gewonnen wurden, zu verknüpfen. Dies alles, um sich dem komplexen Problemkontext weiter aufzuklären und sich ihm zu nähern.
Der ReBiS-Ansatz wirkt auf die Bedeutung außerschulischen Lernens: Lehrkräfte erkennen in der Projektlaufzeit den Wert und Nutzen von Besuchen außerschulischer Lernorte. Dabei gilt es zwischen Lehrkräften zu differenzieren, die von Vornherein vom außerschulischen Lernen überzeugt waren, und denjenigen, die zunächst skeptisch waren. Insbesondere bei Letzteren zeigt sich in den Interviews, dass die gemachten Erfahrungen dazu beigetragen haben, außerschulischen Angeboten grundsätzlich positiver gegenüberzustehen. Auf Basis der quantitativ erhobenen Daten (im Fragenbogen) lässt sich auch erkennen, dass die positive Bewertung der Notwendigkeit einer systematischen Einbettung aus Sicht der Lehrkräfte während und durch die Projektlaufzeit gestiegen ist.

Fazit

Es zeigt sich, dass Lehrkräfte den Besuchen außerschulischer Angebote grundsätzlich positiv gegenüberstehen, sofern ein gutes Aufwand-Nutzen-Verhältnis besteht und finanzielle, personelle und strukturelle Ressourcen geklärt sind. Die Vor- und Nachbereitung der Angebote ist den Lehrkräften dabei eine wichtige Voraussetzung dafür, einen zielführenden Kompetenzerwerb zu fördern und sowohl die Lernziele des Fachunterrichts als auch die des Lernstandorts zu erreichen. Ebenso erkennen sie die wichtige Funktion einer systematischen Einbettung darin, komplexe technische oder gesellschaftliche Kontexte überhaupt erst behandeln zu können und dafür außerschulische Angebote mit ihrer Multiperspektivität einzusetzen.

Literatur

Guderian, P. (2007). Wirksamkeitsanalyse außerschulischer Lernorte Der Einfluss mehrmaliger Besuche eines Schülerlabors auf die Entwicklung des Interesses an Physik. Dissertation. Berlin: Humboldt-Universität.

Klees, G. & Tillmann, A. (2015). Design-Based Research als Forschungsansatz in der Fachdidaktik Biologie. In Journal für Didaktik der Biowissenschaften 6, S. 991-110.

Kuckartz, U. (2018). Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. Weinheim: Beltz Juventa.

Lewalter, D. & Geyer, C. (2009). Motivationale Aspekte von schulischen Besuchen in naturwissenschaftlich-technischen Museen. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft 12, 28-44.

Ohl, U. (2018). Herausforderung und Wege eines systematischen Umgangs mit komplexen Themen in der schulischen Nachhaltigkeitsbildung. In T. Pyhel (Hrsg.): Zwischen Ohnmacht und Zuversicht? Vom Umgang mit Komplexität in der Nachhaltigkeitskommunikation, S. 131-146. München: Oekom Verlag.

Sajons, C. & Komorek, M. (2020). Complementary networking of out-of-school learning environments. In O. Levrini & G. Tasquier (Eds.), Electronic Proceedings of the ESERA 2019 Conference. The beauty and pleasure of understanding: engaging with contemporary challenges through science education, Part 9 (coed. J. Dillon & A. Zeyer) (pp. 1072-1078). Bologna: Alma Mater Studiorium – University of Bologna.

Tischer, J. (2020). Schülerkognitionen in einer komplementär vernetzten außerschulischen Lernumgebung – Die Projektwoche „Herausforderung Leben im Klimawandel“. Masterarbeit. Oldenburg: Universität Oldenburg.

Zinn, I. (2019). Konzeption und empirische Begleitung einer komplementären Projektwoche „Herausforderung Leben im Klimawandel“. Masterarbeit. Oldenburg: Universität Oldenburg.

Constantin Egerer[1]
Amitabh Banerji[1]

[1]Universität Potsdam

Theoriegeleitete Gestaltungskriterien zur Erstellung von Animationen für den Chemieunterricht

Problemstellung

Die Inhalte des Chemieunterrichts lassen sich nach dem Johnstone-Dreieck auf drei Repräsentationsebenen verorten (Johnstone, 1993): die makroskopische, die submikroskopische und die symbolische Ebene. Häufig wird im Unterricht ein Erkenntnisweg gewählt, der die Inhalte auf der makroskopischen Ebene durch Experimente präsentiert und auf der symbolischen Ebene die Ergebnisse verschriftlicht. Dieser Weg kann jedoch zu Verständnisschwierigkeiten bei den Schüler*innen führen (Wu & Shah, 2004). Ein Weg, der diese Probleme vorbeugen kann, führt über submikroskopische Repräsentationen und die Vernetzung mit anderen Ebenen (Wu & Shah, 2004). Eine besonders geeignete Möglichkeit zur Darstellung der Teilchenebene sind Animationen, da diese das dynamische Wesen von chemischen Prozessen adäquat abbilden können. Jedoch bieten Animationen derart viele Gestaltungsmöglichkeiten, sodass eine theoretische Grundlage benötigt wird, um dieses digitale Medium optimal für das Lernen und Lehren im Chemieunterricht zu erstellen. In diesem Beitrag soll daher ein theoriegeleiteter Kriterienkatalog für die Erstellung lernwirksamer Animationen vorgestellt werden, der aus der Verknüpfung von mehreren Fachdisziplinen entstanden ist. Im aktuellen Stadium ist dieser Katalog als Diskussionsvorschlag zu sehen.

Übersicht über die theoretischen Grundlagen für den Kriterienkatalog

Vier Fachdisziplinen sind von besonderer Bedeutung bei der Erstellung von Animationen für den Chemieunterricht: Chemiedidaktik, Lehr-/Lernforschung, Wahrnehmungspsychologie und neurowissenschaftliche Forschung.

Durch Chemiedidaktik und die Lehr-/Lernforschung lassen sich Kriterien ableiten, wodurch besonders Fehlvorstellungen bzw. Präkonzepte der Lernenden beachtet und mögliche Unterrichtssituationen für den Einsatz von Animationen identifiziert werden können (z.B. Barke et al., 2018). Außerdem spielt die Sequenzierung von Lerninhalten durch geeignet gewählte kurze Pausen bei der Vermittlung von Inhalten eine wichtige Rolle für den Lernprozess (vgl. Boucheix et al., 2013) sowie die Berücksichtigung von cognitve load (vgl. Paas & Sweller, 2014).

Dabei fasst das Animation Processing Model (Lowe & Schnotz, 2014) die Denkprozesse bei der Wahrnehmung von Animationen zusammen. Eine Kurzfassung zeigt Abbildung 1.

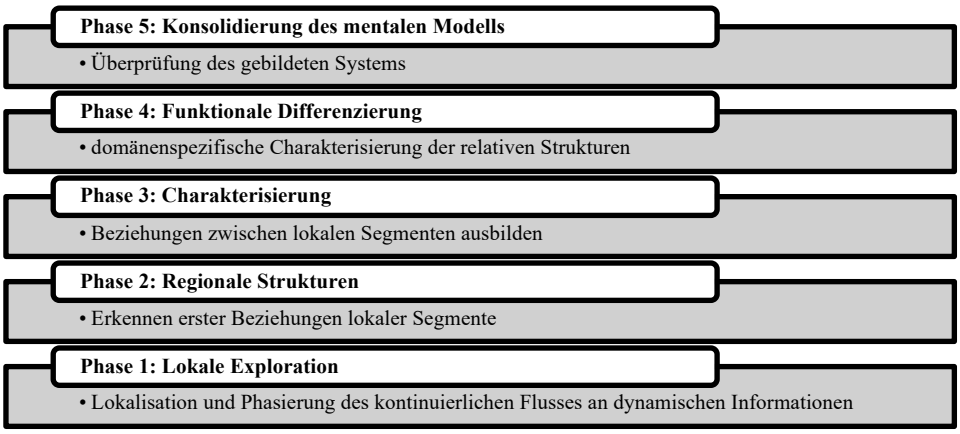


Abbildung 1: Kurzfassung des Animation Processing Models nach Lowe und Schnotz (2014)

Aus dem Bereich der Wahrnehmungspsychologie können Erkenntnisse über Gestaltgesetze und empirisch belegte Prinzipien in den Kriterienkatalog einfließen. Außerdem können Probleme und Grenzen der Wahrnehmung eine wichtige Rolle spielen. (z.B. Müsseler & Rieger, 2017)
Auch die Arbeiten im Bereich der neurowissenschaftlichen Forschung können einen bedeutenden Beitrag zu dem Kriterienkatalog liefern. Denn der Aufbau des Gehirns und unserer Sinnesorgane spielt eine zentrale Rolle in der Verarbeitung von Animationen. Auch die kortikalen Verarbeitungspfade beeinflussen die Wahrnehmung verschiedener durch Animationen repräsentierter Informationen. (vgl. Bear et al., 2018)
Insgesamt wurden in einer Literaturrecherche 64 Quellen mit diesen Schwerpunkten gesichtet und daraus 19 verschiedene Kriterien identifiziert. Diese bilden eine erste Rohfassung[1] des Katalogs. Diese sind nach den Schwerpunkten Inhalt, Gestaltung und Didaktik sortiert und in einer tabellarischen Anordnung mit Literaturquellen und Begründung versehen. Im Folgenden werden einige Kriterien exemplarisch vorgestellt.

Exemplarische Vorstellung einiger Kriterien

Nach Sinneinheiten (micro chunks) sind kurze Pausen vorhanden.
Die Lernenden können besonders in der ersten Phase der Informationsverarbeitung unterstützt werden, indem durch geeignete Pausen bereits eine Phasierung der dynamischen Informationen vorliegt (Lowe & Schnotz, 2014). Dies kann dazu beitragen den cognitve load zu reduzieren (Boucheix et al., 2013).

Es wurde eine effektive Verknüpfung der Animation mit makroskopischer und symbolischer Ebene angestrebt.
Die Stellung einer Animation im Unterricht ist zentral für die Lernprozesse der Schüler*innen. Eine positive Einbettung wird so beschrieben, dass ein Experiment die makroskopische Ebene betrachtet, im Anschluss die submikroskopische Ebene beispielsweise durch eine Animation adressiert wird und abschließend die Auswertung auf der symbolischen Ebene stattfindet (Wu & Shah, 2004). Somit sind die Ebenen zwar miteinander verknüpft, jedoch klar voneinander

[1] abrufbar unter: https://banerji-lab.com/wp-content/uploads/2024/09/2024-09-GDCP-Gestaltungskriterien-Rohfassung.pdf

abgegrenzt. Eine Gefahr für die Entwicklung von Fehlvorstellungen birgt das Vermischen der Ebenen. Negativbeispiele sind Animationen, die gleichzeitig mehrere Ebenen darstellen, die nicht klar voneinander getrennt sind, da diese Fehlvorstellungen zur Teilchengröße und zu Teilchen als Eigenschaftsträger hervorrufen können (Barke et al., 2018).

Es wurden geradlinige oder vorhersehbare Bewegungen verwendet.
In manchen chemischen Prozessen bewegen sich Teilchen nicht vorhersehbar oder geradlinig, wodurch die Wahrnehmung beeinträchtigt werden kann. Ein Sinnesreiz aktiviert nicht nur die betroffene Ganglienzelle auf der Netzhaut, es werden außerdem umgebene (Berry et al., 1999) und korrespondierende kortikale Zellen (Erlhagen et al., 1999) in einem geradlinigen Aktivierungsmuster präaktiviert. Diese sorgt für eine schnellere Reizaufnahme, falls der Reiz tatsächlich auf diese Sinneszellen trifft (Müsseler & Rieger, 2017). Ist dies nicht der Fall, dann kann es zu Lokalisationsfehlern (Flash-lag Effekt) (Müsseler & Rieger, 2017) kommen und das animierte Objekt wird für einige Zehntelsekunden nicht wahrgenommen.

Die Wahrnehmung wurde auf relevante Aspekte der Animation gelenkt.
Gerade bei Animationen, die sehr viele Details beinhalten, ist es wichtig die Aufmerksamkeit auf die für den Erkenntnisgewinn bedeutenden Bereiche der Animation zu lenken. Dies kann einfach durch rote Kästchen um den wichtigen Bereich, durch Pfeile oder ein Aufblinken von Objekten realisiert werden. Dabei werden die Lernenden in Phase 1 des Animation Processing Models (siehe Abbildung 1) unterstützt (Lowe & Schnotz, 2014). Ähnlich wie bei dem vorherigen Kriterium kann das relevante Objekt für einige Sekunden nicht wahrgenommen werden, falls es außerhalb des scharfen Sichtfeldes liegt (Müsseler & Rieger, 2017).

Detail- und Bewegungswahrnehmung sind voneinander abgegrenzt.
Sich bewegende Objekte können nicht detailreich wahrgenommen werden. Für dieses Phänomen lassen sich Evidenzen in den kortikalen Verarbeitungspfaden und dem Aufbau der Netzhaut finden. Auf dieser befinden sich sogenannte P-Typ Ganglienzellen mit kleinen rezeptiven Feldern zur Wahrnehmung von Details und M-Typ Ganglienzellen mit großen rezeptiven Feldern zur Bewegungswahrnehmung (Bear et al., 2018). Die Informationen dieser verschiedenen Zelltypen werden auch in zwei voneinander getrennten Verarbeitungspfaden weitergeleitet und in verschiedenen Gehirnarealen (posterior parietaler Cortex und infero-temporaler Cortex) interpretiert (Müsseler & Rieger, 2017).

Ausblick
Der Beitrag zeigt, dass ein Kriterienkatalog entwickelt werden konnte, der eine Grundlage für Lehrkräfte bieten kann, um bei der Erstellung von lernwirksamen Animationen für den Chemieunterricht zu unterstützen. Jedoch muss dieser Katalog durch Expert*innen-Interviews noch überprüft werden, um die Vollständigkeit zu überprüfen. Durch Befragungen könnte die Anwendbarkeit erhoben werden.
Es besteht Potential aus den Kriterien mit einer passenden Skala ein Messinstrument zur Qualität von Animationen zu bilden. Dazu kann beispielsweise cognitive load als Indikator dienen, ob Animationen, die diese Kriterien erfüllen, leichter verarbeitet werden können als andere. Dies würde dazu beitragen die Validität des Kriterienkatalogs zu erhöhen. Als Maß für die Objektivität sollte eine Interrater-Korrelation berechnet werden.

Literatur

Barke, H.-D., Harsch, G., Kröger, S., & Marohn, A. (2018). *Chemiedidaktik kompakt*. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56492-9

Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2018). *Neurowissenschaften: Ein grundlegendes Lehrbuch für Biologie, Medizin und Psychologie* (A. K. Engel, Hrsg.; A. Held & M. Niehaus, Übers.; 4. Auflage). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57263-4

Berry, M. J., Brivanlou, I. H., Jordan, T. A., & Meister, M. (1999). Anticipation of moving stimuli by the retina. *Nature*, *398*(6725), 334–338. https://doi.org/10.1038/18678

Boucheix, J.-M., Lowe, R. K., Putri, D. K., & Groff, J. (2013). Cueing animations: Dynamic signaling aids information extraction and comprehension. *Learning and Instruction*, *25*, 71–84. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2012.11.005

Erlhagen, W., Bastian, A., Jancke, D., Riehle, A., & Schöner, G. (1999). The distribution of neuronal population activation (DPA) as a tool to study interaction and integration in cortical representations. *Journal of Neuroscience Methods*, *94*(1), 53–66. https://doi.org/10.1016/S0165-0270(99)00125-9

Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, *70*(9), 701. https://doi.org/10.1021/ed070p701

Lowe, R. K., & Schnotz, W. (2014). Animation Principles in Multimedia Learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2. Aufl., S. 513–546). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.026

Müsseler, J., & Rieger, M. (Hrsg.). (2017). *Allgemeine Psychologie*. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-53898-8

Paas, F., & Sweller, J. (2014). *2 Implications of Cognitive Load Theory for Multimedia Learning*. *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*(2), 42. https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369

Wu, H.-K., & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, *88*(3), 465–492. https://doi.org/10.1002/sce.10126

Antonia Kirchhoff[1]
Stefanie Schwedler[1]

[1]Universität Bielefeld

Lehramtsstudierende der Chemie und ihr Modellverständnis von Simulationen – eine epistemologische Perspektive

Ausgangslage und Zielformulierung

Simulationen spielen sowohl im Chemieunterricht als auch in Wissenschaft und Gesellschaft eine zunehmend bedeutende Rolle. Aus Sicht des Chemieunterrichts ist die Eigenschaft von Moleküldynamiksimulationen, einen Zugang zur submikroskopischen Ebene (Johnstone, 2002) zu bieten, interessant. Aus einer naturwissenschaftlich-gesellschaftlichen Sicht sind aktuelle Anwendungen z.B. in der Klimaforschung oder auch im Zusammenhang mit der Covid-19-Pandemie von Bedeutung. Diese beiden Sichtweisen sind jedoch nicht getrennt zu denken; ist es doch ein Charakteristikum naturwissenschaftlicher Simulationen, versteckte Eigenschaften komplexer Systeme zugänglich zu machen (Orgill, York & MacKellar, 2019), das auch gesellschaftsrelevante Simulationen auszeichnet. Des Weiteren ergeben sich übergreifende epistemologische Fragen nach der Reliabilität von Simulationsergebnissen (Durán & Formanek, 2018) oder Schwierigkeiten der epistemischen Undurchsichtigkeit durch die im Hintergrund ablaufenden komplexen Berechnungen (Humphreys, 2009). Diese sind sowohl aus einer *scientific literacy*-Perspektive als auch spezifisch für den Umgang mit Simulationen und ihren Ergebnissen im Chemieunterricht relevant. Vor diesem Hintergrund fordern Seoane, Greca & Arriassecq (2022), Simulationen nicht nur als Lehr-Lern-Gelegenheit in den Unterricht zu integrieren, sondern auch als Bestandteil naturwissenschaftlicher Praktiken aus einer epistemologischen Metaperspektive zu reflektieren. Damit dies gelingt, braucht es Gelegenheiten für Lehrkräfte, sich mit dem Einsatz von Simulationen in Unterricht und Wissenschaft auseinanderzusetzen. Zur bedarfsorientierten Gestaltung dieser Gelegenheiten sollten zunächst ihre Vorstellungen zu Simulationen erfasst werden, was bislang vernachlässigt wurde (ebd.). Ziel des Forschungsprojektes ist es daher, die Vorstellungen von Lehramtsstudierenden der Chemie zum Einsatz von Simulationen in ihrer epistemologischen Rolle zu analysieren und auf Grundlage modelltheoretischer Ansätze zu charakterisieren, um davon ausgehend universitäre Lerngelegenheiten zu entwickeln. Langfristig sollen die Studierenden in die Lage versetzt werden, den Unterricht in den Naturwissenschaften so zu gestalten, dass ihre Schüler*innen durch eine geeignete epistemologische Deutung von Simulationen zu einem reflektierten naturwissenschaftlichen Handeln befähigt werden (ebd.).

Die Epistemologie computerbasierter Simulationen

Simulationen sind allgegenwärtiger Bestandteil naturwissenschaftlicher Forschung und werden entsprechend auch wissenschaftsphilosophisch analysiert (Parker, 2020). Vor diesem Hintergrund bedient sich das dargestellte Forschungsprojekt einer wissenschaftsphilosophischen Perspektive und versteht Simulationen als ein „System, von dem geglaubt oder gehofft wird, dass es einem anderen System ähnlich genug ist, sodass das erstere untersucht werden kann, um etwas über das letztere zu lernen“ (eigene Übersetzung nach Winsberg, 2019). Da Simulationen auf Modellen basieren bzw. Eigenschaften mit ihnen teilen (u.a. Landriscina, 2013; Durán, 2020; Alvarado, 2023; Martìn & Ariza, 2024), wird das Kompetenzmodell der Modellkompetenz nach Upmeier zu Belzen & Krüger (2010; nachfolgend KMMK genannt) herangezogen, um die studentischen Vorstellungen von Simulationen auf modelltheoretischer

Grundlage zu analysieren und als Modellverständnis von Simulationen zu charakterisieren (Kirchhoff & Schwedler, 2024). Das bereits in unterschiedlichen Studien und mit verschiedenen Stichproben eingesetzte KMMK systematisiert fünf Inhaltsbereiche des Modellverständnisses in jeweils drei Niveaus. Dabei sind auf Niveau I Vorstellungen vertreten, die als naiv zu bezeichnen sind und primär allein auf Basis des Simulationssystems argumentieren. Auf Niveau II finden sich repräsentationale Sichtweisen, die Simulationen als Simulationen *von* etwas verstehen. Und auf Niveau III finden sich schließlich Vorstellungen, die Simulationen als Simulationen *für* etwas verstehen und daher als instrumental zu bezeichnen sind.
Neben der Nutzung von Gemeinsamkeiten zwischen Simulationen und Modellen sind es gerade die epistemologischen Besonderheiten computerbasierter Simulationen, die zur Charak terisierung der studentischen Vorstellungen von Bedeutung sind. Diese werden insbesondere auch in der Abgrenzung von Animationen und von Experimenten, die zum Teil ähnliche Auf gaben übernehmen, sich in relevanten Punkten aber dennoch unterscheiden, deutlich. **Animationen** werden im Unterricht zur Visualisierung dynamischer Zusammenhänge eingesetzt (Plass, Homer & Hayward, 2009). Diese Eigenschaft teilen sie mit Simulationen. Animationen basieren auf einer vorher festgelegten Abfolge von Bildern, was sie von Simulationen unterscheidet. Letztere ermöglichen durch die im Hintergrund ablaufenden computerchemischen Rechnungen die Gewinnung genuiner Erkenntnisse (Parker, 2020). **Experimente** sind die Basis naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung (Bader & Lühken, 2018) und werden als aktives Eingreifen in ein zu beobachtendes System verstanden, wobei eine Einflussgröße verändert wird, um die Wirkung auf eine Effektgröße zu erfassen (Saam, 2007; Beisbart, 2018). Die sich in dieser Definition abzeichnende Ähnlichkeit zu Simulationen ist der Grund, weshalb die Beschreibung ihres epistemologischen Verhältnisses im Interesse der Wissenschaftsphilosophie liegt. Dabei teilen sich die Ansichten zur Frage, ob Simulationen und Experimente in ihrer Aussagekraft gleichzusetzen (u.a. Morrison, 2009; Winsberg, 2009; Parker, 2020) oder Simulationen Experimenten epistemologisch unterlegen (u.a. Guala, 2002; Arnold, 2013; Roush, 2018) sind.

Forschungsfragen und -design

Zur Erfassung der Vorstellungen und des Modellverständnisses von Simulationen bei Lehramtsstudierenden der Chemie, wurde in drei Semestern (WiSe 22/23 bis WiSe 23/24) eine problemzentrierte Interviewstudie durchgeführt (N=24). Dazu erstellten die Studierenden mit der App CMapTools zunächst *concept maps*, die durch *concurrent think alouds* begleitet wurden (van Someren, Barnard & Sandberg, 1994). Auf Grundlage dieser Maps folgte ein explizierendes Interview (Fischler et al., 2001) und anschließend ein vertiefendes Interview (Nave, 2023), das über die Inhalte der Concept Map hinausging. Die Erhebung wird von den folgenden Forschungsfragen geleitet:

- (F1) Wie ist das Modellverständnis von Simulationen bei ausgeprägt?
- (F2) Inwiefern kann das Modellverständnis von Simulationen der Studierenden mit dem angepassten KMMK charakterisiert werden?
- (F3) Wodurch unterscheiden sich die Vorstellungen zu Simulationen von anderen Instrumenten der Erkenntnisgewinnung?

Die Datenauswertung erfolgt durch eine inhaltlich strukturierende und evaluative qualitative Inhaltsanalyse nach Kuckartz und Rädiker (2022) mithilfe von MAXQDA.

Die Vorstellungen der Studierenden

Bei der Analyse der *concept maps* zeigte sich, dass eine strukturbasierte Analyse allein zur Charakterisierung der Studierendenvorstellungen nicht zielführend ist. Dies wird deutlich, da diese Analyseergebnisse der qualitativen Auswertung der Interviews z.T. widersprechen. Da eine qualitative Interpretation zwar möglich, allerdings auch methodisch aufwendig und zeitintensiv ist, wurden die *concept maps* im Verlaufe der Erhebung nicht mehr selbst, sondern die transkribierten *concurrent think alouds* zur Auswertung herangezogen. Diese stellten sich als vollständiger und besser interpretierbar als die zugehörigen Maps heraus. Trotz der Entscheidung gegen die Auswertung der *concept maps*, erwiesen sie sich als wertvoller Bestandteil der Interviews. Die interviewende Person konnte mit der durch den Erstellungsprozess bedingten Verlangsamung der Inhaltsäußerungen bereits parallel das anschließende explizierende Interview vorbereiten. Die Studierenden referenzierten die Maps während der Interviews, um ihre Gedanken zu verdeutlichen und Zusammenhänge klarer zu machen.

Vor dem Hintergrund der deskriptiven und evaluativen qualitativen Inhaltsanalyse lässt sich F2 teilweise positiv beantworten. Sowohl die Struktur als auch die inhaltliche Unterteilung des angepassten KMMKs eignen sich, um verschiedene Studierendenvorstellungen einordnen und bewerten zu können. Allerdings reicht das KMMK nicht aus, um Vorstellungen zu simulationsspezifischen Besonderheiten zu beschreiben, sodass sich hier eine vertiefende Analyse anschließen muss. Hinsichtlich F1 zeigt sich, dass einige Studierende elaborierte Ansichten zu Simulationen vertreten. Weniger als ein Viertel der Studierenden schreibt Simulationen allerdings eine rein visualisierende Rolle zu und erkennt in diesem Zusammenhang ihr epistemologisches Potential nicht. Diese Einschätzung wird auch in den studentischen Aussagen zum Verhältnis zu Animationen und Experimenten (F3) deutlich. Diejenigen Studierenden, die Simulationen eine primär visualisierende Funktion zuschreiben, können sie nicht von **Animationen** unterscheiden. Dieselben Studierenden bewerten Simulationen als **Experimenten** epistemologisch unterlegen. Sie begründen dies aber nicht mit auch in der Literatur vertretenden Argumenten, sondern sprechen Simulationen den Einsatz zur Erkenntnisgewinnung grundsätzlich ab. Neben diesen zwar wissenschaftsphilosophisch unangemessenen, aber in sich konsistenten Vorstellungen vertreten andere Studierende zueinander ähnliche Auffassungen, die in sich nicht konsistent sind, sondern sich (implizit oder explizit) widersprechen.

Fazit und Ausblick

In der Analyse der studentischen Vorstellungen zur epistemologischen Rolle von Simulationen in Unterricht und Wissenschaft zeigt sich, dass einige der Teilnehmenden die erkenntnisgewinnende Rolle von Simulationen überhaupt nicht erkennt und ihr daher eine rein visualisierende Funktion zuschreibt. Dies wirkt sich auch auf die Einschätzung der Rolle von Simulationen im Vergleich zu Animationen und Experimenten aus. Vor dem Hintergrund möglicher „konsistenter Inkonsistenzen“ (Rost et al., 2023), soll sich an die deskriptive und evaluative Datenauswertung eine typenbildende anschließen, die potentielle Gruppenvorstellungen herausarbeitet. Daneben wird eine Einordnung der Einzelfälle in Hinblick auf F3 durch den Einsatz des übersetzten und adaptierten SUMS-Instruments (Rost et al., 2023; Treagust, Chittleborough & Mamiala, 2002) in allgemeine Vorstellungen zu Modellen erfolgen. Im Rahmen des Projekts wurde zudem eine als Intervention angelegte Lehrveranstaltung zum Lernen mit und über Simulationen entwickelt, deren Einfluss auf das Modellverständnis von Simulationen der Studierenden mit den beschriebenen Zugängen untersucht wird.

Literatur

Alvarado, R. (2021). Computer Simulations as Scientific Instruments. Foundations of Science(27), 1183–1205.

Arnold, E. (2013). Experiments and Simulations: do they fuse? In E. Arnold & J. Duran (Hrsg.), Computer Simulations and the Changing Face of Scientific Experimentation (S. 46–75). CSP.

Bader, H.-J. & Lühken, A. (2018). Experimente. In K. A. Sommer et al.(Hrsg.), Unterricht Chemie. Konkrete Fachdidaktik Chemie: Grundlagen für das Lernen und Lehren im Chemieunterricht (S. 460–470). Aulis.

Beisbart, C. (2018). Are computer simulations experiments? And if not, how are they related to each other? European Journal for Philosophy of Science, 8(2), 171–204.

Durán, J. M. (2020). What is a Simulation Model? Minds and Machines, 30(3), 301–323.

Durán, J. M. & Formanek, N. (2018). Grounds for Trust: Essential Epistemic Opacity and Computational Reliabilism. Minds and Machines, 28(4), 645–666.

Fischler, H. et al. (2001). Concept Mapping as a Tool for Research in Science Education. In H. Behrendt (Hrsg.), Research in science education - past, present, and future (S. 217–224). Kluwer.

Guala, F. (2002). Models, Simulations, and Experiments. In L. Magnani & N. J. Nersessian (Hrsg.), Model-Based Reasoning: Science, Technology, Values (S. 59–74). Springer US.

Humphreys, P. (2009). The philosophical novelty of computer simulation methods. Synthese, 169(3), 615–626.

Kirchhoff, A. & Schwedler, S. (2024). Lernen über Simulationen: Das Modellverständnis von Simulationen bei Lehramtsstudierenden der Chemie. In H. van Vorst (Vorsitz), Jahrestagung GDCP, Hamburg.

Johnstone, A. H. (2002). Teaching of chemistry-Logical or psychological? Chem. Educ. Res.Pract., 1 (1), 9-15.

Kuckartz, U. & Rädiker, S. (2022). Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung (5., überarbeitete Aufl.). Weinheim, Basel: Beltz Verlagsgruppe

Landriscina, F. (2013). Simulation and learning: A model-centered approach. New York, Heidelberg: Springer.

Martín, E. & Ariza, Y. (2024). A Didactic and Metatheoretical Characterization of Computational Simulations in Science Education. Science & Education, 1–21.

Morrison, M. (2009). Models, measurement and computer simulation. Philosophical Studies, 143(1), 33–57.

Nave, K. (2023). Charakterisierung situativer mentaler Modellkomponenten in der Chemie und die Bildung von Hypothesen. Logos Verlag.

Orgill, M., York, S. & MacKellar, J. (2019). Introduction to Systems Thinking for the Chemistry Education Community. Journal of Chemical Education, 96 (12), 2720–2729.

Parker, W. S. (2020). Evidence and Knowledge from Computer Simulation. Erkenntnis(87), 1521–1538.

Plass, J. L., Homer, B. D. & Hayward, E. O. (2009). Design factors for educationally effective animations and simulations. Journal of Computing in Higher Education, 21(1), 31–61.

Rost, M., Sonnenschein, I., Möller, S. & Lembens, A. (2023). Don't we know enough about models? Integrating a replication study into an introductory chemistry course in higher education. Chem. Teacher International.

Roush, S. (2018). The epistemic superiority of experiment to simulation. Synthese, 195(11), 4883–4906.

Saam, N. J. (2017). What is a Computer Simulation? A Review of a Passionate Debate. Journal for General Philosophy of Science - Zeitschrift für Allgemeine Wissenschaftstheorie, 48(2), 293–309.

Seoane, M. E., Greca, I. M. & Arriassecq, I. (2022). Epistemological aspects of computational simulations and their approach through educational simulations in high school. Simulation, 98(2), 87–102.

Treagust, D. F., Chittleborough, G. & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. International Journal of Science Education, 24 (4), 357–368.

Upmeier zu Belzen, A. & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. In Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 16, 41 – 57.

Van Someren, M. Y., Barnard, Y. F. & Sandberg, J. A. C. (1994). The think aloud method: a practical guide to modelling cognitive processes. London: Academic Press.

Winsberg, E. (2009). A tale of two methods. Synthese, 169(3), 575–592.

Winsberg, E. (2019). Computer Simulations in Science. The Stanford Encyclopedia of Philosophy.

Bianka Wartig[1]
Lisa Stinken-Rösner[1]

[1]Universität Bielefeld

Fachbezogene Motivation und sozioökonomischer Status von Viertklässler*innen: Einblicke in die Skalenentwicklung

Der Bildungserfolg von Kindern hängt immer noch vom Einkommen der Eltern ab (Wößmann et al., 2023). Das wird auch im naturwissenschaftlichen Sachunterricht deutlich; Schüler*innen mit einem niedrigen sozioökonomischen Status (SES) haben am Ende der Grundschule einen Lernrückstand von bis zu eineinhalb Jahren gegenüber ihren Peers aus privilegierteren Familien (Schwippert et al., 2020). Zusätzlich lassen sich Auswirkungen auf die motivationalen Merkmale der Lernenden feststellen (Maaz et al., 2011). Im Rahmen des Promotionsprojektes „*Level up! Für den physikalischen Sachunterricht*" sollen die Auswirkung von Digital Gamification auf die Motivation und die Lernleistung von Kindern aus sozioökonomisch benachteiligten Milieus festgestellt werden. Hierzu werden Skalen entwickelt, die das Fachwissen zu einem für den Sachunterricht relevanten physikalischen Thema, die fachbezogene Motivation und den SES von Grundschüler*innen erheben. Im Folgenden wird der Entwicklungsprozess zweier Erhebungsinstrumente dargestellt.

Motivationsskala

Das Instrument zur Erhebung der fachbezogenen Motivation im Sachunterricht beruht auf dem *Children Academic Intrinsic Motivation Invetory* (CAIMI) von Gottfried (1985). Dieser erhebt u. a. die intrinsische akademische Motivation für das Fach *Science* von 8–13-jährigen Schüler*innen mittels 24 Items. In einem ersten Schritt wurden alle Items aus dem Englischen ins Deutsche übersetzt. Dabei wurde die Übersetzung von *Science* zu *Sachunterricht* ausgiebig diskutiert. Sachunterricht bedient weitere Fachperspektiven (z. B. Geschichte) und deckt nicht nur den naturwissenschaftlichen Bereich ab. Eine direkte Übersetzung in *Naturwissenschaften* erscheint aber nicht sinnvoll, da die einzelnen Perspektiven im Sachunterricht selten trennscharf benannt werden. Weiterhin wurden negative Aussagen (z. B. „I don't like to find answers to questions in science.") im Übersetzungsprozess positiv umformuliert. Dieser Schritt diente dazu, einen möglichen Einfluss auf das Antwortverhalten durch negativ formulierte Items, der das sinnvolle Interpretieren der Angaben ggf. erschwert, zu vermeiden (Stinken-Rösner & Laumann, 2023). Da jüngere Kinder Probleme mit dem Beantworten invertierter Items haben (Woods, 2006), war es im Adaptionsverfahren eine logische Konsequenz, auf solche zu verzichten. Dadurch entstanden mehrere Items gleicher Bedeutung. Diese wurden in einem weiteren Schritt identifiziert und jeweils ein Item ausgeschlossen. Damit konnte die Skala auf 18 Items gekürzt werden. Durch die geringere Anzahl an Items wird gleichzeitig die Lesebelastung für die Schüler*innen verringert.

Im Anschluss wurde das modifizierte Instrument im Schüler*innenlabor *teutolab-physik* der Universität Bielefeld pilotiert. Bei N = 119 gültigen Fragebögen konnte die adaptierte Version mit einem Cronbachs $\alpha = .866$ ähnliche Werte erzielen wie die *Science*-Skala in den drei ursprünglichen Studien (.69; .90; .91) (Gottfried, 1985a). Da die Berücksichtigung kindlicher Sichtweisen gerade in der Forschung mit und über Kinder bedeutsam ist (Maschke & Stecher, 2012), wurde in einem weiteren Schritt gemeinsam mit einer vierten Klasse der Fragebogen ausgiebig diskutiert. Dabei konnten die Schüler*innen Aspekte nennen, die ihnen aufgefallen sind und die sie als besonders relevant empfanden. Durch das Gespräch wurde ein weiteres

Item ausgemacht, dass die Schüler*innen als unnötig empfanden. Die Streichung hatte kaum Auswirkungen auf die Reliabilität, weshalb die Skala weiter auf 17 Items (bei $\alpha = .854$) reduziert werden konnte. Des Weiteren haben die Schüler*innen geäußert, dass sie sich die Antwortmöglichkeit „Ich weiß es nicht“ sowie die Ergänzung von zwei offenen Fragen wünschen, um für die Forschenden angeben zu können, welchen Tätigkeiten sie gerne im Sachunterricht nachgehen und welche Themen sie bevorzugen. Ebenso wurde auf die Visualisierungen der fünfstufigen Likert-Skala verzichtet, da die Viertklässler*innen die Bebilderung nicht als unterstützend, sondern eher als verwirrend empfanden. Für einen inklusiveren Zugang besteht zusätzlich die Möglichkeit, die Items in zweifarbiger Silbenschrift darzustellen.

Erhebung des sozioökonomischen Status

Die derzeitige Herausforderung besteht darin, ein aussagekräftiges Instrument zu gestalten, das ohne die Angaben von Erziehungsberechtigten, über deren Bildung, Einkommen sowie Beruf auskommt. Normalerweise wird der SES durch eben diese Informationen ermittelt (Ditton & Maaz, 2011). In der vorgestellten Studie soll jedoch bewusst auf die Befragung der Erziehungsberechtigten verzichtet werden, da erfahrungsgemäß nur ein geringer Rücklauf an Fragebögen zu erwarten ist, was die angestrebte Stichprobengröße negativ beeinflussen würde.

Eine alternative Feststellung des SES über den *International Socio-Economic Index of Occupational Status* (ISEI) bzw. dem *Highest International Socio-Economic Index of Occupational Status* (HISEI), also über die Angabe des Berufes der Eltern (durch die Kinder) erscheint ebenfalls als nicht zielführend, da gerade jüngere Kinder keine sicheren Angaben über die Berufe oder den Schulabschluss der Eltern liefern können (Currie et al., 1997).

Ein Fragebogen, der derzeitig u. a. in Gesundheitsstudien (z. B. *Health Behaviour in School-aged Children*) zum Einsatz kommt, ist der *Family Affluence Scale* III (FAS III). Dieser Fragebogen kann wichtige Informationen über den SES von Kindern liefern (Hobza et al., 2017). Seine Aussagekraft ist jedoch eingeschränkt, da die Ergebnisse nur mäßig mit dem Einkommen der Eltern korrelieren (Corell et al., 2021). Zudem erscheinen die verwendeten Items teilweise nicht mehr zeitgemäß und für die Grundschule wenig geeignet.

Aufgrund der genannten Aspekte soll ein eigenes Instrument zur Erhebung des SES entwickelt und pilotiert werden. Das bisherige Vorgehen dazu wird im Folgenden näher erläutert.

In einem ersten Schritt wurden verschiedene Studien ausgewertet, die auch den SES der Befragten erheben, um häufig verwendete und etablierte Items zu identifizieren und diese für die eigene Studie adaptieren zu können. Zur Bestimmung einer geeigneten Auswahl wurden die jeweiligen Items sortiert und anschließend danach ausgezählt, wie häufig gleiche oder ähnliche Items in den Studien auftraten. Um potenzielle Items zu systematisieren, wurden Kriterien aufgestellt, nach denen weiter eingegrenzt wurde. Eines der Merkmale war bspw., ob das Item für die gewählte Altersgruppe sinnvoll ist. Beispielhaft sei hier die Frage nach einem eigenen Smartphone näher erläutert. Diese Information kann nur bedingt einen Hinweis auf den SES der späteren Studienteilnehmer*innen geben und wurde somit nicht in die eigene Skala aufgenommen. Die Gründe, warum Kinder kein eigenes Smartphone haben, sind seltener auf fehlende finanzielle Mittel zurückzuführen: lediglich 9 % der befragten Erziehungsberechtigten gaben dies in der KIM-Studie als Begründung an (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest c/o Landesanstalt für Kommunikation (LFK), 2023). Vielmehr sind Eltern, deren Kinder kein Smartphone besitzen, der Ansicht, „dass ihr Kind dafür noch zu jung sei [oder sie] finden, dass ihr Kind kein eigenes Gerät

braucht“ (LFK, 2023, S. 69). Insgesamt wurden entlang dieses Vorgehens sieben aus vorherigen Instrumenten adaptiert.
In einem zweiten Schritt wurden drei zusätzliche Items auf Grundlage aktueller Studienergebnisse formuliert. Diese beziehen sich jeweils auf spezifische Indikatoren, in denen sich der SES von Kindern oder Jugendliche wiederspiegelt. Beispielsweise ist die Frage danach, ob ein Sportverein besucht wird, vielversprechend: nur 40 % der Kinder, die einen niedrigen SES haben, besuchen einen Sportverein. Bei Familien mit einem hohen SES beläuft sich der Anteil auf 71 % (Tempelmann et al., 2022).
Um einen ersten Eindruck zu gewinnen, wie gut das Instrument den SES abbildet, wird in der Pilotierungsphase die Frage nach dem Beruf der Eltern als Kontrollfrage ergänzt.
Eine erste Pilotierung des Instruments fand mit N = 36 erwachsenen Personen statt. Diese wurden gebeten, den Fragebogen aus der Perspektive ihres zehnjährigen Ichs zu beantworten. Die Antworten der einzelnen Items wurden analog zum Auswertungsschlüssel des FAS III bestimmt und mit dem jeweiligen HISEI-Wert verglichen. Das heißt, die im Fragebogen erreichte Punktzahl als Maß des SES wird mit den Berufen der Eltern, geordnet nach ihrer sozialen Hierarchie, abgeglichen. Bei N = 26 gültigen Fragebögen konnte eine moderate signifikante Korrelation von $r = .451$ ($p = .016$) erzielt werden. Auch wenn diese Ergebnisse einen leichten Trend zugunsten der Validität des Erhebungsinstrumentes erkennen lassen, ist die Interpretation zum jetzigen Stand nicht ausreichend aussagekräftig. Das ist zum einen mit der kleinen Stichprobe zu begründen, zum anderen müssen sich die Teilnehmer*innen z.T. Jahrzehnte zurückerinnern, was die Antworten ggf. verzerrt. Aufgrund dieser Problematik, sind weitere Pilotierungen des Fragebogens in variierenden Settings geplant.
Eine Möglichkeit der Pilotierung eröffnet sich durch die Kooperation mit dem *teutolab-physik*. Pro Woche besuchen mehrere Schulklassen verschiedener Schulen aus der Region das Schüler*innenlabor, wobei der Sozialindex der jeweiligen Schulen bekannt ist. Der Sozialindex der Einzelschulen des Landes NRW wird u. a. auf Basis „der Dichte des SGB II-Quote der Minderjährigen im geschätzten Einzugsgebiet der Grundschulen“ ermittelt (Schräpler & Jeworutzki, 2021). Der Wert steht in keinem Zusammenhang mit der Qualität der pädagogischen Arbeit an den Schulen steht, sondern er „identifiziert […] soziale Herausforderungen [und] trägt dazu bei, bestimmte Ressourcen zielgenauer auf die Schulen zu verteilen“ (Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen, o. J.). Der Sozialindex kann also als Maß für den durchschnittlichen SES der Schüler*innen einer Schule herangezogen werden. Diese Information wird zur weiteren Pilotierung des Instrumentes genutzt, indem die Angaben, die die Besucher*innen des Schüler*innenlabors machen, mit dem Sozialindex der Schule, die sie besuchen, verglichen werden. Die Güte des Instrumentes wird dahingehend beurteilt, inwiefern die Gesamtheit der SES-Ergebnisse einer Schulklasse mit dem Sozialindex der Schule korrelieren. Detaillierte Ergebnisse sind in naher Zukunft zu erwarten. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass auch diese Pilotierung Limitationen unterliegt. Es ist nicht auszuschließen, dass die Zusammensetzung einer spezifischen Klasse, die das *teutolab-physik* besucht, nicht dem Sozialindex der gesamten Schule entspricht. Auch können aufgrund der begrenzten Datenlage des Sozialindexes Ergebnisse nur auf Klassenebene, nicht auf Ebene einzelner Lernender hinsichtlich ihrer Güte analysiert werden.
Weitere Möglichkeiten der Pilotierung, insbesondere mit Fokus auf den SES einzelner Lernender, werden aktuell eruiert.
Aktuelle Fassungen beider vorgestellter Instrumente sind auf Nachfrage bei den Autorinnen erhältlich.

Literatur

Corell, M., Chen, Y., Friberg, P., Petzold, M., & Löfstedt, P. (2021). Does the family affluence scale reflect actual parental earned income, level of education and occupational status? A validation study using register data in Sweden. BMC Public Health, 21(1), 1995

Currie, C. E., Elton, R. A., Todd, J., & Platt, S. (1997). Indicators of socioeconomic status for adolescents: The WHO Health Behaviour in School-aged Children Survey. Health Education Research, 12(3), 385–397

Ditton, H., & Maaz, K. (2011). Sozioökonomischer Status und soziale Ungleichheit. In H. Reinders, H. Ditton, C. Gräsel, & B. Gniewosz (Eds.), Empirische Bildungsforschung. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 193-208

Gottfried, A. E. (1985). Manual for the CAIMI. Children's Academic Intrinsic Motivation Inventory. Florida (USA): PAR.

Gottfried, A. E. (1985a). Academic intrinsic motivation in elementary and junior high school students. Journal of Educational Psychology, *77*(6), 631-645

Hobza, V., Hamrik, Z., Bucksch, J., & De Clercq, B. (2017). The Family Affluence Scale as an Indicator for Socioeconomic Status: Validation on Regional Income Differences in the Czech Republic. International Journal of Environmental Research and Public Health, 14(12), 1540

Maaz, K., Baeriswyl, F., & Trautwein, U. (2011). Herkunft zensiert! Leistungsdiagnostik und soziale Ungleichheiten in der Schule. Düsseldorf: Vodafone Stiftung Deutschland.

Maschke, S., & Stecher, L. (2012). Standardisierte Befragungen von Kindern. In F. Heinzel (Ed.), Methoden der Kindheitsforschung: Ein Überblick über Forschungszugänge zur kindlichen Perspektive (2., überarbeitete Aufl.). Weinheim und Basel: Beltz Juventa, 320-334

Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest c/o Landesanstalt für Kommunikation (LFK) (Ed.). (2023). KIM-Studie 2022 Kindheit, Internet, Medien. Basisuntersuchung zum Medienumgang 6- bis 13-Jähriger. https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/KIM/2022/KIM-Studie2022_website_final.pdf

Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen (o. J.). Schulsozialindex. https://www.schulministerium.nrw/schulsozialindex

Schräpler, J.-P., & Jeworutzki, S. (2021). Konstruktion des Sozialindex für Schulen. https://www.schulministerium.nrw/system/files/media/document/file/konstruktion_des_sozialindex_fuer_schulen.pdf

Schwippert, K., Kasper, D., Köller, O., McElvany, N., Selter, C., Steffensky, M., & Wendt, H. (Eds.). (2020). TIMSS 2019. Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen von Grundschulkindern in Deutschland im internationalen Vergleich. Münster und New York: Waxmann Verlag GmbH.

Stinken-Rösner, L., & Laumann, D. (2023). Messung der Einstellungen von Lernenden zu Experimenten im Unterricht. In H. van Vorst (Ed.) Frühe naturwissenschaftliche Bildung, 550-553

Tempelmann, A., Sieland, J., & Kolpatzik, K. (2022). AOK-Familienstudie 2022. Studienzusammenfassung. https://www.aok.de/pk/magazin/cms/fileadmin/pk/pdf/familienstudie-2022.pdf

Woods, C. M. (2006). Careless Responding to Reverse-Worded Items: Implications for Confirmatory Factor Analysis. Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment, 28(3), 186-191

Wößmann, L., Schoner, F., Freundl, V., & Pfaehler, F. (2023). Der ifo-„Ein Herz für Kinder"- Chancenmonitor Wie (un-)gerecht sind die Bildungschancen von Kindern aus verschiedenen Familien in Deutschland verteilt? Ifo Schnelldienst, 76 (4), 29-47

Martina Graichen[1]
Linda Hinderer[1]
Silke Mikelskis-Seifert[1]

[1] Pädagogische Hochschule Freiburg

Selbstkonzept stärken: Digitales Lernen in Experimentieranleitungen

Barrierearme, digitale Lerncomics

Scientific Literacy ist Voraussetzung für naturwissenschaftliches Denken und soziale Teilhabe (OECD, 2007). Sie umfasst die Fähigkeit, wissenschaftliche Fragen zu erkennen, Phänomene zu erklären und naturwissenschaftliche Erkenntnisse für Schlussfolgerungen zu nutzen (OECD, 2007). Die UN-Behindertenrechtskonvention der (2006) fordert die gleichberechtigte Teilhabe aller Menschen an allen Bereichen der Gesellschaft, einschließlich der Bildung. Diese Forderung setzt wiederum voraus, dass alle Lernenden unabhängig von ihren individuellen Lernvoraussetzungen oder möglichen Lernbarrieren Zugang zum experimentellen Prozess einschließlich der experimentellen Anleitung haben. So kann Scientific Literacy durch barrierearme, stereotypefreie Lernumgebungen gefördert werden. Die selbstständige Nutzung dieser Lernumgebungen stärkt das Selbstkonzept, welches positiv mit Lernzuwächsen und Lernergebnissen korreliert (Shavelson et al., 1976).
Deshalb entwickelten wir eine digitale Lernumgebung, die für alle Lernenden möglichst barrierefrei sein sollte auf Basis des NinU-Rasters (Gonzales, 2021) und dem Konzept *Science for all* (Stinken-Rösner et al., 2020). Da wiederholt gezeigt wurde, dass sich das Fähigkeitsselbstkonzept in den Naturwissenschaften zwischen Mädchen und Jungen zugunsten der Jungen unterscheidet (Brotman & Moore, 2008, OECD, 2016, Hoffmann 2002), sollte die Lernumgebung auch für Mädchen zugänglicher sein, um diese bei der Entwicklung des Fähigkeitsselbstkonzeptes zu unterstützen. Deshalb kreierten wir auf Basis des Comic-basierten Storytellings (Greenhalgh-Spencer, 2019; Hasper, 2019; Laçin-Şimşek, 2019) eine motivierende Umgebung und setzen pilotierte pädagogische Agenten ein (QUELLE GRAICHEN GDCP), um sowohl Mädchen als auch Jungs anzusprechen. Um die selbstgesteuerte Nutzung zu realisieren und trotzdem komplexe physikalische Inhalte zu vermitteln, setzten wir auf einen linearen Aufbau, der sich am Forschungskreislauf orientiert.

Fragestellung und Hypothesen

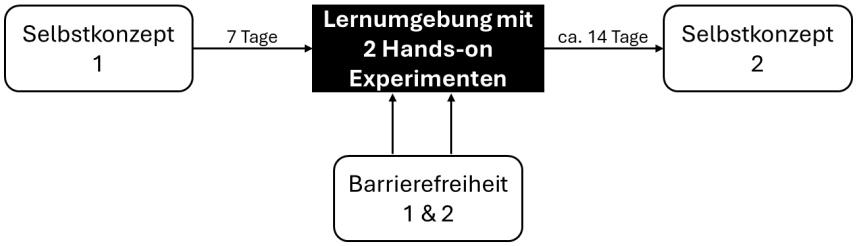
Es stellte sich die Frage, ob die Anleitung zum Experimentieren in der Lernumgebung barrierefrei wahrgenommen wird und ob sich dies auf das Selbstkonzept im Umgang mit naturwissenschaftlichen Experimentieranleitungen auswirkt. Um die Effekte angemessen untersuchen zu können, wurden folgende Hypothesen aufgestellt und getestet:

- H1: Die Schüler*innen nehmen die Experimentieranleitungen in der Lernumgebung als barrierearm wahr.
- H2: Das Selbstkonzept im Umgang mit Experimentieranleitungen der Schüler*innen wird durch die Nutzung der digitalen Lernumgebung erhöht.
- H3: Geschlechtsspezifischen Entwicklungen in den Selbstkonzepten im Umgang mit den Experimentieranleitungen zwischen Mädchen und Jungen werden nicht nachweisbar sein.
- H4: Die Einschätzung einer höheren Barrierefreiheit der Experimentieranleitung wird positiv die Entwicklung des Selbstkonzeptes im Umgang mit Experimentieranleitungen beeinflussen.

Methode

In einer Prä-Post-Studie mit 348 Schüler:innen (Durchschnittsalter 11,3 Jahre, SD = 1,28) aus der 5. und 6. Klasse von Gymnasien und Gemeinschaftsschulen untersuchten wir die wahrgenommene Barrierefreiheit und das Selbstkonzept im Umgang mit Experimentieranleitungen vor und nach der Nutzung einer digitalen Lernumgebung. Die Schüler:innen führten dabei selbstgesteuert zwei Experimente zum Thema Magnetismus durch.

Abb1. Ablauf und Messzeipunkte der Interventionsstudie



Zur Messung der wahrgenommenen Barrierefreiheit der Experimentieranleitungen und des Fähigkeitsselbstkonzeptes im Umgang mit Experimentieranleitungen nutzen wir zwei pilotierte Skalen, mit je drei Dimensionen:

Tab.1. Überblick über die Items zur Barrierefreiheit und des Selbstkonzeptes jeweils im Umgang mit Experimentieranleitungen

	Barrierefreiheit		Fähigkeitsselbstkonzept	
Dimension	Items	α	Items	α
Sprache	5	0,74 / 0,82	5	0,88/ 0,93
Visibility	4	0,82 / 0,88	5	0,87 / 0,91
Handlung	11	0,86 / 0,93	12	0,93 / 0,95

Anmerkung: Alle Items sind vier-stufige Likert-Skalen mit Ausprägungen von 0-3. Fähigkeitsselbstkonzept: 0 = sehr gering ausgeprägt, 3 = sehr hoch ausgeprägt. Barrierefreiheit der Experimentalanleitungen 0 = sehr wenig; 3 = sehr hohe Barrierefreiheit.

Ergebnisse

Tab.2: Deskriptive Werte zur Barrierefreiheit und zum Fähigkeitsselbstkonzept

	Dimension					
	Handlung		Sprache		Visuell	
Barrierefreiheit	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*
Experiment 1	2,44	0,56	2,44	0,58	2,53	0,60
Experiment 2	2,54	0,57	2,55	0,61	2,57	0,63
Gemittelt	2,52	0,51	2,52	0,55	2,58	0,54
Fähigkeitsselbstkonzept						
Messzeitpunkt 1	2,25	0,47	2,21	0,50	2,36	0,56
Messzeitpunkt 2	2,37	0,54	2,30	0,57	2,41	0,60
Delta	0,13	0,51	0,10	0,56	0,06	0,63

Hypothese 1: Wahrnehmung der Barrierefreiheit
Die deskriptiven Werte der Barrierefreiheit zeigen, dass alle Schüler:innen die Experimentieranleitungen beider Experimente als barrierefrei bis sehr barrierefrei wahrnehmen, da die Werte > 3 betragen.

Hypothese 2: Entwicklung des Fähigkeitsselbstkonzeptes
Eine ANOVA mit Messwiederholung mit dem Messzeitpunkt als erstem Wiederholungsfaktor und den Dimensionen als zweitem Wiederholungsfaktor ergab, dass sich das Selbstkonzept im Umgang mit Experimentieranleitungen von Messzeitpunkt 1 zu 2 über alle 3 Dimensionen hinweg veränderte: $F(1, 302)=9.87$, $p=0.002$, $\eta^2_p=0.032$.

Hypothese 3: Geschlechtsspezifische Unterschiede
In Bezug auf geschlechtsspezifische Unterschiede fanden wir keine Anhaltspunkte in den vorliegenden Daten. Dafür führten wir drei Messwiederholungs-ANOVAs für die Barrierefreiheit und für das Selbstkonzept durch und fanden jeweils weder einen Haupteffekt für das Geschlecht noch eine Interaktion mit dem Geschlecht.

Hypothese 4: Zusammenhang von Barrierefreiheit und Selbstkonzept
Drei Regressionsanalysen, je eine pro Dimension, zeigten, dass es für alle drei Dimensionen einen positiven Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen Barrierefreiheit und dem Zuwachs des Selbstkonzeptes gab, vor allem für die Dimensionen Handlung und Sprache: Handlung $R^2 = 0{,}27$, $b = 0{,}27$, $SE = 0{,}06$, $beta = 0{,}27$, $t = 4{,}58$, $p < .001$, Sprache: $R^2 = 0{,}27$, $b = 0{,}27$, $SE = 0{,}06$, $beta = 0{,}27$, $t = 4{,}41$, $p < .001$ und Visiblity $R^2 = 0{,}03$, $b = 0{,}20$, $SE = 0{,}05$, $beta = 0{,}18$, $t = 2{,}86$, $p = .005$.

Fazit
Die Ergebnisse zeigen positive Entwicklungen im Selbstkonzept während des digitalen Lernens mit der Experimentieranleitung, vor allem auch in Abhängigkeit der wahrgenommenen Barrierefreiheit. Demzufolge können barriere- und stereotyparme Lernumgebungen eine positive Auswirkung auf das Selbstkonzept haben. Es bleibt jedoch aktuell noch offen, welche weiteren Effekte dies zum Beispiel auf die Motivation und den Lernzuwachs hat.

Anmerkung: Der vollständige Artikel erschien OpenAccess in Education Sciences
Graichen, M., Hinderer, L., Mikelskis-Seifert, S., Scharenberg, K., & Rollett, W. (2024). Unveiling Potential: Fostering Students' Self-Concept in Science Education By Designing Inclusive Educational Settings. *Education Sciences*, 14, 632. https://doi.org/10.3390/educsci14060632

Literatur

Brotman, J. S & Moore, F. M. (2008): Girls and science: A review of four themes in the science education literature. Journal of Research in Science Teaching, 45 (9), 971–1002.

Convention on the Rights of Persons with Disabilities, A/RES/61/106 (2008).

Gonzalez et al. (2021). Ein Unterstützungsraster zur Planung und Reflexion inklusiven naturwissenschaftlichen Unterrichts.

Graichen, M., Jungbluth, T. & Mikelskis-Seifert, S. (2023). Pädagogische Agenten für digital unterstütztes Experimentieren mit Comics. In S. Habig & H. van Vorst (Hrsg.), Lernen, Lehren und Forschen in einer digital geprägten Welt (S. 290-293). Nürnberg: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDCP). GDCP Tagungsband 2023, Band 43

Graichen, M., Mikelskis-Seifert, S., Oettle, M., Scharenberg, K. & Rollett, W. (in Vorbereitung): Evaluation and Validation of Scales to Measure the Accessibility of Experimental Instructions in Inclusive Science Classrooms.

Greenhalgh-Spencer, H. (2019). Teaching with stories: Ecology, haraway, and pedagogical practice. Studies in Philosophy and Education, 38(1), 43–56. https://doi.org/10.1007/s11217-018-9628-1

Hasper, A. (2019, Januar 31). The art of storytelling with Anna Hasper. Resources for English Language Learners and Teachers | Pearson English.

Hoffmann, L. (2002). Promoting girls' interest and achievement in physics classes for beginners. Learning and Instruction, 12(4), 447–465. https://doi.org/10.1016/S0959-4752(01)00010-X

Laçin-Şimşek, C., (2019). What can stories on history of science give to students? Thoughts of science teachers candidates. International Journal of Instruction, 12(1), 99–112. https://doi.org/10.29333/iji.2019.1217a

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development), (2016): PISA 2015 results. OECD, Paris.

OECD. (2007). PISA 2006: Science Competencies for Tomorrow's World: Volume 1: Analysis. OECD. https://doi.org/10.1787/9789264040014-en

Shavelson, R. J., Hubner, J. J., & Stanton, G. C. (1976). Self-Concept: Validation of Construct Interpretations. Review of Educational Research, 46(3), 407–441. https://doi.org/10.3102/00346543046003407

Stinken-Rösner, L., Rott, L., Hundertmark, S., Baumann, T., Menthe, J., Hoffmann, T., Nehring, A., & Abels, S. (2020). Thinking Inclusive Science Education from two Perspectives: Inclusive Pedagogy and Science Education. RISTAL, 3, 30. https://doi.org/10.23770/rt1831

UN (United Nations), (2008): Convention on the Rights of Persons with Disabilities, A/RES/61/106 (2008).

Julia Welberg[1]
Jan-Samuel Streitberger[1]
Daniel Laumann[1]
Susanne Heinicke[1]

[1]Universität Münster

Wie empathisierend ist Physikunterricht? - Empirische Befunde

Einleitung

Die Diversität von Personen ist durch ein vielfältiges Spektrum beschreibender Merkmale gekennzeichnet. Zu diesen zählen u.a. die Neigungen zu empathisierender und systematisierender Denkweise (Lindeman, 2020). Diese sind dadurch gekennzeichnet, dass Personen dazu neigen die Gefühle und Gedanken von Personen nachzuvollziehen, zu verstehen und darauf angemessen zu reagieren (empathisierende Denkweise; Baron-Cohen & Wheelwright, 2004; Baron-Cohen, 2009) oder Schlussfolgern aus „wenn- dann"-Aussagen zu ziehen, die einer inneren Logik folgen (systematisierende Denkweise; Baron-Cohen et al., 2003; Baron-Cohen, 2009). Personen besitzen und nutzen dabei beide Neigungen, jedoch können diese Neigungen unterschiedlich stark ausgeprägt sein (Svedholm-Häkkinen & Lindeman, 2016).

Empirische Studien deuten auf einen Zusammenhang zwischen der Neigung zu einer systematisierenden Denkweise und der Motivation Naturwissenschaften zu lernen (Zeyer, 2018; Zeyer & Dillon, 2019) sowie dem Interesse an naturwissenschaftlichen Fächern (Welberg et al., 2024) hin. Weiter konnte bei Studierenden in MINT-Fächern eine stärkere Ausprägung der Neigung zu einer systematisierenden Denkweise festgestellt werden als bei Studierenden in geisteswissenschaftlichen Studiengängen, bei denen eine stärkere Ausprägung der Neigung zu einer empathisierenden Denkweise vorliegt (Billington et al., 2007). Während positive Zusammenhänge zwischen der Neigung zu systematisierender Denkweise und den MINT-Fächern aufgrund theoretischer Überlegungen und insbesondere auch der Natur dieser Fächer, die stark systematisierende geprägt scheinen, naheliegt, finden sich in der Literatur nur wenig tiefgehende Analysen zum fehlenden Zusammenhang zwischen der Neigung zu einer empathisierenden Denkweise und MINT-Fächern. Für eben solche Analysen erscheinen zwei Aspekte für die Analyse relevant:

Empathisierende Denkweise und Fachinteresse

Gibt es Schulfächer, bei denen das zugehörige Fachinteresse durch eine Neigung zu einer empathisierenden Denkweise vorhergesagt werden kann, und die sich in diesem Sinne von MINT-Fächern unterscheiden? Und inwiefern ist der fehlende Zusammenhang zwischen der Neigung zur empathisierenden Denkweise für alle MINT-Fächer gültig?

Diese Fragen lassen sich in Forschungsfrage 1 zusammenfassen: Welche Zusammenhänge können für Schüler:innen in der Sekundarstufe 1 zwischen Gender der Neigung zu einer empathisierenden und systematisierenden Denkweise und Fachinteresse an verschiedenen Schulfächern modelliert werden? Basierend aus bisherigen empirischen Ergebnissen und theoretischen Überlegungen können dazu drei Modellierungen in Frage kommen (s. Abb. 1).

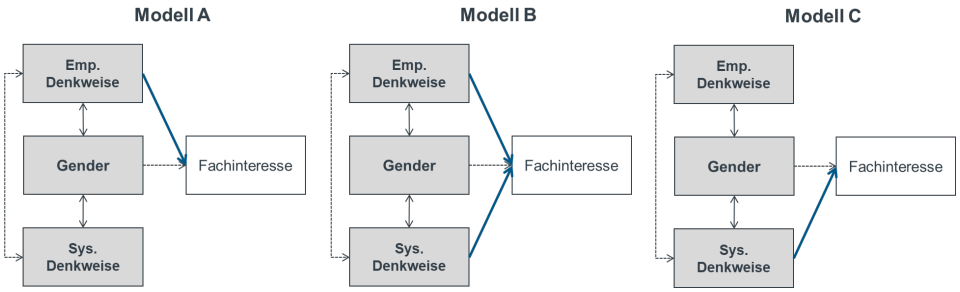


Abb. 1: Mögliche Modellierungen des Fachinteresses durch die Neigungen zu empathisierender und systematisierender Denkweise.

Aus Studien zur Wahl von Kursen an Universitäten (Billington et al., 2007) oder Studien mit Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe II (Zeyer, 2018), kann vermutet werden, dass das Fachinteresse von MINT-Fächern durch Modell C beschrieben werden kann. Dabei bildet allerdings Biologie laut Zeyer (2018) eine Ausnahme und könnte vermutlich besser durch Modell B beschrieben werden können. Das Fachinteresse an geisteswissenschaftlichen Fächern lässt sich vermutlich durch Modell A am besten beschreiben.

Empathisierende Bildungselemente im Physik- und Politikunterricht

Um die Perspektive der Lernenden im Bezug auf deren wahrgenommenen Unterricht im Sinne der Person-Gegenstands-Theorie (Krapp, 1992) miteinbeziehen zu können, wurde theoriebasiert ein Fragebogen entwickelt, bei dem die Schülerinnen und Schüler den Anteil empathisierender Bildungselemente angeben. Empathisierende Bildungselemente sind dabei Elemente, bei denen eine Neigung zu einer empathisierenden Denkweise explizit angesprochen wird (Zeyer, 2024; Zeyer & Dillon, 2019). Diese Bildungselemente lassen sich nach Zeyer (2024) in drei Kategorien unterscheiden: emotionale Empathie (z.B. soziale Interaktionen mit anderen Schüler:innen im Unterricht, Emotionaler Bezug der Lehrkraft zu den Naturwissenschaften), affektive Theory of Mind (z.B. Erfahrungen aus der „Peers Community“ oder altruistische Kontexte) und kognitive Theory of Mind (z.B. Kontexte aus Gesundheit und Umwelt, ethische und moralische Fragen). Mithilfe von Fragen innerhalb dieser Kategorien lässt sich feststellen, inwiefern der wahrgenommene Unterricht empathisierende Bildungselemente berücksichtigt.

Ausgehend von den Ergebnissen von Forschungsfrage 1 sollen zwei Fächer, eines aus Modell A und eines aus Modell C näher auf die Wahrnehmung empathisierender Bildungselemente untersucht werden, daraus ergibt sich folgende Forschungsfrage 2 (FF2): Wie unterscheidet sich das Fachinteresse von Schüler:innen an MINT- und geisteswissenschaftlichen Fächern unter Berücksichtigung von deren persönlichem Empathisierungsquotienten (PEQ) und dem wahrgenommenen Anteil empathisierender Bildungselemente im jeweiligen Fach (= Fachempathisierungsquotient; FEQ)?

Um diese Frage zu beantworten, werden die Schüler:innen auf Grundlage ihrer PEQ- und FEQ-Werte durch Trichotomisierung in Gruppen verteilt um anschließend das Fachinteresse dieser Gruppen zu vergleichen. Basierend auf theoretischen Überlegungen zum „sense of belonging“ und dessen Einfluss auf Interesse (Allen et al., 2021; Kahu & Nelson, 2017) kann vermutet werden, dass Schüler:innen mit einer starken Neigung zu einer empathisierenden Denkweise (high PEQ) ein höheres Fachinteresse angeben, wenn sie das Fach als empathisierend wahrnehmen, d.h. wenn es einen hohen Anteil empathisierender Bildungselemente hat (high FEQ). Umgekehrt kann vermutet werden, dass sich Schüler:innen mit einer niedrigen Neigung zu einer empathisierenden Denkweise (low PEQ) im Fachinteresse nicht unterscheiden, wenn sie Unterricht mit einem geringen (low FEQ) oder hohen Anteil (high FEQ) empathisierender Bildungselemente wahrnehmen.

Design und Stichprobe

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurde ein Online-Fragebogen an Gymnasien in Nordrhein-Westfalen im Zeitraum Oktober 2023 bis Juni 2024 eingesetzt. Für FF1 konnten insgesamt $N = 765$ Datensätze (Alter: $M = 13{,}92$ Jahre; $SD = 1{,}38$ Jahre; Gender: 57 % weiblich) und für FF2 konnten davon $N = 460$ (Alter: $M = 13{,}46$ Jahre; $SD = 1{,}21$ Jahre; Gender: 59 % weiblich) Datensätze verwendet werden. Die Analyse der Daten erfolgte mit IBM SPSS Statistics (Version 29.0.2.0 (20)) und IBM SPSS AMOS (Version 29.0.0).

Ergebnisse und Diskussion

Zur Beantwortung von Forschungsfrage 1 wurden explorativ manifeste Pfadmodelle geschätzt und zunächst alle Pfade zugelassen und anschließend schrittweise reduziert. Von dem erhobenen Fachinteresse an den befragten Schulfächern ergibt sich folgende Zuordnung:

- **Modell A:** Englisch, Politik
- **Modell B:** Biologie, Erdkunde, Deutsch
- **Modell C:** Chemie, Informatik, Mathematik, Physik, Geschichte

Entsprechend der Hypothese lässt sich das Fachinteresse an MINT-Fächern überwiegend von Modell C, d.h. durch Gender und eine systematisierende Denkweise modellieren. Durch Modell A lassen sich sowohl das Fachinteresse an Englisch und Politik beschreiben. Im Folgenden werden Physik- und Politikunterricht auf empathisierende Bildungselemente untersucht, da es sich um vergleichbare Nebenfächer handelt, die unterschiedlich modelliert werden können. Insgesamt bewerten Schüler:innen Physikunterricht signifikant weniger empathisierend als Politikunterricht ($T(469) = -14{,}67$; $p < 0{,}001$). Bildet man vier Gruppen nach Trichotomisierung der Daten (siehe Abb. 2) so stellt man fest, dass das Fachinteresse am höchsten ist, wenn die Schüler:innen viele empathisierende Elemente im Unterricht wahrnehmen. Auch eine lineare Regression der Daten zeigt, dass der Anteil wahrgenommener empathisierender Bildungselemente in beiden Fächern Einfluss auf das Fachinteresse hat (Politik: $F(1, 458) = 111{,}751$; $p < 0{,}001$; $\beta = 0{,}44$; $R^2 = 0{,}19$; Physik: $F(1, 458) = 126{,}587$; $p < 0{,}001$; $\beta = 0{,}47$; $R^2 = 0{,}22$).

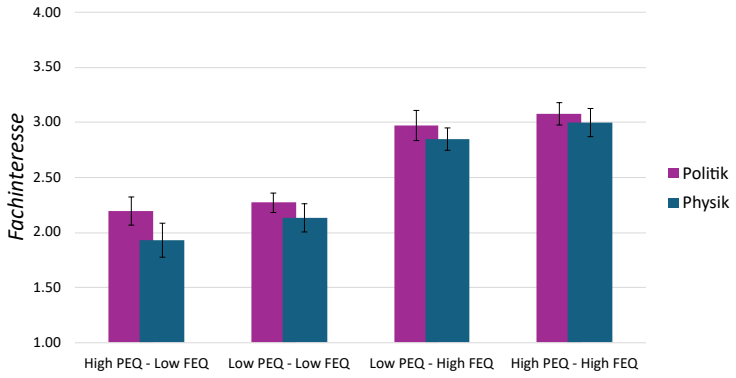


Abb. 2: Fachinteresse Politik und Physik anhand PEQ-FEQ-Gruppierungen.

Fazit und Ausblick

Forschungsfrage 1 zeigt, dass bei der Modellierung des Fachinteresses Unterschiede zwischen MINT-Fächern und Geisteswissenschaften gibt und in der Mehrheit das Fachinteresse an MINT-Fächern nicht durch eine Neigung zu einer empathisierenden Denkweise vorhergesagt werden. Die Ergebnisse aus Forschungsfrage 2 zeigen, dass aber dennoch Physikunterricht mit einem höheren Anteil empathisierender Bildungselemente als interessanter wahrgenommen wird. Diese Zusammenhänge gilt es in weiteren Studien auch bei anderen Fächern zu untersuchen.

Literatur

Allen, K.-A., Kern, M. L., Rozek, C. S., McInereney, D. & Slavich, G. M. (2021). Belonging: A Review of Conceptual Issues, an Integrative Framework, and Directions for Future Research. Australian Journal of Psychology, 73(1), 87–102. https://doi.org/10.1080/00049530.2021.1883409

Baron-Cohen, S., Richler, J., Bisarya, D., Gurunathan, N. & Wheelwright, S. (2003). The systemizing quotient: an investigation of adults with Asperger syndrome or high-functioning autism, and normal sex differences. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, *358*(1430), 361–374. https://doi.org/10.1098/rstb.2002.1206

Baron-Cohen, S. & Wheelwright, S. (2004). The empathy quotient: an investigation of adults with Asperger syndrome or high functioning autism, and normal sex differences. *Journal of autism and developmental disorders*, *34*(2), 163–175. https://doi.org/10.1023/b:jadd.0000022607.19833.00

Baron-Cohen, S. (2009). The empathising-systemising theory of autism: implications for education. *Tizard Learning Disability Review*, *14*(3), 4–13. https://doi.org/10.1108/13595474200900022

Billington, J., Baron-Cohen, S. & Wheelwright, S. (2007). Cognitive style predicts entry into physical sciences and humanities: Questionnaire and performance tests of empathy and systemizing. *Learning and Individual Differences*, *17*(3), 260–268. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2007.02.004

Kahu, E. R. & Nelson, K. (2017). Student engagement in the educational interface: understanding the mechanisms of student success. Higher Education Research & Development, 37(1), 58–71. https://doi.org/10.1080/07294360.2017.1344197

Krapp, A. (1992). Das Interessenkonstrukt Bestimmungsmerkmale der Interessenhandlung und des individuellen Interesses aus der Sicht einer Person-Gegenstands-Konzeption. In A. Krapp & M. Prenzel (Hrsg.), *Interesse, Lernen, Leistung.: Neuere Ansätze der pädagogisch-psychologischen Interessenforschung.* (S. 297–329). Aschendorff.

Lindeman, M. (2020). Empathizing-Systemizing Theory. In V. Zeigler-Hill & T. K. Shackelford (Hrsg.), *Springer eBook Collection. Encyclopedia of Personality and Individual Differences* (1st ed. 2020, S. 1346–1348). Springer International Publishing; Imprint Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24612-3_1129

Svedholm-Häkkinen, A. M. & Lindeman, M. (2016). Testing the Empathizing-Systemizing theory in the general population: Occupations, vocational interests, grades, hobbies, friendship quality, social intelligence, and sex role identity. *Personality and Individual Differences*, *90*, 365–370. https://doi.org/10.1016/j.paid.2015.11.044

Welberg, J., Laumann, D. & Heinicke, S. (2024). Measuring Empathizing and Systemizing in Children and Adolescents. *European Journal of Psychological Assessment*, Artikel 1015-5759/a000843. Vorab-Onlinepublikation. https://doi.org/10.1027/1015-5759/a000843

Zeyer, A. (2018). Gender, complexity, and science for all: Systemizing and its impact on motivation to learn science for different science subjects. *Journal of Research in Science Teaching*, *55*(2), 147–171. https://doi.org/10.1002/tea.21413

Zeyer, A. (2024). Von Dingen und Menschen im naturwissenschaftlichen Unterricht. In D. Brovelli, M. Hoesli & M. Elderton (Hrsg.), *Gendersensibilisierung in der Ausbildung von Natur- und Technikl*ehrpersonen: Beiträge aus Praxis und Forschung (1. Auflage, S. 147–155). hep verlag.

Zeyer, A. & Dillon, J. (2019). The role of empathy for learning in complex Science|Environment|Health contexts. *International Journal of Science Education*, *41*(3), 297–315. https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1549371

Sarah Rau-Patschke[1] [1]Universität Duisburg-Essen
Marisa Alena Holzapfel[2] [2]Universität Oldenburg
Sophie Bußkamp[1]

Kreativität durch bewegtes Lernen im naturwissenschaftlichen Sachunterricht

Das Problemlösen als Unterrichtskonzeption nimmt im Sachunterricht einen hohen Stellenwert ein. So beschreibt Beinbrech bereits vor mehr als 20 Jahren, dass authentische Problemlöseaufgaben dazu beitragen können, Scientific Literacy zu erwerben (Beinbrech, 2002). Eine solche naturwissenschaftliche Grundbildung zu erwerben, ist zentrales Ziel des Sachunterrichts (GDSU, 2013).
Weiterhin ist das Problemlösen im Sachunterricht fest in den epochaltypischen Schlüsselproblemen verankert (Klafki, 1992). Um didaktische Problemstellungen zu bewältigen, bedarf es kreativer Denkprozesse (Pahl & Berchthold, 2019). Diese kennzeichnen sich nach Bliersbach & Reiners (2017, 324) u.a. durch Nutzung bekannter Strategien, Übertragungsleistungen auf neue Inhalte und/oder durch Ausbrechen aus geläufigen Mustern und/oder Rekombinationen von Wissensstrukturen mit dem Ziel, eine neue Lösung zu finden. Es bedarf also sowohl konvergentem, also zielführendem, als auch divergentem, also andersartigem, Denken (Runco, 2006). Solche kreativen Momente finden sich im Sachunterricht nicht nur in den Themenfeldern der epochaltypischen Schlüsselprobleme, sondern auch in der Erforschung von Alltagsbeobachtungen und alltäglichen Phänomenen der belebten und unbelebten Natur (GDSU, 2013). Darüber hinaus zeigen sich auch in den Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen verschiedene Möglichkeiten (und Erfordernisse), kreativ zu werden. Während das angeleitete Laborieren nur wenig Freiheitsgrade mit sich bringt, steckt in offenen Explorations- und Experimentiersituationen ein hohes kreatives Potenzial bzw. ein hoher Aufforderungscharakter, kreative Lösungen zu finden.
Da kreatives Arbeiten im (naturwissenschaftlichen) Sachunterricht nicht nur konzeptionell erforderlich ist, sondern ihm von Lehrkräften auch eine hohe Bedeutung beigemessen wird (Holzapfel et al., 2024; Holzapfel et al., i.V.), stellt sich die Frage nach Fördermöglichkeiten der Kreativität und Problemlösefähigkeit im Sachunterricht. Einen Ansatz liefern hierzu Murali und Händel (2022), welche zeigen konnten, dass Kreativität von Bewegung profitiert. An dieser Stelle kann das bewegte Lernen aus den 1990er Jahren wieder aufgegriffen werden (Städler, 2015). Zimmermann (2022) konzeptioniert das bewegte Lernen in die lernbezogenen Funktionen *Lernen mit Bewegung* (z.B. Bewegungspausen, Stationenlernen) und *Lernen durch Bewegung* (z.B. themenbezogene Lernspiel oder Hands-on-Aktivitäten) (.
Diverse Studien zeigten allgemein die Förderlichkeit von bewegtem Lernen für Lernmotivation, Konzentration sowie Arbeits- und Sozialverhalten (bspw. Müller & Petzold, 2002; Schulz, 2006; Krüger, 2010). Darüber hinaus zeigten Pfitzner et al. (2021) für den Mathematikunterricht auch positive Effekte von themenspezifischer Bewegung für das Lernen im Fach.

Forschungsziel & methodischer Ansatz

Die vorliegende Machbarkeitsstudie nimmt sich zum Ziel, eine Intervention zu entwickeln und erproben, in der die Kreativität und Problemlösefähigkeit durch Elemente bewegten Lernens am Beispielinhalt *Strom* gefördert werden sollen. In einer Prä-Post-Interventionsstudie werden zwei 4. Klassen mit einer identischen Unterrichtseinheit zum

Beispielinhalt *Strom* unterrichtet. Es gilt die Problemstellung „Deine Taschenlampe leuchtet nicht. Woran kann das liegen? Wie kannst du herausfinden, warum die Taschenlampe nicht leuchtet?“ zu lösen.
In einer Klasse (G1) lernen die Kinder durch Bewegung, also mit themenspezifischen Rollenspielen und Quizformaten, in der anderen Klasse (G2) mit Bewegung, also themenunspezifisch und beiläufig.
Die Prä-Post-Befragung deckt die Bereiche Fachwissen (selbst entwickelt), Problemlösefähigkeit (in Anlehnung an TIMSS, Schwippert et al., 2020) und Kreativität (adaptiert nach Torrance (1966) und Landmann et al. (2014)) ab, zusätzlich wird im Prä-Test das Freizeitverhalten mit Blick auf Bewegung und Kreativität erfasst.
Insgesamt liegen von 31 Kindern (n_{G1}=15, n_{G2}=16) vollständige Datensätze vor.

Erste Befunde
Die ersten Analysen zeigen, dass die Gruppen mit vergleichbaren Werten im Fachwissen und Problemlösefähigkeit starten und somit die Entwicklung verglichen werden kann (s. Abb. 1).

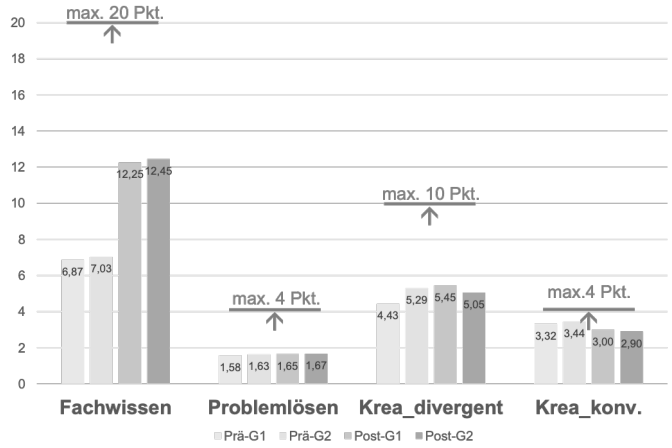


Abbildung 1: Ergebnisse der Prä-Post-Erhebung im Gruppenvergleich über die erfassten Konstrukte.

Der zu verzeichnende Zuwachs im Fachwissen ist in beiden Gruppen hoch signifikant (p = .000), ein Gruppenunterschied ist jedoch nicht zu verzeichnen. G1 verzeichnet im Bereich des divergenten Denkens einen hoch signifikanten Zuwachs (p = .001), der Rückgang in diesem Bereich bei G2 ist nur auf Sichtebene zu bestätigen. Gleichermaßen wird der (negativ von Prä zu Post ausfallende) Unterschied im konvergenten Denken nicht statistisch signifikant und scheint daher nur zufällig zu sein.

Interpretation und kritische Betrachtung der Machbarkeitsstudie
Die konzipierte Unterrichtseinheit kann mit Blick auf die Zuwächse im Fachwissen unabhängig der eingesetzten Bewegungsform als lernwirksam bezeichnet werden, wenngleich die Postwerte (M_{G1}=12,25 und M_{G2}=12,45) nur wenig über dem statistischen Mittel von 10 Punkten liegen.

Die Ergebnisse lassen zudem die, aufgrund der begrenzten Stichprobengröße vorsichtig zu interpretierender Folgerung zu, dass die themenspezifische Bewegung besonders das divergente Denken fördert.
Ergänzend sind insgesamt noch die sprachlichen Schwierigkeiten, die sich in den Antworten der offenen Antwortformate (insbesondere im Bereich der Begründungen) sowie im Bereich des Compound Remote Associates Tests zum konvergenten Denken zeigen, zu berichten.
Für die Interpretation der Ergebnisse kann zusätzlich auf Beobachtungsnotizen während der Intervention zurückgegriffen werden. So zeigte sich, dass die Testzeit von 45 min für die Kinder zu knapp bemessen war. Dies zeigt sich sowohl in der begrenzten Ausführlichkeit der Freitextantwort im Fachwissens- und Problemlösetest sowie in den Aufgaben zum kreativen Denken. Auch scheint der Interventionszeitraum von fünf Unterrichtsstunden in drei Wochen zu gering bemessen zu sein, da einige Kinder nicht motiviert waren, den Test ein zweites Mal auszufüllen. Dies gilt insbesondere für die Testteile zur Kreativität. Hier waren die Kinder wenig motiviert, erneut zu zeichnen. In dieser fehlenden Motivation kann ein Grund liegen, weshalb die Werte in G2 sowohl im divergenten als auch konvergenten Denken abfallen.

Ausblick

Insgesamt gibt die Machbarkeitsstudie viele Hinweise darauf, dass und wie Kreativität und Problemlösen im Sachunterricht gefördert werden können. Die positiven Befunde hinsichtlich des Fachwissens und des divergenten Denkens zeigen, dass es sich in Folgestudien lohnt, das bewegte Lernen, im Schwerpunkt mit themenbezogenen Bewegungen, stärker in den Fachunterricht zu integrieren und hier auch auf längere Interventionszeiten, inkl. Transfer auf weitere Unterrichtsinhalte, zu setzen. Diese Verlängerung der Interventionszeit bietet einerseits die Möglichkeit, die erforderliche Zeit für kreatives Denken (Pfiffner et al., 2022) zu berücksichtigen und andererseits Test-Ermüdungseffekte auszumerzen. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass auch der Fachwissenszuwachs bei einer längeren Intervention steigt und deutlicher über dem theoretischen Mittel liegt. Die aufgedeckten sprachlichen Schwierigkeiten erfordern außerdem eine Überarbeitung des Testteils zum konvergenten Denken sowie der offenen Antwortformate.
Für weitere Interventionen ergeben sich somit aus dieser Studie zahlreiche Stellschrauben für die Prä-Post-Erhebung, welche in weiteren Teilstudien künftig evaluiert werden.

Literatur

Beinbrech, C. (2002). Zur Förderung des Problemlöseverhaltens im Sachunterricht. In H. Petillon (Hrsg.), Individuelles und soziales Lernen in der Grundschule (S. 71–78). VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-322-99278-9_6

Bliersbach, M., & Reiners, C. S. (2017). Kreativität und Chemie? Chemie in unserer Zeit, 51(5), 324–331. https://doi.org/10.1002/ciuz.201700755

Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (Hrsg.). (2013). Perspektivrahmen Sachunterricht (Vollständig überarb. und erw. Ausg). Klinkhardt.

Gröschner, A., & Sandbothe, M. (2010). Kreativität fördern durch körperbasiertes Lernen. MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung, Occasional Papers, 1–27. https://doi.org/10.21240/mpaed/00/2010.09.03.X

Holzapfel, M. A., Jaggy, A.-K., & Brückmann, M. (2022). Creativity in German Science Education in Elementary Schools: Preservice Teachers' Perspective on Whether It Is Essential, Possible or Completely Unnecessary. Creative Education, 13(04), 1421–1438. https://doi.org/10.4236/ce.2022.134087

Holzapfel, M. A., Rau-Patschke, S., Krienke, J., & Kawrigin, A. (in Vorbereitung). Der 21st-century-skill Kreativität – essentiell für den Sachunterricht oder überbewertet?

Krüger, M. (2010). Bewegtes Lernen im Biologieunterricht—Ein Unterrichtskonzept zur Förderung des Lernerfolgs. In Sportunterricht (Bd. 59, Nummer 11, S. 328–333).

Landmann, N., Kuhn, M., Piosczyk, H., Feige, B., Riemann, D., & Nissen, C. (2014). Entwicklung von 130 deutschsprachigen Compound Remote Associate (CRA)-Worträtseln zur Untersuchung kreativer Prozesse im deutschen Sprachraum. Psychologische Rundschau, 65(4), 200–211. https://doi.org/10.1026/0033-3042/a000223

Liersch, J., Eckenbach, D. K., Pfitzner, D. M., & Scherer, D. P. (2021). Bewegungsbasierte Lernförderung im Fachunterricht. Vortrag im Rahmen der Abschlussveranstaltung des GKqL, Universität Duisburg-Essen.

Müller, C., & Petzold, R. (2002). Längsschnittstudie bewegte Grundschule. Ergebnisse einer vierjährigen Erprobung eines pädagogischen Konzeptes zur bewegten Grundschule. 1. Aufl. Academia-Verl.

Murali, S., & Händel, B. (2022). Motor restrictions impair divergent thinking during walking and during sitting. Psychological Research. https://doi.org/10.1007/s00426-021-01636-w

Özgenel, M., & Cetin, M. (2018). Development of the Marmara critical thinking dispositions scale: Validity and reliability analysis. 9(32), 991–1015.

Pfitzner, M., Neuber, N., Eckenbach, K., Liersch, J., Ludwig, K. & Aschebrock, K. (2021). Lernförderung durch Bewegung. Die Auswirkungen von Bewegung auf das exekutive System und Potentiale für einen lernförderlichen Sportunterricht. Sportpädagogik, 45 (1), 2-8.

Pfiffner, M., Sterel, S. & Schrödter, S. (2022). 4K kompakt. Kreative Kapazitäten in Schule und Unterricht nutzen und erweitern (4K kompakt, Band 2, 1. Auflage). Bern: hep Verlag

Runco, M. A., Abdulla, A. M., Paek, S. H., Al-Jasim, F. A., & Alsuwaidi, H. N. (2016). Which Test of Divergent Thinking Is Best? Creativity. Theories – Research - Applications, 3(1), 4–18. https://doi.org/10.1515/ctra-2016-0001

Schwippert, S., Kasper, D.,Köller, O., McElvany, N., Selter, C., Steffensky, M. & Wendt, H. (Hrsg.) (2020).

TIMSS 2019 Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen von Grundschulkindern in Deutschland im internationalen Vergleich. https://doi.org/10.31244/9783830993193

Städtler, H. (2015). Bewegung macht Schule. Warum brauchen wir die bewegte Schule? In Bewegung & Sport (Bd. 69, Nummer 1, S. 6–9).

Torrance, E. P. (1966). Torrance tests of creative thinking: Norms-technical manual: verbal tests, forms A and B: figural tests, forms A and B (Research edition). Personal Press, Inc.

Elias Heinrich[1] [1]Universität Gießen
Nicole Graulich[1]

Epistemische Botschaften in Vorlesungen der Organischen Chemie

Einleitung

Das Lernen Organischer Chemie (OC) stellt Studierende vor eine Vielfalt an Herausforderungen. Manche dieser Herausforderungen ergeben sich aus den Fachinhalten der OC selbst, z. B. durch die Vielzahl verschiedener Repräsentationen für OC-Strukturen (Talanquer, 2022) oder durch die Komplexität von Reaktionsmechanismen (Crowder et al., 2024; Haskel-Ittah, 2023). Andere Herausforderungen entstehen dadurch, wie OC gelehrt wird und wie dies die Perspektive von Studierenden auf OC-Wissen und dessen Erwerb beeinflusst (Bowen et al., 2022). So wurde beispielsweise beobachtet, dass Studierende dazu tendieren, OC-Aufgaben durch Reproduktion auswendiggelernter Muster zu begegnen (Bhattacharyya & Bodner, 2005) und weniger chemisches Wissen oder kausal-mechanistisches Denken beim Problemlösen nutzen (Dood & Watts, 2023; Krist et al., 2019; Scharlott et al., 2024). Die Herangehensweise der Studierenden an Aufgaben kann dabei als Manifestation ihrer Perspektive auf OC-Wissen und wie dieses angewendet wird aufgefasst werden (Russ, 2018). Damit ist anzunehmen, dass zumindest ein Teil der Herausforderungen, mit denen Studierende beim Lernen von OC konfrontiert sind, durch ihre epistemische Kognition bedingt ist.

Das dargestellte Forschungsprojekt zielt daher darauf ab, epistemische Botschaften in Lehrveranstaltungen zu identifizieren, d.h. explizite Aussagen oder implizite Signale darüber, was (OC)Wissen ist, wie es generiert, validiert oder angewendet wird. Im Kontext von Lehrveranstaltungen können epistemische Botschaften beispielsweise in Form von Zielen des Wissenserwerbs kommuniziert werden, welche unter Umständen auch bestimmten Formen des Wissens einen bestimmten Wert zuschreiben. Aufbauend auf der Annahme, dass epistemische Botschaften beeinflussen können, wie Lernende über Wissen denken und in der Folge wie sie lernen (Berland et al., 2016; Ke & Schwarz, 2021; Russ, 2018), wurden zwei Forschungsfragen formuliert:

- Welche epistemischen Botschaften mit Bezug zu Zielen des Wissenserwerbs in OC-Vorlesungen lassen sich identifizieren?
- Wie verteilen sich zielbezogene Botschaften über den Verlauf der Vorlesung?

Ziel der qualitativen Studie ist es, durch die Charakterisierung der vermittelten Ziele des Wissenserwerbs, Einblicke zu gewinnen, welcher Wert bestimmten Wissenselementen zugeschrieben wird, um zukünftig besser abbilden zu können, inwiefern epistemische Botschaften die epistemische Kognition von Studierenden in Lehrveranstaltungen beeinflussen können. Schwerpunktmäßig sollen Einführungsvorlesungen der OC untersucht werden, da die Vorlesung (VL) an vielen Universitäten die zentrale Lehrveranstaltung für den Einstieg in die OC darstellt und die epistemischen Botschaften in dieser Veranstaltung die Grundlagen für eine Perspektive auf die Disziplin der Organischen Chemie legen.

Methoden

Für diese qualitative, explorative Studie wurden Videoaufzeichnungen von sieben VL von sechs verschiedenen Lehrenden aus verschiedenen Universitäten aus Deutschland und den USA untersucht. Der Schwerpunkt der Untersuchung lag dabei auf den VL zur Nukleophilen Substitution (S_N), da die zugehörigen Reaktionsmechanismen zu den wichtigsten Mechanismen beim Einstieg in die OC gehören. Das Thema S_N-Reaktionen wurde in den untersuchten VL im Umfang von 45 bis 303 Minuten behandelt. Diese große Bandbreite ist u.a. dadurch bedingt, dass in einzelnen VL S_N-Reaktionen zusammen mit Eliminierungsreaktionen vermittelt wurden. Auch wurde in unterschiedlichem Maße VL-Zeit für die Bearbeitung und Besprechung von Übungsaufgaben zu S_N-Reaktionen eingesetzt.

Ausgehend von den VL-Aufzeichnungen wurden Transkripte des VL-Gesprächs erstellt. Die Transkripte wurden zunächst in strukturelle Abschnitte gegliedert, um einen Überblick zu erhalten, in welchen Teilen der Vorlesung neue Inhalte vermittelt wurden oder wo z. B. Übungsaufgaben besprochen wurden. Dann wurden die Transkripte durch induktives Coding auf kommunizierte epistemische Ziele des Wissenserwerbs untersucht. Die verschiedenen Botschaften wurden dann in Bezug auf ihre Verteilung und Position innerhalb der VL-Struktur analysiert und die Ergebnisse in Form eines Barcodes dargestellt (vgl. *Abb. 1*).

Vorläufige Ergebnisse

Welche epistemischen Botschaften mit Bezug zu Zielen des Wissenserwerbs in OC-Vorlesungen lassen sich identifizieren?

Hier konnten im induktiven Coding drei verschiedene Qualitäten von Botschaften gefunden werden: In eine erste Kategorie (*Knowing for Knowing*) wurden Botschaften eingeteilt, die rahmen, welches Wissen die Studierenden in der VL lernen sollen, ohne dass genauer spezifiziert wird, welchen Wert dieses Wissen für die Studierenden besitzt, z.B.: *„Was wir jetzt tun werden, ist, dass ich natürlich die Reaktion selbst sowie alle beteiligten Faktoren vorstelle und versuchen werde, Ihnen ein Gefühl dafür zu geben, wann welche Faktoren wichtiger sind.“* (Prof. Meyer)

Der zweiten Kategorie (*Knowing for Assessment*) wurden dagegen Botschaften zugeordnet, die zusätzlich zu einem Zielbezug den Wissensinhalt um eine Wertdimension ergänzten, wobei für diese Kategorie ein Bezug zur Leistungsüberprüfung maßgeblich war, z. B.: *„Sie wollen ja das Vorhersagen können und nicht immer eine Reaktionskinetik aufnehmen. Das können Sie zum Beispiel in der Abschlussklausur nicht machen, dass Sie bei einer Aufgabe das dann testen und die Nucleophile, also die Nucleophil-Konzentration verändern und die Reaktionsgeschwindigkeit messen. Wir müssen also das direkt aus der Struktur vorhersagen können.“* (Prof. Fischer)

In der dritten Kategorie (*Knowing for Doing Science*) wurden dagegen Botschaften zusammengefasst, die den zu erlernenden Wissensinhalten v.a. in ihrer Anwendung in einem professionellen Kontext einen Wert zuschrieben, z.B.: *„Und das ist natürlich sehr wichtig, wenn man an die Bedeutung in der synthetischen Chemie denkt: Man möchte eine bestimmte Stoffgruppe in eine andere umwandeln, und die nukleophile Substitution ist da ein wichtiger Schlüsselschritt, um dies zu erreichen.“* (Prof. Fischer)

Für alle VL wurden so verschiedene Botschaften zu den Zielen des Wissenserwerbs gefunden. Während dabei Ziele der Kategorie *Knowing for Knowing* in allen untersuchten VL-Abschnitten häufig waren, zeigten sich in Bezug auf die Häufigkeit von Botschaften der

Kategorien *Knowing for Assessment* und *Knowing for Doing Science* deutliche Unterschiede zwischen verschiedenen VL-Abschnitten (vgl. *Abb. 1*).

Wie verteilen sich zielbezogene Botschaften über den Verlauf der Vorlesung?
Zum Zeitpunkt der Tagung war die Analyse der Verknüpfung von Zielen und VL-Inhalten noch nicht abgeschlossen. Als vorläufiges Ergebnis kann hier jedoch die Verteilung der Ziele über den Verlauf einer VL dargestellt werden. In Bezug auf die strukturellen Abschnitte der VL lässt sich festhalten, dass die meisten Botschaften zu Zielen des Wissenserwerbs in den VL-Teilen zu finden waren, in denen neue Inhalte vermittelt bzw. eingeleitet wurden (vgl. *Abb. 1*). Zielbezogene Botschaften im Kontext der Besprechung von Übungsaufgaben waren seltener zu finden, wobei der Anteil des VL-Gesprächs, der auf Übungen entfiel im Allgemeinen deutlich geringer war als der Anteil, in dem neue Inhalte vermittelt wurden. Was das Vorkommen epistemischer Botschaften über den gesamten Verlauf einer VL betrifft, ließ sich kein allgemeines Muster beschreiben. *Knowing for Knowing*-Botschaften treten über den ganzen VL-Verlauf verteilt auf, wohingegen die beiden anderen Kategorien eher punktuell zu finden sind.

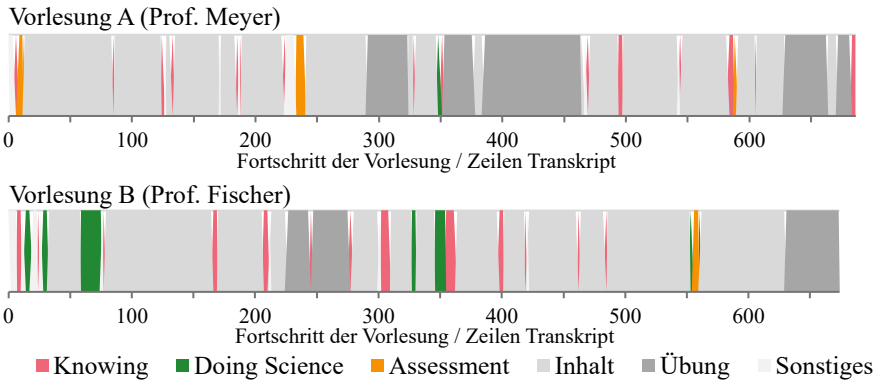


Abb. 1 Auftreten zielbezogener Botschaften in zwei OC-VL zu S_N-Reaktionen.

Ausblick
Die bisherige Analyse zeigt, dass in allen untersuchten VL-Abschnitten epistemische Botschaften zu Wissenszielen vermittelt werden, jedoch mit unterschiedlicher Häufigkeit. Um weitere Schlüsse ziehen zu können, werden die VL-Abschnitte weiter auf die Verknüpfung zwischen Zielen und Inhaltsvermittlung analysiert. Im Kontext dieser Untersuchung der Passung zwischen Botschaft und vermitteltem Inhalt soll ein Fokus auf die kommunizierten Wissensprozesse gelegt werden: Es ist anzunehmen, dass die Bandbreite von Heuristiken bzw. Merkregeln bis zu kausal-mechanistischen Erklärungen reichen kann (Talanquer, 2013 & 2021).

Literatur

Berland, L. K., Schwarz, C. V., Krist, C., Kenyon, L., Lo, A. S. & Reiser, B. J. (2016) Epistemologies in Practice: Making Scientific Practices Meaningful for Students. Journal of Research in Science Teaching. 53 (7), 1082-1112.

Bhattacharyya, G. & Bodner, G. M. (2005) "It Gets Me to the Product": How Students Propose Organic Mechanisms. Journal of Chemical Education, 82 (9), 1402-1407.

Bowen, R. S., Flaherty, A. A. & Cooper, M. M. (2022) Investigating student perceptions of transformational intent and classroom culture in organic chemistry courses. Chemistry Education Research and Practice, 23, 560-581.

Crowder, C. J., Brandon, J. Y., Frost, S. J. H., Cruz-Ramírez de Arellano, D. & Raker, J. R. (2024) Impact of Prompt Cueing on Level of Explanation Sophistication for Organic Reaction Mechanisms. Journal of Chemical Education, 101 (2), 398–410.

Dood, A. J. & Watts, F. M. (2023) Students' Strategies, Struggles, and Successes with Mechanism Problem Solving in Organic Chemistry: A Scoping Review of the Research Literature. Journal of Chemical Education, 100, 53-68.

Haskel-Ittah, Michal (2023) Explanatory black boxes and mechanistic reasoning. Journal of Research in Science Teaching, 60, 915-933.

Ke, L. & Schwarz, C. V. (2021) Supporting students' meaningful engagement in scientific modeling through epistemological messages: A case study of contrasting teaching approaches. Journal of Research in Science Teaching, 58 (3), 335-365.

Krist, C., Schwarz, C. V. & Reiser, B. J. (2019) Identifying Essential Epistemic Heuristics for Guiding Mechanistic Reasoning in Science Learning. Journal of the Learning Sciences, 28 (2), 160-205.

Russ, R. S. (2018) Characterizing Teacher Attention to Student Thinking: A Role for Epistemological Messages. Journal of Research in Science Teaching, 55 (1), 94-120.

Schafer, A. G. L., Kuborn, T. M., Schwarz, C. E., Deshaye, M. Y. & Stowe, R. L. (2023) Messages about valued knowledge products and processes embedded within a suite of transformed high school chemistry curricular materials. Chemistry Education Research and Practice, 24, 71-88.

Scharlott, L. J., Rippey, D. W., Rosa, V. & Becker, N. M. (2024) Progression toward Causal Mechanistic Reasoning through Phenomenon-Based Learning in Introductory Chemistry. Journal of Chemical Education, 101 (3), 777–788.

Talanquer, V. (2013). When Atoms Want. Journal of Chemical Education, 90, 1419-1424.

Talanquer, V. (2021). Multifaceted Chemical Thinking: A Core Competence. Journal of Chemical Education, 98, 3450-3456.

Talanquer, V. (2022). The Complexity of Reasoning about and with Chemical Representations. JACS Au, 2, 2658-2669.

Sebastian Stuppan[1,2]
Markus Wilhelm[1,2]
Markus Rehm[2]

[1]Pädagogische Hochschule Luzern
[2]Pädagogische Hochschule Heidelberg

Staunen als Motor der epistemischen Neugier
Eine empirische Studie

Kurzfassung

Aufgaben werden oft nach ihrer Funktion spezifiziert (Konfrontation, Übung, Transfer etc.). Besonders Konfrontationsaufgaben verbinden die Lebenswelt der Lernenden mit Kompetenzen, die durch Bildungsstandards definiert sind. Sie sollen kognitiv aktivieren und Lernende dazu anregen, ihre Vorstellungen zu hinterfragen und verschiedene Lösungsideen zuzulassen. Konfrontationsaufgaben sollen darüber hinaus epistemische Emotionen wie Konfusion, Staunen und Neugier hervorrufen sowie ein Problembewusstsein entwickeln. Die vorgestellte Studie untersucht den Zusammenhang zwischen den intendierten epistemischen Emotionen (Konfusion, Neugier, Staunen und keine Langeweile) anhand von 16 MINT-Konfrontationsaufgaben bei 1360 Lernenden. Die Ergebnisse des Mehrebenen-Strukturgleichungsmodells zeigen einen positiven Effekt des Staunens auf die epistemische Neugier, was wiederum den Schluss zulässt, dass ein auslösender Konflikt durch Überraschung dazu anregt, Unsicherheiten zu reduzieren und Wissenslücken zu füllen. Konfrontationsaufgaben könnten daher wichtige Lerngelegenheiten bieten, um Lernende zu aktivieren und den Kompetenzerwerb zu fördern.

Theoretischer Hintergrund

Aufgaben gelten als zentrales Element des Unterrichts, da sie eine wesentliche Rolle bei der Gestaltung von Lehr-Lern-Prozessen spielen. Sie konkretisieren curriculare Ziele und Inhalte und strukturieren dadurch Lerngelegenheiten (Jordan et al., 2006). Aufgaben, die aufeinander aufbauen und einen Lernprozess initiieren, sind besonders effektiv (Anderson, 2000). Um dies zu erreichen, werden Aufgaben in sogenannte Aufgabenmodelle integriert, die auf einem Lernprozessmodell basieren. Bekannte Aufgabenmodelle finden sich beispielsweise bei Merriënboer und Kirschner (2012) oder Oser und Patry (1990). Ein weiteres Aufgabenmodell ist das "LUKAS-Modell" (Luzerner Modell zur Entwicklung Kompetenzfördernder Aufgabensets), das besonders im MINT-Bereich nützlich ist (Stuppan et al., 2023). Aufgabensets aus dem LUKAS-Modell folgen dem Lernprozess und berücksichtigen damit einen kumulierenden Kompetenzaufbau durch ein Arrangement von Konfrontationsaufgaben, Erarbeitungsaufgaben, Übungsaufgaben, Syntheseaufgaben und Transferaufgaben (Stuppan et al., 2023). Konfrontationsaufgaben intendieren, bei den Lernenden die epistemische Neugier zu wecken. Unter epistemischer Neugier versteht man das Bedürfnis nach neuem Wissen und Wissenslücken zu schließen (Loewenstein, 1994; Markey & Loewenstein, 2014). Epistemische Emotionen wie Staunen, Konfusion und das Fehlen von Langeweile werden als hilfreich angesehen, um epistemische Neugier zu fördern. Staunen beschreibt die Faszination der Lernenden für Phänomene, die sie zum Nachdenken anregt (Roth, 2017). Aufgaben, die 'Konfusion' hervorrufen, erzeugen einen kognitiven Konflikt und können Unsicherheit und Verwirrung auslösen (D'Mello et al., 2014; Silvia, 2010). Langeweile wird hingegen anhand von Aussagen gemessen wie: „Die gestellte Aufgabe war so langweilig, dass ich häufig an etwas anderes dachte“ (Goetz & Hall, 2014; Pekrun et al., 2014). Vor allem

Problemlösesituationen, wie die Konfrontationsaufgaben im Lernprozessmodell, scheinen besonders geeignet, um diese Ziele zu erreichen (Luthiger et al., 2018; Stuppan et al., 2023). Sie ermöglichen es den Lernenden, ihren Lösungsweg und ihre Idee offenzulegen (Jordan et al., 2008; Stuppan et al., 2023). Zudem schaffen sie eine Verbindung zwischen der persönlichen Erfahrungswelt der Lernenden und den angestrebten Kompetenzen (Luthiger et al., 2018; Stuppan et al., 2023). Entscheidend ist hierbei, die epistemische Neugier der Lernenden zu wecken (Loewenstein, 1994; Shin & Kim, 2019; Stuppan, 2023). Konfrontationsaufgaben wurden bislang nur wenig erforscht. Insbesondere der Prozess der Lösungsfindung und der Einfluss epistemischer Emotionen, bzw. epistemischer Neugier wurden kaum untersucht. Auch das Inhaltsverständnis verschiedener naturwissenschaftlicher und technischer Konfrontationsaufgaben ist bislang nicht geklärt.

Fragestellung

Die erläuterten Desiderate führen zu folgender Forschungsfrage: Zeigen unterschiedliche naturwissenschaftliche und technische Konfrontationsaufgaben die erwarteten epistemischen Emotionen?

Methode

Die Hauptstudie basiert auf einer Stichprobe von 31 Schulen mit 124 Klassen und einer Gesamtstichprobengröße von $N = 1360$ Lernenden (50 % weiblich), welche insgesamt zu 16 MINT-Aufgaben befragt wurden (maximal drei Aufgaben pro Schüler:in). Um die Subskala „epistemische Neugier bezüglich der Lösungsfindung“ zu messen (Anzahl der Items = 4, Beispielitem: „Diese Aufgabe machte mich neugierig, Lösungsideen zu entwickeln.“) und die „epistemische Neugier bezüglich der Inhalte zu erfahren“ ($n = 3$, Beispielitem: „Ich möchte mehr über dieses Thema lernen.“), wurden Items aus dem Skalenbuch von Naylor (1981) sowie Litman und Spielberger (2003) adaptiert. Die Items der Subskala „Staunen“ ($n = 3$, Beispielitem: „Diese Aufgabe erstaunte mich“) basieren auf den theoretischen Grundlagen von Berlyne (1974) und Roth (2017). Um „Konfusion“ zu messen ($n = 3$, Beispielitem: „Diese Aufgabe verwirrte mich“), wurden die Items auf Grundlage der Theorien von Dewey (1910), Copei (1969) und Combe (2009) erstellt. Die Subskala „Langeweile“ ($n = 3$, Beispielitem: „Ich fand die gestellte Aufgabe langweilig.“) basiert auf den Arbeiten von Pekrun (1992). Um den Zusammenhang zwischen den intendierten epistemischen Emotionen zu untersuchen, wurde ein Mehrebenen-Strukturgleichungsmodell verwendet, das die genestete Datenstruktur berücksichtigt.

Ausgewählte Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt als Mehrebenen-Strukturgleichungsmodell die gerichteten Zusammenhänge von Staunen, Konfusion und Langeweile auf epistemische Neugier – Lösungserarbeitung und Neugier – Inhalte zu erfahren. Da Chi-Quadrat-Tests bei großen Stichproben, wie in diesem Fall, besonders sensitiv sind, wurden zusätzliche Fit-Indizes einbezogen, um die Güte des Modells zu bewerten. Auf Grundlage dieser Werte kann das vorgeschlagene Modell gut durch die erhobenen Daten repräsentiert werden (Modell-Fit: χ^2 (188) = 622.757, $p < .001$, CFI = .972, SRMRwithin = .029, SRMRbetween = .053, TLI = .965, RMSEA = .034).

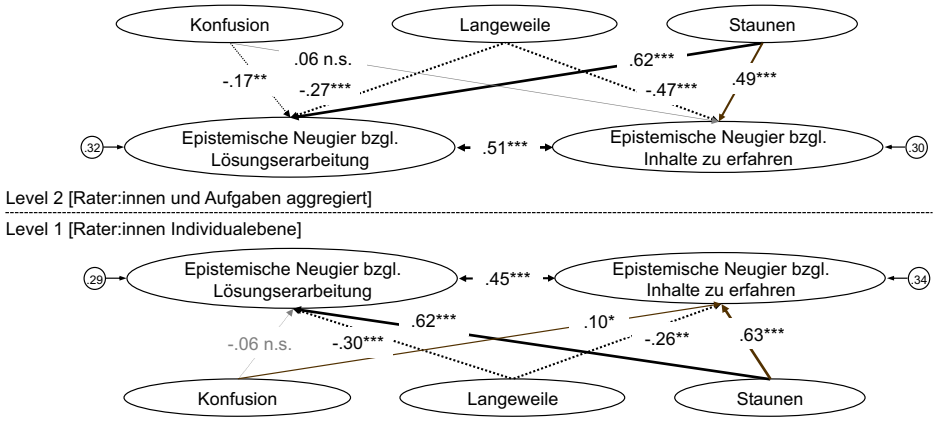


*Abb. 1 MSEM mit vollständig standardisierten Effektgrößen und Residuen auf latenter Ebene. Die manifesten Indikatoren der latenten Konstrukte sind zur besseren Übersichtlichkeit nicht dargestellt. Punktierte Linien stehen für negative Zusammenhänge, während durchgezogene Linien positive Zusammenhänge darstellen. Die Signifikanz der Koeffizienten wird wie folgt angegeben: ***p < .001, **p < .01, *p < .05; Nwithin =2896, Nbetween = 1360.*

Diskussion

Die Ergebnisse der Analysen machen deutlich, dass sich in den untersuchten Konfrontationsaufgaben die epistemischen Facetten Staunen, Konfusion, Langeweile, Neugier Lösungserarbeitung und Neugier Inhalte zu erfahren als latente Variablen mit zufriedenstellenden Faktorladungen abbilden lassen. Die Befunde stützen das theoretisch angenommene Modell, da eine gute Passung zu den vorliegenden Daten vorliegt. was durch eine hohe Varianzaufklärung und einen guten Model Fit bestätigt wird. Die vorliegenden Ergebnisse deuten auf eine enge Verbindung zwischen verschiedenen Aspekten der epistemischen Neugier hin. Insbesondere korrelieren die „epistemische Neugier bzgl. Lösungsbearbeitung“ und „epistemische Neugier bzgl. Inhalte erfahren“ positiv miteinander. Die Hypothese, dass die Variable „Konfusion“ einen positiven Effekt auf die epistemische Neugier hat, ist mit den vorhandenen Daten nur bedingt zu bestätigen. Vielmehr wird deutlich, dass es einen kleinen positiven Effekt auf die Variable „epistemische Neugier bzgl. Inhalte zu erfahren“ gibt (auf Level 2 n.s.). Der negative, nicht signifikante Effekt (Level 1) auf die Variable „epistemische Neugier bezüglich Lösungsbearbeitung“ kann aus statistischen Gründen nicht interpretiert werden. Somit spielt „Konfusion“ eine ambivalente Rolle bei der Förderung der Neugier. Bemerkenswert ist der starke Einfluss der Variable „Staunen“ auf die beiden untersuchten Aspekte der Neugier in MINT-Lernaufgaben, was darauf hindeutet, dass das Staunen eine treibende Kraft im Streben nach Wissen und Verständnis darstellt. Keltner und Haidt (2003) unterstützen dies; sie argumentieren, dass das Staunen ein Gefühl von Verbundenheit, Offenheit und Sinnhaftigkeit fördert. In diesem Zusammenhang erscheint Shermans (2010) Plädoyer für eine Kultur des Staunens im Klassenzimmer plausibel.

Literatur

Anderson, J. R. (2000). *Learning and memory: An integrated approach* (2nd ed). Wiley.

Berlyne, D. E. (1974). *Konflikt, Erregung, Neugier: Zur Psychologie der kognitiven Motivation* (1. Aufl). Klett.

Combe, A., & Gebhard, U. (2009). Irritation und Phantasie. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *12*(3), 549–571. https://doi.org/10.1007/s11618-009-0083-1

Copei, F., & Sprenger, H. (1969). *Der fruchtbare Moment im Bildungsprozess*. Quelle und Meyer.

Dewey, J. (1910). How we think. *London, New York I*, *933*.

D'Mello, S., Lehman, B., Pekrun, R., & Graesser, A. (2014). Confusion can be beneficial for learning. *Learning and Instruction*, *29*, 153–170. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2012.05.003

Goetz, T., & Hall, N. C. (2014). Academic boredom. In *International handbook of emotions in education.* (S. 311–330). Routledge/Taylor & Francis Group.

Jordan, A., Krauss, S., Löwen, K., Blum, W., Neubrand, M., Brunner, M., Kunter, M., & Baumert, J. (2008). Aufgaben im COACTIV-Projekt: Zeugnisse des kognitiven Aktivierungspotentials im deutschen Mathematikunterricht. *Journal für Mathematik-Didaktik*, *29*(2), 83–107. https://doi.org/10.1007/BF03339055

Jordan, A., Ross, N., Krauss, S., Baumert, J., Blum, W., Neubrand, M., Löwen, K., Brunner, M., & Kunter, M. (2006). *Klassifikationsschema für Mathematikaufgaben. Dokumentation der Aufgabenkategorisierung im COACTIV-Projekt.* Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.

Keltner, D., & Haidt, J. (2003). Approaching awe, a moral, spiritual, and aesthetic emotion. *Cognition and Emotion*, *17*(2), 297–314. https://doi.org/10.1080/02699930302297

Litman, J. A., & Spielberger, C. D. (2003). Measuring Epistemic Curiosity and Its Diversive and Specific Components. *Journal of Personality Assessment*, *80*(1), 75–86. https://doi.org/10.1207/S15327752JPA8001_16

Loewenstein, G. (1994). The psychology of curiosity: A review and reinterpretation. *Psychological Bulletin*, *116*(1), 75–98. https://doi.org/10.1037/0033-2909.116.1.75

Luthiger, H., Wilhelm, M., Wespi, C., & Wildhirt, S. (Hrsg.). (2018). *Kompetenzförderung mit Aufgabensets: Theorie – Konzept – Praxis* (1. Auflage). hep.

Markey, A., & Loewenstein, G. (2014). Curiosity. In R. Pekrun & L. Linnenbrink-Garcia (Hrsg.), *International Handbook of Emotions in Education* (0 Aufl., S. 246–264). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203148211

Merriënboer, J. J. G. van, & Kirschner, P. A. (2012). *Ten steps to complex learning: A systematic approach to four-component instructional design* (2nd ed). Routledge.

Naylor, F. D. (1981). A State-Trait Curiosity Inventory. *Australian Psychologist*, *16*(2), 172–183. https://doi.org/10.1080/00050068108255893

Oser, F., & Patry, J.-L. (1990). *Choreographien unterrichtlichen Lernens. Basismodelle des Unterrichts*. Universität Fribourg.

Pekrun, R. (1992). The Impact of Emotions on Learning and Achievement: Towards a Theory of Cognitive/Motivational Mediators. *Applied Psychology*, *41*(4), 359–376. https://doi.org/10.1111/j.1464-0597.1992.tb00712.x

Pekrun, R., Hall, N. C., Goetz, T., & Perry, R. P. (2014). Boredom and academic achievement: Testing a model of reciprocal causation. *Journal of Educational Psychology*, *106*(3), 696–710. https://doi.org/10.1037/a0036006

Roth, W.-M. (2017). Astonishment: A post-constructivist investigation into mathematics as passion. *Educational Studies in Mathematics*, *95*(1), 97–111. https://doi.org/10.1007/s10649-016-9733-4

Sherman, J. F. (2010). The Practice of Astonishment: Devising, Phenomenology, and Jacques Lecoq. *Theatre Topics*, *20*(2), 89–99. https://doi.org/10.1353/tt.2010.0104

Shin, D. D., & Kim, S. (2019). Homo Curious: Curious or Interested? *Educational Psychology Review*, *31*(4), 853–874. https://doi.org/10.1007/s10648-019-09497-x

Silvia, P. J. (2010). Confusion and interest: The role of knowledge emotions in aesthetic experience. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, *4*(2), 75–80. https://doi.org/10.1037/a0017081

Stuppan, S. (2023). *Ein Messinstrument zur Analyse und Typisierung von MINT-Aufgaben – Entwicklung, Validierung und Anwendung* [PhD Thesis]. https://doi.org/10.60497/opus-1586

Stuppan, S., Wilhelm, M., & Bölsterli Bardy, K. (2023). Empirische Unterscheidung von Aufgabentypen – eine explorative Studie. *Swiss Journal of Educational Research*, *45*(3), 278–292. https://doi.org/10.24452/sjer.45.3.5

Leo Lutz[1] [1]Pädagogische Hochschule Heidelberg

Von BNE zu „BENE:C – Das Planspiel“ Von der Kompetenz zur Handlung

Damit eine Transformation hin zur Nachhaltigkeit gelingen kann, bedarf es der Ausbildung von „Nachhaltigkeitsbürgern“, die durch die Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE) in die Lage versetzt werden, sich als kompetente Individuen an gesellschaftlichen Entscheidungsprozessen mit einzubringen. Oberste Maxime ist „Erkenntnis“ und „kritische Reflektion“ über die Folgen des eigenen Handelns. Gestaltungskompetenzen müssen erworben werden, damit das Individuum die wechselseitigen Wirkmechanismen auf der Welt durchdringen kann, um in die Lage versetzt zu sein, sowohl auf lokaler als auch auf globaler Ebene zu (re-)agieren (de Haan, 2002; Rieckmann, 2018). Als wichtiger Bestandteil von BNE ist NE definiert als „*eine Entwicklung, die die Lebensqualität der gegenwärtigen Generation sichert und gleichzeitig zukünftigen Generationen die Wahlmöglichkeit zur Gestaltung ihres Lebens erhält*“ (UNESCO). 2015 wurden zur Ausgestaltung der Gelingensbedingungen einer NE die die Sustainable Development Goals (SDGs) von den Vereinten Nationen beschlossen (UNESCO, 2015). In den 17 SDGs werden die wichtigsten globalen Herausforderungen/Ziele beschrieben, von deren erfolgreicher Umsetzung die Zukunft der künftigen Generationen maßgeblich abhängt. Die United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) besitzt die Vision die Dimensionen „Ökonomie“, „Ökologie“ und „Soziales“ in Einklang zu bringen, sodass bei jeder getroffenen Entscheidung ein allgemeiner Konsens zwischen den Dimensionen entsteht (UNESCO, 2017). Im Schnittmengenmodell, das die Vorstellungen der UNESCO gut repräsentiert, kann eine Schnittmenge aller drei Dimensionen gefunden werden. Da eine Vereinbarkeit zwischen den Bereichen in jeder Einzelentscheidung als unmöglich angesehen wird, wurden über die Zeit verschiedene weitere nachhaltige Entwicklungs-Modelle generiert (Lautensach, 2018). Vorrangmodelle der Nachhaltigkeit fokussieren sich, anstelle des Vereinbarkeitsgedankens, auf Abwägungsentscheidungen. In diesen müssen manche der Ziele als gewichtiger angesehen werden als andere und erhalten daher eine höhere Priorität zugebilligt. Andere Ziele werden folglich, als nachrangig bewertet, zurückgestellt (Griggs et al., 2013; Wilhelm et al., 2010; Wilhelm, 2021). Neben den Vorrangmodellen sind auch Leitplankenmodelle der Nachhaltigkeit entstanden. Neben den Abwägungsentscheidungen werden hier zusätzlich noch moralische Diskurse geführt (Grunwald & Kopfmüller, 2012). Für den Nachhaltigkeitsdiskurs kristallisiert sich heraus, dass Dilemma-Situationen aufgrund der Komplexität des Themas eine zentrale Rolle einnehmen (Albert, 2015).

BENE:C und Erhebungsdesign der Interventionsstudie

Das Planspiel BENE:C mit dem Fokus „chemischen Industrie“ am Standortbeispiel Deutschland, wurde für die Durchführung im Chemie-Regelunterricht ab Klassenstufe 8 konzipiert. BENE:C ist konzipiert als Prae-Post-Interventionsstudie mit Warte-Kontrollgruppe. Beim Design von BENE:C wurde die Theorie von Planspielen zugrunde gelegt (Capaul & Ulrich, 2003; Reich, 2007; Karl, 2011). Ziel der Interventionsstudie ist es, mit dem Planspiel als Erhebungsinstrument für Probehandlungen zum Thema NE eine wirksame BNE-Intervention zu schaffen. Die Intervention soll nachhaltigere

Probehandlungen im Planspiel von Schülerinnen und Schülern fördern. Zusätzlich wurden weitere Variablen wie die Fachwissensleistung (Prae-Post) oder das Geschlecht erhoben, auch mit der Bestrebung eine in der Forschung vielmals berichtete Eco Gender Gap zu prüfen und mittels der BNE-Intervention zu minimieren (siehe Forni, 2022). Als „Leitung der Chemiefirma“ müssen die Schülerinnen und Schüler Entscheidungen treffen und Probehandlungen NE durchführen. Inhalte sind dabei reale Dilemma-Situationen in der chemischen Industrie (z.B. Abwägungsentscheidungen verschiedener Produktionsprozesse, wie z.B. „Hochofenprozess“ oder „Direktreduktionsanlage“). So agieren die SuS mit ihren Probehandlungen in Abwägungsentscheidungen zwischen den Dimensionen „Ökonomie“, „Ökologie“ und „Soziales“.

Forschungsfrage, die hier im Fokus stehen soll:
Inwiefern kann mit der Studie die vielmals berichtete Eco Gender Gap bestätigt und mit der Intervention abgeschwächt werden?

Auswertung:
Die Kategorisierung der Nachhaltigkeits-Probehandlung kann durch die Schaffung eines nominalen Skalenniveaus auf Basis von Fokusbildung bewerkstelligt werden. So können in der Studie sieben Gruppen gefunden:
Fokus „Umwelt“, Fokus „Umwelt-Sozial“, Fokus „Sozial“, Fokus „Sozial-Wirtschaft“, Fokus „Wirtschaft“, Fokus „Wirtschaft-Umwelt“, Fokus „Drei Dimensionen“

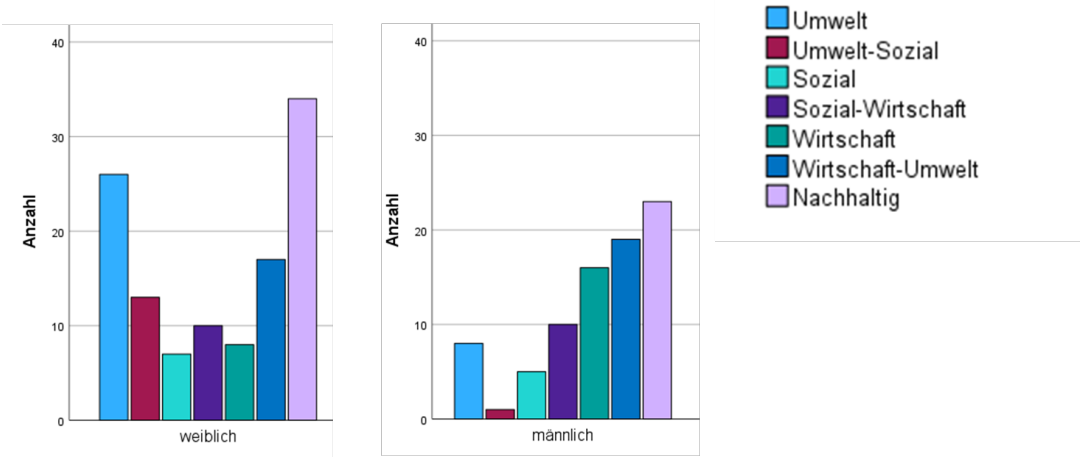


Abb. 1: Prae-Test – Säulendigramm – Nominales Skalenniveaus auf Basis von Fokusbildung in der Probehandlung – Geschlechtervergleich.

Ein durchgeführter Chi-Quadrat-Test liefert einen signifikantes Ergebnis für den Zusammenhang von Geschlecht und Probehandlung im Prae-Test ($\chi^2 = 20.085$, $p = 0.003$). Die Effektstärke wird über den Cramer-V-Werte von Cramer-V = 0.319. Nach Cohen handelt es sich dabei um einen mittleren Effekt (Cohen, 1988). Somit wurde ein erstes Indiz dafür gefunden, dass in der vorliegenden Studie ebenfalls die Eco Gender Gap beobachtet werden kann. Es lässt sich erkennen, dass weibliche Probanden eher zu „Umwelt“/ “Umwelt-Sozialen“-Probehandlungen tendieren, als männliche Probanden.

Männliche Probanden hingegen fokussieren sich eher auf reine „Wirtschafts“-Probehandlungen. In einer weiteren statistischen Methode, der multinomialen logistischen Regression, können für die Probehandlung im Prae-Test diese Ergebnisse statistisch erneut bestätigt werden. Nach Durchführung der BNE-Intervention zeigt ein Chi-Quadrat-Test für den Post-Test kein signifikantes Ergebnis für einen Zusammenhang zwischen Geschlecht und Probehandlung der Schülerinnen und Schüler ($\chi^2 = 9.320$, $p = 0.156$). Dieses Phänomen kann über ein Angleichen der Probehandlungen zwischen den Geschlechtern in Folge der BNE-Intervention erklärt werden. Auch eine zweite multinomiale logistische Regression weist nach der BNE-Intervention im Post-Test keinen Zusammenhang zwischen Geschlecht und Probehandlung mehr auf.

Fazit:
Die Eco Gender Gap konnte in der Studie BENE:C, ähnlich wie in anderen Studien zuvor, beobachtet und durch die Erhebung von Probehandlungen nachvollzogen werden. Die in der Interventionsstudie durchgeführte BNE-Intervention kann statistisch abgesichert die Probehandlung im Planspiel BENE:C positiv beeinflussen. Im Prae-Test vorliegende Geschlechterunterschiede wurden erfolgreich durch die BNE-Intervention reduziert, was anhand der Ergebnisse im Post-Test gesehen werden kann.

Limitationen:
Die BNE-Intervention muss in ihrer Gesamtheit als eine „empirische Black Box“ betrachtet werden. Durch eine theoretische Herleitung wurde die BNE-Intervention entwickelt. Eine Angleichung der Probehandlungen im Post-Test kann festgestellt werden; welche Elemente der BNE-Intervention zur Minimierung der Eco Gender Gap geführt haben, muss in zukünftigen Forschungsprojekten weiter untersucht werden.

Ausblick:
Angedacht ist, eine empirisch qualitative Untersuchung durchzuführen. Ziel der angestrebten Untersuchung mit dann qualitativem Fokus ist die Identifikation von Gelingensbedingungen, die den Erfolg der BNE-Intervention erklären können. Es ist denkbar, dass ganz unterschiedliche Kombinationsmöglichkeiten zum Erfolg geführt haben. Aus einem bereits vorliegenden qualitativen Auswertungsteil kann eine Hypothese formuliert werden.

Hypothese:
Die Anregung mögliche Handlungsstrategien im Kontext von Planspielelementen zu verfolgen, fördert eine reflektierende Auseinandersetzung mit Themen der Nachhaltigkeit. Eine durch die BNE-Intervention hervorgerufene Bewusstmachung der Bedeutung von Nachhaltigkeit setzt sich, zumindest teilweise, gegen persönliche Präferenzen einzelner Dimensionen durch. Durch ein Minimieren der Eco Gender Gap werden über alle SuS hinweg nachhaltigere Probehandlungen im Planspiel getroffen. Die Probehandlungen dienen als Übung für ein nachhaltiges Handeln im Sinne von ausgebildeten Nachhaltigkeitsbürgerinnen und Nachhaltigkeitsbürgern.

Literatur

Albert, M. (2015). Gegensätze der Nachhaltigkeit. Working Papers of the Chair for Innovation Research and Technology Management.

Capaul, R. & Ulrich, M. (2003). Planspiele: Simulationsspiele für Unterricht und Training. Tobler Verlag.

Cohen, J. (1988). Statistical Poweranalysis for the behavioral sciencis, S. 25/26.

de Haan, G. (2002). Die Kernthemen der Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Zeitschrift für internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik, 25(1), S. 13-20.

Forni, D. (2022). Eco Gender Gap in Animated Films: Real and Fictional Gender-based Differences in Environmental Sensitivity. Formazione & Insegnamento, 20(1 Tome II), 603–611. https://doi.org/10.7346/-fei-XX-01-22_52

Griggs, D., Stafford-Smith, M., Gaffney, O., Rockström, J., Öhman, M. C., Shyamsundar, P., Steffen, W., Glaser, G., Kanie, N., Noble, I. (2013). Policy: Sustainable development goals for people and planet. Nature, 495(7441), S. 305-307.

Grunwald, A. & Kopfmüller, J. (2012). Nachhaltigkeit: Eine Einführung (2., aktualisierte Auflage). Frankfurt/New York: Campus Verlag.

Karl, C. K. (2011). Kompetenzorientierte Planspiele – Ein neuer Ansatz zur Konzeption von Planspielen in der Aus- und Weiterbildung, in W. Kriz (Hrsg.), Planspiele in der Personalentwicklung, Wissenschaftlicher Verlag Berlin.

Lautensach, A. (2018). Educating as if Sustainability Mattered. Proceedings of ICERI2018 Conference, S. 7556–7568. doi:10.21125/iceri.2018.0352 doi:10.4119/zdb-1739.

Moosbrugger, H. & Kelava, A. (2012). Testtheorie und Fragebogenkonstruktion, Springer Verlag, S. 22-23.

Reich, K. (2007). Planspiel (Hrsg.), Methodenpool.

Rieckmann, M. (2018). Die Bedeutung von Bildung für nachhaltige Entwicklung für das Erreichen der Sustainable Development Goals (SDGs). Zeitschrift für internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik, 41(2), S. 4-10.

Ulrich, M. (2006). Komplexität anpacken: Mit Planspielen erfolgreiches Handeln erlernen [Tagungsbandbeitrag]. Komplexität erkennen - Zukunft gestalten. Ernährungsökologie als integrativer Ansatz für Wissenschaft und Praxis, Gießen, Germany.

United Nations, (1987). Report of the World Commission on Environment and Development Our Common Future, Brundtland-Bericht.

UNESCO, Erhalt und Nachhaltige Entwicklung an Welterbestätten, https://www.unesco.de/kultur-und-natur/welterbe/welterbe-sein/erhalt-und-nachhaltige-entwicklung.

UNESCO, (2015). Rethinking Education - Towards a global common good? https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000232555.

UNESCO, (2017). Education for Sustainable Development Goals - Learning Objectives. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247444.

Wilhelm, M. (2021). Bildung in Nachhaltiger Entwicklung am Reallabor – Wer ist Landwirtschaft? Progress in Science Education, 4(3), S. 28-35.

Wilhelm, M., Rehm, M. & Reinhardt, V. (2010). Urteilen in Dilemmasituationen – Nature of Science und Bildung für Nachhaltige Entwicklung. Unterricht Chemie, 21(118/119), S. 1-10.

Kendra Zilz[1]
Dietmar Höttecke[1]

[1]Universität Hamburg

Wie beurteilen Schüler*innen Online-Informationen zum Klimawandel?

Ausgangssituation

Wissenschaftskommunikation über naturwissenschaftshaltige, gesellschaftspolitisch relevante Themen ist eine große Herausforderung der Gegenwart. Insbesondere Falschinformationen gefährden eine informierte Öffentlichkeit. Besonders schnell werden Falschinformationen in sozialen Medien verbreitet, in denen keine Kontrollmechanismen des Gatekeepings wirken (Höttecke & Allchin, 2020). Dabei treffen Nutzer*innen auf Herausforderungen – für eine fachliche Klärung vieler Inhalte wäre ein hohes Maß an Expert*innenwissen notwendig, über das ein Großteil der Öffentlichkeit nicht verfügt (Feinstein, 2015). Im Kontext des Klimawandels verstärkt sich die Abhängigkeit von Expertenwissen aufgrund der Komplexität der Thematik. Schüler*innen informieren sich aber zunehmend in sozialen Medien über den Klimawandel (Medienpädagogischer Forschungsverbund, 2023; BMU, 2018). Um dabei fundierte Urteile über Glaubwürdigkeit zu treffen, benötigen Schüler*innen Strategien, die zuverlässig und alltagstauglich sind. In dieser Querschnittsstudie wurde untersucht, wie Schüler*innen ohne Training die Glaubwürdigkeit von naturwissenschaftlichen Informationen zum Klimawandel beurteilen.

Theoretischer Hintergrund

Es wird zwischen den beiden Strategiearten *Plausibilitätsstrategie* und *Vertrauensstrategie* unterschieden (Bromme & Kienhues, 2014). Plausibilitätsstrategien zielen auf eine fachliche Beurteilung von Informationen ab. Für diese sind daher innerfachliche naturwissenschaftliche Kenntnisse nötig. Im Gegensatz dazu werden bei der Anwendung von Vertrauensstrategien Quellen bzw. sich äußernde Personen hinsichtlich ihrer Vertrauenswürdigkeit beurteilt. Dafür wird statt naturwissenschaftlichem Fachwissen Wissen im Bereich Nature of Science (NOS) benötigt, wie zum Beispiel Wissen über die Entstehung des wissenschaftlichen Konsenses, die disziplinäre Ordnung innerhalb der Wissenschaften und Kontrollmechanismen wie dem Peer Review (Osborne et al., 2022; Höttecke & Allchin, 2020). Vertrauensstrategien lassen sich in die Unterstrategien einer Beurteilung der *Fähigkeit*, der *Integrität* und des *Wohlwollens* einer Person klassifizieren (Anderson, 2011; Hendriks et al., 2015; Bromme & Kienhues, 2014; Allchin & Zemplén, 2020).

Forschungsfragen:

FF1) Welche Ressourcen nutzen Schüler*innen bei der Beurteilung der Glaubwürdigkeit von Informationen zum Klimawandel?

FF2) Wie ausgeprägt sind die Fähigkeiten von Schüler*innen beim Fällen von Glaubwürdigkeitsurteilen ohne vorheriges Training?

Methodik

Die Datenerhebungen der vorliegenden Querschnittstudie wurden mit 91 Sekundarstufenschüler*innen der 10. Klassenstufe eines Gymnasiums in Hamburg durchgeführt. Die Schüler*innen hatten vor der Testung kein Treatment von uns erhalten. Jede Testperson bearbeitete zwei Testaufgaben mit jeweils drei authentischen Fallvignetten, das heißt Textausschnitte tatsächlich getätigter Aussagen von realen Personen. Die Schüler*innen hatten bei der Bearbeitung freien Zugang zum Internet und konnten bei der Beurteilung der Glaubwürdigkeit Ressourcen ihrer Wahl frei verwenden. Die Testleistung umfasst das Ranking der drei authentischen Fallvignetten nach ihrer Glaubwürdigkeit hinsichtlich einer Abstufung von *sehr - weniger - kaum glaubwürdig* mit einer schriftlichen Begründung. Nach den Erhebungen folgten die Transkription der handschriftlichen Schüler*innenantworten, die inhaltsanalytische Auswertung mithilfe zweier Kategoriensysteme und die deskriptiv quantitative Analyse der Daten. Die Intercoder-Reliabilität wurde durch Doppelkodierung von 20 % des Datenmaterials durch beide Autor*innen bestimmt und führte zu zufriedenstellenden Werten (κ=0,88 / κ=0,80 für Kategoriensystem zur FF1/ FF2).

Ergebnisse

Ad FF1): 98 % der Testpersonen haben Plausibilitätsstrategien und 57 % Vertrauensstrategien angewandt. Plausibilitätsstrategien wurden systematischer, d.h. je Testperson häufiger, angewandt als Vertrauensstrategien. Aus qualitativer Perspektive zeigte sich, dass Schüler*innen die Glaubwürdigkeit bei der Verwendung von Plausibilitätsstrategien meist durch einen Abgleich der Informationen aus den Fallvignetten mit ihrem vorhandenen Fachwissen prüften. Hinsichtlich der Vertrauensstrategien verteilten sich die Urteile der Schüler*innen gleichmäßig auf die drei Unterstrategien der Beurteilung von *Fähigkeit, Integrität* und *Wohlwollen*. Beurteilten Schüler*innen beispielsweise die *Fähigkeit* einer Person, bezogen sie sich auf Informationen zur Ausbildung, zur beruflichen Tätigkeit und zum akademischen Grad. Hierbei argumentierten sie sowohl für die Glaubwürdigkeit einer Person, z. B. wenn diese über einen hohen akademischen Grad verfügt, als auch gegen die Glaubwürdigkeit einer Person, wenn diese z. B. in einem fachlich weit entfernten Feld (z. B. Psychologie) tätig ist.

Ad FF2): Bezüglich der Qualität der Anwendung von Strategien zeigten sich deutliche Diskrepanzen zwischen der Anwendung von Plausibilitäts- und Vertrauensstrategien. Vertrauensstrategien wurden deutlich häufiger adäquat angewandt (54 %) als Plausibilitätsstrategien (34 %). Während Plausibilitätsstrategien in 16 % der Fälle falsch angewandt wurden, beläuft sich der falsche Anteil bei den Vertrauensstrategien auf 8 %. Aus qualitativer Sicht zeigte sich, dass Schüler*innen bezüglich bestimmter Unterstrategien bereits über geeignete argumentative Ressourcen verfügen, um ein fundiertes Glaubwürdigkeitsurteil zu entwickeln. Bei anderen Unterstrategien waren die Begründungen der Schüler*innen jedoch unvollständig, unspezifisch oder es waren fachlich bzw. sachlich falsche Informationen enthalten. Besonders erfolgreich waren Schüler*innen beim Anwenden von Vertrauensstrategien, wenn die *Fähigkeit* von Personen untersucht wurde. Nichtsdestotrotz kommen auch hier einige Schüler*innen zu falschen Urteilen, indem sie z. B. Personen für sprechfähig für Klimaprobleme halten, die ihre Expertise in Physik statt in der Klimaforschung aufgebaut haben. Am unsichersten sind

Schüler*innen bei Vertrauensstrategien in der Unterstrategie *Integrität*. Hierbei wird beispielsweise das Vorkommen von Zahlen in Aussagen fälschlich als Indiz für wissenschaftliches Vorgehen und somit eine hohe Glaubwürdigkeit herangezogen.

Diskussion

Eine Begründung für die geringe Anwendung von Vertrauensstrategien ist, dass diese weniger der Struktur des klassischen Physikunterrichts entsprechen, der sich nach wie vor sehr stark an der Sachstruktur orientiert und somit eher Plausibilitätsstrategien anstößt. Dennoch wandten Schüler*innen Vertrauensstrategien ohne Training bereits effizient – wenn auch nicht fehlerfrei – an. Mit einem geeigneten Training könnte die Fehleranfälligkeit bei der Anwendung von Vertrauensstrategien weiter gesenkt werden, sodass Schüler*innen zuverlässig, selbstständig und ohne über Expert*innenwissen zu verfügen, Glaubwürdigkeitsurteile fundieren können. Die Begründungen der Vertrauensurteile der Schüler*innen zeigten, dass differenzierteres Wissen im Bereich NOS (z.B. zur Erlangung innerwissenschaftlicher Expertise) nötig ist, um fundierte Urteile fällen zu können.

Einige Forschungsbefunde aus früheren Studien lassen sich auch mit unseren Daten bestätigen. Obgleich die Studien aufgrund verschiedener Messinstrumente nicht exakt vergleichbar sind, zeigen auch unsere Daten, dass Schüler*innen eher auf Plausibilitätsstrategien als Vertrauensstrategien zurückgreifen (Bråten et al., 2018). Bestätigen lässt sich zudem, dass Schüler*innen die Verständlichkeit eines Textes in ihren Beurteilungen der Glaubwürdigkeit miteinfließen lassen (McGrew, 2021). Nicht bestätigen können wir, dass die Wahl der Strategien vom Vorwissen der Schüler*innen abhängt (Bråten et al., 2018). Darüber hinaus zeigt sich in unserer Studie nicht, dass Schüler*innen hauptsächlich auf Oberflächenmerkmale bei der Beurteilung von Glaubwürdigkeit zurückgreifen (Barzilai & Zohar, 2012).

Zu den Limitationen dieser Studie: Die Schüler*innen hatten zwar freien Zugang zum Internet. Die Situation der Testung im Klassenraum kann jedoch nur bis zu einer gewissen Grenze die Nutzung sozialer Medien im Alltag simulieren. Die Schüler*innen schreiben zudem zwar Begründungen zu den einzelnen Fallvignetten, wodurch wir sehr nah an das tatsächliche Fällen von Strategien hinsichtlich Glaubwürdigkeit herankommen, die tatsächlichen kognitiven Vorgänge bleiben jedoch unzugänglich. Zuletzt erlaubt es die Größe unserer Stichprobe nicht, Rückschlüsse auf andere Lerngruppen zu ziehen.

Zusammenfassung und Ausblick

Bisher ist uns keine andere Studie bekannt, die das tatsächliche Fällen und die Fundierung von Glaubwürdigkeitsurteilen zu Informationen zum Klimawandel durch Schüler*innen in einer authentischen Testsituation mit Zugang zum Internet untersucht. In unserer Querschnittsstudie zeigte sich, dass Schüler*innen Plausibilitätsstrategien häufiger anwenden als Vertrauensstrategien. Es zeigt sich die Tendenz, dass Vertrauensstrategien in einer höheren Qualität angewandt werden als Plausibilitätsstrategien – selbst ohne vorheriges Training. Eine noch erfolgreichere Anwendung von Vertrauensstrategien erfordert einen Unterricht zur NOS, der soziologische Aspekte dieses Lernbereichs fokussiert.

Literatur

Allchin, D., & Zemplén, G. Á. (2020). Finding the place of argumentation in science education: Epistemics and Whole Science. *Science education*, *104*(5), 907-933.

Anderson, E. (2011). Democracy, Public Policy, and Lay Assessments of Scientific Testimony. *Episteme*, *8*(2), 144-164.

Barzilai, S., & Zohar, A. (2012). Epistemic thinking in action: Evaluating and integrating online sources. *Cognition and Instruction*, *30*(1), 39-85.

Bråten, I., McCrudden, M. T., Stang Lund, E., Brante, E. W., & Strømsø, H. I. (2018). Task-oriented learning with multiple documents: Effects of topic familiarity, author expertise, and content relevance on document selection, processing, and use. *Reading Research Quarterly*, *53*(3), 345-365.

Bromme, R. & Kienhues, D. (2014). *Wissenschaftsverständnis und Wissenschaftskommunikation*. In T. Seidel & A. Krapp (Hg.). Pädagogische Psychologie (6. Aufl., S. 55-81). Weinheim: Beltz.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2018). *Zukunft? Jugend fragen! Nachhaltigkeit, Politik, Engagement – eine Studie zu Einstellungen und Alltag junger Menschen.* Abrufbar unter: https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Pools/Broschueren/jugendstudie_bf.pdf.

Feinstein, N.W. (2015). Education, Communication, and Science in the Public Sphere. *Journal of Research in Science Teaching, 52*(2), 145-163.

Hendriks, F., Kienhues, D., & Bromme, R. (2015). Measuring laypeople's trust in experts in a digital age: The Muenster Epistemic Trustworthiness Inventory (METI). *PloS one*, *10*(10), e0139309.

Höttecke, D. & Allchin, D. (2020). Reconceptualizing nature-of-science education in the age of social media. *Science Education*, *104*(4), 641-666.

McGrew, S. (2021). Skipping the source and checking the contents: An in-depth look at students' approaches to web evaluation. *Computers in the Schools*, *38*(2), 75-97.

Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (Hg.) (2023): *JIM-Studie 2023. Jugend, Information, Medien. Basisuntersuchung zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger.* Abrufbar unter: https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2022/JIM_2023_web_final_kor.pdf

Osborne, J., Pimentel, D., Alberts, B., Allchin, D., Barzilai, S., Bergstrom, C., Coffey, J., Donovan, B., Dorph, R. Kivinen, K., Kozyreva, A., Perkins, K., Perlmutter, S. & Wineburg, S. (2022). *Science education in an age of misinformation.* Stanford University. Abrufbar unter: https://policycommons.net/artifacts/2434623/science_education_in_an_age_of_misinformation/3456215/

Larissa Hahn[1] [1]Universität Göttingen
Pascal Klein[1]

Implementation multi-repräsentationaler Lernaufgaben in die Studieneingangsphase

Vor dem Hintergrund zahlreicher studentischer Schwierigkeiten bei der Anwendung vektorieller Feldkonzepte in der Physik wurden multi-repräsentationale (MR) Lernaufgaben entwickelt, die einen visuellen Zugang anhand von Vektorfelddiagrammen adressieren und unterstützende Zeichenaktivitäten sowie ein digitalgestütztes Visualisierungswerkzeug integrieren. Zur Wirksamkeitsanalyse wurden die Lernaufgaben in die begleitenden Übungen einer Elektromagnetismus-Vorlesung im zweiten Studiensemester an der Universität Göttingen implementiert. Im Vergleich mit einer Kontrollgruppe, die traditionelle, rechenbasierte Aufgaben bearbeitete, zeigten die Studierenden, die mit MR Lernaufgaben lernten, einem signifikant höheren Lernzuwachs bzgl. ihres konzeptuellen Wissens sowie ihrer Repräsentationskompetenzen im Umgang mit Vektorfeldern und Vektorfelddiagrammen.

Theoretischer Hintergrund

Studien ergaben, dass Studierende mathematische Berechnungen im Zusammenhang mit Vektorfeldern meist gut bewältigen können. Die visuelle Beurteilung von Vektorfelddiagrammen sowie der Erwerb eines konzeptuellen Verständnisses der Vektoranalysis bereitet ihnen allerdings Probleme – beides ist jedoch entscheidend für physikalische Anwendungen (z. B. Bollen et al., 2015; Singh & Maries, 2013). Angesichts dieser Befunde betonen Fachdidaktiker:innen den Einsatz (digitalgestützter) visueller Repräsentationen, um das Lernen in der Vektoranalysis zu unterstützen (z. B. Bollen et al., 2016; Klein et al., 2018; Singh & Maries, 2013). In diesem Zuge erwiesen sich multi-repräsentationale Lehr-Lern-Materialien mit Vektorfelddiagrammen als sehr lernwirksam (z. B. Klein et al., 2018, 2019).

Bei der Beurteilung von Vektorfelddiagrammen spielt die Informationsentnahme eine zentrale Rolle – konkret: Es bedarf entsprechender Repräsentationskompetenzen, wie Informationen dargestellt werden und wie diese zu interpretieren sind (Rau, 2017). Eine effektive Vorgehensweise besteht hierbei in einer Zerlegung einzelner Vektoren in ihre Komponenten und der Beurteilung der Veränderung dieser Komponenten entlang der Koordinatenrichtungen (Hahn, 2024). Lehr-Lern-Materialien mit visuellen Hilfen im Diagramm und repräsentationsspezifischen Zeichenaktivitäten, die die Ausführung dieser Strategie unterstützen, erwiesen sich daher als besonders effektiv. In Laborstudien konnten sie sowohl die visuelle Beurteilung von Vektorfelddiagrammen als auch das Konzeptwissen zur Vektoranalysis fördern (Hahn & Klein, 2023a; Klein et al., 2019).

Multi-repräsentationale (MR) Lernaufgaben zur Vektoranalysis

Mit Blick auf den dargestellten Forschungsstand wurden vier MR Lernaufgaben zur Vektoranalysis entwickelt („Divergenz“, „Satz von Gauß“, „Rotation“, „Satz von Stokes“). Diese adressieren ein visuell-konzeptuelles Verständnis der Vektoranalysis anhand von Vektorfelddiagrammen und involvieren repräsentationsspezifische Zeichenaktivitäten sowie ein digitalgestütztes Vektorfeld-Visualisierungswerkzeug (Hahn et al., 2024; Aufgabenentwicklung siehe Hahn & Klein, 2022; Hahn, 2024).

Forschungsfrage

Die Wirksamkeitsanalyse der MR Lernaufgaben adressiert folgende Forschungsfrage:
Wie unterscheiden sich Studierende, die mit MR Lernaufgaben instruiert wurden, und solche, die mit traditionellen, rechenbasierten Aufgaben instruiert wurden, bezüglich der visuellen Beurteilung von Vektorfelddiagrammen und dem Konzeptwissen zur Vektoranalysis?

Wirksamkeitsanalyse

Die MR Lernaufgaben wurden in drei aufeinanderfolgenden Jahren (2022 bis 2024) in die begleitenden Übungen einer Elektromagnetismus-Vorlesung (2. Semester) an der Universität Göttingen implementiert. Die Studierenden erarbeiteten die Aufgaben im Selbststudium, anschließend wurden sie in den Übungen diskutiert. Die Wirksamkeitsanalyse erfolgte durch den Vergleich einer Interventionsgruppe (IG), die mit den MR Lernaufgaben instruiert wurde, und einer Kontrollgruppe (KG), die traditionelle, rechenbasierte Aufgaben bearbeitete. Neben der Beantwortung eines Prä- und Posttests zur Vektoranalysis vor und nach der vierwöchigen Intervention wurde die kognitive Belastung der Lernenden im Zuge der wöchentlichen Aufgabenbearbeitung erfasst (siehe Hahn & Klein, 2023b, für eine Beschreibung der Studie (Präregistrierung) und Hahn, 2024, für alle Materialien und Testinstrumente).
Zur Kontrolle der Rahmenbedingungen erfolgt die Wirksamkeitsanalyse anhand einer Kernstichprobe von 81 Studierenden ($N_{IG} = 51$, $N_{KG} = 30$), die sowohl am Prä- und Posttest teilgenommen als auch die vier Lernaufgaben bearbeitet haben (Abb. 1; 29% der Prätest-Stichprobe). Die Gruppen weisen keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich ihres Vorwissens (Abb. 2) sowie verschiedener soziodemographischer Variablen auf. Die nachfolgende statistische Analyse erfolgt exemplarisch anhand zweier Items zur Rotation von Vektorfeldern. Das erste Item adressiert dabei die visuelle Beurteilung der Rotation, bei der vor allem spezifische Repräsentationskompetenzen erforderlich sind (Bollen et al., 2015), und das zweite Item erfasst das Konzeptwissen zur Rotation von Vektorfeldern (z. B. Beurteilung der Aussage „Die Rotation gibt an, ob Feldvektoren gekrümmt sind“; Items nach Baily et al., 2015; Bollen et al., 2018; Klein et al., 2018, 2019).

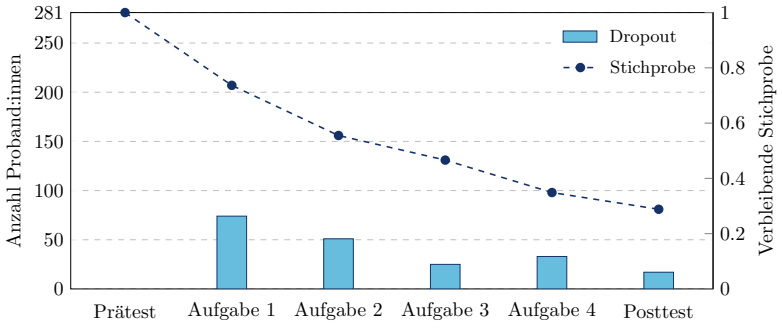


Abb. 1: Stichprobengröße (dunkelblau) und Dropout (hellblau) der Studie zu den Erhebungszeitpunkten (Prätest, Aufgabe 1 bis 4, Posttest). Auf der linken y-Achse ist die totale Anzahl Proband:innen auftragen, auf der rechten y-Achse die verbleibende Stichprobe.

Ergebnisse

Die Antwortkorrektheit bzgl. der visuellen Beurteilung der Rotation eines Vektorfelddiagrammes sowie dem Konzeptwissen zur Rotation von Vektorfeldern konnte durch die Intervention signifikant gesteigert werden ($t(76) = -4.99$, $p < 0.001$, Abb. 2a; $t(79) = -4.14$, $p < 0.001$, Abb. 2b). Für beide Items sind diese Effekte vor allem auf den

Lernzuwachs in der IG zurückzuführen. So konnten sich die Studierenden der IG bei der visuellen Beurteilung der Rotation zwischen Prä- und Posttest von $MW_{Prä} = 0.28$ auf $MW_{Post} = 0.63$ steigern (Abb. 2a). Dies entspricht einem mittleren normalisierten Hake-Index von $g_{H,IG} = 0.49$ (Hake, 1998); die KG erzielte im Vergleich einen Hake-Index von $g_{H,KG} = 0.07$. Damit unterscheidet sich der Score von IG und KG für dieses Item nach der Intervention signifikant ($t(79) = 2.14$, $p = 0.04$) mit kleiner Effektstärke (Cohen, 1988).

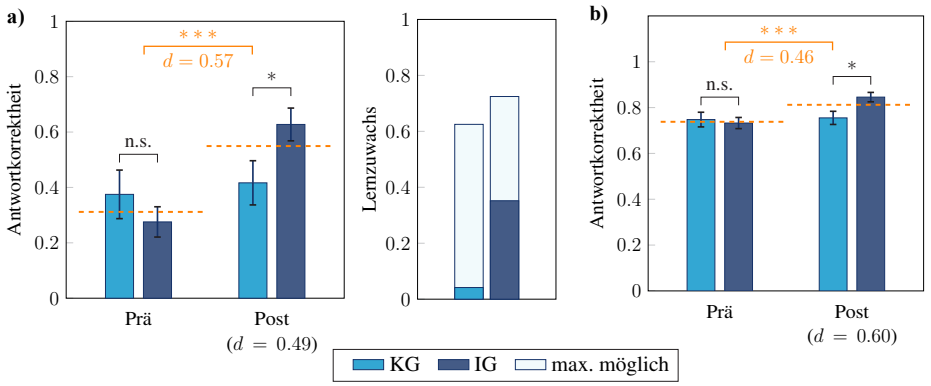


*Abb. 2: Performanz bei (a) visueller Beurteilung der Rotation eines Vektorfelddiagramms und (b) Konzeptwissen zur Rotation im Vergleich von IG und KG. Der Prä-Post-Vergleich ist in orange dargestellt (1 SEM; n.s. nicht signifikant; *signifikant $p < 0.05$, Effektstärke Cohens d).*

Beim Konzeptwissen zur Rotation von Vektorfeldern zeigten sich ähnliche Ergebnisse (Abb. 2b). So unterscheiden sich IG und KG nach der Intervention signifikant ($t(79) = 2.61$, $p = 0.01$) mit mittlerer Effektstärke (Cohen, 1988). Zudem erzielte die IG einen nach Hake (1998) als mittel zu klassifizierenden normalisierten Hake-Index ($g_{H,IG} = 0.42$; $g_{H,KG} = 0.03$).

Diskussion

Multi-repräsentationale Lernaufgaben zur Vektoranalysis, die Zeichenaktivitäten sowie digitalgestützte Visualisierungen involvieren, erzeugten im Rahmen einer Interventionsstudie positive Lerneffekte bei Physikstudierenden der Studieneingangsphase. Am Beispiel der Rotation von Vektorfeldern zeigte sich, dass die Lernaufgaben sowohl Repräsentationskompetenzen als auch Konzeptwissen zur Vektoranalysis fördern konnten. Dies steht im Einklang mit bisherigen Studien zum multi-repräsentationalen, zeichenbasierten und digitalgestützten Lernen (z. B. Kohnle, Ainsworth & Passante, 2020). Der normalisierte Hake-Index der IG entspricht dabei dem innovativer Lernumgebungen in vorangegangenen Studien (Coletta & Phillips, 2007; Hake, 1998).

Diese Ergebnisse bestätigen die dargelegten theoretischen Prämissen und stützen insbesondere die Befunde vorangegangener Laborstudien zum multi-repräsentationalen Lernen in der Vektoranalysis (Hahn & Klein, 2023a; Hahn, 2024; Klein et al., 2018, 2019), indem sie die Wirksamkeit eines multi-repräsentationalen Lehr-Lern-Ansatzes zur Vektoranalysis im universitären Lehralltag zeigen. Die Bildung einer Kernstichprobe erhöht hierbei die interne Validität der Ergebnisse, jedoch auf Kosten einer Minimierung der Stichprobengröße. Im Hinblick auf die vorliegende Studie wird zum Zweck einer umfassenden Wirksamkeitsanalyse im nächsten Schritt die Performanz, d. h. Antwortkorrektheit und -sicherheit, für den gesamten Vektoranalysis-Test sowie die kognitive Belastung der Studierenden im Zuge der Aufgabenbearbeitung zwischen den Gruppen verglichen.

Literatur

Baily, C., Bollen, L., Pattie, A., van Kampen, P., & De Cock, M. (2015). Student thinking about the divergence and curl in mathematics and physics contexts. PERC Proceedings, 51-54.

Bollen, L., van Kampen, P., & De Cock, M. (2015). Students' difficulties with vector calculus in electrodynamics. Physical Review Special Topics – Physics Education Research, 11(2), 020129.

Bollen, L., van Kampen, P., Baily, C., & De Cock, M. (2016). Qualitative investigation into students' use of divergence and curl in electromagnetism. Physical Review Physics Education Research, 12(2), 020134.

Bollen, L., van Kampen, P., & De Cock, M. (2018). Development, implementation, and assessment of a guided-inquiry teaching-learning sequence on vector calculus in electrodynamics. Physical Review Physics Education Research, 14(2), 020115.

Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Coletta, V. P., Phillips, J. A., & Steinert, J. J. (2007). Interpreting force concept inventory scores: Normalized gain and SAT scores. Physical Review Special Topics – Physics Education Research, 3(1), 010106.

Hahn, L., & Klein, P. (2022). Vektorielle Feldkonzepte verstehen durch Zeichnen? Erste Wirksamkeitsuntersuchungen. In H. Grötzebauch & S. Heinicke (Hrsg.), PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2022 (S. 119-126).

Hahn, L., & Klein, P. (2023a). Analysis of eye movements to study drawing in the context of vector fields. Frontiers in Education, 8, 1162281.

Hahn, L., & Klein, P. (2023b). The impact of multiple representations on students' understanding of vector field concepts: Implementation of simulations and sketching activities into lecture-based recitations in undergraduate physics. Frontiers in Psychology, 13, 1012787.

Hahn, L., Blaue, S. A., & Klein, P. (2024). A research-informed graphical tool to visually approach Gauss' and Stokes' theorems in vector calculus. European Journal of Physics, 45(2), 025706.

Hahn, L. (2024). Vektorfeldkonzepte in der Studieneingangsphase Physik. Über die Wirkung multi-repräsentationaler Lehr-Lern-Materialien und die Rolle der visuellen Aufmerksamkeit. [Dissertation, Universität Göttingen].

Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: a sixthousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. American Journal of Physics, 66, 64-74.

Klein, P., Viiri, J., Mozaffari, S., Dengel, A., & Kuhn, J. (2018). Instruction-based clinical eye-tracking study on the visual interpretation of divergence: How do students look at vector field plots? Physical Review Physics Education Research, 14(1), 010116.

Klein, P., Viiri, J., & Kuhn, J. (2019). Visual cues improve students' understanding of divergence and curl: Evidence from eye movements during reading and problem solving. Physical Review Physics Education Research, 15(1), 010126.

Kohnle, A., Ainsworth, S. E., & Passante, G. (2020). Sketching to support visual learning with interactive tutorials. Physical Review Physics Education Research, 16(2), 020139.

Rau, M. A. (2017). Conditions for the effectiveness of multiple visual representations in enhancing STEM learning. Educational Psychology Review, 29(4), 717-761.

Singh, C., & Maries, A. (2013). Core graduate courses: A missed learning opportunity? AIP Conference Proceedings, 1513, 382-385.

Kevin Kärcher[1]
Hans-Dieter Körner[1]

[1]Pädagogische Hochschule
Schwäbisch Gmünd

Bearbeitung elementarer Mathematikaufgaben mit Einheiten in der Chemie

Als alltägliches Werkzeug zur Beschreibung von Regeln und Gesetzen ist Mathematik integraler Bestandteil der Naturwissenschaften und damit auch sehr präsent im naturwissenschaftlichen Unterricht bzw. Studium (Strubecker, 1969). Allerdings fällt immer wieder auf, dass Lernende (sowohl in Schule als auch Universität) Schwierigkeiten im Umgang mit Mathematik in den Naturwissenschaften haben. Diese äußern sich beispielsweise durch eine Diskrepanz in den Rechenfähigkeiten in Chemie bzw. Physik und Mathematik (Geyer, 2020; Goldhausen, 2015; Kimpel, 2018). Auslöser dieser Diskrepanz können unterschiedlicher Natur sein. So kann vermutet werden, dass Rechenaufgaben in der Chemie von den Lernenden als schwieriger empfunden werden und sie deshalb eine schlechtere Performanz aufweisen als in der ‚reinen' Mathematik. Deshalb fokussiert die vorgestellte Studie auf die kognitive Belastung beim Bearbeiten von elementaren Mathematikaufgaben in der Chemie.

Theoretischer Hintergrund und Stand der Forschung

Die grundsätzliche theoretische Rahmung von kognitiver Anstrengung, wie sie in dieser Studie verstanden wird, folgt der bekannten Unterteilung in die Facetten der *Cognitive Load Theory* nach Sweller (1994). Hierbei wird unterschieden zwischen dem *Intrinsic Load*, dem *Extraneous Load* und dem *Germane Load*. Für die folgenden Betrachtungen ist insbesondere die Art von kognitiver Belastung von Interesse, die durch das Bearbeiten einer Aufgabe an sich ausgelöst wird, also der *Intrinsic Load*. Zur Operationalisierung der Facetten von *Cognitive Load* haben sich die Dimensionen *Mental Load* und *Mental Effort* etabliert (vgl. Krell, 2015). Zur Messung werden u.a. Selbstberichte herangezogen, die durch die Proband:innen abgeben werden. Andererseits können aber auch physiologische Faktoren wie Herzfrequenz, EEG und Pupillenaktivität verwendet werden, um *Cognitive Load* zu messen. In der Forschungspraxis wurde insbesondere die Kombination aus Selbstbericht und Messung eines bzw. mehrerer physiologischen Faktor(en) herangezogen, sodass dieses Vorgehen auch für die hier vorgestellte Studie gewählt wurde (Krell et al., 2022).

Es lohnt sich einen Blick auf die kognitive Anstrengung während der Bearbeitung unterschiedlicher Rechenaufgaben zu werfen, weil die fachdidaktische Forschung immer wieder zeigen konnte, dass der Umgang mit Formeln, Graphen und Einheiten in Chemie und Physik grundsätzlich problembehaftet ist (bspw. Geyer, 2020; Goldhausen, 2015; Kimpel, 2018; Park & Choi, 2013; Potgieter et al., 2008). Dass naturwissenschaftliche Rechenaufgaben im Vergleich zu ‚reinen' Mathematikaufgaben eine höhere kognitive Belastung auslösen und diese damit ein möglicher Einflussfaktor auf den Bearbeitungserfolg dieser Aufgaben ist, kann zwar vermutet werden (Appel et al., 2023; Gupta & Zheng, 2020) muss aber noch detaillierter belegt werden. Dabei sollten elementare Rechenaufgaben in isolierte Settings im Fokus stehen, da dieses Untersuchungsformat bisher kaum Beachtung gefunden hat.

Studiendesign und Forschungsfragen

Aufgrund der geschilderten Forschungslücke hinsichtlich der Messung von kognitiver Anstrengung, ergaben sich zwei übergeordnete Fragestellungen für diese Studie: 1. Wie unter-

scheiden sich typische Rechenaufgaben aus Chemie und Mathematik hinsichtlich ihrer ausgelösten kognitiven Anstrengung und 2. Welche Schlüsse lassen sich aus der Kombination der beiden etablierten Erhebungsmethoden für kognitive Anstrengung ziehen?
Darauf aufbauend wurde ein PC-gestütztes Erhebungsinstrument entwickelt und programmiert, das als Kernelement vier Blöcke mit je 20 elementaren Rechenaufgaben enthält. Die Aufgabenblöcke bestehen erstens aus Aufgaben ohne Einheiten (genannt *Mathe*) und zweitens aus Aufgaben mit bekannten Einheiten aus dem Alltag und der Chemie, die alle unreflektiert miteinander verrechnet werden dürfen (genannt *Einheiten*). Der dritte Block enthält Aufgaben mit alltäglichen Einheiten, die jedoch auf ihre Sinnhaftigkeit bezüglich der Verrechnung geprüft werden müssen, da die Kombination einzelner Einheiten kein sinnvolles Ergebnis hervorbringt, z.B. Gramm/Meter (genannt *Bewerten*). Letztlich werden Aufgaben mit chemischen Einheiten gestellt, die ebenfalls auf ihre Sinnhaftigkeit geprüft werden müssen (genannt *Chemie*).

Die Aufgaben wurden einzeln und randomisiert auf einem neutralen Hintergrund großflächig auf einem PC-Bildschirm präsentiert und ein Textfeld zur freien Eingabe der Lösung bereitgestellt. Ebenso wurde die Reihenfolge der Aufgabenblöcke randomisiert. Nach jedem Aufgabenblock erhielten die Proband:innen den StuMMBE-Q Selbstberichtsbogen zu *Mental Load* und *Mental Effort* von Krell (2017). Vorab gaben die Proband:innen ihre persönliche Einschätzung zu Selbstkonzept und Interesse gegenüber Mathematik und Chemie (nach Gaspard et al., 2019) und ihrer Einstellung gegenüber dem chemischen Rechnen (nach Kärcher & Körner, 2023) ab. Ebenso wurden Angaben zur Person wie Studiengang, -Fächer und Fachsemester gemacht. In diesem Beitrag wird aber nicht mehr weiter auf die motivationalen und persönlichen Aspekte eingegangen. Die gesamte Bearbeitung wurde mittels eines Tobii Pro Fusion (120Hz) und der Software Tobii Pro Lab aufgezeichnet. Folgenden konkretisierten Forschungsfragen wurde nachgegangen:
FF1: Gibt es Unterschiede zwischen den Aufgabenblöcken hinsichtlich…
FF1a: der selbst eingeschätzten kognitiven Anstrengung?
FF1b: der mittels des Pupillendurchmessers gemessenen kognitiven Anstrengung?
FF2: Gibt es Zusammenhänge zwischen Selbstbericht und der mittels Pupillendurchmesser gemessenen kognitiven Anstrengung?
FF3: Gibt es Zusammenhänge zwischen der Lösungshäufigkeit und der kognitiven Anstrengung?

Ergebnisse
Insgesamt nahmen an dieser Erhebung 31 Lehramtsstudierende (18 weibl.; 13 männl.) der Pädagogischen Hochschule Schwäbisch Gmünd teil, wobei sich die Proband:innen über verschiedene Fachsemester (M: 7. Fachsemester; SD: 3,5) und Studienfächer (12 mit zwei MINT-Fächer, 14 mit einem MINT-Fach; 5 ohne MINT-Fach) verteilten.
Die erhobenen motivationalen Aspekte lagen (angegeben auf einer vierstufigen Likertskala) im mittleren Bereich und zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen Mathematik und Chemie. Mögliche Zusammenhänge zwischen motivationalen Aspekten und kognitiver Anstrengung werden hier nicht weiter vertieft.

Für die Aufgabenblöcke ergaben sich hinsichtlich Lösungshäufigkeit, Bearbeitungsdauer, Selbstbericht (von 1 = niedrig bis 3 = hoch) und durchschnittlicher Pupillendurchmesser (in Differenz zum Pupillendurchmesser während des Ausfüllens der persönlichen Angaben und der motivationalen Aspekten) folgende Werte (Tabelle 1).
Um nun die Forschungsfragen 1a und 1b zu beantworten, wurden für die jeweiligen Variablen gepaarte t-Tests durchgeführt und die Signifikanzwerte mittels Bonferroni-Holm-Korrektur (Holm, 1979) korrigiert. Während sich im *Mental Effort* keine signifikanten Unterschiede

ergaben, sind die jeweils signifikanten Ergebnisse für *Mental Load (ML)* und *Pupillendurchmesser (PD)* Tabelle 2 zu entnehmen.

Aufgabe	Lösungshäufigkeit in % (SD)	Bearbeitungsdauer in Sek. (SD)	Selbstbericht Mental Load (SD)	Selbstbericht Mental Effort (SD)	Pupillendurchmesser in mm
Mathe	92.58 (7.62)	182.05 (67.97)	1.28 (0.38)	2.37 (0.47)	.09221 (.11179)
Einheiten	66.47 (31.40)	306.14 (92.80)	1.84 (0.46)	2.53 (0.36)	.06748 (.09702)
Bewerten	65.65 (26.61)	276.35 (156.36)	1.81 (0.51)	2.53 (0.35)	.04763 (.10204)
Chemie	62,67 (25.55)	285.12 (115.12)	2.04 (0.40)	2.52 (0.48)	.05221 (.07801)

Tab. 1: Deskriptive Daten Aufgabenblöcke

	Einheiten	Bewerten	Chemie
Mathe	ML: t(29)=-6.869; p<.01; d=1.254	ML: t(30)=-5.456; p<.01; d=.980	ML: t(29)=-7.800; p<.001; d=1.424
	PD: n. sig.	PD: t(30)=4.156 p<.01; d=.746	PD: t(29)=3.320 p<.01; d=.606
Einheiten	---	ML: n.sig.	ML: t(29)=-2.791 p<.05; d=.510
	---	PD: n. sig.	PD: n. sig.
Bewerten	---	---	ML: t(29)=-3.551 p<.05; d=.648
	---	---	PD: n. sig.

Tab. 2: Ergebnisse gepaarte t-Tests korr. nach Holm (1979)

Hierbei fällt auf, dass die ‚reinen' Mathematikaufgaben hypothesenkonform im Selbstbericht zu *Mental Load* als weniger belastend empfunden werden. Der Pupillendurchmesser deutet auf den genau entgegensetzen Unterschied hin.
Des Weiteren lässt sich festhalten, dass keine Korrelationen zwischen den Selbstberichtsskalen und dem Pupillendurchmesser gefunden wurden (FF 2) und auch die Lösungshäufigkeit nicht mit den Indikatoren für Cognitive Load zusammenhängt (FF 3).

Zusammenfassung und Ausblick

Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass Aufgaben mit ausschließlichem Kalkül-Inhalt häufiger gelöst werden, als Aufgaben, in denen die Sinnhaftigkeit der zu berechnenden Einheit bewertet werden muss. Dass diese unterschiedlichen Anforderungen auch unterschiedliche kognitive Anstrengung verursachen scheint daher nicht verwunderlich. Allerdings muss weiterhin untersucht werden, ob möglicherweise unterschiedliche ‚Aspekte' von kognitiver Anstrengung mit den hier verwendeten validen Instrumenten gemessen werden. Hierfür finden sich einerseits in der Literatur Hinweise (vgl. Szulewski et al., 2017). Andererseits könnte auch die deutlich geringere Bearbeitungsdauer der Mathematikaufgaben ein Hinweis auf eine ‚komprimiertere' kognitive Anstrengung sein und so den höheren Pupillendurchmesser erklären, während beim Reflektieren über die Aufgaben im Rahmen des Selbstberichts diese als leicht lösbar und deswegen als weniger belastend wahrgenommen werden. Darüber hinaus bietet Eye-Tracking noch weitere Daten wie Fixationen in Areas of Interest, die hier nicht betrachtet wurden, aber in anschließenden Analysen betrachtet werden. Insgesamt wird Eye-Tracking als wertvolle Ergänzung zu den etablierten Selbstberichten gesehen.

Literaturverzeichnis

Appel, T., Kärcher, K. & Körner, H.-D. (2023). Investigating Cognitive Load for Tasks with Mathematics and Chemistry Context through Eye Tracking. In E. Kasneci, F. Shic & M. Khamis (Hrsg.), *2023 Symposium on Eye Tracking Research and Applications* (S. 1–6). ACM. https://doi.org/10.1145/3588015.3589199

Gaspard, H., Brisson, B., Häfner, I., Dicke, A.-L., Flunger, B., Parrisius, C., Nagengast, B. & Trautwein, U. (2019). *Motivationsförderung im Mathematikunterricht (MoMa 1.0): Skalendokumentation Schülerfragebogen.* Universität Tübingen - Hector-Institut für Empirische Bildungsforschung. https://www.iqb.hu-berlin.de/fdz/studies/MoMa

Geyer, M.-A. (2020). *Physikalisch-mathematische Darstellungswechsel funktionaler Zusammenhänge*. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 291*. Logos Verlag. http://www.content-select.com/index.php?id=bib_view&ean=9783832587277

Goldhausen, I. (2015). *Mathematische Modelle im Chemieunterricht* [Dissertation, Universität Kassel]. K10plus.

Gupta, U. & Zheng, R. Z. (2020). Cognitive Load in Solving Mathematics Problems: Validating the Role of Motivation and the Interaction Among Prior Knowledge, Worked Examples, and Task Difficulty. *European Journal of STEM Education*, *5*(1), 5. https://doi.org/10.20897/ejsteme/9252

Holm, S. (1979). A Simple Sequentially Rejective Multiple Test Procedure. *Scandinavian Journal of Statistics*, *6*(2), 65–70. http://www.jstor.org/stable/4615733

Kärcher, K. & Körner, H.-D. (2023). Vergleich motivationaler Aspekte in Chemie und Mathematik. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, Lehren und Forschen in einer digital geprägten Welt: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Aachen 2022* (S. 422–425).

Kimpel, L. (2018). *Aufgaben in der Allgemeinen Chemie: Zum Zusammenspiel von chemischem Verständnis und Rechenfähigkeit*. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 249*. Logos Verlag. http://www.content-select.com/index.php?id=bib_view&ean=9783832590833

Krell, M. (2015). *Evaluating an instrument to measure mental load and mental effort using Item Response Theory.* https://doi.org/10.18452/8212

Krell, M. (2017). Evaluating an instrument to measure mental load and mental effort considering different sources of validity evidence. *Cogent Education*, *4*(1), 1280256. https://doi.org/10.1080/2331186X.2017.1280256

Krell, M., Xu, K. M., Rey, G. D. & Paas, F. (2022). Editorial: Recent Approaches for Assessing Cognitive Load From a Validity Perspective. In M. Krell, K. M. Xu, G. D. Rey & F. Paas (Hrsg.), *Recent Approaches for Assessing Cognitive Load from a Validity Perspective* (Bd. 6). Frontiers Media SA. https://doi.org/10.3389/feduc.2021.838422

Park, E.-J. & Choi, K. (2013). ANALYSIS OF STUDENT UNDERSTANDING OF SCIENCE CONCEPTS INCLUDING MATHEMATICAL REPRESENTATIONS: pH VALUES AND THE RELATIVE DIFFERENCES OF pH VALUES. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *11*(3), 683–706. https://doi.org/10.1007/s10763-012-9359-7

Potgieter, M., Harding, A. & Engelbrecht, J. (2008). Transfer of algebraic and graphical thinking between mathematics and chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, *45*(2), 197–218. https://doi.org/10.1002/tea.20208

Strubecker, K. (1969). Die Mathematisierung der Wissenschaften. *Physikalische Blätter*, *25*(11), 488–495. https://doi.org/10.1002/phbl.19690251102

Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, *4*(4), 295–312. https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90003-5

Szulewski, A., Gegenfurtner, A., Howes, D. W., Sivilotti, M. L. A. & van Merriënboer, J. J. G. (2017). Measuring physician cognitive load: validity evidence for a physiologic and a psychometric tool. *Advances in health sciences education : theory and practice*, *22*(4), 951–968. https://doi.org/10.1007/s10459-016-9725-2

Brian Hesse[1]
Katharina Groß[1]

[1]Universität zu Köln

Untersuchung von Vernetzung im Chemieunterricht

Ausgangspunkt

Aus lernpsychologischen Erkenntnissen geht hervor, dass vernetzte Wissensstrukturen eine Voraussetzung für die Informationsaufnahme sowie Kompetenzentwicklung darstellen. Aus bildungspolitischer Sicht wird daher ein vernetzungsorientierter Unterricht gefordert, in dem die Schüler:innen die Möglichkeit erhalten, ihr neu erworbenes Wissen mit ihrem bestehenden Vorwissen zu verknüpfen und dieses so in eine eigene, übergeordnete Wissensstruktur zu implementieren. Dadurch soll das chemische Fachwissen langfristig nicht nur additiv, sondern kumulativ erweitert werden, um dieses flexibel in unterschiedlichen Anforderungssituationen nutzen zu können (vgl. KMK, 2024; Neumann et al., 2008).
Schulleistungstests, wie die beispielsweise des IQB zeigen, dass sich die Ergebnisse im Fach Chemie in den letzten Jahren verschlechtert haben (Holtmann et al., 2019). Des Weiteren ist bei den PISA-Ergebnissen ein konstanter Abstieg der naturwissenschaftlichen Kompetenz seit 2009 zu verzeichnen (Köller, 2024). Als mögliche Ursachen dieser Diskrepanz zwischen den curricularen Vorgaben, die Vernetzung im Chemieunterricht zu berücksichtigen versuchen und den Schülerleistungen werden neben dem hierarchischen Fachwissensaufbau und dem Fehlen eines roten Fadens für den Lernprozess der Schüler:innen noch weitere unterrichtsspezifische Aspekte genannt, wie z.B. das mangelnde Angebot an vernetzendem Unterricht oder die geringe kognitive Aktivierung der Schüler:innen, sich vertieft mit einem Lerngegenstand auseinanderzusetzen. Damit „[...] kumulativ gelernt werden kann, [muss] vernetzt unterrichtet werden.“ (Neumann et al., 2008). Daher wird im Rahmen des Forschungsvorhabens das Unterrichtsgespräch als Interaktionsform näher untersucht, das zu einer am häufigsten realisierten Unterrichtsmethode zählt, um einen Einblick in die Vernetzung von schulischen Chemieinhalten innerhalb sprachlicher Interaktionen zu erhalten (vgl. Lipowsky et al., 2021).

Zielsetzung: Inhaltliche Vernetzung durch kognitiv anregende Unterrichtsgespräche

Unterrichtsgespräche stellen einen sichtbaren Rahmen für Interaktions- und die dadurch angeregten Lernprozesse dar (Lipowsky et al., 2021). Für das Lernen und Verstehen sind allerdings Merkmale der Tiefenstruktur entscheidender. Bezogen auf das Unterrichtsgespräch rückt damit die Betrachtung der Qualität der Unterrichtskommunikation hinsichtlich der kognitiven Aktivierung und der Art und Weise, wie die Schüler:innen durch die Lehrperson dazu angeregt werden, in den Vordergrund (Lipowsky et al., 2021; Reusser et al., 2021, Ufer et al., 2023). Kognitive Aktivierung, eine Basisdimension der Unterrichtsqualität, umfasst alle Maßnahmen, die zur Anregung einer vertieften Auseinandersetzung mit einem Unterrichtsgegenstand und damit zur Ausbildung (über-)fachlicher Kompetenzen sowie zur Förderung einer gut vernetzten und transferfähigen Wissensstruktur beitragen (Helmke & Weinert, 2022; Klieme, 2022; Kunter & Trautwein, 2018; Lipowsky, 2021; Reusser et al., 2021). Dabei zeigen Lipowsky et al. (2021) sowie Pauli und Reusser (2015), dass eine ko-konstruktive Gesprächsgestaltung in Korrelation zur kognitiven Aktivierung steht.
Vernetztes Lernen beschreibt die Verknüpfung verschiedener Wissenselemente in einer Wissensstruktur, die durch kumulative Lernprozesse erfolgt (Harms & Bünder, 1999). Mit der

sukzessiven Steigerung der Komplexität der Wissensstruktur geht zum einen die höhere Behaltensfähigkeit im Vergleich zum isolierten Faktenwissen und zum anderen der geringere kognitive Aufwand beim Aufrufen von vernetzten Fachinhalten einher (Fischer et al., 2007; Mietzel, 2017; Kunter & Trautwein, 2018). Vernetzung kann dabei entweder horizontal (fächerübergreifend) oder vertikal (innerfachlich und zeitlich aufeinander aufbauend) erfolgen (Fischer et al., 2007; Neumann et al., 2008). Neumann et al. (2008) sowie Podschuweit et al. (2016) zeigen, dass das Vernetzungsniveau des Unterrichts mit den Schülerleistungen korreliert. Allerdings zeigen Studien, die verbale und schriftliche Lehrer-/ Schüleräußerungen sowie den Aufgabeneinsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht untersucht haben, dass ein geringes (vertikales) Vernetzungsniveau vorliegt (vgl. Brückmann & Bernholt, 2013; Dietz, 2023; Jatzwauk et al., 2008; Neumann et al., 2008; Podschuweit et al., 2016; Wadouh, 2007). Aus diesem Grund zielt das Forschungsvorhaben darauf ab, kognitiv aktivierende Interaktionen im Unterrichtsgespräch als möglichen Einflussfaktor auf den vernetzten Wissensaufbau von schulischen Chemieinhalten zu untersuchen. Dabei sollen sowohl das Niveau der fachinhaltlichen Vernetzung in Unterrichtsgesprächen als auch die vernetzungsorientierten Interaktionen zwischen Lehrperson und Schüler:innen diagnostiziert werden.

Methodisches Vorgehen

Es handelt sich um eine qualitative Einzelfallstudie einer auf Video aufgezeichneten Unterrichtsreihe zum Thema Elektrochemie (vgl. MSB NRW, 2019) einer neunten Klasse des Gymnasiums (NRW). Für die videographische Erhebung wurden zwei Kameraperspektiven, im vorderen (gerichtet auf die Schüler:innen) und hinteren Teil des Raumes (gerichtet auf die Lehrperson), gewählt. Zusätzlich wurde die Lehrperson mit einem tragbaren Diktiergerät ausgestattet. Insgesamt wurden 18 Unterrichtseinheiten je 45 Minuten aufgezeichnet (in Abb. 1 als A–R gekennzeichnet).

Der Fokus der Auswertung liegt auf den sprachlichen Interaktionen im Plenum, sodass die Auswertung auf Basis der Unterrichtsgesprächtranskripte erfolgt. Für die Kodierung der Unterrichtsgespräche wurden die aufgezeichneten Unterrichtseinheiten in mehreren Strukturierungsprozessen zusammengefasst, sodass relevante Unterrichtsgespräche selektiert, weiter strukturiert und kodiert wurden. Dieser Auswertungsablauf inklusive Kategoriensystem ist in Abbildung 1 dargestellt.

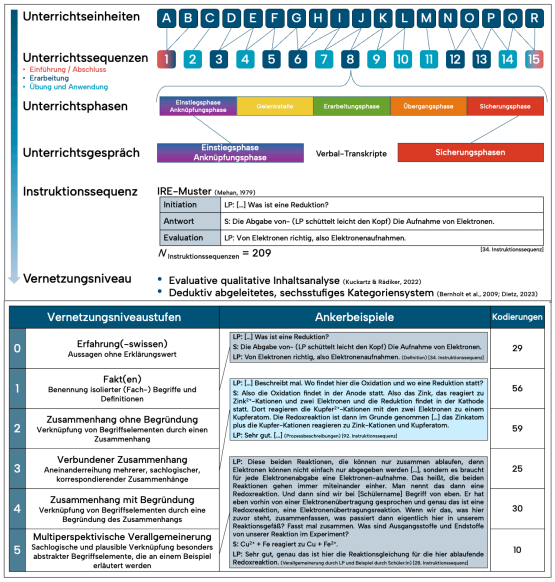


Abb. 1: Selektion, Strukturierung und Kodierung der Unterrichtsgespräche (eigene Darstellung).

Ergebnisse und Diskussion

Insgesamt entsprechen die meisten Instruktionssequenzen der ersten bzw. zweiten Vernetzungsniveaustufe, die mehr als die Hälfte der gesamt kodierten Instruktionssequenzen ausma-

chen ($n_{1.\ Fakt(en)} = 56$; $n_{2.\ Zusammenhang\ ohne\ Begründung} = 59$ von $N = 209$). Die beobachteten Unterrichtsinteraktionen bleiben überwiegend auf einem geringen Vernetzungsniveau und erreichen selten die höchste Stufe ($n_{5.\ Multiperspektivische\ Verallgemeinerung} = 10$), das sich mit den Ergebnissen anderer Studien deckt (vgl. Brückmann & Bernholt, 2013; Dietz, 2023; Jatzwauk et al., 2008; Neumann et al., 2008; Podschuweit et al., 2016; Wadouh, 2007).
Des Weiteren wurden die Instruktionssequenzen hinsichtlich ihrer Initiation und der Ausführung (Reply) betrachtet. Dabei konnten fünf vernetzungsorientierte Interaktionsformen identifiziert werden, die in Abbildung 2 dargestellt sind.

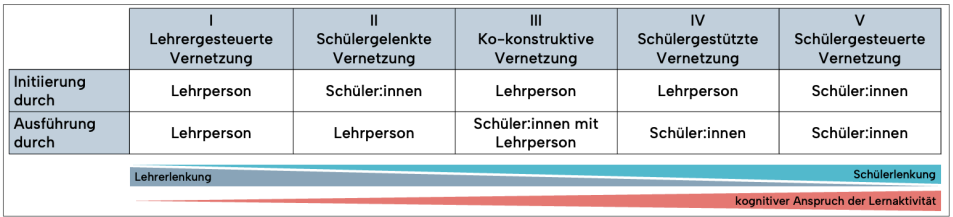


Abb. 2: Vernetzungsorientierte Interaktionsformen (eigene Darstellung).

Von Typ 1 (Lehrergesteuerte Vernetzung) zu Typ 5 (Schülergesteuerte Vernetzung) nimmt das Potential der kognitiven Aktivierung kontinuierlich zu. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Schüler:innen zunehmend aktiver in den Lernprozess einbezogen werden und dadurch die Verarbeitungstiefe gesteigert wird. Während Typ 1 eher auf Reproduktion von Wissen ausgerichtet ist, bieten Typ 4 und Typ 5 das Potential der Förderung einer tieferen, selbstständigeren kognitiven Auseinandersetzung mit dem Fachinhalt an, was langfristig zu einem besseren Verständnis und einer höheren Kompetenz der Lernenden führen kann (vgl. Fischer et al., 2007; Kunter & Trautwein, 2018; Lipowsky, 2021; Mietzel, 2017; Reusser et al., 2021).

Implikationen, Limitationen und Ausblick

Trotz dem geringen Vernetzungsniveau in der beobachteten Unterrichtsreihe konnten fünf potenzielle Interaktionsformen für den vernetzten Wissenserwerb im Chemieunterricht abgeleitet werden, die als mögliches Diagnoseinstrument zur Erhebung und Untersuchung kognitiver Aktivierungspotentiale in Unterrichtsinteraktion herangezogen werden können. Die Diagnoseergebnisse können dann zur Steigerung der kognitiven Lernaktivität durch die Übernahme der Initiierung sowie Ausführung fachinhaltlicher Vernetzung durch die Schüler:innen beitragen, um damit den Aufbau einer gut vernetzten und transferfähigen Wissensstruktur zu fördern (vgl. Kunter & Trautwein, 2018).
Mit der Betrachtung der Unterrichtsgespräche innerhalb einer Unterrichtsreihe ergeben sich auch Limitationen. Zum einen ist das Ergebnis nur auf das untersuchte Inhaltsfeld beschränkt und zum anderen wird versucht durch die sichtbaren Unterrichtsaktivitäten auf die inneren Denkaktivitäten der Lernenden zu schließen. Des Weiteren werden nicht alle Denkaktivitäten durch das Gespräch im Plenum sichtbar, da sich nicht alle Schüler:innen gleichermaßen am Unterrichtsgespräch beteiligen (vgl. Reusser et al., 2021).
Auf Grundlage der vernetzungsorientierten Interaktionsformen soll nun die Perspektive der Schüler:innen näher betrachtet werden, um den Einfluss der Interaktionsformen auf den vernetzten Wissensaufbau von schulischen Chemieinhalten zu untersuchen. Hierfür wurde die beobachtete Klasse nicht nur während der videographischen Erhebung begleitet und beobachtet, sondern über ein gesamtes Schuljahr. Insgesamt wurden in dem Schuljahr zwischen den Inhaltsfeldern drei Wissenstests sowie ein Interview in Form des lauten Denkens durchgeführt, die nun umfassend ausgewertet werden.

Literatur

Bernholt, S., Parchmann, I., & Commons, M. (2009). Kompetenzmodellierung zwischen Forschung und Unterrichtspraxis. *ZfDN*, *15*, 219–245.

Brückmann, M., Bernholt, S. (2013). Videobasierte Erfassung der Komplexitätsentwicklung im Chemie- und Physikunterricht. In U. Riegel, K. Macha, & Zentrum für Lehrerbildung und Bildungsforschung (Hrsg.), *Videobasierte Kompetenzforschung in den Fachdidaktiken* (S. 79–96). Waxmann.

Dietz, D. (2023). *Vernetztes Lernen im fächerdifferenzierten und integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht aufgezeigt am Basiskonzept Energie: Eine Studie zur Analyse der Wirksamkeit der Konzeption und Implementation eines schulinternen Curriculums für das Unterrichtsfach „Integrierte Naturwissenschaften 7/8“*. Logos Verlag Berlin.

Fischer, H. E., Glemnitz, I., Kauertz, A., & Sumfleth, E. (2007). Auf Wissen aufbauen – kumulatives Lernen in Chemie und Physik. In E. Kircher, R. Girwidz, & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik: Theorie und Praxis* (S. 657–678). Springer.

Harms, U., & Bünder, W. (1999). *Zuwachs von Kompetenzen erfahrbar machen: Kumulatives Lernen*. https://www.schulportal-thueringen.de/get-data/26634e9f-e013-4747-bb69-04cb3c03d937/modul5.pdf [10-11-23].

Helmke, A., & Weinert, F. E. (2022). *Unterrichtsqualität und Professionalisierung: Diagnostik von Lehr-Lern-Prozessen und evidenzbasierte Unterrichtsentwicklung* (1. Aufl.). Klett, Kallmeyer.

Holtmann, M., Becker, B., & Weirich, S. (2019). Mittelwerte und Streuungen der in den naturwissenschaftlichen Fächern erreichten Kompetenzen. In P. Stanat, S. Schipolowski, N. Mahler, et al. (Hrsg.), *IQB-Bildungstrend 2018* (S. 213–236). Waxmann.

Jatzwauk, P., Rumann, S., & Sandmann, A. (2008). Der Einfluss des Aufgabeneinsatzes im Biologieunterricht auf die Lernleistung der Schüler – Ergebnisse einer Videostudie. *ZfDN*, 14, 263–282.

Klieme, E. (2022). Unterrichtsqualität. In M. Harring, C. Rohlfs, & M. Gläser-Zikuda (Hrsg.), *Handbuch Schulpädagogik* (2., Aufl., S. 411–426). Waxmann.

Köller, O. (2024). Keine Erfolgsgeschichte. MINT-Bildung an deutschen Schulen. *Forschung & Lehre*, 7, 508–509.

Kuckartz, U., & Rädiker, S. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung.* (5. Aufl.). Beltz Juventa.

Kultusministerkonferenz. (2024). Weiterentwickelte Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Chemie (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004 i.d.F. vom 13.06.2024).

Kunter, M., & Trautwein, U. (2018). *Psychologie des Unterrichts*. Ferdinand Schöningh.

Lipowsky, F., Reusser, K., & Pauli, C. (2021). Unterrichtsgespräche kognitiv aktivierend gestalten. *Pädagogik*, *11*, 17–23.

Lipowsky, F. (2021). Unterricht. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (3. Aufl., S. 69–118). Springer.

Mehan, H. (1979). *Learning lessons: Social organization in the classroom*. Harvard University Press.

Mietzel, G. (2017). *Pädagogische Psychologie des Lernens und Lehrens* (9. Aufl.). Hogrefe.

Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2019). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen. Chemie* (1. Aufl.).

Neumann, K., Fischer, H. E., & Sumfleth, E. (2008). Vertikale Vernetzung und kumulatives Lernen im Chemie- und Physikunterricht. In E.-M. Lankes & Deutsche Gesellschaft für Erziehungswissenschaft (Hrsg.), *Pädagogische Professionalität als Gegenstand empirischer Forschung* (S. 141–151). Waxmann.

Pauli, C., & Reusser, K. (2015). *Discursive Cultures of Learning in (Everyday) Mathematics Teaching: A Video-Based Study on Mathematics Teaching in German and Swiss Classrooms*.

Podschuweit, S., Bernholt, S., & Brückmann, M. (2016). Classroom learning and achievement: How the complexity of classroom interaction impacts students' learning. *Res. Sci. Technol. Educ.*, *34*(2), 142–163.

Reusser, K., Lipowsky, F., & Pauli, C. (2021). Eine kognitiv aktivierende Lernumgebung gestalten. *Pädagogik*, *11*, 8–13.

Ufer, S., Heinze, A., Lipowsky, F. (2023). Unterrichtsqualität und Instruktionsstrategien. In R. Bruder, A. Büchter, H. Gasteiger, B. Schmidt-Thieme, & H.-G. Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematikdidaktik* (2. Aufl., S. 465–492). Springer Spektrum.

Wadouh, J. (2007). *Vernetzung und kumulatives Lernen im Biologieunterricht der Gymnasialklasse 9*. Dissertation. Universität Duisburg-Essen.

Krenare Ibraj[1]
Markus Prechtl[1]

[1]Technische Universität Darmstadt

Wie Studierende komplexe Systeme rezipieren – eine qualitative Analyse

Ausgangslage

Umweltverschmutzung, Rohstoffknappheit und Klimawandel sind zentrale globale Herausforderungen, die eine nachhaltige Entwicklung erfordern (Richardson et al., 2023). Sie lassen sich als *Socioscientific Issues* beschreiben, da sie Ergebnisoffenheit und Mehrperspektivität kennzeichnet, wodurch differenzierte Lösungsansätze erforderlich werden (Sadler & Zeidler, 2005). Im Rahmen der oben genannten Socioscientific Issues können die Dimensionen gesellschaftlicher, ökonomischer, ökologischer und chemischer Natur sein. Diese existieren jedoch nicht isoliert nebeneinander, sondern beeinflussen sich gegenseitig und bilden somit ein komplexes System (Mahaffy, Matlin, Holme & MacKellar, 2019). Im Zuge einer BNE ist es daher notwendig, Lernende dazu zu befähigen, diese komplexen Systeme verstehen und analysieren zu können. Systems Thinking bietet hierfür einen geeigneten Ansatz (Mahaffy, Matlin, Whalen & Holme, 2019; Rieckmann, 2018; Rieß, 2013). Während dieser in der Biologie- und der Geografiedidaktik bereits etabliert ist, gewinnt er in der Chemiedidaktik erst langsam an Relevanz (Orgill et al., 2019). Nach Talanquer wird das Verständnis komplexer Systeme, etwa von Reaktionsmechanismen, bereits in der Chemie genutzt (Talanquer, 2019). Jedoch ermöglicht Systems Thinking zusätzlich chemisches Fachwissen mit Nachhaltigkeitsdimensionen zu verknüpfen, wodurch komplexe Zusammenhänge in Socioscientific Issues für Lernende zugänglicher werden (Mahaffy, Matlin, Whalen & Holme, 2019; Orgill et al., 2019; Talanquer, 2019). Systems Thinking muss explizit gelehrt werden, weshalb Lehrkräften eine tragende Rolle bei der Vermittlung zukommt (Ossimitz, 2000). Eine aktuelle Studie von Szozda et al. zeigt jedoch, dass fehlende Kenntnisse seitens der Lehrkräfte vorrangig eine Herausforderung bei der Vermittlung von Systems Thinking darstellen (Szozda et al., 2022).

Unser Ziel ist es, Systems Thinking bei Lehramtsstudierenden zu diagnostizieren, um analysieren zu können, wie dieses angewendet wird. Dies soll als Grundlage dienen, gezielte Handreichungen zu entwickeln, die Lehrkräfte befähigen, Systems Thinking zukünftig eigenständig anzuwenden und zu vermitteln.

Prozessorientierte Betrachtung von Systems Thinking

Aktuell gibt es weder in der Systemforschung noch in der Chemiedidaktik einen Konsens über die Definition von Systems Thinking (Arnold & Wade, 2015; Orgill et al., 2019). Ein Definitionsansatz wurde von Arnold und Wade auf Basis einer systematischen Literaturrecherche entwickelt. Systems Thinking wird als Ansammlung von Fähigkeiten definiert, die es ermöglicht, Systeme und ihr Verhalten zu erkennen, zu analysieren, zu verstehen und zu beeinflussen (Arnold & Wade, 2015). Der Systems Thinking-Ansatz lässt sich präziser durch die Betrachtung verschiedener theoretischer und empirisch belegter Fähigkeitslisten fassen. So entwickelten Assaraf und Orion im Bereich der Geowissenschaften ein hierarchisches Modell, das acht empirisch ermittelte Fähigkeiten des Systems Thinking

umfasst (Assaraf & Orion, 2005). Auch in der Chemiedidaktik wurden bereits entsprechende Fähigkeitslisten entwickelt (Gill & McCollum, 2024; Reynders et al., 2023). York und Orgill identifizierten in ihrer Arbeit, neben allgemeinen Charakteristika, spezifische Fähigkeiten des Systems Thinking, z.B. die Analyse von Beziehungen zwischen Systemelementen und die Betrachtung von Zusammenhängen auf verschiedenen Ebenen (York & Orgill, 2020). All diese Fähigkeitslisten sind outputorientiert. Einerseits vermitteln sie ein Verständnis davon, wie Systems Thinking letztlich aussehen sollte, andererseits werfen sie zugleich die Frage auf, wie diese angestrebten Fähigkeiten erreicht werden könnten. Mit unserem aktuellen Forschungsfokus zielen wir hingegen darauf ab, eine prozessorientierte Perspektive im Umgang mit Systemen zu entwickeln, um Einblicke in die Prozesse zu gewinnen, die Lehramtsstudierende im Umgang mit Systemen durchlaufen.

Forschungsfragen

Die von Lehramtsstudierenden hergestellten Verknüpfungen zwischen den Konzepten eines komplexen Systems werden analysiert, damit die Auseinandersetzung mit dem System prozessorientiert betrachtet werden kann. Daraus ergeben sich die zwei Forschungsfragen:

- Wie organisieren Lehramtsstudierende Informationen in einem komplexen System?
- Wie erklären Lehramtsstudierende Verknüpfungen in einem komplexen System?

Ausgewählte Ergebnisse

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurde eine qualitative Interviewstudie mit Lehramtsstudierenden des Fachs Chemie (*N=25*) durchgeführt. Innerhalb des Think-Aloud-Interviews bearbeiteten die Teilnehmenden drei Aufgaben mit Bezug zu dem System der Lithiumproduktion. Das zu bearbeitende System wurde in Form einer Systems-Oriented Concept Map Extension (SOCME) vorgegeben. Dabei wurde die Visualisierung eigens nach Mahaffy et al. erstellt (Mahaffy, Matlin, Whalen & Holme, 2019). Sie bedient sich Meadows Systembegriff (Meadows et al., 2019). Die drei Aufgaben leiten unterschiedliche Phasen im Umgang mit dem System ein: Die erste Aufgabe fokussierte die Systembeschreibung, die zweite die Systemanwendung, und die dritte Aufgabe zielte auf die Systemreflexion ab.

Die folgenden ausgewählten Teilergebnisse (n=10) beziehen sich ausschließlich auf die Aufgabe 2a. Hier lautete die Aufgabenstellung: *Was wäre, wenn es in der Atacama Salzwüste mehr regnen würde als üblich? Welche Einflüsse hätte dies auf das System?*

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage wurden charakteristische Muster der abgelaufenen Wege innerhalb des Systems rekonstruiert. Die Vergleiche untereinander zeigen, dass die Teilnehmenden die Informationen zur Erklärung des Systemverhaltens auf unterschiedliche Weise organisieren. Bisher konnten vier Muster identifiziert werden: Pfad, Sonne, Baum und Kreis. Die Begriffe zur Kategorisierung wurden eigens entwickelt. Das in Abbildung 1 dargestellte Organisationsmuster zeigt die Sonne. In diesem Muster springt die teilnehmende Person von dem Systemelement *Niederschlag*, das in der Aufgabe als Ausgangspunkt definiert ist, wiederholt zu diversen Schlussfolgerungen in unterschiedlichen Subsystemen. In Abbildung 1 sind die verschiedenen Subsysteme farblich markiert.

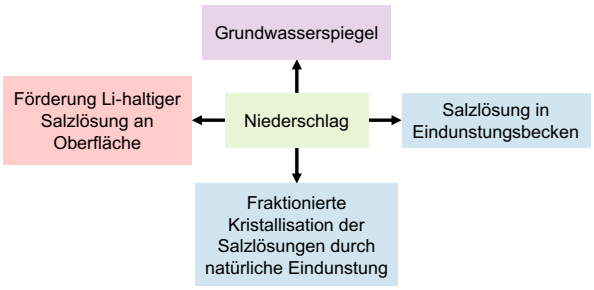


Abb. 1: Beispiel einer rekonstruierten Sonnen-Muster-artigen Organisation der Auseinandersetzung mit einem komplexen System.

Die teilnehmende Person springt direkt zu einer expliziten Schlussfolgerung, die unmittelbar aus der Veränderung des Systemelements *Niederschlag* resultiert. Daran wird deutlich, dass die Erklärungen des Systemverhaltens nicht auf kohärenten Wegen verlaufen.
Zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage wurde eine qualitative Inhaltsanalyse durchgeführt (Mayring, 2022). Anschließend wurde die Inhaltsanalyse durch eine Map Analysis nach Carley entlang der Parameter Kausalität und Häufigkeit erweitert (Carley, 1993). Der Fokus auf Kausalität erlaubt zu betrachten, wie Teilnehmende an die Komplexität der Verknüpfungen in einem System herangehen. Die sechs Kausalitäten (simpel, spiralförmig, domino, relational, zirkulär und gegenseitig) liefern einen nuancierten Interpretationsrahmen, der die Interaktion zwischen Cause und Effect anzeigt (Grotzer, 2012).

„Wenn es mehr regnet, haben wir hier mehr Salzwasser. Genau das bedeutet, der Süßwasserspiegel sinkt potenziell weiter, was noch mal mehr Auswirkungen auf Flora und Fauna hat und entsprechend auf den Zugang zu Wasser, was dann wieder - mit Privatisierung - zu Interessenskonflikten mit indigenen Völkern führen kann."

Cause
Effect
Cause &Effect

Abb. 2: Zitat einer Erklärung, die eine Dominokausalität aufweist.

Die in Abbildung 2 zitierte Erklärung veranschaulicht eine *Dominokausalität*. Hierbei betrachtet die teilnehmende Person die Verknüpfungen zwar in linearer Abfolge, zeigt jedoch gleichzeitig ein Verständnis dafür, dass Ursachen (Causes) in Wirkungen (Effects) übergehen können, was zu einer differenzierten Prognose der Ergebnisse führt. Des Weiteren wird in diesem Beispiel eine sequenzielle Abfolge beschrieben, die aufzeigt, dass der Zeitaspekt in der Erklärung implizit mitbeachtet wird.

Erste Implikationen

Die bis dato gesammelten Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich die Teilnehmenden den komplexen Systemen auf verschiedene Weise zuwenden, sowohl bei der Organisation der Informationen, als auch bei der Beschreibung der Verknüpfungen innerhalb eines Systems. Inwiefern dies vom Grad der Komplexität abhängt, wird Bestandteil weiterer Analysen sein.

Literaturverzeichnis

Arnold, R. D. & Wade, J. P. (2015). A Definition of Systems Thinking: A Systems Approach. *Procedia Computer Science*, *44*, 669–678. https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.03.050

Assaraf, O. B.-Z. & Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching*, *42*(5), 518–560. https://doi.org/10.1002/tea.20061

Carley, K. (1993). Coding Choices for Textual Analysis: A Comparison of Content Analysis and Map Analysis. *Sociological Methodology*, *23*, 75. https://doi.org/10.2307/271007

Gill, T. & McCollum, B. (2024). Identifying, Rating, and Categorizing Elements of Systems Thinking in Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, *101*(8), 2976–2988. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c01070

Grotzer, T. A. (2012). *Learning causality in a complex world: Understandings of consequence*. Rowman & Littlefield Education a division of Rowman & Littlefield Publishers Inc.

Mahaffy, P. G., Matlin, S. A., Holme, T. A. & MacKellar, J. (2019). Systems thinking for education about the molecular basis of sustainability. *Nature Sustainability*, *2*(5), 362–370. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0285-3

Mahaffy, P. G., Matlin, S. A., Whalen, J. M. & Holme, T. A. (2019). Integrating the Molecular Basis of Sustainability into General Chemistry through Systems Thinking. *Journal of Chemical Education*, *96*(12), 2730–2741. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00390

Mayring, P. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (13., überarbeitete Auflage). Beltz.

Meadows, D. H., Randers, J. & Bardi, U. (2019). *Die Grenzen des Denkens: Wie wir sie mit System erkennen und überwinden können*. *Bibliothek der Nachhaltigkeit*. oekom verlag.

Orgill, M., York, S. & MacKellar, J. (2019). Introduction to Systems Thinking for the Chemistry Education Community. *Journal of Chemical Education*, *96*(12), 2720–2729. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00169

Ossimitz, G. (2000). *Entwicklung systemischen Denkens: Theoretische Konzepte und empirische Untersuchungen*. Zugl.: Klagenfurt, Univ., Habil.-Schr., 2000. *Klagenfurter Beiträge zur Didaktik der Mathematik: Bd. 1*. Profil.

Reynders, M., Pilcher, L. A. & Potgieter, M. (2023). Teaching and Assessing Systems Thinking in First-Year Chemistry. *Journal of Chemical Education*, *100*(3), 1357–1365. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00891

Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., Bloh, W. von, Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huiskamp, W., Kummu, M., Mohan, C., Nogués-Bravo, D., . . . Rockström, J. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science advances*, *9*(37), eadh2458. https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458

Rieckmann, M. (2018). Learning to transform the world: key competencies in Education for Sustainable Development. In L. Alexander (Hrsg.), *Issues and trends in education for sustainable development.* UNESCO.

Rieß, W. (2013). Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) und Förderung des systemischen Denkens. *ANLIEGEN NATUR*, *35*, 55–64.

Sadler, T. D. & Zeidler, D. L. (2005). Patterns of informal reasoning in the context of socioscientific decision making. *Journal of Research in Science Teaching*, *42*(1), 112–138. https://doi.org/10.1002/tea.20042

Szozda, A. R., Bruyere, K., Lee, H., Mahaffy, P. G. & Flynn, A. B. (2022). Investigating Educators' Perspectives toward Systems Thinking in Chemistry Education from International Contexts. *Journal of Chemical Education*, *99*(7), 2474–2483. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00138

Talanquer, V. (2019). Some Insights into Assessing Chemical Systems Thinking. *Journal of Chemical Education*, *96*(12), 2918–2925. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00218

York, S. & Orgill, M. (2020). ChEMIST Table: A Tool for Designing or Modifying Instruction for a Systems Thinking Approach in Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, *97*(8), 2114–2129. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00382

Josefine Neuhaus[1]
Julia Hofmann[1]
Larissa Hahn[1]
Andreas Müller[2]
Pascal Klein[1]

[1]Universität Göttingen
[2]Universität Genf

Multiple Repräsentationen bei Aufgaben zum Formelverständnis: Eine Eye-Tracking-Studie

Motivation

Die Fähigkeit sich Zusammenhänge mithilfe verschiedener Repräsentationen zu erschließen ist grundlegend in vielen (naturwissenschaftlichen) Kontexten. Neben der Fähigkeit einzelne Repräsentationen lesen und Informationen aus verschiedenen Repräsentationen integrieren zu können, impliziert dies auch eine sinnvolle Selektion geeigneter Repräsentationen, um eine gesuchte Information zu erhalten (van Heuvelen, 1991; Rau, 2009). Die in diesem Beitrag dargestellte Studie befasst sich mit derartigen Selektionsprozessen von 37 Studierenden im Umgang mit piktoriellen und formelhaften Repräsentationen bei der Aufgabenbearbeitung. Die Aufgaben adressierten hierbei Folgen von Veränderungen am physikalischen System und enthielten somit eine dynamische Komponente, die eine mentale Manipulation der Repräsentationen erforderte und nicht direkt aus den Repräsentationen abgelesen werden konnte. Die Augenbewegungen der Studierenden erlauben Einblicke in ihre Vorgehensweisen.

Theoretische Einordnung

Der Umgang von Studierenden mit unterschiedlichen Repräsentationen in physikalischen Kontexten zur Aufgabenbearbeitung wurde insbesondere in Bezug auf Diagramme, Skizzen und Texte untersucht. Hierbei zeigten sich aufgaben- und kontextabhängige Performanz- und Präferenzunterschiede der Repräsentationen und es konnte keine dominante Repräsentation in Bezug auf Performanz oder Präferenz ausgemacht werden (de Cock, 2012; Meltzer, 2005; Nieminen et al., 2010; Kohl & Finkelstein, 2005; Susac et al., 2023). De Cock konstatierte, dass Studierende bei einer schriftlichen Bearbeitung von Aufgaben häufig Formeln als ergänzende Repräsentation selbstständig hinzufügten. Selektionsprozesse unter expliziter Berücksichtigung auch formelhafter Repräsentationen nahmen Wu und Liu (2021) in den Blick. Sie beobachteten eine stärkere Fokussierung auf die Formel und eine höhere Anzahl an Transitionen zwischen Repräsentationen bei Studierenden mit höherem Vorwissen, was die Autor:innen mit einer höheren Flexibilität der Studierenden interpretieren.

Der geringen Beachtung von Formeln bei der Aufgabenbearbeitung in Eye-Tracking-Studien steht deren Relevanz in naturwissenschaftlichen Kontexten entgegen. Über die reine Nutzung als mathematische Werkzeuge hinaus dienen sie der Beschreibung von Modellen und der Beschreibung von Zusammenhängen. In Aufgabenkontexten wird daher häufig eine Manipulation der Formel thematisiert (Andrá et al., 2015), um ein tieferes Verständnis in das physikalische Modell zu erhalten. Um die Forschungslücke zu adressieren, wird in dieser Studie der Umgang von Studierenden mit formelhaften und piktoriellen Darstellungen eines physikalischen Zusammenhangs während der Aufgabenbearbeitung untersucht.

Leitfrage

Wie nutzen Physikstudierende piktorielle und formelhafte Repräsentationen bei Aufgaben, die mentale Manipulationen erfordern? Hängen die Bearbeitungsmuster von inhaltlichen Spezifika der Aufgaben ab?

Stichprobe & Studiendesign

Um diese Fragen zu beantworten, wurde im Sommersemester 2024 eine Studie mit 37 Physikstudierenden (B.Sc., M.Sc., Lehramt; 20.8 ± 2.1 Jahre) durchgeführt.

Die Proband:innen beurteilten 11 Aussagen zu einem gleichbleibenden physikalischen Kontext in Bezug auf ihre Korrektheit. Die Aufgaben thematisierten die auf zwei Seile wirkende Kraft, wenn diese eine Straßenlaterne zwischen zwei Wänden halten. Die Aussagen betrafen je das Grenz-, Spezialfall- oder Kovariationsverhalten. Hierbei wurde die Abhängigkeit zwischen der Kraft und einer bzw. zwei weiteren Variablen, bzw. die Interdependenz zweier Variablen thematisiert. Zwei Beispielaufgaben sind in *Abb. 1a und 1b* dargestellt (Farben nachträglich eingefügt). Die Darstellung der 11 Aufgaben unterschied sich nur in Bezug auf die in *Abb. 1* gelb unterlegten Aussage. Wie dargestellt wurden den Proband:innen zur Bearbeitung der Aufgaben zwei inhaltlich äquivalente verbale (Formeln), sowie eine visuelle Repräsentation (Skizze) bereitgestellt, wobei die Position der Repräsentationen zwischen den Aufgaben nicht verändert wurde und den Proband:innen aus den der Erhebung vorgeschalteten Beispielaufgaben bekannt war. In beiden Repräsentationsformen wurden dieselben Variablen und Variablennamen verwendet, wobei die Skizze alle Variablen in Beziehung setzt, die Formeln sich jedoch dahingehend unterscheiden, welche Variablenrelation expliziert wird.

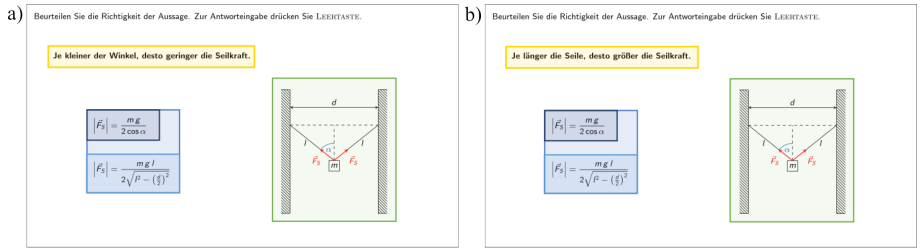


Abb. 1 Beispielaufgaben und Definitionen der AOIs:
Blau: Formel; Dunkelblau: Formel 1; Hellblau: Formel 2; Grün: Skizze; Gelb: Aussage.

Während der Aufgabenbearbeitung wurden die Blickdaten der Studierenden mit einem stationären Eye-Tracker (Tobii Pro Fusion, 120 Hz) aufgezeichnet. Ergänzend wurden die Selbsteinschätzung der Antwortsicherheit und Aufgabenschwierigkeit abgefragt, sowie ein Test zum räumlichen Vorstellungsvermögen (Shah & Miyake, 1996) durchgeführt.

Ergebnisse

Die Proband:innen haben einen mittleren Score von 0.76 ± 0.03. Die Itemschwierigkeit variierte zwischen 0.56 und 0.97. Die Blickdaten lassen unterschiedliche Vorgehensweisen der Proband:innen erkennen, die im Folgenden exemplarisch an den in *Abb. 1* dargestellten Beispielaufgaben für zwei charakteristisch agierende Proband:innen skizziert werden.

Die Aussagen betreffen das Verhalten der Kraft in Abhängigkeit jeweils einer anderen Variablen, wobei der jeweilige Zusammenhang in unterschiedlichen Formeln explizit dargestellt ist. Die normierte Gesamtfixationszeit auf Formel 1 und 2 unterscheidet sich jeweils signifikant ($p_{Bonf} < 0.001$) für die beiden Aufgaben, allerdings zeigt eine Analyse der Blickpfade, dass unterschiedliche aufgabenabhängige Vorgehensweisen diese Signifikanz bedingen. In *Abb. 2* sind die Aufmerksamkeitsverteilungen zweier Personen dargestellt. Beide haben die Aufgaben korrekt gelöst, unterscheiden sich aber bezüglich ihrer Leistungsindikatoren: Person 2 (rot) hat ein höheres räumliches Vorstellungsvermögen, war sich insgesamt sicherer in ihrem Antwortverhalten und beurteilte die Aufgabenschwierigkeit geringer.

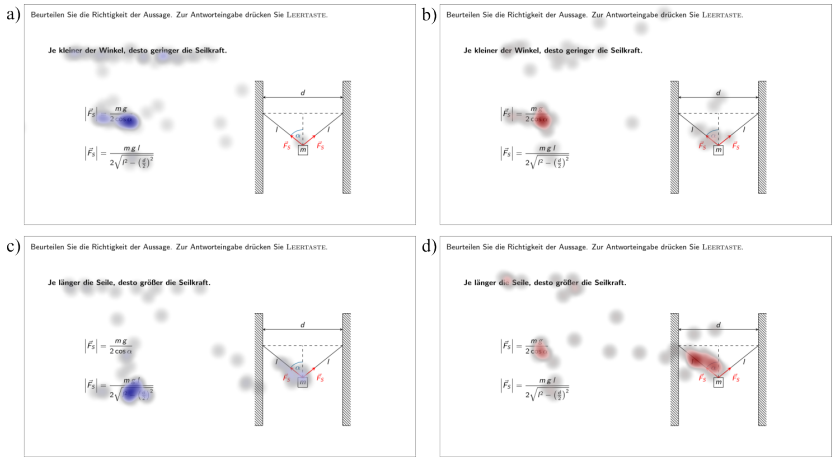


Abb. 2 Aufmerksamkeitsverteilung (Heat Map) für Beispielaufgabe 1 (a, b) bzw. 2 (c, d) für zwei Personen (blau/rot).

Während beide Personen ihre Aufmerksamkeit bei der ersten Aufgabe vorrangig auf Formel 1 richten, wobei hauptsächlich die im Text genannte Variable fixiert wird, unterscheiden sich die Heat Maps bei der zweiten Aufgabe deutlich. Während der Blick von Person 1 (blau) sich vorrangig auf die relevanten Variablen in Formel 2 richtet, fixiert Person 2 stärker die Skizze und Formel 1, welche die relevante Variable nicht explizit enthält. Person 2 nutzt die Skizze zur Übersetzung der relevanten Variablen, wodurch eine Beurteilung der Aufgabe durch mentale Manipulation der weniger komplexen Formel 1 möglich ist.

Diskussion & Ausblick

An einem konkreten physikalischen Kontext wurden unterschiedliche Präferenzen und Vorgehensweisen bezüglich der Verwendung piktorieller und formelhafter Repräsentationen bei der Bearbeitung von Aufgaben zum Kovariationsverhalten aufgezeigt. Individuelle Unterschiede sind hierbei, in Einklang mit anderen Studien (Wu & Liu, 2021), aufgabenabhängig und gehen nicht immer mit Performanzunterschieden einher. Im Mittel zeigte sich, dass Studierende mit einem höheren räumlichen Vorstellungsvermögen zu einer intensiveren Nutzung der Skizze tendierten. In weiteren Analysen wird neben dem globalen auch das lokale Blickverhalten (Hahn & Klein, 2022) aller Proband:innen untersucht und in Hinblick auf Unterschiede bzgl. Performanz und Personeneigenschaften analysiert. Weiterhin wird die Konstanz von Präferenz und Vorgehensweise über die 11 Aufgaben hinweg in Hinblick auf Lern- und Gewöhnungseffekte untersucht.

Literatur

Andrá, C., Lindström, P., Arzarello, F., Holmqvist, K., Robutti, O., Sabena, C. (2015), Reading Mathematics Representations: An Eye-Tracking Study, International Journal of Science and Mathematics Education 13 (2).

de Cock, M. (2012). Representation use and strategy choice in physics problem solving. Physical Review Special Topics – Physics Education Research 8 (2).

Hahn, L., Klein, P. (2022), Eye tracking in physics education research: A systematic literature review, Physical Review Physics Education Research 18 (1).

van Heuvelen, A. (1991). Learning to think like a physicist: A review of researchbased instructional strategies, American Journal of Physics 59.

Kohl, P.B. & Finkelstein, N.D. (2005). Student representational competence and self-assessment when solving physics problems. Physical Review Special Topics – Physics Education Research 1 (1).

Meltzer, D.E. (2005). Relation between students' problem-solving performance and representational format, American Journal of Physics 73.

Nieminen, P., Savinainen, A., & Viiri, J. (2010). Force Concept Inventory-based multiple-choice test for investigating students' representational consistency. Physical Review Special Topics – Physics Education Research 6 (2).

Rau, M., Aleven, V., & Rummel, N. (2009). Intelligent tutoring systems with multiple representations and self-explanation prompts support learning of fractions. In V. Dimitrova, R. Mizoguchi, B. du Boulay, & A.Graesser (Eds.), Proceedings of the 14th International Conference on Artificial Intelligence in Education, 2009 Building Learning Systems that Care: From Knowledge Representation to Affective Modelling.Amsterdam: IOS Press, 441-448

Shah, P., & Miyake, A. (1996). The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. Journal of Experimental Psychology: General, 125(1).

Susac, A., Planinic, M, Bubic, A, Jelicic, K., & Palmovic, M. (2023). Effect of representation format on conceptual question performance and eye-tracking measures. Physical Review Physics Education Research 19 (2).

Wu, C.-J. & Liu, C.-Y. (2021). Eye-movement study of high- and low-prior-knowledge students' scientific argumentations with multiple representations. Physical Review Physics Education Research 17 (1).

Paula Fehlinger[1] [1]Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Sebastian Becker-Genschow[2] [2]Universität zu Köln
Bianca Watzka[1,3] [3]RWTH Aachen University

Analyse von Strategien zur Identifikation isothermer Zustandsänderungen

Einleitung

Druck-Volumen-Diagramme (*p-V*-Diagramme) sind zentral für das physikalische Verständnis thermodynamischer Zustandsänderungen. Adiabatische Zustandsänderungen sind jedoch nur schwer von isothermen Zustandsänderungen zu unterscheiden, was bei Lernenden immer wieder zu Schwierigkeiten führt (Adila, Sutopo & Wartono, 2018; Saepuzaman, Sriyansyah & Karim, 2019). In der vorliegenden Studie werden die Strategien von SchülerInnen (n = 80) bei der Unterscheidung dieser beiden Zustandsänderungen in *p-V*-Diagrammen untersucht. Die gewonnenen Erkenntnisse beleuchten die Herausforderungen, mit denen SchülerInnen konfrontiert sind, und dienen als Grundlage zur Entwicklung unterstützender Lernmaterialien für den Umgang mit thermodynamischen Zustandsänderungen in *p-V*-Diagrammen.

Theoretischer Hintergrund

In bestehenden Studien wird häufig auf Lernschwierigkeiten hingewiesen, die bei der Interpretation von thermodynamischen Zustandsänderungen in *p-V*-Diagrammen auftreten. Eine der Herausforderungen besteht darin, adiabatische Zustandsänderungen korrekt zu erkennen und zu analysieren (Saepuzaman et al., 2019). Nach den Erkenntnissen von Saepuzaman et al. (2019) liegt dies daran, dass die charakteristischen Merkmale einer adiabatischen Zustandsänderung nicht unmittelbar im *p-V*-Diagramm ersichtlich sind. In einer Untersuchung von Adila et al. (2018) zeigte sich zudem, dass SchülerInnen eine Kurve in einem *p-V*-Diagramm häufig entweder als isotherm oder adiabatisch bezeichnen (Adila et al., 2018).

Lehrkräfte sind sich oft nicht bewusst, welche Strategien oder Denkprozesse ihre SchülerInnen bei der Aufgabenlösung anwenden, und neigen dazu, deren Fähigkeiten zu überschätzen (Ostermann, Leuders & Nückles, 2017). Diese Expertenblindheit (Nathan & Petrosino, 2003) zeigt, wie schwer es für ExpertInnen ist, die Perspektive von Anfängern nachzuvollziehen. Daher kann es hilfreich sein, Bearbeitungsstrategien sichtbar zu machen. Blickdaten liefern Einblicke in die kognitiven Prozesse bei verschiedenen Strategien. Durch das Erkennen von typischen Blickmustern können gezielt adaptive Hilfen entwickelt werden, um Lernende besser zu unterstützen und Missverständnisse frühzeitig zu erkennen.

Methodik

Stichprobe. Die Untersuchung wurde mit 80 SchülerInnen der 10. Schulstufe aus Gymnasien in Sachsen-Anhalt durchgeführt (Durchschnittsalter: 15,47 Jahre, SD = 1,66). Laut Lehrplan und Aussagen der Lehrkräfte waren die TeilnehmerInnen mit isothermen Zustandsänderungen und indirekt proportionalen Funktionen vertraut.

Studiendesign und Ablauf. Die Untersuchung begann mit einer Wiederholung thermodynamischer Zustandsänderungen, gefolgt von einem Test zum Verständnis von

Funktionsgraphen mit Blickdatenerfassung (ET, stationärer Eye-Tracker Tobii Pro Fusion) und einem anschließenden Interview (siehe Abb. 1).

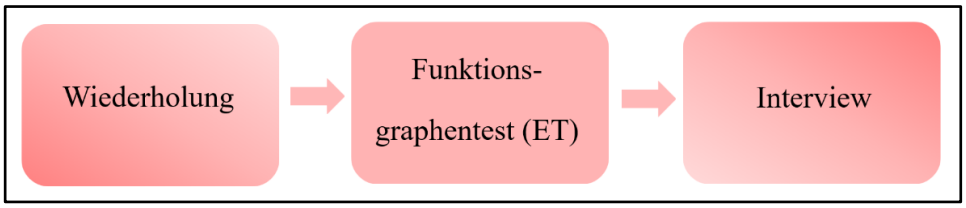


Abb. 1: Ablauf der empirischen Untersuchung

Instruktions- und Erhebungsmaterialien. Zu Beginn reaktivierten die SchülerInnen ihr Wissen über thermodynamische Zustandsänderungen, indem sie ein Wiederholungsblatt zu diesem Thema eigenständig durcharbeiteten.
Das Testinstrument zum Verständnis von Funktionsgraphen bestand aus 3 Items (Cronbachs Alpha = 0,75). Diese waren als Multiple-Choice-Aufgaben konzipiert, die jeweils eine isotherme und eine adiabatische Zustandsänderung als Antwortmöglichkeiten enthielten. Die Aufgabe bestand darin, die isotherme Zustandsänderung zu identifizieren. Dabei sollten sie ihr Blickverhalten möglichst genau darstellen, so dass ein Außenstehender anhand der Blickpfade erkennen kann, wie sie vorgegangen sind. Zu diesem Zweck wurden ihnen zu Beginn der Untersuchung ihre eigenen Blickverläufe von einer anderen Aufgabe gezeigt, damit sie wussten, wie Blickverläufe aussehen und wie sie das Blickverhalten rekonstruieren. Im Interview erläuterten die Lernenden ihre Vorgehensweisen, um detaillierte Einblicke in ihre Bearbeitungsstrategien zu erhalten und die Blickdaten zu validieren. Zur Unterstützung wurden ihnen zur Erinnerung die Blickpfade ihrer Bearbeitungen gezeigt.
Auswertung. Anhand der Blickdaten wurde eine Clusteranalyse und ein Schnittmengenvergleich zur Kategorisierung der Bearbeitungsstrategien durchgeführt. Für jede Strategie wurden Aussagen aus den Interviews herangezogen und die Sakkadenrichtungen mithilfe von Kerndichteschätzungen (KDS) detailliert analysiert.

Ergebnisse

Bei der Identifikation der isothermen Zustandsänderungen wurden durch die Clusteranalyse zwei Hauptstrategien hervorgehoben: der Fokus auf Wertepaare und der Fokus auf den Funktionsgraphen.
Beim Ansatz des „Fokus auf Wertepaare“ zeigt sich ein Wechsel zwischen Punkten auf dem Funktionsgraphen und den Achsen (siehe Abb. 2, links oben). Aus den Interviewdaten geht hervor, dass die Lernenden zwei Zustände der Zustandsänderung analysieren, indem sie die Druck- und Volumenwerte miteinander vergleichen. Sie überprüfen, ob der Druck p_1 im ersten Zustand dem Volumen V_2 im zweiten Zustand entspricht und umgekehrt, ob der Druck p_2 im zweiten Zustand dem Volumen V_1 im ersten Zustand entspricht. Die Blickbewegungen verlaufen dabei nahezu in horizontaler und vertikaler Richtung (siehe Abb. 2, Polardiagramm links).
Die Strategie „Fokus auf den Funktionsgraphen“ legt hingegen den Schwerpunkt auf die graphische Darstellung isothermer Zustandsänderungen im p-V-Diagramm (siehe Abb. 2, rechts oben). Laut den Interviewdaten analysieren die Lernenden insbesondere den Verlauf und die Position der Funktion, um die charakteristischen Merkmale der isothermen

Zustandsänderung zu erkennen und zu interpretieren. Hierbei verlaufen die Sakkadenrichtungen diagonal (siehe Abb. 2, Polardiagramm rechts).

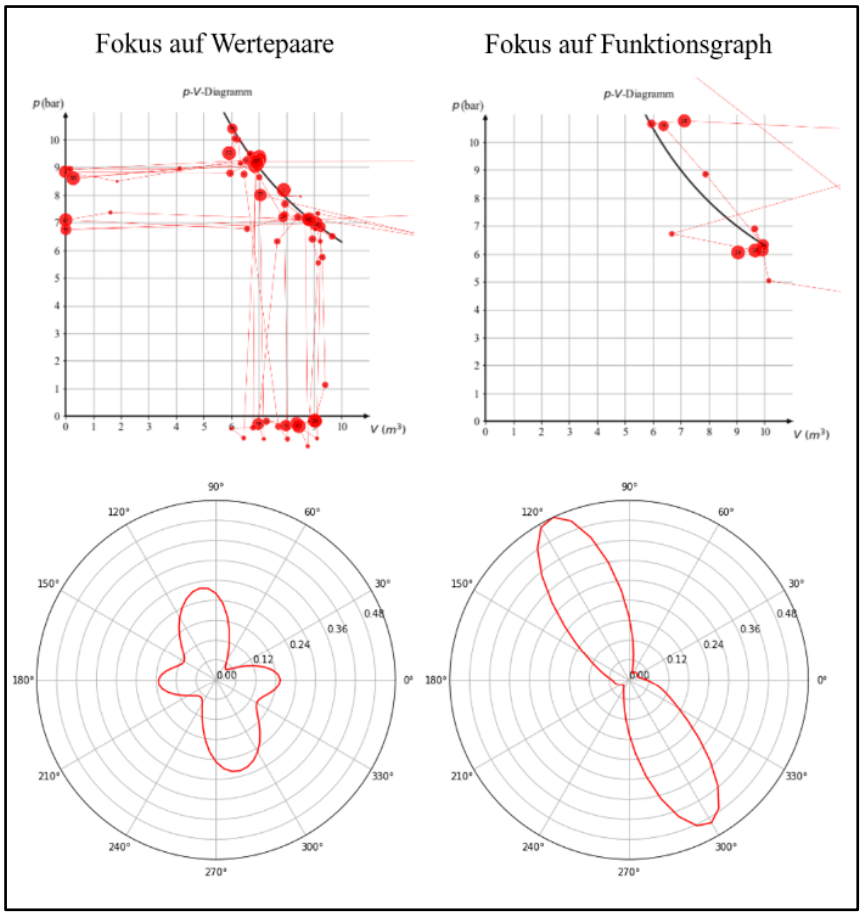


Abb. 2: Exemplarische Blickpfade der Bearbeitungsstrategien Fokus auf Wertepaare (links) und Fokus auf Funktionsgraphen (rechts). Die unteren Abbildungen zeigen jeweils die Kerndichteschätzungen (KDS) der Sakkadenrichtungen für die jeweiligen Bearbeitungsstrategien.

Diskussion

Die Untersuchung von Adila et al. (2018) zeigte, dass SchülerInnen eine Kurve in einem *p-V*-Diagramm oft entweder als isotherm oder adiabatisch bezeichnen. Diese Verwechslung spiegelt sich in den Bearbeitungsstrategien wider. Ein Fokus auf den Funktionsgraphen ist oft unzureichend, da ähnliche Kurvenverläufe und die Konzentration auf die Lage des Graphen zu fehlerhaften Interpretationen führen können. Die Strategie „Fokus auf Wertepaare“ könnte Missverständnisse verringern, ist jedoch nicht intuitiv für alle Lernenden, besonders ohne ausreichende Unterstützung bei der Diagramminterpretation. Die Expertenblindheit (Nathan & Petrosino, 2003) verdeutlicht die Notwendigkeit, Lernprozesse transparent zu machen. Blickdaten können spezifische Blickmuster und angewandte Strategien aufdecken, wodurch

Lehrkräfte gezielte Unterstützung entwickeln und den Umgang mit Funktionsgraphen in physikalischen Kontexten gezielt fördern können.

Literatur

Adila, A. S. D., Sutopo & Wartono (2018). Students' reasoning in analyzing temperature from PV diagram representing unfamiliar thermodynamics process. *Journal of Physics Conference, 1097(1)*, 012012. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1097/1/012012

Nathan, M. J., & Petrosino, A. (2003). Expert blind spot among preservice teachers. *American Educational Research Journal*, 40(4), 905–928. https://doi.org/10.3102/00028312040004905

Ostermann, A., Leuders, T., & Nückles, M. (2017). Improving the judgment of task difficulties: prospective teachers' diagnostic competence in the area of functions and graphs. *Journal of Mathematics Teacher Education*, *21*, 579-605. https://doi.org/10.1007/s10857-017-9369-z

Saepuzaman, D., Sriyansyah, S. P., & Karim, S. (2019). Unpacking Preservice Physics Teachers' Understanding of the PVT Diagram and the Associated Mathematics. *Journal of Physics Conference 1204(1)*, 012032. https://doi.org/10.1088/1742- 6596/1204/1/012032

Beate Fichtner[1]
Katharina Groß[1]

[1] Universität zu Köln

Wie werden Diagramme im Chemieschulbuch eingesetzt? Eine qualitative Analyse

Theoretische Grundlagen und übergeordnetes Forschungsvorhaben

Diagramme spielen eine zentrale Rolle im Alltag, in der Wissenschaft und in der Schule. Aus schulischer Perspektive wird die Bedeutung von Diagrammen zum einen durch ihre curriculare Verankerung deutlich (z. B. Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2022), zum anderen durch die Notwendigkeit, die Diagrammkompetenz der Schüler:innen zu fördern. Studien belegen, dass der Umgang mit Diagrammen aufgrund ihrer hohen Informationsdichte und Abstraktheit für viele Lernende eine Herausforderung darstellt (z. B. Lachmayer, 2008; Carpenter & Sha, 1998; Jahnke, 2020). Diagramme zählen zu der Klasse der visuellen, depiktionalen Repräsentationen und werden von realistischen Bildern abgrenzt (Schnotz, 2001; Lachmayer, 2008). Sie visualisieren Beziehungen zwischen Variablen, von denen mindestens eine kontinuierlich ist. Skalen definieren dabei die möglichen Ausprägungen, die eine Variable annehmen kann. Dadurch lässt sich eine Variable anhand ihrer relativen Position zu den Achsen beschreiben (ebd.). Um den Herausforderungen des Diagrammeinsatzes adäquat zu begegnen und die Vorzüge von Diagrammen nutzen zu können, ist *Diagrammkompetenz* erforderlich. Diese umfasst die kognitiven Fähigkeiten, Diagramme zu verstehen und auf Grundlage dessen, eigenständig diagrammbezogene Aufgaben und Probleme betreffend der Informationsentnahme und -verarbeitung zu lösen sowie Diagramme eigenständig zu konstruieren (in Anlehnung an Lachmayer, 2008). Fachspezifische Untersuchungen zum Einsatz von Diagrammen und zur Diagrammkompetenz wurden bereits in der Biologie- (z.B. Jahnke, 2020), Mathe- (z.B. Curcio, 1987), Physik- (z.B. Scheid & Kauertz, 2024) und Geographiedidaktik (z.B. Brahm et al., 2023) durchgeführt. Für das Fach Chemie existieren jedoch bislang nur wenige Studien zu diesem Thema. Hier setzt das übergeordnete Forschungsvorhaben an. Das Ziel ist es, herauszufinden, wie die Diagrammkompetenz von Schüler:innen im Chemieunterricht diagnostiziert und durch gezielte adressatenangemessene Differenzierungsmaßnahmen gefördert werden kann.

Zielsetzung und Leitfrage der Voruntersuchung

Um die Diagrammkompetenz der Schüler:innen im Chemieunterricht diagnostizieren zu können, ist es zunächst erforderlich, grundlegende Erkenntnisse über den fachspezifischen Diagrammeinsatz im Fach Chemie zu erlangen. Aus diesem Grund wird im Rahmen einer Voruntersuchung eine Schulbuchanalyse durchgeführt, um die in Chemieschulbüchern eingesetzten Diagramme systematisiert und kategoriengeleitet erfassen zu können. Die Leitfrage der Voruntersuchung lautet folglich: Wie werden Diagramme im Chemieschulbuch eingesetzt? Die Leitfrage wird in die folgenden drei Untersuchungsfragen aufgeschlüsselt:
UF_1: Welche Arten von Diagrammen werden im Chemieschulbuch eingesetzt?
UF_2: In welchen Inhaltsfeldern werden Diagramme besonders häufig eingesetzt?
UF_3: Welcher Kompetenzkomponente entsprechen die Diagrammaufgaben?

Untersuchungsdesign und Vorgehen der Voruntersuchung

Zur Beantwortung der Leitfrage wird eine systematische, regelgeleitete Schulbuchanalyse von acht Schulbüchern in Anlehnung an Liu und Treagust (2013) und Tang (2023) durchgeführt.

Dabei werden alle in den Schulbüchern vorkommenden Diagramme, realistischen Bilder und ihre jeweiligen Unterarten (bei Diagrammen z.B. Linien-, Balken- und Kreisdiagramme) auf Grundlage der Definitionen in Anlehnung an Lachmayer (2008) und Novick (2006) identifiziert (bisher: $N_{4Schulbücher}$ =1624). Eine Besonderheit bildet die Unterkategorie *Sonderform*, die Visualisierungen umfasst, die zwar Diagrammelemente enthalten (z.B. eine x-Achse), jedoch nicht vollständig einer Diagrammart zuzuordnen sind. Bei der Auswahl wird darauf geachtet, dass die Schulbücher aus verschiedenen Verlagen stammen und beide Sekundarstufen sowie zwei Schulformen (Realschule, Gymnasium) abdecken. Die Auswertung orientiert sich am Vorgehen nach Liu und Treagust (2013). Die Diagramme werden mit einem deduktiv-induktiv-entwickelten Kategoriensystem nach Kuckartz und Rädiker (2022) kodiert. Das Kategoriensystem sowie schwer zuzuordnende Diagramme werden in zwei Kodierkonferenzen mit zwei Intercoder:innen konsensuell kodiert (ebd.).

Erste Ergebnisse

In Bezug auf UF_1 zeigt sich, dass in den Schulbüchern realistische Bilder deutlich häufiger als Diagramme eingesetzt werden. Beim Vergleich der beiden Sekundarstufen wird gleichzeitig deutlich, dass der Differenz der beiden visuellen Repräsentationsformen in der Sekundarstufe II geringer ausfällt und Diagramme in der Sekundarstufe II häufiger eingesetzt werden als in der Sekundarstufe I. Dieses Ergebnis lässt sich durch die zunehmende Bedeutung von Diagrammen für die Visualisierung der komplexeren Inhalte in der Sekundarstufe II erklären. Eine mögliche Erklärung für den häufigeren Einsatz realistischer Bilder in der Sekundarstufe I ist, dass diese den Schüler:innen im Vergleich zu den abstrakteren Diagrammen aufgrund ihres geringeren chemischen Vorwissens eine einfachere und unmittelbarere Informationsentnahme ermöglichen (Curcio, 1987). Liniendiagramme werden am häufigsten eingesetzt. Die Analyse zeigt weiterhin, dass die chemischen Diagramminhalte häufig prozess- und seltener produktorientiert sind, was sich in der hohen Anzahl an Temperatur- und Konzentrationsdiagrammen widerspiegelt. Damit hängt die Diagrammform stark vom fachlichen Inhalt ab. Eine Besonderheit des Fachs Chemie zeigt sich im hohen Einsatz fachspezifischer Diagrammarten (Kodierung als *Sonderform*), die v.a. Energiediagramme betreffen. Es wird deutlich, dass der Term *Energiediagramm* verschiedene Diagrammformen umfasst. An dieser Stelle verdeutlicht sich die o.g. enge Beziehung zwischen Diagrammform und -inhalt. Durch die verschiedenen Diagrammformen werden jeweils unterschiedliche Inhalte betont bzw. jeweils inhaltliche Schwerpunkte gesetzt. Beispielsweise fokussiert ein balkendiagrammartiges Energiediagramm den Vergleich der höheren Energie der Edukte mit der niedrigen Energie der Produkte bei einer exothermen Reaktion, es zeigt folglich deren *Differenz*. Dagegen verdeutlicht ein liniendiagrammartiges Energiediagramm zur Katalyse die Unterschiede im energetischen *Verlauf* einer katalysierten und nicht-katalysierten chemischen Reaktion. Die Wahl der Diagrammform erfolgt somit auf Grundlage didaktischer Überlegungen bezüglich der jeweiligen Zielsetzung, die durch den zu vermittelnden Inhalt gesteuert werden. Demnach stellt die gleiche Benennung unterschiedlicher Diagrammtypen eine potenzielle Herausforderung für Schüler:innen dar, was eine bewusste, bedeutungsdifferenzierte Verwendung des Begriffs „Energiediagramm“ in Abhängigkeit des jeweiligen Fachinhalts erfordert.

Die Ergebnisse von UF_2 zeigen, dass Diagramme in der Sekundarstufe I v.a. im Inhaltsfeld der *Organischen Chemie* und in der Sekundarstufe II hauptsächlich in den Inhaltsfeldern *Reaktionsgeschwindigkeit* und *Elektrochemische Prozesse und Energetik* eingesetzt werden.

Die Diagramme visualisieren bei Letzteren v.a. Verläufe von chemischen Reaktionen (z.B. Geschwindigkeit) und thematisieren bzw. transportieren abstraktere chemische Inhalte (z.B. Enthalpie). Die Komplexität der Diagramme wird zusätzlich erhöht, indem sie teils ohne erklärenden Text oder Diagrammunterschriften abgebildet werden, d.h. für sich stehen. Eine Herausforderung im Umgang mit Diagrammen im Fach Chemie resultiert demnach aus der Visualisierung eines abstrakten Inhalts bei gleichzeitig abstrakter Diagrammform, was das Risiko eines *representation dilemma* birgt (Rau, 2017). Da Diagrammverstehen voraussetzungsreich und nicht intuitiv ist, kann diese doppelte Abstraktion außerdem zu einem potenziellen *cognitive overload* bei den Lernenden führen (Chandler & Sweller, 1991). Diese Herausforderungen verdeutlichen die Notwendigkeit, die Diagrammkompetenz von Lernenden gezielt zu fördern. Unterschiede im Diagrammeinsatz zwischen Schulbüchern zeigen sich auch methodisch: Während einige Schulbücher spezielle Methodenseiten zur Diagrammbeschreibung, -konstruktion und -auswertung enthalten, fehlen solche Anleitungen in anderen Schulbüchern. Wenn das jeweilige Schulbuch als Lernmedium genutzt wird, kann dies zu einer unterschiedlichen Ausbildung der Diagrammkompetenz der Lernenden führen.

Die Diagrammaufgaben haben in Abhängigkeit der jeweiligen Sekundarstufe verschiedene Schwerpunkte (UF_3). In der Sekundarstufe I zielt der überwiegende Anteil der Aufgaben v.a. auf Aspekte der Diagrammkonstruktion ab, sodass der Einsatz von Diagrammen als fachwissenschaftliche Methode im Vordergrund steht. In der Sekundarstufe II dagegen adressieren Diagrammaufgaben v.a. Komponenten der Informationsentnahme und -verarbeitung, es wird der Umgang mit einem gegebenen Diagramm gefordert und Diagramme werden als Mittel des fachlichen Lernens eingesetzt. Die Fähigkeit zur Diagrammkonstruktion wird hier vorausgesetzt. Die Diagrammaufgaben sind i.d.R. komplex und erfordern höhere Kompetenzstufen, wie z.B. die Interpretation und Begründung von Diagrammen. Das zeigt, dass die Förderung der Diagrammkompetenz im Fach Chemie, sowohl in Bezug auf die Konstruktion als auch in Bezug auf die Informationsentnahme und -verarbeitung bereits früh in Sekundarstufe I gefördert und in der Sekundarstufe II kontinuierlich weitergeführt werden muss, um einen langfristigen und nachhaltigen adäquaten Umgang mit chemischen Diagrammen zu gewährleisten.

Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse zum Diagrammeinsatz im Chemieschulbuch zeigen die hohe inhaltsfeldübergreifende Bedeutung von Diagrammen, insbesondere von Liniendiagrammen, für das Fach Chemie. Die Wahl der Diagrammform ist vom visualisierten bzw. transportierten Fachinhalt abhängig. Eine besondere Herausforderung im Chemieunterricht besteht darin, dass abstraktere Inhalte häufig mithilfe ebenso abstrakter Diagramme dargestellt werden, was die Komplexität insgesamt erhöht und das Risiko einer kognitiven Überlastung birgt. Um den Herausforderungen der verschiedenen Diagramme im Fach Chemie adäquat zu begegnen und von ihren Vorzügen langfristig profitieren zu können, benötigen Schüler:innen daher eine angemessene Diagrammkompetenz. An dieser Stelle setzt die Hauptuntersuchung des Forschungsvorhabens an. Basierend auf der diagnostizierten Diagrammkompetenz von Schüler:innen (Hauptuntersuchung Teil 1) werden Möglichkeiten zur Förderung der Diagrammkompetenz im Fach Chemie entwickelt (Hauptuntersuchung Teil 2). Aus den Ergebnissen der Voruntersuchung werden Kriterien abgeleitet, die der Hauptuntersuchung 1 und 2 zu Grunde liegen.

Literatur

Brahm, T., Ring, M., & Bullinger, L. (2023). Diagramme im Unterrichtsgespräch am Beispiel der Besprechung einer Klassenarbeit im Geographieunterricht. In M. Syring, N. Becker, T. Bohl & B. Tesch (Eds.), Klasse 6B. Eine Unterrichtswoche. Bildungswissenschaftliche und fachdidaktische Analysen. Tübingen: TUP-Verlag, 197-208.

Carpenter, P. A., & Shah, P. (1998). A Model of the Perceptual and Conceptual Processes in Graph Comprehension. Journal of Experimental Psychology: Applied, 4 (2), 75-100.

Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. Cognition and Instruction, 8 (4), 293-332.

Curcio, F. R. (1987). Comprehension of Mathematical Relationships Expressed in Graphs. Journal for Research in Mathematics Education, 18 (5), 382-393.

Jahnke, L. (2020). Diagrammverstehen in der Biologie – Förderung des Diagrammverstehens durch Anregung zur Bildung translationaler Kohärenz. Münster: Westfälische Universität.

Kuckartz, U., & Rädiker, S. (2022). Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. Grundlagentexte Methoden. Weinheim, Basel: Beltz.

Lachmayer, S. (2008). Entwicklung und Überprüfung eines Strukturmodells der Diagrammkompetenz für den Biologieunterricht. Dissertation. Kiel.

Liu, Y., & Treagust, D. F. (2013). Content Analysis of Diagrams in Secondary School Science Textbooks. In M. S. Khine (Ed.), Critical Analysis of Science Textbooks. Dordrecht: Springer, 287-300.

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2022) (Ed.), Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Chemie.

Novick, L. R. (2006). The Importance of Both Diagrammatic Conventions and Domain-Specific Knowledge for Diagram Literacy in Science: The Hierarchy as an Illustrative Case. In D. Barker-Plummer, R. Cox & N. Swoboda (Eds.), Diagrammatic Representation and Inference. Berlin, Heidelberg: Springer, 1-11.

Rau, M. A. (2017). Conditions for the Effectiveness of Multiple Visual Representations in Enhancing STEM Learning. Educational Psychology Review, 29 (4), 717-761.

Scheid, J., & Kauertz, A. (2024). Erhebung von Diagrammkompetenz in Physik. In H. van Vorst (Ed.), Frühe naturwissenschaftliche Bildung. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung 2023. Duisburg-Essen: GDCP, 406-409.

Schnotz, W. (2001). Wissenserwerb mit Multimedia. Unterrichtswissenschaft, 29 (4), 292-318.

Tang, K. (2023). Distribution of Visual Representations Across Scientific Genres in Secondary Science Textbooks: Analysing Multimodal Genre Pattern of Verbal-Visual Texts. Research in Science Education, 53 (2), 357-375.

Stefanie Peter[1]
Olaf Krey[1]

[1]Universität Augsburg

Rekonstruktion visueller Strategien im Umgang mit Schaltplänen

Hintergrund

In der Elektrizitätslehre stellen Schaltpläne als eine typische externe Repräsentation elektrischer Stromkreise Lernende vor Herausforderungen. Bekannte Schwierigkeiten bei der Unterscheidung von Reihen- und Parallelschaltungen oder bei der Translation zwischen Schaltplan und realen Stromkreisen (McDermott & Shaffer, 1992) stehen dabei in direktem Zusammenhang mit der Repräsentation. Andere Lernendenvorstellungen wie das lokale Denken und die sequentielle Argumentation (Wilhelm & Hopf, 2018) legen gewisse Lesarten von Schaltplänen nahe, bei der die Richtung des Stromflusses eine entscheidende Rolle spielt. Eye-Tracking-Studien, zeigen Unterschiede im Vorgehen zwischen Expert*innen und Noviz*innen beim Bearbeiten von Aufgaben aus der E-Lehre (Rosengrant et al., 2009; Van Gog et al., 2005), liefern jedoch keine systematische Analyse von Strategien im Umgang mit Schaltplänen. Insbesondere bei der Untersuchung der Nutzung von externen Repräsentationen wird Eye-Tracking als Methode in der physikdidaktischen Forschung immer häufiger eingesetzt. Bei den meisten Untersuchungen handelt es sich um quantitative Studien, in denen gängige Eye-Tracking-Metriken, wie die Anzahl der Fixationen oder durchschnittliche/gesamte Fixationsdauern ausgewertet werden (Hahn & Klein, 2022). Dabei werden diese Metriken über die Dauer der Aufnahme kumuliert bzw. gemittelt, wodurch Informationen wie die Reihenfolge der Fixationen verloren gehen. Für die Rekonstruktion von Strategien zeigt sich beispielsweise in Nachbardisziplinen ein qualitativer Ansatz als gewinnbringend (Schindler & Lilienthal, 2018; Kastaun & Meier, 2022).

In unserem Vorhaben wollen wir folgenden Forschungsfragen nachgehen:

- Inwiefern können aus der visuellen Aufmerksamkeit von Lernenden beim Lösen von Aufgaben aus der E-Lehre Strategien im Umgang mit Schaltplänen rekonstruiert werden?
- Welchen Einfluss hat das Vorwissen auf die Strategien im Umgang mit Schaltplänen?

Strategien, Aufgabenlösen und Repräsentationen

Unter Strategien werden zielorientierte Verhaltens- und Verarbeitungsprozesse verstanden (Bjorklund & Harnishfeger, 1990), die auch unbewusst stattfinden können (Ashcraft, 1990). Diese Definition eröffnet zwei Analyseperspektiven für die Rekonstruktion von Strategien bei der Bearbeitung von Aufgaben mit Schaltplänen: die Perspektive der Verarbeitungsprozesse und die der Zielorientierung. Allgemeine Verarbeitungsprozesse im Umgang mit externen Repräsentationen werden in Theorien der Informationsverarbeitung wie der *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (Mayer & Moreno, 2003) oder dem *Integrierten Modell des Text- und Bildverstehens* (Schnotz & Bannert, 2003) beschrieben. Dabei hat das Vorwissen einen Einfluss auf die Wahrnehmungs- und Verarbeitungsprozesse (Gegenfurtner, 2020). Eine Strukturierung des Vorwissens im Umgang mit Repräsentation bieten die von Rau (2017) beschriebenen Repräsentationskompetenzen, bei denen zwischen konzeptuellen, perzeptuellen und meta-repräsentationalen Kompetenzen unterschieden wird.

Beim Bearbeiten von Aufgaben ist die Zielorientierung ist durch die Aufgabenstellung gegeben, in denen die Repräsentationen eingebettet sind. Generell ist das Lösen von Aufgaben und

das Problemlösen voneinander zu unterscheiden. Beim Lösen von Aufgaben sind jedoch ähnlich zum Problemlösen verschiedenen Phasen denkbar, in denen unterschiedliche Teilziele verfolgt werden. Friege (2001) unterscheidet im Modell des wissenzentrierten Problemlösens zwischen den Phasen Problemrepräsentation, Auswahl oder Erarbeitung eines Problemschemas, Erarbeitung einer Lösung und Evaluationen.

Studiendesign und Stichprobe

Die Erhebung besteht aus drei Teilen: einem Fragebogen, einem perzeptuellen Aufgabenteil und einem konzeptuellen Aufgabenteil. Im Fragebogen wird das deklarative Wissen über Schaltsymbole, der Darstellung von Reihen- und Parallelschaltungen und den Gesetzmäßigkeiten zu Spannung, Stromstärke und Widerstand in Reihen- und Parallelschaltung erhoben. In den Aufgaben zur Erhebung der perzeptuellen Kompetenzen beurteilen die Teilnehmenden in sechs Teilaufgaben (Ja-/Nein-Fragen), ob zwei gegebene Schaltpläne physikalisch äquivalent sind. Bei den konzeptuellen Aufgaben handelt es sich um vier offene Aufgaben, in denen qualitative Aussagen über physikalische Größen (Spannung, Stromstärke) in gegeben Stromkreisen getroffen und begründet werden müssen (eine Aufgabe in Anlehnung an Burzin (2002), eine in Anlehnung an Urban-Woldron & Hopf (2012)). Sowohl für die perzeptuellen Aufgaben als auch für die konzeptuellen Aufgaben wurden die Blickbewegungen der Teilnehmenden mit einem stationären Eye-Tracker (Tobii-X3-120) an einem LED-Bildschirm (27“, Auflösung: 1920 x 1080) mit einer Frequenz von 120 Hz aufgenommen. Insgesamt haben 59 Personen (38 männlich, 21 weiblich) an der Erhebung teilgenommen, wovon 54 ein physikbezogenes Fach studieren (35 Lehramt Physik, 10 Physik, 9 Sonstiges) und fünf Personen in physikdidaktischen Forschungsgruppen tätig sind.

Auswertung und erste Ergebnisse

Die Antworten der Teilnehmenden wurden für alle Erhebungsteile auf Korrektheit geprüft. Bei den konzeptuellen Aufgaben wurden außerdem aus den Begründungen ableitbare Lernendenvorstellungen kodiert. Für einen ersten explorativen Einblick in die Daten wurden auf Grundlage der Leistung in den konzeptuellen Aufgaben drei Performanzgruppen gebildet. Die mittlere Leistung der Gruppe *High*-Performer beträgt 72 % ($\sigma = 14\,\%\,; N = 17$), der *Medium*-Performer 35 % ($\sigma = 10\,\%\,; N = 24$) und der *Low*-Performer 8 % ($\sigma = 6\,\%\,; N = 18$). In Abb. 1 sind die mittleren Leistungen im Fragebogen und in den perzeptuellen Aufgaben für die Performanzgruppen aufgetragen. Die *High*-Performer erzielen höhere Leistungen in den perzeptuellen Aufgaben. Zwischen *Medium*- und *Low*-Performern ist kein Unterschied erkennbar. Der Kruskal-Wallis-Tests zeigt für die drei Gruppen Unterschiede in der Leistung bei den perzeptuellen Aufgaben (H (2) = 10.778, p = .005).

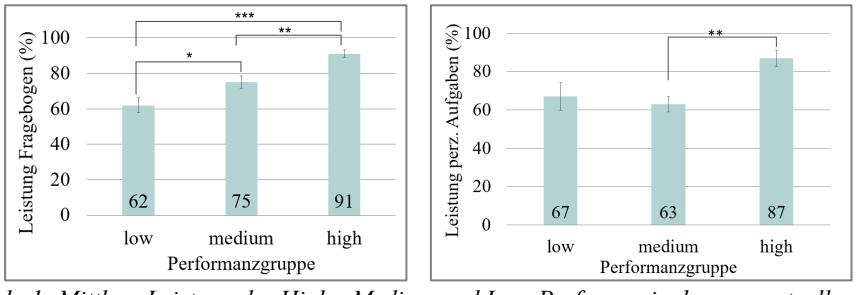


Abb. 1: Mittlere Leistung der High-, Medium und Low-Performer in den perzeptuellen Aufgaben (links) und im Fragebogen (rechts).

Der paarweise Vergleich mit Bonferroni-Korrektur zeigt signifikante Unterschiede ausschließlich zwischen der Gruppe der *High*-Performer und der *Medium*-Performer (z = 12.856, p = 0.004) mit einer Effektstärke von r = 0.5. Für die Leistung im Fragebogen ist eine Abstufung entsprechend der Performanzguppen zu finden (ANOVA: F(2) = 15.269, p < .001). Der Tukey post-hoc Test zeigt signifikante Unterschiede zwischen allen Gruppen (*Low – Medium*: ΔMW = -12.99, p = .023, 95%-CI[-24.44, -1.53]; *Medium – High*: ΔMW = -15.51, p = .006, 95%-CI[-27.15,-3.86]; *Low – High*: ΔMW = -28.49, p < .001, 95%-CI[-40.91,-16.07].

Für die Rekonstruktion der Strategien werden die Eye-Tracking-Daten und Verbaldaten der konzeptuellen Aufgaben analysiert. Die Reihenfolge der Fixationen auf die festgelegten AOI wird zur besseren Übersicht in Sequenzdiagrammen dargestellt. In Abb. 2 sind die Fixationen einer Person für die Bearbeitung der nebenstehenden Aufgabe zu sehen. Beim Lesen der Beschreibung und der Aufgabe wird der Schaltplan zunächst nicht erkundet, obwohl dort entsprechende Komponenten benannt werden. Anschließend wird der gesamte Schaltplan von der Spannungsquelle aus in technischer Stromrichtung in Betracht genommen; im ersten Durchlauf mit wenigen Fixationen, im zweiten Durchlauf mit mehr Fixationen, was mit den roten Pfeilen verdeutlicht wurde. Obwohl in der Aufgabe nach einem Vergleich von L1 und L2 gefragt ist, werden bei der Bearbeitung keine gesonderten visuellen Verknüpfungen der Komponenten sichtbar. Diese visuelle Auseinandersetzung kann mit der Argumentation der Person in Zusammenhang gebracht werden. So schließt diese Person zwar richtig, dass L1 heller als L2 ist, in der Begründung findet sich jedoch eine sequentielle Argumentation („Sobald der Strom wieder in die Richtung fließt […]“) und eine Stromverbrauchsvorstellung („[…] und da erstmal ja schon ein Teil der Stromstärke verloren geht…“). Wir finden hier also ein Vorgehen, das von Vorstellungen geleitet ist und bei dem Verknüpfungen aus dem Aufgabentext nicht einmal auf Ebene der Blickbewegungen zu finden sind, was für sehr stabile Vorstellungen spricht.

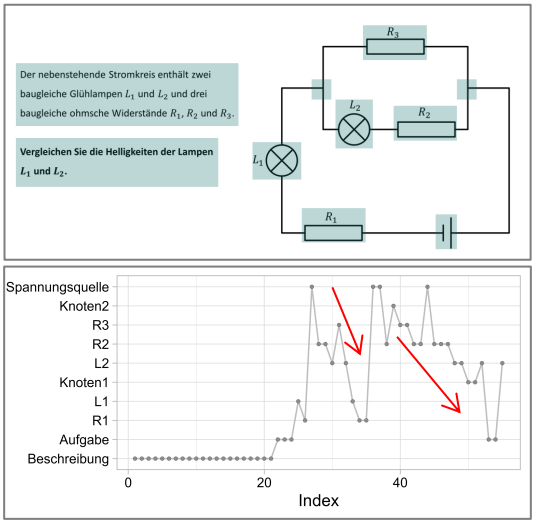


Abb. 2: Sequenzdiagramm zu einer Bearbeitung der obenstehenden Aufgabe, bei der in Grün die definierten Areas-of-Interest (AOI) markiert sind.

Fazit und Ausblick

Es zeigen sich erwartungskonforme Zusammenhänge zwischen deklarativem Vorwissen (Fragebogen) und der Performanz in den Aufgaben zum Konzeptverständnis. Für eine vollständige Betrachtung der perzeptuellen Aufgaben, wird im Weiteren neben den Leistungen auch die benötigte Zeit zur Beantwortung auswertet. Die Analyse der Sequenzdiagramme, welche exemplarisch beschrieben wurde, bietet einen vielversprechenden Ansatz zur Rekonstruktion der Strategien. Im Weiteren wird diese noch durch eine Analyse der Phasen der Aufgabenbearbeitung erweitert, um die Daten zu strukturieren.

Literatur

Ashcraft, M. H. (1990). Strategic processing in children's mental arithmetic: a rewiev and proposal. In D. F. Bjorklund (Ed.), *Children's Strategies: contemporary views of cognitive development* (pp. 185-211). Psychology Press.

Bjorklund, D. F., & Kipp Harnishfeger, K. (1990). Children's strategies: Their definition and origins. In D. F. Bjorklund (Ed.), *Children's Strategies: contemporary views of cognitive development* (pp. 309-323). Psychology Press.

Burzin, S. (2002). Physikaufgaben zum Nachdenken. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, *67*, 28-30.

Friege, G. (2001). *Wissen und Problemlösen: eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleichs*. Logos-Verlag.

Gegenfurtner, A. (2020). *Professional vision an visual expertise* University of Regensburg.

Hahn, L., & Klein, P. (2022). Eye tracking in physics education research: A systematic literature review. *Physical Review Physics Education Research*, *18*(1), 013102.

Kastaun, M., & Meier, M. (2022). Eine qualitative Analyse von Blickdaten bei statischen und dynamischen Repräsentationen im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess. In *Eye-Tracking in der Mathematik- und Naturwissenschaftsdidaktik* (pp. 19-39). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-63214-7_2

Mayer, R. E., & Moreno, R. (2003). Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning. Educational Psychologist, 38(1), 43-52. https://doi.org/10.1207/s15326985ep3801_6

McDermott, L. C., & Shaffer, P. S. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding. *American Journal of Physics*, *60*(11), 994-1003. https://doi.org/10.1119/1.17003

Rau, M. A. (2017). Conditions for the Effectiveness of Multiple Visual Representations in Enhancing STEM Learning. *Educational Psychology Review*, *29*(4), 717-761. https://doi.org/10.1007/s10648-016-9365-3

Rosengrant, D., Thomson, C., Mzoughi, T., Sabella, M., Henderson, C., & Singh, C. (2009). Comparing Experts and Novices in Solving Electrical Circuit Problems with the Help of Eye-Tracking.*AIP Conference Proceedings 5 November 2009; 1179 (1)*

Schindler, M., & Lilienthal, A. (2018). Eye-tracking for studying mathematical difficulties: also in inclusive settings. *Annual Meeting of the International Group for the Psychology of Mathematics Education (PME-42)*, Umeå, Sweden, July 3-8, 2018.

Schnotz, W., & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, *13*(2), 141-156.

Urban-Woldron, H., & Hopf, M. (2012). Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis in der Elektrizitätslehre *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *18*, 201-227.

Van Gog, T., Paas, F., & Van Merriënboer, J. J. G. (2005). Uncovering expertise-related differences in troubleshooting performance: combining eye movement and concurrent verbal protocol data. *Applied Cognitive Psychology*, *19*(2), 205-221. https://doi.org/10.1002/acp.1112

Wilhelm, T., & Hopf, M. (2018). Schülervorstellungen zum elektrischen Stromkreis. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf, & R. Duit (Eds.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis* (pp. 115-138). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2_6

Paul P. Martin[1]
Marcus Kubsch[2]
Brandon J. Yik[3]
Benjamin T. Burlingham[4]
Nicole Graulich[1]

[1]Justus-Liebig-Universität Gießen
[2]Freie Universität Berlin
[3]University of Georgia
[4]Indiana University Bloomington

Modellierung von Lerntrajektorien beim KI-gestützten adaptiven Lernen in der Organischen Chemie

Notwendigkeit der adaptiven Förderung mechanistischer Begründungen

Chemiedidaktische Forschung der vergangenen 20 Jahre zeigt, dass das Erklären von Reaktionsabläufen eine zentrale Kompetenz in der Organischen Chemie darstellt (vgl. Graulich, 2015). Dieses mechanistische Begründen unterstützt Lernende beim Modellieren von Reaktionsmechanismen, der Vorhersage von Reaktionsprodukten und der Anwendung chemischer Konzepte. Auch in der Laborpraxis ist diese Fähigkeit essenziell, etwa beim Planen, Durchführen und Analysieren von Synthesen.

Dennoch haben Studierende beim mechanistischen Begründen viele Herausforderungen, die teils durch gängige Lehrpraktiken bedingt sind (vgl. Dood & Watts, 2023). Ein deskriptives Visualisieren von Reaktionsmechanismen führt beispielsweise dazu, dass Studierende Mechanismen als lineare, unkorrelierte Ereignisse wahrnehmen und Schwierigkeiten haben, deren Ursachen und Wirkungen zu erkennen (z. B. Weinrich & Sevian, 2017). Aufgrund dieser Herausforderungen ist eine explizite Förderung mechanistischer Begründungen in der Organischen Chemie erforderlich (Asmussen, Rodemer & Bernholt, 2023). Eine uniforme Förderung erweist sich jedoch oft als unzureichend, was eine stärkere Integration adaptiver Förderangebote motiviert (z. B. Asmussen, Rodemer & Bernholt, 2024; Dood, Dood, Cruz-Ramírez de Arellano, Fields & Raker, 2020; Lieber, Ibraj, Caspari-Gnann & Graulich, 2022).

In dieser Studie wurde ein KI-Modell entwickelt, das mechanistische Begründungen von Studierenden automatisiert bewertet und adaptive Förderangebote bereitstellt (vgl. Martin & Graulich, 2023). Der Beitrag untersucht, welche Lernenden von diesem KI-gestützten Ansatz profitieren.

KI-gestützte adaptive Förderung mechanistischer Begründungen

Traditionelle Lehre der Organischen Chemie fokussiert oft ausschließlich plausible Reaktionsprodukte, ohne alternative Reaktionspfade kritisch zu beleuchten. Um das Abwägen verschiedener Pfade zu fördern, wurden Studierende in dieser Studie angeleitet, die Plausibilität alternativer Produkte zu beurteilen (vgl. Lieber & Graulich, 2022; Lieber, Ibraj, Caspari-Gnann & Graulich, 2022). Die Begründungen wurden dabei anhand des Erklärungsmodells nach „Behauptung-Beleg-Begründung“ strukturiert (McNeill, Lizotte, Krajcik & Marx, 2006). Die Aufgaben umfassten vier Reaktionen: eine Ether-Synthese, eine Enamin-Hydrolyse, eine Aldol-Kondensation und eine Claisen-Kondensation. Während der ersten Erhebung zur Ether-Synthese wurden die allgemeine Argumentationskompetenz und das chemische Konzeptwissen der Studierenden diagnostiziert. Anschließend wurden die mechanistischen Begründungen der Studierenden vom KI-Modell bewertet, was eine stärkere longitudinale Individualisierung der Lehre ermöglichte (Martin & Graulich, 2024b). Übungsaufgaben und konzeptuell-strategisches Feedback wurden dabei im Verlauf des Semesters zu vier Zeitpunkten individuell an den Lernstand der Studierenden angepasst.

Drei zentrale Dimensionen mechanistischer Begründungen wurden durch die KI-gestützte Analyse identifiziert: die Themen, Kausalität und Granularität der Begründungen (Martin, Kranz, Wulff & Graulich, 2024a, 2024b; Martin & Graulich, 2024a, 2024c). Abschließend wurden die Begründungen auf einer Skala von 0 bis 5 nach ihrer Kausalität und Granularität bewertet, wobei eine Komplexität von 5 die Höchstpunktzahl darstellt.
Die Studie wurde von September bis November 2023 an einer US-amerikanischen Universität durchgeführt und erfasste die Lernverläufe von 266 Studierenden der Organische Chemie II.

Modellierung der Lerntrajektorien
Um zu bestimmen, für welche Studierenden der KI-gestützte Ansatz adaptiven Lernens hilfreich ist, wurden deren Lernverläufe über das Semester hinweg erhoben. Anschließend konnten diese Lernverläufe mittels longitudinaler Cluster-Analyse in verschiedene Lerntrajektorien gruppiert werden. Die beste statistische Passung lag für fünf Trajektorien unterschiedlichen Leistungsniveaus vor (Abb. 1). Eine Analyse des Lernzugewinns zeigt eine Zunahme der Komplexität mechanistischer Begründungen über das Semester hinweg. Besonders Studierende mittleren bis hohen Leistungsniveau verzeichneten Fortschritte in der Komplexität ihrer Begründungen, während leistungsschwächere Studierende weniger davon profitierten. Die Lernverläufe verdeutlichen zudem die starke Kontextabhängigkeit mechanistischer Begründungen. So zeigen sich beispielsweise erhebliche Herausforderungen bei der Begründung alternativer Produkte in der Aldol-Kondensation.

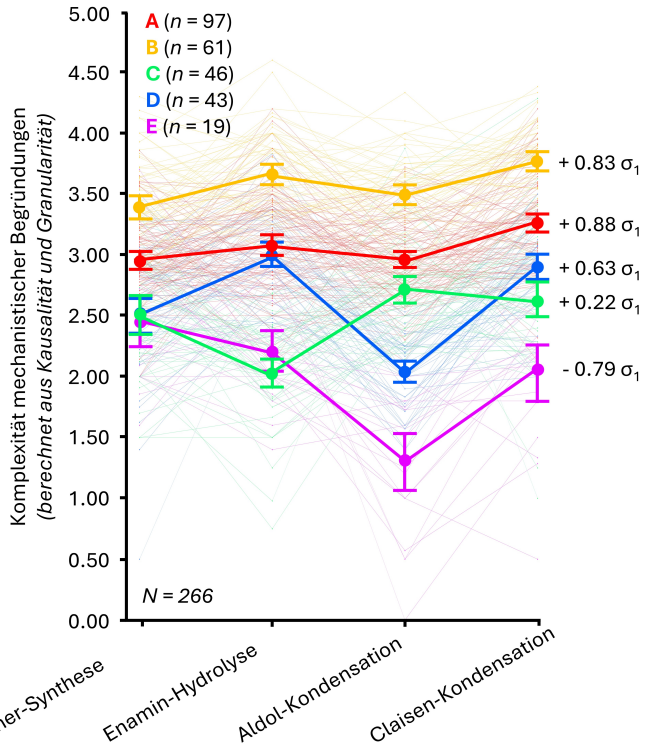


Abb. 1: Klassifikation der Lernverläufe in fünf Trajektorien. Hinweis: Die Lernzuwächse sind in Standardabweichungen relativ zur Ether-Synthese angegeben (σ_1).

Weiterhin waren wir daran interessiert, die Zugehörigkeit zu einer Lerntrajektorie zu erklären. Mithilfe einer diskriminanten Analyse wurde untersucht, ob sich die Komplexität der mechanistischen Begründungen über alle Lerntrajektorien hinweg simultan bezüglich deren Kausalität und Granularität entwickelt. Die Ergebnisse der diskriminanten Analyse zeigen, dass 97 % der Varianz in der Komplexität mechanistischer Begründungen durch eine Diskriminante erklärt werden kann, die Kausalität und Granularität nicht separiert. Dies deutet darauf hin, dass Kausalität und Granularität zwei Facetten derselben Kompetenz, jedoch keine distinkten Fähigkeiten abbilden. Folglich gibt es keine Lerntrajektorie, die in nur einer der beiden Facetten eine überdurchschnittlich hohe oder niedrige Kompetenz aufweist.
Darüber hinaus wurden Unterschiede in der Themennutzung der Studierenden mittels Chi-Quadrat-Test untersucht, der ein signifikantes Ergebnis lieferte ($\chi^2(12) = 111{,}11$, $p < 0{,}0001$). Leistungsschwächere Studierende hatten Herausforderungen bei der Anwendung thermodynamischer und kinetischer Konzepte (Trajektorie C: n(erwartet) = 41,68, n(beobachtet) = 23, $p = 0{,}0038$; Trajektorie E: n(erwartet) = 17,21, n(beobachtet) = 4, $p = 0{,}0014$), während leistungsstärkere Studierende in diesem Bereich erfolgreicher waren (Trajektorie A: n(erwartet) = 87,88, n(beobachtet) = 120, $p = 0{,}0006$). Somit erweist sich die Nutzung energetischer Konzepte als zentraler Prädiktor für komplexe mechanistische Begründungen in der Organischen Chemie.
Schließlich wurde der Einfluss weiterer kognitiver und affektiver Variablen auf die Zugehörigkeit zu einer Lerntrajektorie mittels multinomialer ordinaler Regression untersucht, die ebenfalls ein signifikantes Ergebnis erbrachte ($\chi^2(24) = 141{,}82$; $p < 0{,}0001$; $R^2 = 0{,}1826$). In der kognitiven Dimension zeigte sich das chemische Konzeptwissen als zentraler Prädiktor für komplexe mechanistische Begründungen, wohingegen keine Unterschiede zwischen den Trajektorien in Bezug auf die allgemeine wissenschaftliche Argumentationskompetenz festzustellen waren. Darüber hinaus förderte ein hohes Selbstvertrauen bei der Aufgabenbearbeitung die Komplexität der Begründungen, während die empfundene Aufgabenschwierigkeit keinen Einfluss auf den Lernfortschritt hatte.

Auswirkungen von KI-gestützter Adaptivität

Die Ergebnisse zeigen, dass KI-gestützte Adaptivität Leistungsunterschiede nicht verringert und diese in manchen Fällen sogar verstärkt (Abb. 1). Der Nutzen von Adaptivität für die Lehre muss folglich diskutiert werden (vgl. Dumont & Ready, 2023): Adaptivität kann nicht zu gleichen Lernbedingungen führen, da sie darauf abzielt, Lernressourcen individuell anzupassen. Eine Gleichheit des Inputs ist somit nicht gegeben. Adaptivität führt, wie zahlreiche Studien zeigen, allerdings auch nicht zu gleichen Lernergebnissen. Leistungsstärkere Studierende können anspruchsvollere Lernpfade bewältigen und profitieren dadurch von diesen erweiterten Lerngelegenheiten. Eine Perspektive der Angemessenheit zeigt jedoch den Nutzen von Adaptivität: Sie kann einen minimalen Konsens an Basiskompetenzen fördern, sodass alle Lernenden befähigt werden, aktiv an der Gesellschaft und im Berufsleben teilzunehmen. KI-gestützte Adaptivität ermöglicht es somit, zentrale Basiskompetenzen individuell anzuleiten und somit die jeweilige Lerngeschwindigkeit eines Lernenden zu berücksichtigen. Nach dem Erwerb von Basiskompetenzen kann KI eine gezielte Förderung weiterer Fähigkeiten unterstützen.

Literatur

Asmussen, G., Rodemer, M., & Bernholt, S. (2023). Blooming student difficulties in dealing with organic reaction mechanisms–an attempt at systemization. Chemistry Education Research and Practice, 24 (3), 1035-1054

Asmussen, G., Rodemer, M., & Bernholt, S. (2024). Stepping stones to success: A qualitative investigation of the effectiveness of adaptive stepped supporting tools for problem-solving in organic chemistry to design an intelligent tutoring system. International Journal of Science Education, Early View Article, 1-23

Dood, A. J., Dood, J. C., Cruz-Ramírez de Arellano, D., Fields, K. B., & Raker, J. R. (2020). Using the research literature to develop an adaptive intervention to improve student explanations of an S_N1 reaction mechanism. Journal of Chemical Education, 97 (10), 3551-3562

Dood, A. J., & Watts, F. M. (2023). Students' strategies, struggles, and successes with mechanism problem solving in organic chemistry: a scoping review of the research literature. Journal of Chemical Education, 100 (1), 53-68

Dumont, H., & Ready, D. D. (2023). On the promise of personalized learning for educational equity. Npj science of learning, 8 (1), Article 26

Graulich, N. (2015). The tip of the iceberg in organic chemistry classes: how do students deal with the invisible? Chemistry Education Research and Practice, 16 (1), 9-21

Lieber, L. S., & Graulich, N. (2022). Investigating students' argumentation when judging the plausibility of alternative reaction pathways in organic chemistry. Chemistry Education Research and Practice, 23 (1), 38-53

Lieber, L. S., Ibraj, K., Caspari-Gnann, I., & Graulich, N. (2022). Closing the gap of organic chemistry students' performance with an adaptive scaffold for argumentation patterns. Chemistry Education Research and Practice, 23 (4), 811-828

Martin, P. P., & Graulich, N. (2024a). Beyond Language Barriers: Allowing Multiple Languages in Postsecondary Chemistry Classes Through Multilingual Machine Learning. Journal of Science Education and Technology, 33 (3), 333-348

Martin, P. P., & Graulich, N. (2024b). Lehre in der organischen Chemie individualisieren. Nachrichten aus der Chemie, 72 (3), 8-11

Martin, P. P., & Graulich, N. (2024c). Navigating the data frontier in science assessment: Advancing data augmentation strategies for machine learning applications with generative artificial intelligence. Computers and Education: Artificial Intelligence, 7, Article 100265

Martin, P. P., & Graulich, N. (2023). When a machine detects student reasoning: a review of machine learning-based formative assessment of mechanistic reasoning. Chemistry Education Research and Practice, 24 (2), 407-427

Martin, P. P., Kranz, D., Wulff, P., & Graulich, N. (2024a). Exploring new depths: Applying machine learning for the analysis of student argumentation in chemistry. Journal of Research in Science Teaching, 61 (8), 1757-1792

Martin, P. P., Kranz, D., Wulff, P., & Graulich, N. (2024b). Tiefgreifende Analyse von Argumenten in der Organischen Chemie mit maschinellem Lernen. In H. van Vorst (Ed.), Frühe naturwissenschaftliche Bildung. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Hamburg 2023, 74-77

McNeill, K. L., Lizotte, D. J., Krajcik, J., & Marx, R. W. (2006). Supporting students' construction of scientific explanations by fading scaffolds in instructional materials. Journal of the Learning Sciences, 15 (2), 153-191

Weinrich, M. L., & Sevian, H. (2017). Capturing students' abstraction while solving organic reaction mechanism problems across a semester. Chemistry Education Research and Practice, 18 (1), 169-190

Katrin Schüßler[1]
Michael Giese[1]
Maik Walpuski[1]

[1]Universität Duisburg Essen

JACK: Ein e-learning und e-assessment Tool für die organischen Chemie

Ausgangslage

Digitale fachspezifische Prüfungsaufgaben stellen für Hochschulen weiterhin eine Herausforderung dar. Das Projekt PITCH (Prüfungen innovieren. Transfer schaffen. Chancengerechtigkeit fördern; gefördert von der Stiftung Innovationen in der Hochschullehre) erprobt in 3 Arbeitsfeldern (Digitalisierung, Recht, Disziplin & Didaktik) unter Beteiligung von 14 Fächern neue digitale Prüfungsformate. Für die organische Chemie stehen die digitale Eingabe und die automatisierte Auswertung von fachspezifischen Repräsentationen (Zeichnung molekularer Strukturen und Reaktionsmechanismen) bei der Digitalisierung (Puentedura, 2006) in Fokus.

Toolentwicklung

Um eine digitale Eingabe von Molekülzeichnungen zu ermöglichen, wurde in das e-learning und e-assessment System JACK (Striewe, 2016) der open source Moleküleditor Kekulé.js (Jiang et al., 2016) integriert. Der Moleküleditor basiert auf der von der IUPAC für die organische Chemie geforderten Skelettschreibweise (Brecher, 2008). Für die automatisierte Auswertung studentischer Eingaben werden gezeichnete Moleküle in InChI-Codes (Heller et al., 2015) transformiert. InChI-Codes beschreiben Moleküle unabhängig von der Schreib- bzw. Zeichenrichtung stereochemisch eindeutig. Die aus studentischen Eingaben generierten InChI-Codes werden automatisch mit der hinterlegten Musterlösung abgeglichen, so dass rückgemeldet werden kann, ob eine Eingabe richtig oder falsch ist. Zusätzlich können weitere Lösungen (z. B. typische fehlerhafte Lösungen) und zusätzliches Feedback (z. B. Erklärungen, warum bestimmte Lösungen falsch sind, Johnson & Priest, 2014, oder Musterlösungen, Renkl, 2014) hinterlegt werden. Bei der Entwicklung des Tools wurden zunächst simple Molekülzeichenaufgaben und einfache Reaktionsgleichungen digital umgesetzt. Aktuell werden digitale Aufgaben mit mehreren Reaktionsschritten optimiert und die Umsetzung von Reaktionsmechanismen vorbereitet.

Evaluationsgegenstand

Parallel zur Entwicklung werden Evaluationsstudien durchgeführt, mit dem Ziel die Vergleichbarkeit der Aufgabenschwierigkeit/Personenfähigkeit sowie der kognitiven Belastung zwischen Papierformat und digitalem Format sowie Formatspezifika zu untersuchen. Hierbei wurden zunächst Molekülzeichenaufgaben und in einem zweiten Schritt Chiralitätsaufgaben untersucht. Abschließend diskutiert dieser Beitrag Herausforderungen bei der Digitalisierung von Reaktionsgleichungen und Reaktionsmechanismen.

Ergebnisse der Evaluationsstudien zu Molekülzeichenaufgaben

Erste Studien haben die Personenfähigkeit, die kognitive Belastung und die Usability für simple digitale Molekülzeichenaufgaben („Zeichnen Sie das Molekül zu folgendem IUPAC-Namen.“) im Vergleich zum Papierformat untersucht (Schüßler, Striewe et al., 2024). Die Ergebnisse zeigen, dass für diesen Aufgabentyp für vergleichbare Ergebnisse im digitalen Format eine umfangreiche Einführung in das digitale Tool und regelmäßige Arbeit mit den digitalen Aufgaben im Rahmen der Lehrveranstaltung notwendig sind. Zusätzlich stellt die Skelettschreibweise für die Studierenden im digitalen Format eine Hürde dar, die sie im

Papierformat bisher ohne negative Konsequenzen (z. B. in der Bewertung) umgehen können (Schüßler, Rodemer et al., 2024), weil auch Lösungen, die auf anderen Repräsentationsformen beruhen, akzeptiert werden. Mit Blick auf die Digitalisierung von Klausuren stellt sich daher die Frage, inwiefern die Nutzung der Skelettschreibweise ein Lernziel in der organischen Chemie darstellt und in beiden Formaten konsequent eingefordert wird.

Ergebnisse der Evaluationsstudien zu Chiralitätsaufgaben

In einem nächsten Schritt wurden Aufgabenschwierigkeit und investierte Denkanstrengung (Paas, 1992) für digitale Aufgaben zum Inhaltsbereich Chiralität mit entsprechenden Aufgaben im Papierformat verglichen. Eingesetzt wurden 19 Aufgabenpaare mit jeweils einem digitalen Item und einem vergleichbaren papierbasierten Item. Über drei Semester haben insgesamt 80 Studierende (SoSe: B. Sc. Chemie & B. Sc. Water Science, WiSe: B. LA Chemie) im Rahmen der Übung „organische Chemie“ die Aufgaben bearbeitet. Dabei mussten sie entscheiden, ob Moleküle über ein Chiralitätszentrum verfügen (MC), ob zwei abgebildete Moleküle identisch oder Enantiomere sind (DC), aber auch chirale Moleküle ausgehend von deren IUPAC Namen zeichnen (offen) und die absolute Konfiguration von abgebildeten Molekülen bestimmen (MC). Basierend auf den Studierendenantworten wurde mithilfe von Winsteps (Boone et al., 2014) die relative Aufgabenschwierigkeit der Chiralitätsaufgaben (Pers. Rel. = .82, Aufg. Rel. = .90) sowie ein entsprechender Raschwert für die investierte Denkanstrengung (Pers. Rel. = .93, Aufg. Rel. = .96) bestimmt. Ein Vergleich zwischen Papierformat und digitalem Format mittels *t*-Tests zeigt, dass die Aufgabenschwierigkeit, $t(18) = 2.35$, $p = .031$, $d_{RM} = 0.69$, und die investierte Denkanstrengung, $t(18) = 6.42$, $p = \leq.001$, $d_{RM} = 1.68$, im Papierformat signifikant geringer sind. Papierbasierte Aufgaben sind also leichter und können mit geringerer Denkanstrengung bearbeitet werden. Eine mögliche Ursache für die Formatunterschiede können Notizen und Markierungen sein, die 47 von 80 Studierenden bei der Aufgabenbearbeitung im Papierformat anfertigen. Diese bilden zum Teil Lösungsschritte und Teillösungen ab, die in der Klausurbewertung nicht berücksichtigt werden. Im digitalen Format besteht aktuell keine digitale Notizenfunktion. Mit Blick auf die Digitalisierung von Prüfungen stellt sich daher zunächst die Frage nach der Bedeutung dieser Markierungen und Notizen für die Aufgabenbearbeitung, um in einem weiteren Schritt entscheiden zu können, inwiefern für einen fairen Formatvergleich eine digitale Notizenfunktion ergänzt werden muss.

Herausforderungen bei der Digitalisierung von Reaktionsgleichungen und Reaktionsmechanismen

Technisch können bereits auch komplexere Aufgaben (z. B. simplen Reaktionsgleichungen) digital abgebildet werden. Neben dem Abgleich der InChI-Codes für die Moleküle wird zusätzlich geprüft, welche Moleküle als Edukte (vor dem Reaktionspfeil) und welche als Produkte (hinter dem Reaktionspfeil) dargestellt wurden. Zusätzlich können weitere Reaktionspartner (über dem Reaktionspfeil) und Nebenprodukte (unter dem Reaktionspfeil) berücksichtigt werden. Ein Problem für die automatisierte Auswertung dieser Aufgaben besteht darin, dass für diese Aufgaben keine fachliche Konvention besteht, wie Reaktionsgleichungen dargestellt werden sollen (Werden beispielsweise für die Reaktion von Ethen mit Brom beide Moleküle als Edukte links vom Reaktionspfeil dargestellt? Oder wird lediglich das Ethenmolekül links vom Reaktionspfeil dargestellt und das Brommolekül als weiterer Reaktionspartner über den Reaktionspfeil geschrieben? Theoretisch wäre es auch denkbar, das Brommolekül links vor den Reaktionspfeil und das Ethenmolekül über den Reaktionspfeil zu schreiben). Im Papierformat werden aktuell alle (irgendwie) verständlichen Lösungen akzeptiert. Damit das digitale Tool die verschiedenen Lösungen ebenfalls

akzeptiert, müssen für jede Aufgabe alle denkbaren Lösungsmöglichkeiten hinterlegt werden, was mit erheblichem Aufwand verbunden ist.
Neben der Darstellung der Lösung stellen sich darüber hinaus Fragen nach dem Ziel der Aufgaben und einer damit stringenten Vergabe von (Teil)Punkten (siehe hierzu auch Schindler, 2015; Wunderlich & Szczyrba, 2016). Die Aufgabe „Formulieren Sie die Reaktionskaskaden für die Reaktion von 3,3,5-Trimethylheptan, die mit Brom bei Energiezufuhr abläuft“ erfordert im ersten Schritt, dass Studierende erkennen, dass eine radikalische Substitutionsreaktion abläuft, deren erster Schritt die Radikalbildung durch homolytische Bindungsspaltung am Brommolekül darstellt (Anforderung 1). In einer Teillösung müssen Studierende daher die homolytische Spaltung eines Brommoleküls in zwei Bromradikale bei Energiezufuhr darstellen (Anforderung 2). Obwohl die Aufgabenstellung keine Vorgaben hierzu macht, erwarten Lehrende der organischen Chemie, dass die Darstellung nicht in Textform, sondern mithilfe einer Reaktionsgleichung erfolgt. Studierende müssen daher aus den textlich gegebenen Informationen eine geeignete piktorale Repräsentation generieren (Anforderung 3). Der Aspekt der Energiezufuhr erfordert, dass Studierende Wissen darüber abrufen, welche Energieformen es gibt, welche hier relevant sind, um eine homolytische Bindungsspaltung anzuregen, und wie sie diese piktoral darstellen (Anforderung 4). Darüber hinaus wird in der organischen Chemie erwartet, dass, der Elektronenfluss über Elektronenpfeile veranschaulicht wird (Anforderung 5). Zur exakten Diagnose der Kompetenzen der Studierenden im Lernprozess erscheint ein separates Prüfen dieser Anforderungen über trennscharfe Aufgaben aus fachdidaktischer Perspektive wünschenswert. Das fachtypische Assessment über die Klausur am Ende des Semesters differenziert aber in der Regel nicht. Entweder wird ein Punkt für die vollständig korrekte Lösung vergeben (Variante 1) oder für jedes Symbol, das die Musterlösung enthält, wird ein Punkt vergeben (Variante 2, Abb. 1). Die Vergabe von Teilpunkten erfolgt dabei oft intuitiv.

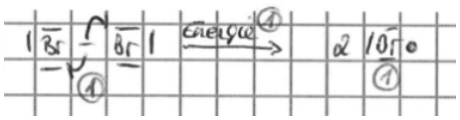


Abb. 1: Musterlösung mit Hinweisen auf Punktvergabe (Variante2).

Für die digitale Umsetzung dieser Aufgaben ist dies problematisch, da alle möglichen akzeptierten (Teil)Lösungen hinterlegt werden müssen, ihnen eine (Teil)Punktzahl zugewiesen werden muss und für Teillösungen zusätzlich geregelt werden muss, welche Kombinationen zulässig sind und in welcher Reihenfolge die studentische Eingabe hinsichtlich der hinterlegten Regeln geprüft wird. Je komplexer und unübersichtlicher das Regelwerk für die Prüfung der studentischen Lösung wird, desto fehleranfälliger wird es Mit Blick auf die sinnvolle und effiziente Digitalisierung von Prüfungen bedarf es hier daher einer Debatte über die Übungs- und Prüfungsaufgabenkultur und eine transparente Aufschlüsselung der Punktvergabe (siehe hierzu auch Schindler, 2015; Wildt & Wildt, 2011; Wunderlich & Szczyrba, 2016). Für die Digitalisierung von Reaktionsmechanismen muss zusätzlich technisch erprobt werden, wie freie Elektronenpaare und Elektronenpfeile zuverlässig ausgewertet werden können.

Literatur

Boone, W. J., Staver, J. R. & Yale, M. S. (2014). Rasch Analysis in the Human Sciences. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6857-4

Brecher, J. (2008). Graphical representation standards for chemical structure diagrams (IUPAC Recommendations 2008). Pure and Applied Chemistry, 80(2), 277–410. https://doi.org/10.1351/pac200880020277

Heller, S. R., McNaught, A., Pletnev, I., Stein, S. & Tchekhovskoi, D. (2015). InChI, the IUPAC International Chemical Identifier. Journal of cheminformatics, 7, 23. https://doi.org/10.1186/s13321-015-0068-4

Jiang, C., Jin, X., Dong, Y. & Chen, M. (2016). Kekule.js: An Open Source JavaScript Chemoinformatics Toolkit. Journal of chemical information and modeling, 56(6), 1132–1138. https://doi.org/10.1021/acs.jcim.6b00167

Johnson, C. & Priest, A. H. (2014). The Feedback Principle in Multimedia Learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), The Cambridge Handbook of Multimedia Learning (S. 449–463). Cambridge University Press.

Paas, F. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive-load approach. Journal of Educational Psychology, 84(4), 429–434. https://doi.org/10.1037/0022-0663.84.4.429

Puentedura, R. R. (2006). Transformation, Technology, and Education [SAMR-Model]. http://hippasus.com/resources/tte/puentedura_tte.pdf

Renkl, A. (2014). The Worked Examples Principle in Multimedia Learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), The Cambridge Handbook of Multimedia Learning (S. 391–412). Cambridge University Press.

Schindler, C. J. (2015). Herausforderung Prüfen: Eine fallbasierte Untersuchung der Prüfungspraxis von Hochschullehrenden im Rahmen eines Qualitätsentwicklungsprogramms.

Schüßler, K., Rodemer, M., Giese, M. & Walpuski, M. (2024). Organic chemistry and the challenge of representations: student difficulties with different representation forms when switching from paper-pencil to digital format. Journal of Chemistry Education. Vorab-Onlinepublikation. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00303

Schüßler, K., Striewe, M., Püschner, D., Lützen, A., Goedicke, M., Giese, M. & Walpuski, M. (2024). Developing and evaluating an e-learning and e-assessment tool for organic chemistry in higher education. Frontiers in Education (STEM Education). Vorab-Onlinepublikation. https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1355078

Striewe, M. (2016). An architecture for modular grading and feedback generation for complex exercises. Science of Computer Programming, 129, 35–47. https://doi.org/10.1016/j.scico.2016.02.009

Wildt, J. & Wildt, B. (2011). Lernprozessorientiertes Prüfen im „Constructive Alignment“. Ein Beitrag zur Förderung der Qualität von Hochschulbildung durch eine Weiterentwicklung des Prüfungssystems. In B. Berendt, A. Fleischmann, N. Schaper, B. Szczyrba & J. Wildt (Hrsg.), Neues Handbuch Hochschullehre. DUZ Verlags- und Medienhaus GmbH.

Wunderlich, A. & Szczyrba, B. (2016). Learning-Outcomes ‚lupenrein‘ formulieren. Zentrum für Lehrentwicklung. Lehrpfade. https://lehrpfade.th-koeln.de/so-gelingt-kompetenzorientierung-in-der-lehre/#learning-outcome

Pascal Meyer[1] [1]Universität Münster
Annette Marohn[1]

Mathematische Begriffe im Chemieunterricht verständnisorientiert vermitteln

Ausgangslage und Zielsetzung

Mathematische Begriffe wie Dichte oder Stoffmenge sind für den Chemieunterricht von zentraler Bedeutung. Eine verständnisorientierte Vermittlung erweist sich jedoch als herausfordernd: Studien beschreiben eine Vielzahl alternativer Schülervorstellungen (Grüß-Niehaus & Schanze, 2010) sowie ein mangelndes konzeptuelles Verständnis von Lernenden (Yeend, Loverude & Gonzalez, 2001). Lehrkräfte beklagen das Fehlen geeigneter Unterrichtskonzepte (Fiebig & Melle, 2001).

Das Design-Based-Research-Projekt „ma$_G$ic - mathematische Grundvorstellungen im Chemieunterricht“ begegnet diesen Herausforderungen mit einem neuen Ansatz: Dieser überträgt das mathematikdidaktische Konstrukt der *Grundvorstellungen* auf mathematische Begriffe im Chemieunterricht und verknüpft es mit dem Johnstone-Dreieck.

Grundvorstellungen sind als anschauliche Repräsentationen eines mathematischen Begriffs zu verstehen, die den Begriff in bekannten Kontexten interpretieren und damit Sinn stiften. Dadurch unterstützen sie Lernende beim Anwenden und mentalen Operieren mathematischer Begriffe (vom Hofe, 1996). Zu einem Begriff existieren stets *mehrere* Grundvorstellungen, die für ein umfassendes Verständnis des Begriffs miteinander vernetzt werden müssen (vom Hofe, 2003). Im Gegensatz zu Schülervorstellungen sind Grundvorstellungen fachlich anerkannt und haben einen normativen Charakter (Griesel, vom Hofe & Blum, 2019).

Grundvorstellungen zum Dichtebegriff

Die Übertragung des Grundvorstellungskonzepts auf die chemische Mathematik erfolgt im Projekt ma$_G$ic exemplarisch anhand des Dichtebegriffs. Auf Basis einer Literatur- und einer Schulbuchanalyse wurden insgesamt vier Grundvorstellungen zur Dichte hergeleitet und den Johnstone-Ebenen zugeordnet (Meyer & Marohn, 2024). Makroskopische Ebene: Dichte als Masse eines Einheitswürfels (Würfelvorstellung); Dichte als Maß für den Auftrieb (Auftriebsvorstellung). Submikroskopische Ebene: Dichte als Gesamtteilchenmasse eines Einheitswürfels (Teilchenvorstellung). Symbol-Ebene: Dichte als Umrechnungsgröße (Umrechnungsvorstellung).

Im Folgenden wird der Fokus auf die Vermittlung der Grundvorstellungen gelegt.

Forschungsfragen

1. In welcher Weise lassen sich Materialien zur Entwicklung der identifizierten Grundvorstellungen gestalten?
2. Inwieweit initiieren die Materialien Vorstellungsentwicklungen von individuellen Vorstellungen hin zu den normativ formulierten Grundvorstellungen?

Methodisches Vorgehen

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage wurden Lernmaterialien im Rahmen des Design-Based-Research-Ansatzes entwickelt und in fünf Erprobungen (N = 103) iterativ optimiert. Die Gestaltung der Lernmaterialien orientierte sich an 6 Design-Prinzipien (u.a.

Genetisches Lernen, Orientierung an Schülervorstellungen) sowie der Schulbuchreihe „mathewerkstatt“ (Barzel, Prediger, Leuders & Hußmann, 2011).
Zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage wurde ein Ausschnitt der entwickelten Lernmaterialien (Würfel- und Auftriebsvorstellung) mit einer 7. Klasse eines Gymnasiums (N = 26) innerhalb von 150 min erprobt. Als Datengrundlage dienten Videografien und Artefakte der Lernenden sowie ein Test im Prä-, Post-, Follow-Up-Design. Der Test bestand aus 5 offenen Items, um individuelle Vorstellungen der Lernenden erfassen zu können. Die Antworten wurden induktiv codiert, hinsichtlich ihrer Übereinstimmung mit den Grundvorstellungen bewertet und statistisch mittels Friedman-Test und paarweisen Conover-Post-Hoc-Tests (Conover & Iman, 1979) mit Bonferroni-Korrektur analysiert.

Ergebnisse

Entwickelte Lernmaterialien

Zur Vermittlung der Grundvorstellungen zur Dichte wurden 29 Arbeitsblätter, 2 Experimente und eine begleitende Website (u.a. mit 7 Simulationen) entwickelt. Die Unterrichtseinheit zur Dichte gliedert sich in 6 Phasen. Die erste Phase *Fragen* ist eine vorstellungsübergreifende Phase, in der die Lernenden anhand eines Bildes Fragen zu verschiedenen Situationen auf einem Jahrmarkt formulieren (Abb. 1). Jede Situation zielt auf eine bestimmte Grundvorstellung ab. Nach der Fokussierung auf eine Situation durch die Lehrkraft beginnt die Erarbeitung der entsprechenden Grundvorstellung in 4 Unterrichtsphasen, die exemplarisch anhand der Würfelvorstellung erläutert werden.

Abb.1: Jahrmarktbild mit verschiedenen Situationen zu den vier Grundvorstellungen.

In der Phase *Erkunden* stoßen die Lernenden auf Probleme, entwickeln eigene Lösungsideen und erproben diese. Konkret entwickeln Lernende bei der Würfelvorstellung zur Problemfrage „Wie kann man die Masse von Stoffen verhältnismäßig vergleichen?“ anhand eines Süßigkeiten-Experiments und einer Aufgabe (Abb. 2) die Lösungsidee „Man muss gleiche Volumina von Stoffen vergleichen“, die im Kern der Würfelvorstellung entspricht.

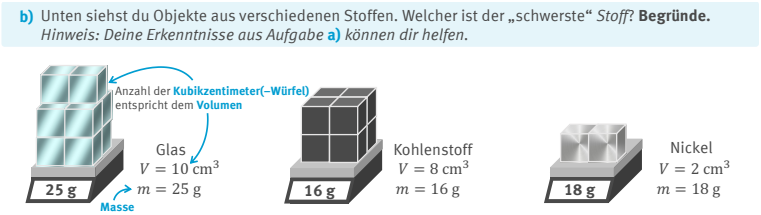


Abb. 2: Aufgabe zur Erkundung der Würfelvorstellung. Je nach verwendeter Lösungsstrategie wird hier bereits implizit die Formel zur Berechnung der Dichte entdeckt.

Dieses Vorgehen entspricht dem genetischen Lernen (Leuders, Hußmann, Barzel & Prediger, 2011), das als eines der sechs Design-Prinzipien leitend für die Gestaltung der Lernmaterialien war. In der Phase *Erschließen* wird die Lösungsidee im Plenum reflektiert und mithilfe eines Erklärvideos und begleitenden Aufgaben mit dem Dichtebegriff verknüpft. In der Phase *Sichern* werden die Grundvorstellung und weitere zentrale Erkenntnisse auf einem Merkzettel festgehalten und die formulierten Fragen zur Situation auf dem Jahrmarktbild mithilfe der Würfelvorstellung beantwortet. Abhängig vom Zeitrahmen kann die Vorstellung in der Phase *Vertiefen* durch weiterführende Aufgaben gefestigt werden. Alternativ wird eine zweite Jahrmarktsituation betrachtet und eine weitere Grundvorstellung erarbeitet. Die abschließende Phase *Vernetzen* bietet die Möglichkeit, die erarbeiteten Grundvorstellungen anhand von Aufgaben zu verbinden, zu deren Lösung mehrere Grundvorstellungen kombiniert werden müssen.

Testergebnisse

Hinsichtlich der Gesamtpunktzahlen zeigte der Friedman-Test einen signifikanten Unterschied zwischen den drei Messzeitpunkten ($\chi^2(2) = 27.40$, $p < .001$). Die anschließenden Post-Hoc-Tests zeigten, dass die Unterschiede zwischen Prä- (*Mdn* = 1) und Post-Test (*Mdn* = 5.25) ($t = 7.65$, $p_{angepasst} < .001$) sowie zwischen Prä- und Follow-Up-Test (*Mdn* = 3) ($t = 5.22$, $p_{angepasst} < .001$) höchst signifikant waren. Es konnte zudem eine Abnahme der Gesamtpunktzahl von Post- zu Follow-Up-Test festgestellt werden; dieser Unterschied war allerdings nicht signifikant ($t = 2.43$, $p_{angepasst} = .056$).

Einen qualitativen Einblick in die Vorstellungsentwicklungen bieten die die folgenden Beispiele:

- *Würfelvorstellung*: Auf die Frage, inwieweit sich die Dichte eines kleinen und großen Stück Eisens unterscheidet, antwortete S18 im Prä-Test mit „Das große Stück hat eine größere Dichte, da es schwerer ist“ und im Follow-Up-Test mit „Die Dichte bleibt gleich, da sie das Gewicht pro cm^3 angibt“.
- *Auftriebsvorstellung*: Das Schwimmen eines Holz- bzw. Gummiwürfels begründete S20 im Prä-Test mit „Da Holz ein ziemlich leichter Stoff ist und deshalb gut schwimmen kann“ und im Follow-Up-Test mit „Da die Dichte von Gummi geringer ist als die von Wasser“.

Diskussion und Ausblick

Aufgrund des signifikanten Anstiegs der Gesamtpunktzahlen zwischen Prä- und Post- sowie Prä- und Follow-Up-Test und der nicht signifikanten Leistungsabnahme zwischen Post- und Follow-Up-Test kann geschlussfolgert werden, dass die Intervention zu einem nachhaltigen Lernzuwachs führt. Da die Punkte in Bezug auf die Übereinstimmung mit den Grundvorstellungen vergeben wurden, kann zudem auf eine nachhaltige Vorstellungsentwicklung geschlossen werden. Diese Vorstellungsentwicklung wird durch die qualitativen Daten bestätigt.

Die Testergebnisse bilden ein erstes Indiz für die Wirksamkeit der entwickelten Lernmaterialien und deren Eignung zur Entwicklung der Grundvorstellungen. Im weiteren Projektverlauf werden die Testergebnisse mithilfe der Artefakte und Videografien der Lernenden trianguliert, um mögliche Erklärungsansätze für individuelle Vorstellungsentwicklungen ableiten zu können. Darüber hinaus soll mithilfe der Videos die Auswirkung spezifischer Designelemente auf die Vorstellungsentwicklung rekonstruiert werden.

Literatur

Barzel, B., Prediger, S., Leuders, T., & Hußmann, S. (2011). Kontexte und Kernprozesse – Ein theoriegeleitetes und praxiserprobtes Schulbuchkonzept. In Beiträge zum Mathematikunterricht (S. 71–74).

Conover, W., & Iman, R. (1979). Multiple-comparisons procedures. Informal report (S. 1–14). Los Alamos Scientific Lab

Fiebig, S., & Melle, I. (2001). "Problemthemen" des Chemieunterrichts in der Sekundarstufe I - gegenwärtige Situation und fachdidaktische Konsequenzen. CHEMKON, 8(4), 199–202.

Griesel, H., vom Hofe, R., & Blum, W. (2019). Das Konzept der Grundvorstellungen im Rahmen der mathematischen und kognitionspsychologischen Begrifflichkeit in der Mathematikdidaktik. Journal für Mathematik-Didaktik, 40(2), 123–133.

Grüß-Niehaus, T., & Schanze, S. (2010). Lernervorstellungen zum Dichte-Begriff. *CHEMKON*, *17*(2), 71–74.

Leuders, T., Hußmann, S., Barzel, B., & Prediger, S. (2011). „Das macht Sinn!" Sinnstiftung mit Kontexten und Kernideen. In Praxis der Mathematik in der Schule (Bd. 53, Nummer 37, S. 2–9).

Meyer, P., & Marohn, A. (2024). Mathematical Grundvorstellungen in Chemistry Education: An Approach to Understanding Chemical Mathematics Using the Example of the Concept of Density. Journal of Chemical Education, XXXX(XXX), XXX–XXX.

vom Hofe, R. (1996). Grundvorstellungen—Basis für inhaltliches Denken. Mathematik lehren, 78, 4–8.

vom Hofe, R. (2003). Grundbildung durch Grundvorstellungen. Mathematik lehren, 118, 4–8.

Yeend, R. E., Loverude, M. E., & Gonzalez, B. L. (2001). Student understanding of density: A cross-age investigation. Physics Education Research Conference Proceedings.

Benjamin Pölloth[1]
Dominik Diekemper[1]
Chiara Bosch[1]
Stefan Schwarzer[1]

[1]Universität Tübingen

Die Oktettregel: Eine produktive Ressource in Erklärungen von Schülern?

In einem Forschungsartikel berichteten wir, dass viele Schüler:innen die Oktettregel zentral in ihren Argumentationen zur Erklärung energetischer Aspekte chemischer Reaktionen verwendeten (Pölloth et al. 2023). Keith Taber, emeritierter Professor der University of Cambridge und langjähriger Editor von *Chemistry Education Research and Practice*, verfasste einen "Comment" mit folgendem Ziel: "to (i) develop this particular theme [the use of the octet rule] in a little more detail and (ii) argue for stronger implications from the reported results for directing further research" (Taber 2024). Diese wissenschaftliche Diskussion und unsere „Reply" wird in diesem Beitrag skizziert (Pölloth et al. 2024).

Hintergrund zur Ausgangsstudie. In der ursprünglichen Publikation diskutierten Schüler:innen der Oberstufe (N = 38, Oberstufe, BW) in Fokusguppen unter anderem die Frage, weshalb die in einem Video präsentierte Chlorknallgasreaktion ($H_2 + Cl_2 \rightarrow 2\ HCl$) überhaupt abläuft. Als theoretische Rahmung der Studie wurde die Ressourcen-Theorie (Hammer et al. 2005) gewählt. Um auch die Ressourcen der Schüler:innen zu untersuchen, die sie nicht spontan aktiviert hatten, wurden im Anschluss an die Fokusgruppenphase leitfadengestützte Interviews durchgeführt. Sehr häufig begründeten die Gruppen dabei den Ablauf der chemischen Reaktion im Sinne des folgenden Zitats: *"Ja, die wollen eben die Oktettregel, ähm, ja, haben, dass eben gerade die letzte Schale voll ist."*

Problemstellung. Nun stellt die Oktettregel jedoch eine unproduktive Begründung für das Ablaufen der diskutierten Reaktion dar, denn alle Edukte und Produkte weisen bereits eine Edelgaskonfiguration auf. Dennoch diskutierten 75% der Gruppen die Oktettregel während der Erhebung, 50% der Gruppen kamen bereits früh in der Fokusgruppenphase auf die Oktettregel zu sprechen. In seinem Comment betonte Taber (2024), dass es sich bei der Oktettregel lediglich um „*a heuristic or rule-of thumb*" handelt. Wir konnten dies durch eine Analyse von Fachbüchern bestätigen, in denen die Oktettregel meist nur am Rande erwähnt wird. Die Diskrepanz zwischen der fachwissenschaftlichen Bedeutung der Oktettregel und ihrer dominanten Rolle in Argumentationen von Schüler:innen ist insbesondere deshalb von Bedeutung, da die Frage „Warum läuft überhaupt eine Reaktion ab?" von Taber (2024) als *"the central notion of chemical change"* beschrieben wird. Diese zentrale Frage war für fast alle Schüler:innen in der Stichprobe sehr herausfordernd: *„[Die Frage] ist tatsächlich interessant, weil wenn wir uns sonst in der Schule Experimente angeschaut haben, dann sieht man bei einer Reaktion gleich, dass es eine Reaktion ist, und [fragt] nicht, warum die Reaktion abläuft."*

Methodik und Limitationen. Um die Frage *„Why do so many students seem to misunderstand/misapply this heuristic?"* (Taber 2024) zu beantworten, untersuchten wir, welche Muster sich bei der Verwendung der Oktettregel identifizieren lassen. Dafür führten wir eine typenbildende, qualitative Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2016) aller Textstellen mit Bezug zu „Oktettregel", „Edelgaskonfiguration" bzw. „voller (Außen-)Schalen" durch. Diese Inhaltsanalyse wurde bereits vor Tabers Comment durchgeführt. Die unabhängig gewonnenen

Kategorien zeigten eine hohe Passung mit Tabers Analyse. Als Limitation ist zu beachten, dass es sich um eine Sekundäranalyse handelt, die Daten wurden im Kontext anderer Forschungsfragen erhoben. Die qualitative Auswertung hat keinen Anspruch auf Generalisierbarkeit.

Zentrale Muster bei der Argumentation von Schüler:innen mit der Oktettregel. Zunächst werden dominante Muster in den Argumentationsketten der Schüler:innen diskutiert.
Annahme atomarer Reaktanden. Die Argumentation vieler Gruppen schien von atomaren Reaktionspartnern auszugehen. Somit wäre die Anwendung der Oktettregel erklärbar: *„Und es läuft ab, weil der Wasserstoff und das Chlor die haben beide nicht die Oktettregel erfüllt und die wollen die eben erfüllen, damit ihre Außenschale acht Elektronen hat."*
Anthropomorphe Sprache. Ein sehr dominantes Muster, das sich bei fast allen Gruppen, die die Oktettregel verwendeten, fand, war die Nutzung anthropomorpher Sprache im Zusammenhang mit der Oktettregel: *„Wenn dieses Chlor jetzt hier so eine volle Außenschale hätte, dann, ähm, ist es zufrieden. Wenn das jetzt aber hier nur noch diesen Punkt hat, also nur sieben, dann will das ja unbedingt noch eins, das heißt es sucht auch danach und ist deswegen dann instabil."* Anthropomorphe Sprache findet sich in sehr vielen internationalen Studien (Taber 2024) und wird häufig als Fehlvorstellung kategorisiert (Barke et al. 2018).
Dominanz der Oktettregel. Über die Interviews hinweg zeigte sich, dass viele Schüler:innen die Konzepte Stabilität und Edelgaskonfiguration analog verwendeten und dabei einer zirkuläre Argumentation folgten. In anderen Studien wird die Dominanz der Oktettregel dadurch deutlich, dass manche Lernende sogar Na^{7-} als stabiler als elementares Natrium beschreiben (Taber 2009).
Implikationen für die Schulpraxis. Die Ergebnisse legen nahe, dass die Oktettregel eine zu große Bedeutung in der Argumentation von Schüler:innen einnimmt. Deshalb sollte die besondere Stabilität einer Edelgaskonfiguration eher als Beobachtung vermittelt werden und nicht im Sinne eines Naturgesetzes. Dabei sollte auch der Gültigkeitsbereich deutlich auf die Bestimmung wahrscheinlicher Lewis-Strukturen und Ionisierungsstufen eingegrenzt werden (Binnewies et al. 2016). Wichtig scheint auch, solche empirisch belegten Stolperstellen im Chemieunterricht noch besser in die Ausbildung von Lehrkräften zu transferieren.

Lerntheoretische Deutung. In seinem Comment schlägt Taber (2024) eine Interpretation der Ergebnisse im Sinne eines „octet frameworks" vor. Demnach besitzen Schüler:innen ein kohärentes, fachlich falsches Wissensnetzwerk rund um die Oktettregel, auf das sie zur Konstruktion von Erklärungen zurückgreifen. Es stellt sich jedoch die Frage, ob eine solche Interpretation die tatsächlichen Denkweisen adäquat abbildet. Auch in der Biologiedidaktik werden „construals" als stabile alternative kognitive Frameworks diskutiert (Coley und Tanner 2015). Gouvea und Simon (2018) konnten jedoch zeigen, dass Schüler:innen nicht kohärent mit diesen construals argumentieren, sondern dies von der Formulierung der Items abhängt. Gouvea and Simon (2018) schlussfolgern: "*Across all […] construals, we could find ways to interpret agreement with construal-based formulations that did not necessitate claims about students holding cognitive construal frameworks."*
Auch viele kohärent klingende Argumentationen zur Oktettregel lassen sich aus einer dynamischen Sichtweise auf das Lernen erklären. Im ursprünglichen theoretischen Rahmen der Studie, dem Ressourcen-Framework (Hammer et al. 2005), wird Wissen durch verschiedene kleinteilige Ressourcen aus unterschiedlichen Kontexten charakterisiert. Je nach Kontext aktivieren Lernende verschiedene Ressourcen. Bei der Analyse von

Lernendenäußerungen stellt sich nicht primär die Fragen, ob bestimmte Wissenselemente richtig sind, sondern ob sie produktiv für das zu lösende Problem sind.

Annahme atomarer Reaktanden. Die Interpretation der Argumentationen aus der Perspektive eines kohärenten Netzwerkes erfordert es anzunehmen, dass Schüler:innen von atomar vorliegenden Reaktanden ausgehen. Eine genauere Analyse der Interviews zeigt jedoch, dass selbst die oben zitierte Gruppe Grün sich bewusst war, dass die Reaktanden molekular vorliegen: *„2: Nein, atomar tritt es nicht auf. Stimmt/ Dann hat es wahrscheinlich sieben…"* Das Problem scheint in diesem Fall eher unidimensionales fragmentiertes Denken zu sein, als ein fehlerhaftes Wissenskonzept (Grove und Bretz 2010).

Anthropomorphe Sprache. Im Zusammenhang mit der anthropomorphen Sprache zeigen sich ähnliche Ergebnisse. Eine Gruppe verwendete beispielsweise sehr dominant Animismen und das Modell einer Kugel, der eine Stück fehlt. Die Gruppe schränkte den Gültigkeitsbereich ihre Aussage jedoch wiederholt mit Begriffen ein: „*verbildlicht jetzt mit diesen Kugeln, die einfach rollen wollen […] Ist, in Anführungszeichen, zufrieden."* Es scheint, dass sich viele Schüler:innen zumindest teilweise bewusst sind, dass ihre Ausdrucksweise eine Art Modell darstellt. Die empirischen Befunde zur Verwendung anthropomorpher Sprache sind dabei widersprüchlich (Tang und Hammer 2024). Eine solche Sprache könnte z.B. auch als „Brücken-Ressource" auf dem Weg zum mechanistischen Denken verstanden werden (Tang und Hammer 2024; Püttschneider und Lück 2004). Hierzu wären weitere empirische Untersuchungen wünschenswert.

Dominanz der Oktettregel. Besonders gut lässt sich die Konstruktion von Argumentationsmustern am Beispiel der im folgenden diskutierten Gruppe aufzeigen. Ihre zuletzt formulierte Erklärung „*Die wollen eben ihre acht Außenelektronen. Und weil sie die selbst nicht haben, gehen die dann eine Bindung ein."* entspricht den zu erwartenden Folgerungen aus einem kohärenten „octet framework". Allerdings zeigt die Analyse, dass die Schüler:innen zunächst ein „explanatory vacuum" (Taber 2009) wahrnehmen: *„1: Das ist eine gute Frage, warum die miteinander reagieren."* Der Wechsel auf die submikroskopische Ebene führt die Schüler:innen dann zunächst zum Periodensystem, dieser Kontext scheint sehr schnell die Oktettregel zu aktivieren: „*3: Wasserstoff ist in der ersten Hauptgruppe und das ist ja/ Chlor ist in der […] siebten. 2: Ah und dann kann man das mit dem/ Wie heißt es? Oktettregel. 1: Ach so, ja. Ja gut.*" Trotz der Unsicherheit der Schüler:innen *(„2: Man könnte/ Aber ich weiß nicht…"*) einigen sie sich schnell darauf, dass es sich um die richtige Lösung handeln muss: „*3: Das muss doch stimmen, oder? 1: Das stimmt bestimmt.*" Das Problem scheint hier die Fokussierung der Schüler:innen auf einfache, richtige Antworten zu sein, die sie von einer multidimensionalen, reflektierten Interpretation abhält. Die Oktettregel dient als Lückenfüller, dessen Eignung nicht weiter hinterfragt wird.

Implikationen für die Forschung. Aus den diskutierten Ergebnissen lässt sich zum einen ableiten, dass grundlegende Forschung nötig ist, um zu verstehen, wie sich das „explanatory vacuum" zum Ablauf von Reaktionen füllen lässt. Ein expliziter (auch quantitativer) Fokus auf das Basiskonzept Energie scheint dabei eine wichtige Rolle zu spielen (Pölloth und Sieve 2024). Außerdem zeigt sich, dass der gewählte bildungstheoretische Rahmen entscheidend für die Interpretation der Ergebnisse ist. Deshalb sollte die Art und Weise wie Schüler:innen denken und lernen sehr viel feingliedriger und tiefgehender analysiert werden (Parnafes und diSessa 2013). Um solche Fragestellungen kontroverser diskutieren zu können, bietet es sich außerdem an, das Artikelformat von Comment und Reply in den Fachdidaktiken stärker zu nutzen.

Literatur

Barke, H.-D., Harsch, G., Kröger, S., & Marohn, A. (2018). *Chemiedidaktik kompakt.* Berlin, Heidelberg: Springer.

Binnewies, M., Finze, M., Jäckel, M., Schmidt, P., Willner, H., & Rayner-Canham, G. (2016). *Allgemeine und Anorganische Chemie.* Berlin, Heidelberg: Springer.

Coley, J.D., & Tanner, K. (2015). Relations between intuitive biological thinking and biological misconceptions in biology majors and nonmajors. *CBE life sciences education, 14*(1), ar8.

Gouvea, J.S., & Simon, M.R. (2018). Challenging Cognitive Construals: A Dynamic Alternative to Stable Misconceptions. *CBE life sciences education, 17*(2), ar34.

Grove, N.P., & Bretz, S.L. (2010). Perry's Scheme of Intellectual and Epistemological Development as a framework for describing student difficulties in learning organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice, 11*(3), 207–211.

Hammer, D., Elby, A., Scherr, R.E., & Redish, E.F. (2005). Resources, framing, and transfer. In J. Mestre (Hrsg.), *Transfer of Learning from a Modern Multidisciplinary Perspective* (S. 89–120). Greenwich, CT: Information Age Publishing.

Kuckartz, U. (2016). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung.* Weinheim: Beltz.

Parnafes, O., & diSessa, A.A. (2013). Microgenetic Learning Analysis: A Methodology for Studying Knowledge in Transition. *Human Development, 56*(1), 5–37.

Pölloth, B., Diekemper, D., Bosch, C., & Schwarzer, S. (2024). Reply to the 'Comment on "What resources do high school students activate to link energetic and structural changes in chemical reactions? – A qualitative study"' by K. S. Taber, Chem. Educ. Res. Pract. 2024, 25 https://doi.org/10.1039/D3RP00232B. *Chemistry Education Research and Practice*, 958–965.

Pölloth, B., Diekemper, D., & Schwarzer, S. (2023). What resources do high school students activate to link energetic and structural changes in chemical reactions? – A qualitative study. *Chemistry Education Research and Practice, 24*(4), 1153–1173.

Pölloth, B., & Sieve, B.F. (2024). Energie – Kaum fassbarer Begriff oder zentraler Erklärungsansatz für die Chemie? *Naturwissenschaft im Unterricht Chemie, 35*(201), 3-7.

Püttschneider, M., & Lück, G. (2004). Die Rolle des Animismus bei der Vermittlung chemischer Sachverhalte. *CHEMKON, 11*(4), 167–174.

Taber, K.S. (2009). College Students' Conceptions of Chemical Stability: The widespread adoption of a heuristic rule out of context and beyond its range of application. *International Journal of Science Education, 31*(10), 1333–1358.

Taber, K.S. (2024). Comment on "What resources do high school students activate to link energetic and structural changes in chemical reactions? – A qualitative study" by B. Pölloth, D. Diekemper and S. Schwarzer, Chem. Educ. Res. Pract. 2023, 24 1153. *Chemistry Education Research and Practice, 25*(3), 949–957.

Tang, X., & Hammer, D. (2024). "I think of it that way and it helps me understand": Anthropomorphism in elementary students' mechanistic stories. *Science Education, 108*(3), 661–679.

Madeleine Hörnlein[1]
Josef Riese[1]
Christoph Kulgemeyer[2]

[1]Universität Paderborn
[2]Universität Bremen

„Ich glaub, ich hab´s verstanden." – Verstehensillusion bei Erklärvideos

Erklärvideos sind fester Bestanteil des schulischen Lernens, auch in den Naturwissenschaften (Wolf & Kratzer, 2015). Schülerinnen und Schüler nutzen sie als kostenlose Nachhilfe oder alternative Lehrererklärung (Wolf, 2018). Zudem gibt es etablierte Videokanäle, die physikalische Themen behandeln. Oft lassen euphorische Kommentare unter den Videos vermuten, dass Lernende den Eindruck haben, den Inhalt schnell und problemlos verstanden zu haben. Vorige Untersuchungen zeigen jedoch, dass die Inhalte solcher Erklärvideos nicht immer fachlich korrekt sind und die Kommentare nicht direkt auf die tatsächliche Qualität der Videos schließen lassen (u.a. Schorn, 2022). Der subjektive Eindruck, den Inhalt verstanden zu haben, ist manchmal entkoppelt vom objektiv messbaren Verstehen. Das stellt eine Gefahr beim Lernen mit Erklärvideos dar, die in der Literatur als *Verstehensillusion* (Kulgemeyer & Wittwer, 2022) gefasst wird. Diese Studie untersucht, wie Lernaufgaben im Anschluss an Erklärvideos die lernhinderliche Verstehensillusion verringern können.

Verstehensillusion beim Lernen mit Erklärvideos

Die *Verstehensillusion* beschreibt die falsche Überzeugung, dass (1) eine Erklärung (a) eine wissenschaftlich korrekte und (b) qualitativ hochwertige Erklärung ist und (2) die Lernenden selbst (c) das Konzept verstanden haben und (d) keine weitere Erklärung benötigen (Kulgemeyer & Wittwer, 2022). Die Einschätzung der Lernenden über das eigene Verstehen kann zunächst neutral als *Verstehensüberzeugung* bezeichnet werden. Erst, wenn dies eine falsche Überzeugung ist, liegt eine *Verstehensillusion* vor, die z.B. dazu führen könnte, dass weitere Instruktion abgelehnt wird, da die Lernenden keinen Bedarf an zusätzlicher Erklärung sehen (Kulgemeyer & Wittwer, 2022). Die „Shallowing Hypothese" (Salmerón, Sampietro & Delgado, 2020) liefert eine mögliche Erklärung für dieses Phänomen. Demnach konsumieren Lernende in ihrer Freizeit soziale Medien (auch YouTube-Videos) oft auf schnelle Erfolge hin. Dies könnte dazu führen, dass auch Erklärvideos im Lernprozess oberflächlich verarbeitet werden. Bewegte Bilder und Animationen in Videos können zudem von den eigentlichen Inhalten ablenken (Salomon, 1984; Lowe, 2003; Wiley, 2019) und verstärken das Gefühl, dass der präsentierte Inhalt schnell verstanden werden könne (Laaser & Toloza, 2017). Zur Verstehensillusion konnte bisher gezeigt werden, dass diese sowohl bei fachlich richtigen als auch bei schülervorstellungsbehafteten Erklärvideos auftritt (Kulgemeyer & Wittwer, 2022) sowie ähnlich stark bei Erklärtexten (Kulgemeyer, Hörnlein & Sterzing, 2022). Das Entscheidende scheint also zu sein, dass Lernende nicht mit Erklärungen allein gelassen werden sollen (Kulgemeyer, 2019). Dies aufgreifend, sollten Erklärvideos in die aktive Wissenskonstruktion integriert und das Gelernte angewendet werden (Altmann & Nückles, 2017; Wittwer & Renkl, 2008). Die Forschung zeigt, dass das Erklären neu gelernten Inhalts dazu führen kann, sich Verständnislücken bewusst zu werden (Fernbach, Rogers, Fox & Sloman, 2013). Ein Ansatz, dies umzusetzen, sind Lernaufgaben, die zu einer realistischeren Einschätzung nach der Bearbeitung führen könnten (Milhalca, Mengelkamp, Schnotz & Paas, 2015).

Design der Studie

Diese Studie untersucht, inwiefern die Bearbeitung einer Lernaufgabe nach dem Schauen eines Erklärvideos die Verstehensillusion verringert. Kurzfristige und langfristige Effekte sowie zwei unterschiedliche Aufgabentypen (high-level vs. low-level) wurden betrachtet. Die Variablen *Verstehensüberzeugung* und *Konzeptwissen* wurden in Abhängigkeit vom Vorhandensein einer Lernaufgabe und dem Aufgabentyp in einer experimentellen Studie untersucht. Eine signifikant positive Korrelation zwischen *Verstehensüberzeugung* und *Konzeptwissen* würde auf eine realistische Selbsteinschätzung ohne Illusion hinweisen. Sonst kann auf das Vorliegen einer *Verstehensillusion* geschlossen werden.

Die Stichprobe bestand aus $N = 175$ (weiblich: 136; männlich: 25; divers: 1; k.A.: 13) Erst- und Zweitsemester-Studierenden des Grundschullehramts Sachunterricht, die größtenteils geringes Vorwissen in Physik hatten (kein Physik in Sek. II: 137; Physik in Sek. II: 27; k.A.: 11). Die Teilnehmenden wurden randomisiert auf drei Gruppen ($N_A = 35$, $N_B = 36$, $N_0 = 30$) verteilt. Die Befragungen fanden verteilt über drei Zeitpunkte zu Beginn ($N_1 = 164$), Mitte ($N_2 = 101$) und Ende ($N_3 = 56$) des Semesters statt. Für die Untersuchung wurde ein siebenminütiges Video erstellt, welches den Energiebegriff (Energiequadriga nach Duit, 2007) qualitativ erklärt. Außerdem wurden zwei Lernaufgaben erstellt. Die Aufgabe A wiederholt direkt den Videoinhalt (low-level), während Aufgabe B die Anwendung der Energiequadriga auf zwei neue Alltagsbeispiele erfordert (high-level).

Im Prätest wurden demografische Daten und das Konzeptwissen (20 Items; entnommen aus Viering, Neumann & Fischer, 2017; $\alpha = 0{,}66$) erfasst. Die Teilnehmenden schauten das Erklärvideo zum Energiebegriff auf ihren eigenen Geräten. Darauf folgte ein erster Posttest mit 14 Items zur Verstehensüberzeugung ($\alpha = 0{,}81$, z.B. „Ich habe verstanden, was Energie in der Physik ist.“), die auf einer fünfstufigen Ratingskala eingeschätzt wurden. Anschließend bearbeiteten die Teilnehmenden die ihnen zugeteilte Aufgabe für 30 Minuten. Im Posttest II wurde die Verstehensüberzeugung erneut erhoben ($\alpha = 0{,}68$). Zudem wurde der Wissenstest erneut durchgeführt ($\alpha = 0{,}67$). Die Kontrollgruppe bearbeitete Posttest II direkt im Anschluss an Posttest I und erhielt keine Aufgabe zum Thema des Videos. Im Follow-up Test (8 Wochen später) wurden erneut die Verstehensüberzeugung ($\alpha = 0{,}81$) und Wissen ($\alpha = 0{,}69$) erfasst, um Langzeiteffekte der Aufgaben zu überprüfen.

In einer zweiten Studie ein Jahr später lag der Fokus dann auf der Untersuchung der High-level-Aufgabe im Vergleich zur Kontrollgruppe. Die Stichprobe ($N = 244$) setzte sich demografisch (weiblich: 167; männlich: 22; divers: 1; k.A.: 54) und bzgl. des Vorwissens (kein Physik in Sek. II: 152; Physik in Sek. II: 41; k.A.: 51) ähnlich wie die der ersten Studie zusammen.

Ergebnisse

Sowohl die Kontrollgruppe als auch die Aufgabengruppen (gemeinsam betrachtet) haben im Posttest mehr Konzeptwissen als im Prätest, allerdings ohne signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ($F(1{,}88) = 0{,}27$; $p = 0{,}61$; $\eta^2 = 0{,}03$). Der Wissenszuwachs ist also unabhängig davon ob nur das Video oder auch eine Aufgabe bearbeitet wurde.

Die Verstehensüberzeugung (der Aufgabengruppe) nahm nach der Aufgabenbearbeitung im Vergleich zum Zeitpunkt direkt nach dem Video ab ($t(65) = 5{,}89$; $p < 0{,}001$; $d = 0{,}73$) (siehe Abb. 1). Um die Verstehensillusion zu untersuchen, wurde die Korrelation zwischen

Verstehensüberzeugung und Wissen betrachtet. Nach dem Video (Kontrollgruppe) zeigte sich keine signifikante Korrelation: $r = 0{,}04$; $p = 0{,}82$. Auch nach der Aufgabe war die Korrelation zwischen Verstehensüberzeugung und Wissen nicht signifikant ($r = 0{,}23$; $p = 0{,}07$), was darauf hindeutet, dass weiterhin eine Illusion vorliegt, jedoch mit der Tendenz zu einer realistischeren Selbsteinschätzung nach der Aufgabenbearbeitung.

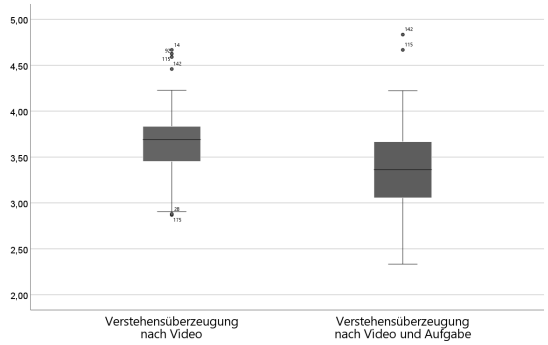


Abbildung 1: Verstehensüberzeugung für die Aufgabengruppe nach dem Video, bzw. vor der Aufgabe (links) und nach der Aufgabe (rechts).

Im Follow-up Test zeigte sich für die Aufgabengruppe dann eine signifikante Korrelation zwischen Verstehensüberzeugung und Wissen ($r = 0{,}50$; $p = 0{,}05$), was auf eine realistische Selbsteinschätzung hinweist. Dieser Effekt tritt in der Kontrollgruppe nicht auf: $r = 0{,}034$; $p = 0{,}90$. Die Einbettung durch Lernaufgaben führte also langfristig zu einer realistischeren Einschätzung des eigenen Verstehens.

Im Vergleich zwischen der High-level- und Low-level-Aufgabe nimmt die Verstehensüberzeugung bei beiden Aufgabentypen mit der Aufgabenbearbeitung ab. Die High-level-Aufgabe führt dabei zu einer stärkeren Reduktion der Verstehensüberzeugung: $F(1{,}63) = 5{,}55$; $p = 0{,}02$; $\eta^2 = 0{,}08$. Es zeigt sich keine signifikante Korrelation zwischen Verstehensüberzeugung und Wissen nach der Aufgabe, weder bei der Low-level- ($r = 0{,}17$; $p = 0{,}31$) noch bei der High-level-Aufgabe ($r = 0{,}26$; $p = 0{,}17$). Ein Unterschied zwischen den Aufgabentypen deutet sich zumindest für die Verstehensüberzeugung zwar an, ist aber für die Verstehensillusion nicht signifikant. Entscheidend scheint zu sein, dass die Lernenden überhaupt eine Aufgabe bearbeiten.

Ein Jahr später wurde die Studie wiederholt, wobei nur noch die potenziell wirksamere High-level-Aufgabe im Vergleich zur Kontrollgruppe untersucht wurde. Auch hier zeigt sich eine signifikante Abnahme der Verstehensüberzeugung nach der Aufgabenbearbeitung ($t(87) = 6{,}46$; $p < 0{,}001$; $d = 0{,}69$). Hier zeigt sich bereits eine kleine, aber signifikante Korrelation zwischen der Verstehensüberzeugung und dem Wissen nach dem Video (Kontrollgruppe): $r = 0{,}21$; $p = 0{,}05$. Nach der Aufgabe (Aufgabengruppe) ist die Korrelation stärker: $r = 0{,}36$; $p < 0{,}001$. Dies deutet darauf hin, dass die Einschätzung der Lernenden in dieser Studie nicht vollständig als Verstehensillusion anzusehen ist, aber auch in dieser Studie führen die Lernaufgaben zu einem realistischeren Selbstbild.

Die Studien zeigen, dass Lernaufgaben zu einer realistischeren Einschätzung des eigenen Wissens und Verringerung der Verstehensillusion beitragen, insbesondere bei High-level-Aufgaben und im Langzeiteffekt.

Literatur

Altmann, A. & Nückles, M. (2017). Empirische Studie zu Qualitätsindikatoren für den diagnostischen Prozess. In A. Südkamp & A.-K. Praetorius (Eds.), Diagnostische Kompetenz von Lehrkräften: Theoretische und methodische Weiterentwicklungen. Münster: Waxmann, 134-141.

Duit, R. (2007). Energie: Ein zentraler Begriff der Naturwissenschaften und des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Unterricht Physik, 18 (101), 4-7

Fernbach, P. M., Rogers, T., Fox, C. R., & Sloman, S. A. (2013). Political extremism is supported by an illusion of understanding. Psychological Science, 24(6), 939–946. https://doi.org/10.1177/0956797612464058

Kulgemeyer, C. (2019). Towards a framework for effective instructional explanations in science teaching. Studies in Science Education, 2(54), 109–139. https://doi.org/10.1080/03057267.2018.1598054

Kulgemeyer, C., Hörnlein, M., & Sterzing, F. (2022). Exploring the effects of physics explainer videos and written explanations on declarative knowledge and the illusion of understanding. International Journal of Science Education, 1–21. https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2100507

Kulgemeyer, C., & Wittwer, J. (2022). Misconceptions in Physics Explainer Videos and the Illusion of Understanding: An Experimental Study. International Journal of Science and Mathematics Education. https://doi.org/10.1007/s10763-022-10265-7

Laaser, W., & Toloza, E.A. (2017). The changing role of educational video in higher distance education. The International Review of Research in Open and Distributed Learning, 18(2).

Lowe, R. K. (2003). Animation and learning: Selective processing of information in dynamic graphics. Learning and Instruction, *13*(2), 157–176.

Mihalca, L., Mengelkamp, C., Schnotz, W. & Paas, F. (2015). Completion problems can reduce the illusion of understanding in a computer-based learning environment on genetics. Contemporary Educational Psychology. 41, 157-171. https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2015.01.001

Salmerón, L., Sampietro, A., & Delgado, P. (2020). Using Internet videos to learn about controversies: Evaluation and integration of multiple and multimodal documents by primary school students. Computers & Education, 148, 103796. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103796

Salomon, G. (1984). Television is "easy" and print is "tough": The differential investment of mental effort in learning as a function of perceptions and attributions. Journal of Educational Psychology, 76(4), 647–658.

Schorn, A. (2022). Online explainer videos: Features, benefits and effects. Frontiers in Communication. http://dx.doi.org/10.3389/fcomm.2022.1034199

Viering, T., Neumann, K., & Fischer, H. (2017). Kompetenzentwicklung Energie Test [Testinstrument: Version 1.0]. Erstanwendung 2009. Frankfurt am Main: Forschungsdatenzentrum Bildung am DIPF. https://dx.doi.org/10.7477/113:138:21

Wiley, J. (2019). Picture this! Effects of photographs, diagrams, animations, and sketching on learning and beliefs about learning from a geoscience text. Applied Cognitive Psychology, 33(1), 9–19.

Wittwer, J., & Renkl, A. (2008). Why instructional explanations often do not work: A framework for understanding the effectiveness of instructional explanations. Educational Psychologist, 43 (1), 49-64. https://doi.org/10.1080/00461520701756420

Wolf, K.D. (2018). Video statt Lehrkraft? Erklärvideos als didaktisches Element im Unterricht. Computer + Unterricht (109), 4-7.

Wolf, K., & Kratzer, V. (2015). Erklärstrukturen in selbsterstellten Erklärvideos von Kindern. In K. Hugger, A. Tillmann, S. Iske, J. Fromme, P. Grell & T. Hug (Eds.), Jahrbuch Medienpädagogik 12. Berlin: Springer, 29-44.

Lotte Hahn[1]
Thorid Rabe[1]

[1]Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Interviewstudie: Einstellungen von Lehrkräften zu Physik-Erklärvideos

Motivation & Problemstellung: „Wir suchen jetzt ein Video im Internet raus. Ich glaube, die können das alle besser erklären als ich." (Feininger.zitate, 2023) Diese von Schüler*innen im Unterricht aufgegriffene und in den sozialen Medien geteilte Aussage verdeutlicht exemplarisch die zunehmende Bedeutung von Erklärvideos für Bildungskontexte. Die Nutzung dieses Mediums ist in schulischen Bereichen bereits etabliert und sowohl Lehrkräfte als auch Schüler*innen erachten Erklärvideos als relevant (mpfs, 2020; Rat für Kulturelle Bildung, 2019; Wolf et al., 2021). Obwohl erste Studien zeigen, dass nicht jedes Erklärvideo wünschenswerten Kriterien an Erklärqualität entspricht (Eichhorn et al., 2019; Krey & Rabe, 2021; Wolf & Kulgemeyer, 2016), deutet das Zitat an, dass Lehrkräfte Erklärvideos möglicherweise mehr Erklärkompetenz zuschreiben als der eigenen Person. Ohne differenziert zwischen möglichen Qualitätsniveaus zu unterscheiden, wird im genannten Fall angenommen, dass pauschal *alle* Erklärvideos besser erklären können als diese Lehrkraft selbst. Das Zitat wirft dabei zwei zentrale Fragestellungen auf: Kann Erklärvideos im Bereich der Schulphysik tatsächlich eine hohe Erklärqualität zugeschrieben werden? Und steht das genannte Zitat für eine Einzelmeinung oder repräsentiert die Aussage eine Mehrheitsauffassung: Wie stehen (angehende) Physiklehrkräfte zu Physik-Erklärvideos?

Teilstudie 1: Analyse der Qualität von Physik-Erklärvideos: Im Dissertationsprojekt werden exemplarisch 20 Erklärvideos zu zwei thematischen Schwerpunkten (Dichte und Schall) nach spezifischen Kriterien ausgewählt und hinsichtlich der Fragestellung untersucht, welche fachliche, fachdidaktische, mediale und lernpsychologische Qualität diese aufweisen. Die fachdidaktische Qualität wird mittels eines etablierten Kriterienrasters (Kulgemeyer, 2018, 2020) auf Basis der Einschätzung von zwei unabhängigen Rater*innen (Cohens's $\kappa_{gewichtet} = 0{,}59$) erfasst. Die Analyse der medialen und lernpsychologischen Qualität basiert auf der Einschätzung der Multimediaprinzipien (Mayer, 2021) durch zwei unabhängige Rater*innen (Cohen's $\kappa = 0{,}8$).

Die Ergebnisse zeigen, dass YouTube-Erklärvideos größtenteils die Multimediaprinzipien erfüllen und somit einem gewissen Standard an multimedialer Qualität entsprechen. Allerdings sind fachliche Fehler und fachsprachliche Auffälligkeiten keine Einzelbefunde: Fast jedes zweite analysierte Erklärvideo weist, teils mehrfach, fachliche Fehler auf und ein Drittel der Videos enthält mindestens eine fachsprachliche Unsauberkeit. Die fachdidaktische Qualität der analysierten Erklärvideos ist zudem zum Teil sehr gering. Insgesamt gibt die mangelhafte Qualität Anlass, Einstellungen von (angehenden) Physik-Lehrkräften zu diesem Medium zu untersuchen.

Die Analyse von Erklärvideos anhand der verwendeten Raster erweist sich als äußerst zeitaufwendig und ist somit wenig praktikabel für den alltäglichen Unterrichtskontext. Eine quantitative Betrachtung der Anzahl (nicht) erfüllter Kriterien und Prinzipien bietet zudem keine eindeutige Aussage darüber, ob ein Erklärvideo für den Unterricht geeignet ist. Basierend auf diesen Erkenntnissen wird ein komplexitätsreduziertes Analysetool für Lehrkräfte entwickelt.

Zur Verkürzung des Analyseprozesses wird eine Gewichtung der Kriterien (Kulgemeyer, 2018, 2020) vorgeschlagen, wobei der Fokus auf jenen Merkmalen liegt, die entscheidend für die Ermöglichung von Lernprozessen und nachhaltigem Lernen sind. Ergänzende Hinweise zeigen auf, welche weiteren Kriterien ein lernförderliches Erklärvideo erfüllen sollte und wie mit Defiziten umgegangen werden kann. Die Veröffentlichung des Analysetools ist für 2025 geplant.

Teilstudie 2: Interviewbefragung zu Einstellungen bezüglich Physik-Erklärvideos: In der Studie werden angehende und praktizierende Physiklehrkräfte (N=34) in leitfadengestützten Einzelinterviews zu ihren Einstellungen bezüglich Physik-Erklärvideos befragt. Die Stichprobe setzt sich zusammen aus 23 Physik-Lehramtsstudierenden der MLU und elf Physik-Lehrkräften aus Ostdeutschland. Mittels qualitativer Inhaltsanalyse (Kuckartz & Rädiker, 2022) wird unter anderem der Beantwortung folgender Forschungsfrage nachgegangen: Welche Einstellungen in Bezug auf Erklärvideos im Kontext von Physikunterricht lassen sich bei (angehenden) Physiklehrkräften identifizieren?
Gemäß dem Multikomponentenmodell (Rosenberg & Hovland, 1960; Zanna & Rempel, 1988) haben Einstellungen eine kognitive, affektive und verhaltensbezogene Komponente. Teile der kognitiven Einstellungskomponente werden beispielsweise mit den im weiteren Verlauf vorgestellten Hauptkategorien „Relevanz von Erklärvideos“, „Potenziale von Erklärvideos“ und „Hürden bei Erklärvideos“ erfasst.

Ergebnisse: Im Folgenden werden erste Ergebnisse der bisher ausgewerteten Interviews (N=27) präsentiert, ohne eine Differenzierung zwischen den Zielgruppen (Studierende und Lehrkräfte) vorzunehmen. Die Mehrheit der befragten Personen (N=22) schreibt Physik-Erklärvideos eine Relevanz zu. Mehrere Personen begründen diese Einschätzung dabei mit der fortschreitenden Digitalisierung. Lediglich drei Personen sehen in Physik-Erklärvideos keine wesentliche Relevanz für schulische Kontexte.
Im Verlauf der Interviews wird eine Vielzahl an Potenzialen im Zusammenhang mit Physik-Erklärvideos angesprochen (Tabelle 1). Mehrere Personen heben insbesondere das Potenzial der Entlastung der Lehrkraft hervor: „Sie erleichtern meine Aufgabe, also wenn ich ein Video zeige, dann habe ich fünf Minuten, sechs Minuten Ruhe. Die Schüler fahren ein bisschen runter, um etwas zu hören. Und ich stehe ganz hinten, hinter den Schülern, damit ich kontrolliere, damit keiner sich mit etwas anderem beschäftigt und dann, dann habe ich ein bisschen Ruhe. Das hilft mir ein bisschen, ab und zu, diese Ruhephase für mich selbst im Unterricht zu haben.“ (LK8, Pos. 71) Neben der kurzen Ruhephase für die Lehrkraft sehen andere Befragte in Erklärvideos eine Entlastung durch Zeitersparnis in der Unterrichtsvorbereitung und durch Unterstützung bei Vertretungsstunden. Außerdem sehen einige der Befragten in Erklärvideos einen Selbstschutz, wenn etwas nicht erklärt werden kann. Darüber hinaus können Erklärvideo eine Entlastung darstellen, da sich Ressourcen sparen lassen, wenn Tafelbilder nicht mehr selbst angezeichnet, sondern aus Erklärvideos übernommen werden können.
Zusätzlich zu den Potenzialen werden zahlreiche Hürden im Zusammenhang mit Physik-Erklärvideos im Unterricht thematisiert. Unter der Hauptkategorie „Hürden bei Erklärvideos“ lassen sich zehn Subkategorien induktiv ergänzen. Besonders häufig wird die fehlende Flexibilität von Erklärvideos und dementsprechend die fehlende Interaktion mit der Zielgruppe angesprochen (42 codierte Segmente) sowie die schlechte Qualität von Erklärvideos (31 codierte

Segmente), welche von 17 Personen thematisiert wird. Hierbei lassen sich zwei Sichtweisen identifizieren: Drei Personen vertreten die Auffassung, dass Schüler*innen in der Lage sind, Fehler in Erklärvideos selbst zu erkennen. Die Mehrheit (N=14) geht jedoch davon aus, dass Schüler*innen, die sich selbst noch im Lernprozess befinden, nicht in der Lage sind, Fehler in Erklärvideos zu selbst identifizieren. Bei mehreren Befragten lässt sich zudem ein Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen mangelnden Qualität von Physik-Erklärvideos und dem weiteren Umgang mit Erklärvideos in Unterrichtskontexten feststellen. So empfehlen einige ihren Schüler*innen nicht uneingeschränkt, Erklärvideos zu konsumieren, sondern tendieren dazu, konkrete YouTube-Kanäle oder Videos vorzugeben.

Tabelle 1: Induktiv ergänzte Subkategorien und Anzahl der codierten Segmente der Hauptkategorie „Potenziale von Erklärvideos“

Potenziale von Erklärvideos	**Anzahl der codierten Segmente***
Selbstständig Lernen / Eigenes Tempo	53
Alternative / andere Perspektive	36
Motivation / Interesse	31
Darstellung / Veranschaulichung	24
Entlastung Lehrkraft	18
Kompakte, fokussierte Erklärung	16
Eigene Vorbereitung / Inspiration	10
Potenziale Produktion	10
Zeitersparnis	5
Geringe Hemmschwelle	4
Sonstiges	17

*Bei momentan N=27/34 ausgewerteten Interviews

Zusammenfassung und Ausblick: Die vorläufigen Ergebnisse der Interviewstudie zeigen, dass sich bei (angehenden) Physiklehrkräften voranging positive Sichtweisen auf Erklärvideos identifizieren lassen: Alle Befragten haben Physik-Erklärvideo bereits im Unterrichtskontext eingesetzt, setzen sie momentan ein oder stehen dem Einsatz offen gegenüber. Dabei wird der Einsatz trotz angesprochener Hürden auf Basis einer Vielzahl an wahrgenommenen Potenzialen begründet. Die Relevanz von Physik-Erklärvideos für schulische Kontexte wird überwiegend als hoch eingeschätzt. Dem privaten Erklärvideo-Konsum durch Schüler*innen stehen die Befragten zudem offen gegenüber, wobei viele jedoch lieber den Erklärvideokanal oder spezifische Videos vorgeben würden. Dieses Ergebnis deckt sich mit Erkenntnissen von Labude et al. (2024): Auch in dieser Studie berichten Lehrkräfte von wahrgenommenen Risiken, wenn Schüler*innen selbstständig Erklärvideos auswählen, wobei die schlechte Qualität freizugänglicher Erklärvideos nicht von allen erkannt wird.

Vermehrt äußern Befragte den Wunsch nach geprüften Erklärvideo-Sammlungen, da die Auswahl passender Erklärvideos zeitintensiv sei. Angesichts des Fehlens eines solchen Angebots und der zum Teil mangelhaften Qualität von Physik-Erklärvideos auf YouTube, erscheint es sinnvoll und notwendig, angehende und praktizierende Physiklehrkräfte weiterhin für den Umgang mit Erklärvideos zu sensibilisieren und sie zur Erstellung eigener Sammlungen zu ermutigen. Weitere Studien sollten dementsprechend darauf fokussieren, Lehrkräfte durch Anleitungen bei der Auswahl geeigneter Erklärvideos zu unterstützen und das sich in Vorbereitung befindende, komplexitätsreduzierte Analyseraster praktisch zu erproben.

Literatur

Eichhorn, A., Rabe, T., & Krey, O. (2019). Jetzt fangen die Physiker aber das Spinnen an. Kostenlose Nachhilfe auf YouTube - eine kritische Auseinandersetzung. *MNU Journal*, 408–412.

Feininger.zitate. (2023). *Wir suchen jetzt ein Video im Internet raus. Ich glaube, die können das alle besser erklären als ich. [Instagram-Post]*. https://www.instagram.com/p/Co97tZdNOjw/?igsh=NnZtazA5aWEydHk4

Krey, O., & Rabe, T. (2021). Zu Risiken und Nebenwirkungen… oder Wo ist die Packungsbeilage? Eine Analyse von Erklärvideos zur Schulphysik. In E. Matthes, S. T. Siegel, & T. Heiland (Hrsg.), *Lehrvideos – das Bildungsmedium der Zukunft? Erziehungswissenschaftliche und fachdidaktische Perspektiven* (S. 156–167). Julius Klinkhardt.

Kuckartz, U., & Rädiker, S. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (5. Aufl.). Beltz Juventa.

Kulgemeyer, C. (2018). Wie gut erklären Erklärvideos? Ein Bewertungs-Leitfaden. *Computer + Unterricht*, *109*, 8–11.

Kulgemeyer, C. (2020). Erklären im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz, & H. E. Fischer (Hrsg.), *Physikdidaktik Grundlagen* (4. Aufl., S. 403–426). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-59490-2

Labude, M., Vonschallen, S., Krüger, M., Schneider, C., & Metzger, S. (2024). Watch and Learn: Wie Schüler:innen und Lehrpersonen Erklärvideos für den Naturwissenschaftsunterricht nutzen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *30*(1). https://doi.org/10.1007/s40573-024-00172-5

Mayer, R. E. (2021). *Multimedia Learning.* (3. Aufl.). Cambridge University Press.

mpfs. (2020). *JIM-Studie 2020 Jugend, Information, Medien. Basisuntersuchung zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger*.

Rat für Kulturelle Bildung. (2019). *Jugend/YouTube/Kulturelle Bildung. Horizont 2019*. Rat für Kulturelle Bildung e. V.

Rosenberg, M. J., & Hovland, C. I. (1960). Cognitive, affective and behavioral components of attitudes. In *Attitude Organization and Change: An Analysis of Consistency among Attitude Components* (S. 1–14). Yale University Press.

Wolf, K. D., Cwielong, I. A., Kommer, S., & Klieme, K. E. (2021). Leistungsoptimierung von Schülerinnen und Schülern durch schulbezogene Erklärvideonutzung auf YouTube. Entschulungsstrategie oder Selbsthilfe? *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, *42*, 380–408. https://doi.org/10.21240/mpaed/42/2021.12.31.x

Wolf, K. D., & Kulgemeyer, C. (2016). Lernen mit Videos? Erklärvideos im Physikunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, *27*(152), 36–41.

Zanna, P. M., & Rempel, J. K. (1988). Attitudes: a new look at an old concept. In D. Bar-Tal & W. Kruglanski (Hrsg.), *The Social Psychology of Knowledge* (S. 315–334). Cambridge University Press.

Claus Bolte[1]
Robert Gieske[1]

[1]Freie Universität Berlin

Bedenkliche professionsbezogene Bedenken zur Rolle der Bildungssprache

Einleitende Überlegungen

Seit über 20 Jahren bescheinigen TIMS- und PISA-Studien dem deutschen Bildungssystem, dass es um die naturwissenschaftlichen Kompetenzen von Schüler*innen mit bildungssprachlichen Förderbedarfen schlecht bestellt ist und dass das deutsche Schulsystem offensichtlich keine geeigneten Maßnahmen ergriffen habe, die diesbezüglich Abhilfe geschafft hätten.
Forderungen nach "innovativen" Unterrichtskonzeptionen, wie beispielsweise die, durch durchgängige Sprachbildung (Gogolin & Lange 2011) die Förderung sowohl bildungssprachlicher als auch naturwissenschaftsbezogener Kompetenzentwicklungen zu forcieren, verliefen – wie es scheint – bislang weitgehend im Sand. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage: *Welche professionsbezogenen Bedenken und Einstellungen halten (angehende) Lehrer*innen eigentlich davon ab, Schüler*innen sowohl bzgl. ihrer bildungssprachlichen als auch ihrer naturwissenschaftlichen Kompetenzen im naturwissenschaftlichen Unterricht zu fördern?*

Theoretischer Hintergrund

Die gerade aufgeworfene Frage nach professionsbezogenen Bedenken und Einstellungen ist insofern relevant, als die Implementation einer Bildungsinnovation, wie u.a. Fullan (2000) betont, von der Akzeptanz, also von professionsbezogenen Überzeugungen, Bedenken und Einstellungen, der maßgeblich betroffenen Personen determiniert wird; in unserem Fall sind dies vor allem Lehrer*innen, aber auch Lehramtsstudierende, die bereits – z. T. schon während ihrer Ausbildung (oder zumindest in naher Zukunft) – naturwissenschaftlichen Unterricht erteilen (werden) (Loucks-Horsley et al. 2010).
Um professionsbezogene Einstellungen, Überzeugungen oder Bedenken von (angehenden) Lehrer*innen mit naturwissenschaftlichem Unterrichtsfach bezüglich der o. g. Frage identifizieren zu können, greifen wir auf das Stages of Concern-(SoC-)Modell von Fuller (1969) und Hall und Hord (2011) zurück. Beim SoC-Modell handelt es sich um ein theoriebasiertes und empirisch bewährtes Modell zur Analyse der Bereitschaft von Personen, administrativ verordnete Reformen zu implementieren (George et al. 2008). Theoriekonform vollzieht sich die erfolgreiche Implementation einer Innovation nach Fuller (1969) und Hall und Hord (2011) über vier Dimensionen (von „unrelated" über „self" und „task" bis „impact"). Sachlogisch betrachtet ergibt die Überlegung Sinn, dass das Modell chronologisch aneinander gereihte Phasen bzw. Stadien (englisch: „stages") professionsbezogener Überlegungen repräsentiert, die die betroffenen Akteure zunächst gedanklich und später dann faktisch durchlaufen; empirisch konnten diese Modellannahmen jedoch noch nicht durchgängig verifiziert werden (Böse et al. 2018). Zwei der vier Dimensionen wurden von Hall und Hord (2011) ausdifferenziert, sodass in den Arbeiten i. d. R. sieben unterschiedliche Stages of Concern (SoC) unterschieden werden: SoC A: Bewusstsein, SoC B: Informationsbedürfnis, SoC C: Persönliche Betroffenheit, SoC D: Aufgabenmanagement, SoC E: Auswirkungen auf Lernende, SoC F: Kooperationsbereitschaft und SoC G: Optimierung/Revision.
Das SoC-Modell wurde in verschiedenen Studien zur Untersuchung der Innovationsbereitschaft von Lehrer*innen eingesetzt (Pant et al. 2008; Oerke 2012; Kwok 2014; Pöhlmann et al. 2014; Böse et al. 2018; Teerling et al. 2018). Während Pant et al. (2008) das Modell auf

die Implementation der Nationalen Bildungsstandards im Kontext des Fremdsprachenunterrichts erfolgreich übertragen konnten, haben Kolleg*innen der Chemiedidaktik der FU Berlin den SoC-Ansatz adaptiert, um Fragen zur Implementation bestimmter Bildungsstandards in den naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern zu beleuchten. Dabei ging es maßgeblich um die Analyse professionsbezogener Überlegungen, die auf die Kompetenzbereiche Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung fokussierten (Schneider & Bolte 2013; Bolte, & Schneider 2014; Schneider, Schürmann & Bolte 2014; Schneider, Bolte & Krischer 2015; Bolte & Dreßler 2021). Eine Untersuchung zu den Implementationspotenzialen und -ressentiments bzgl. der Förderung von Schüler*innen sowohl bzgl. ihrer bildungssprachlichen als auch ihrer naturwissenschaftsbezogenen Kompetenzen wurde u. W. noch nicht betrieben.

Fragestellungen

Diese Überlegungen führen uns zu folgenden Forschungsfragen:

*1. Inwieweit zeigen sich Gemeinsamkeiten oder auch Unterschiede in den professionsbezogenen Bedenken von Lehrer*innen und Lehramtsstudierenden, wenn sie sich mit der Forderung, Schüler*innen bzgl. ihrer bildungssprachlichen und naturwissenschaftsbezogenen Kompetenzen im naturwissenschaftlichen Unterricht zu fördern, auseinandersetzen?*

2. Wie verändern sich die professionsbezogenen Bedenken und Überzeugungen von Lehramtsstudierenden mit Studienfach Chemie, sich dieser Aufgabe zu stellen, im Zuge einer Seminarreihe (Intervention)?

Methode

Den Forschungsfragen entsprechend werden wir *Lehrer*innen,* die naturwissenschaftlichen Unterricht erteilen, *und Lehramtsstudierende* mit naturwissenschaftlichem Studienfach untersuchen. Um den Einfluss der beruflichen Qualifizierung näher zu beleuchten, werden wir – soweit möglich – die Daten von *grundständig ausgebildeten Lehrer*innen und sog. Quer- bzw. Seiteneinsteiger*innen* sowie von *Lehramtsstudierenden*, die bereits in ihrer Studienzeit als *Vertretungslehrkräfte* Schüler*innen in Naturwissenschaften unterrichten, sowie *Studierende mit Fach Chemie*, die bislang noch keine vertraglich vereinbarten Unterrichtserfahrungen gesammelt haben, differenzierend betrachten. Last but not least werden wir LA-Studierende zu Beginn und zum Abschluss einer Seminarreihe befragen. Im Zuge dieser Intervention werden die LA-Studierenden sich vor allem mit der Planung von Chemieunterricht befassen, der die Förderung sowohl bildungssprachlicher als auch naturwissenschaftlicher Kompetenzen zum Ziel hat. Als Analyseinstrument dient ein von uns adaptierter SoC-Fragebogen. Die Art der gedanklichen Auseinandersetzung einer jeweiligen Teilstichprobe wird durch sog. SoC-Profile veranschaulicht (Bitan-Friedlander et al. 2004; Hall & Hord 2011; Böse et al. 2018). Zur Prüfung statistisch signifikanter Unterschiede werden u- bzw. t-Tests verwendet.

Ergebnisse

Die Stichprobe umfasst 133 Personen mit naturwissenschaftlichem Studien- bzw. Unterrichtsfach. 51 Lehrer*innen und 62 LA-Studierende (ohne Intervention) bilden die zwei "Kontrollgruppen". Außerdem liegen pre-post-Test-Daten von 20 LA-Studierenden mit Studienfach Chemie vor; sie repräsentieren die "Interventionsgruppe". Die Analysen zur Prüfung der wissenschaftlichen Güte bzgl. der vollzogenen Adaptierung des SoC-Fragebogens zeigen für alle Skalen des SoC-Modells zufriedenstellende Reliabilitätskennwerte (Cronbachs $\alpha \geq .70$). Die explorativen Faktorenanalysen führen zu theoretisch stimmigen und gut zu interpretierenden Ladungsmustern. Außerdem legen die Ergebnisse die Binnendifferenzierung der Dimension

„unrelated“ in die Skalen: „anderer Fokus“ und „Fokus Innovation/Reform“ nahe. Darüber hinaus sprechen die Ergebnisse der Faktoren- und Reliabilitätsanalysen dafür, dass eine Reduktion auf drei Items pro SoC-Skala ohne Verlust an Validität erfolgen könnte; weitere Validitätsprüfungen werden wir diesbezüglich in Angriff nehmen.

Bezüglich Forschungsfrage 1 zeigen sich – statistisch betrachtet – mehr Unterschiede als Gemeinsamkeiten bzgl. der professionsbezogenen Bedenken von Lehrer*innen und Lehramtsstudierenden, wenn sie sich mit der Forderung auseinandersetzen, Schüler*innen bzgl. ihrer bildungssprachlichen und naturwissenschaftsbezogenen Kompetenzen zu fördern; sechs der nunmehr acht SoC-Skalen werden von den beiden Teilstichproben im statistisch signifikanten Maße unterschiedlich eingeschätzt (Abb. 1).

Hinsichtlich Forschungsfrage 2 zeigen die t-Test-Analysen, dass sich die professionsbezogenen Überlegungen der LA-Studierenden im Zuge der Intervention zwar in vielen Belangen erwartungsgemäß und theoriekonform verändert haben; statistisch signifikant fallen allerdings nur die Mittelwertunterschiede des pre-post-Vergleichs bzgl. der SoC-Skala „Revision“ aus.

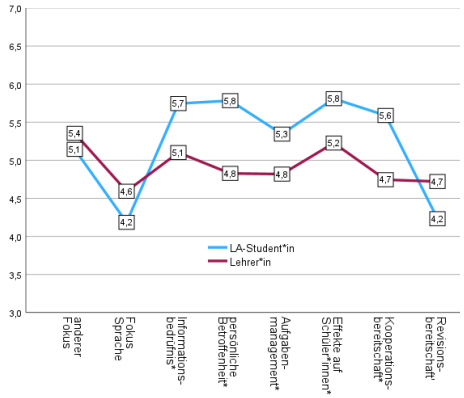


*Abbildung 1: SoC-Profile von Lehrer*innen und LA-Studierenden bzgl. der in dieser Studie untersuchten Forderung …*

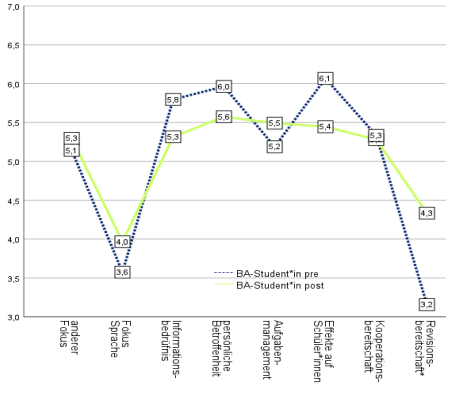


Abbildung 2: SoC-Profile von LA-Studierenden im pre-post-Test bzgl. der in dieser Studie untersuchten Forderung …

Die SoC-Profile der Teilstichproben zeigen Ähnlichkeit zu bereits identifizierten SoC-Profilen; z. B. die M-Profile der „Kooperierenden“ (Bitan-Friedlander et al. 2004) auf Seiten der LA-Studierenden im Allgemeinen (Abb. 1) und der BA-Studierenden zu Beginn der Intervention (Abb. 2). Außerdem ist das „Opponent“-Profil auf Seiten der Lehrer*innen (Abb. 1) und das Profil der „besorgten Umsetzer“ (Bitan-Friedlander et al. 2004; Böse et al. 2018) hinsichtlich der Befunde der BA-Studierenden zum Ende der Intervention (Abb. 2) wiederzuerkennen.

Fazit

Die Ergebnisse unserer Studien zu den Stages of Concern von Lehrer*innen und LA-Studierenden mit naturwissenschaftlichem Unterrichtsfach bzgl. der Forderung der durchgängigen Förderung bildungssprachlicher und unterrichtsfachspezifischer Kompetenzen sind – wie wir meinen – vielversprechend. Gleichwohl mahnen die Limitierungen weiterführende Studien ein. Dazu zählen Studien zur Frage, welchen Einfluss Unterricht von Lehrer*innen mit unterschiedlichen SoC-Profilen auf die Wahl unterrichtsrelevanter Maßnahmen ausübt und inwiefern bildungssprachliche und naturwissenschaftsbezogene Kompetenzentwicklungen auf Seiten der Schüler*innen schlussendlich zu identifizieren sein werden.

(Ausgewählte) Literatur

Böse, S., Neumann, M., Becker, M., Maaz, K., & Baumert, J. (2018). Kooperationsbereit oder Innovationsgegner? Schulleiterprofile im Kontext der Implementation von Schulreformen. *ZfE, 21*(6), 1157–1186.

Bolte, C. & Dreßler, J. (2021). Bedenken bzgl. der Förderung von Bewertungskompetenz im Chemieunterricht. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch?* (S. 689–692). Universität Duisburg-Essen. https://www.gdcp-ev.de/wp-content/tb2021/TB2021_689_Bolte.pdf

Bolte, C., & Schneider, V. (2014). Chemistry in Projects (ChiP) – An Evidence-based Continuous Professional Development Programme and its Evaluation Regarding Teacher Ownership and Students Gains. In: C. Bolte, J. Holbrook, R., Mamlok-Naaman, & F. Rauch, (Eds.). *Science Teachers' Continuous Professional Development in Europe. Case Studies from the PROFILES Project* (pp. 220-230). Freie Universität Berlin (Germany) / Alpen-Adria-Universität Klagenfurt (Austria).

Coburn, C. E. (2003). Rethinking scale: moving beyond numbers to deep and lasting change. *Educational Researcher*, *32*(6), 3-12.

Eid, M., Gollwitzer, m. & Schmitt, M. (2010). *Statistik und Forschungsmethoden*. Beltz,

Fullan, M.G. (2000). The return of large-scale reform. *Journal of Educational Change, 1*, 5-28.

Fuller, F.F. (1969): Concerns of teachers: A developmental conceptualization. *American Educational Research Journal, 6*(2), 207-226.

George, A. A., Hall, G. E., & Stiegelbauer, S. M. (2008). *Measuring Implementation in Schools: The Stages of Concern Questionnaire* (2nd ed.) Austin: Southwest Educational Development Laboratory.

Gogolin, I., & Lange, I. (2011). Bildungssprache und Durchgängige Sprachbildung. In S. Fürstenau & M. Gomolla (Hrsg.), *Migration und schulischer Wandel: Mehrsprachigkeit* (107–127). VS^

Hall, G. E., & Hord, S.M. (2011). *Implementing change: Patterns, principles, and potholes* (3rd ed.). Pearson Education.

KMK (2005). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss.* Luchterhand.

Kwok, P.-W. (2014). The role of context in teachers' concerns about the implementation of an innovative curriculum. *Teaching and Teacher Education, 38*, 44–55.

Loucks-Horsley, S., Stiles, K. E., Mundry, S., Love, N., & Hewson, P (2010). *Designing Professional Development for Teachers of Science and Mathematics*. Thousand Oaks, CA: Crowin Press.

Oerke, B. (2012). Auseinandersetzung der Lehrpersonen mit der Einführung des Zentralabiturs: Stages of Concern. In K. Maag Merki (Hrsg.), *Zentralabitur – Die längsschnittliche Analyse der Wirkungen der Einführung zentraler Abiturprüfungen in Deutschland* (207-236). VS.

Pant, H. A., Vock, M., Pöhlmann, C., & Köller, O. (2008). Offenheit für Innovationen. Befunde aus einer Studie zur Rezeption der Bildungsstandards bei Lehrkräften und Zusammenhänge mit Schülerleistungen. *ZfPäd, 54*(6), 827-845.

Pöhlmann, C., Pant, H. A., Frenzel, J., Roppelt, A., & Köller, O. (2014). Auswirkung einer Innovation auf die Auseinandersetzung und Arbeit mit Bildungsstandards bei Mathematik-Lehrkräften. *ZfE, 17*, 113–133.

Schneider, V., & Bolte, C. (2013). Stages of Concerns angehender Chemielehrer/innen hinsichtlich IBSE Unterricht. In S. Bernholt (Hrsg.). *Inquiry-based learning – Forschendes Lernen.* (197-199). IPN Kiel.

Schneider, V., Bolte, C., & Krischer, B. (2015). Stages of Concerns gegenüber Sprachsensiblen Fachunterricht. In S. Bernholt (Hrsg.), *Heterogenität und Diversität – Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen* (639-641). IPN Kiel.

Schneider, V., Schürmann, A., & Bolte, C. (2014). Professionsbezogene Einstellungen von Studierenden des Grundschullehramts zum Fach Integrierte Naturwissenschaften. In S. Bernholt (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science- und Fachunterricht* (426-428). IPN Kiel.

Teerling, A., Bernholt, A., Asseburg, R., Hasl, A., Igler, J., Schlitter, T., Ohle-Peters, A., McElvany. N., & Köller, O. (2018). Affektiv-kognitive Auseinandersetzung mit einer Innovation im Implementationsprozess – Eine modellbasierte Erfassung. *Psychologie in Erziehung und Unterricht, 66*, 33–55.

Hagen Schwanke[1]
Markus Elsholz[1]
Thomas Trefzger[1]

[1]Universität Würzburg

Augmentierte Experimente in der E-Lehre: Ein Praxistest in einem Lehr-Lern-Labor

Kurzfassung
Das Projekt PUMA: Magnetlabor untersucht den Einsatz einer eigens entwickelten Augmented-Reality(AR)-Applikation in einem Lehr-Lern-Labor. Ca. 400 Schülerinnen und Schüler der zehnten Jahrgangsstufe aus dem Raum Würzburg absolvierten ein Stationenlernen an sechs verschiedenen Schülerexperimenten zum Themenfeld Elektromagnetismus. Die für das jeweilige Experiment relevanten Visualisierungen der Magnetfeldlinien wurden entweder direkt über die AR-Applikation dem experimentellen Aufbau überlagert oder den Schülerinnen und Schülern über eine Simulation oder über statische 2D-Grafiken dargeboten. Mittels quantitativer Testinstrumente wurden als abhängige Variablen die Konstrukte situationales Interesse und Cognitive Load erhoben. Die Analyse fokussiert auf die Zusammenhänge zwischen den unterschiedlichen Darbietungsformen und den abhängigen Variablen. Der Beitrag gibt einen Überblick über die durchgeführte Studie und fasst die Ergebnisse zusammen.

Einleitung
Es gibt nur wenige quantitative Studien mit hohen Teilnehmerzahlen zu Augmented Reality (Wyss et al., 2022). AR kann genutzt werden, um theoretische Modelle direkt auf reale Experimente zu überlagern, was besonders im Physikunterricht von Vorteil ist. Experimente motivieren Lernende (Lindlahr, 2014) und helfen ihnen, ihre Hypothesen zu überprüfen. Modelle und Visualisierungen gelten dabei als lernförderlich (Kircher et al., 2020; Mikelskis-Seifert, 2004), daher ist die Kombination von AR und realen Experimenten sinnvoll. Das Design der Lernmaterialien beeinflusst die kognitive Belastung (R. E. Mayer, 2014; Sweller et al., 1998) und die Gestaltung der Lernumgebung das situationale Interesse der Schülerinnen und Schüler (Krapp, 2002; Schiefele, 2009).
Die Studie untersucht, wie verschiedene Darbietungsweisen der Visualisierung von Magnetfeldlinien das situationale Interesse und den Cognitive Load der Lernenden bei der Durchführung der ausgewählten Schülerexperimente beeinflussen. Es wird analysiert, ob die Verwendung einer AR-Applikation, die extrinsische kognitive Belastung (ECL) reduziert und die Komponenten des situationalen Interesses erhöht. Die verschiedenen Darbietungsformen werden den Lernenden ausschließlich über Tablets zur Verfügung gestellt. So soll gewährleistet werden, dass der Neuigkeitseffekt, welcher durch die Nutzung technischer Geräte entsteht, reduziert wird. Um Zeiteffekte zu reduzieren, durchlaufen alle Lernenden die drei Stationsblöcke in unterschiedlicher Reihenfolge. Dabei ergeben jeweils zwei Stationen einen Block. Nach jedem Block werden mittels eines Zwischentests die abhängigen Variablen gemessen. Das zu Grunde liegende Studiendesign wird in Schwanke et al. (2023) näher dargestellt. Die Studie startete im Dezember 2022 und endete im Februar 2024. Insgesamt liegen 396 Datensätze von Schülerinnen und Schüler der zehnten Jahrgangsstufe aus dem Raum Würzburg vor.

Forschungsfrage und Hypothesen

Mit dem Hintergrund der Cognitive Load Theory (CLT) nach Sweller et al. (1998) und dem Split-Attention Effekt nach Ayres und Sweller (2014) sollte sich durch die Verwendung der AR-Applikation und einer damit verbundenen erhöhten örtlichen Kontiguität die extrinsische kognitive Belastung reduzieren. In der Studie wird lediglich die extrinsische kognitive Belastung durch das Lernmaterial analysiert, da die intrinsische Belastung aufgrund des gleichen Inhalts gleichbleiben sollte und die lernbezogene Belastung (GCL) stark von den Belastungen durch Inhalt und Lernmaterial abhängt. Die Interessantheit eines Gegenstandes steht in direktem Zusammenhang mit dem individuellen und dem situationalem Interesse eines Lernenden (Krapp, 2002). Da sich die Lernumgebungen nur hinsichtlich der Darbietungsweise unterscheiden, wird die Interessantheit eines Gegenstandes hier mit der Art der Darbietungsmethode gleichgesetzt. Es wird überprüft, ob nach der Person-Gegenstands-Konzeption von Krapp (2002) die Verwendung einer AR-Applikation einen positiven Einfluss auf das situationale Interesse hervorruft. Das situationale Interesse gliedert sich in zwei Komponenten. Die Komponente der wertbezogenen Valenz beschreibt die persönliche Bedeutsamkeit eines Themas für das Individuum und wird in dem Testinstrument durch Items zur wertbezogenen Valenz (wert) und Items zum themenbezogenen Interesse (kon) abgebildet. Die emotionale Valenz umfasst Gefühle und Empfindungen, die eine Person einem Thema gegenüber hat und ist stark mit der ausgeführten Handlung verknüpft. Diese Komponenten werden im Fragebogen durch Items zur emotionalen Valenz (emo) und zur aktivitätsbezogenen intrinsischen Motivation (exin) gemessen. Es wird der Frage nachgegangen, ob sich bei der Verwendung einer AR-Applikation im Hinblick auf das situationale Interesse und den Cognitive Load der Lernenden ein Unterschied feststellen lässt im Vergleich zu Experimenten, die mit Simulationen oder statischen Abbildungen angereichert wurden. Konkret werden die folgenden vier Hypothesen untersucht:

H1.1. Die Verwendung von AR reduziert die extrinsische Belastung.
H1.2. Technik affine Lernende werden bei der Verwendung der AR-App geringer belastet.
H2.1. Die Verwendung von AR steigert die emotionale Valenz.
H2.2. Die Verwendung von AR steigert die wertbezogene Valenz.

Auswertung und Ergebnisse

Durch eine explorative Hauptachsen-Faktorenanalyse mittels Promax-Rotation ergaben sich die zu erwartenden Faktoren des Cognitive Load – Intrinsische Belastung (ICL), extrinsische Belastung (ECL) und lernbezogene Belastung (GCL). Das situationale Interesse teilt sich nur in zwei Faktoren (Faktor 1: emo & exin; Faktor 2: kon & wert), statt vier Faktoren auf. Diese entsprechen somit den Komponenten der wertbezogenen und emotionalen Valenz. Diese Tatsache war auch bereits mit den Daten der Vorerhebung zu beobachten, siehe Schwanke et al. (2023). Die zugrunde liegenden Skalen wiesen für alle einzelnen Messzeitpunkte eine akzeptable interne Konsistenz auf und lagen in folgenden Bereichen: α(ECL) = 0.73-0.76, α (emo) = 0.64 – 0.71, α (exin) = 0.80 – 0.84, α (wert) = 0.67 – 0.76, α (kon) = 0.81 – 0.87. In Abbildung 1 (links oben) ist zu erkennen, dass AR als Methode die extrinsische kognitive Belastung in dieser Lernumgebung nicht senkt, bzw. keine signifikanten Unterschiede zu den anderen Darbietungsweisen vorliegen. Hypothese 1.1 muss demnach verworfen werden. Wird die AR-Applikation verwendet, so lässt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Lernenden mit hoher und niedriger Technikaffinität (ATICat) beobachten ($F(1,387)=16.693$, $p = 0.041$) (siehe Abbildung 1: rechts oben). Hypothese 1.2 kann demnach bestätigt werden

und eine gesteigerte Technikaffinität reduziert die extrinsische Belastung dieser Lernumgebung. Dass AR die Möglichkeit besitzt, das situationale Interesse dieser Lernumgebung zu steigern, muss auch verworfen werden. Im Vergleich zu den beiden anderen Darbietungen steigert die Verwendung von AR weder die emotionale noch die wertbezogene Valenz. Aus den Berechnungen (ANOVA) zwischen den Gruppen und den daraus folgenden Graphen in Abbildung 1 (links und rechts unten) ist zu erkennen, dass kein signifikanter Unterschied zwischen der Art der Darstellung vorliegt. Auch im zeitlichen Verlauf sind keine signifikanten Unterschiede zu sehen. Beide Hypothesen (H2.1 und H2.2) müssen demnach verworfen werden.

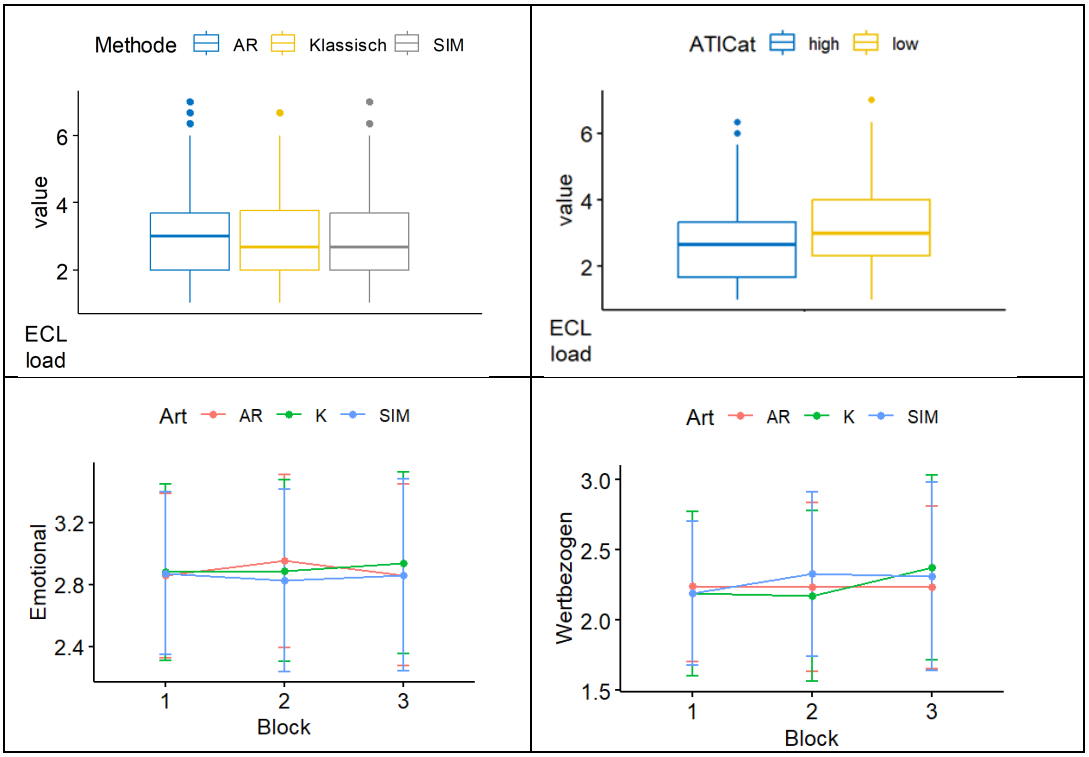


Abbildung 1: Überprüfung der Hypothesen - links oben H1.1; rechts oben H1.2; links unten H2.1; links unten H2.2

Diskussion

Auf der Jahrestagung wurden gemeinsam folgende mögliche Gründe erörtert. So könnte es sein, dass die Testinstrumente durch die lange Interventionszeit (pro Block 1h) am Ende kein präzises Bild der gemessenen Konstrukte repräsentieren können. Die Itemformulierung beider Tests ist sehr allgemein gehalten, sodass der einzige Unterschied der Lernumgebungen – die Visualisierung – durch die Teststruktur nicht detailliert genug erfasst werden kann.

Möglicherweise hat auch das Erhebungsverfahren Einfluss. Alle Testinstrumente sind via Tablet erhoben worden. Wie sich die Erhebungsmethoden zwischen „digital“ und Paper-Pencil unterscheiden, ist auch in der Literatur noch nicht abschließend geklärt (Frey & Hartig, 2013; Rothe et al., 2022).

Literaturverzeichnis

Ayres, P. & Sweller, J. (2014). The Split-Attention Principle in Multimedia Learning. In R. Mayer & R. E. Mayer (Hrsg.), *Cambridge handbooks in psychology. The Cambridge handbook of multimedia learning* (Second edition, S. 206–226). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.011

Frey, A. & Hartig, J. (2013). Wann sollten computerbasierte Verfahren zur Messung von Kompetenzen anstelle von papier- und bleistift-basierten Verfahren eingesetzt werden? *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *16*(S1), 53–57. https://doi.org/10.1007/s11618-013-0385-1

Kircher, E., Girwidz, R. & Fischer, H. E. (2020). *Physikdidaktik | Grundlagen* (4. Auflage). Springer Spektrum.

Krapp, A. (2002). Structural and dynamic aspects of interest development: theoretical considerations from an ontogenetic perspective. *Learning and Instruction*, *12*(4), 383–409. https://doi.org/10.1016/S0959-4752(01)00011-1

Lindlahr, W. (2014). Virtual-Reality-Experimente für Interaktive Tafeln und Tablets. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Naturwissenschaften. Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 90–97). Joachim-Herz-Stiftung Verlag.

Mayer, R. E. (2014). Cognitive Theory of Multimedia Learning. In R. Mayer & R. E. Mayer (Hrsg.), *Cambridge handbooks in psychology. The Cambridge handbook of multimedia learning* (Second edition, S. 43–71). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.005

Mikelskis-Seifert, S. (2004). *Erforschen, Entdecken, Erklären. Modulbeschreibungen des Programms SINUS-Transfer Grundschule. Naturwissenschaften. G2*. https://www.fachportal-paedagogik.de/literatur/vollanzeige.html?FId=1003631

Rothe, J., Visser, L., Görgen, R., Kalmar, J., Schulte-Körne, G. & Hasselhorn, M. (2022). Mobile First? Ein Vergleich von Lese-/Rechtschreibtests in traditionellem Papier-und-Bleistift-Format versus App-Format. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *25*(4), 947–973. https://doi.org/10.1007/s11618-022-01068-1

Schiefele, U. (2009). Situational and Individual Interest. In K. R. Wentzel & A. Wigfield (Hrsg.), *Educational psychology handbook series. Handbook of motivation at school* (1. publ, S. 211–236). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203879498-16

Schwanke, H., Elsholz, M. & Trefzger, T. (2023). Augmentierte Schülerexperimente in der E-Lehre: Wie förderlich ist diese Visualisierung? In Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (Hrsg.), *Frühe naturwissenschaftliche Bildung: Jahrestagung 2023* (S. 814–817). https://gdcp-ev.de/wp-content/uploads/securepdfs/2024/06/P072_Schwanke.pdf

Sweller, J., van Merrienboer, J. J. G. & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, *10*(3), 251–296. https://doi.org/10.1023/A:1022193728205

Wyss, C., Degonda, A., Bührer, W. & Furrer, F. (2022). The Impact of Student Characteristics for Working with AR Technologies in Higher Education—Findings from an Exploratory Study with Microsoft HoloLens. *Information*, *13*(3), 112. https://doi.org/10.3390/info13030112

Regina Schauer[1]
Regina Möller[1]
Markus Feser[1]
Jule Böhmer[1]
Hanne Brandt[1]
Ingrid Gogolin[1]
Dietmar Höttecke[1]

[1]Universität Hamburg

Wirkung von sprachexplizitem Physikunterricht auf fachliches Konzeptlernen

Sprachlich heterogene Schülerschaften

Die Schülerschaft in Deutschland ist sprachlich heterogen und stark mehrsprachig, z.B. haben in Hamburg ca. 54% der Schüler:innen einen Migrationshintergrund und bringen diverse Sprachen mit in den Unterricht (Türkisch 8,3 %, Dari/Farsi 5,6 %, Russisch 5,3 %, Arabisch 4,7 %, Englisch 4,3 %; Schuljahresstatistik 2023). In aktuellen Studien (PISA und anderen) hat sich gezeigt, dass die Sprachkompetenz ein wichtiger Prädiktor für den Lernerfolg in Mathematik und Naturwissenschaften ist. Dies weist darauf hin, dass das erfolgreiche Lernen von Fachinhalten stark von sprachlichen Kompetenzen abhängt (Gogolin & Lange 2011). Zwar gibt es inzwischen eine Reihe an Primäruntersuchungen, die die positive Wirkung sprachsensibler Ansätze bestätigen (Becker-Mrotzek & Woerfel, 2020; Höfler, Woerfel, Vasylyeva & Twente, 2024), aber eine valide, basierend auf einer repräsentativen Stichprobe, umfassende empirische Bewertung der Wirkung solcher Ansätze steht bislang noch aus. Daher war das Ziel des Forschungsprojekts *Physik in Kontext sprachlicher Diversität (PhyDiv),* die Wirkung von sprachexplizitem Energieunterricht (SEU), teilweise mit dem Merkmal Mehrsprachigkeit (SEUM), im Vergleich zu einem Kontrollunterricht (K) zu untersuchen (Schauer, Möller, Böhmer, Brandt & Höttecke 2024; Brandt, Böhmer, Gogolin, Höttecke, Möller & Schauer 2024). Dazu wurde ein sprachexpliziter Physikunterricht für das Thema Energie konzipiert, der fachliches und sprachliches Lernen systematisch miteinander verbindet (Schauer, Möller, Böhmer, Brandt & Höttecke 2023). Die Interventionsstudie wurde in 31 Klassen an 7 Schulen und über 6 Doppelstunden im Rahmen eines Pre-Post-Follow-up-Designs durchgeführt.

Hintergrundmerkmale der Stichprobe

Die Gesamtstichprobe bestand annährend zu gleichen Anteilen aus männlichen und weiblichen Teilnehmenden. Diese wiesen zu 80% einen Migrationshintergrund auf und nur in 24% aller Fälle war die Familiensprache deutsch. Weiterhin zeichnete unsere Stichprobe mit 54 unterschiedlichen Familiensprachen eine sehr hohe sprachliche Diversität aus.

„Upcycling“ – Entwicklung eines Testinstruments

Um die Wirkungen des Interventionsunterrichts auf das fachliche Lernen zu prüfen, wurde ein Testinstrument entwickelt, das sich sowohl aus vorliegenden – ge-„upcycelten“ – sprachlich überarbeiten Testitems als auch aus neu entwickelten Testitems zusammensetzt. Da das Testinstrument Energiewissen möglichst unabhängig vom Leseverstehen im Deutschen erfassen sollte, wurden die vorhandenen Items von Viering (2012), Michel und Neumann (2016) und Schmidt (2008) im Hinblick auf vermeidbare potenzielle sprachliche

Verstehenshürden analysiert und modifiziert. Dieses adaptierte und kombinierte Multiple-Choice Testinstrument wurde in zwei Pilotstudien optimiert und anhand von Testgütekriterien evaluiert. Die Überprüfung der Validitätskriterien *Inhaltliche Validität*, *Strukturelle Eindimensionalität*, *Externe Validität* und *Instruktionssensitivität* ergab, dass das ge-„upcycelte" Testinstrument das Energiewissen valide misst. Die Reliabilität wurde mittels IRT-Analysen mit sowohl dem ein-parametrigen Modell (1PL) als auch dem zwei-parametrigen Birnbaum Modell (2PL) berechnet und zeigte eine mit anderen Fachwissenstests vergleichbare Messgenauigkeit (1PL: EAP=0,68, WLE=0,665; 2PL: EAP=0,718, WLE=0,70; Ivanjek et al. 2021: WLE=0,62–0,75; Berger, Kulgemeyer & Lensing 2019: EAP=0,53, Schubatzky, Wackermann, Wöhlke, Haagen-Schützenhöfer, Jedamski, Lindemann & Cardinal 2023: EAP=0,56–0,78, WLE 0,34–0,62). Der qualitative Modellvergleich zwischen 1PL und 2PL ergab keine eindeutig bessere Passung zu einem der beiden IRT-Modelle. Das 1PL-Modell stellt im Vergleich zum 2PL-Modell das einfachere und leichter zu interpretierende Modell da. Hierbei entspricht der Summenscore dem Antwortverhalten der getesteten Person und somit wird die geschätzte Personenfähigkeit durch die Itemschwierigkeit vollständig determiniert (Itemhomologie). Deshalb wurden im ersten Schritt die Summenscores für Gruppenvergleiche herangezogen (Moosbrugger & Kelava, 2020).

Erste Ergebnisse

Durch die Analyse der Beobachtungsbögen, die während des Unterrichts ausgefüllt wurden, konnte gezeigt werden, dass die Unterrichtsqualität in allen Unterrichtsvarianten wie antizipiert nicht signifikant verschieden war (Classroom Management: $F(2, 28) = 1{,}15$, $p = 0{,}33$; Unterrichtsklima: $F(2,28) = 0{,}21$, $p = 0{,}81$; Motivierung und kognitive Aktivierung: $F(2, 28) = 0{,}81$, $p = 0{,}46$). Dagegen konnten signifikante Unterschiede zwischen dem sprachexpliziten Unterricht mit und ohne dem Merkmal Mehrsprachigkeit und dem Kontrollunterricht gezeigt werden (Merkmale durchgängiger Sprachbildung $F(2,28) = 47{,}19$, $p < 0{,}001$; Sprachverwendung durch die Lehrkraft: $F(2, 28) = 23{,}68$, $p < 0{,}001$; Unterrichtsinteraktion/Scaffolding: $F(2, 28) = 53{,}08$, $p < 0{,}001$).

Ein Vergleich der Differenzen der Summenscores zum Energiewissen zeigte signifikante Lernzuwächse im Pre-Post-Vergleich für alle drei Unterrichtsvarianten (d_{SEU}=0,82, d_{SEUM}=0,80, d_K d=0,77). Somit konnte bei allen drei Varianten ein signifikanter Unterschied vom Pre- zum Posttest erzielt werden. Fachliches Lernen über Energie war also in allen drei Varianten mit mittleren bis starken Effekten erfolgreich (Abb.1). Dies bestätigt die bereits durch die Beobachtungsbögen in allen Klassen detektierte vorhandene und vergleichbare gute Unterrichtsqualität.

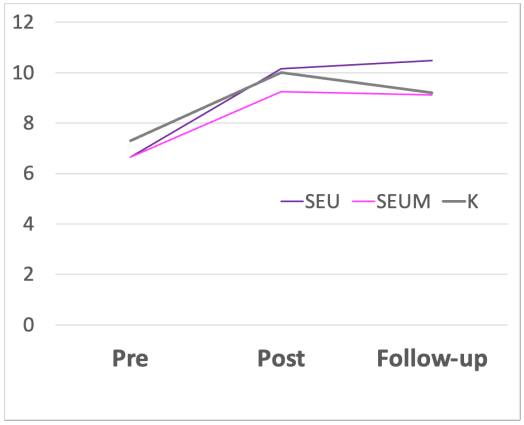


Abb.1: Summenscores der Pre-Post-Follow-up-Testung für die verbundenen SEU-, SEUM- und K-Gruppen.

Der Vergleich der Differenzen der Summenscores des Pre- und Posttests der verbundenen Stichproben (SEU vs. K und SEUM vs. K) ergab keine signifikanten Unterschiede (t-test: K vs. SEU: $t(123) = 0{,}58$, $p = 0{,}565$; K vs SEUM: $t(133) = 0{,}11$, $p = 0{,}912$; Anova ($F(2, 426) = 0{,}192$, $p < 0{,}662$). Aber der Vergleich der Ergebnisse des Pre- und Follow-up-Tests zeigte signifikante Unterschiede zwischen den SEU- und den Kontrollgruppen (Anova: $F(2, 360) = 8{,}16$, $p = 0{,}003$). Weiterhin wiesen die verbundenen K-Gruppen bei dem Follow-up-Test geringere Werte als bei dem Posttest auf. Bei den SEU- und SEUM-Gruppen blieben die Summenscores konstant und sanken nicht ab (Abb.1).

Diskussion

Im *PhyDiv-Projekt* ist es gelungen die Wirkung eines sprachexpliziten Energieunterrichts in den Varianten SEU und mit dem Merkmal Mehrsprachigkeit SEUM im Vergleich zu K anhand einer umfangreichen Stichprobe zu untersuchen (N = 607). Erste Ergebnisse zeigen, dass alle Varianten zu einem mittleren bis großen Lernzuwachs geführt haben. Im Vergleich zum K-Unterricht konnte bei dem SEU-Unterricht im Follow-up-Test ein signifikant höherer Lernzuwachs nachgewiesen werden. Dies deutet auf Vorteile des SEU-Unterrichts bezüglich nachhaltiger Lerneffekte hin. Weiterhin blieben die Follow-up Werte sowohl bei den SEU- als auch der SEUM-Gruppen im Gegensatz zu den K-Gruppen stabil, was ebenfalls auf einen nachhaltigen Effekt hinweist. Somit erzielten zwar alle drei Unterrichtsvarianten einen kurzfristigen Lerneffekt, aber die Lernwirkungen der beiden sprachexpliziten Varianten bewirkten nachhaltigeres Lernen. Im Vergleich zum Kontrollunterricht wies der SEU/SEUM-Unterricht durch Beobachtungsbögen bestätigte Merkmale durchgängiger Sprachbildung auf (Reichhaltige Diskursanregungen, Darstellungs- und Sprachvernetzung, Sprachreflexion, Makro-Scaffolding entlang eines dualen Lernpfades, Mikro-Scaffolding Gesprächsführung; Schauer, Möller, Böhmer, Brandt & Höttecke 2023). Durch die intensive diskursive Unterstützung wurde z.B. durch Sprachreflexion mit den Schüler:innen besprochen, welche unterschiedliche Bedeutung „*umwandeln*“ im Vergleich zu „*entstehen*“ oder „*erzeugen*“ hat und warum „*umwandeln*“ das Konzept der Energieumwandlung am genauesten beschreibt. Diese systematische sprachliche Auseinandersetzung mit den physikalischen Konzepten und damit einhergehender präziser Sprachgebrauch wirkte dabei lernförderlich, sowohl auf den sprachlichen als auf den fachlichen Lernzuwachs. Weiterhin wurde durch die wiederholte sprachliche Reflexion der fachlichen Konzepte eine bessere Verankerung oder Verknüpfung der fachlichen Inhalte bewirkt. Zusammenfassend deuten unsere ersten Ergebnisse darauf hin, dass sich sprachexpliziter Physikunterricht nachhaltig positiv auf fachliches Lernen auswirkt. Die geringen Effekte sind in Anbetracht der geringen Interventionsdauer akzeptabel, denn würde Sprachexplizitheit zum durchgängigen Merkmal von Physikunterricht, so wäre zu erwarten, dass sich diese Effekte über lange Zeiträume hinweg akkumulieren könnten.

Ausblick

In den nächsten Schritten wird ein Mixed-Effects-Modell unter Berücksichtigung der Pretest-Scores *Energiewissen* als feste und weitere Kontrollvariablen als zufällige Effekte untersucht. Dabei werden auch mögliche Interaktionen berücksichtigt.

Literatur

Becker-Mrotzek, M., & Woerfel, T. (2020). Sprachsensibler Unterricht und Deutsch als Zweitsprache als Gegenstand der Lehrerinnen- und Lehrerbildung. In: C. Cramer et al. (Hrsg.), Handbuch Lehrerinnen- und Lehrerbildung. Stuttgart: UTB, 98–104

Berger, R., Kulgemeyer, C., & Lensing, P. (2019). Ein Multiple-Choice-Test zum konzeptuellen Verständnis der Kraftwirkung auf Ladungsträger in statischen elektrischen und magnetischen Feldern. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 25(1), 197–210

Brandt, H., Böhmer, J., Gogolin, I., Höttecke, D., Möller, R., & Schauer, R. (2024). Physikunterricht im Kontext sprachlicher Diversität (PhyDiv). DDS – Die Deutsche Schule, 2024(2), 194–201. doi:10.31244/dds.2024.02.08

Gersch, O., Mandera, F., Berger, C., Frase, J., Haack, K., Jahncke, M. & Karimi, M. (2024). Hamburger Schulstatistik Schuljahr 2023/24. Hamburg: Freie und Hansestadt Hamburg - Behörde für Schule und Berufsbildung

Gogolin, I. & Lange, I. (2011). Bildungssprache und Durchgängige Sprachbildung. In: S. Fürstenau & M. Gomolla (Hrsg.), Migration und schulischer Wandel: Mehrsprachigkeit. Wiesbaden: VS Verlag. 107-127

Höfler, M., Woerfel, T., Vasylyeva, T. & Twente, L. (2024). Wirkung sprachsensibler Unterrichtsansätze – Ergebnisse eines systematischen Reviews. *Z* Erziehungswiss **27**, 449–495. https://doi.org/10.1007/s11618-023-01214-3

Michel, H. & Neumann, I. (2016). Nature of Science and Science Content Learning: The Relation between Students' Nature of Science Understanding and Their Learning about the Concept of Energy. Science & Education, 25(9-10), 951-975

Moosbrugger, H., & Kelava, A. (Hrsg.) (2020). Testtheorie und Fragebogenkonstruktion. Berlin, Heidelberg: Springer. doi:10.1007/978-3-662-61532-4

Schauer, R., Möller R., Böhmer J., Brandt, H. & Höttecke, D. (2023). „Energie“ – Entwicklung von sprachexplizitem Physikunterricht. In: H. van Vorst (Hrsg.), Lernen, Lehren und Forschen in einer digital geprägten Welt. Essen: GDCP, 957-960

Schauer, R., Möller R., Böhmer J., Brandt, H., & Höttecke, D. (2024). Energiewissen durch sprachexpliziten Physikunterricht fördern In: H. van Vorst (Hrsg.), Frühe Naturwissenschaftliche Bildung (S. 957–960). Hamburg: GDCP, 150–153

Schmidt, M. (2008). Kompetenzmodellierung und -diagnostik im Themengebiet Energie der Sekundarstufe I - Entwicklung und Erprobung eines Testinventars. In: H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth, Studien zum Physik- und Chemielernen**,** Band 87. Berlin: Logos

Schubatzky, T., Wackermann, R., Wöhlke, C., Haagen-Schützenhöfer, C., Jedamski, M., Lindemann, H.K. & Cardinal, K. (2023). Entwicklung des Concept-Inventory CCCI-422 zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 29(10), 1-23

Viering, T.A. (2012). Entwicklung physikalischer Kompetenz in der Sekundarstufe I - Validierung eines Kompetenzentwicklungsmodells für das Energiekonzept im Bereich Fachwissen. In: H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth, Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 138. Berlin: Logos

Rebecca Möller[1]
Dietmar Höttecke[1]

[1]Universität Hamburg

Nutzung der Mehrsprachigkeit im sprachexpliziten Unterricht

Obwohl ein großer Teil der Schüler:innen in Deutschland mehrsprachig aufwächst, findet fachliches Lehren und Lernen in der Regel ausschließlich in der Unterrichtssprache Deutsch statt. Während monolingual Deutsch aufwachsende Schüler:innen ihr sprachliches Repertoire voll ausschöpfen können, benachteiligt der monolinguale Habitus (Gogolin, 2008) der deutschen Schule mehrsprachige Schüler:innen, indem die Verwendung anderer Sprachen als Deutsch explizit oder implizit verboten wird. Dabei herrscht in der Bildungswissenschaft Einigkeit über die Notwendigkeit, Mehrsprachigkeit als eine Ressource für das Lernen zu betrachten, um bessere Lernbedingungen und soziale Gerechtigkeit für mehrsprachige Schüler:innen zu schaffen (García & Leiva, 2014; Gogolin & Duarte, 2016; Karlsson et al., 2019; Lemmi & Pérez, 2023; Tajmel, 2021). Obwohl das Forschungsfeld der Mehrsprachigkeit im Bildungskontext auf eine lange Geschichte zurückblicken kann, steht die Forschung in der naturwissenschaftlichen Bildung noch am Anfang (Lemmi & Pérez, 2023) – dies gilt insbesondere für den deutschsprachigen Raum.

Forschungsdesign & -methode

Im Rahmen des Forschungsprojekts „PhyDiv-Mikro“ (Mikro-Perspektiven auf Physikunterricht im Kontext sprachlicher Diversität) wurde eine explorative Fallstudie durchgeführt, welche die Nutzung von Mehrsprachigkeit durch Schüler:innen mit Deutsch und Türkisch als Familiensprachen untersucht. Das Forschungsvorhaben ist Teil des DFG-geförderten Projekts „PhyDiv“ (Physikunterricht im Kontext sprachlicher Vielfalt), welches an Hamburger Stadtteilschulen in sozial benachteiligten Stadtteilen umgesetzt wurde (Brandt et al., 2024; Möller & Höttecke, 2023). Hierfür wurde in der Klassenstufe 9 in drei unterschiedlichen Varianten Unterricht zum Thema Energie durchgeführt, wobei eine von diesen Varianten den Einbezug von Mehrsprachigkeit in den Unterricht vorsah (Brandt et al., 2024). Von den insgesamt 9 Klassen, die diese Art von Unterricht erhielten, wurden für die Fallstudie von PhyDiv-Mikro zwei ausgewählt. Auswahlkriterien waren, dass die Klassen an der gleichen Schule von der gleichen PhyDiv-Lehrkraft unterrichtet werden, um Schul- oder Lehrkrafteffekte zu vermeiden. Weiterhin mussten genügend Schüler:innen mit Videoerlaubnis vertreten sein, da das Sprachnutzungsverhalten anhand von Videomaterial untersucht werden sollte. Als Datengrundlage ergaben sich schließlich Videodaten von 4 Schüler:innengruppen mit den Familiensprachen Deutsch und Türkisch (Tab. 1). Die meisten haben mit dem Deutschspracherwerb im Kindergartenalter (2-5 Jahre) begonnen; spätestens mit dem Grundschulalter (6-9 Jahre). Weiterhin haben einige von ihnen Türkisch als Unterrichtsfach in der Schule.

Tabelle 1: Hintergrunddaten zu den untersuchten Schüler:innengruppen des Forschungsprojekts PhyDiv-Mikro

Gruppe	Pseu-donym	Ge-schlecht	Alter bei Beginn Deutsch-spracherwerb	Unterricht im Türkischen	Familien-sprache(n) neben Deutsch
A	Noyan	m	Ca. 2-5 Jahre	Nein	Türkisch
	Tarik	m	Ca. 2-5 Jahre	Ja	Türkisch
	Yunus	m	Von Anfang an	Nein	Türkisch
B	Manolya	w	Ca. 2-5 Jahre	Ja	Türkisch
	Ijulia	w	Ca. 6-9 Jahre	Ja	Türkisch/ Bulgarisch
	Semiha	w	Von Anfang an	Nein	Türkisch
C	Ajda	w	Ca. 2-5 Jahre	Nein	Türkisch
	Ferida	w	Ca. 2-5 Jahre	Ja	Türkisch
D	Aslan	m	Ca. 2-5 Jahre	Ja	Türkisch
	Bilge	m	Ca. 2-5 Jahre	Ja	Türkisch

Die Schüler:innengruppen aus Tabelle 1 wurden über 6 Unterrichtsstunden hinweg im Unterricht gefilmt. Während des Unterrichts wurden sie explizit dazu ermutigt, in Gruppenarbeitsphasen ihr gesamtes sprachliches Repertoire zu nutzen. Die Lehrkraft selbst war nicht mehrsprachig und Plenumsphasen sowie Arbeitsmaterialien wurden ausschließlich auf Deutsch realisiert.

Die Videodaten wurden in einem Mixed-Method-Design hinsichtlich des Sprachnutzungsverhaltens analysiert. In einem ersten Schritt wurde für die Gruppenarbeitsphasen quantitativ ermittelt, welchen Anteil das Türkische im Vergleich zum Deutschen an den Gruppengesprächen einnimmt. Daran anknüpfend wurde qualitativ untersucht, in welchem Kontext (on-task, off-task, mixed; Barnes, 1999; Duarte, 2019) und für welche interaktionalen Funktionen (Hennessy et al., 2016, 2020) die Familiensprachen in der Lernenden-Lernenden-Interaktion genutzt werden. Im Rahmen dieses Tagungsbandbeitrages werden die Ergebnisse der quantitativen Videoanalyse präsentiert.

Ergebnisse der quantitativen Videoanalyse

Abbildung 1 zeigt den durchschnittlichen Prozentanteil der jeweiligen Sprachen an der gesamten sprachlichen Interaktion innerhalb der Gruppenarbeitsphasen für die vier Gruppen A-D. Demnach verwenden alle Schüler:innengruppen Türkisch in den Gruppenarbeitsphasen, wobei das Deutsche mit einem Prozentanteil von ca. 95-85 % stark präferiert wird. Der Anteil der Türkischnutzung unterscheidet sich stark zwischen den Gruppen. Während Gruppe A und C das Türkische mit maximal 5% kaum nutzen, erreicht das Türkische in Gruppe B und D einen Anteil von bis zu 15% an der gesamten sprachlichen Interaktion.

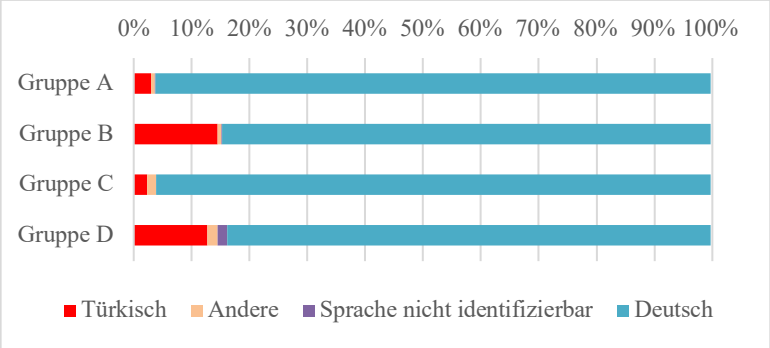


Abbildung 1: Prozentualer Anteil der jeweiligen Sprachen an der gesamten sprachlichen Interaktion in den Gruppenarbeitsphasen.

Ein möglicher Erklärungsansatz hierfür ist, dass in Gruppe B und D mehrere Schüler:innen mit Türkisch als Unterrichtsfach vertreten sind. Angenommen werden kann daher, dass die Schüler:innen eher an die Türkischnutzung in formalen Unterrichtssettings gewöhnt sind und möglicherweise auch über eine höhere Sprachkompetenz verfügen. Darüber hinaus nutzen alle Gruppen weitere Sprachen, welche unter „Andere“ zusammengefasst sind. Hierzu gehören vor allem Englisch und Fremdsprachen wie Spanisch oder Französisch, welche die Schüler:innen in der Schule lernen.

Diskussion & Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass sich mehrsprachige Ressourcen in einem sprachlich diversen Unterrichtssetting aktivieren lassen, auch wenn die Lehrkraft selbst nicht mehrsprachig ist. Der Anteil der Türkischnutzung fällt im Vergleich zum Deutschen jedoch gering aus. Dies ist vor dem Hintergrund des monolingualen Habitus (Gogolin, 2008) und der Tatsache, dass die Schüler:innen einen Großteil ihrer Bildungsbiografie in Deutschland verbracht haben, als erwartbares Ergebnis zu betrachten. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass sich das Scaffolding der Mehrsprachigkeitsnutzung auf eine explizite Ermutigung zur Nutzung beschränkte. Beachtenswert ist allerdings, dass formale Bildung im Türkischen die Sprachnutzung im Unterricht zu beeinflussen scheint. Dieser Beobachtung wird im Rahmen der qualitativen Analysen von PhyDiv-Mikro weiter nachgegangen.

Literaturverzeichnis

Barnes, M. (1999). Cumulative and exploratory talk in collaborative learning classroom. *Proceedings of the 22nd Conference of the Mathematics Education Research Group of Australasia*, 53–59.

Brandt, H., Böhmer, J., Gogolin, I., Höttecke, D., Möller, R., & Schauer, R. (2024). *Physikunterricht im Kontext sprachlicher Diversität (PhyDiv)*. *2*, 194–201. https://doi.org/10.31244/dds.2024.02.08

Duarte, J. (2019). Translanguaging in mainstream education: A sociocultural approach. *International Journal of Bilingual Education and Bilingualism*, *22*(2), 150–164. https://doi.org/10.1080/13670050.2016.1231774

García, O., & Leiva, C. (2014). Theorizing and Enacting Translanguaging for Social Justice. In A. Blackledge & A. Creese (Hrsg.), *Heteroglossia as Practice and Pedagogy* (S. 199–216). Springer.

Gogolin, I. (2008). *Der monolinguale Habitus der multilingualen Schule* (2. Aufl.). Waxmann Verlag GmbH. https://doi.org/10.31244/9783830970989

Gogolin, I., & Duarte, J. (2016). Superdiversity, Multilingualism, and Awareness. In J. Cenoz, D. Gorter, & S. May (Hrsg.), *Language Awareness and Multilingualism* (S. 1–16). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02325-0_24-2

Hennessy, S., Howe, C., Mercer, N., & Vrikki, M. (2020). Coding classroom dialogue: Methodological considerations for researchers. *Learning, Culture and Social Interaction*, *25*, 100404. https://doi.org/10.1016/j.lcsi.2020.100404

Hennessy, S., Rojas-Drummond, S., Higham, R., Márquez, A. M., Maine, F., Ríos, R. M., García-Carrión, R., Torreblanca, O., & Barrera, M. J. (2016). Developing a coding scheme for analysing classroom dialogue across educational contexts. *Learning, Culture and Social Interaction*, *9*, 16–44. https://doi.org/10.1016/j.lcsi.2015.12.001

Karlsson, A., Nygård Larsson, P., & Jakobsson, A. (2019). Multilingual students' use of translanguaging in science classrooms. *International Journal of Science Education*, *41*(15), 1–21. https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1477261

Lemmi, C., & Pérez, G. (2023). Translanguaging in elementary science. *International Journal of Science Education*, 1–27. https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2185115

Möller, R., & Höttecke, D. (2023). Sprachexpliziter Physikunterricht – Vignetten für die Lehrerbildung. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, Lehren und Forschen in einer digital geprägten Welt.* (Bd. 43, S. 953–956).

Tajmel, T. (2021). Modelling the Human Rights Approach to Science Education. In T. Tajmel, K. Starl, & S. Spintig (Hrsg.), *The human rights-based approach to STEM education* (S. 61–78). Waxmann.

Robert Gieske[1]
Claus Bolte[1]

[1]Freie Universität Berlin

Zusammenhänge zwischen fachsprachlichen und kommunikativen Kompetenzen

Schüler*innen sollen mit dem Erreichen des mittleren Schulabschlusses über naturwissenschaftliche Grundbildung verfügen und dementsprechend Kompetenzen in den Bereichen Sach-, Erkenntnisgewinnungs-, Kommunikations- und Bewertungskompetenz entwickelt haben (KMK, 2024, S. 7). Der Bereich der Kommunikationskompetenz umfasst u. a. Fähigkeiten und Fertigkeiten des Erschließens, Aufbereitens und Austauschens von Informationen und beschreibt beispielsweise die Verwendung von Alltags-, Fach- und Formelsprache sowie die adressatenbezogene Präsentation von Informationen als zentrale Bedingungen naturwissenschaftsbezogener Kommunikation (KMK, 2024, S. 12). Die aktive Verwendung verschiedener sprachlicher Register (wie Alltags- und Fachsprache) und die bewusste Orientierung der Kommunikation an der adressierten Person beim Schreiben chemiebezogener Sachtexte stellt Schüler*innen vor vielseitige Herausforderungen (Ziepprecht et al., 2017). Um diesen Herausforderungen systematisch begegnen zu können, verfolgen wir mit dieser Forschungsarbeit das Ziel, die Kompetenzen von Schüler*innen im Bereich adressatenorientierter, chemiebezogener Kommunikation im Sinne einer Bestandsaufnahme zu untersuchen.

Theoretische Rahmung und Forschungsfragen

Wie die produktive Kommunikation von Informationen im naturwissenschaftlichen Unterricht modelliert werden kann, haben Kulgemeyer und Schecker (2009) für die Physikdidaktik ausgearbeitet. In ihrem konstruktivistischen Kommunikationsmodell unterscheiden sie die Kommunikationshaltungen „adressatengemäß“ und „sachgerecht“, wobei Botschaften einer Senderin/eines Senders im schulischen Kontext oft zwischen beiden Haltungen – quasi auf einer Art Kontinuum – zu verorten sind (Kulgemeyer & Schecker, 2009, S. 139–140). Verwendet eine Lehrperson gegenüber ihren Schüler*innen beispielsweise sehr viele fachsprachliche Äußerungen, so ist die Botschaft zwar sehr „sachgerecht“; für die Schüler*innen aber möglicherweise nicht besonders verständlich und daher nicht unbedingt „adressatengemäß“ (Kulgemeyer & Schecker, 2009).

Becker-Mrotzek et al. (2014, S. 22) verstehen unter Adressatenorientierung eine Teilfähigkeit kommunikativer (Schreib-)Kompetenz, bei der thematisches Vorwissen, Erwartungshaltungen und/oder Verständnisvoraussetzungen der Empfängerin/des Empfängers antizipiert und berücksichtigt werden. In Anlehnung an das konstruktivistische Kommunikationsmodell von Kulgemeyer und Schecker (2009, 2012) haben Sender*innen grundsätzlich die Möglichkeit, vier Aspekte gezielt zu variieren, um Informationen möglichst adressatenorientiert zu kommunizieren; nämlich: den Sachinhalt, die Sprachebene (Code), den Kontext und die Darstellungsform. Befunde zu adressatenorientierter Kommunikation im Unterricht, vor allem aus schreibdidaktischen Forschungsarbeiten, belegen, dass Adressatenorientierung eine zentrale Komponente von Textqualität bildet (Becker-Mrotzek et al., 2014; Feilke, 2017) und dass das Schreiben eines Textes an gleichaltrige Adressat*innen i. d. R. zu einer höheren Textqualität führt als das Schreiben an eine Lehrkraft (Linnemann, 2014; Nussbaumer, 1991).

Darüber hinaus fördert adressatenorientiertes Schreiben sowohl die Fähigkeit zur Perspektivenübernahme (Becker-Mrotzek et al., 2014; Kulgemeyer & Schecker, 2013) als auch die des Umgangs mit Fachsprache (Becker-Mrotzek et al., 2014; Kulgemeyer & Schecker, 2012). Mit Blick auf die vielversprechenden Befunde zum Nutzen adressatenorientierter Kommunikation und der bislang eher punktuellen Erforschung von Adressatenorientierung im Rahmen chemiebezogener Kommunikation, zielt unsere Untersuchung auf folgende Forschungsfragen ab:

- Inwieweit sind Schüler*innen der Sekundarstufe I in der Lage, Adressatenorientierung auf der Sprachebene in chemiebezogenen Sachtexten herzustellen?
- In welchem Maße hängt die Fähigkeit zur adressatenorientierten Kommunikation über chemiebezogene Sachverhalte mit den Kompetenzen der Schüler*innen in der Bildungssprache Deutsch zusammen?

Forschungsdesign und Methode

Zur Gewinnung adressatenorientierter Schreibprodukte werden zwei offene Aufgaben eingesetzt, die von den Schüler*innen inhaltlich die Bearbeitung des gleichen Arbeitsauftrags verlangen. So sollen sie den Lösevorgang von Kochsalz in Wasser auf der submikroskopischen Ebene schriftlich erklären und ihre Erklärungen an zwei unterschiedliche Adressat*innen richten; nämlich einerseits an einen Chemielehrer und andererseits an eine Freundin (Gieske, Freudenberg, & Bolte, 2024, S. 851). Damit sich die beteiligten Schüler*innen hinsichtlich ihres Fachwissens und der entsprechenden Fachterminologie auf einem möglichst vergleichbaren Niveau bewegen, findet die Datenerhebung am Ende einer Unterrichtsreihe zum Aufbau von Salzen und zum Lösevorgang von Salzen in Wasser statt (Gieske, Streller, & Bolte, 2024). Außerdem bearbeiten die Schüler*innen einen C-Test (IfBQ Hamburg, 2008), mit dessen Hilfe die Kompetenzen hinsichtlich des bildungssprachlichen Registers zu erfassen sind.

Die Texte der Schüler*innen werden qualitativ-inhaltsanalytisch mithilfe eines eigens entwickelten Kategoriensystems kodiert (Gieske, Freudenberg, & Bolte, 2024; Mayring, 2022). Die Analysen fokussieren auf Merkmale auf der Wortebene (Terminologie, Komposita, Proformen), der Satzebene (Nebensatz- und Passivkonstruktionen, Attribution, persönliche Ausdrucksweisen) und auf solche der Textebene (Textlänge, Satzanzahl). Bezüglich der Terminologie unterscheiden wir für die Analyse der Texte solche Termini, die im Rahmen der Unterrichtsreihe neu erarbeitet werden (Gieske, Streller, & Bolte, 2024) von solchen, die den Schüler*innen bereits vor der Unterrichtsreihe geläufig waren. Nach der Kodierung der Schüler*innentexte mithilfe des Programmes MAXQDA werden die Kategorienbelegungen pro Text ausgezählt. Statistische Vergleiche zwischen den Texten an den Lehrer und denen an die Freundin erfolgen mittels Regressionsanalysen und t-Tests. Die Kompetenzen der Schüler*innen in der Bildungssprache Deutsch werden als Kontrollvariable in die Regressionsmodellierungen aufgenommen.

Stichprobe und Ergebnisse

Im Zuge der Analysen wurden 336 Texten von 168 Schüler*innen ausgewertet. Von jeder Schülerin und jedem Schüler wurde jeweils ein Text an den Chemielehrer und ein Text an die Freundin inhaltsanalytisch untersucht. Im Mittel umfassen die Texte an die Freundin etwas mehr Wörter pro Text (61,85) als die Texte an den Lehrer (60,13). Pro Text sind durchschnittlich 8,42 Teilsätze an die Freundin und 8,17 Teilsätze an den Lehrer gerichtet. t-Test-

Vergleiche für diese beiden Kategorien zur Bestimmung von Adressatenorientierung führen zu keinen statistisch signifikanten Unterschieden.

Die Analysen zur Verwendung bestimmter Termini verdeutlichen, dass in den Texten an die Freundin deutlich häufiger bereits geläufige Termini (bgT) (3,02 bgT/Text) zu identifizieren sind als in den Texten an den Lehrer (1,94 bgT/Text). Hinsichtlich der in der Unterrichtsreihe explizit neu erarbeiteten Termini (neT; wie Ionenbindung, Kristallgitter und Hydratation) zeigt sich, dass diese in den Texten an den Lehrer mehr als doppelt so häufig verwendet wurden (3,51 neT/Text) als in den Texten an die Freundin (1,64 neT/Text). Die Unterschiede fallen für beide Arten von Termini statistisch signifikant ($p < 0{,}001$) aus. Die Untersuchungen auf der Satzebene weisen ebenfalls statistisch signifikante Unterschiede auf. So sind Komposita und Passivkonstruktionen in statistisch signifikanter Weise häufiger in den Texten an den Lehrer zu finden, während persönliche Ausdrucksweisen und erweiterte Nominalphrasen in statistisch signifikantem Maße häufiger in den Texten an die Freundin verwendet werden. Der Einfluss der Kompetenzen in der Bildungssprache Deutsch lässt sich durch Regressionsmodelle nachzeichnen. Je höher der C-Test-Score der Schüler*innen ausfällt, desto adäquater, also adressatenorientierter, verwenden die Schüler*innen die bereits geläufigen und neu erarbeiteten Termini. Die entsprechenden Korrelationen fallen für bgT in Texten an die Freundin und für neT in Texten an den Lehrer statistisch signifikant aus (s. Abb. 1 und 2).

*Abb. 1. Anzahl bereits geläufiger Termini in den Texten an die Freundin in Abhängigkeit vom C-Test-Score der Schüler*innen.*

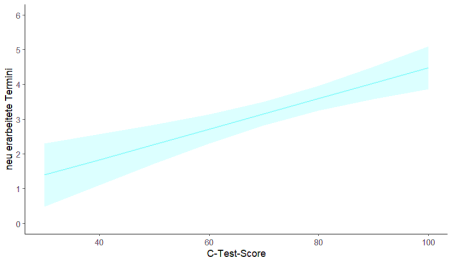


*Abb. 2. Anzahl neu erarbeiteter Termini in den Texten an den Lehrer in Abhängigkeit vom C-Test-Score der Schüler*innen.*

Diskussion und Fazit

Die hier vorgestellte Bestandsaufnahme zur Einschätzung der Fähigkeit von Schüler*innen, Adressatenorientierung in chemiebezogenen Sachtexten herzustellen, zeigt, dass mit Blick auf die adressierte Person vor allem Merkmale auf der Wortebene und z. T. auf der Satzebene systematisch variiert werden. Dass die Schüler*innen vor allem die Terminologie gezielt verwenden, je nachdem ob sie ihren Chemielehrer oder ihre Freundin adressieren, lässt sich möglicherweise auf den expliziten Fokus der sprachsensiblen Unterrichtsreihe hinsichtlich der Erarbeitung neuer Fachkonzepte und -termini zurückführen (Gieske, Streller, & Bolte, 2024). Durch unsere Analysen konnten wir erstmalig statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen der Fähigkeit von Schüler*innen zur adressatenorientierten Verwendung chemiebezogener Fachterminologie und den Kompetenzen in der Bildungssprache Deutsch nachweisen. Schüler*innen mit fortgeschrittenen bildungssprachlichen Kompetenzen gelingt es – wie erwartet – in fortgeschrittenem Maße, für die Erklärung des Sachverhalts relevante Termini adressatengerecht auszuwählen, als dies ihren bildungssprachlich weniger kompetenten Mitschüler*innen zu bescheinigen ist.

Literaturverzeichnis

Becker-Mrotzek, M., Grabowski, J., Jost, J., Knopp, M., & Linnemann, M. (2014). Adressatenorientierung und Kohärenzherstellung im Text. Zum Zusammenhang kognitiver und sprachlicher realisierter Teilkompetenzen von Schreibkompetenz. Didaktik Deutsch: Halbjahresschrift für die Didaktik der deutschen Sprache und Literatur, 37, 21–43.

Feilke, H. (2017). Schreibdidaktische Konzepte. In M. Becker-Mrotzek, J. Grabowski, & T. Steinhoff (Hrsg.), Forschungshandbuch empirische Schreibdidaktik (S. 153–171). Waxmann.

Gieske, R., Freudenberg, S., & Bolte, C. (2024). Adressatenorientierung in Texten: Schüler*innen erklären Lösevorgänge. In H. van Vorst (Hrsg.), Frühe naturwissenschaftliche Bildung (S. 850–853).

Gieske, R., Streller, S., & Bolte, C. (2024). Vom Salz zur Ionensubstanz: Eine sprachsensible Unterrichtsreihe zur Erkundung von Salzen im Toten Meer. CHEMKON, 31(5), 160–167. https://doi.org/10.1002/ckon.202300053

Gogolin, I., & Lange, I. (2011). Bildungssprache und Durchgängige Sprachbildung. In S. Fürstenau & M. Gomolla (Hrsg.), Migration und schulischer Wandel: Mehrsprachigkeit (S. 107–127). VS.

Institut für Bildungsmonitoring und Qualitätsentwicklung Hamburg. (2008). C-Test Klasse 7/8 „Überfall +3“.

KMK. (2024). Weiterentwickelte Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Chemie (MSA).

Kulgemeyer, C., & Schecker, H. (2009). Kommunikationskompetenz in der Physik: Zur Entwicklung eines domänenspezifischen Kommunikationsbegriffs. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 15, 131–153.

Kulgemeyer, C., & Schecker, H. (2012). Physikalische Kommunikationskompetenz – Empirische Validierung eines normativen Modells. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 18, 29–54.

Kulgemeyer, C., & Schecker, H. (2013). Students Explaining Science—Assessment of Science Communication Competence. Research in Science Education, 43(6), 2235–2256. https://doi.org/10.1007/s11165-013-9354-1

Linnemann, M. (2014). Kognitive Prozesse der Adressatenantizipation beim Schreiben [Dissertation, Universität zu Köln].

Mayring, P. (2022). Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken (13., überarb. Aufl.). Beltz.

Nussbaumer, M. (1991). Was Texte sind und wie sie sein sollen. Ansätze zu einer sprachwissenschaftlichen Begründung eines Kriterienrasters zur Beurteilung von schriftlichen Schülertexten. Max Niemeyer.

OECD. (2023). PISA 2022 Results (Volume I): The State of Learning and Equity in Education. OECD. https://doi.org/10.1787/53f23881-en

Stanat, P., Schipolowski, S., Mahler, N., Weirich, S., & Henschel, S. (2019). IQB-Bildungstrend 2018. Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I im zweiten Ländervergleich. Waxmann.

Ziepprecht, K., Schwanewedel, J., Heitmann, P., Jansen, M., Fischer, H. E., Kauertz, A., Kobow, I., Mayer, J., Sumfleth, E., & Walpuski, M. (2017). Modellierung naturwissenschaftlicher Kommunikationskompetenz – ein fächerübergreifendes Modell zur Evaluation der Bildungsstandards. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 23(1), 113–125. https://doi.org/10.1007/s40573-017-0061-8

Viktoria Konieczny[1] [1]Ruhr-Universität-Bochum
Heiko Krabbe[1]

Untersuchung konzeptbildender Unterrichtsdiskurse

Motivation und theoretischer Hintergrund

Konzeptbildung ist im Physikunterricht von zentraler Bedeutung. Schülerinnen und Schüler können jedoch physikalische Konzepte nicht selbstständig entwickeln und müssen darin eingeführt werden. Um Konzepte im Unterricht entwickeln zu können, muss die Struktur konzeptbildender Unterrichtsdiskurse analysiert und beschrieben werden. Ziel ist es daher diese konzeptbildende Unterrichtsdiskurse, sowie konzeptbildende Phasen des Physikunterrichts im Hinblick auf ihren Aufbau und ihre Struktur genauer beschreiben zu können. Deshalb werden zunächst videografierte Unterrichtsgespräche analysiert und beschrieben.
Zur Beschreibung physikalischer Konzepte ziehen wir zwei Modelle heran. Nach Drollinger-Vetter (2011) setzt sich die Grundstruktur eines Konzepts aus drei Ebenen zusammen. Diese drei Ebenen sind die Konzeptebene, die Ebene der Darstellungsformen und die Ebene der Verstehenselemente, wobei das Konzept die oberste Ebene bildet, die Darstellungsform die mittlere und die Verstehenselemente die unterste Ebene. Auf der Konzeptebene wird das Konzept mit anderen physikalischen Konzepten verknüpft. Die Ebene der Darstellungsformen beschreibt die möglichen Darstellungen eines Konzepts wie als Experiment, als Diagramm, als Formel, als Einheit und als Sprache, die ebenfalls miteinander verknüpft werden können. Die unterste Ebene des Modells beschreibt die Ebene der Verstehenselemente, zum Beispiel Ort und Zeit des Konzepts der Geschwindigkeit, als Elemente die notwendig für das Verständnis des Konzepts sind. Die Aushandlung und Auseinandersetzung mit dem Konzept beschreiben die vertikale Bewegung zwischen diesen Ebenen durch Prozesse wie das Verdichten und Entfalten. Auf diese Weise beschreibt das Modell die strukturelle Komponente eines Konzepts.
Ein stärker dynamisches Modell, das prozedurale Eigenschaften fokussiert, wird durch diSessa und Sherin (1998) beschreiben. Physikalische Konzepte werden als Prozesse der Identifikation und Verknüpfung von Informationen eines Konzepts dargestellt. Die Identifikation umfasst das Lesen und Erkennen der relevanten Informationen, die in den Verknüpfungsprozessen miteinander in Beziehung gesetzt werden. Diese beiden Prozesse lassen sich in den drei genannten Ebenen (Drollinger-Vetter, 2011) des Modells der Struktur eines Konzepts einordnen. Verstehenselemente können sowohl identifiziert als auch miteinander verknüpft werden. Dieses gilt auch für Darstellungsformen (siehe Tabelle 1). Informationen und Werte können aus einer Darstellungsform entnommen und in eine andere Darstellungsform übertragen oder miteinander verglichen werden. Für die Konzepte gilt, dass sie nicht mehr identifiziert werden, sondern lediglich mit anderen Konzepten verknüpft oder als für sich stehendes Konzept behandelt, werden können.
Diese Fähigkeiten, Elemente zu erkennen und miteinander zu verknüpfen, fördert nicht nur das Abrufen von Informationen, sondern auch die Kommunikation über das Konzept und die Fähigkeit, Wissen in verschiedenen Kontexten auszutauschen und anzuwenden (Levrini & diSessa, 2008).

Diese beiden Modelle bilden miteinander verknüpft das Analysesystem für die Beschreibung der konzeptbildenden Phasen in den Unterrichtsstunden. Das in der folgenden Tabelle 1 dargestellt ist.

Tabelle 1: Modell zur Beschreibung von Konzeptaufbau

Konzept	Verknüpfung (Causal net)	Operation mit dem Konzept	Vergleich von Bewegungen mit Bezug auf Geschwindigkeit. Geschwindigkeiten gleichsetzen.
Darstellungsform	Identifikation (Read-Out)	Bestimmung einer Menge/ eines Wertes innerhalb einer Darstellungsform	Geschwindigkeit messen, Geschwindigkeit berechnen, Geschwindigkeit in einem Graph bzw. in einer Tabelle auslesen.
	Verknüpfung (Causal net)	Darstellungsformen miteinander verknüpfen, in Beziehung bringen	Bsp.: Verbindung zwischen Zeit und Distanz mit Variablen s und t
Verstehenselemente	Identifikation (Read-Out)	Identifikation von Informationen aus Verstehenselementen innerhalb einer bestimmten Darstellungsformen	Bestimmen/ Nennen von Verstehenselementen (Weg, Distanz, benötigte Zeit)
	Verknüpfung (Causal net)	Variation von Verstehenselementen durch verknüpfen oder kontrastieren innerhalb einer bestimmten Darstellungsform	„Wenn wir die Zeit gleich lassen, dann ist viel Weg eine schnelle Geschwindigkeit und wenig Weg eine langsame Geschwindigkeit.“

Forschungsdesign

Rahmenbedingung

Für die Analyse der Konzeptbildung in Unterrichtsdiskursen im Physikunterricht stehen 33 konzeptbildende Unterrichtvideos aus der Studie von Zander (2016) zur Verfügung, die hinsichtlich der Phasen des Basismodells Konzeptbildung von Oser & Baeriswyl (2001) kodiert waren. Diese Unterrichtsstunden haben jeweils eine Dauer zwischen 60-90 Minuten. Die insgesamt 33 Unterrichtsvideos verteilen sich auf 14 verschiedene Lehrkräfte, von denen zum Teil bis zu vier videographierte Unterrichtsstunden vorhanden sind.

Design und Methodik

Für die Untersuchung werden die zweite Phase (KB2, Durcharbeiten eines Prototyps) und die dritte Phase (KB3, Beschreibung der wichtigen Merkmale des Konzepts) des Basismodells

Konzeptbilden von Oser & Baeriswyl (2001) fokussiert, nach welchem die Stunden bereits kodiert sind. Zwischen den beiden Phasen wird ein Wechsel zwischen konkret-anschaulichen Vorstellungen in der zweiten Phase und abstrakten Vorstellungen in der dritten Phase erwartet. Die Analyse betrachtet die Struktur der beiden konzeptbildenden Phasen im Hinblick auf die behandelten Inhalte des Konzepts, deren Darstellungsform, sowie die darin vorkommenden Prozesse und geforderten Fähigkeiten. Deskriptiv sollen durch die Analyse der verschiedenen Aspekte Muster und Strukturen identifiziert werden, die den Konzeptaufbau charakterisieren.

Analyseergebnisse

Bislang wurden zwei von 33 Unterrichtsstunden von zwei unterschiedlichen Lehrkräften der 8. Klasse detailliert untersucht. Das Thema beider Unterrichtsstunden ist die Einführung des Geschwindigkeitsbegriffs.

Die erste Lehrkraft, welche in der Ausbildung war, verwendet verschiedene Darstellungsformen des Konzepts der Geschwindigkeit, wie die Sprache, die Formel und Einheiten oder das s-t-Diagramm, variiert sie und baut sie zunächst über die Identifikation der Ebene der Verstehenselemente bis hin zur Verknüpfung in der Konzeptebene aus. Dabei durchläuft die Lehrkraft mit ihren Schülerinnen und Schülern die Prozesse der Identifikation und Verknüpfung von Informationen des Konzepts schrittweise von der untersten zur obersten Ebene. Die Lehrkraft beginnt die Stunde mit dem Besprechen eines Beispiels (KB 2) auf der Konzeptebene und nutzt dabei die Darstellungsform der Sprache. Aus dem Dialog mit den Schülerinnen und Schülern wird dann deutlich, dass ihnen das Verständnis und relevante Konzeptelemente nicht bekannt sind. Daraufhin baut die Lehrkraft das Konzept durch abstraktere Darstellungsformen wie die Formel, ausgehend von der Ebene der Verstehenselemente und deren Identifikation, schrittweise in Richtung der Konzeptebene aus (KB3).

Die Konzeptbildung der zweiten untersuchten Lehrkraft, die berufserfahren ist, folgt einer anderen Struktur. Diese Lehrkraft verwendet insgesamt etwas weniger Darstellungsformen (Experiment, Sprache und Formel) greift diese allerdings im Unterrichtsgespräch wiederholt auf. Die erfahrene Lehrkraft entwickelt das Konzept nahezu vollständig durch die Identifikation von Verstehenselementen. Beim Wechsel von der Darstellungsform der Sprache hin zu der Darstellungsform des Experiments, leitet die Lehrkraft das Konzept zunächst auf der Konzeptebene ein, wechselt schließlich jedoch zurück auf die Ebene der Identifikation der Verstehenselemente. Die Lehrkraft beendet die Konzeptbildung innerhalb der dritten Phase des Konzeptbildens mit der Darstellungsform der Sprache, allerdings indem sie die aus den vorherigen Phasen besprochenen Verstehenselemente miteinander verknüpft. Diese Analyse zeigt, dass bei beiden Lehrkräften der Übergang von KB2 zu KB3 durch den Wechsel in eine abstraktere Darstellungsform gekennzeichnet ist. Der konzeptbildende Umgang mit den Darstellungsformen unterscheidet beide Lehrkräften.

Ausblick

Durch die Analyse der Struktur von konzeptbildenden Unterrichtsdiskursen kann eine neue Perspektive auf den Konzeptbildungsprozess geöffnet werden. Mit der Symbiose beider Modelle wird ein wird theoretischer Beitrag zur Beschreibung von Konzeptbildungsprozessen in der Physikdidaktik geleistet.

Literatur

diSessa, A. A., & Sherin, B. L. (1998). What changes in conceptual change?. International journal of science education, 20(10), 1155-1191.

Drollinger-Vetter, B. (2011). *Verstehenselemente und strukturelle Klarheit.* Waxmann Verlag.

Levrini, O., & Disessa, A. A. (2008). How students learn from multiple contexts and definitions: Proper time as a coordination class. Physical Review Special Topics—Physics Education Research, 4(1), 010107.

Oser, F. K., & Baeriswyl, F. J. (2001). Choreographies of teaching: Bridging instruction to learning. *Handbook of research on teaching*, 4, 1031-1065.

Zander, S. (2016). *Lehrerfortbildung zu Basismodellen und Zusammenhänge zum Fachwissen* (Vol. 201). Logos Verlag Berlin GmbH.

Lutz Kasper[1] [1]PH Schwäbisch Gmünd

Sonne, Erde, Mond: Haben wir das Hinschauen verlernt?

In einer Fragebogen-Pilotstudie wurden Lehramtsstudierende verschiedener Fachkombi–nationen zu ihrem Wissen über einfache Bewegungsmuster von Sonne, Erde und Mond befragt. Die vorliegende Testversion ist die Weiterentwicklung (Übersetzung und Ergänzung) ausgewählter Skalen des TOAST (Test Of Astronomy STandards). Die ersten Ergebnisse sind zum Teil überraschend und bieten einen Anlass zur Diskussion über den Bildungswert astronomischer Inhalte im naturwissenschaftlichen Unterricht. Die Auseinandersetzung mit und die Beschreibung von relativen Richtungen, Positionen und Trajektorien der allgegenwärtigen Himmelsobjekte Sonne und Mond trägt über die eigentlichen astronomischen Fragen hinaus Bedeutung für das Verständnis einer sphärischen Geometrie und physikalischer (himmelsmechanischer) Anwendungen. Sie bildet darüber hinaus auch eine Grundlage für interdisziplinär verflochtene Praxisfragen z. B. des Energiehaushaltes der Erde bis hin zur effektiven Nutzbarkeit der Sonnenenergie.

Unterschätzter Bildungswert der (Schul-)Astronomie?

Neben dem motivationalen Wert astronomischer Kontexte im Schulunterricht wie er in Interessenstudien gezeigt wurde, kann die Einbeziehung astronomischer Themen den naturwissenschaftlichen Unterricht auch um erkenntnistheoretische Aspekte bereichern. Hier spielen hauptsächlich Fragen nach dem Verhältnis von Beobachtung und Experiment als wesentliche naturwissenschaftliche Erkenntnismethoden eine Rolle. Es geht dabei um den Umgang mit Erkenntnisobjekten, an denen in der Astronomie – anders als in der Experimentalphysik – in der Regel keine Änderungen vorgenommen werden können (vgl. Schwarz & Lotze, 2024). Für die Bearbeitung praxisrelevanter und aktuell hochrelevanter Fragen wie z.B. nach dem Energiehaushalt der Erde, nach der Nutzbarkeit von Sonnenenergie oder nach extraterrestrischen Leben ist die physikalische Perspektive nicht ausreichend. Hier sind interdisziplinär verflochtene Ansätze, wie sie in den Wissenschaften Standard sind, auch bereits in der Schulbildung geboten. In der Realität stellen astronomische Themen im Schulunterricht, aber auch in der Lehramtsausbildung häufig nur fakultative Angebote dar. Astronomische Bildung erreicht so nur wenig Lernende in Schulen und Hochschulen womit das Potenzial einer wertorientierten und vernetzten Allgemeinbildung verschenkt wird. Ein Zusammenhang von nur geringfügigen astronomisch relevanten Bildungsangeboten mit entsprechend fehlerhaften Vorstellungen bei jungen Menschen kann daher vermutet werden. Im Folgenden wird die Entwicklung eines Testinstruments zur Erhebung von Vorstellungen über einfache Bewegungsmuster von Sonne, Erde und Mond vorgestellt.

Ausgewählte vorliegende Studienergebnisse zu Präkonzepten in der Astronomie

Die folgende Auswahl von Studien beruht auf der jeweils gleichen Adressatengruppe, nämlich Studierende der ersten Semester in verschiedenen Studiengängen.

Zunächst soll hier Einblick gegeben werden in eine sehr frühe Studie, die mit 325 College-Erstsemestern in den USA durchgeführt wurde (Ralya & Ralya, 1940). Die Probanden wurden aufgefordert, den ihnen vorgelegten Aussagen zuzustimmen oder diese abzulehnen. Drei für die „Bewegungsmuster“ einschlägige Beispielaussagen werden hier gezeigt. Die in Klammern angegebenen Zahlenwerte stellen jeweils die prozentuale Zustimmung dar.

Die Umlaufbahnen der Planeten um die Sonne sind perfekte Kreise. (34)
Die Nordhalbkugel der Erde ist in Richtung Sonne geneigt während unseres Sommers. (28)
Jahreszeiten entstehen durch unterschiedlich große Entfernungen der Erde zur Sonne. (79)

In einer weiteren Studie (Comins, 1993) wurden 396 US-College-Studierende befragt. Der Autor hat hier ein methodisches Format gewählt, bei dem die Probanden nach der Teilnahme an einer einführenden Astronomie-Vorlesung über drei Semester angeben sollten, welche Konzeptwechsel sie vollzogen haben. Zwei hinsichtlich der Bewegungsmuster von Sonne, Erde und Mond relevante Ergebnisse (Zahlen entsprechen der absoluten Häufigkeit):
I had thought we see all sides of the moon each month. (95)
I had thought summer is warmer because we are closer to the sun then. (94)

In einer dritten Studie (Slater, 2014, 2015) wurden 1066 US-Studierende in ihren Anfangssemestern zu astronomisch relevanten Präkonzepten befragt. Der TOAST (Test Of Astronomy STandards) bildet auch den Ausgangspunkt für die Weiterentwicklung zum nachfolgend vorgestellten Testinstrument. Er umfasst drei übergeordnete Kategorien, von denen *Patterns in the Sky* (neben *Physical Laws and Processes* und *The Structure and Evolution of the Universe*) relevant für die eigene Testentwicklung ist. Die darin enthaltenen 8 Items lassen sich wiederum den Subkategorien *yearly patterns*, *daily patterns* und *moon phases* zuordnen.[1]
Diese Items zu einfachen Bewegungsmustern beinhalten Aussagen, die als „Beobachtungswissen" bzw. „Erfahrungswissen" charakterisiert werden können und somit astronomisches Basiswissen darstellen. Die in dieser Kategorie ermittelten Item-Lösungswahrscheinlichkeiten betragen zwischen 23% und 66%[2].
Nach diesen teils ernüchternden Studienergebnissen zu Vorstellungen und Kenntnissen über einfache astronomische Zusammenhänge bei Studienanfängern in den USA, die auch über Jahrzehnte stabil erscheinen, stellt sich die Frage: Welche Vorstellungen und welches Beobachtungswissen über Bewegungsmuster von Sonne, Erde und Mond haben junge Menschen nach ihrem Schulabschluss hierzulande?

Entwicklung eines Testinstruments zu astronomischem Basiswissen
8 als relevant identifizierte Items des TOAST wurden ins Deutsche übersetzt und durch 8 neu entwickelte Items ergänzt. Der so entstandene neue Test wurde einem Expertenfeedback durch drei Hochschullehrende mit Expertise hinsichtlich astronomischer Aspekte sowie Schüler–vorstellungen und einer anschließenden Revision unterzogen. Er enthält jeweils 6 Items der Subkategorien *jährliche Bewegungsmuster* und *tägliche Bewegungsmuster* sowie 4 Items der Subkategorie „*Mondphasen*". Exemplarisch ist in Abb. 1 ein neu entwickeltes Item der Kategorie „*tägliche Bewegungsmuster*" dargestellt.

[1] Das Item „Seasons" ist im Originaltest in der Kategorie „Structure and Evolution oft he Universe" enthalten, wurde aber für die Weiterentwicklung hier den „jährlichen Bewegungsmustern" zugeordnet.
[2] Der Mean Score im Gesamttest betrug bei 27 Items 12, der Median lag bei 11.

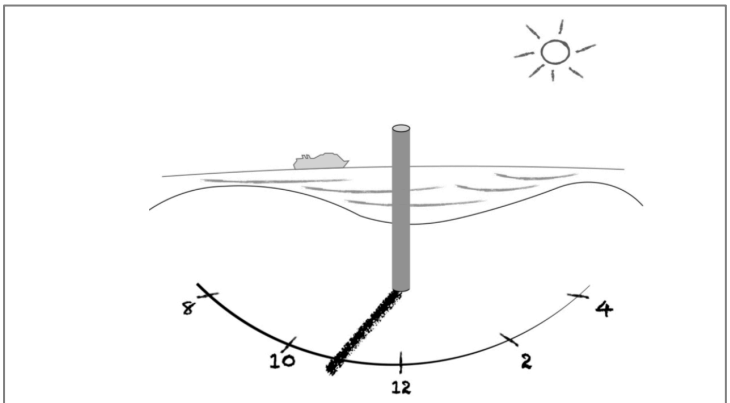


Abb. 1: Beispiel-Item

Die vorliegende Pilotversion wurde als Online-Fragebogen von 168 Lehramtsstudierenden beliebiger Fachkombinationen der PH Schwäbisch Gmünd und der Universität Tübingen bearbeitet. Für die Auswertung standen 109 gültige Fälle zur Verfügung. Bei insgesamt 16 Items wurden ein Mittelwert von 4,4 und ein Median von 4 erreicht. Für die 8 Items des lediglich übersetzten Anteils des TOAST kann ein Vergleich der einzelnen Lösungswahrscheinlichkeiten zumindest Hinweise geben auf unterschiedliche Ausprägungen astronomischer Konzepte bei US-amerikanischen und deutschen Studienanfängern. Die Gegenüberstellung der Lösungswahrscheinlichkeiten zeigt die folgende Tabelle.

Kategorie	**TOAST-Item**	P_i	**Übersetztes Item**	P_i
yearly patterns	2	39	YP03	16
yearly patterns	4	66	YP04	51
yearly patterns	7	53	YP05	43
yearly patterns	12	36	YP06	10
daily patterns	1	37	DP02	12
daily patterns	6	23	DP03	23
moon phases	3	57	MP02	32
moon phases	5	61	MP03	61
	Mittelwert	**46,5**	Mittelwert	**31,0**

Für elaborierte Analysen und Interpretationen sind weitere Testungen erforderlich. Im nächsten Schritt ist nach vorliegendem erneuten Expertenfeedback eine zweite Revision des Tests vorgesehen. Außerdem soll der Hypothese nachgegangen werden, dass einzelne Test-Items mit dem individuellen räumlichen Vorstellungsvermögen korrelieren.

Literatur

Comins, N. F. (1993). Sources of Misconceptions in Astronomy. In J. Novak (ed.) Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics. Ithaca NY, Cornell University

Ralya, Lynn & Ralya. Lilian (1940). Some significant concepts and beliefs in astronomy and geology of entering college freshmen and the relation of these to general scholastic aptitude. School Science and Mathematics. Vol 40, Issue 8, 727-734

Schwarz, O. & Lotze, K.-H. (2024). Bildende Astronomie – Der Wert der Astronomie für die Allgemeinbildung. Physik Journal 23 (2024) Nr.6, 27- 30

Slater, S. J. (2014). The Development and Validation of the Test Of Astronomy STandards (TOAST). Journal of Astronomy & Earth Sciences Education. Dec 2014, Vol 1, No. 1

Slater, S. J. (2015). Analysis of Individual Test Of Astronomy Standards (TOAST) Item Responses. Journal of Astronomy & Earth Science Education. Dec 2015, Vol 2 No. 2, 89-108

Hendrik Härtig[1]
Christopher Jörgens[1]
Kevin Pack[1]

[1]Universität Duisburg-Essen

Das Astronomieverständnis von Lernenden in NRW

Theoretischer Hintergrund

Astronomie ist als Unterrichtsgegenstand in Deutschland sehr unterschiedlich in den verschiedenen Lehrplänen verankert (Clausnitzer, 2021). Eine sehr lange Tradition, Astronomie zu unterrichten, findet sich ausschließlich in den östlichen Bundesländern – auch durch ein eigenständiges Unterrichtsfach Astronomie in der DDR (Reichert, 2010). Da Astronomie in der BRD kein eigenständiges Unterrichtsfach war, kam es im Rahmen der Wiedervereinigung zu einer deutlichen Abschwächung der Bedeutung von Astronomie als Lerngegenstand in den damals neuen Bundesländern im Rahmen neuer Lehrpläne (ebd.). Bis heute ist Astronomie daher sehr unterschiedlich stark in den Lehrplänen abgebildet, wobei es Lehrpläne gibt, die nahezu ohne Astronomie auskommen, aber auch in Einzelfällen zumindest zeitweise eigener Unterricht zu Astronomie stattfindet, je nach Bundesland und Schulform. Clausnitzer (2001) und auch andere Kolleg:innen weisen darauf hin, dass diese Situation äußerst unbefriedigend ist, zumal sich die Lernenden für astronomische Themen sehr interessieren, wobei es hier sogar zu geringeren Geschlechtseffekten kommt als sonst üblich (vgl. Elster, 2007).

Cakici (2022) analysiert in einer Bachelorarbeit Lehrpläne in NRW, Sachsen-Anhalt & Thüringen und kommt zu dem Ergebnis, dass Astronomie in Sachsen-Anhalt und Thüringen ein eigenständiges Fach in allen Schulformen ist, während sich astronomische Inhalte in NRW nur eingebettet in andere Fächer, insbesondere Physik und Erdkunde finden. Insofern ist es wenig überraschend, dass die Inhalte in Sachsen-Anhalt und Thüringen breiter und tiefer gehen, so wird z.B. auch der Aufbau der Sonne, ein Vergleich verschiedener Planeten und Himmelskörper allgemein, die Mechanik des Sonnensystems und deren Auswirkungen auf die Erde, die Geschichte des Sonnensystems und die Sternentwicklung genauso thematisiert, wie Raumfahrttechnik. Veittes (2022) schaut sich detaillierter verschiedene Lehrpläne in NRW im direkten Vergleich an und kommt zu dem Schluss, dass Astronomie sich mehr oder weniger direkt im Sachunterricht, Physik, Naturwissenschaften (Gesamtschule, Hauptschule), Chemie und Erdkunde wiederfindet. Die Inhalte werden dabei aber eher isoliert und häufig faktenbasiert unterrichtet. In der Sek I im Gymnasium wird Astronomie dabei aktuell sogar eigenes Inhaltsfeld zugeschrieben, dafür sind entsprechende Inhalte in der Sek II nicht eigenständig vorhanden. Bei den Analysen von Veittes (2022) und Cakici (2022) fällt auf, dass die Inhalte zumeist erdzentriert, also mit Fokus auf unseren Planeten z. B. im Kontext von Klima(wandel) aufgegriffen werden.

Aufgrund der sehr heterogenen, meist eher sporadischen Verankerung von Astronomie im Physikunterricht, ist es wenig überraschend, dass sich auch nur wenige Untersuchungen bzgl. des (Vor)Wissens zu astronomischen Themen finden (vgl. Schecker et al., 2018). Erkenntnisse lassen sich vor allem international und aus der Primarstufe ableiten. Hier finden sich Vorstellungen zu den Jahreszeiten, den Mondphasen oder auch der Gestalt der Erde (Wodzinski & Wilhelm, 2018). Ferner gibt es einige Befunde zum Sonnensystem oder Weltall (Hopf & Schecker, 2018). International liegen zwar mehrere Instrumente zum Astronomiewissen vor, diese haben zumeist jedoch verschiedene Inhalte haben (Mondphasen

vs. Sternentwicklung vs. Klima …) (Sadler et al., 2009), oder sie richten sich eher an Universitäten (Sadler et al., 2008). Für die USA entwickelten Sadler et al. (ebd.) entlang der K-12 Standards daher drei, aufeinander aufbauende Instrumente: K-4 (12 Items), 5-8 (15 Items), 9-12 (11 Items). Sie berücksichtigen bei der Zusammenstellung sowohl verschiedenste Themengebiete der Astronomie als auch bereits bestehende Concept Inventories und Fragebögen. Es handelt sich um ein klassisches Testformat mit fünf Antwortmöglichkeiten entlang üblicher Vorstellungen der Lernenden. Die Pilotierung erfolgte an ca. 7500 Lernenden in den USA, die finale Fassung wurde in einem Feldtest mit ca. 1000 Lernenden aus den Jahrgangsstufen 5-12 erprobt.

Fragestellung

Insbesondere auf Deutsch ist uns bisher kein übergreifender Test für die Sekundarstufe I und / oder II und somit auch keine systematische Untersuchung des (Vor)Wissens zu astronomischen Inhalten bekannt. Aus diesem Grund wurde, der von Sadler entwickelte Test übersetzt und in mehreren Schritten pilotiert; sowohl in der Primarstufe (Niewolik, 2021), als auch in der Sekundarstufe I (Pack, 2021) und Sekundarstufe II (Kohlmann, 2021). Insbesondere in der Primarstufe zeigten sich deutliche Bodeneffekte, weswegen für die Überarbeitung im Rahmen der hier vorgestellten Studie die überarbeitete finale Fassung nur in der weiterführenden Schule eingesetzt wurde. Wir waren dabei zunächst daran interessiert, ein reliables Testinstrument zu entwickeln. Ferner wollten wir untersuchen, ob sich die Schulform, die Jahrgangsstufe und das Geschlecht auf das (Vor)Wissen der Lernenden auswirken.

Methode

Stichprobe

Die Datenerhebung fand in Gesamtschulen und Gymnasien in NRW statt. Nach Ausschluss unvollständiger Datensätze umfasst die Stichprobe 2253 Personen, davon identifizieren sich je 48% als weiblich oder männlich. 75% der Lernende besuchten das Gymnasium. Die Erhebung verteilte sich auf die Jahrgangsstufen 5 bis 13 (siehe Tab. 1).

Tab. 1: Verteilung der Stichprobe auf die Jahrgangsstufen

Jahrgangsstufe	Häufigkeit	Prozent
5	268	11,9
6	304	13,5
7	278	12,3
8	308	13,7
9	334	14,8
10	567	25,2
11	146	6,5
12	43	1,9
13	5	0,2
Gesamt	2253	100,0

Instrumente

Die Erhebung fand unter Aufsicht elektronisch statt. Es wurden alle Fragen aus den drei Teilen des Test von Sadler et al. (2009) übernommen und in LimeSurvey als Test umgesetzt. Diese

wurden ergänzt um Fragen nach der Schulform, der Jahrgangsstufe, dem (selbst zugeschriebenen) Geschlecht sowie dem Interesse an Astronomie als Inhalt. Die Bearbeitungszeit wurde nicht begrenzt. Da sich im Rahmen der Pilotierung Bodeneffekte sowie eine eher längere Bearbeitungszeit in den Jahrgangsstufen 5 bis 8 gezeigt haben, wurden diesen Kindern nur die Fragen aus den K-4 und 5-8 Testteilen vorgelegt. Lernenden in den Jahrgangsstufen 9 bis 12 erhielten alle Items. Die Reihenfolge der Items war randomisiert, ebenso die Reihung der Distraktoren (vgl. Pack, 2024).

Ergebnisse

Zunächst ist zu beachten, dass nicht alle Personen alle Aufgaben erhalten haben. Dies führt zu Einschränkungen bei der Betrachtung der Testgüte und den Analysen der Testergebnisse im Rahmen klassischer Testtheorie. Für die Reliabilität lässt sich entweder die Menge aller Aufgaben heranziehen – dann werden jedoch nur die Antworten der Jahrgänge 9-12 berücksichtigt. Hier zeigt sich eine gute Reliabilität von Cronbach's α =.814. Oder man betrachtet die drei Teilinstrumente getrennt – wobei diese hinterher nicht getrennt ausgewertet werden sollen. Die Teilreliabiltäten liegen dann im Bereich .565 < Cronbach's α < .643. Da sogar der 9-12 Testteil, der nur von den älteren Lernenden ausgefüllt wurde, getrennt eine geringere Reliabilität aufweist, erscheint die gemeinsame Betrachtung aller Items hier plausibler. Um zu berücksichtigen, dass die Personen unterschiedlich viele Aufgaben erhalten haben, wurde im Folgenden mit dem Prozentwert richtig gelöster Aufgaben je Person gerechnet. Hierbei wurden für jedes Individuum nur die bearbeiteten Items berücksichtigt.
Es zeigt sich über alle Personen hinweg nahezu eine Normalverteilung, bei einem Mittelwert von .38 und einer Standardabweichung von .149.

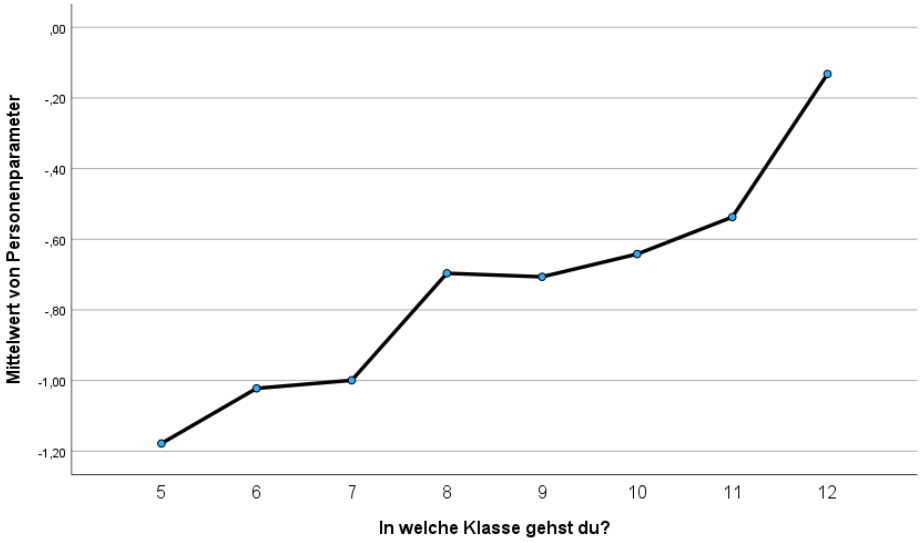


Abb. 1: Ergebnisse der Lernenden nach Jahrgangsstufe

Es zeigte sich ein deutlicher Effekt der Schulform zugunsten des Gymnasiums: t(2246)=12.535; p<.001, wobei das Gymnasium einen Mittelwert von .40, die Gesamtschule von .31 erreichte. Darüber hinaus zeigte sich ein Effekt der Jahrgangsstufe: F (7, 2247) = 28.235; p<.001, wobei die 13. Klasse im Hinblick auf die niedrige Personenzahl

ausgeschlossen wurde (vgl. Abb. 1). Ferner zeigt sich ein Effekt des Geschlechts zugunsten der Jungen: $t(2148)=8.332$; $p<.001$. Letztlich deutet sich eine niedrige Korrelation zwischen Interesse und Wissen an: Spearman's $\rho = .277$; $p<.001$. Eine zusätzlich durchgeführte lineare Regression lässt anhand der standardisierten Koeffizienten vermuten, dass Schulform und Interesse bedeutsamer sind als Jahrgangsstufe und Geschlecht.

Diskussion

Das entwickelte Instrument erweist sich als reliabel, deutet aber gleichzeitig auf wenig (Vor)Wissen der Lernenden insgesamt hin. Ein leicht erhöhter Wert in Jahrgangstufe 8 lässt sich vermutlich auf das eingeführte Inhaltsfeld im Gymnasium post-hoc zurückführen. Ein Unterricht zu astronomische Inhalten ist durch aus lernwirksam (z.B. Hannust & Kikas, 2007; Sharp & Kuerbis, 2006). Die hier vorgestellten Daten werden im nächsten Schritt mittels IRT Skalierung vertieft betrachtet, um die Analysen plausibler zu machen.

Literaturverzeichnis

Cakici, A. (2022). *Vergleich der Inhaltsvalidität eines Astronomietests zwischen Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt und Thüringen*. Bachelorarbeit an der Universität Duisburg-Essen.

Clausnitzer, L. (2021). Ist die Astronomie ein Spezialgebiet? *Welt der Wissenschaft*, 38-44.

Elster, D. (2007). In welchen Kontexten sind naturwissenschaftliche Inhalte für Jugendliche interessant. *Plus Lucis*, 2-8.

Hannust, T. & Kikas, E. (2007): Children's knowledge of astronomy and its change in the course of learning. *Early Childhood Research Quarterl,y* 22(1), 89–104.

Hopf, M. & Schecker, H. (2018). Schülervorstellungen zu fortgeschrittenen Themen der Physik. In: Horst Schecker, Martin Hopf, Reinders Duit und Thomas Wilhelm (Hg.): *Schülervorstellungen im Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis.* Berlin: Springer Spektrum, 225-242.

Kohlmann, M. (2021). *Entwicklung und Erprobung eines deutschsprachigen Instruments zur Erfassung der Vorstellungen von Lernenden zu Themen der Astrophysik.* Masterarbeit an der Universität Duisburg-Essen.

Niewolik, M. (2021). *Erprobung eines Fragebogens zur Erfassung von Vorwissen im Bereich der Astronomie in der Primarstufe.* Bachelorarbeit an der Universität Duisburg-Essen.

Pack, K. (2021). *Entwicklung und Erprobung eines Instruments zur Erfassung des Astronomiewissens in der Sekundarstufe II.* Bachelorarbeit an der Universität Duisburg-Essen.

Pack, K. (2024). *Einfluss verschiedener Personenmerkmale auf das Wissen über Astronomie in den Sekundarstufen I und II.* Masterarbeit an der Universität Duisburg-Essen.

Reichert, U. (Januar 2010). Astronomie und Bildung. *Sterne und Weltraum*, 48-61.

Sadler, P., Coyle, H., Miller, J., Cook Smith, N., Dussault, M., & Gould, R. (Dezember 2009). The Astronomy and Space Science Concept Inventory. Development and Validation of Assessment Instruments Aligned with the K-12 National Science Standards. *Astronomy Education Review* 8, 1-28.

Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M., & Duit, R. (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht.* Berlin: Springer Verlag.

Sharp, J. & Kuerbis, P. (2006): Children's ideas about the solar system and the chaos in learning science. *Science Education* 90 (1), 124–147. DOI: 10.1002/sce.20126

Veittes, A. (2022). *Curriculare Validität eines Astronomietests in mehreren Bundesländern und Schulstufen.* Bachelorarbeit an der Universität Duisburg-Essen.

Wodzinski, R.; Wilhelm, T. (2018). Schülervorstellungen im Anfangsunterricht. In: Horst Schecker, Martin Hopf, Reinders Duit und Thomas Wilhelm (Hg.): *Schülervorstellungen im Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis.* Berlin: Springer Spektrum, 243–270.

Eva Bühler[1]
Hendrik Lohse-Bossenz[2]
Markus Wilhelm[3]
Markus Rehm[1]

[1]Pädagogische Hochschule Heidelberg
[2]Universität Greifswald
[3]Pädagogische Hochschule Luzern

Professionelle Wahrnehmung in der frühen naturwissenschaftlichen Bildung

Ausgangslage

Pädagogische Fachkräfte sind im Bereich der frühen naturwissenschaftlichen Bildung gefordert, die spontane und neugierige Auseinandersetzung der Kinder mit ihrer Umwelt gezielt mit naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen zu verknüpfen (Steffensky, 2017). Dabei ist es insbesondere wichtig, pädagogische Situationen professionell wahrzunehmen und Lerngelegenheiten zu erkennen, die sich aus alltäglichen Situationen in der Kita ergeben. Um den Aufbau naturwissenschaftlicher Kompetenzen und das Kennenlernen naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen zu begleiten, benötigen pädagogische Fachkräfte ein breites, flexibel einsetzbares Handlungsrepertoire. Das Halten der Balance zwischen der notwendigen Unterstützung und dem selbstständigen Konstruieren der Kinder, wie von Steffensky (2017) betont, gehört ebenso dazu wie das Erkennen der Interessen der Kinder. Es ist bedeutend, die unterschiedlichen Entwicklungsstände zu beachten und sowohl Interessen als auch Themen der Kinder aufzugreifen (OP BW, 2011; Leuchter, 2017). Die pädagogische Qualität der Lernangebote hängt somit von der pädagogischen Interaktion zwischen Fachkraft und Kindern ab (Anders & Steffensky, 2019). Für die hierin notwendigen professionellen Wahrnehmungsfähigkeiten benötigen pädagogische Fachkräfte entsprechendes Professionswissen, welches sich aus pädagogischem Wissen, fachwissenschaftlichen Grundlagen und fachdidaktischem Wissen zusammensetzt (Steffensky, 2017; Anders, 2018). Die Förderung einer frühen naturwissenschaftlichen Bildung ist eine komplexe Anforderung, die hinsichtlich der notwendigen Kompetenzaspekte bislang empirisch wenig untersucht ist (Steffensky, 2017).

Theoretischer Hintergrund

Das im frühpädagogischen Bereich weit verbreitete Prozessmodell von Fröhlich-Gildhoff, Nentwig-Gesemann und Pietsch (2014) differenziert zwischen Handlungsgrundlagen (Dispositionen), Handlungsbereitschaft und Handlungsrealisierung bzw. Handlungsvollzug (Performanz). Die Dispositionen umfassen dabei Wissen, soziale Fähigkeiten und methodische Fertigkeiten sowie die professionelle Haltung mit ihren grundlegenden pädagogischen Werten und Einstellungen. Fröhlich-Gildhoff et al. fassen in ihrem Modell auch Motivation sowie Situationswahrnehmung und -analyse unter Haltung zusammen. Die Dispositionen liegen „im Sinne eines persönlichen, biografischen und berufsbiografisch geprägten Habitus hinter jedem professionellen Handlungsvollzug“ (Fröhlich-Gildhoff, et al., 2014, S. 129). Mischo (2023) plädiert in Anlehnung an das PID-Modell der Kompetenztransformation (model of competence transformation) von Blömeke et al. (2015a) dafür, die Situationswahrnehmung als Komponente zwischen Dispositionen und Performanz – als Teil des Habitus – in das Modell einzufügen. In der Lehrkräftebildung sind verschiedene Konzeptionen verbreitet, wie Kompetenzen der Wahrnehmung aufgebaut werden. Im PID-Modell verstehen Blömeke et al. (2015a) Kompetenz als einen kontinuierlichen Prozess

(Kontinuum), der in Form von Zwischenschritten dargestellt wird: Es müssen zunächst einige Dispositionen vorhanden sein, ehe situationsspezifische Fähigkeiten aufgebaut werden können. Die Dimension der Dispositionen bezieht sich dabei auf kognitive und motivationale Eigenschaften (wie Wissen und Überzeugungen), die in situationsspezifische Fähigkeiten umgewandelt werden und dann zum Handeln (Performanz) führen (Meschede, Fiebranz, Möller & Steffensky, 2017). Diese situationsspezifischen Fähigkeiten beinhalten Fähigkeiten der Wahrnehmung (P = perception), Interpretation (I = interpretation) und Entscheidungsfindung (D = decision-making) (Blömeke et al., 2015b). Dieses lineare Modell wird von Santagata und Yeh (2016) zu einem bidirektionalen Modell ergänzt. Ihre Studie zeigt, dass die situationsspezifischen Fähigkeiten nicht nur als Zwischenprozess oder Mediator von den Dispositionen zur Performanz zu sehen sind, sondern diese auch wechselseitig beeinflussen. Veränderungen in der Kompetenz sind möglich, wenn die Fachkräfte die Handlungsseite bewusst wahrnehmen, interpretieren und auf deren Grundlage Entscheidungen treffen. Somit können neues Wissen und neue Überzeugungen generiert werden (Santagata & Yeh, 2016). Das deutet auch darauf hin, dass einerseits Dispositionen wie Wissen und Überzeugungen grundlegend für situationsspezifische Fähigkeiten sind, es jedoch andererseits eine Art Transformation und Integration mit Erfahrung aus der Praxis bedarf (Lohse-Bossenz et al., 2023; Meschede et al., 2017). Die situationsspezifischen Fähigkeiten werden in verschiedenen Theorieansätzen aufgegriffen und auch kombiniert. So greifen Meschede et al. (2017) den Ansatz der professionellen Wahrnehmung auf und erweiterten das PID-Modell mit einer Wirkungskette vom professionellen Wissen über die professionelle Wahrnehmung (auch wechselseitig) hin zur Performanz. Die professionelle Wahrnehmung pädagogischer Situationen wird durch zwei Hauptaspekte charakterisiert: die selektive Aufmerksamkeit (Noticing) und das wissensbasierte Schlussfolgern (Reasoning). Seidel, Blomberg und Stürmer (2010, S. 297) und in jüngster Zeit auch Möller et al. (2021) beschreiben damit zwei wissensgesteuerte Prozesse: Noticing bezieht sich auf die "Identifikation von Situationen und Ereignissen im Unterricht", während Reasoning einen Prozess der Verarbeitung und Reflexion des Unterrichts darstellt. Die professionelle Wahrnehmung scheint domänenspezifisch zu sein und mit fortschreitendem Professionalisierungsprozess anzusteigen (Gold & Holodynski, 2017). Die Fähigkeit zur Professionellen Wahrnehmung kann als Indikator für integriertes und anwendbares Wissen angesehen werden (Seidel & Stürmer, 2014). Mischo (2023) wirft für den Elementarbereich die Frage auf, „wie die professionelle Wahrnehmung ‚angemessen' erfasst werden kann" (S. 8). Seine Ergebnisse legen nahe, dass die Erfassung von der Methode abhängig ist, was auch für die Modellierung der situationsspezifischen Fähigkeiten als Kontinuum zwischen den beiden Dimensionen Dispositionen und Performanz spricht (Mischo, 2023). Es wird angenommen, dass Aspekte des Professionswissens die Wahrnehmung und die Fähigkeiten zur situativen Beobachtung beeinflussen und sich damit auf die Einschätzung der gezeigten Situationen auswirkt (zu Unterrichtswahrnehmung z.B. Meschede et al., 2017). Bisherige klassische Multiple-Choice-Tests zur Bewertung des Professionswissens von Fachkräften sind durch ihr kontextloses Format möglicherweise nicht in der Lage die Komplexität des Kitaalltags abzubilden. Eine Alternative sind kontextualisierte Darstellungen alltagsnaher Situationen, die in unterschiedlichen Vignettenformaten dargelegt werden können (vgl. Bruns et al., 2021). Auf diese Weise können Situationen beschrieben werden, deren Interpretation Fähigkeiten der professionellen Wahrnehmung erfordert (vgl. Brovelli et al., 2014). In der Lehrkräftebildung haben sich sogenannte Vignettentests – im Text-, Comic- oder Videoformat – zur kontextualisierten und situierten Erfassung professioneller Kompetenzen bereits bewährt (vgl. Rehm & Bölsterli 2014; Rutsch, 2016;

Friesen, 2017). Im Kontext früher naturwissenschaftlicher Bildung wurden bislang keine entsprechenden Instrumente erprobt. In der vorliegenden Studie wird daher ein Vignettentest zur Erfassung der professionellen Wahrnehmung frühpädagogischer Fachkräfte entwickelt.

Fragestellung und Methode

Die inhaltliche Strukturierung des Tests wurde anhand naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen vorgenommen. Jede Vignette besteht aus einem Vignettenstamm mit Darstellung einer Situation aus dem Kitaalltag und jeweils vier Handlungsalternativen (formuliert als Items; vgl. Rutsch, 2016; Franz, Wacker & Heyl, 2018). Das Instrument soll auch in der Evaluation von Fortbildungen eingesetzt werden können, daher wurde im Sinne einer ökonomischen Datenerfassung und -auswertung ein geschlossenes Antwortformat gewählt. Die Proband:innen werden gebeten, diese schriftlich präsentierten Items mithilfe einer 5-stufigen Likert-Skala dahingehend einzuschätzen, ob Bildungsprozesse im Kontext früher naturwissenschaftlicher Bildung angeregt werden. Die konstruierten Vignettenstämme und -items wurden zusammen mit erfahrenen Fortbildner:innen auf ihre Praxisnähe, Authentizität und Umsetzbarkeit im Kitaalltag geprüft, um pädagogische Situationen inhaltlich und ökologisch valide in den Vignetten abzubilden. Die Musterlösung zur Generierung der Testwerte wurde aus einschlägiger Fachliteratur abgeleitet, da diese Herangehensweise für eine Auswertungsnorm als ähnlich geeignet angesehen wird, wie die Erstellung einer Expert:innennorm (Rutsch, Benz & Dörfler, 2021). Eine Pilotierung des Instruments steht noch aus.

Literatur

Anders, Y. (2018). Professionalität und Professionalisierung in der frühkindlichen Bildung. Zeitschrift für Grundschulforschung, 11 (2), 183–197. https://doi.org/10.1007/s42278-018-0031-3

Anders, Y., & Steffensky, M. (2019). Frühe naturwissenschaftliche Bildung. Frühe Bildung, 8 (1), 1–2. https://doi.org/10.1026/2191-9186/a000404

Blömeke, S., Gustafsson, J.-E. & Shavelson, R. J. (2015a). Beyond dichotomies. Competence viewed as a continuum. Zeitschrift für Psychologie, 223 (1), 3-13. https://doi.org/10.1027/2151-2604/a000194

Blömeke, S., König, J., Suhl, U., Hoth, J. & Döhrmann, M. (2015b). Wie situationsbezogen ist die Kompetenz von Lehrkräften? Zur Generalisierbarkeit der Ergebnisse von videobasierten Performanztests. Zeitschrift für Pädagogik, 61 (3), 310-327. https://doi.org/10.25656/01:15350

Brovelli, D., Bölsterli, K., Rehm, M. & Wilhelm, M. (2014). Using Vignette Testing to Measure Student Science Teachers' Professional Competencies. American Journal of Educational Research, 2 (7), 555-558. https://doi.org/10.12691/education-2-7-20

Bruns, J., Strahl, C. & Gasteiger, H. (2021). Situative Beobachtung und Wahrnehmung angehender frühpädagogischer Fachpersonen im Bereich Mathematik – Entwicklung und Validierung eines Testinstruments. Unterrichtswissenschaft, 49, 345–371. https://doi.org/10.1007/s42010-020-00091-7

Franz, E-K., Wacker, A. & Heyl, V. (2018). Entwicklung von Testitems zur Erfassung Pädagogisch-psychologischer Handlungskompetenz. In J. Rutsch, M. Rehm, M. Seidenfuß & T. Dörfler (Hrsg.), Effektive Kompetenzdiagnose in der Lehrerbildung. Professionalisierungsprozesse angehender Lehrkräfte untersuchen (S. 47-73). Wiesbaden: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-20121-0

Friesen, M. (2017). Teachers' Competence of Analysing the Use of Multiple Representations in Mathematics Classroom Situations and its Assessment in a Vignette-based Test. Ludwigsburg: Pädagogische Hochschulbibliothek.

Fröhlich-Gildhoff, K., Nentwig-Gesemann, I. & Pietsch, S. (2014). Kompetenzen einschätzen und Feedback kompetenzbasiert formulieren. In WiFF (Weiterbildungsinitiative Frühpädagogische Fachkräfte am Dt.

Jugendinstitut) (Hrsg.), Kompetenzorientierte Gestaltung von Weiterbildungen. Grundlagen für die Frühpädagogik. Ein Wegweiser der Weiterbildungsinitiative Frühpädagogische Fachkräfte (WiFF) (S. 128-153). München: DJI.

Gold, B. & Holodynski, M. (2017). Using digital video to measure the professional vision of elementary classroom management: Test validation and methodological challenges. Computers & Education, 107, 13-30. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.12.012

Leuchter, M. (2017). Kinder erkunden die Welt. Frühe naturwissenschaftliche Bildung und Förderung. Stuttgart: Kohlhammer.

Lohse-Bossenz, H., Brandtner, M., Kilian, R., Ding, K., Erdmann, K. & Rehm, M. (2023). Von der Wissenschaft in die Praxis und zurück: Ein Rahmenmodell zur Beschreibung von Wissenstransformationen in der Frühen Bildung. Frühe Bildung, 12 (4), 197–204. https://doi.org/10.1026/2191-9186/a000631

Meschede, N., Fiebranz, A., Möller, K. & Steffensky, M. (2017). Teachers' professional vision, pedagogical content knowledge and beliefs: On its relation and differences between pre-service and in-service teachers. Teaching and Teacher Education, 66, 158–170. https://doi.org/10.1016/j.tate.2017.04.010

Mischo, C. (2024). Kompetenzfacetten kindheitspädagogischer Fachkräfte: Wie hängen sie zusammen? Frühe Bildung, 13(2), 103–113. https://doi.org/10.1026/2191-9186/a000641

Möller, K., Grewe, O., Junker, R. & Holodynski M. (2021). Durch Praxis professionalisieren – Lernen durch Videos als kohärentes und transdisziplinäres Mittel über die Fächer hinweg? In C. Reintjes, T.-S. Idel, G. Bellenberg & K.V. Thönes (Hrsg.), Schulpraktische Studien und Professionalisierung: Kohärenzambitionen und alternative Zugänge zum Lehrberuf (S. 135-160). Münster: Waxmann. https://doi.org/10.31244/9783830994336

Orientierungsplan für Bildung und Erziehung in baden-württembergischen Kindergärten und weiteren Kindertageseinrichtungen. Fassung vom 15. März 2011. Verfügbar unter https://kindergaerten.kultus-bw.de/Orientierungsplan

Rehm, M., & Bölsterli, K. (2014). Entwicklung von Unterrichtsvignetten. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung (S. 213–225). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-37827-0

Rutsch, J. (2016). Entwicklung und Validierung eines Vignettentests zur Erfassung des fachdidaktischen Wissens im Leseunterricht bei angehenden Lehrkräften. Heidelberg. Verfügbar unter: https://opus.ph-heidelberg.de/frontdoor/deliver/index/docId/215/file/Dissertation_Rutsch_Veroeffentlichung.pdf

Rutsch, J., Benz, J. & Dörfler, T. (2021). Expertennorm = theoretische Norm? In H. LohseBossenz, M. Rehm, M.E. Friesen, M. Seidenfuß, J. Rutsch, M. Vogel & T. Dörfler (Hrsg.), Professionalisierung in der Lehrerbildung. Erkenntnisse und Perspektiven des interdisziplinären Forschungsprogramms „Effektive Kompetenzdiagnose in der Lehrerbildung" (S. 95-113). Münster: Waxmann.

Santagata, R., & Yeh, C. (2016). The role of perception, interpretation, and decision making in the development of beginning teachers' competence. ZDM Mathematics Education, 48 (1), 153-165. https://doi.org/10.1007/s11858-015-0737-9

Seidel, T., Blomberg, G. & Stürmer, K. (2010). "Observer" – Validierung eines videobasierten Instruments zur Erfassung der professionellen Wahrnehmung von Unterricht. Projekt OBSERVE. In E. Klieme, D. Leutner & M. Kenk (Hrsg.), Kompetenzmodellierung. Zwischenbilanz des DFG-Schwerpunktprogramms und Perspektiven des Forschungsansatzes (S. 296-306). Weinheim, Basel: Beltz.

Seidel, T. & Stürmer, K. (2014). Modeling and Measuring the Structure of Professional Vision in Preservice Teachers. American Educational Research Journal, 51 (4), 739–771. https://doi.org/10.3102/0002831214531321

Steffensky, M. (2017). Naturwissenschaftliche Bildung in Kindertageseinrichtungen. Weiterbildungsinitiative Frühpädagogische Fachkräfte, WiFF Expertisen, Band 48, München: WiFF.

Laura Siebers[1]
Sarah Rau-Patschke[1]
Stefan Rumann[1]

[1]Universität Duisburg-Essen

Lehr-Lern-Labor-Seminar zur Förderung der adaptiven Lehrkompetenz

Ziel der Studie

Angesichts der heterogenen Lernvoraussetzungen stehen Sachunterrichtslehrkräfte vor der Herausforderung, alle Kinder bestmöglich bei der Entwicklung anschlussfähiger, naturwissenschaftlicher Kompetenzen zu unterstützen (Lange-Schubert & Kahlert, 2022). Adaptives Unterrichten, das sich durch eine hohe Passung zwischen den Lernvoraussetzungen und dem Lernangebot auszeichnet (Wember & Melle, 2018), ist hierbei ein wirksamer Weg, um die Lernvoraussetzungen produktiv zu nutzen (Hattie, 2009). Einen möglichen Ansatz zur Förderung der benötigten adaptiven Lehrkompetenz (ALK) stellen Lehr-Lern-Labor-Seminare (LLLS) dar. Ziel dieser Studie ist daher die Entwicklung und Evaluation eines entsprechenden Seminarkonzepts für den (naturwissenschaftlichen) Sachunterricht.

Theoretischer Hintergrund

Sachunterricht hat im Sinne einer doppelten Anschlussfähigkeit die Aufgabe, die vor- und außerschulischen Erfahrungen von Kindern aufzugreifen und zugleich das weiterführende Lernen in seinen Bezugsdisziplinen anzubahnen (GDSU, 2013). In Hinblick auf den naturwissenschaftlichen Bereich umfasst dies die Förderung entsprechender Sach- und Methodenkompetenzen, wobei insbesondere das Experimentieren einen hohen Stellenwert hat (Steffensky, 2022). Als Lehrkraft gilt es, alle Lernenden – ausgehend von ihren heterogenen Voraussetzungen – bei der Ausbildung experimenteller Kompetenz zu unterstützen. Dies kann durch eine adaptive (Sach-)Unterrichtsgestaltung (Brühwiler, 2014) mit einer hohen Passung von Lernangebot und -voraussetzungen (Wember & Melle, 2018) gelingen. Lehrkräfte benötigen hierzu eine gut ausgebildete ALK, die innerhalb dieses Projekts und unter Berücksichtigung der bestehenden Literaturlage (u.a. Brühwiler & Vogt, 2020; Hoppe et al., 2020; von Aufschnaiter et al., 2018) anhand der folgenden drei Teilkompetenzen (TK) operationalisiert wird:

- TK I: Lernvoraussetzungen identifizieren
- TK II: Passung beurteilen
- TK III: Passung herstellen

Um diese Teilkompetenzen und damit die ALK insgesamt zu fördern, erscheint die Einbindung von LLLS in die universitäre Lehrkräftebildung gewinnbringend. Denn diese gelten aufgrund ihrer engen Theorie-Praxis-Vernetzung (Roth & Priemer, 2020) als qualitätsvolle Praxiselemente (Rehfeldt et al., 2018). LLLS wird im Allgemeinen eine gute Wirksamkeit in Bezug auf die Ausbildung professioneller Kompetenz zugesprochen, die zum Teil in Studien belegt wurde (u.a. Köster et al., 2020; Rehfeldt et al., 2020; Dohrmann, 2019).

Fragestellung

Während die Förderung einzelner Teilaspekte der ALK durch die Teilnahme an einem LLLS bereits Gegenstand empirischer Forschungsvorhaben war (z.B. Zucker & Leuchter, 2018), wurde die ALK als Gesamtkonstrukt bislang nicht in diesem Kontext betrachtet. In dieser

Studie wird daher der Frage nachgegangen, inwiefern die Teilnahme an einem LLLS bei angehenden Sachunterrichtslehrkräften zur Entwicklung der ALK hinsichtlich ihrer drei Teilkompetenzen beiträgt.

Forschungsdesign & Methodik

Zur Beantwortung dieser Fragestellung wurde zunächst ein LLLS konzipiert, das insbesondere auf eine adaptive Gestaltung von Experimentierangeboten ausgerichtet ist und den Studierenden Gelegenheit bietet, an, in den Seminarverlauf integrierten, Projekttagen authentische Lerngruppen beim Experimentieren zu begleiten. Weiterhin wurde ein schriftlicher Vignettentest (Rutsch et al., 2018) zur Erfassung der ALK entwickelt und im Prä-Post-Design vor und nach der Teilnahme an dem LLLS eingesetzt. Dieser enthält sechs Vignetten zu drei unterschiedlichen Lerngegenständen, von denen jeweils zwei auf die Erfassung einer Teilkompetenz abzielen (Siebers et al., 2024). Zusätzlich wurden mit Hilfe halboffener Fragen die Vorerfahrungen der Studierenden im Umgang mit heterogenen Lerngruppen erhoben.

Die Auswertung der Vignettenbearbeitung erfolgte in einem zweistufigen Verfahren. Zunächst wurden die Freitextantworten der Studierenden mittels einer strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2022) ausgewertet. Hierbei bildete ein Kategoriensystem mit deduktiv hergeleiteten Haupt- und Subkategorien die Grundlage. Die Interrater-Übereinstimmung lag in einem zufriedenstellenden Bereich ($.62 \leq \kappa \leq .78$).

Im Anschluss an die Kodierung wurden die Ergebnisse quantifiziert, um die Vergleichbarkeit zwischen den Messzeitpunkten sowie den Studierenden sicherzustellen. Hierzu wurde prozentual betrachtet, wie viele Subkategorien jeweils kodiert wurden. Auf diese Weise wurde für alle Studierenden ein Prozentwert (Score) für die einzelnen Teilkompetenzen sowie die ALK insgesamt zum Prä- und zum Post-Messzeitpunkt generiert.

Ergebnisse

Nach einer vorangegangenen Pilotierung fand die Hauptstudie im Wintersemester 2023/2024 mit einer Stichprobe von $N = 24$ Sachunterrichtsstudierenden der Universität Duisburg-Essen statt. Diese befanden sich mehrheitlich (79%) im fünften Fachsemester. Im Rahmen des Seminars haben alle Teilnehmenden sechs Projekttage im Lehr-Lern-Labor absolviert. Ihre Vorerfahrungen mit heterogenen Lerngruppen im schulischen Kontext gestalten sich hingegen sehr unterschiedlich. Während sieben Personen angaben, lediglich über Erfahrungen durch Hospitation zu verfügen, haben elf Personen bereits Erfahrung durch die eigene Durchführung von Unterrichtsstunden/-sequenzen in Praxisphasen. Zudem berichteten sechs Studierende, dass sie aufgrund von Nebentätigkeiten (z.B. als Vertretungslehrkraft oder in der Lernförderung) vertieft mit heterogenen Lerngruppen arbeiten bzw. gearbeitet haben. Auch im außerschulischen Bereich weist etwa die Hälfte der 24 Studierenden Erfahrungen im Umgang mit heterogenen Kinder-/Jugendgruppen auf (z.B. in Sportvereinen, Pfadfindergruppen etc.).

Die Ergebnisse des Vignettentests deuten an, dass die Studierenden zu Seminarbeginn über ein vergleichbares Vorwissen in allen drei Teilkompetenzen verfügten. In Bezug auf alle drei Teilkompetenzen lässt sich weiterhin feststellen, dass ein signifikanter Zuwachs der Scores vom Prä- zum Post-Messzeitpunkt erfolgte. Hierbei variiert die Effektstärke in Abhängigkeit von der jeweils betrachteten Teilkompetenz: Während diese in Bezug auf die Teilkompetenzen *TK I: Lernvoraussetzungen identifizieren* ($t(23) = 4.26$, $p < .001$, $d = .87$; 95% CI [.07, .20]) und *TK III: Passung herstellen* ($t(23) = 3.52$, $p = .002$, $d = .72$, 95% CI [.04, .16]) in

einem hohen Bereich liegt, ist sie im Fall der Teilkompetenz *TK II: Passung beurteilen* ($t(23) = 2.40$, $p = .025$, $d = .49$, 95% CI [.01, .15]) eher im mittleren Bereich verortet.
Neben diesen Unterschieden zwischen den Teilkompetenzen lassen sich auch interindividuelle Unterschiede in der Kompetenzentwicklung feststellen. Über alle Teilkompetenzen hinweg treten mit Blick auf die Differenz des Scores zwischen Prä- und Post-Test ($\Delta_{\text{Post-Prä}}$) Fälle von Stagnation, Zuwachs und Abnahme auf (vgl. Tab. 1).

	TK I: LV identifizieren	**TK II: Passung beurteilen**	**TK III: Passung herstellen**
Abnahme $\Delta_{\text{Post-Prä}} < -0{,}05$	2	3	4
Stagnation $-0{,}05 \leq \Delta_{\text{Post-Prä}} \leq 0{,}05$	8	8	5
Zuwachs $\Delta_{\text{Post-Prä}} > 0{,}05$	14	13	15

Tab. 1: Absolute Häufigkeiten der Fälle von Abnahme, Stagnation und Zuwachs in Bezug auf die drei Teilkompetenzen

Diskussion der Ergebnisse
Die interindividuellen Unterschiede in der Kompetenzentwicklung könnten zum einen in Zusammenhang mit den inner- und außerschulischen Vorerfahrungen der Studierenden mit heterogenen Lern- bzw. Kindergruppen stehen. Da diese sich ebenfalls sehr heterogen gestalten, kann angenommen werden, dass die Studierenden auf jeweils unterschiedliche Wissensstrukturen zurückgreifen konnten, mit denen sie die neu zu erwerbenden Bereiche der ALK (im LLLS) in Beziehung setzen konnten.
Zum anderen könnten Unterschiede in der Kompetenzentwicklung auch auf eine unterschiedliche Nutzung der Lerngelegenheiten im LLLS zurückzuführen sein. Denn in Anlehnung an das Angebots-Nutzungs-Modell von Helmke (2022) stellt auch das besuchte LLLS lediglich ein Angebot dar, das von den Studierenden in Abhängigkeit von individuellen und kontextbezogenen Faktoren genutzt wird. Tätigkeiten, die auf eine gezielte Förderung der Teilkompetenzen *TK I–III* abzielen, könnten daher auf diverse Weisen umgesetzt worden sein.

Ausblick
In Hinblick auf die möglichen Ursachen, die Unterschiede in der Kompetenzentwicklung bedingen könnten, erscheint es gewinnbringend, neben den Ergebnissen des Vignettentests zusätzlich auch Prozessdaten aus dem Seminarverlauf zu betrachten. Auf diese Weise können individuelle Lernprozesse schrittweise und damit differenzierter betrachtet werden. Ein nächster Schritt ist daher die Analyse von Beobachtungsprotokollen, die von den Studierenden an den Projekttagen im LLL beim Experimentieren mit den Kindern erstellt wurden. Diese dienten u.a. dazu, Verhaltensweisen der Kinder zu dokumentieren, die auf konkrete Lernvoraussetzungen hindeuten. Dementsprechend könnten die Protokolle Aufschluss über Entwicklungsschritte in der Teilkompetenz *TK I: Lernvoraussetzungen identifizieren* geben.

Literatur

Brühwiler, C. (2014). Adaptive Lehrkompetenz und schulisches Lernen. Effekte handlungssteuernder Kognitionen von Lehrpersonen auf Unterrichtsprozesse und Lernergebnisse der Schülerinnen und Schüler. Waxmann.

Brühwiler, C., & Vogt, F. (2020). Adaptive Unterrichtskompetenz. Auswirkungen auf Unterrichtsqualität und Lernergebnisse. Zeitschrift für Bildungsforschung Online, 12(1), 119–142.

Dohrmann, R. (2019). Professionsbezogene Wirkungen einer Lehr-Lern-Labor-Veranstaltung. Eine multimethodische Studie zu den professionsbezogenen Wirkungen einer Lehr-Lern-Labor-Blockveranstaltung auf Studierende der Bachelorstudiengänge Lehramt Physik und Grundschulpädagogik (Sachunterricht). Logos.

Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (Hrsg.) (2013). Perspektivrahmen Sachunterricht: Vollständig überarbeitete und erweiterte Ausgabe. Julius Klinkhardt.

Hattie, J. (2009). Visible Learning. A Synthesis of Over 800 Meta-Analyses Relating to Achievement. Routledge.

Helmke, A. (2022). Unterrichtsqualität und Professionalisierung. Diagnostik von Lehr-Lern-Prozessen und evidenzbasierte Unterrichtsentwicklung. Umfassend überarbeitete Ausgabe. Friedrich Verlag.

Hoppe, T., Renkl, A., & Rieß, W. (2020). Förderung von unterrichtsbegleitendem Diagnostizieren von Schülervorstellungen durch Video- und Textvignetten. Unterrichtswissenschaft, 48(4), 573–597.

Köster, H., Mehrtens, T., Brämer, M., & Steger, J. (2020). Forschendes Lernen im zyklischen Prozess - Entwicklung eines neuen Lehr-Lern-Formats im Studienfach Sachunterricht. In B. Priemer & J. Roth (Hrsg.), Lehr-Lern-Labore: Konzepte und deren Wirksamkeit in der MINT-Lehrpersonenbildung (S. 99–111). Springer Spektrum.

Lange-Schubert, K., & Kahlert, J. (2022). Inklusion im Sachunterricht - Ansprüche und Herausforderungen. In J. Kahlert, M. Fölling-Albers, M. Götz, A. Hartinger, S. Miller & S. Wittkowske (Hrsg.), Handbuch Didaktik des Sachunterrichts (3. Aufl., S. 76–83). Julius Klinkhardt.

Rehfeldt, D., Klempin, C., Brämer, M., Seibert, D., Rogge, I., Lücke, M., ... Köster, H. (2020). Empirische Forschung in Lehr-Lern-Labor-Seminaren. Ein Systematischer Review zu Wirkungen des Lehrformats Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 34, 149–169.

Rehfeldt, D., Seibert, D., Klempin, C., Lücke, M., Sambanis, M., & Nordmeier, V. (2018). Mythos Praxis um jeden Preis? Mythos Praxis um jeden Preis? Wurzeln und Modellierung des Lehr-Lern-Labors. die hochschullehre, 4, 90–114.

Roth, J., & Priemer, B. (2020). Das Lehr-Lern-Labor als Ort der Lehrpersonenbildung - Ergebnisse der Arbeit eines Forschungs- und Entwicklungsverbunds. In B. Priemer & J. Roth (Hrsg.), Lehr-Lern-Labore: Konzepte und deren Wirksamkeit in der MINT-Lehrpersonenbildung (S. 1–10). Springer Spektrum.

Rutsch, J., Vogel, M., Rehm, M. & Dörfler, T. (2018). Professionalisierungsprozesse angehender Lehrkräfte untersuchen. In J. Rutsch, M. Rehm, M. Vogel, M. Seidenfuß & T. Dörfler (Hrsg.), Effektive Kompetenzdiagnose in der Lehrerbildung: Professionalisierungsprozesse angehender Lehrkräfte untersuchen (S. 9–25). Springer Fachmedien.

Siebers, L., Rau-Patschke, S. & Rumann, S. (2024). Konzeption eines Lehr-Lern-Labor-Seminars zur Förderung der adaptiven Lehrkompetenz im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. In J. Bertram, K. Cantone, K. Niehaus, P. Scherer & G. Wolfswinkler (Hrsg.), Lehrkräfteprofessionalisierung für die Vielfalt der Metropolregion Rhein-Ruhr (S. 57–74). Waxmann.

Steffensky, M. (2022). Chemische Aspekte. In J. Kahlert, M. Fölling-Albers, M. Götz, A. Hartinger, S. Miller & S. Wittkowske (Hrsg.), Handbuch Didaktik des Sachunterrichts (3. Aufl., S. 141-145). Julius Klinkhardt.

von Aufschnaiter, C., Münster, C., & Beretz, A.-K. (2018). Zielgerichtet und differenziert diagnostizieren. MNU Journal, 71(6), 382–387.

Wember, F. B., & Melle, I. (2018). Adaptive Lernsituationen im inklusiven Unterricht: Planung und Analyse von Unterricht auf Basis des Universal Design for Learning. In S. Hußmann & B. Welzel (Hrsg.), DoProfiL - Das Dortmunder Profil für inklusionsorientierte Lehrerinnen- und Lehrerbildung (S. 57–72). Waxmann.

Zucker, V., & Leuchter, M. (2018). Lehr-Lern-Labore als lernwirksame Orte der fachdidaktischen MINT-Lehrerbildung – Förderung von Kompetenzen Studierender hinsichtlich des Diagnostizierens und Rückmeldens. MNU, 71(6), 364–369.

Jakub Knebloch[1] [1]Goethe-Universität Frankfurt am Main
Thomas Wilhelm[1]

Ursachen mangelnder Implementation physikdidaktischer Innovationen

Motivation

Damit evidenzbasierte Bildungsreformen nicht bloße Fiktionen bleiben (Spiel 2009), wird seit einigen Jahren verstärkt der Einsatz von Interventions- und Implementationsstudien gefordert (Heid 2011, S. 504). Vor allem im Fach Physik herrscht ein Desiderat an Implementationsstudien in Deutschland (Gräsel & Parchmann 2004, S. 197). Diese Studien sollen in einem umfassenderen Verständnis pädagogische Interventionen in der Praxis erproben und die Bedingungen, Prozesse sowie die Auswirkungen ihrer Implementierung untersuchen. Aus diesem Grund gewinnt die Implementationsforschung zunehmend an Bedeutung (Schrader et al., 2020). Die Implementationsforschung zielt darauf ab, die Prozesse bei der Umsetzung von Konzepten oder Programmen zu beschreiben und zu analysieren. Dabei sind die Wahrnehmungen, Handlungsweisen und die Entscheidungslogik der beteiligten Akteure von besonderer Bedeutung. Die Implementationsstrategien werden nach den folgenden Leitfragen analysiert: Was sind Kriterien für den Erfolg einer Implementation? Welche Erkenntnisse über fördernde und hemmende Einflussfaktoren auf die Implementation können aus den Strategien abgeleitet werden? Welche Folgerungen ergeben sich aus den Strategien für die weitere Forschung (Petermann 2014, S. 122-128)?

Identifizierte Probleme

Allerdings zeigen empirische Studien und Erfahrungsberichte aus der Praxis nach wie vor, dass es eine beträchtliche Lücke zwischen den Erkenntnissen aus evidenzbasierter physikdidaktischer Forschung und praktischer Anwendung gibt (Schrader et al., 2020). So berichten Wilhelm und Hopf (2014), dass viele gut evaluierte und erfolgsversprechende physikdidaktische Ideen nicht ihren Weg in die Klassenzimmer finden. Nach wie vor wird beklagt, dass es einen Mangel an Evidenz gibt, wie Implementation neuer Ideen praktisch gelingen kann (Spiel et al. 2018, S. 339). Forschungswissen wird oft nicht genutzt, weil das Wissenschaftssystem den Austausch von Wissen nicht belohnt (vgl. Thomsen und Anger 2018). Die Kommunikation nach außen zielt mehr auf den Aufbau von Ansehen als darauf, Wissen zu vermitteln (Weingart 2017). Außerdem verwendet die Bildungspolitik wissenschaftliche Erkenntnisse meist zur Legitimation, nicht um Reformen anzustoßen (Köller 2017, Thema G8/G9).

In den letzten Jahren werden vermehrt Studien zum Implementationserfolg neuer physikdidaktischer Ideen im Feld durchgeführt, um implementationsförderliche Merkmale zu erfassen. Es stellt sich hierbei heraus, dass, wenn Lehrkräften (LK) neue evidenzbasierte physikdidaktische Ideen und Unterrichtskonzeptionen bereitgestellt werden, sie sich wenig analytisch mit solchen Materialien auseinandersetzen und vieles im Unterricht nicht umsetzen (Vos et al. 2011; Landetal 2015; Kleickmann et al. 2016; Siedel und Stylianides 2018) und dass die Auseinandersetzung mit den Materialien lediglich nur heuristisch auf Sichtstrukturebene stattfindet und die fachdidaktischen Potentiale nicht ausgenutzt werden (Breuer, 2021). Eine schriftliche Befragung von 47 Grundschullehrkräften in den USA zeigte, dass diese die Texte aus den 'educative features' bei der Unterrichtsplanung nur oberflächlich lesen und sich wenig analytisch mit dem Material auseinandersetzen. Das Potenzial der

'educative features' wird dabei häufig nicht erkannt (Land, Tyminski & Drake, 2015). Es scheint, dass LK Unterrichtsmaterialien oft eher bruchstückhaft nutzen, anstatt sie als ein durchdachtes, zusammenhängendes Konzept zu betrachten (Schneider & Krajcik, 2005; Beerenwinkel & Gräsel, 2005). Obwohl Breuer (2021) in ihrer Fallstudie zur Bereitstellung des evidenzbasierten „milq-Konzepts“ bei 11 Physik-Gymnasiallehrkräften viele implementationsförderlichen Aspekte und relevante Einflussfaktoren identifizieren konnte, schreibt auch sie mit anderen Autoren zusammen, dass aufgrund der Komplexität des Zusammenspiels verschiedener Wirkfaktoren kaum belastbare Aussagen über den Einfluss einzelner Faktoren getroffen werden konnten (Breuer et al., 2022). Somit mangelt es immer noch an theoretisch fundierten Erkenntnissen zu den institutionellen, organisatorischen und personellen Voraussetzungen für die erfolgreiche Implementation fachdidaktischer Konzepte (Schrader et al., 2020).

Halboffene explorative Interviews

Aus dem bisherigen Forschungsstand gibt es noch keine Ansätze für eine systematische und quantitative Untersuchung. Zum einen wurden die Lehrkräfte (LK) meistens nur zu den ihnen präsentierten unterrichtsdidaktischen Ideen befragt, sodass die gewonnenen Erkenntnisse sich auch nur auf diese spezifischen Ideen beziehen und keine verallgemeinerbaren Aussagen getroffen werden können, zum anderen wurden immer qualitative Methoden zur Untersuchung der Implementation genutzt.

In einer neuen Studie wurden explorativ halboffene Leitfadeninterviews mit 15 Physiklehrkräften durchgeführt, um ein tieferes Verständnis zu den Meinungen, Einstellungen und Perspektiven der LK zu gewinnen. Danach soll hypothesengeleitet ein Fragebogen entwickelt werden, der für eine großflächigere Befragung gedacht ist, um LK zum Mangel an Implementation neuer physikdidaktischer Ideen und zu ihren persönlichen und individuellen alltäglichen Herausforderungen und Schwierigkeiten in ihrer täglichen Praxis zu befragen und damit einen ersten Ansatz für eine quantitative Untersuchung zur beschriebenen Problematik zu gewinnen. Die Stichprobe umfasste neun LK aus Gymnasien, zwei aus Gesamtschulen, eine aus einer integrierten Gesamtschule, eine aus einer Hauptschule und zwei aus einem Oberstufengymnasium. Darunter waren vier Quereinsteiger*innen, eine Seiten-einsteigerin, neun LK die das Lehramtsstudium abgeschlossen hatten und bei einer war der Bildungsweg unbekannt. Die Altersspanne der LK umfasste eine bunte Mischung von 30 bis 67 Jahren. Die in den Interviews an die LK gestellten Fragen waren: a) Warum lassen sich physikdidaktische Ideen / Entwicklungen in der Unterrichtspraxis bisher oft nicht umsetzen? Was fehlt? b) Welche Bedingungen sind nötig, damit neue Ideen umgesetzt werden? c) Kennen Sie Unterrichtskonzeptionen der Physikdidaktik? Welche? Warum haben Sie diese eingesetzt bzw. nicht eingesetzt? d) Fallen Ihnen spontan physikdidaktische Unterrichtsmaterialien aus der Physikdidaktik ein? Welche? Warum sind diese hilfreich bzw. nicht hilfreich? e) Haben Sie sonst schon Unterrichtsmaterialien von anderen eingesetzt? Welche? f) Was muss gegeben sein, damit Sie neue Ideen ausprobieren? Was muss erfüllt sein, damit Sie Unterrichtsmaterialien von anderen verwenden? Die Interviews wurden transkribiert und anschließend im Programm MAXQDA24 kodiert. Die Auswertung und Kodierung der Interviews folgte den Prinzipien der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2015).

Ergebnisse der Interviews

Nachdem die fünfzehn Interviews transkribiert, analysiert und kodiert wurden, ergaben sich über 600 Codes (d. h. Aussagen der LK zu den im Leitfadeninterview genannten Fragen). Ziel

war es, das Material so zu reduzieren, dass die wesentlichen Inhalte erhalten bleiben und durch Abstraktion einen überschaubaren Corpus zu schaffen, der immer noch Abbild des Grundmaterials ist. Bei solchen reduzierenden Textanalyseprozessen handelt es sich um eine Art induktiver Kategorienbildung. In der Psychologie der Textverarbeitung ist das Formulieren von Makrooperatoren der Reduktion (Auslassen, Generalisation, Konstruktion, Integration, Selektion, Bündelung) zentral. Dafür wurde das Ablaufmodell zusammenfassender Inhaltsanalyse nach Mayring (2015, S. 68) verwendet. Die Interviews wurden zunächst unabhängig voneinander von zwei Kodierern kodiert, anschließend miteinander verglichen und etwaige Unstimmigkeiten wurden im Rahmen eines diskursiven Konsenses geklärt. Auf diese Weise ergaben sich acht Kategorien mit u. a. folgenden Ergebnissen, von denen hier nur einzelne stichpunktartig genannt werden können:

Kategorie 1: Information und Austausch	**Kategorie 2**: Vorbereitungszeit- und -aufwand	**Kategorie 3**: Unterrichtszeit und -aufwand	**Kategorie 4**: Ausstattung
- nicht informiert - mühevoll, zeitaufwendig - fehlende Zeit	- Zeitaufwand für Unterrichtsplanung - zeitintensive Einarbeitung	- viele Ideen nehmen zu viel Unterrichtszeit weg	- fehlende Ausstattung - zu wenig Platz in den Physikräumen
Kategorie 5: Schülerfaktoren	**Kategorie 6**: Lehrkräftefaktoren	**Kategorie 7**: Konzepte	**Kategorie 8**: Institution
- Schüler*innen nicht technikaffin - digitale Medien sind nachteilhaft - Schüler*innen stark überfordert - finden wenig Alltagsbezug	- Meinungsunterschiede im Kollegium - aus bestehenden Konzepten schwer auszubrechen - Fortbildungen unangemessen	- Ideen, Konzepte zu ambitioniert - Ideen umfangreicher als es der Lehrplan erlaube - fehlende Arbeitsblätter und Anleitungen	- curriculare Vorgaben nachteilhaft - Bürokratie nachteilhaft - hohe Stundenbelastung

Da die Interviews explorativ zur tiefergehenden Erkundung der Meinungen, Einstellungen und Perspektiven der Physiklehrkräfte dienten, wurden hier bisher keine statistische Analysen, Häufigkeiten und keine Urteilerübereinstimmung beabsichtigt. Viele Aspekte wie hohe Stundenbelastung, Zeitmangel, Bürokratie, curriculare Vorgaben, etc. können seitens der Physikdidaktik nicht geändert oder verbessert werden. Was sich in den Interviews jedoch als sehr markant aufweist, ist, dass Physiklehrkräften deutlich die Kommunikation mit der Physikdidaktik fehlt, Informationsbeschaffung sehr mühevoll, komplex und zeitaufwendig ist, dass sie wenig bis gar nicht über neue Ideen informiert werden und dass sie keine vertrauenswürdige Quellen der Physikdidaktik kennen. Dies wären somit die Stellschrauben, an denen die Physikdidaktik arbeiten könnte, um die Implementation neuer Ideen zu fördern. Die detaillierteren Ergebnisse der einzelnen Kategorien sind im Tagungsband der DPG (2024) unter dem Namen des Autors ausführlich beschrieben.

Ausblick

Die Kategorien könnten in einem Fragebogen genutzt werden, um die Häufigkeiten bestimmter Ursachengruppen zu beschreiben und in einen Zusammenhang zu setzen. Das Ziel einer statistischen Suche nach den häufigsten Erklärungsprofilen besteht letztlich in der Ermittlung der wahrgenommenen Hauptursachen, die dafür verantwortlich sind, dass Lehrkräfte physikdidaktische Ideen nicht in den Unterricht implementieren.

Literatur

Beerenwinkel, A. & Gräsel, C. (2005). Texte im Chemieunterricht: Ergebnisse einer Befragung von Lehrkräften. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 11, 21-39.

Breuer, J., Vogelsang, C. & Reinhold, P. (2022). Nutzungsverhalten von Lehrkräften bei der Implementierung einer physikdidaktisch innovativen Unterrichtskonzeption. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 28, 73-85.

Gräsel, C. & Parchmann, I. (2004). Implementationsforschung - oder: der steinige Weg, Unterricht zu verändern. Unterrichtswissenschaft 32(4), 196-214.

Heid, H. (2011). Über Bedingungen der Anwendung erziehungswissenschaftlichen Wissens. In O. Zlatkin Troitschanskaia (Hrsg.), Stationen der Empirischen Bildungsforschung, 490-508.

Kleickmann, T., Tröbst, S., Jonen, A., Vehmeyer, J., & Möller, K. (2016). The effects of expert scaffolding in elementary science professional development on teachers' beliefs and motivations, instructional practices, and student achievement. Journal of Educational Psychology 108(1), 21-42.

Köller, O. (2017). Verkürzung der Gymnasialzeit in Deutschland. Folgen der G8-Reform in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland. Essen: Stiftung Mercator GmbH.

Land, T., Tyminski, A. & Drake, C. (2015). Examining Pre-service Elementary Mathematics Teachers' Reading of Educative Curriculum Materials. Teaching and Teacher Education 51, 16-26.

Lederman, N.G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of Nature of Science Questionaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. Journal of Research in Science Teaching 39 (6), 497-521.

Mayring, P. (2015). Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken. Weinheim: Beltz Verlag.

Petermann, F. (2014). Implementationsforschung: Grundbegriffe und Konzepte. Psychologische Rundschau, 65 (3), Göttingen: Hogrefe Verlag, 122-128.

Schneider, R. M., Krajcik, J. & Blumenfeld, P. (2005). Enacting Reform-based Science Materials: The Range of Teacher Enactments in Reform Classrooms. Journal of Research in Science Teaching, 42(3), 283-312.

Schrader, J., Hasselhorn, M., Hetfleisch, P. & Goeze, A. (2020). Stichwortbeitrag Implementationsforschung: Wie Wissenschaft zu Verbesserungen im Bildungssystem beitragen kann. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft 23, Berlin: Springer, 9-59.

Siedel, H., & Stylianides, A. (2018). Teachers' selection of resources in an era of plenty: an interview study with secondary mathema tics teachers in england. In L. Fan, L. Trouche, C. Qi, S. Rezart & J. Visnovska (Hrsg.), Research on mathematics textbooks and teachers' resources Cham: Springer, 119-144.

Spiel, C. (2009). Evidenzbasierte Bildungspolitik und Bildungspraxis – eine Fiktion? Problemaufriss, Thesen, Anregungen. Psychologische Rundschau, 60(4), Göttingen: Hogrefe Verlag, 255-256.

Spiel, C., Schober, B. & Strohmeier, D. (2018). Implementing Intervention Research into Public Policy—the „I³-Approach". Berlin: Springer.

Thomsen, S. L., & Anger, S. (2018). Die Notwendigkeit ökonomischer Politikberatung für eine evidenz basierte Bildungspolitik: Verkürzung und Verlängerung der Schulzeit am Gymnasium. Perspektiven der Wirtschaftspolitik 19(3), 167-184.

Vos, M. A. J., Taconis, R., Jochems, W. M., & Pilot, A. (2011). Classroom implementation of context-based chemistry education by teachers: the relation between experiences of teachers and the design of materials. International Journal of Science Education 33(10), 1407-1432.

Weingart, P. (2017). Wissenschaftskommunikation unter digitalen Bedingungen. Funktionen, Akteure und Probleme des Vertrauens. In P. Weingart, H. Wormer, A. Wenninger & R. F. Hüttl (Hrsg.), Perspektiven der Wissenschaftskommunikation im digitalen Zeitalter. Weilerswist: Velbrück Wissenschaft, 31-59.

Wilhelm, T. & Hopf, M. (2014). Design-Forschung. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin, Heidelberg: Springer, 31-42.

Thomas Prestel[1] [1]TU Dresden
Tim Kaltofen[2] [2]Gymnasium Dresden-Plauen

Hindernisse bei der Implementierung evidenzbasierter Lehrkonzepte unter Physik-Lehrenden an deutschen Hochschulen

In Grundlagenlehrveranstaltungen im Fach Physik an deutschen Hochschulen werden mutmaßlich oft klassische, frontale Vorlesungsformate genutzt. In den USA durchgeführte Studien liefern jedoch Indizien dafür, dass Lehrkonzepte, die auf Studierendenaktivität und -aktivierung basieren, wie Peer Instruction oder Problem-Based-Learning, zu signifikant besserem konzeptionellen Verständnis führen (Hake, 1998). Dabei scheinen die Problemlösekompetenzen mindestens gleichbleibend oder besser ausgebildet zu werden (Meltzer & Manivannan, 2002). Der Einsatz solcher Lehrkonzepte verbreitet sich in den USA zunehmend (Dancy *et al.,* 2024), auch weil die Hindernisse bei der Implementierung analysiert wurden, um strategisch die Verbreitung der Lehrkonzepte zu fördern (Sturtevant & Wheeler, 2019). Entsprechende Untersuchungen im deutschsprachigen Raum sind nicht bekannt. Das Ziel dieser Studie ist daher, das Wissen der Lehrenden über evidenzbasierte Lehrkonzepte an deutschen Universitäten zu untersuchen und den Einsatz und die Gründe für den Nicht-Einsatz solcher Lehrkonzepte zu identifizieren.

Umfrage und Demografie der Teilnehmenden

Für die Umfrage in Deutschland wurden basierend auf dem Fragebogen aus den USA (Sturtevant & Wheeler, 2019; Henderson & Dancy, 2009) Interviews durchgeführt, um auf mögliche kulturelle Differenzen bei der Einschätzung zu den Hindernissen eingehen zu können. Die Interview-Erfahrungen leiteten die Umfrageanpassung für den deutschen Sprachraum. Danach wurde ein Online-Fragebogen erstellt und an über 1950 Lehrende im Fach Physik gesandt. Die Bearbeitung der Umfrage war für 6 Wochen möglich, wobei zwei Wochen nach Einladung zur Umfrage eine Erinnerung versendet wurde. Insgesamt lagen nach Abschluss 269 vollständig ausgefüllte Datensätze zur Auswertung vor. Einschränkend ist klar, dass durch diese niedrige Teilnahmequote von 13,7 % die Daten stark von einem self-selection-bias geprägt sind. Die Rohdaten der Umfrage sind frei zugänglich auf dem Forschungsdatenserver OPARA veröffentlicht (Kaltofen & Prestel, 2024a). Ein ausführlicher Bericht der Umfrage ist auf QUCOSA, dem sächsischen Dokumenten- und Publikationsserver, bereitgestellt (Kaltofen & Prestel, 2024b).
Die Teilnehmenden waren überwiegend männlich (83 %), an einer Universität (86 %) auf einer Professur (78 %) unbefristet (85 %) angestellt. Die Berufserfahrung in der Lehre wurde von den Meisten mit 11-20 Jahren (N = 89) bzw. größer als 20 Jahren (N = 128) angegeben.

Ergebnisse

Bekanntheit und Nutzung der Konzepte

Bei der Abfrage nach der Bekanntheit und Nutzung der Lehrkonzepte wurden diese mit kurzen Informationstexten vorgestellt. Die Konzepte Peer Instruction und Interactive Lectures sind offenbar am bekanntesten (siehe Tab. 1), während Think-Pair-Share, Just-In-Time-Teaching und Problem Based Learning bei etwa 75 % der Teilnehmenden bekannt sind und Studio-Style-Classrooms nur bei etwas mehr als 50 %.

Bei den Nutzungszahlen liegen die Interactive-Lectures weit vor den anderen Konzepten, ebenfalls beliebt scheint Just-in-Time-Teaching. Bei den Interactive-Lectures zeigt sich, dass der angegebene Zeitanteil bei der Lehrveranstaltung für „alle Personen aktiv" weit hinter der Erwartung und auch den anderen Konzepten zurückbleibt. Das legt nahe, dass die Beschreibung zu diesem Lehrkonzept viel Interpretationsspielraum ließ und die Interaktivität mehr im Sinne von Medieneinsatz als im Sinne von Interaktion interpretiert wurde, was hier offenbar zu höheren Nutzerzahlen führte. Auch bei Just-in-Time-Teaching sind Missverständnisse der Konzeptbeschreibung eine mögliche Ursache für die außergewöhnlich hohe Nutzungsrate, die sich in keiner Weise mit den zuvor durchgeführten Interviews deckt.
Weiterhin zeigt sich auch, dass die Konzepte, die häufig genutzt werden, geringe Abbrecherzahlen aufweisen.

Tab. 1: Übersicht zur Bekanntheit der Lehrkonzepte, Gesamtzahl der Nennungen mit Prozentangabe in Klammern, Nutzer sind alle, die das Konzept aktiv nutzen oder das Konzept genutzt haben (letztere sind Abbrecher).

Lehrkonzept	Bekanntheit (%)	Nutzer (%)	Abbrecher (%)
Peer instruction	323 (92,3%)	98 (28,0%)	28 (28,6%)
Interactive Lectures	332 (95,1%)	217 (62,2%)	18 (8,3%)
Think-Pair-Share	252 (72,2%)	53 (15,2%)	10 (18,9%)
Just-In-Time-Teaching	262 (75,3%)	159 (45,7%)	13 (8,2%)
Studio Style Classrooms	193 (55,5%)	38 (10,9%)	8 (21,1%)
Problem Based Learning	265 (75,9%)	72 (20,6%)	9 (12,5%)

Hindernisse
Insgesamt wurden 40 Hindernisse formuliert, die sich in vier Kategorien zuordnen lassen: Hindernisse mit Bezug zu Studierenden, persönliche Überzeugungen, Hindernisse auf Fakultäts- bzw. Universitätsebene und andere Hindernisse, wie z. B. die eigene Erfahrung im Studium oder die Zugänglichkeit von Beispielmaterialien. Die Einschätzung der Hindernisse erfolgte über eine 5-stufige Skala von „gar nicht hinderlich" (mit „1" bewertet) bis „sehr hinderlich" (mit „5" bewertet), auch die Angabe „kann ich nicht einschätzen" war möglich, womit diese Einzel-Antwort aus der Auswertung ausgeschlossen wurde.
Die Hindernisse mit den höchsten Zustimmungen sind die Folgenden [Mittelwert (Standardabweichung)]: „Studierende kommen nicht vorbereitet in die Lehrveranstaltung" [3,85 (1,04)], „Evidenzbasierte Lehrkonzepte zu implementieren erfordert zu viel Vorbereitungszeit" [3,63 (1,10)], „Ich habe keine Zeit, um neue Konzepte/Aktivitäten für meine Lehrveranstaltungen zu entwickeln oder zu implementieren. Meine Arbeitslast ist zu hoch." [3,57 (1,21)]. Diese Beispiele stehen stellvertretend für die Gruppen von Hindernissen, die am häufigsten hohe Zustimmung finden. 1) Hindernisse, die in Zusammenhang mit Studierenden stehen; 2) der Faktor Zeit.
Am wenigsten als Hindernis gesehen werden negative eigene Erfahrungen mit evidenzbasierten Lehrkonzepten aus dem Studium oder als Lehrperson sowie Beschränkungen in der Freiheit der Lehre (allesamt mit Mittelwerten < 1,9).

Unterstützungsangebote
Zwei Drittel der Befragten äußerten sich positiv, dass Unterstützungsangebote dazu beitragen können, ein evidenzbasiertes Lehrkonzept in der eigenen Lehre zu erproben oder zu

implementieren. Bei der Frage nach der Nützlichkeit von bestimmen Unterstützungsangeboten wurden an erster Stelle „frei zugängliche konkrete und fachbezogenen Beispiele und Materialien“ als eher oder sehr hilfreich eingeschätzt. Entlastungen beim Thema Zeit (direkte personelle Unterstützung oder Anrechnungsstunden beim Lehrdeputat) wurden ebenfalls als sehr hilfreich angesehen. Eher neutral wurden Hospitations- und Feedbackangebote eingeschätzt.

Vergleich von Teilnehmer-Gruppen

Für die weitergehende statistische Auswertung wurden Testverfahren für nichtnormalverteilte Datensätze genutzt. Der Vergleich der Teilnehmenden, die die Umfrage nicht beendet haben, mit denjenigen, die die Umfrage beendet haben, legt nahe, dass sich diese Gruppen hinsichtlich des angegebenen Aktivitätslevels der Studierenden während ihrer Lehrveranstaltungen nicht unterscheiden. D. h. die Gründe für den Abbruch der Umfrage liegen eher an anderen Faktoren (z. B. Faktor Zeit, etc.) als an der Gestaltung der Lehrveranstaltung. Über die Gründe zur Teilnahme bzw. Nicht-Teilnahme an der Umfrage können keine Aussagen getroffen werden.

Zwischen männlichen (N = ca. 220)[1] und weiblichen Teilnehmenden (N = ca. 30) wurden nur wenige Differenzen im Antwortverhalten festgestellt. Die Items „Ich habe keine Zeit um neue Konzepte/Aktivitäten für meine Lehrveranstaltungen zu entwickeln oder zu implementieren. Meine Arbeitslast ist zu hoch“ und „Ich habe Angst, dass die Implementierung eines evidenzbasierten Lehrkonzepts zu meiner Lehrveranstaltung nicht funktionieren könnte. Ich habe Angst zu scheitern.“ erhielten von weiblichen Teilnehmen leicht höhere Zustimmung als von männlichen Teilnehmenden. Weitere Unterschiede wurden hier nicht gefunden.

Beim Vergleich von aktiven Nutzern und Nicht-Nutzern von evidenzbasierten Lehrkonzepten zeigt vor allem das Hindernis „fehlende Kenntnis der Konzepte“ einen größeren Unterschied. Andere Hindernisse aus dem Feld der persönlichen Überzeugungen, wie „Thema der Lehrveranstaltung nicht passend“, „Stofffülle zu groß“, „hohes Risiko bei Implementierung“ weisen kleine Unterschiede zwischen diesen beiden Gruppen auf – jeweils in dem Sinn, dass dies für die Nicht-Nutzer ein größeres Hindernis darstellt.

Zusammenfassung und Ausblick

Mit der Umfrage wurde zum ersten Mal ein größerer Datensatz erhoben, um ein aussagekräftiges Bild zum Wissen, zum Einsatz und zu den Hindernissen bei der Implementierung von evidenzbasierten Lehrkonzepten im Fach Physik an deutschen Hochschulen zu zeichnen. Es zeigte sich, dass die Kenntnis der Konzepte verhältnismäßig groß ist (mit etwa 75 % Bekanntheit oder mehr bei fünf der sechs genannten Konzepte), aber nur verhältnismäßig wenige Dozierende die Konzepte aktiv nutzen. Als Haupthindernisse werden Hindernisse in Zusammenhang mit dem Thema Zeit (Vorbereitungszeit, Arbeitslast, etc.) sowie mangelnde Bereitschaft oder Anwesenheit der Studierenden angesehen, eigene negative Erfahrungen mit diesen Lehrkonzepten stellen offenbar nur selten ein Hindernis dar.

Als Unterstützungsangebote werden konkrete Beispielmaterialien als sehr hilfreich erachtet, ebenso wie Entlastungen beim Faktor Zeit. Diese Ergebnisse können helfen, um strategisch eine stärke Etablierung von evidenzbasierter Lehrkonzepte zu verfolgen.

[1] Die Angabe der Gruppengröße ist wie bei allen folgenden Werten nur ungefähr, da bei jedem Item die Möglichkeit bestand keine Antwort zu geben, was unterschiedlich große Antwortzahlen nach sich zieht.

Literatur

Dancy, M., Henderson, C., Apkarian, N., Johnson, E., Stains, M., Raker, J. R. & Lau, A. (2024). Physics instructors' knowledge and use of active learning has increased over the last decade but most still lecture too much, Physical Review Physics Education Research, 20 (1), 010119

Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. American Journal of Physics, 66 (1), 64–74

Henderson, C., & Dancy, M. H. (2009). Impact of physics education research on the teaching of introductory quantitative physics in the United States. Physical Review Special Topics - Physics Education Research, 5(2), 020107

Kaltofen, T., & Prestel, T. (2024a). Data of an online-survey about the barriers in the implementation of evidence based teaching concepts at German universities in physics, https://doi.org/10.25532/OPARA-607

Kaltofen, T., & Prestel, T. (2024b). Hindernisse bei der Etablierung evidenzbasierter Lehrkonzepte in der universitären Lehre im Fach Physik, https://doi.org/10.25368/2024.320

Meltzer, D. E., & Manivannan, K. (2002). Transforming the Lecture-Hall Environment: The Fully Interactive Physics Lecture, American Journal of Physics, 70 (6), 639–654

Sturtevant, H., & Wheeler, L. (2019). The STEM faculty instructional barriers and identity survey (FIBIS): Development and exploratory results. International Journal of STEM Education, 6(1), 1-22

Svenja Boegel[1]
Mathias Ropohl[1]

[1]Universität Duisburg-Essen

Feedback beim Experimentplanen: Zusammenhänge verschiedener Schüler:innenmerkmale

Theoretischer Hintergrund

Schüler:innen stehen in Experimentiersituationen, insbesondere bei der Anwendung der Variablenkontrollstrategie (VKS) vor Herausforderungen, was angepasste Lernprozesse erfordert (Scheuermann, 2017; Schwichow et al., 2016). In vorangegangenen Studien hat sich Feedback zu einer Experimentplanung als effektive Lernunterstützung erwiesen (Hild et al., 2020; Scheuermann, 2017; Wollenschläger et al., 2011). Das Geben von Feedback führt jedoch zu kognitiv anspruchsvollen Lernsituationen, da unterschiedliche Informationen verarbeitet und verstanden werden müssen. Dadurch steigt potentiell der Cognitive Load der Schüler:innen.

Um die kognitiven Ressourcen der Schüler:innen nicht auszulasten, kann für die Entwicklung von Feedback die Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML; Mayer, 2001) als Grundlage genutzt werden. Nach der CTML steht ein Kanal für visuell/non-verbal (z.B. Bilder) und ein Kanal für auditiv/verbal (z.B. geschriebener Text) präsentierte Informationen zur Verfügung. Es wird angenommen, dass das Arbeitsgedächtnis voneinander unabhängige visuelle und auditive Komponenten zur kurzfristigen Speicherung hat (Paivio, 1986). Diese Arbeitsgedächtnisspeicher haben jedoch eine begrenzte Kapazität (Chandler & Sweller, 1991). Um die Kapazität nicht auszulasten oder gar zu überlasten, sollte Lernmaterial aus einer Kombination von Texten und Bildern gestaltet werden.

Im Rahmen einer vorangegangenen Studie hat sich Feedback, das Informationen über Texte und Bilder rückmeldet, beim Planen von Experimenten unter Anwendung der VKS als effektiver mit Bezug auf den Cognitive Load von Schüler:innen erwiesen als Feedback, das Informationen nur über Texte oder nur über Bilder rückmeldet (Boegel & Ropohl, 2024). Das Feedback zeichnet sich dadurch aus, dass die Gestaltungsprinzipien der CTML umgesetzt wurden (Mayer, 2001). Neben dem kombinierten Einsatz von Texten und Bildern (Multimedia Principle) sind die zusammengehörenden Texte und Bilder räumlich benachbart abgedruckt (Spatial Contiguity Principle). Zusätzlich sind die Informationen des Feedbacks, auf die besonders geachtet werden soll, mit roten Umrandungen versehen (Signaling Principle). Die Bilder, die im Feedback eingesetzt wurden, haben einen instruktionalen Charakter und bilden den Prozess des adressierten Experiments ab (Coherence Principle). Abschließend wird sprachlich darauf geachtet, dass der Text im aus dem Chemieunterricht bekannten Gesprächsstil formuliert ist und die Schüler:innen direkt adressiert werden (Personalisation Principle).

Ziel und Forschungsfragen

Ziel des Vorhabens ist das Untersuchen des Cognitive Loads von Schüler:innen, wenn diese im Rahmen einer Lerngelegenheit mit Hilfe von Feedback Experimente unter Anwendung der

VKS planen. Das Feedback wird für die Untersuchung gezielt entsprechend der CTML entwickelt und zeichnet sich durch die Umsetzung der Gestaltungsprinzipien aus.

Forschungsfrage: Wie hoch ist der Cognitive Load von Schüler:innen im Verlauf einer Lerngelegenheit beim feedbackgestützten Planen von Experimenten unter Anwendung der VKS?

Methodisches Vorgehen

Um die Forschungsfrage zu beantworten, wurde im Herbst 2023 eine Querschnittserhebung durchgeführt, an der $N = 178$ Schüler:innen aus 9. Klassen nordrhein-westfälischer Gymnasien teilgenommen haben. Die Schüler:innen haben zunächst eine vorgeschriebene Experimentplanung gelesen, welche nicht alle Charakteristika der VKS beinhaltet bzw. richtig umsetzt. Diese Planung wurde basierend auf realen Schülerantworten aus einer vorherigen Studie erstellt. Anschließend haben die Schüler:innen ihren bei dieser Aufgabe empfundenen Cognitive Load (Paas, 1992) eingeschätzt (MZP 1). Nachfolgend haben die Schüler:innen den Feedbackbogen, der Informationen über Texte und Bilder rückgemeldet, gelesen und erneut den bei dieser Aufgabe empfundenen Cognitive Load eingeschätzt (MZP 2). Der Feedbackbogen führt auf, welche Merkmale der VKS bei einer Experimentplanung berücksichtigt werden sollen (Lernziele), welche Merkmale der VKS in der vorgefertigten Experimentplanung bereits berücksichtigt wurden (Lernstand) und welche Merkmale der VKS noch nicht berücksichtigt wurden (nächste Schritte). Im Anschluss daran haben die Schüler:innen mit Hilfe des Feedbackbogens eine Experimentplanung neu geschrieben. Da das Feedback Bezug zu der vorgeschriebenen Experimentplanung nimmt, welche für alle Gruppen gleich ist und nicht auf eine individuelle Schülerantwort fokussiert, kann dieses als simuliertes Feedback bezeichnet werden. Das simulierte Feedback hat den Vorteil, dass ausschließlich die Informationspräsentation von Lernstand und nächsten Schritten variiert wird und der Inhalt des Feedbackbogens für alle Versionen gleich ist. Anschließend haben die Schüler:innen erneut ihren bei dieser Aufgabe empfundenen Cognitive Load eingeschätzt (MZP 3). Außerdem wurden die Kontrollvariablen Fachwissen, kognitive Fähigkeiten (Heller & Perleth, 2000) und Wissen über die VKS (Nehring, 2014) erhoben.

Ergebnisse

Zur Analyse des Cognitive Loads wurde eine univariate Varianzanalyse mit Messwiederholung berechnet. Die investierte Denkanstrengung zu den drei Messzeitpunkten stellt den Innersubjektfaktor dar. Die investierte Denkanstrengung sinkt über die drei Messzeitpunkte ($M_1 = 2.16$, $SD_1 = .98$; $M_2 = 1.87$, $SD_2 = .97$; $M_3 = 1.85$, $SD_3 = .92$). Die Sphärizität der Daten ist gegeben (Mauchly-Test $p = .51$). Die investierte Denkanstrengung unterscheidet sich zu den drei Messzeitpunkten statistisch signifikant ($F(2,352) = 9.49$, $p < .001$, $\eta 2 = .05$). Der Bonferroni-korrigierte post hoc Test zeigt einen statistisch signifikanten Unterschied in der investierten Denkanstrengung zwischen Messzeitpunkt eins und zwei ($M_{Diff} = .29$, 95%-KI [.11, .47], $p < .001$) sowie eins und drei ($M_{Diff} = .30$, 95%- KI [.11, .50], $p < .001$).

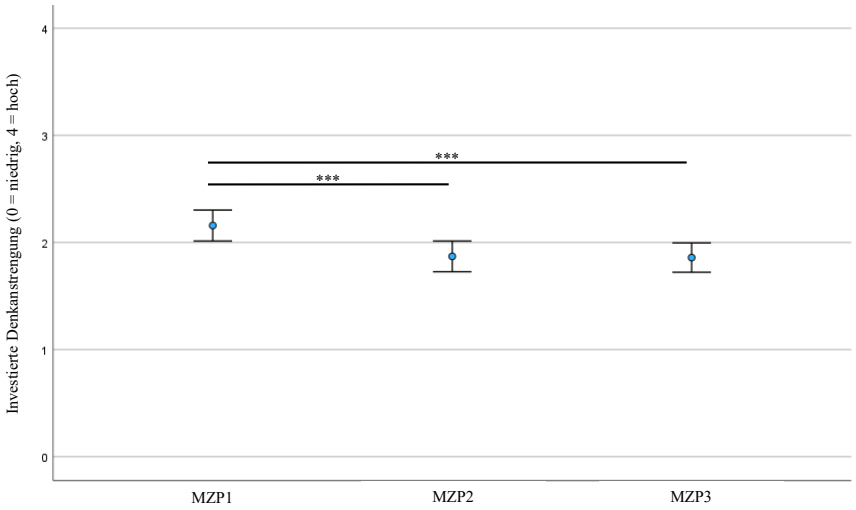


Abb. 1: *Ergebnis der univariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung zur Untersuchung des Cognitive Loads (95% KI)*

Diskussion und Limitation

Der Cognitive Load der Schüler:innen sinkt im Verlauf der Lerngelegenheit. Dies kann wie folgt erklärt werden:

Der Messzeitpunkt 1 beschreibt den Zeitpunkt nach dem Lesen der vorgefertigten Experimentplanung. Zu diesem Zeitpunkt ist der Cognitive Load am höchsten. Die Schüler:innen befinden sich in einer kognitiv anspruchsvollen Situation mit hohem Informationsgehalt. Zum einen müssen sie sich in ein fiktives Szenario hineinversetzen und zum anderen müssen sie sich ausschließlich verbal schriftlich aufbereitete Informationen aneignen, die nicht visualisiert sind (Leutner et al., 2014; Mayer, 2001; Sweller, 1988). Zu Messzeitpunkt 2, nach dem Lesen des Text-Bild Feedbacks, sinkt der Cognitive Load. Die Schüler:innen müssen zunächst relevante Bild- und Textelemente selektieren, diese in einem verbalen bzw. bildhaften mentalen Modell organisieren und abschließend diese beiden mentalen Modelle miteinander und mit Vorwissen aus dem Langzeitgedächtnis in ein gemeinsames mentales Modell integrieren (Mayer, 2001). Durch die Gestaltung des Feedbacks mit Texten und Bildern werden Verarbeitungsprozesse, die nicht zum Erreichen des Lernziels beitragen, minimiert, sodass kognitive Ressourcen für das Ausführen lernförderlicher Prozesse zur Verfügung stehen (Paivio, 1986). Der Zeitpunkt nach der Arbeit mit dem Feedback bzw. nach dem Anwenden des Feedbacks im Rahmen der schriftlichen Experimentplanung stellt Messzeitpunkt 3 dar. Zu diesem Zeitpunkt ist der Cognitive Load signifikant niedriger als zu Messzeitpunkt 1. Durch die lernförderliche Gestaltung des Feedbacks und die daraus resultierende Verarbeitung von Informationen stellt das Anwenden des Feedbacks keine kognitive Hürde mehr dar (Mayer, 2001; Paivio, 1986).

Als eine Limitation dieser Untersuchung kann die eingeschränkte externe Validität angeführt werden. Die Befunde gelten lediglich für das Planen von Experimenten zum Thema elektrische Leitfähigkeit. Ob die Befunde für weitere Experimente gelten ist offen. Zudem kann auch das simulierte Feedback als eine Limitation angeführt werden, da sich die Schüler:innen für die Arbeit mit dem Feedbackbogen in eine fiktive Situation eindenken müssen, was kognitive Ressourcen erfordert.

Literatur

Black, P. & Wiliam, D. (1998). Assessment and classroom learning. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, *5*(1), 7–75.

Boegel, S. & Ropohl, M. (2024). Der Einfluss von Feedback auf kognitive und affektive Schü ler:innenmerkmale. In H. van Vorst (Hrsg.), Frühe naturwissenschaftliche Bildung. Gesell schaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung 2023 (Bd. 44, S. 262-265). Verfügbar unter: https://gdcp-ev.de/tagungsbaende/tagungsband-2024-band-44-2/.

Bürgermeister, A., Kampa, M., Rakoczy, K., Harks, B., Besser, M., Klieme, E., Blum, W. & Leiß, D. (2011). *Dokumentation der Befragungsinstrumente des Laborexperimentes im Projekt "Conditions and Consequences of Classroom Assessment" (Co²CA)*. Frankfurt am Main: DIPF. https://doi.org/10.25656/01:3528

Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. *Cognition and Instruction*, *8*(4), 293–332. https://doi.org/10.1207/s1532690xci0804_2

Hauerstein, M.-T. (2019). *Untersuchung zur Effektivität von Strukturierung und Binnendifferenzierung im Chemieunterricht der Sekundarstufe I: Evaluation der Strukturierungshilfe Lernleiter*. Berlin: Logos Verlag.

Heller, K. A. & Perleth, C. (2000). *Kognitiver Fähigkeitstest für 4. bis 12. Klassen, Revision.* Beltz Test GmbH.

Hild, P., Buff, A., Gut, C. & Parchmann, I. (2020). Adaptives kompetenzbezogenes Feedback beim selbstständigen praktisch-naturwissenschaftlichen Arbeiten. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *26*(1), 19–35. https://doi.org/10.1007/s40573-020-00109-8

Kalyuga, S., Chandler, P. & Sweller, J. (1999). Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology*, *13*(4), 351–371. https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0720(199908)13:4<351::AID-ACP589>3.0.CO;2-6

Leutner, D., Opfermann, M. & Schmeck, A. (2014). Lernen mit Medien. In T. Seidel & A. Krapp (Hrsg.), Pädagogische Psychologie: Mit Online-Materialien zum Download (6. Aufl.). Weinheim: Beltz.

Mayer, R. E. (2001). *Multimedia Learning*. Cambridge: University Press.

Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning*. Cambridge: University Press. https://www.cambridge.org/core/books/multimedia-learning/7A62F072A71289E1E262980CB026A3F9 https://doi.org/10.1017/CBO9780511811678

Nehring, A. (2014). *Wissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen im Fach Chemie: Eine kompetenzorientierte Modell- und Testentwicklung für den Bereich der Erkenntnisgewinnung*. Berlin: Logos Verlag.

Paas, F. G. W. C. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, *84*(4), 429–434. https://doi.org/10.1037/0022-0663.84.4.429

Paivio, A. (1986). *Mental representations: a dual coding approach*. New York: Oxford University Press.

Ryan, R. M. & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and Extrinsic Motivations: Classic Definitions and New Directions. *Contemporary educational psychology*, *25*(1), 54–67. https://doi.org/10.1006/ceps.1999.1020

Scheuermann, H. (2017). *Entwicklung und Evaluation von Unterstützungsmaßnahmen zur Förderung der Variablenkontrollstrategie beim Planen von Experimenten*. Berlin: Logos Verlag.

Schnotz, W. (2009). *Pädagogische Psychologie kompakt*. Weinheim: Beltz PVU.

Schwichow, M., Croker, S., Zimmerman, C., Höffler, T. N. & Härtig, H. (2016). Teaching the control-of-variables strategy: A meta-analysis. *Developmental Review*, *39*, 37–63. https://doi.org/10.25656/01:12696

Sweller, J. (1988). Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. Cognitive Science, 12(2), 257–285. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4

Wollenschläger, M., Möller, J. & Harms, U. (2011). Effekte kompetenzieller Rückmeldung beim wissenschaftlichen Denken. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, *25*(3), 197–202. https://doi.org/10.1024/1010-0652/a000040

Dennys Gahrmann[1] [1]Universität Potsdam
Irene Neumann[2] [2]IPN Kiel
Andreas Borowski[1]

Prädiktion des Klausurerfolgs durch die Big Five im ersten Fachsemester Physik

Theoretischer Hintergrund

Das erfolgreiche Bestehen der Physik-Einführungsveranstaltung (im Sinne eines „gatekeeper course"; Gainen, 1995) kann als erster Erfolg im Physikstudium angesehen werden (vgl. Sorge et al., 2016). Zur Vorhersage dieses (Studien-)Erfolgs gibt es verschiedene Prädiktoren. Dazu zählen zeitlich variable Eigenschaften, wie das mathematische und physikalische Vorwissen (Buschhüter et al., 2016, 2017; Müller et al., 2018; Sorge et al., 2016) oder auch Motivation (Albrecht, 2011). Weiterhin gibt es verschiedene zeitlich stabile Eigenschaften, die das Bestehen von „gatekeeper courses" vorhersagen können, wie z.B. der soziökonomische Hintergrund (u. a. Derboven & Winker, 2010) und grundlegende Persönlichkeitseigenschaften (vgl. *Zentrale Datenerhebung*, o. J.), im Folgenden mit PE abgekürzt.

Ein häufig genutztes und seit den 1990er Jahren etabliertes Modell zur Beschreibung von PE sind die Big Five (z. B. Borkenau & Ostendorf, 2008; Richardson et al., 2012). Das Modell umfasst nach Borkenau & Ostendorf (2008) die fünf Faktoren Extraversion, Verträglichkeit, Gewissenhaftigkeit, Neurotizismus und Offenheit (vgl. Allport & Odbert, 1936). Jeder Faktor umfasst ein kontinuierliches Spektrum zwischen zwei Extremen. Gewissenhaftigkeit ist beispielsweise definiert als Grad an Organisiertheit (nachlässig bis organisiert) und Extraversion als Grad sozialen Verhaltens und Handelns (zurückhaltend bis gesellig).

Für Deutschland liegen nur wenige Ergebnisse zu PE als Prädiktor für Klausurleistung, insbesondere für Naturwissenschaften, vor. Fleischer et al. (2019) fanden bspw. in ihrem Mehrgruppen-Pfadmodell keinen signifikanten Pfadkoeffizienten zwischen PE und Abbruchsintention, sowie zwischen PE und Studienabbruch im Fach Physik (S. 11 ff.). Ähnliche Ergebnisse zeigen sich zum Beispiel in der Chemie (u. a. Averbeck, 2021), wobei das Vorwissen über die Big Five hinaus signifikante Zusammenhänge aufweist.

Die internationalen Literatur liefert dazu teils unterschiedliche Ergebnisse. In einer Meta-Analyse zeigten Richardson et al. (2012), dass ausschließlich Gewissenhaftigkeit im Mittel eine hohe Korrelation mit universitären Noten in verschiedenen Fächern (vgl. auch Komarraju et al., 2011) besitzt, dem gegenüber findet Vedel (2016) Korrelationen zwischen Verträglichkeit, Gewissenhaftigkeit und Offenheit mit Klausuren.

Ziel und Forschungsfrage

Die vorliegende Studie zielt darauf ab, die Forschungslücke im deutschsprachigen Raum zu schließen und den Einfluss von PE auf den Studienerfolg im frühen Physikstudium zu untersuchen. Der Studienerfolg wird durch die Klausurnote in der ersten Experimentalphysik-Klausur operationalisiert, da der Abschluss eines „gatekeeper course" als erster Erfolg im Studium verstanden werden kann.

Die in diesem Beitrag zu beantwortende Forschungsfrage sind somit:

- Inwieweit prädizieren die Big Five die Klausurnote in der ersten Klausur der Experimentalphysik?
- Besitzen die Big Five über das fachliche Vorwissen hinaus prognostische Validität, klären also zusätzliche Varianz auf?

Methode

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurde zu Beginn des Wintersemesters 2023/24 eine Befragung an insgesamt N = 34 Universitäten (N = 2017 Studierende) durchgeführt. Aus der Gesamtstichprobe liegen die Klausurnoten von N = 457 Studierenden von N = 14 Universitäten vor, welche in die vorliegende Auswertung einbezogen werden. Dies entspricht einer Ausschöpfungsquote von ca. 23 % der Studierenden. Die Studierenden dieser Stichprobe haben eine mittlere Abiturnote von M = 1,6 (SD = 0,5) und liegen damit über dem Bundesschnitt von M = 2,3 (SD = 0,1) (vgl. KMK, 2024). Die überwiegende Mehrheit der Befragungsteilnehmenden hat an einem Vorkurs teilgenommen (71 %), und besuchte in der Oberstufe vor allem Leistungskurse in Mathematik (99 %) und Physik (98 %). Die meisten Befragungsteilnehmenden (80 %) studieren Physik als Einfach-Bachelor oder Nebenfach, alle weiteren (20 %) gaben an, Lehramt mit einem weiteren Fach zu studieren. Die Stichprobe zeichnet sich damit zusammenfassend durch eine bundesweit eher überdurchschnittliche Abiturnote und einen hohen Anteil der Teilnahme an universitären Vorkursen und Leistungskursen in Mathematik und Physik aus.

In der Befragung wurden zum einen die Big Five als PE (BFI-XS; Danner et al., 2016; Rammstedt et al., 2014; vgl. Soto & John, 2017; N = 15 Aufgaben; jeweils 5-stufige Likert-Antwortskala: 1 – „gar nicht“ bis 5 – „sehr“; Extraversion: z. B.: „Ich neige dazu, die Führung zu übernehmen.“; Verträglichkeit: „Ich bin einfühlsam, warmherzig.“; Gewissenhaftigkeit: „Ich bin verlässlich, auf mich kann man zählen.“; Neurotizismus: „Ich mache mir oft Sorgen.“; Offenheit: „Ich bin originell, entwickle neue Ideen.“) erhoben. Neben der Abiturnote wurde das mathematische und physikalische Vorwissen mit N_M = 37 und N_{Ph} = 32 curricular validierten und von Hochschuldozierenden der Physik als relevant eingeschätzten Mathematik- und Physikaufgaben erhoben.

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurden zwei multiple lineare Regressionen mit den PE (Skalenmittelwerte der Big Five Skalen; Modell 1) sowie zusätzlich mit dem Vorwissen in Mathematik und Physik (jeweils erreichte Gesamtpunktzahl) und der Abiturnote als unabhängige Faktoren (Modell 2) berechnet.

Ergebnisse

Die Reliabilität (interne Konsistenz) der einzelnen Skalen der Big Five (Extraversion: 0,57; Verträglichkeit: 0,53; Gewissenhaftigkeit: 0,63; Neurotizismus: 0,66; Offenheit: 0,37) sind in Übereinstimmung mit der Literatur zur Skala (vgl. Soto & John, 2017) eher gering, die Reliabilität der Vorwissenstests (Mathematik: 0,93; Physik: 0,94) sind hoch, was mit Ergebnissen anderer fachlicher Studieneingangstests übereinstimmt (vgl. Buschhüter et al., 2016, 2017; Sorge et al., 2016). Die Vorwissensaufgaben korrelieren mit einem mittleren Effekt statistisch signifikant mit der Klausurnote (Korrelation mit der Physikklausur: Mathematik: Kendalls $\tau_B = -0{,}45,\ 95\%\ \text{KI}\ [-0{,}49;\ -0{,}41], p < 0{,}001$ Fishers z $= -0{,}49\ (0{,}02)$, Physik: $\tau_B = -0{,}32,\ 95\%\ \text{KI}\ [-0{,}37;\ -0{,}28], p < 0{,}001$ Fishers z $= -0{,}34\ (0{,}02)$).

	Modell 1 β (SE)	Modell 2 β (SE)
(Intercept)		
Extraversion	- 0,04 (0,08)	- 0,01 (0,07)
Verträglichkeit	0,12 (0,08) ∗	0,00 (0,06)
Gewissenhaftigkeit	- 0,13 (0,07) ∗∗	- 0,05 (0,06)
Neurotizismus	- 0,01 (0,07)	- 0,05 (0,05)
Offenheit	- 0,07 (0,11)	- 0,05 (0,09)
Abiturnote	-	0,23 (0,10) ∗∗∗
Vorwissen Mathematik	-	- 0,42 (0,01) ∗∗∗
Vorwissen Physik	-	- 0,11 (0,01) ∗∗
$\boldsymbol{R^2_{korr}}$	**0,03**	**0,41**

Tabelle 1: Faktoren und standardisierte Koeffizienten der multiplen linearen Regression mit der Klausurnote als abhängige Variable;
*Signifikanzniveaus: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$*

Modell 1, das ausschließlich die Big Five zur Prädiktion der Klausurnote nutzt, besitzt keine genügende Passung zu den Daten ($R^2_{korr} = 0{,}03$) und muss daher ausgeschlossen werden. In Modell 2, bei dem zusätzlich die fachlichen Aspekte als Faktoren genutzt werden, besitzen die Big Five keine Signifikanz, sondern ausschließlich das Vorwissen in Mathematik und Physik und die Abiturnote. Dieses Modell besitzt eine gute Aufklärung der Varianz unter Berücksichtigung der Anzahl der Faktoren ($R^2_{korr} = 0{,}41$), siehe Tabelle 1.

Diskussion, Limitationen und Ausblick

Es zeigt sich somit: Die Big Five klären als alleinige Faktoren sehr wenig Varianz auf und sind nicht alleinig geeignet, um die Klausurnote vorherzusagen. Unter Kontrolle des mathematischen und physikalischen Vorwissens besitzen die Big Five keinen signifikanten Zusammenhang mit der Klausurnote und besitzen über das fachliche Vorwissen hinaus wenig prognostische Validität. Das Ergebnis deckt sich mit verschiedenen Ergebnissen aus der deutschsprachigen (Buschhüter et al., 2016, 2017; Fleischer et al., 2019) und internationalen Literatur (Hailikari et al., 2007; Hazari et al., 2007), die vor allem prognostische Validität im Vorwissen der Studierenden sieht.

Eine wesentliche Limitation der Arbeit ist, dass die Klausurnoten über die verschiedenen Universitäten als äquivalent angesehen wurden. Zukünftige Analysen sollten daher z.B. die unterschiedliche Komplexität der Klausuraufgaben berücksichtigen. Weiterhin wurden weitere möglicherweise moderierende Faktoren, wie bspw. das Geschlecht nicht analysiert. In diesem Zusammenhang wäre es lohnenswert, in zukünftiger Forschung zu untersuchen, wie z.B. Big Five, Geschlecht und Sense of Belonging in Bezug auf Studienerfolg zusammenhängen (vgl. Feser et al., 2023).

Literatur

Albrecht, A. (2011). *Längsschnittstudie zur Identifikation von Risikofaktoren für einen erfolgreichen Studieneinstieg in das Fach Physik*.

Allport, H. S., & Odbert, G. W. (1936). *Trait-names: A psychological study. Psychological Monographs, 47, Whole No. 211.*

Averbeck, D. (2021). *Zum Studienerfolg in der Studieneingangsphase des Chemiestudiums: Der Einfluss kognitiver und affektiv-motivationaler Variablen*. Logos Verlag.

Borkenau, P., & Ostendorf, F. (2008). *NEO-FFI: NEO-Fünf-Faktoren-Inventar nach Costa und McCrae, Manual*.

Buschhüter, D., Spoden, C., & Borowski, A. (2016). Mathematische Kenntnisse und Fähigkeiten von Physikstudierenden zu Studienbeginn. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *22*(1), 61–75. https://doi.org/10.1007/s40573-016-0041-4

Buschhüter, D., Spoden, C., & Borowski, A. (2017). Physics knowledge of first semester physics students in Germany: A comparison of 1978 and 2013 cohorts. *International Journal of Science Education*, *39*(9), 1109–1132. https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1318457

Danner, D., Rammstedt, B., Bluemke, M., Treiber, L., Berres, S., Soto, C., & John, O. (2016). Die deutsche Version des Big Five Inventory 2 (BFI-2). *Zusammenstellung sozialwissenschaftlicher Items und Skalen (ZIS)*. https://doi.org/10.6102/ZIS247

Derboven, W., & Winker, G. (2010). *Ingenieurwissenschaftliche Studiengänge attraktiver gestalten: Vorschläge für Hochschulen*. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-00558-9

Feser, M. S., Haak, I., & Rabe, T. (2023). Sense of belonging among first-year physics students in Germany: Exploring intergroup differences and correlations. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *19*(11), em2345. https://doi.org/10.29333/ejmste/13656

Fleischer, J., Leutner, D., Brand, M., Fischer, H., Lang, M., Schmiemann, P., & Sumfleth, E. (2019). Vorhersage des Studienabbruchs in naturwissenschaftlich-technischen Studiengängen. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *22*(5), 1077–1097. https://doi.org/10.1007/s11618-019-00909-w

Gainen, J. (1995). Barriers to success in quantitative gatekeeper courses. *New Directions for Teaching and Learning*, *1995*(61), 5–14. https://doi.org/10.1002/tl.37219956104

Hailikari, T., Nevgi, A., & Lindblom-Ylänne, S. (2007). EXPLORING ALTERNATIVE WAYS OF ASSESSING PRIOR KNOWLEDGE, ITS COMPONENTS AND THEIR RELATION TO STUDENT ACHIEVEMENT: A MATHEMATICS BASED CASE STUDY. *Studies in Educational Evaluation*, *33*(3–4), 320–337. https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2007.07.007

Hazari, Z., Tai, R. H., & Sadler, P. M. (2007). Gender differences in introductory university physics performance: The influence of high school physics preparation and affective factors. *Science Education*, *91*(6), 847–876. https://doi.org/10.1002/sce.20223

Komarraju, M., Karau, S. J., Schmeck, R. R., & Avdic, A. (2011). The Big Five personality traits, learning styles, and academic achievement. *Personality and Individual Differences*, *51*(4), 472–477. https://doi.org/10.1016/j.paid.2011.04.019

Müller, J., Stender, A., Fleischer, J., Borowski, A., Dammann, E., Lang, M., & Fischer, H. E. (2018). Mathematisches Wissen von Studienanfängern und Studienerfolg. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *24*(1), 183–199. https://doi.org/10.1007/s40573-018-0082-y

Rammstedt, B., Kemper, C. J., Klein, M. C., Beierlein, C., & Kovaleva, A. (2014). Big Five Inventory (BFI-10). *Zusammenstellung sozialwissenschaftlicher Items und Skalen (ZIS)*. https://doi.org/10.6102/ZIS76

Richardson, M., Abraham, C., & Bond, R. (2012). Psychological correlates of university students' academic performance: A systematic review and meta-analysis. *Psychological Bulletin*, *138*(2), 353–387. https://doi.org/10.1037/a0026838

Sorge, S., Petersen, S., & Neumann, K. (2016). Die Bedeutung der Studierfähigkeit für den Studienerfolg im 1. Semester in Physik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *22*(1), 165–180. https://doi.org/10.1007/s40573-016-0048-x

Soto, C. J., & John, O. P. (2017). Short and extra-short forms of the Big Five Inventory–2: The BFI-2-S and BFI-2-XS. *Journal of Research in Personality*, *68*, 69–81. https://doi.org/10.1016/j.jrp.2017.02.004

Vedel, A. (2016). Big Five personality group differences across academic majors: A systematic review. *Personality and Individual Differences*, *92*, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.paid.2015.12.011

Zentrale Datenerhebung. (o. J.). https://www.uni-due.de/alster/alster_zwei_tpa

Simon Z. Lahme[1]
Josefine Neuhaus[1]
Sebastian Lötzsch Sandoval[1]
Pascal Klein[1]

[1]Universität Göttingen

Belastungserleben in der der Studieneingangsphase: Eine Interviewstudie

Motivation Sinkende Studierendenzahlen und steigende Abbruchquoten (Heublein et al., 2022; Düchs & Runge, 2024) zeigen die Notwendigkeit von Studien im Kontext der Studien–eingangsphase Physik auf. Relevante Ausgangs- und Vermittlungsbedingungen für Studier–erfolg sind dabei sowohl die stabilen und variablen Personenmerkmale der Studierenden als auch die Anforderungen des Studienfachs (s. ALSTER-Modell, Fleischer et al., 2019). Gerade eine unzureichende Passung zwischen Voraussetzungen und Ressourcen der Studierenden einerseits und den Anforderungen der Fächer andererseits kann zu Belastungserleben führen, das definiert wird als "a particular relationship between the person and the environment that is appraised by the person as taxing or exceeding his or her resources and endangering his or her well-being" (Lazarus & Folkman, 1984, p.19). Eine Analyse dieses Erlebens ist zentral, um den Kontext der Studieneingangsphase Physik aus Studierendensicht besser zu verstehen.

Forschungsstand und -fragen Das Belastungserleben unter Studierenden wurde bereits in verschiedenen Arbeiten untersucht (z. B. Hahn et al., 2021; Herbst et al., 2016; Ortenburger, 2017; Schwedler, 2017; Vogelsang, 2021; Zhao et al., 2023), wobei der Fokus dabei bislang nie explizit auf Physikstudierenden lag. In eigenen Vorarbeiten (Lahme et al., 2024) wurde daher das Belastungserleben von Physikstudierenden des ersten Studienjahres in einer Panel-Studie über drei Semester und zwei Kohorten wöchentlich mithilfe des Perceived Stress Questionnaire (PSQ, Fliege et al., 2001) gemessen; die dominanten Belastungsquellen wurden zudem in Freitextangaben der Studierenden erhoben. Es zeigte sich ein über alle untersuchten Semester ähnliches und im Vergleich zum Semesterstart und zu Referenzdaten erhöhtes Belastungserleben während nahezu der gesamten Vorlesungs- und Prüfungszeit. Die von den Studierenden genannten Belastungsquellen sind dabei zumeist universitär bedingt und adressieren zum Beispiel die wöchentlichen Übungsblätter oder die Prüfungen und deren Vorbereitung. Als Desiderate ergeben sich aus diesen Vorarbeiten das tiefere Verständnis der dem Belastungserleben und den Belastungsquellen zugrundeliegenden Gründe, Faktoren und Wirkmechanismen, sowie prospektiv die Sammlung möglicher und von den Studierenden gewünschter Unterstützungsmaßnahmen und studienstruktureller Veränderungen. Dabei sind die Perspektiven der Studierenden des Physik-Monobachelors und des gymnasialen Lehramts Physik aufgrund der weitgehenden Parallelität der Studiengänge zu Studienbeginn gleichermaßen zu berücksichtigen. Daraus resultieren folgende drei Forschungsfragen:
F1: Welche Aspekte führen wieso und auf welche Weise zu einem hohen Belastungserleben?
F2: Wie kann aus Studierendensicht das Belastungserleben reduziert werden?
F3: Inwieweit zeigen sich diesbezüglich Spezifika bei Hauptfach- und Lehramtsstudierenden?

Methodik und Stichprobe Zur Beantwortung dieser Forschungsfragen wurden leitfaden- und aufgabengestützte Gruppendiskussionen geführt, in denen die Studierende gemeinsam das Belastungserleben in ihrer Studieneingangsphase und in der Zwischenzeit erworbene Copingstrategien reflektieren, sowie Maßnahmen für Unterstützung und Verbesserung der

Studiensituation diskutieren. Die Methode der Gruppendiskussion eignet sich hierbei besonders gut, denn „[l]atente Meinungen und Deutungsmuster des Individuums kommen in Diskussionen erst durch Gruppenprozesse zum Ausdruck“ (Ernst, 2008, S. 63) und erlauben so das Aufdecken tieferliegender Meinungen und Gedanken (Bohnsack, 1999), was gerade mit Blick auf die mitunter unbewussten und sehr persönlichen Erfahrungen und Gedanken bezüglich des Belastungserlebens relevant wird. Der Leitfaden und die Aufgaben sollen dabei die individuelle und gemeinsame Reflexion anregen und steuern sowie eine möglichst natür–liche Gesprächsatmosphäre erzeugen; sie wurden zuvor mit einzelnen Studierenden pilotiert. Insgesamt wurden 11 Gruppendiskussionen mit 35 Studierenden durchgeführt. Jede Gruppe bestand aus drei bis vier Studierenden, die sich in den meisten Fällen bereits länger aus ihrem Studium kannten und beispielsweise Lerngruppen bildeten; nur in vereinzelten Fällen wurden Gruppen aus Personen gebildet, die sich individuell zu den Interviews angemeldet hatten. Um eine möglichst breite Studierendenperspektive zu erfassen, wurden fünf Gruppen von Monobachelorstudierenden und sechs Gruppen von Studierenden des gymnasialen Lehramts mit unterschiedlichen Studienfortschritten (Ende erstes bis Anfang sechstes Bachelorsemester) interviewt. Bei den Lehramtsstudierenden waren vielfältige Zweitfächer (z. B. Mathematik, Chemie, Englisch, Sport) vertreten. Unter den Teilnehmenden waren drei Personen, die zum Zeitpunkt des Interviews bereits von Physik auf ein anderes Studienfach gewechselt oder ihr Studium ganz abgebrochen hatten und dadurch auch die Perspektive von Studienwechsler-/abbrecher:innen in die Gruppeninterviews einbringen konnten. Die Teilnehmenden erhielten eine Aufwandsentschädigung in Höhe von 10€.

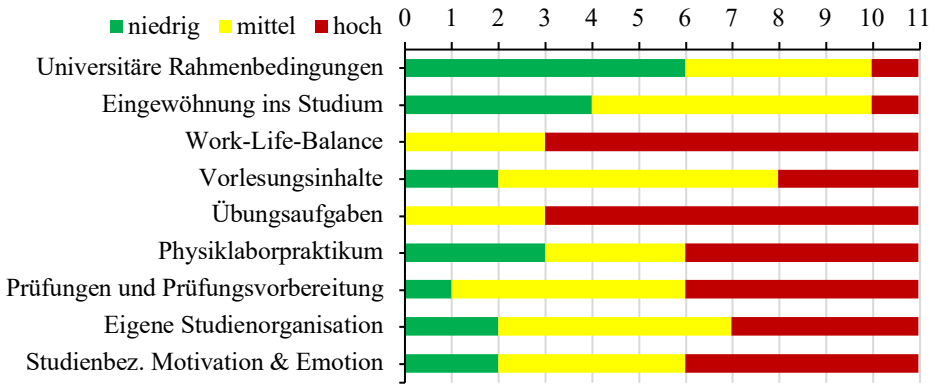


Abb. 1: Häufigkeit, mit der die neun vorgegebenen Belastungsquellen von den elf Gruppen im Interview in die Bereiche niedriger, mittlerer und hoher Belastung einsortiert wurden.

Ablauf der Gruppendiskussionen Wenige Tage vor der Gruppendiskussion erhielten die Studierenden einen Link zu einer kurzen Online-Umfrage, mit der unter anderem demographische Angaben (Geschlecht, Studiengang, Fachsemester, Jahr der Hochschulzu–gangsberechtigung und etwaige Zwischenstationen zwischen Schulabschluss und Aufnahme des aktuellen Studiums) erfasst wurden. Darüber hinaus sollten die Studierenden jeweils drei bis fünf (maximal acht) Belastungsquellen nennen, die im ersten Studienjahr für sie persönlich belastend waren. Diese Antworten wurden genutzt, um einerseits bereits im Vorfeld zentrale Themen für die Gruppendiskussionen zu eruieren und andererseits die Reflexionsprozesse bei den Studierenden anzuregen.

Die Gruppendiskussionen erfolgten, geleitet von einer interviewenden Person, im geschützten Rahmen mit einer Dauer von etwa 90min. Die Studierenden wurden zunächst über den groben Ablauf und die Zielsetzung der Gruppendiskussionen informiert, auf gegenseitige Vertraulichkeit hingewiesen und über Datenschutzbestimmungen aufgeklärt. Der inhaltliche Start in die Gruppendiskussionen erfolgte dann durch eine erste Aufgabe, in der die Studierenden gemeinsam diskutierend neun vorgegebene Kärtchen mit typischen Belastungsquellen aus der Studieneingangsphase Physik in einem Ampelsystem danach einsortierten, ob sie in ihrem ersten Studienjahr eine niedrige (grün), mittlere (gelb) oder hohe (rot) Belastung erzeugt haben (s. Abb. 1). Die Belastungsquellen ergaben sich dabei aus den Freitextantworten der eigenen Vorarbeiten (Lahme et al., 2024); diese wurden in einigen Gruppen um ein bis zwei weitere Kärtchen ergänzt, wenn die Vorabumfragen Aspekte enthielten, die nicht unmittelbar den vorgegebenen Kärtchen zugeordnet werden konnten, um individuell auf die Studierendengruppen einzugehen. Im Anschluss an die Sortierung wurden mit den Studierenden (ausgewählte) Kärtchen aus dem grünen und roten Bereich näher diskutiert, um gemeinsam aufzudecken, warum die Aspekte jeweils (kein) Belastungserleben erzeugt haben. Im Anschluss erhielten die Studierenden nacheinander zwei weitere Aufgaben, die sie zunächst individuell handschriftlich bearbeiteten und zu denen sie ihre Ideen anschließend reihum vorstellten sowie gemeinsamen diskutierten. Die beiden Aufgaben waren:

- Sucht euch anhand der Kärtchen jeweils einen Aspekt, der zwar aktuell in eurem Studium eine Rolle spielt, den ihr aber nicht mehr als belastend empfindet. Nennt kurz die Strategien oder Tricks, die euch persönlich helfen, um mit diesem Aspekt (besser) umgehen zu können.
- Stellt euch vor, ihr schreibt einen „Wunschzettel“, wie die Lehre und das Angebot für die Studierenden der Physik verbessert werden könnten. Notiert diesen stichpunktartig.

Danach wurden die Lehramtsstudierenden gefragt, inwieweit es ihrer Ansicht nach bezüglich der diskutierten Themen Lehramtsspezifika gäbe, bevor dann alle Interviews mit der Rückfrage nach Ergänzungen oder abschließenden Kommentaren endeten.

Auswertungsziele und Ausblick Die Gruppendiskussionen werden unter anderem mit Blick auf die folgenden drei Aspekte einer qualitativen Inhaltsanalyse unterzogen: Erstens werden Fallbeschreibungen und -analysen (auf Gruppenebene) die individuellen Prozesse in der Studieneingangsphase aufzeigen, insbesondere bei den Studierenden, die das Studienfach gewechselt oder das Studium ganz abgebrochen haben. Zweitens erlauben gruppenübergreifende Analysen ein tieferes Verständnis der Gründe und Wirkmechanismen, die bei den Studierenden dazu geführt haben, dass bestimmte Aspekte des Studiums Belastungserleben erzeugen. Der Fokus liegt dabei besonders auf den vier Belastungsquellen, die sich in den Vorarbeiten (Lahme et al., 2024) als dominierend herausgestellt haben: wöchentliche Übungsblätter, Prüfungen und Prüfungsvorbereitung, Mathematik-Lehrveranstaltungen und Physik-Laborpraktikum. Drittens wird eine studiengangspezifische Analyse aufzeigen, welche besonderen Belastungsquellen, Bedürfnisse und Wünsche gerade die zahlenmäßig eher kleinere Gruppe der Physik-Lehramtsstudierenden aufweist und wie somit perspektivisch eine zielgruppenspezifische Unterstützung von Monobachelor- und Lehramtsstudierenden realisiert werden könnte. Insgesamt sollen die Ergebnisse zu einem tieferen Verständnis des Belastungserlebens sowie zur Entwicklung und Implementation von Maßnahmen zur Reduktion des Belastungserlebens beitragen und somit langfristig Studienabbruch entgegenwirken.

Literatur

Bohnsack, R. (1999). *Rekonstruktive Sozialforschung: Einführung in Methodologie und Praxis qualitativer Forschung* (3., überarb. und erweiterte Ausg.). Springer Fachmedien.

Düchs, G. & Runge, E. (2024). Fewer Students – more English: Statistiken zum Physikstudium in Deutschland 2024. *Physik Journal*, *23*(8/9), 29–35. https://www.dpg-physik.de/veroeffentlichungen/magazine-und-online-angebote/pj/studierendenstatistiken/pdf/studierendenstatistik-2024.pdf

Ernst, S. (2008). *Manual Lehrevaluation* (1. Ausg.). VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Fleischer, J., Leutner, D., Brand, M., Fischer, H., Lang, M., Schiemann, P. & Sumfleth, E. (2019). Vorhersage des Studienabbruchs in naturwissenschaftlich-technischen Studiengängen. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *22*, 1077–1097. https://doi.org/10.1007/s11618-019-00909-w

Fliege, H., Rose, M., Arck, P., Levenstein, S. & Klapp, B. F. (2001). Validierung des "Perceived Stress Questionnaire" (PSQ) an einer deutschen Stichprobe. *Diagnostica*, *47*(3), 142–152. https://doi.org/10.1026//0012-1924.47.3.142

Hahn, E., Kuhlee, D. & Porsch, R. (2021). Institutionelle und individuelle Einflussfaktoren des Belastungserlebens von Lehramtsstudierenden in der Corona-Pandemie. *In C. Reintjes, R. Porsch & G. im Brahm (Hrsg.), Das Bildungssystem in Zeiten der Krise. Empirische Befunde, Konsequenzen und Potenziale für das Lehren und Lernen (S. 221–238)*. Waxmann.

Herbst, U., Voeth, M., Eidhoff, A. T., Müller, M. & Stief, S. (2016). *Studierendenstress in Deutschland: Eine empirische Untersuchung.* https://www.fachportal-paedagogik.de/literatur/vollanzeige.html?FId=3307194

Heublein, U., Hutzsch, C. & Schmelzer, R. (2022). Die Entwicklung der Studienabbruchquoten in Deutschland. *DZHW Brief 05|2022*. Hannover. https://www.dzhw.eu/pdf/pub_brief/dzhw_brief_05_2022.pdf

Lazarus, R. S. & Folkman, S. (1984). *Stress, appraisal, and coping*. Springer.

Lahme, S. Z., Cirkel, J. O., Hahn, L., Hofmann, J., Neuhaus, J., Scheider, S., Klein, P. (2024). Enrollment to exams: Perceived stress dynamics among first-year physics students. *Physical Review Physics Education Research*, *20*(2), 020127. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.020127

Ortenburger, A. (2013). Beratung von Bachelorstudierenden in Studium und Alltag: Ergebnisse einer HISBUS-Befragung zu Schwierigkeiten und Problemlagen von Studierenden und zur Wahrnehmung, Nutzung und Bewertung von Beratungsangeboten. *HIS: Forum Hochschule 3|2013*. Hannover. https://www.dzhw.eu/pdf/pub_fh/fh-201303.pdf

Schwedler, S. (2017). Was überfordert Chemiestudierende zu Studienbeginn? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *23*(1), 165–179. https://doi.org/10.1007/s40573-017-0064-5

Vogelsang, C. (2021). Wie belastend war das Corona-Semester? Belastungserleben Lehramtsstudierender im Praxissemester während COVID-19-bedingter Schulschließungen im Frühjahr 2020. *Herausforderung Lehrer*innenbildung – Zeitschrift zur Konzeption, Gestaltung und Diskussion (HLZ)*, *4*(1), 265–288. https://doi.org/10.11576/HLZ-4376

Zhao, S., Zhang, Y., Yu, C., Zhang, H., Xie, M., Chen, P. & Lin, D. (2023). Trajectories of Perceived Stress among Students in Transition to College: Mindset Antecedents and Adjustment Outcomes. *Journal of Youth and Adolescence*, *52*(9), 1873–1886. https://doi.org/10.1007/s10964-023-01788-5

Funding Diese Arbeit wird durch Mittel der Zentralen Wissenschaftlichen Einrichtung für Lehrer*innenbildung (ZEWIL) der Georg-August-Universität Göttingen unterstützt.

Author Contributions P. K.: conceptualization (supporting), resources (equal), supervision, writing – review & editing (equal). S. Z. L.: conceptualization (equal), methodology (equal), funding acquisition, investigation (equal), project administration, resources (equal), validation (equal), visualization, writing – original draft, writing – review & editing (equal). S. L. S.: conceptualization (equal), investigation (equal), methodology (equal), validation (equal), writing – review & editing (equal). J. N.: conceptualization (equal), investigation (equal), methodology (equal), resources (equal), validation (equal), writing – review & editing (equal).

Patrick Schuck[1]
Dietmar Höttecke[1]

[1]Universität Hamburg

Kognitive Strukturen erheben in Studien mit großen Stichproben: Entwicklung eines Algorithmus

Kognitive Strukturen nach erfolgreichem Lernen

Als eines der Ergebnisse nach erfolgreichem Lernen haben sich „gut organisierte“ kognitive Strukturen herausgestellt (Gruber & Mandl, 1996). Eine solche gute Organisation lässt sich bspw. daran erkennen, dass für einen gegebenen Kontext hauptsächlich relevante Konzepte in den kognitiven Strukturen vorhanden sind (Mintzes & Quinn, 2007), und dass zwischen diesen für den Kontext nur relevante Verknüpfungen bestehen, insbesondere also wenige nicht relevante Verknüpfungen vorhanden sind (Rikers et al., 2000). Die Verknüpfungen, die bestehen, können für den Kontext präzise ausformuliert werden (Schwendimann, 2019).
Stellen wir uns ein bildliches Modell vor, wie eine kognitive Struktur für bspw. den Klimawandel als komplexen Kontext nach erfolgreichem Lernen aussehen kann, dann ergibt sich ein Bild wie in Abbildung 1 dargestellt. Es lassen sich Cluster von Konzepten erkennen, innerhalb derer mehr oder weniger zahlreiche relevante Verbindungen bestehen.

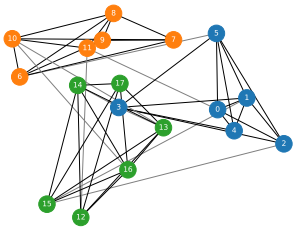


Abb. 1: Bildliche Darstellung der kognitiven Strukturen nach erfolgreichem Lernen. Kreise entsprechen einem für den Kontext relevanten Konzept und verbindende Linien entsprechen relevanten Verbindungen. Kreise einer Farbe bilden ein so genanntes „Konzept-Cluster“.

Wie erfassen wir kognitive Strukturen bislang?

Zum Erfassen von kognitiven Strukturen haben sich offenen *Concept Mapping tasks* als geeignet herausgestellt (Graf, 2014). Die aus diesen *tasks* entstehenden Concept Maps können auf verschiedene Arten ausgewertet werden, wie aus einer Meta-Analyse von de Ries et al. (2022) ersichtlich wird. Deutlich wird dabei, dass sich die erfassten Studien in zwei verschiedene Gruppen einteilen lassen, je nachdem, ob sie qualitativ mit kleinen oder quantitativ mit großen Stichproben arbeiten. Qualitative Ansätze der Auswertung schaffen es, den Inhalt der Concept Maps zu berücksichtigen, benötigen aber viele Ressourcen bei der Analyse der Daten und sind damit für Studien mit großen Stichprobenzahlen nicht ökonomisch umsetzbar. Unter die quantitativen Auswertungsansätzen fallen verschiedene Methoden. Ihnen ist gemein, dass sie einen recht hohen Informationsverlust mit sich bringen, wenn die Analyse z.B. nur die Strukturen, aber nicht die semantischen Informationen der Knoten- und Kantenbeschriftungen berücksichtigt. Die Folge ist, dass Aussagen über die kognitiven Strukturen stark eingeschränkt werden. Das Ziel unseres Projekts besteht in der Entwicklung und Validierung einer ökonomischen, quantitative Auswertungsmethode für

offene *Concept Mapping tasks*, die die strukturellen und semantischen Informationen in Concept Maps berücksichtigt und den Informationsverlust minimiert.

Idee der neuen Auswertungsmethode und Entwicklungsprozess

Um das Ziel zu erreichen, wurde ein Algorithmus entwickelt, der die oben angesprochenen Konzept-Cluster innerhalb einer gegebenen Concept Map bestimmt und dabei die strukturellen und semantischen Inhalte der Concept Map berücksichtigt. Um diesen Algorithmus zu entwickeln, wurde zunächst ein Trainings-Datensatz aus 30 digital erstellten Concept Maps über offene *Concept Mapping tasks* im Kontext des Klimawandels und der Energiewende erhoben. In diesen Concept Maps wurden durch die Forschenden Konzept-Cluster verortet, bei denen einzelne Konzepte in mehreren Clustern verortet sein dürfen. Diese Cluster Strukturen dienen als Referenz für den entwickelten Algorithmus. Mithilfe dieser Ziel-Strukturen wurden verschieden Versionen eines möglichen Algorithmus entwickelt. Dabei wurde die Performanz stets mithilfe der Übereinstimmung der beiden Cluster-Strukturen durch den Omega-Index bestimmt (Murray et al., 2012).

Der entwickelte Concept Map Cluster (CoMaCl) Algorithmus

Der entwickelte CoMaCl Algorithmus verarbeitet die Concept Maps, die er als Input bekommt, in mehreren Schritten. Den letzten Schritt stellt ein bereits etablierter Cluster Algorithmus für mathematische Graphen dar, der sogenannte Leiden-Algorithmus (Traag et al., 2019). Vor diesem letzten Schritt müssen die strukturellen und semantischen Inhalte der Concept Map so aufgearbeitet werden, dass der Leiden-Algorithmus diese zum Finden der Cluster nutzen kann. Um dies zu erreichen, laufen die folgenden Schritte ab:

- **Einlesen der Concept Map als mathematischer Graph:** Die Concept Map wird als mathematischer Graph eingelesen, bei dem die Konzepte die Knoten und die Relationen zwischen den Konzepten die Kanten darstellen. Zusätzlich werden die Positionen der Konzepte (als x-y-Koordinaten) eingelesen sowie die Aussagen, die in der Concept Map über die Kombinationen aus Konzept-Relation-Konzept ausgelesen werden können.
- **Transformation des mathematischen Graphen:** Die Bedeutung eines Konzepts innerhalb einer Concept Map ergibt sich erst durch die Betrachtung der Relationen, in denen das Konzept zu den anderen Konzepten steht (Ruiz-Primo und Shavelson, 1996). Um diesem Umstand bei dem Finden der Cluster gerecht zu werden, wird der Graph wie in Abbildung 2 transformiert, so dass der Fokus beim Finden der Cluster auf die Aussagen gelenkt wird.

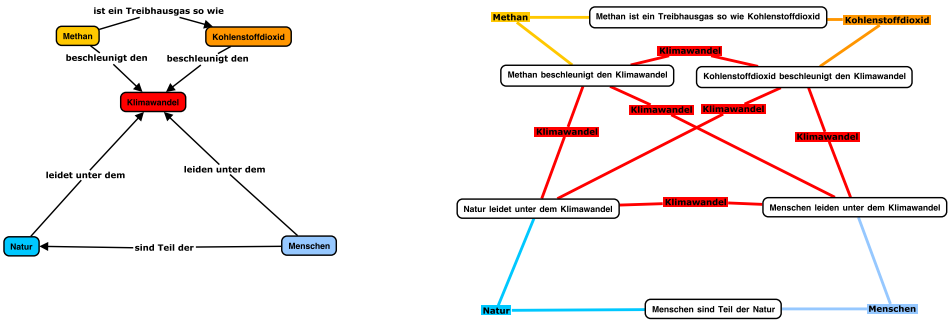


Abb. 2: Darstellung der Transformation anhand einer Beispiel Concept Map. Links der originale Graph und rechts der transformierte Graph.

- **Gewichten des transformierten Graphen:** Um nun die strukturellen und semantischen Inhalte der Concept Map für den Leiden-Algorithmus nutzbar zu machen, werden diese Inhalte in Gewichte der verbindenden Kanten innerhalb des transformierten Graphen übersetzt. Dabei bedeutet ein hohes Gewicht einer Kante, dass die Aussagen, die von ihr verbunden werden, eher in ein gemeinsames Cluster zugeordnet werden. Der strukturelle Inhalt wird zum Teil bereits über die Repräsentation als Graph berücksichtigt, wird aber noch durch ein Distanz-Maß ergänzt, das auf der Annahme beruht, dass Aussagen, die nah beieinander stehen, auch eher dem selben Cluster zugeordnet werden können. Zur Bestimmung dieser Gewichte werden die anfangs eingelesenen Positionsdaten genutzt. Um den semantischen Inhalt der Concept Map zu berücksichtigen, wird auf ein Sentence-BERT Modell (Reimers & Gurevych, 2020) zurückgegriffen. Dieses Modell schätzt die semantische Ähnlichkeit von Paaren von Aussagen ein. Diesem Maß liegt die Annahme zugrunde, dass Aussagen, die sich semantisch ähnlich sind, auch eher in ein Cluster zugeordnet werden können. Mit den Gewichten durch die beiden Maße ist der Graph ausreichend angereichert und kann an den Leiden-Algorithmus übergeben werden.
- **Finden der Cluster:** Im letzten Schritt findet der Leiden-Algorithmus in dem transformierten Graph innerhalb der Aussagen Clusterstrukturen, die dann in Konzept-Cluster zurück transformiert werden.

Ergebnisse der Cluster Struktur im Trainings-Datensatz

In Abbildung 3 ist beispielhaft eine von dem CoMaCl Algorithmus bestimmte Clusterstruktur für eine der Concept Maps des Trainings-Datensatzes dargestellt.

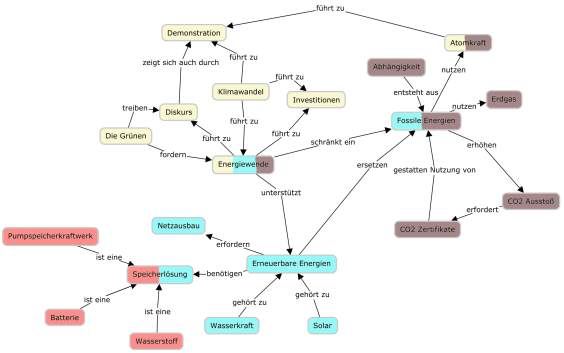


Abb. 3: Beispiel Concept Map aus dem Trainings-Datensatz mit eingezeichneter Cluster Struktur. Konzepte mit mehreren Hintergrundfarben sind mehreren Clustern zugeordnet.

Ausblick

In folgenden Forschungsvorhaben sollen die durch den CoMaCl Algorithmus gefundenen Cluster Strukturen mittels kommunikativer Validierung dahingehend validiert werden, ob sie auch tatsächlich einen Aspekt der kognitiven Strukturen der Testpersonen repräsentieren.

Darüber hinaus soll mit dem CoMaCl Algorithmus untersucht werden, welche der durch die gefundenen Cluster neuen Informationen welche Aussagen über die Qualität der Concept Map und damit über die zugrundeliegende kognitive Struktur zulassen. Aktuell vermuten wir, dass Informationen über die Anzahl und Größe der Cluster, die Konzepte, die in mehreren Clustern enthalten sind oder auch die Kontexte der einzelnen Cluster genutzt werden können, um Einschätzungen der Qualität vorzunehmen. Diese Vermutungen müssen sich aber in empirischen Untersuchungen behaupten.

Literatur

de Ries, K. E., Schaap, H., van Loon, A.-A. M. J. A. P., Kral, M. M. H., & Meijer, P. C. (2022). A literature review of open-ended concept maps as a research instrument to study knowledge and learning. *Quality & Quantity*, *56*, 73–107.

Graf, D. (2014). Concept Mapping als Diagnosewerkzeug. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 325–337). Springer Spektrum.

Gruber, H., & Mandl, H. (1996). Expertise und Erfahrung. In H. Gruber & A. Ziegler (Hrsg.), *Expertiseforschung: Theoretische und methodische Grundlagen* (S. 18–34). VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Mintzes, J., & Quinn, H. J. (2007). Knowledge Restructuring in Biology: Testing a Punctuated Model of Conceptual Change. International Journal of Science and Mathematics Education, 5(2), 281–306.

Murray, G., Carenini, G., & Ng, R. T. (2012). Using the Omega Index for Evaluating Abstractive Community Detection. In *Proceedings of Workshop on Evaluation Metrics and System Comparison for Automatic Summarization. Association for Computational Linguistics*, 10–18.

Reimers, N., & Gurevych, I. (2020). *Making Monolingual Sentence Embeddings Multilingual using Knowledge Distillation* (arXiv:2004.09813). arXiv.

Rikers, R. M. J. P., Schmidt, H. G., & Boshuizen, H. P. A. (2000). Knowledge Encapsulation and the Intermediate Effect. *Contemporary Educational Psychology*, *25*(2), 150–166.

Ruiz-Primo, M. A., & Shavelson, R. J. (1996). Problems and issues in the use of concept maps in science assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, *33*(6), 569–600.

Schwendimann, B. A. (2016). Comparing Expert and Novice Concept Map Construction Through a Talk-Aloud Protocol. In A. Cañas, P. Reiska, & J. Novak (Hrsg.), *Innovating with Concept Mapping* (S. 16–28). Springer International Publishing.

Traag, V. A., Waltman, L., & van Eck, N. J. (2019). From Louvain to Leiden: Guaranteeing well-connected communities. *Scientific Reports*, *9*(1), Article 1.

Jannis Zeller[1]
Josef Riese[1]

[1]Universität Paderborn

Assessment des physikdidaktischen Wissens mithilfe von Machine Learning

Theoretischer Hintergrund und Forschungsfragen

Das Professionswissen von Lehrkräften steht bereits seit langem im Fokus fachdidaktischer Forschung (z. B. Shulman, 1986; Baumert & Kunter, 2006). Neben dem Fachwissen (FW) und Pädagogischem Wissen (PW) stellt das Fachdidaktische Wissen (FDW) als das Wissen, das zur Vermittlung konkreter Fachinhalte an konkrete Lernende notwendig ist, eine wichtige Domäne des Professionswissens dar. Die inneren Strukturen von PW, FW und FDW wurden bislang hauptsächlich im Rahmen normativer Modelle auf theoretischer Seite (z. B. Park & Oliver, 2008; Baumert & Kunter, 2006; Riese et al., 2017) sowie mithilfe von hierarchischen Niveaumodellen auf empirischer Seite untersucht (König, 2009; Woitkowski & Riese, 2017; Zeller et al., 2022; Schiering et al., 2023).

Das FDW wird dabei im Rahmen von (theoretischen) Strukturmodellen (u. A. zur Item-Entwicklung) typischerweise dreidimensional modelliert. Im Projekt ProfiLe-P(+) (Riese et al., 2015; Vogelsang et al., 2019) wurden dabei anhand von Literaturreviews und Expert:innenbefragungen die Dimensionen Fachinhalte, fachdidaktische Facetten (*Instruktionsstrategien*, *Schülervorstellungen*, *Experimente* und *Fachdidaktische Konzepte*) sowie kognitive Anforderungen (*Reproduzieren*, *Anwenden-Kreieren* und *Analysieren-Evaluieren*) abgebildet.

Aus empirisch-datenbasierter Perspektive stellen Zeller et al. (2024) im Rahmen einer Item-Response-basierten Analyse mithilfe des Scale-Anchoring-Verfahrens projektübergreifend fest, dass sich FDW in niedrigen Ausprägungen auf reproduktive Aspekte beschränkt, während in höheren Ausprägungen analytisch-evaluative und anwendungsorientiert-kreative Elemente hinzukommen (Datensatz s.u.). Auf diesen Ergebnissen aufbauend wurden in einem nicht-hierarchischen Ansatz mithilfe einer latenten Profilanalyse (Spurk et al., 2020) vier Kompetenzprofile bezüglich der drei o. g. kognitiven Anforderungen identifiziert (Datensatz s.u.). Diese wurden entsprechend ihrer gezeigten Stärken und Schwächen als *Low Achievers* (niedriger Score in allen Kategorien), *Applying Creatives* (Stärken im Anwenden-Kreieren, Schwächen im Analysieren-Evaluieren), *Analytic Evaluators* (Gegenteil der Applying Creatives) und *High Achievers* (hoher Score in allen Kategorien) bezeichnet (Abb. 1).

Sowohl für den Transfer der theoretischen (hier: Modellierung kognitiver Anforderungen und Facetten) und empirischen Ergebnisse (hier: latente Kompetenzprofile) in die Praxis – z. B. in Form eines Assessments zu Feedbackzwecken – als auch zur Ermöglichung weiterer skalierbarer Forschung zum FDW ist eine Automatisierung der Bepunktung des verwendeten FDW-Testinstruments (siehe z. B. Riese et al., 2015) notwendig. Da das Testinstrument größtenteils aus Aufgaben in offenem Antwortformat besteht, ist für eine solche Automatisierung die Nutzung von Methoden des Natural Language Processing (NLP) und Machine Learning (ML) naheliegend (z. B. Camus & Filighera, 2020). Zu diesem Zweck werden im vorliegenden Beitrag die folgenden Forschungsfragen untersucht:

***FF1 (Automatisches Scoring)*:** Welche Maschine-Mensch-Übereinstimmung bei der automatisierten Bepunktung erreicht ein Machine-Learning Sprachmodell (BERT, Devlin et al. 2019) auf Basis von 846 Bearbeitungen eines FDW-Testinstruments unter Nutzung eines Standard-Trainingsworkflows?

***FF2 (Kompetenzprofile)*:** Wie hoch ist die Maschine-Mensch-Übereinstimmung einer automatisierten Zuordnung von Bearbeitungen des FDW-Testinstruments zu einem prototypischen FDW-Kompetenzprofil auf Basis der Scorer-Vorhersagen?

***FF3 (Subskalen)*:** Wie ist der Zusammenhang zwischen den Vorhersagen des Scorers und der wahren Summenscores bezogen auf Subskalen des FDW (kognitive Anforderungen & Facetten)?

Dabei wurden zu FF1 neben dem hier genannten BERT-Modell auch andere Ansätze exploriert, aus Gründen der Performanz der verschiedenen Modelle und der Übersichtlichkeit dieses Beitrags wird hier aber der BERT-Ansatz fokussiert.

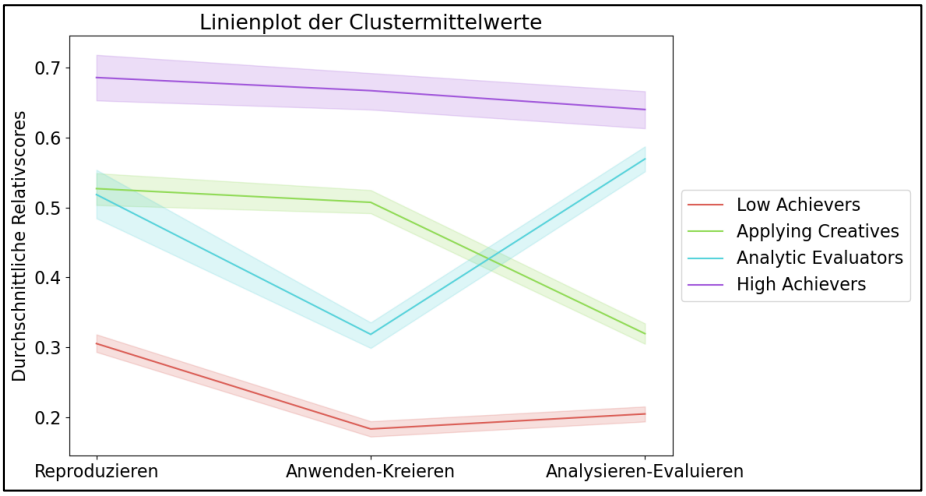


Abb. 1 Darstellung der Scores der vier Kompetenzprofile.

Stichprobe

Für die Analyse liegen 846 Bearbeitungen des FDW-Testinstruments aus dem Projekt ProfiLe-P+ vor, das in 23 offenen und 4 Multiple-Choice-Aufgaben das FDW von (angehenden) Physiklehrkräften (mittleres Studiensemester: 4,1) bezüglich des Fachinhaltes *Mechanik* sowie der o. g. Facetten und kognitiven Anforderungen erfasst. Insgesamt liegen dabei 15600 Antworten zu den offenen Aufgaben vor (454-825 pro Aufgabe), zu denen jeweils Scores (0, 1 oder 2 Punkte) durch eine trainierte Kodiererin zugeteilt wurden. Für die Bestimmung von Mensch-Mensch-Übereinstimmungs- (FF1, FF2) und Korrelationswerten (FF3), lag zudem eine Doppeltkodierung von 267 dieser Testbearbeitungen vor.

Methodik und Ergebnisse

Zu FF1 wurde das BERT-Modell (BERT-base-german-uncased) für alle Aufgaben gemeinsam für drei komplette Durchläufe der Trainingsdaten trainiert. Das Modell erreicht im Rahmen einer 10-Fold-Cross-Validation (N_{eval} = 15600) eine prozentuale Übereinstim-

mung zu den menschlichen Scores von 75,1 % bzw. ein Cohens κ von 0,560, was im Vergleich zur Mensch-Mensch-Baseline von 81,3 % bzw. κ = 0,665 als gute Übereinstimmung zu bewerten ist. Zu FF2 wurde mithilfe der Vorhersagen des BERT-Modells unter Weiternutzung der Cross-Validation-Splits ein logistisches Regressionsmodell zur Vorhersage der Kompetenzprofile trainiert und evaluiert (N_{eval} = 846), das eine prozentuale Übereinstimmung von 75,9 % bzw. κ = 0,612 erreicht. Auch dies ist im Vergleich zu einer entsprechenden Mensch-Mensch-Baseline von 73,4 % bzw. κ = 0,522, die mithilfe des wahren Cluster-Modells ermittelt wurde, als sehr gute Übereinstimmung zu werten. Zu FF3 wurden die menschlichen und maschinellen Scores gemäß der theoriebasierten Aufgabenzuordnungen zu den Summenscores bzgl. der o. g. vier Facetten und drei kognitiven Anforderungskategorien sowie zum Gesamtscore aggregiert. Die Gegenüberstellung der (menschlichen) Target-Summenscores und den entsprechenden Vorhersagen zeigt einen linearen Zusammenhang (Abb. 2). Quantitativ betrachtet korrelieren die menschlichen mit den maschinellen Summenscores im Median signifikant mit 0,86*** [0,73*** bis 0.93***], was (nicht nur) verglichen mit der Mensch-Mensch-Baseline von 0,92*** [0,79*** bis 0.96***] als hoch einzuschätzen ist.

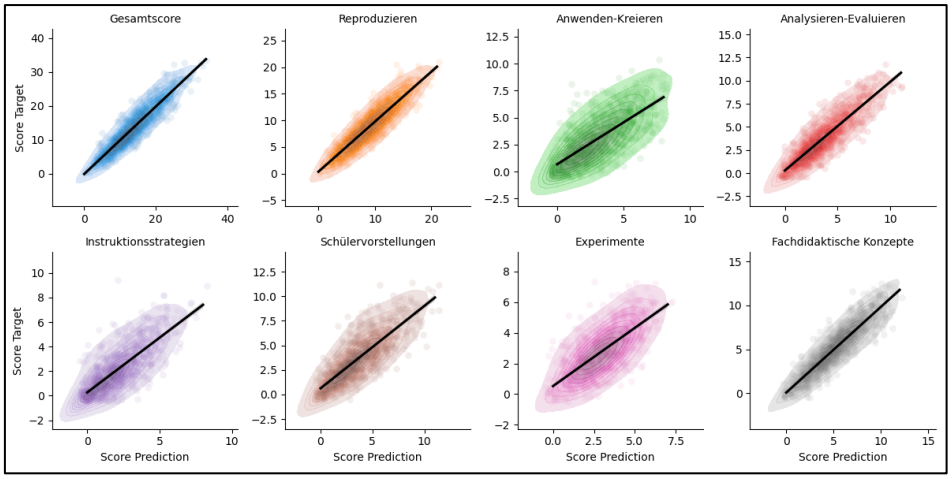


Abb. 2 Gegenüberstellung der Summenscore-Targets und -Vorhersagen

Ausblick

Insgesamt können über das BERT-Modell und die theoriebasiert abgeleiteten Aussagen aus den vorhergesagten Scores sowohl (a) typische Kompetenzprofile und (b) im Summenscores zu theoriebasierten Subskalen mit hoher Reliabilität ermittelt werden. Das Modell kann somit sowohl für die Gestaltung von Feedback, das im Rahmen der Kompetenzprofile und Subskalen auch inhaltliche Aspekte enthalten kann, als auch für potenzielle weitere FDW-Forschung eingesetzt werden, indem neue Daten skalierbar automatisiert erfasst werden. Zu diesem Zweck ist ein Webtool unter Nutzung von open-source Python-Paketen in Arbeit, das die Testbearbeitung und Auswertung enthält. Der Python-Code der explorativen Analyse der Kompetenzniveaus, der Automatisierung der Auswertung und für das Webtool wird aktuell verallgemeinert, um auch auf andere Testinstrumente und Datensätze übertragen werden zu können. Es ist geplant ihn als open-source Kooperationsprojekt anzulegen.

Literatur

Baumert, J., & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 9(4), 469–520. https://doi.org/10.1007/s11618-006-0165-2

Camus, L., & Filighera, A. (2020). Investigating Transformers for Automatic Short Answer Grading. In I. I. Bittencourt, M. Cukurova, K. Muldner, R. Luckin & E. Millán (Hrsg.), Artificial Intelligence in Education (S. 43–48). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52240-7_8

Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. In J. Burstein, C. Doran & T. Solorio (Hrsg.), Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, Volume 1 (Long and Short Papers) (S. 4171–4186). Association for Computational Linguistics. https://doi.org/10.18653/v1/N19-1423

König, J. (2009). Zur Bildung von Kompetenzniveaus im Pädagogischen Wissen von Lehramtsstudierenden: Terminologie und Komplexität kognitiver Bearbeitungsprozesse als Anforderungsmerkmale von Testaufgaben? Lehrerbildung auf dem Prüfstand, 2(2), 244–262. https://doi.org/10.25656/01:14703

Park, S., & Oliver, J. S. (2008). National Board Certification (NBC) as a catalyst for teachers' learning about teaching: The effects of the NBC process on candidate teachers' PCK development. Journal of Research in Science Teaching, 45(7), 812–834. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/tea.20234

Riese, J., Gramzow, Y., & Reinhold, P. (2017). Die Messung fachdidaktischen Wissens bei Anfängern und Fortgeschrittenen im Lehramtsstudiengang Physik. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 23, 99–112. https://doi.org/10.1007/s40573-017-0059-2

Riese, J., Kulgemeyer, C., Zander, S., Borowski, A., Fischer, H. E., Gramzow, Y., Reinhold, P., Schecker, H., & Tomczyszyn, E. (2015). Modellierung und Messung des Professionswissens in der Lehramtsausbildung Physik. Zeitschrift für Pädagogik, 61, 55–79.

Schiering, D., Sorge, S., Keller, M. M., & Neumann, K. (2023). A proficiency model for pre-service physics teachers' pedagogical content knowledge (PCK) – What constitutes high-level PCK? Journal of Research in Science Teaching, 60(1), 136–163. https://doi.org/10.1002/tea.21793

Shulman, L. S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. Educational Researcher, 15(2), 4–14. https://doi.org/10.3102/0013189X015002004

Spurk, D., Hirschi, A., Wang, M., Valero, D., & Kauffeld, S. (2020). Latent profile analysis: A review and "how to" guide of its application within vocational behavior research. Journal of Vocational Behavior, 120, 103445. https://doi.org/10.1016/j.jvb.2020.103445

Vogelsang, C., Borowski, A., Buschhüter, D., Enkrott, P., Kempin, M., Kulgemeyer, C., Reinhold, P., Riese, J., Schecker, H., & Schröder, J. (2019). Entwicklung von Professionswissen und Unterrichtsperformanz im Lehramtsstudium Physik–Analysen zu valider Testwertinterpretation. Zeitschrift für Pädagogik, 65(4), 473–491. https://doi.org/10.25656/01:23990

Woitkowski, D., & Riese, J. (2017). Kriterienorientierte Konstruktion eines Kompetenzniveaumodells im physikalischen Fachwissen. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 23, 39–52. https://doi.org/10.1007/s40573-016-0054-z

Zeller, J., Jordans, M., & Riese, J. (2022). Ansätze zur Ermittlung von Kompetenzniveaus im Fachdidaktischen Wissen. In S. Habig & H. van Vorst (Hrsg.), Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen, Tagungsband der GDCP Jahrestagung 2021 (S. 768–771). Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik.

Zeller, J., Schiering, D., Kulgemeyer, C., Neumann, K., Riese, J., & Sorge, S. (2024). Empirisch-kriterienorientierte Analyse des fachdidaktischen Wissens angehender Physiklehrkräfte. Welche inhaltlichen Strukturen zeigen sich über unterschiedliche Projekte hinweg? Unterrichtswissenschaft. https://doi.org/10.1007/s42010-024-00200-w

Valerie Amacker[1]
Markus Wilhelm[1]
Dorothee Brovelli[1]

[1]Pädagogische Hochschule Luzern

Cognitive Load und Lernerfolg bei verschiedenen Versuchsanleitungen

Einleitung

Im Physikunterricht werden oft Versuche eingesetzt, die Lernende eigenständig und in kurzer Zeit erarbeiten sollen. Diese Versuche umfassen meist wenige Arbeitsschritte und können innerhalb weniger Minuten abgeschlossen werden. In diesem Kontext dient der Schulversuch als wichtiges Mittel, physikalische Phänomene und Konzepte zu veranschaulichen (Girwidz, 2020a). Besonders im Anfangsunterricht werden häufig instruktionsorientierte Schüler:innenversuche verwendet, die durch eine vorgegebene Fragestellung und einen festgelegten Ablauf strukturiert sind (Hopf, 2007). Für die Durchführung der Versuche benötigen die Lernenden Anleitungen, die oftmals mündlich oder schriftlich zur Verfügung gestellt werden. Diese Versuchsanleitungen konfrontieren die Lernenden mit zahlreichen Anforderungen, die leicht zu Überforderung führen können. Die simultane Umsetzung der Anleitung, der Versuchsaufbau und die Beobachtung des Phänomens fordern eine hohe Konzentration (Rincke, 2016). In diesem Prozess ist es entscheidend, die Lernenden so zu unterstützen, dass sie sich auf die Beobachtung des Phänomens konzentrieren können, anstatt primär mit dem Aufbau des Versuchs beschäftigt zu sein.

Die vorliegende Forschungsarbeit setzt hier an und untersucht die Rolle von Versuchsanleitungen. Diese sind von zentraler Bedeutung für den Aufbau eines Versuchs, da ihre Gestaltung entscheidend dafür ist, ob sie kognitive Ressourcen freisetzen oder binden – ein Aspekt, der die Verarbeitung des beobachteten Phänomens und somit auch den Lernerfolg unmittelbar beeinflussen kann. Aus diesem Grund steht die Frage im Fokus, wie sich multimediale Anleitungen auf die kognitive Belastung und die Lernwirksamkeit der Lernenden auswirken.

Die in der Studie untersuchten Anleitungen wurden unter Einbezug der Cognitive Theory of Multimedia Learning (Mayer, 2021; Moreno & Mayer, 1999) entwickelt. Zwei zentrale Designprinzipien aus der Kognitionspsychologie und dem Instruktionsdesign – das Multimedia- und das Modalitätsprinzip – wurden hierbei besonders berücksichtigt (vgl. Amacker, Wilhelm, Bollmann & Brovelli, 2024). Zum Einsatz kamen Bild-Text-Anleitungen im Stil eines Arbeitsblatts, Bild-Instruktions-Anleitungen, angelehnt an den Frontalunterricht, und Video-Anleitungen, die die mediale Erfahrungswelt der Jugendlichen aufgreifen.

Theoretischer Hintergrund

Die Kognitionswissenschaft, die sich u.a. mit dem multimedialen Lernen befasst, untersucht, wie Informationen präsentiert und verarbeitet werden. Der Begriff „multimedial“ bezieht sich hierbei auf die Nutzung verschiedener Repräsentationsmodi, primär verbal und bildlich. Das Lernen wird auf die Sinnesmodalitäten (visuell und auditiv) und die Kodalität (symbolisch und/oder analog) von Repräsentationen ausgelegt (Scheiter, Richter & Renkl, 2018, S. 2).

Den verschiedenen Theorien multimedialen Lernens (vgl. Ainsworth, 2006; Mayer, 2021; Schnotz & Bannert, 2003) liegen drei Annahmen zugrunde: Erstens erfolgt die Informationsaufnahme über zwei Kanäle; zweitens ist deren Verarbeitungskapazität begrenzt; drittens gelingt Lernen nur, wenn Informationen aktiv verarbeitet werden. Nach der Cognitive

Theory of Multimedia Learning gelangen multimedial präsentierte Informationen über die Sinne ins sensorische Gedächtnis, wo sie gefiltert und relevante Informationen ins Arbeitsgedächtnis weitergeleitet werden. Im Arbeitsgedächtnis erfolgt deren aktive Verarbeitung durch den auditiven und visuellen Kanal: Auditive Informationen werden als verbale, visuelle als bildliche Modelle organisiert, die sich mit dem Vorwissen im Langzeitgedächtnis abgleichen und zu neuen Schemata abspeichern lassen.
Ein Ziel der Forschung zum multimedialen Lernen ist die Entwicklung von Materialien, die kognitive Ressourcen optimal für lernförderliche Prozesse nutzen. Designprinzipien (Girwidz, 2020b) helfen dabei, nicht-lernförderliche Verarbeitungsprozesse zu minimieren. Das Multimediaprinzip beispielsweise fördert durch die Kombination von Text und Bild die Kapazitätsauslastung des auditiven und visuellen Kanals (Mayer, 2021), während das Modalitätsprinzip gesprochene Texte bevorzugt, um den visuellen Kanal gezielt für Bildinformationenfreizuhalten (Castro-Alonso & Sweller, 2021).
Die Cognitive Load Theory (Sweller, 1994) ergänzt diese Ansätze, indem sie die Begrenzung des Arbeitsgedächtnisses und die daraus resultierende Belastung thematisiert. Die Theorie geht davon aus, dass die kognitive Belastung durch die Inhaltskomplexität und die Darstellungsweise des Lernmaterials beeinflusst wird. Die inhaltsbedingte kognitive Belastung (Intrinsic Cognitive Load, ICL) ist dabei lerninhärent, während die sachfremde Belastung (Extraneous Cognitive Load, ECL) durch das Design steuerbar ist (Leahy & Sweller, 2016). Die lernrelevante kognitive Belastung (Germane Cognitive Load, GCL) fördert das Verständnis und unterstützt die Speicherung in Schemata im Langzeitgedächtnis (Moreno & Park, 2012). Ein niedriger ECL ermöglicht eine bessere Nutzung der Arbeitsgedächtniskapazität für lernförderliche Prozesse.

Forschungsfragen und Hypothesen
Forschungsfrage 1: Welcher Präsentationsmodus eignet sich für eine Anleitung am besten, damit Lernende selbständig und lernwirksam einen Versuch durchführen können?
Es wird erwartet, dass Bild-Instruktions- und Video-Anleitungen den Lernprozess stärker unterstützen als Bild-Text-Anleitungen. Gemäß Mayers (2021) Annahme müsste effektives Lernen über die gleichzeitige Nutzung des visuellen und auditiven Kanals erfolgen, da beide Kanäle nur begrenzt Informationen verarbeiten können (Sweller, 1994). Da Bild-Text-Anleitungen den visuellen Kanal allein beanspruchen, während Bild-Instruktions- und Video-Anleitungen auch den auditiven Kanal einbinden, sollten letztere für eine effizientere Informationsverarbeitung sorgen.
Forschungsfrage 2: Mit welcher Anleitungsvariante können die Lernenden den ECL möglichst niedrig halten und welchen Einfluss hat das auf den Lernzuwachs?
Nach dem Modalitätsprinzip sollten Bild-Instruktions- und Video-Anleitungen den ECL minimieren, da durch den gesprochenen Text der visuelle Kanal gezielt für die Bildverarbeitung frei bleibt (Leahy & Sweller, 2016). Ein reduzierter ECL erhöht die verfügbare Arbeitsgedächtniskapazität für die Auseinandersetzung mit dem Phänomen, was zu einem stärkeren Lernzuwachs führt.

Studiendesign und Methodik
An der Studie nahmen 820 Schüler:innen der Sekundarstufe I teil (50.1% weiblich, 49.9% männlich; M = 13.7 Jahre, SD = 1.1 Jahre). Die Lernenden besuchten einen 90-minütigen Workshop mit dem Titel „(Unsichtbares) Licht – mit dem Smartphone entdeckt“, in dem physikalische Phänomene mithilfe diverser Smartphone-Sensoren beobachtet und daraus

physikalische Gesetzmäßigkeiten abgeleitet wurden (vgl. Amacker, Wilhelm & Brovelli, 2022). Hierfür erarbeiteten sie drei Versuche zur Optik und drei Versuche zur Infrarotstrahlung. Der direkte Vergleich der Versuche zur Optik mit denen zur Infrarotstrahlung kontrastierte Phänomene zur Reflexion und Transmission, wodurch eine aktive Auseinandersetzung mit den Inhalten initiiert werden sollte.
Der Wissensstand und Lernzuwachs wurden mithilfe eines Konzepttests mit 15 Items zu Reflexion und Transmission von Licht und Infrarotstrahlung eine Woche vor, unmittelbar nach und sechs Wochen nach dem Workshop-Besuch erfasst (vgl. Amacker, Lohse-Bossenz, Wilhelm & Brovelli, 2023). Der Cognitive Load (CL) wurde am Ende der Workshopdurchführung mit dem Fragebogen von Klepsch, Schmitz und Seufert (2017) differenziert in ICL, GCL und ECL erhoben. Die Variablen wurden durch konfirmatorische Faktorenanalyse latent modelliert und die daraus resultierenden Faktorwerte für die Folgeanalysen herangezogen.

Ergebnisse und Diskussion

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurde anfangs ein Modell auf Basis einer multiplen linearen Regression erstellt, wobei die Anleitungsvariante als Prädiktor und die Bild-Text-Anleitung als Referenzkategorie festgelegt wurden. Die Analyse des Modells mit der abhängigen Variable CL (unterteilt in ICL, GCL und ECL) ergab, dass allein der ECL durch die Anleitungsvariante beeinflusst wird. Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl die Bild-Instruktions-Anleitung ($\beta = 0.28$, $SE = .14$, $p = .042$) als auch die Video-Anleitung ($\beta = 0.38$, $SE = .15$, $p = .008$) im Vergleich zur Bild-Text-Anleitung signifikant höhere ECL-Werte erzeugen. Diese Befunde widersprechen der aufgestellten Hypothese, da Anleitungen mit mündlicher Komponente einen höheren ECL generieren. Ein möglicher Grund hierfür könnte sein, dass die zeitliche Kontiguität und das Segmentierungsprinzip bei Bild-Instruktions- und Video-Anleitungen schwieriger umzusetzen sind. Damit ergibt sich für Forschungsfrage 2, dass Bild-Text-Anleitungen den ECL am niedrigsten halten.
Die Auswirkungen des ECL auf den Lernzuwachs wurden mithilfe eines Random-Intercept-Modells untersucht, wobei die abhängige Variable Wissen und die Anleitungsvarianten (mit Bild-Text-Anleitung als Referenzkategorie) einbezogen wurden. Die Analyse zeigt einen signifikanten Wissenszuwachs nach dem Workshop ($\beta = 1.12$, $SE = .16$, $p < .001$), jedoch keinen signifikanten Haupteffekt der Anleitungsvarianten auf den Lernzuwachs (Bild-Instruktions-Anleitung: $\beta = -0.06$, $SE = .20$, $p = .776$; Video-Anleitung: $\beta = -0.19$, $SE = .21$, $p = .374$). Somit lässt sich auch Forschungsfrage 1 beantworten: Keine Anleitungsvariante ist hinsichtlich des Lernzuwachses der anderen überlegen.
Des Weiteren zeigte sich kein direkter Einfluss des ECL auf den Lernzuwachs ($\beta = -0.03$, $SE = .09$, $p = .760$). Ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen Zeit und ECL ($\beta = 0.21$, $SE = .10$, $p = .036$) deutet jedoch darauf hin, dass der ECL über die Zeit den Wissenszuwachs beeinflusst. Insbesondere die dreifachen Interaktionseffekte zwischen ECL, Zeit und den Anleitungsvarianten sind signifikant (Bild-Instruktions-Anleitung: $\beta = -0.31$, $SE = .14$, $p = .030$; Video-Anleitung: $\beta = -0.28$, $SE = .14$, $p = .036$). Dies deutet darauf hin, dass der Wissenszuwachs bei den Anleitungsvarianten mit mündlicher Komponente im Vergleich zur Bild-Text-Anleitung geringer ausfällt, wenn ein höherer ECL vorhanden ist. Diese Ergebnisse bestätigen, dass ein niedriger ECL den Lernzuwachs fördert und dass die Bild-Text-Anleitungen im Vergleich zu den Varianten mit mündlicher Komponente den ECL am effektivsten niedrig halten.

Literatur

Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. Learning and Instruction, 16(3), 183-198. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001

Amacker, V., Lohse-Bossenz, H., Wilhelm, M. & Brovelli, D. (2023). Concept test on reflection and transmission in the range of visible and infrared optics. International Journal of Science Education, 46(9), 913-933. https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2263917

Amacker, V., Wilhelm, M., Bollmann, S. & Brovelli, D. (2024). Der Einfluss multimedialer Versuchsanleitungen auf die Lernwirksamkeit und die Selbstwirksamkeitserwartung. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 30(5), 1-16. https://doi.org/10.1007/s40573-024-00170-7

Amacker, V., Wilhelm, M. & Brovelli, D. (2022). Entwicklung eines Workshops zur Infrarot-Optik nach dem Basismodell «Konzeptbildung». Progress In Science Education, 5(1), 61-75. https://doi.org/10.25321/prise.2022.1283

Castro-Alonso, J. C. & Sweller, J. (2021). The modality principle in multimedia learning. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Hrsg.), The Cambridge handbook of multimedia learning. Cambridge: Cambridge University Press, 261-267. https://doi.org/10.1017/9781108894333.026

Girwidz, R. (2020a). Experimente im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & H. E. Fischer (Hrsg.), Physikdidaktik | Grundlagen. Berlin, Heidelberg: Springer, 263-291. https://doi.org/10.1007/978-3-662-59490-2_7

Girwidz, R. (2020b). Multimedia und digitale Medien im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & H. E. Fischer (Hrsg.), Physikdidaktik | Grundlagen. Berlin, Heidelberg: Springer, 457-527. https://doi.org/10.1007/978-3-662-59490-2_13

Hopf, M. (2007). Problemorientierte Schülerexperimente. Studien zum Physik- und Chemielernen: Band 68. Berlin: Logos.

Klepsch, M., Schmitz, F. & Seufert, T. (2017). Development and validation of two instruments measuring intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. Frontiers in psychology, 8, 1-18. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01997

Leahy, W. & Sweller, J. (2016). Cognitive load theory and the effects of transient information on the modality effect. Instructional Science, 44(1), 107-123. https://doi.org/10.1007/s11251-015-9362-9

Mayer, R. E. (2021). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Hrsg.), The Cambridge handbook of multimedia learning. Cambridge: Cambridge University Press, 57-72. https://doi.org/10.1017/9781108894333.008

Moreno, R. & Mayer, R. E. (1999). Cognitive principles of multimedia learning: The role of modality and contiguity. Journal of Educational Psychology, 91(2), 358-368. https://doi.org/10.1037/0022-0663.91.2.358

Moreno, R. & Park, B. (2012). Cognitive load theory: Historical development and relation to other theories. In J. L. Plass, R. Moreno & R. Brünken (Hrsg.), Cognitive Load Theory. Camebridge: Cambridge University Press, 9-28. https://doi.org/10.1017/CBO9780511844744.003

Rincke, K. (2016). Experimente in ihren Funktionen für das Lernen. Regensburg: Universität Regensburg. https://doi.org/10.5283/epub.36410

Scheiter, K., Richter, J. & Renkl, A. (2018). Multimediales Lernen: Lehren und Lernen mit Texten und Bildern. In H. Niegemann & A. Weinberger (Hrsg.), Lernen mit Bildungstechnologien. Berlin, Heidelberg: Springer, 1-26. https://doi.org/10.1007/978-3-662-54373-3_4-1

Schnotz, W. & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. Learning and Instruction, 13(2), 141-156. https://doi.org/10.1016/S0959-4752(02)00017-8

Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. Learning and Instruction, 4(4), 295-312. https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90003-5

Fabian Bernstein [1]
Thomas Wilhelm [1]

[1] Goethe-Universität Frankfurt am Main

Usability Tests zur Evaluation physikdidaktischer Entwicklungen

Skalierung physikdidaktischer Innovationen

Die Skalierung fachdidaktischer Innovation und der Transfer aus den geschützten Räumen von Universitäten und Forschungsprojekten in die schulische Praxis stellt seit vielen Jahren eine zentrale Herausforderung für die physikdidaktische und, allgemeiner, bildungswissenschaftliche Forschung dar und wird häufig unter dem Begriff der Transferforschung oder kritisch als „Research-Practice-Gap“ diskutiert (Kincheloe, 2004; Hirschkorn & Geelan, 2008; Gräsel, 2010; Gräsel, 2011; McKenney & Reeves, 2019; Schmiedebach & Wegner, 2021). Antworten auf die Frage zu finden, wie die „Verbreitung wissenschaftlich fundierter Innovationen im Bildungssystem“ (Gräsel 2010) gelingen kann, ist von entscheidender Bedeutung, wenn die von der didaktischen Forschung ausgehenden Impulse über den universitären Bereich hinaus in der Praxis wirksam werden und nachhaltige Veränderungen und Verbesserungen der Unterrichtspraxis anstoßen sollen. Auch in naturwissenschaftsdidaktischen Publikationen der jüngeren Zeit wurde diese Herausforderung aufgegriffen, Implementationsbarrieren untersucht und das Problem der nachhaltigen Verankerung didaktischer Innovationen in der schulischen Praxis thematisiert (Breuer et al., 2020; Breuer, 2021; Neff, 2023; Knebloch et al., 2024).

Human-Centered Design: Grundlagen und Prozesse

Ein Ansatz, der bei einem Forschungsprojekt am CERN in Kooperation mit der Goethe-Universität Frankfurt verfolgt wurde, ist, bewährte Implementationsstrategien aus anderen Disziplinen in den Blick zu nehmen und auf ihre Eignung im physikdidaktischen Kontext hin zu prüfen. Ein vielversprechender Kandidat für eine solche Implementierungsstrategie ist „Human-Centered Design“, ein in ISO-Normen kodifiziertes Industrie-Framework, das sich mit der Usability von Produkten und, mittelbar, dem Transfer von Innovationen in gesellschaftliche Praxis unter besonderer Berücksichtigung der Zielgruppen und der Rahmenbedingungen im jeweiligen Feld beschäftigt (ISO 9241-210, 2019; ISO 9241-11, ISO/TS 20282-2:2013). Für Human Centered Design spricht u.a., dass es in erheblicher Breite im industriellen Umfeld erprobt wurde, über ein begrifflich und konzeptionell ausgearbeitetes Fundament verfügt, zahlreiche validierte Instrumente und konsolidierte Methoden bereitstellt und von einer Community getragen wird, die sowohl wissenschaftlich verankert als auch im Anwendungsumfeld mit praktischen Implementationsproblemen von ökonomischer Relevanz konfrontiert ist.
Der Human-Centered Design-Prozess verläuft typischerweise in vier iterativen Stadien: Ausgangspunkt des Human-Centered Design ist eine genaue Kenntnis und Analyse der Zielgruppe oder Zielgruppen: ihrer Ziele, ihrer Aufgaben und insbesondere auch des Implementationskontextes, in dem sich eine Innovation oder ein Produkt bewähren muss. Dieser Analyseschritt ist essenziell und beruht auf der Einsicht, dass ohne eine genaue Kenntnis der Zielgruppen und der Kontexte der Produktverwendung – d.h. bspw. der Lehrkräfte und ihres schulischen Umfelds – Innovationen zum Scheitern verurteilt sind, die keine hinreichende Passung zu den Anforderungen aufweisen, die sich aus den typischen Persönlichkeitsmerkmalen und Anwendungskontexten ergeben. In einem zweiten Schritt werden Nutzungsanforderungen abgeleitet, die die Grundlage für das Design möglicher Lösungen, Produkte oder Innovationen im dritten

Schritt darstellen. Der vierte Schritt besteht in der Evaluation der entwickelten Lösungen vor dem Hintergrund der Nutzungsanforderungen: Ist das Produkt geeignet, die Ziele und Aufgaben der Zielgruppe unter Minimierung des Ressourceneinsatzes und bei Maximierung der Nutzerzufriedenheit zu erfüllen? Dies sind nach ISO 9241-210 die Schlüsselfaktoren der Usability und werden im Framework als Effektivität, Effizienz und Nutzerzufriedenheit definiert.

Usability-Tests mit Experimentiermaterial: Ablauf, Konstrukte, Operationalisierung

Zur Evaluation der Usability eines Produktes stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. Als Goldstandard gelten Usability-Tests, also teilstandardisierte Untersuchungen, in denen repräsentative Nutzer bei der Lösung repräsentativer Aufgaben mittels eines interaktiven Systems beobachtet werden und die dazu dienen, Effektivität, Effizienz und Nutzerzufriedenheit zu messen. Usability-Tests basieren also auf der Beobachtung von Interaktionen des Nutzers mit dem zu evaluierenden System, was im Allgemeinen zu Einsichten führt, die sich ausschließlich auf dem Wege der Befragung nicht gewinnen lassen. In der Usability-Literatur wird dabei zwischen „formativen" und „summativen" Usability-Tests unterschieden (vgl. z. B. Rubin & Chisnell, 2008): Während formative Usability-Tests vorrangig während des Entwicklungszyklus eines Produktes eingesetzt werden und die Weiterentwicklung der Produkte durch die Systematisierung häufig auftretender Interaktionsdefekte („Usability Issues") leiten, werden summative Usability-Tests zur Erhebung quantitativer Kennzahlen für A-B-Tests und Benchmarks eingesetzt.

Im Human-Centered Design Projekt von CERN und Goethe-Universität Frankfurt wurde exemplarisch der Frage nachgegangen, ob bzw. wie es gelingen kann, Experimente zur modernen Physik für einen zeitgemäßen Physikunterricht aufzubereiten. Dies ist nicht zuletzt getrieben von der Beobachtung, dass Verfahren und Experimente der modernen Physik bisher insgesamt wenig Eingang in die Unterrichtspraxis gefunden haben.

Im Rahmen des Projektes wurde sowohl das Experimentierverhalten von Lehrkräften in einer Dreiländerstudie auf Basis des Reasoned Action Approaches untersucht (Bernstein et al., 2020) als auch konkrete Experimentieraktivitäten entwickelt. Eines der entwickelten Experimente – ein 3D-gedrucktes Michelson-Interferometer – wurde einem vergleichenden Usability-Test an der Goethe-Universität Frankfurt unterzogen. Die Stichprobe (N = 20) bestand aus Lehrkräften, die mit ihren Klassen an Angeboten des Physik-Schülerlabors der Goethe-Universität Frankfurt teilgenommen haben. Parallel zum Schülerlabor führten die Lehrkräfte in einem separaten Raum den Usability-Test durch und erhielten die Aufgabe, nacheinander zwei Michelson-Interferometer – das 3D-gedruckte Experiment sowie ein Interferometer eines Lehrmittelherstellers – aufzubauen und mit den Aufbauten ein Interferenzmuster zu erzeugen. Die Reihenfolge, in der die Lehrkräfte mit den Interferometern konfrontiert wurden, war zwischen den Lehrkräften randomisiert; die Gesamtdauer eines Usability-Tests betrug im Mittel ca. 2,5 Stunden.

Um ein umfassendes Bild der Usability der Experimente zu erhalten, wurden sowohl qualitative Daten zu Usability-Problemen erhoben als auch quantitative Instrumente eingesetzt. Alle Usability-Tests wurden videographiert, um die Protokolle der Usability-Tests ex-post verifizieren zu können. Die detaillierte Operationalisierung der Konstrukte und der Ablauf der Usability-Tests wird aus Abbildung 1 ersichtlich: Während Task Success und Time on Task unmittelbar der Beobachtung zugänglich sind, muss zur Messung der latenten Nutzerzufriedenheit auf Befragungsinstrumente zurückgegriffen werden. Neben der „Single Ease Question" zur Messung der wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit kamen die System Usability-Scale (Lewis, 2018) und der User Experience Questionnaire (Laugwitz et al., 2008; Schrepp

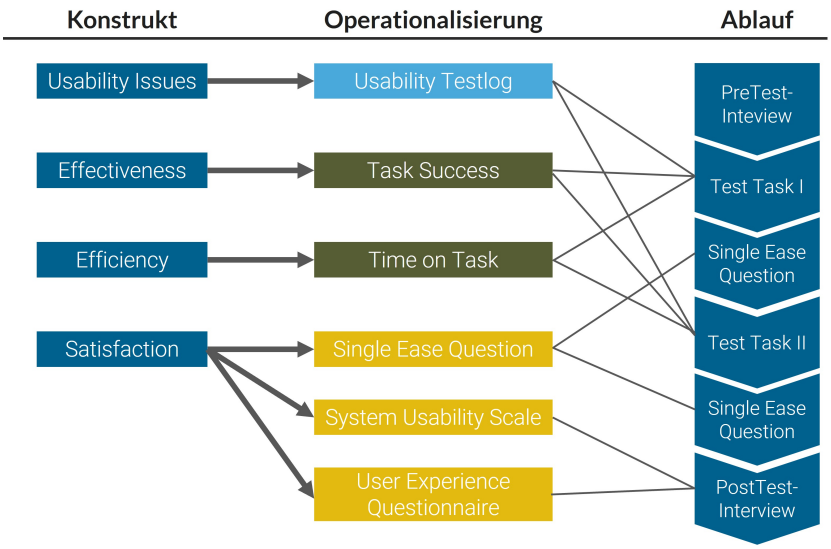


Abb.1: Konstrukte, Operationalisierung und Ablauf der Usability-Tests

et al., 2017) zum Einsatz. Die System Usability Scale erlaubt dabei ein robustes Benchmarking, da sie seit Jahrzehnten für die Evaluation von Produkten eingesetzt wird (Sauro, 2011; Lewis & Sauro 2018), wohingegen der User Experience Questionnare mit seinen fünf Subskalen „Durchschaubarkeit", „Effizienz", „Steuerbarkeit", „Stimulation" und „Originalität" differenziertere Einblicke in die subjektiv empfundene pragmatische und hedonische Qualität eines Produktes ermöglicht (Schrepp, 2015).

Resultate und Ausblick

Die Auswertung der Usability-Tests zeigt, dass signifikante Unterschiede in allen Usability-Dimensionen zwischen den beiden Interferometern bestehen. So ist mit Blick auf die Effektivität festzustellen, dass das Standard-Lehrmitteln nur von fünf Lehrkräften in der gegebenen Zeit erfolgreich aufgebaut werden konnte, während dies beim 3D-gedruckten Lehrmittel elf Lehrkräften gelang. Auch bei der Effizienz werden klare Unterschiede deutlich: Während die erfolgreichen Lehrkräfte für die Einrichtung des Standard-Lehrmittels im Median ca. 29 Minuten benötigten, gelang das für das 3D-gedruckte Interferometer in der Hälfte der Zeit. Signifikante Unterschiede zeigen sich schließlich in der System Usability Scale und im User Experience Questionnaire. Für das Standard-Lehrmittel ergab sich im SUS ein Mittelwert von ca. 41 Punkten – dieser Wert wird in der Usability-Literatur als „inakzeptabel" interpretiert (Sauro, 2011). Das 3D-gedruckte Interferometer erreichte im Mittel ca. 76 Punkte, entsprechend einer „guten" Usability. Die Befunde im User Experience Questionnaire sind analog.
Die vorliegenden Resultate deuten auf eine deutlich bessere Usability des 3D-gedruckten Interferometers gegenüber dem Standard-Lehrmittel hin. Offen bleibt jedoch, ob die gesteigerte Usability des 3D-gedruckten Experiments in der Praxis zu einer höheren Adoptionsrate und letztlich zu einem häufigeren Unterrichtseinsatz führen würde. Ein Zusammenhang zwischen der Usability von Experimenten und ihrem Unterrichtseinsatz erscheint zwar plausibel, ist aber empirisch nachzuweisen, zumal davon auszugehen ist, dass in die Entscheidung für oder gegen einen Einsatz im Unterricht weitere Faktoren einfließen dürften.

Literatur

Bernstein, F., Schmeling, S., Wilhelm, T., & Woithe, J. (2020). Saliente Überzeugungen von Physiklehrkräften zum Experimentieren. Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen, 86.

Breuer, J., Vogelsang, C., & Reinhold, P. (2020). Implementation und Nutzung von Unterrichtsmaterialien im schulischen Unterricht – Eine Bestandsaufnahme der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer. PhyDid A - Physik und Didaktik in Schule und Hochschule, 1(19), Article 19.

Breuer, J. (2021). Implementierung fachdidaktischer Innovationen durch das Angebot materialgestützter Unterrichtskonzeptionen. Fallanalysen zum Nutzungsverhalten von Lehrkräften am Beispiel des Münchener Lehrgangs zur Quantenmechanik. Logos Verlag Berlin. https://doi.org/10.30819/5293

Gräsel, C. (2010). Stichwort: Transfer und Transferforschung im Bildungsbereich. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 13(1), 7–20. https://doi.org/10.1007/s11618-010-0109-8

Gräsel, C. (2011). Die Verbreitung von Innovationen als Aufgabe der Unterrichtsforschung. In O. Zlatkin-Troitschanskaia (Hrsg.), Stationen Empirischer Bildungsforschung: Traditionslinien und Perspektiven (S. 320–328). VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-531-94025-0_23

Hirschkorn, M. & Geelan, D. (2008). Bridging the Research-Practice Gap: Research Translation and/or Research Transformation, 54.ISO 9241-11 (2018): Usability: Definition and concepts

ISO 9241-11 (2018). Usability: Definition and concepts

ISO 9241-110 (2006). Dialogue principles

ISO 9241-210 (2019). Human-centred design for interactive systems

ISO/TS 20282-2 (2013). Usability of consumer products and products for public use — Part 2: Summative test method

Kincheloe, J. L. (2004). The bizarre, complex, and misunderstood world of teacher education. In J.L. Kincheloe, A. Bursztyn, & S. Steinberg (Hrsg.), Teaching teachers: Building a quality school of urban education, 1-49, New York: Peter Lang.

Knebloch, J., Hengel, C., Kyas, J., Hansch, A., & Wilhelm, T. (2024). Mangelnde Implementation physikdidaktischer Innovationen. In H. Grötzebauch, & S. Heinicke (Hrsg.): PhyDid B, Didaktik der Physik.

Laugwitz, B., Held, T., & Schrepp, M. (2008). Construction and Evaluation of a User Experience Questionnaire. In A. Holzinger (Hrsg.), HCI and Usability for Education and Work (S. 63–76). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-89350-9_6

Lewis, J. R., & Sauro, J. (2018). Item benchmarks for the system usability scale. Journal of Usability Studies, 13(3).

Lewis, J. R. (2018). The System Usability Scale: Past, Present, and Future. International Journal of Human–Computer Interaction, 34(7), 577–590. https://doi.org/10.1080/10447318.2018.1455307

McKenney, S. & Reeves, T. C. (2019). Conducting educational design research, 2. Aufl. Routledge. https://doi.org/Susan

Neff, S. (2023). Transfer digitaler Innovationen in die Schulpraxis: Eine explorative Untersuchung zur Förderung der Implementation. Logos Verlag Berlin. https://doi.org/10.30819/5687

Rubin, J., & Chisnell, D. (2008). Handbook of usability testing: How to plan, design, and conduct effective tests (2nd ed). Wiley Pub.

Sauro, J. (2011). A Practical Guide to the System Usability Scale: Background, Benchmarks & Best Practices. Measuring Usability LLC.

Schmiedebach, M., & Wegner, C. (2021). Design-Based Research als Ansatz zur Lösung praxisrelevanter Probleme in der fachdidaktischen Forschung. Bildungsforschung, 2, 1–10.

Schrepp, M. (2015). User Experience Questionnaire Handbook. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2815.0245

Schrepp, M., Thomaschewski, J., & Hinderks, A. (2017). Construction of a Benchmark for the User Experience Questionnaire (UEQ). https://doi.org/10.9781/ijimai.2017.445

Markus Obczovsky[1]
Claudia Haagen-Schützenhöfer[1]
Thomas Schubatzky[2]

[1]Universität Graz
[2]Universität Innsbruck

Forschungsprozesse in Design-based Research systematisieren

Design-based Research (DBR) etablierte sich in den letzten Jahren als Genre von Forschungsansätzen in der Lehr- und Lernforschung mit dem Ziel, Interventionen für Probleme der Bildungsrealität zu entwickeln und empirisch zu untersuchen, wie diese Interventionen im Problemkontext „funktionieren"; sprich, das Erkenntnisinteresse dreht sich darum, wie Interventionen gestaltet werden können, um das reale Problem zu adressieren (Bakker, 2018; The Design-Based Research Collective, 2003). DBR-Ansätze ähneln sich zwar in gewissen Charakteristika, wie etwa dem iterativen Vorgehen mit Verzahnung aus Forschung und Design oder Kooperationen aus Forschung und Praxis, unterscheiden sich aufgrund der Unterschiedlichkeit und Komplexität der Probleme jedoch in der Umsetzung teilweise deutlich (Haagen-Schützenhöfer et al., 2024). Die fehlende einheitliche Systematik solcher Ansätze führte zu der zentralen Kritik eines mangelnden methodologischen Fundaments, wenn es darum geht, transparent und systematisch Aussagen über die Gestaltung von Interventionen (bzw. der ablaufenden Lernprozesse) auf empirischen Daten aufzubauen und folglich Theoriebeiträge zu leisten (Sandoval, 2014). Daher stellt Sandoval (2014) Conjecture Maps als Hilfsmittel vor, um die theoretischen Annahmen auf denen das Design einer Intervention beruht, systematisch offenzulegen und gezielt empirisch zu beleuchten. Wir nutzten Conjecture Maps in einem unserer DBR Projekte und werden in diesem Beitrag diskutieren, inwiefern Conjecture Maps unterstützen können, Forschungsprozesse in DBR zu strukturieren und systematisieren. Wir wollen dadurch eine Diskussion über Praktiken in DBR anregen und anderen Forschenden ein Hilfsmittel zur Systematisierung von Forschungsprozessen in DBR vorstellen.

Die Idee von Conjecture Maps

Eine zentrale Tätigkeit in DBR ist das Designen von Interventionen. Im Designprozess trifft man viele Entscheidungen, welche Maßnahmen im Zuge einer Intervention getroffen werden, um ein bestimmtes Ziel (=Outcome) zu erreichen; im Idealfall mit gut begründeten Annahmen, warum genau dieses Bündel an Maßnahmen zu dem Outcome führen soll (Obczovsky et al., 2024). Sandoval (2014) schlägt vor, diese Annahmen auf zwei Ebenen darzustellen: Annahmen darüber, welche Prozesse in Lernsituationen durch die gesetzten Maßnahmen initiiert werden und darüber, zu welchem Outcome diese Prozesse beitragen. Dadurch ergibt sich eine Art mechanistisches Modell der Intervention; repräsentiert durch ein Mapping, in dem die Maßnahmen mit Prozessen und weiter mit Outcomes verbunden werden.

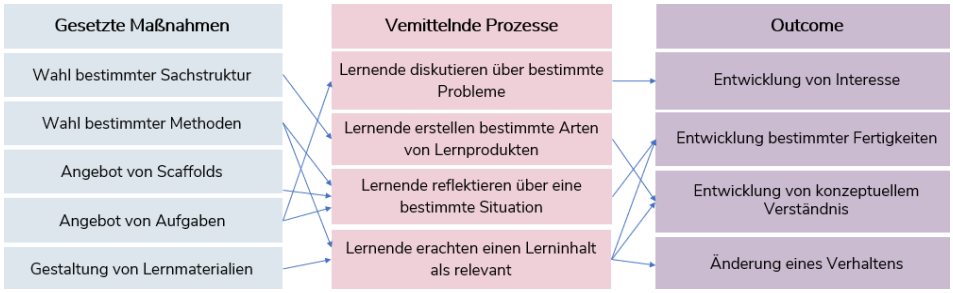


Abb. 1: Veranschaulichung des Prinzip der Conjecture Map mit fiktiven Beispielen

Wie und warum Conjecture Maps in einem unserer Projekte nützlich waren

Im Zuge eines DBR-Projekts entwickelten wir zyklisch und forschungsbasiert eine Intervention für eine Fachdidaktiklehrveranstaltung im Physiklehramtsstudium zur systematischen Analyse von evidenzbasierten Unterrichtsmaterialien, mit dem Ziel wesentliche Elemente dieser Materialien zu entdecken, und damit Designentscheidungen für den eigenen Unterricht evidenzbasiert treffen zu können. Das theoretische Fundament für diese Intervention lieferten gut fundierte Designannahmen darüber, welche Maßnahmen gesetzt werden können, um ein bestimmtes Outcome zu erreichen: Die Studierenden sollen Unterrichtsmaterialien systematisch, aus verschiedenen Perspektiven analysieren lernen (Obczovsky et al., 2023, 2024). Um über diese Designannahmen zu reflektieren, sie auszudifferenzieren, anzupassen oder zu verwerfen, wurde die Intervention im Zuge eines Bachelorseminars für Fachdidaktik der Elektrizität, Magnetismus und Optik implementiert. Wir erhoben an entscheidenden Zeitpunkten Daten: von Lernprodukten, über Textvignetten hin zu problembasierten Interviews, um die Lernprozesse der Studierenden bestmöglich zu rekonstruieren (Obczovsky et al., 2023). Beim Reflektieren über die Annahmen standen wir vor zwei zentralen Schwierigkeiten, die sich in DBR unweigerlich ergeben: Das Design der Intervention basiert auf vielen Annahmen, die nicht voneinander getrennt werden können, und die Intervention wird in einem realistischen, unkontrollierten Setting implementiert, mit vielen Faktoren, die zusammenspielen. Unser Ziel war jedoch nicht nur zu einer Aussage darüber zu gelangen, ob das gesamte Bündel an Maßnahmen, eingebettet in eine Intervention, zum gewünschten Outcome im Problemkontext führen kann oder nicht, sondern welche Schwierigkeiten sich beim Erreichen des Outcomes im Problemkontext ergeben können, wie Studierende in ihren Lernprozessen unterstützt und Maßnahmen sinnvoll adaptiert werden können.

Conjecture Maps waren für uns in erster Linie in der Datenauswertung hilfreich, um das komplexe Gewirr aus Annahmen transparent und übersichtlich darzustellen, um mithilfe der gesammelten empirischen Daten die Sinnhaftigkeit der Annahmen systematisch zu reflektieren und diskutieren. Durch die zwei Ebenen der Annahmen in den Conjecture Maps ergeben sich zwei zentrale Arten von Fragen für die Datenauswertung: Tritt der erwartete Prozess ein? Wird das erwartete Outcome erreicht? Wenn ein Prozess nicht wie erwartet initiiert wird oder ein Outcome nicht wie erwartet erzielt wird, hat man einen Ansatzpunkt dafür, die jeweilige Annahme zu adaptieren oder zu verwerfen. Zum Beispiel, wenn das Bündel an Maßnahmen nicht zu dem erwarteten Prozess führt, oder wenn das Zusammenspiel der beobachteten Prozesse nicht zu dem erwarteten Outcome führt, kann man systematisch nach Hinweisen in den erhobenen Daten suchen, um potenzielle Erklärungen für ein Abweichen des Erwarteten zu finden. Mithilfe der Conjecture Map formulierten wir folglich konkrete Fragen für die Datenauswertung zu allen intendierten Prozesse und Outcomes und triangulierten die vielen unterschiedlichen qualitativen und/oder quantitativen Daten, um diese Fragen zu beantworten und ein Narrativ für die einzelnen Studierenden durch den Lernprozess zu konstruieren, um darin Muster zu identifizieren. Wieso haben einzelne Lernende ein besseres Outcome erzielt als andere? Haben sie sich in bestimmten Lernsituationen anders verhalten (Blick auf Prozesse)? Wieso haben einzelne Maßnahme nicht zu dem erwarteten Prozess geführt? Zu welchen anderen Prozessen hat sie geführt? Lässt sich in der Literatur eine Erklärung dafür finden?

Schwierigkeiten beim Einsatz von Conjecture Maps

Beim Erstellen und Nutzen von Conjecture Maps als Hilfsmittel, um Forschungsprozesse zu systematisieren, sind wir auf einige Schwierigkeiten gestoßen. Erstens, die Conjecture Maps, so wie sie von Sandoval (2014) vorgeschlagen werden, suggerieren eine Linearität der zwei erwähnten Ebenen und verbinden Maßnahmen mit Prozessen und Prozessen mit Outcomes. Lernprozesse bauen jedoch oft aufeinander auf: Ein gewisser Zwischen-Outcome kann Voraussetzung dafür sein, dass ein bestimmter Prozess durch eine Maßnahme ausgelöst wird. Lernende müssen, z.B. ein bestimmtes Konzept verstehen, bevor sie dieses Konzept nutzen können, um z.B. in einer Intervention bestimmte Probleme zu lösen. Zweitens, Lernprozesse im sozialen Gefüge eines Unterrichtssettings sind meistens sehr komplex und erfordern eine Vielzahl gesetzter Maßnahmen und ablaufender Prozesse. Damit stellt sich die Frage, wie feinkörnig eine Conjecture Map sein muss oder wie grobkörnig sie sein darf, um sinnvoll über die getroffenen Annahmen zu reflektieren. Je feinkörniger, desto mehr Daten müssen erhoben werden, um die stattfindenden Prozesse zu untersuchen, wodurch die Forschung vielleicht ökologisch nicht mehr umsetzbar ist. Drittens, können Conjecture Maps das Blickfeld der Forschenden einschränken, da man gezielt (und gut begründet) nach erwarteten Prozessen oder Outcomes sucht und vielleicht an anderen Stellen Unerwartetes übersieht. Viertens, verleiten Conjecture Maps aufgrund der Darstellung zu kausalen Interpretationen. Unserer Meinung nach muss man sehr vorsichtig sein mit den Aussagen, die man trifft. Conjecture Maps stellen keine empirischen Wirkmodelle dar, in denen individuelle Annahmen (=Pfeile der Conjecture Map) im klassischen Sinne getestet werden, sondern sind primär ein Hilfsmittel zur systematischen Analyse der erhobenen Daten und Reflexion der beim Designen getroffenen Annahmen. Letztlich wird immer das Gesamtpaket an Maßnahmen untersucht.

Potentiale von Conjecture Maps für DBR

Unserer Meinung nach können Conjecture Maps, beziehungsweise die zugrundeliegende Idee, ein zentrales epistemologisches Hilfsmittel in DBR sein. Die „kontrollierte Reflexion auf die eigenen Vorannahmen und Erkenntnisinteressen“ (Meinefeld, 1997, S. 30) ist aus erkenntnistheoretischer wie methodologischer Sicht zentral für jede Art der Forschung. Conjecture Maps helfen oftmals implizite Annahmen, auf denen das Design einer Intervention beruhen, transparent offenzulegen und den Forschungsprozess zu strukturieren, um den Fokus auf das Erkenntnisinteresse zu legen (vgl. Meinefeld, 1997). Das Erkenntnisinteresse in DBR geht darüber hinaus, ob das Gesamtpaket an gesetzten Maßnahmen im Problemkontext bei bestimmten Lernenden zu diesen oder jenen Prozessen und zu diesem oder jenem Outcome führt. Um zu ergründen, wie Interventionen gestaltet werden können, um ein Problem zu adressieren, gilt es weiters Zusammenhänge zwischen Maßnahmen, Prozessen und Outcomes zu untersuchen und Potentiale zur Weiterentwicklung des Designs zu identifizieren.

Conjecture Maps können dabei unterstützen, um

1) bei der Datenerhebung und Analyse ökologische und theoretisch begründete Entscheidungen im Sinne des Erkenntnisinteresses zu treffen,
2) bei der Analyse der Daten systematisch und nachvollziehbar Daten zu triangulieren und getroffene Annahmen zu reflektieren,
3) Ergebnisse in wissenschaftlichen Artikeln durch Bezug auf die Conjecture Maps (bei umfangreicheren Projekten eventuell als Anhang beigefügt) darzustellen und zu diskutieren, um die Transparenz und Intersubjektivität der eigenen Forschung zu unterstützen.

Literatur

Bakker, A. (2018). *Design research in education: A practical guide for early career researchers*. Routledge.

Haagen-Schützenhöfer, C., Obczovsky, M., & Kislinger, P. (2024). Design-based research–Tension between practical relevance and knowledge generation–What can we learn from projects? *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *20*(1), em2378. https://doi.org/10.29333/ejmste/13928

Meinefeld, W. (1997). Ex-ante Hypothesen in der Qualitativen Sozialforschung: Zwischen „fehl am Platz" und „unverzichtbar". *Zeitschrift für Soziologie*, *26*(1), 22–34. https://doi.org/10.1515/zfsoz-1997-0102

Obczovsky, M., Bernsteiner, A., Haagen-Schützenhöfer, C., & Schubatzky, T. (2024). Systematizing Decisions in Design-Based Research: From Theory to Design. *Science Education*, *n/a*(n/a), n/a-n/a. https://doi.org/10.1002/sce.21915

Obczovsky, M., Schubatzky, T., & Haagen-Schützenhöfer, C. (2023). Supporting Preservice Teachers in Analyzing Curriculum Materials. *Education Sciences*, *13*(5), Article 5. https://doi.org/10.3390/educsci13050518

Sandoval, W. (2014). Conjecture Mapping: An Approach to Systematic Educational Design Research. *Journal of the Learning Sciences*, *23*(1), 18–36. https://doi.org/10.1080/10508406.2013.778204

The Design-Based Research Collective. (2003). Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. *Educational Researcher*, *32*(1), 5–8. https://doi.org/10.3102/0013189X032001005

Laura Pannullo[1] [1]Universität Bielefeld
Felix Pawlak[2] [2]Universität Tübingen

Interviewleitfäden durch Flow-Charts grafisch strukturieren

Einleitung: das wissenschaftliche Interview

Das wissenschaftliche Interview ist eine der meistgenutzten Methoden zur Erhebung qualitativer Daten, da es einen schnellen Zugang zum Forschungsfeld ermöglicht (Helfferich, 2014) und umfangreiches Datenmaterial liefert (Friebertshäuser, 1997). Es wird als Dialog mit fester Rollenverteilung zwischen der interviewenden und der befragten Person geführt, um gezielt Informationen zu sammeln (Haller, 2013). Dabei dient das Interview der systematischen, regelgeleiteten Datengewinnung, um Erkenntnisse hinsichtlich der vorab formulierten Forschungsfragen gewinnen zu können (Döring & Bortz, 2016). Hierzu bedarf es oftmals einer Strukturierung, die Fragen und Impulse vorgibt, um das Erkenntnisinteresse des jeweiligen Interviews gezielt verfolgen zu können. Ein solches halbstandardisiertes Interview basiert auf einem Interviewleitfaden, der u. a. eine Reihe offener Fragen enthält, zu denen die befragten Personen Bezug nehmen sollen (Döring & Bortz, 2016).

Theoretischer Hintergrund: Interviewleitfäden und Flussdiagramme

Interviewleitfäden bieten eine strukturierte Vorgehensweise, um zum einen wissenschaftliche Fragestellungen gezielt und strukturiert zu untersuchen. Zum anderen soll Raum für vertiefende Fragen und eine generell ergebnisoffene Herangehensweise gegeben werden. Der Leitfaden legt die Fragen und ihre Reihenfolge fest, erlaubt jedoch den Interviewer:innen, je nach Bedarf Anpassungen vorzunehmen, um den Interviewfluss aufrechtzuerhalten. Die Herausforderung liegt darin, das Erkenntnisinteresse in konkrete Fragen zu übersetzen, da hierzu die methodischen Regeln oft unzureichend sind (Gläser & Laudel, 2009). Der Erfolg des Interviews hängt somit stark von der Kompetenz der Interviewer:innen ab, das Erkenntnisinteresse zu operationalisieren, was die Vergleichbarkeit der Daten erschweren kann.

Eine visuelle Aufbereitung, wie durch Flussdiagramme, kann helfen, die Übersichtlichkeit zu verbessern. Flussdiagramme sind Diagramme zur grafischen Darstellung zusammenhängender Informationen, die die Beschreibung einzelner Schritte enthalten, oft durch gerahmte Texte und verbindende Pfeile oder Linien (Harris, 2000). Sie eignen sich besonders für die Beschreibung komplexer Prozesse, da sie Abläufe und Strukturen übersichtlich darstellen und helfen, schwierige Zusammenhänge besser zu verstehen und zu analysieren. Für zwei Studien wurden aus diesem Grund Interviewleitfäden als Flussdiagramme entwickelt, um die Gestaltung und Handhabung zu verbessern.

Entwicklung eines Flussdiagramm-Leitfadens

Im Gegensatz zur klassischen Form können Interviewleitfäden auch als Flussdiagramm dargestellt werden. Dabei sind die Interviewfragen und Zusatzfragen in Kästen dargestellt und Pfeile stellen verschiedene Antwortmöglichkeiten der Befragungsperson dar, die wiederum zu Fragen/Zusatzfragen führen. Solche Verzweigungsmöglichkeiten sind notwendig, wenn z. B. nicht alle Interviewfragen auf den Befragten zutreffen (Jabine, 1985) oder einzelne Anschlussfragen bestimmte Antworten voraussetzen. Mit Hilfe von Flussdiagrammen sollen Interviewleitfäden übersichtlicher gestaltet und durch das Vorgeben von Pfaden innerhalb dieser Diagramme vergleichbare Interviews geschaffen werden.

Dies ist insbesondere bei der Durchführung von Interviews an verschiedenen Forschungsstandorten von Vorteil, da auf diese Weise die Daten, die von unterschiedlichen Interviewer:innen generiert werden, vergleichbarer sind. Bei der Gestaltung von Flussdiagrammen müssen verschiedene Merkmale berücksichtigt werden. Im Gegensatz zu klassischen Interviewleitfäden stellen vertiefende Fragen kein Beiwerk dar, sondern werden in „Flussdiagramm-Leitfäden“ gezielt eingesetzt, um Handlungsspielräume zu standardisieren. Auch ermöglicht ein Flussdiagramm, den “Pflichtteil” eines Interviews (das sog. Kerninteresse) visuell von Zusatzfragen abzugrenzen. Hierzu sind folgende Schritte bei der Entwicklung eines Flussdiagramm-Leitfadens zu empfehlen:

1. Forschungsfrage operationalisieren
2. Fragen sortieren
3. Layout entwerfen
4. Reihenfolge, Ablauf und Logik prüfen (1. Überarbeitung)
5. Vertiefungsfragen ergänzen
6. Peer-Feedback einholen und kritisch diskutieren (2. Überarbeitung)
7. Pilotierung: Erprobung des Interviewleitfadens
8. Einbettung der Erkenntnisse (3. Überarbeitung)
9. Schulung der Interviewer:innen für die Hauptstudie

Beispiel für einen Flussdiagramm-Leitfaden

In Abb. 1 wird ein Flussdiagramm zu einer ausgewählten Fragestellung aus der Befragung von Schüler:innen zu deren Verständnis bezüglich der Natur der Naturwissenschaften (Nature of Science, NOS) und der Vorläufigkeit naturwissenschaftlicher Erkenntnisse (Binder et al., 2024) gezeigt.

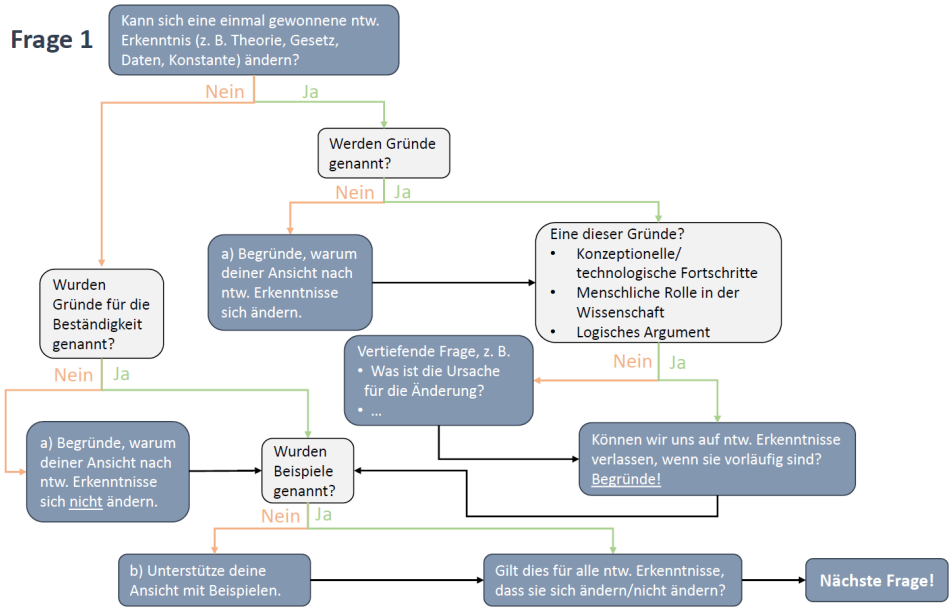


Abb. 1: Beispiel eines Flussdiagramms zur Vorläufigkeit wissenschaftlicher Erkenntnisse

Das Ziel der Interviewstudie war die Überprüfung eines vorab eingesetzten Fragebogens und der Verständlichkeit der Fragen. Die Interviews sollten demnach die Güte des eingesetzten Fragebogens prüfen, da das Konzept von NOS einen hohen Komplexitätsgrad aufweist. In den blauen Kästen sind die Fragen, die durch die Interviewer:innen gestellt werden. Die grauen Kästen beziehen sich auf die Aussagen der Befragten. Die roten Pfeile werden bei Verneinungen durch die Befragten verfolgt und die grünen Pfeile bei Bejahungen.

Einsatz in der Praxis und Diskussion

Die Vorteile und Herausforderungen wurden im Rahmen unterschiedlichen Durchführungen von Interviews mit Flussdiagramm-Leitfäden festgestellt und die Erfahrungen der verschiedenen Interviewer:innen gesammelt.

Der Einsatz von Flussdiagrammen bietet den Vorteil, dass die Struktur eine klare und übersichtliche Darstellung der zu stellenden Fragen sowie der angestrebten Interviewrichtung ermöglicht. Dadurch können sich auch weniger erfahrenere Interviewer:innen sicherer fühlen und Interviews mit unterschiedlichen Verläufen führen. Die Flussdiagramme unterstützen dabei, verschiedene Szenarien und Antwortmöglichkeiten zu antizipieren und entsprechende Folgefragen festzulegen, was einen Gesamtüberblick über das Interview erleichtert.

Trotz dieser Vorteile erweist sich die praktische Anwendung auch als herausfordernd, da sich der Einsatz dieser Leitfäden insbesondere bei komplexen Fragestellungen empfiehlt, um eine übersichtliche Darstellung zu gewährleisten und den Interviewleitfaden zu vereinfachen. Genau diese Komplexität kann für die Interviewer:innen überwältigend sein, insbesondere wenn sie noch nicht vollständig mit den zugrunde liegenden Konzepten vertraut sind. Ein tiefes Verständnis der Interviewthematik ist erforderlich, um die Antworten angemessen einzuordnen. Eine ausführliche Schulung, die auch Beispiele für potenzielle Gesprächsverläufe und Beispielantworten beinhaltet, hat sich als nützlich erwiesen, um die Navigation durch das Diagramm zu erleichtern.

Eine weitere Herausforderung besteht darin, dass die konkrete Abfolge der Fragen in eine Struktur (z. B. Ja/Nein) des Flussdiagramms passen muss. So lassen sich die Antworten nicht immer eindeutig in die vorgegebenen Kategorien einordnen, was zu Unsicherheiten bei den Interviewer:innen führen kann. Diese Fälle sollten vorab diskutiert und ein geregelter Umgang geschult werden.

Die Interviewer:innen geben dennoch an, dass die Flussdiagramme das Interview erheblich vereinfachen, sobald die zugrunde liegenden Konzepte von ihnen verstanden wurden. Sie bieten eine klar strukturierte Alternative zu den typischen Textblöcken, in denen man sich leicht verlieren kann, und ermöglichen den Interviewer:innen, sich stärker auf die Antworten der Befragten zu konzentrieren. Dies kann zudem eine Steigerung der Qualität der Interviews zur Folge haben, da eine gezielte Nachfrage möglich ist und die Interviewer:innen sich nicht fortwährend neu orientieren müssen.

Fazit

Flussdiagramm-Leitfäden stellen einen vielversprechenden Ansatz zur Verbesserung der Übersichtlichkeit und Benutzerfreundlichkeit von Leitfäden dar. Die grafische Darstellung des Interviewverlaufs erlaubt eine Reduktion der Textmenge, wodurch eine bessere Visualisierung und eine Navigation gemäß der Forschungsfragen möglich wird. Dies erweist sich insbesondere bei der Durchführung von Interviews an verschiedenen Standorten oder durch verschiedene Interviewer:innen als vorteilhaft.

Allerdings ist zu berücksichtigen, dass nicht alle Forschungsfragen für die Verwendung von Flussdiagrammen geeignet sind, da es unter anderem klar identifizierbare Wege des Interviews geben muss, um diese mit Hilfe der Struktur des Flussdiagramms angemessen abbilden zu können.

Literatur

Binder, T., Kurschildgen, S., Schmidt, E., Kremer, K. & Schwarzer, S. (2024): Spirit Teaching 2.0 – NOS-Verständnis bei Schüler:innen fördern. In H. van Vorst (Hrsg.), Frühe naturwissenschaftliche Bildung. Jahrestagung in Hamburg 2023. Gesellschaft für die Didaktik der Chemie und Physik (GDCP), S. 686–689.

Döring, N., & Bortz, J. (2016): Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. 5. Auflage. Berlin & Heidelberg.

Friebertshäuser, B. (1997): Interviewtechniken—Ein Überblick. In: Friebertshäuser, B./Prengel, A. (Hrsg.), Handbuch qualitative Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft. Weinheim, S. 371–395

Gläser, J. & Laudel, G. (2009): Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen. 3. Auflage, Wiesbaden.

Haller, M. (2013): Das Interview. 5. Auflage, München.

Harris, R. L. (2000): Information graphics: A comprehensive illustrated reference.

Helfferich, C. (2014): Leitfaden- und Experteninterviews. In: Baur, N./Blasius, J. (Hrsg.), Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung. Wiesbaden, S. 559–574.

Jabine, T. B. (1985): Flow Charts: A Tool for Developing and Understanding Survey Questionnaires. In: Journal of Official Statistics, 1(2), 189–207.

Lukas Mientus[1]
Anna Nowak[1]
Peter Wulff[2]
Andreas Borowski[1]

[1]Universität Potsdam
[2]PH Heidelberg

Unterrichtspraxis reflektieren – automatisiert Rückmeldung geben

Reflexion wird oft als Schlüsselkategorie in der professionellen Entwicklung von Lehrkräften diskutiert (Korthagen & Kessels, 1999; Combe & Colbe, 2008; Christof et al., 2018; Wyss & Mahler, 2021). Unterrichtsreflexion kann einen nachhaltigen und intrinsischen Professionalisierungsprozess anregen (Roters, 2012), so dass sie unter anderem unabdingbar für die Entwicklung einer Lehrpersönlichkeit scheint (Rothland, 2021). Reflexion kann definiert werden als ein strukturierter Prozess im konkreten Unterrichtskontext mit dem Ziel der persönlichen Weiterentwicklung (nach Mientus, 2023 in Anlehnung an von Aufschnaiter et al., 2019) und kann somit nicht nur durch inhaltliches, sondern auch durch strukturelles Feedback gefördert werden (Poldner et al., 2014). Ein lernwirksames Feedback nach Hattie und Timperley (2007), das sowohl eine Rückmeldung zum derzeitigen Stand der professionellen Entwicklung als auch Zukunftsperspektiven aufweisen sollte, stellt sich hierbei jedoch als ressourcenintensiv dar, weshalb im Bereich der Reflective Writing Analytics Abhilfe gefunden werden kann etwa durch die Automatisierung solcher ressourcenintensiven Prozesse (Lai & Calandra, 2007; Buckingham Shum et al., 2017; Ullman, 2019; Wulff et al., 2022). Inwieweit ein konkretes Feedbackkonzept, welches strukturelles Feedback zu schriftlichen Reflexionen computerbasiert bereitstellt, entgegen einer Vergleichsgruppe gewinnbringend ist, soll in der vorliegenden Studie erprobt werden.

Forschungsanliegen im Kohortenvergleich

Im Feedbackkonzept *ReFeed* (Mientus et al., 2019) werden basierend auf Algorithmen aus Wulff et al. (2022) automatisch Rückmeldungen zur Argumentationsstruktur nach dem Rahmenmodell für Reflexion nach Nowak et al. (2019) gegeben. Nach dem Modell besteht ein höherwertiger Reflexionsprozess darin, dass in einem ersten Schritt Beobachtungen beschrieben werden. Auf Grundlage des individuellen Professionswissens können dann Bewertungen vorgenommen und Alternativen zur Verbesserung des Unterrichts sowie Konsequenzen zur eigenen professionellen Entwicklung formuliert werden (Nowak, 2023).

Um die Wirksamkeit des Feedbacks nach Hattie und Timperley (2007) zu validieren, sollen N = 132 schriftliche Selbstreflexionen von N = 22 Physik-Lehramtsstudierenden aus drei Semestern (SoSe 2017 bis SoSe 2018) als Vergleichsgruppe mit einer Interventionsgruppe, welche mit *ReFeed* begleitet wurde, verglichen werden. Die Interventionsgruppe umfasst N = 102 Selbstreflexionen von N = 34 Studierenden aus fünf Semestern (WiSe 2020|21 bis WiSe 2022|24) (3 Reflexionen p.P.). Die Vergleichbarkeit beider Kohorten ist unter Mientus et al. (eingereicht) diskutiert und wird in diesem Beitrag angenommen. Entscheidend ist jedoch, dass die Vergleichsgruppe ohne explizites, individuelles Feedback Reflexionen verfasste, wohingegen die Interventionsgruppe im Sinne eines *Feed Up* (nach Hattie & Timperley die Klärung der Erwartungshaltung an eine Reflexion) mit dem Rahmenmodell für Reflexion nach Nowak et al. (2019) als Prompt auf die Reflexionspraxis vorbereitet wurde.

Automatisierte Klassifikationsmethoden

Für die Analyse der schriftlichen Reflexionen beider Kohorten wurden automatische Klassifikations- und Modellierungsalgorithmen aus Wulff et al. (2022) und Mientus et al. (2023) verwendet. Der Klassifikationsalgorithmus ordnet jedem Satz eines Reflexionstextes ein Element des Rahmenmodells nach Nowak et al. (2019) zu. Der prozentuale Anteil der Beschreibung wird hier als deskriptiver Anteil der Reflexion bezeichnet und die Summe der Anteile an Bewertungen, Alternativen und Konsequenzen als diskursiver Anteil. Die Verteilung beider Anteile kann als Indikator für Reflexionsqualität angesehen werden, wobei novizenhafte Texte eher deskriptiv ausfallen (Fund et al., 2002). Da auch die Positionierung der Elemente im Text ein Qualitätsindikator darstellen kann, repräsentiert der Modellierungsalgorithmus einen *Level of Structure*, welcher in Extremgruppen gelungen, moderat oder schwach strukturierte Texte Reflexionen höherer, mittlerer bzw. geringerer Qualität abbildet (Mientus et al., 2023).

Zusammenfassung der Ergebnisse

In beiden Kohorten und über alle Reflexionen hinweg liegt erwartungskonform der deskriptive Anteil der Reflexionen bei weit über 50% (siehe Abbildung 1). Auch sind keine signifikanten Änderungen der Verteilung beider Anteile im Verlauf des Praxissemesters feststellbar (siehe Abb. 1). Gleichzeitig startet die Interventionsgruppe bereits zur ersten schriftlichen Reflexion (also noch vor dem ersten Feedback) auf qualitativ höherem Niveau. Der Anteil diskursiver Elemente ist kontinuierlich höher als in der Vergleichskohorte.

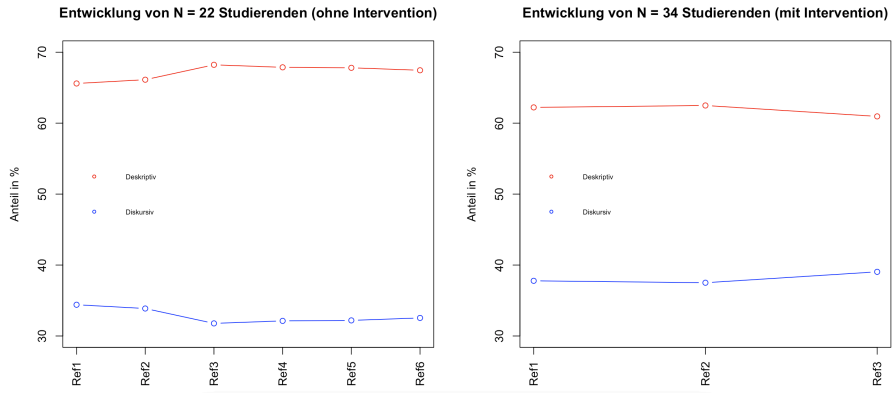


Abb. 1: Verlauf deskriptiver (rot) und diskursiver (blau) Anteile der Reflexionen

Betrachtet man den Verlauf der Extremgruppenanalyse des *Level of Structure* (Abb. 2) scheinen sich Personen, welche zu Beginn des Praxissemesters gelungen strukturieren, im Verlauf des Praxissemesters den anderen beiden Extremgruppen anzunähern. Diese Beobachtung trifft auf beide Kohorten zu. Moderat strukturierende Personen bleiben auf konstantem Niveau, wohingegen schwache Reflexionstexte schwach strukturiert bleiben. Nahezu keine Entwicklung (egal welcher Extremgruppe und Kohorte) wird hierbei signifikant. Einzig die negative Entwicklung des *Level of Structure* nach dem ersten Feedback

aus der Kohorte mit Intervention zwischen dem ersten und dem zweiten Reflexionstext stellt mit $p = .003$ eine signifikante Veränderung dar.

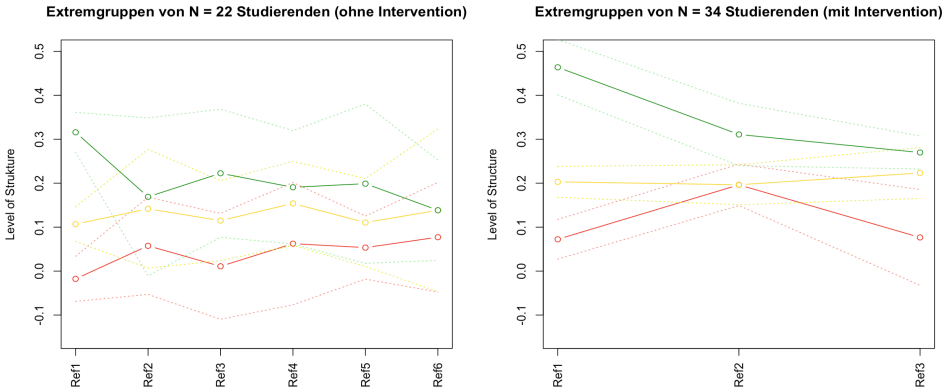


Abb. 2: Verlauf der gelungen (grün), moderat (gelb) und schwach (rot) strukturierten Reflexionen im Verlauf des Praxissemesters ohne und mit Intervention

Lessons Learned

Ohne Intervention scheinen sich die Strukturen der Extremgruppen einander anzunähern. Diese Beobachtung kann potenziell auf einen Messeffekt zurückzuführen sein. So beobachtete Nowak (2023) für dieselbe Stichprobe, dass die Länge der Reflexionstexte sinkt und gleichzeitig die Qualität konstant bleibt. Mientus et al. (2023) nahmen bei der Betrachtung des Level of Structure an, ein Qualitätsmaß identifiziert zu haben, welches von der Textlänge unabhängig war.

Bei der Kohorte mit Intervention verbleiben moderat und schwach strukturierende Personen auf konstantem Niveau. Das Rahmenmodell für Reflexion (als Feed Up) scheint wirksam, da im Kohortenvergleich mit zugehörigem Prompt weniger deskriptive Texte formuliert wurden. Gleichzeitig zeigte sich die Intervention (nach Hattie und Timperley als Feed Back + Feed Forward) als nicht eindeutig wirksam.

Diese Studie berücksichtigt das erteilte Feedback und vernachlässigt hierbei die generelle kognitive Belastung der Studierenden, welche im Verlauf des Praxissemesters zunehmen kann (z.B. Jantowski et al., 2010). Gleichzeitig zeigen Studien, dass eine emotionale Belastung sinkt (z.B. Römer et al., 2018), sodass potenziell das Bestreben, einen guten Reflexionstext zu verfassen abnimmt. Mit dem Feedbackkonzept kann zwar dem Wunsch nach zeitnahem, individuellem und gehaltvollem Feedback gerecht werden, messbare Effekte konnten jedoch nur bedingt identifiziert werden. Für einen entscheidenden Effekt, um höhere Qualität in schriftlichen Selbstreflexionen zu erreichen scheint eine Sensibilisierung für ein/das Rahmenmodell für Reflexion vor Beginn der Unterrichtspraxis zu genügen.

Literatur

Buckingham Shum, S., Sándor, Á., Goldsmith, R., Bass, R., & McWilliams, M. (2017). Towards Reflective Writing Analytics: Rationale, Methodology, and Preliminary Results. *Journal of Learning Analytics*, 4(1), 58–84. https://doi.org/10.18608/jla.2017.41.5

Christof, E., Köhler, J., Rosenberger, K., & Wyss, C. (2018). *Mündliche, schriftliche und theatrale Wege der Praxisreflexion: Beiträge zur Professionalisierung pädagogischen Handelns* (1. Auflage). hep der bildungsverlag.

Combe, A. & Kolbe, F.-U. (2008). Lehrerprofessionalität: Wissen, Können, Handeln. In W. Helsper & J. Böhme (Hrsg.), *Handbuch der Schulforschung* (S. 857-875). Springer.

Fund, F.-M. (2019). Unterrichtsnachbesprechungen in schulischen Praxisphasen. Eine empirische Untersuchung aus inhalts- und gesprächsanalytischer Perspektive. Springer.

Hattie, J. & Timperley, H. (2007). The Power of Feedback. *Review of Educational Research, 77*(1), 81–112. https://doi.org/10.3102/003465430298487

Jantowski, A., Bartsch, A.-M., Limmer, J., & Gumz, E. (2010). *Evaluationsbericht zum Praxissemester im Jenaer Modell des Lehramtsstudiengangs – Belastungsempfinden und Studienzufriedenheit im modularisierten Lehramtsstudiengang unter Praxisbedingungen – Jena 2010*. Jena. https://www4.uni-jena.de/unijenamedia/Downloads/einrichtungen/zfd/Bericht+PS+Ende+Kohorte+1+Endversion.pdf

Korthagen, F. A. & Kessels, J. (1999). Linking theory and practice: changing the pedagogy of teacher education. *Educational Research*, 28(4), 4–17.

Lai, G. & Calandra, B. (2007). Using Online Scaffolds to Enhance Preservice Teachers' Reflective Journal Writing: A Qualitative Analysis. *International Journal of Technology in Teaching and Learning, 3*, 66–81.

Mientus, L. (2023). *Reflexion und Reflexivität - Befunde reflexionsbezogener Dispositionen*. Universitätsverlag Potsdam. https://doi.org/10.25932/publishup-61000

Mientus, L., Wulff, P., Nowak, A., & Borowski, A. (2023). Fast-and-frugal means to assess reflection-related reasoning processes in teacher training – Development and evaluation of a scalable machine learning-based metric. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaften*. https://doi.org/10.1007/s11618-023-01166-8

Mientus, L., Wulff, P., Nowak, A., & Borowski, A. (2021): ReFeed: computerunterstütztes Feedback zu Reflexionstexten - Ein Lehrkonzept zur Förderung der Reflexionskompetenz angehender Physiklehrkräfte an der Universität Potsdam. In: M. Kubsch, S. Sorge, J. Arnold, & N. Graulich (Hrsg.): *Lehrkräftebildung neu gedacht - Ein Praxishandbuch für die Lehre in den Naturwissenschaften und deren Didaktiken*, Waxmann. S. 160 - 165. https://doi.org/10.31244/9783830993490

Nowak, A. (2023). Untersuchung der Qualität von Selbstreflexionstexten zum Physikunterricht. Entwicklung des Reflexionsmodells REIZ. In: M. Hopf & M. Ropohl (Hrsg.). *Studien zum Physik- und Chemielernen*. Logos.

Nowak, A., Kempin, M., Kulgemeyer, C., & Borowski, A. (2019). Reflexion von Physikunterricht. In C. Maurer (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2018* (Bd. 11, Nummer 1, S. 838–841). Universität Regensburg. https://doi.org/10.1016/0742-051X(94)00012-U

Poldner, E., van der Schaaf, M., Simons, P.R.-J., van Tartwijk, J., & Wijngaards, G. (2014). Assessing student teachers' reflective writing through quantitative content analysis. *European Journal of Teachacher Education*, *37*(3), 348–373.

Römer, J., Rothland, M., & Straub, S. (2018). Bedingungsfaktoren des Beanspruchungs- erlebens von Lehramtsstudierenden im Praxissemester. In J. König, M. Rothland, & N. Schaper (Hrsg.), *Learning to Practice, Learning to Reflect?: Ergebnisse aus der Längs- schnittstudie LtP zur Nutzung und Wirkung des Praxissemesters in der Lehrerbildung* (S. 265–286). Wiesbaden: Springer VS.

Roters, B. (2012). *Professionalisierung durch Reflexion in der Lehrerbildung*. Waxmann.

Rothland, M. (2021). Die „Lehrerpersönlichkeit“: das Geheimnis des Lehrberufs?. *Die Deutsche Schule*, 113 (2021) 2, 188-198.

Ullmann, T.D. (2019). Automated analysis of reflection in writing: validating machine learning approaches. *International Journal Artificial Intelligence in Education*, *29*(2), 217–257.

von Aufschnaiter, C., Fraij, A. & Kost, D. (2019). Reflexion und Reflexivität in der Lehrerbildung. Herausforderung Lehrer*innenbildung - Zeitschrift zur Konzeption, Gestaltung und Diskussion, Bd. 2 Nr. 1. *Herausforderung Lehrer_innenbildung*, (144- 159). https://doi.org/10.4119/HLZ-2439

Wulff, P., Buschhüter, D., Westphal, A., Mientus, L., Nowak, A., & Borowski, A. (2022). Bridging the Gap Between Qualitative and Quantitative Assessment in Science Education Research with Machine Learning—A Case for Pretrained Language Models- Based Clustering. *Journal of Science Education and Technology*. https://doi.org/10.1007/s10956-022-09969-w

Wyss, C. & Mahler, S. (2021). Mythos Reflexion. Theoretische und praxisbezogene Erkenntnisse in der Lehrer*innenbildung. *Journal für LehrerInnenbildung*, 21(1), 16- 25. https://doi.org/10.35468/jlb-01-2021-01

Melanie Jordans[1]
Josef Riese[1]

[1]Universität Paderborn

Welches Wissen nutzen Studierende bei der Planung von Physikunterricht mit digitalen Medien?

Motivation

Planung von Unterricht stellt eine zentrale Aufgabe von Lehrkräften dar (KMK, 2019), wobei vermehrt digitale Medien in den Fachunterricht integriert werden sollen. Diese Forderung ergibt sich unter anderem durch eine stärkere Verankerung medienbezogener Kompetenzen in Lehrplänen und Bildungsstandards (KMK, 2019). Allerdings sollten für einen wirkungsvollen Einsatz digitaler Medien diese sinnvoll in den Unterrichtskontext eingebettet und ihre Potenziale für den Unterricht gewinnbringend ausgeschöpft werden (z.B. Hillmayr et al., 2017), wozu Lehrkräfte auf entsprechende Fähigkeiten zurückgreifen müssen. Bisher ist jedoch in weiten Teilen ungeklärt, inwiefern Aspekte des Professionswissens für die Entwicklung von Unterrichtsplanungsfähigkeiten in schulpraktischen Phasen förderlich sind (z.B. Rothland, 2021; Riese et al., 2022), insbesondere wenn digitale Medien didaktisch begründet einzubetten sind. Zur möglichen Aufklärung dessen werden mittels eines Performanztests die Zusammenhänge zwischen dem Professionswissen und der Unterrichtsplanungsfähigkeiten im Hinblick auf den Einsatz digitaler Medien von Physiklehramtsstudierenden über ein Praxissemester untersucht.

Theoretischer Hintergrund und Ausgangslage

Bei einer qualitativ hochwertigen Unterrichtsplanung sollen dabei die beiden Zielklassen der *Kreation* (Vorbereitung möglicher Unterrichtshandlungen) und *Legitimation* (Begründung bereits erdachter Handlungen) erfüllt sein (vgl. Vogelsang & Riese, 2017). Die Anfertigung schriftlicher Unterrichtsplanungen scheint vor allem für die Professionalisierung von angehenden Lehrkräften wichtig, indem sie durch die Ausbildung von Handlungsskripten und -routinen zu einem flexiblen Unterrichtshandeln befähigt werden (vgl. Stender, 2014).
Im Projektverbund ProfiLe-P+ sollten die Vorteile der Standardisierung und der Authentizität verknüpft werden. Daher wurde ein *Performanztest* (nach Miller, 1990) zur Erfassung der Planungsfähigkeit entwickelt, in dem die Lehramtsstudierenden eine realitätsnahe Planung einer Unterrichtsstunde zum Wechselwirkungsprinzip anhand eines vorstrukturierten Planungspapiers bewältigen sollten (Schröder et al., 2020). Dieser Paper-Pencil-Test wurde gemeinsam mit weiteren Leistungstests zum Professionswissen (vgl. z.B. Vogelsang et al., 2019) längsschnittlich über ein Praxissemester eingesetzt, um Zusammenhänge zwischen den Bereichen des Professionswissens (Fachwissen (FW), Fachdidaktisches Wissen (FDW) und Pädagogisches Wissen (PW)) sowie den Unterrichtsplanungsfähigkeiten (UPF) zu untersuchen. Es zeigte sich ein signifikanter Zuwachs der UPF der angehenden Physiklehrkräfte über ein Praxissemester um 5 % mit kleinem Effekt (Schröder et al., 2020). Zudem scheinen das FDW und das PW zu Beginn des Praxissemesters positive Einflussfaktoren auf die Entwicklung der UPF über ein Praxissemester zu sein (vgl. Riese et al., 2022). Unbeantwortet blieben in ProfiLe-P+ zunächst jedoch die Fragen, warum sich ein Zuwachs der UPF über das Praxissemester ergibt und welche konkreten Wissenselemente des FDW bzw. PW von den Studierenden zur Unterrichtsplanung herangezogen werden.

Ziele

In Anknüpfung an die vorherigen offenen Fragen sollen in diesem Projekt die gezeigten Zusammenhänge zwischen dem Professionswissen und der UPF in einem angrenzenden Themenbereich repliziert werden, um Hinweise zur Verallgemeinerbarkeit zu generieren. Zur weiteren Aufklärung wird der Nutzung des Professionswissens bei der Planung von Physikunterricht in einer Interviewstudie nachgegangen. Somit ergeben sich die folgenden Forschungsfragen (FF) für das hier vorgestellte Projekt:

- FF1: Inwieweit kann die Fähigkeit zur Unterrichtsplanung mit Einbettung digitaler Medien (UPF-DM) im Fach Physik durch einen Performanztest erfasst werden?
- FF2: Inwiefern lassen sich die Ergebnisse von Schröder et al. (2020) bzw. Riese et al. (2022) zum Zuwachs der UPF in einem angrenzenden Themenbereich replizieren?
- FF3: Welche Wissenselemente aus dem Bereich des Professionswissens werden beim Unterrichtsplanungsprozess von Studierenden genutzt?

Planungsperformanztest und Bewertung von Planungen (FF1)

Der Performanztest aus dem Projekt ProfiLe-P+ (Schröder et al., 2020) wurde hinsichtlich des Fachinhalts der zu planenden Unterrichtsstunde und des Testformats weiterentwickelt. Das adaptierte Testinstrument fordert nun von den Studierenden die Planung einer Doppelstunde Physikunterricht zur gleichmäßig beschleunigten Bewegung mit Einbettung eines digitalen Mediums unter Nutzung des Online-Tools *LimeSurvey*. Zur Standardisierung sind die zu erreichenden Lernziele und Vorerfahrungen der Lerngruppe vorgegeben. Zudem erfolgt die Dokumentation und Begründung relevanter Planungsaspekte (z.B. fachdidaktische und medienbezogene Aspekte, Arbeitsauftrag bzw. Fragestellung, Sicherungsbeitrag und Verlaufsplan) anhand vorstrukturierter Arbeitsaufträge.

Zur Bewertung der schriftlichen Unterrichtsplanungen wird eine Heuristik verwendet, welche relevante Aspekte von Unterrichtsplanung hinsichtlich Vollständigkeit, Vernetzung und des Grads der Begründungen betrachtet. Zurzeit werden 55 Items zu den sieben Aspekten: *fachlicher Inhalt*, *Kompetenzen*, *Lernvoraussetzungen*, *Kontext*, *Messwerterfassung*, *Aufgaben* und *digitale Medien* zugeordnet, wobei die Anzahl der Items in den einzelnen Aspekten variiert. Die Items konnten aus Praxisratgebern, Lehrbüchern und dem Bewertungsmodell von Schröder et al. (2018) deduktiv abgeleitet werden und enthalten neben Indikatoren und einer Kodiervorschrift, auch Beispiele, die sich aus bereits bearbeiteten Planungstests ergaben. Die Reliabilität der Gesamtskala für $N = 88$ ist mit $\alpha = 0{,}87$ hoch (Streiner, 2003). Zur Überprüfung der Urteilerübereinstimmung wurden $N = 20$ Planungen von zwei geschulten Rater:innen mit einer prozentualen Übereinstimmung von 88,8 % und einem Cohens Kappa von $\kappa = 0{,}82$ doppelcodiert, was einer fast perfekten Übereinstimmung entspricht (vgl. Landis und Koch, 1997).

Zur konvergenten Validierung des Bewertungsmanuals wurden drei Fachleitungen (Fachleitung 1 & 2: Gymnasium, Fachleitung 3: Realschule) unabhängig vom Bewertungsmanual und ohne Kenntnis des jeweiligen Planungsscores in einem Interview zur Qualitätseinschätzung von drei ausgewählten Planungsprodukten (Planung A, B und C) anhand ihrer individuellen Kriterien gebeten. Anschließend wurden die subjektiven Bewertungen der Fachleitungen mit der Bewertung durch das Bewertungsmanual verglichen. Fachleitung 1 und 2 bewerteten dabei, anders als das Bewertungsmanual, Planung A besser als Planung C. Die Bewertung von Fachleitung 3 entsprach genau der Reihenfolge, welche sich auch mittels des Bewertungsmanuals ergab. Planung B wurde von den drei Fachleitungen und dem Bewertungsmanual als die beste Planung eingeordnet. Gründe für die Abweichungen könnten

unterschiedliche Schwerpunkte in der Bewertung sein. Die Fachleitungen 1 und 2 begründeten ihre Bewertungen z.B. häufig mit einer fehlenden Fachlichkeit der Planung. Fachleitung 3 sind bei der Bewertung eher fachdidaktische Aspekte wie Kontextorientierung, Schüleraktivierung und die Wahl des Einstiegs besonders wichtig. Da das Bewertungsmanual zwar auch Items zum fachlichen Inhalt enthält, diese aber nicht als „K.-o.-Kriterien" auffasst und zudem fachdidaktische Aspekte stärker gewichtet, entspricht die Bewertung von Fachleitung 3 eher jener des Bewertungsmanuals.

Entwicklung der UPF-DM über das Praxissemester (FF2)

Der Performanztest zur Untersuchung der Fähigkeiten zur Unterrichtsplanung mit Einbettung digitaler Medien (UPF-DM) wurde zusammen mit vorhandenen Leistungstests zum FDW (Jordans et al., 2022 adaptiert von Gramzow, 2015), zum FDW bzgl. des Einsatzes digitaler Medien (Große-Heilmann et al., 2022) sowie zum PW (adaptiert von Seifert et al., 2009) an drei deutschen Universitäten im Längsschnitt über das Praxissemester eingesetzt. Insgesamt wurden $N = 88$ Planungstests zur UPF-DM erhoben, die sich zu $N = 66$ Prä-Post-Paaren (≙ 33 Personen im Längsschnitt) zusammenführen lassen.

Für die Stichprobe von $N = 33$ Personen zeigte sich im Längsschnitt eine signifikante Zunahme der UPF-DM über das Praxissemester mit kleiner Effektstärke (vgl. Tab. 1). Der mittlere erreichte Testscore wächst dabei um knapp sechs Prozentpunkte. Dieser Wert ist vergleichbar mit den Ergebnissen von Schröder et al. (2020), sodass hinsichtlich dieser Ergebnisse von einer gelungenen Replikation der Entwicklung der UPF gesprochen werden kann. Zu den Zusammenhängen und Veränderungen zwischen der UPF-DM und den Bereichen des Professionswissens über das Praxissemester sind weitere Auswertungen geplant.

*Tab. 1: Ergebnisse der längsschnittlichen Betrachtung der Testscores des Planungstests zur Einbettung digitaler Medien. **: $p < 0{,}01$.*

	MZP 1 ($N_1 = 33$)		**MZP 2** ($N_2 = 33$)		**MZP 1 → MZP 2**	
UPF-DM	*M*	*SD*	*M*	*SD*	Differenz	Cohens *d*
Planungstest (%-Werte)	38,0	12,3	43,6	13,0	5,6	0,48**

Interviewstudie (FF3)

Zur Untersuchung von FF3 wurden mit $N = 14$ Studierenden leitfadengestützte Interviews auf Grundlage ihrer Antworten im Planungsperformanztest geführt. Dazu wurde den Studierenden eine Auswahl ihrer selbst gegebenen Testantworten als Stimuli vorgelegt. Dies sollte ein zielgerichteteres Abrufen von Wissenselementen des Professionswissens, welche sie möglicherweise zur Planung des Physikunterrichts genutzt haben, erleichtern. Die 60-minütigen Interviews wurden audioaufgezeichnet, transkribiert und im Anschluss mittels qualitativer Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2018; Mayring, 2015) ausgewertet. Eine aktuell bereits ausgewertete Teilstichprobe von $N = 5$ Interviews zeigt, dass die Studierenden gleichermaßen auf Wissenselemente des PW und FDW im Planungsprozess zurückgreifen (ca. sechsmal häufiger als auf Wissenselemente des FW). Konkret nutzen sie aus dem Bereich des FDW vor allem Wissen zu den Aspekten *Einsatz von digitalen Medien*, *fachdidaktische Konzepte* und *Experimente*. Im Bereich des PW wurden in knapp der Hälfte der kodierten Fälle Elemente zur *Strukturierung von Unterricht* herangezogen. Nach Auswertung der Gesamtstichprobe soll in einem nächsten Schritt auch untersucht werden, in welchen Phasen des Praxissemesters bzw. Studiums die Studierenden die für sich nützlichen Wissenselemente erwerben.

Literatur

Gramzow, Y. (2015). Fachdidaktisches Wissen von Lehramtsstudierenden im Fach Physik. Modellierung und Testkonstruktion. In Niedderer, H., Fischler, H. & Sumfleth, E. (Hrsg.), Studien zum Physik- und Chemielernen, 181. Berlin: Logos Verlag.

Große-Heilmann, R., Riese, J., Burde, J. P., Schubatzky, T., & Weiler, D. (2022). Fostering Pre-Service Physics Teachers' Pedagogical Content Knowledge Regarding Digital Media. Education Sciences, 12(7), 440.

Hillmayr, D., Reinhold, F., Ziernwald, L. & Reiss, K. (2017). Digitale Medien im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe. Einsatzmöglichkeiten, Umsetzung und Wirksamkeit. Zentrum für internationale Vergleichsstudien (ZIB). Münster: Waxmann Verlag.

Jordans, M., Zeller, J., Große-Heilmann, R. & Riese, J. (2022). Weiterentwicklung eines physikdidaktischen Tests zum Online-Assessment. In S. Habig & H. van Vorst (Hrsg.), Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung virtuell 2021. Tagungsband GDCP, 764–767.

KMK (2019). Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004 i. d. F. vom 16.05.2019).

Kuckartz, U. (2018). Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung (4. Auflage). Weinheim: Beltz Juventa.

Landis, J. & Koch, G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. Biometrics, 33(1), 159-174.

Mayring, P. (2015). Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken (12. Aufl.). Beltz Pädagogik. Beltz.

Miller, G.E. (1990). The Assessment of Clinical Skills/Competence/&Performance. Academic Medicine, 64(9), 63-67.

Riese, J., Vogelsang, C., Schröder, J., Borowski, A., Kulgemeyer, C., Reinhold, P., & Schecker, H. (2022). Entwicklung von Unterrichtsplanungsfähigkeit im Fach Physik: Welchen Einfluss hat Professionswissen?. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 1-25.

Rothland, M. (2021). Anmerkungen zur Modellierung und Operationalisierung (allgemeindidaktischer) Unterrichtsplanungskompetenz. Unterrichtswissenschaft, 49. https://doi.org/10.1007/s42010-021-00111-0.

Schröder, J., Vogelsang, C. & Riese, J. (2018). Erfassung der Performanz bei der Planung von Physikunterricht. In C. Maurer (Hrsg.), Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht – normative und empirische Dimensionen. GDCP-Jahrestagung in Regensburg 2017. Tagungsband Universität Regensburg, 871-874.

Schröder, J., Riese, J., Vogelsang, C., Borowski, A., Buschhüter, D., Enkrott, P., Kempin, M., Kulgemeyer, C., Reinhold, P. & Schecker, H. (2020). Die Messung der Fähigkeit zur Unterrichtsplanung im Fach Physik mit Hilfe eines standardisierten Performanztests. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 26, 103-122. https://doi.org/10.1007/s40573-020-00115-w.

Seifert, A., Hiiligus, A. H. & Schaper, N. (2009). Entwicklung und psychometrische Überprüfung eines Messinstruments zur Erfassung pädagogischer Kompetenzen in der universitären Lehrerbildung. Lehrerbildung auf dem Prüfstand, 2(1), 82–103.

Stender, A. (2014). Unterrichtsplanung: Vom Wissen zum Handeln. Berlin: Logos.

Streiner, D. L. (2003): Starting at the Beginning: An Introduction to Coefficient Alpha and Internal Consistency. Journal of Personality Assessment, 80(1), 99-103.

Vogelsang, C., Borowski, A., Buschhüter, D., Enkrott, P., Kempin, M., Kulgemeyer, C., Reinhold, P., Riese, J., Schecker, H. & Schröder, J. (2019). Entwicklung von Professionswissen und Unterrichtsperformanz im Lehramtsstudium Physik. Analysen zu valider Testwertinterpretation. Zeitschrift für Pädagogik, 65(4), 473–491.

Vogelsang, C. & Riese, J. (2017). Wann ist eine Unterrichtsplanung „gut"? Planungsperformanz in Praxisratgebern zur Unterrichtsplanung. In S. Wernke & K. Zierer (Hrsg.), Die Unterrichtsplanung - Ein in Vergessenheit geratener Kompetenzbereich?! (S. 47–61). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

Anna Weissbach[1] [1]Universität Bremen
Christoph Kulgemeyer[1]

Wie hängen Unterrichtsreflexion und Noticing zusammen?

Motivation und theoretische Einordnung

Die Relevanz von Unterrichtsreflexion für Lehrkräfte ist in der Literatur unumstritten (z. B. von Aufschnaiter et al., 2019; KMK, 2004). Allerdings bescheinigen verschiedene Studien Studierenden nur gering ausgeprägte Fähigkeiten zur Reflexion, die auch im Rahmen vorliegender Lerngelegenheiten, wie dem Praxissemester, nicht per se weiterentwickelt werden (Hatton & Smith, 1995; Rothland & Boecker, 2015; Kempin, Kulgemeyer & Schecker, 2019). Unter *Reflexionsfähigkeit* wird in diesem Beitrag die „theoriegeleitete Analyse von Unterricht mit dem Ziel der Verbesserung der Unterrichtsqualität und[/oder] der Entwicklung der Professionalität von Lehrpersonen“ (Kempin, Kulgemeyer & Schecker, 2020, S. 439) verstanden. Der Reflexion zeitlich vorgelagert ist das *Noticing*, die „wissensgesteuerte Identifikation relevanter Situationen und Ereignisse im Unterrichtsgeschehen“ (Seidel, Blomberg & Stürmer, 2010, S. 297). Es stellt ebenfalls eine inhaltliche Voraussetzung für die Reflexion dar, da zumindest ohne externe Stimuli keine Reflexion von Aspekten erfolgen kann, die nicht bewusst wahrgenommen wurden. Allerdings ist auch das Noticing bei Studierenden oft nicht ausreichend entwickelt: die zentralen Aspekte des Unterrichts werden oft nur teilweise erkannt (Weber et al., 2023; Kulgemeyer et al., 2021).

Offen ist, wie sich die Reflexionsfähigkeit Studierender entwickelt, wie diese Entwicklung unterstützt werden kann und welche Rolle die Fähigkeit zum Noticing dabei spielt. Hierzu werden explorative Analysen zu Zusammenhängen zwischen den Fähigkeiten zum Noticing und zur Unterrichtsreflexion und deren Entwicklung berichtet.

Studiendesign

Zur Erfassung der beiden Fähigkeiten zum Noticing und zur Unterrichtsreflexion wurde ein validierter Multiple-Choice-(MC-)Test eingesetzt (Weißbach & Kulgemeyer, 2024; einsehbar unter www.unterrichtsreflexion.de). Im Rahmen der Bearbeitung werden die Teilnehmenden in eine kollegiale Reflexionssituation mit einem fiktiven Mitpraktikanten (*Robert*) versetzt. Auf Grundlage von sieben inhaltlich aufeinander folgenden Videovignetten aus einer Doppelstunde Physik sowie einer globalen Betrachtung der gesamten Doppelstunde wird dessen Unterricht reflektiert. Dabei wird zunächst anschließend an jede Vignette eine MC-Aufgabe zum Noticing bearbeitet, in der die Teilnehmenden die zentralen Elemente der Vignette erkennen sollen (Fragestellung: *Zu welchen der folgenden Aspekte sollte Robert eine Rückmeldung erhalten, um etwas für sich bzw. seinen Unterricht zu lernen?*). Anschließend erfolgt die eigentliche Reflexion der Vignette anhand von insgesamt 16 ausgewählten Aspekten, indem diese (1) bewertet werden (Fragestellung: *Welches Feedback möchten Sie Robert zu … geben?*) und (2) Handlungsalternativen zu diesen vorgeschlagen werden (Fragestellung: *Welche der untenstehenden Hinweise zu … möchten Sie Robert für eine erneute Durchführung der Unterrichtsstunde geben?*). Die reflektierten Aspekte sind dabei vorgegeben und unabhängig von der Auswahl relevanter Aspekte im Rahmen der Noticing-Aufgaben und somit identisch für alle Teilnehmenden.

Für die Analysen liegen insgesamt $N = 192$ Bearbeitungen des Reflexionstests durch (angehende) Physik- sowie Sachunterrichts-Lehrkräfte vor. Eine Teilstichprobe von $N = 41$ Physik-Lehramtsstudierenden bearbeitete den Reflexionstest zweifach im Abstand von etwa einem Semester. Diese Teilstichprobe setzt sich zusammen aus Bachelorstudierenden, die zwischenzeitlich physikdidaktische Veranstaltungen besuchten, sowie Masterstudierenden im Praxissemester, sodass für alle Gelegenheiten zur Unterrichtsreflexion bestanden.

Fähigkeitsstufen von Unterrichtsreflexion

Die Entwicklung des Reflexionstests ging mit dem Ziel einher, eine fundierte Rückmeldung zu dieser Fähigkeit bereitzustellen. Um diese Rückmeldungen möglichst spezifisch gestalten zu können, wurde eine latente Profilanalyse durchgeführt, in die die insgesamt 32 Aufgaben zur Reflexion eingehen. Gütemaße deuten auf eine Lösung mit vier Profilen hin. Die vier Profile weisen über alle Aufgaben hinweg eine hierarchische Stufung auf, was eine Interpretation als Fähigkeitsstufen nahelegt. Zwei Argumente stützen dies auch inhaltlich: (1) In den unteren Profilen überwiegt der Anteil Bachelorstudierender und in den oberen Profilen der Anteil Masterstudierender stark, dies passt zur Interpretation der Profile als Fähigkeitsstufen, da der Studienfortschritt mit zusätzlichen Lerngelegenheiten für Unterrichtsreflexion einhergeht. (2) Im Längsschnitt über ein Semester wechseln Studierende entweder in ein höheres Profil oder verbleiben im alten.

Exploration der Zusammenhänge zwischen Noticing und Unterrichtsreflexion

Zur Exploration von Zusammenhängen zwischen den Fähigkeiten zum Noticing und zur Unterrichtsreflexion sowie deren Entwicklung wurden die drei nachfolgend beschriebenen Analysen durchgeführt.

Zunächst wurden für beide Fähigkeiten der Summenscore über alle Aufgaben zum Noticing bzw. zur Reflexion bestimmt und korreliert. Für die $N = 192$ vorliegenden Bearbeitungen ergab sich eine hohe Korrelation von $r_{Pearson} = 0{,}62$ ($p < 0{,}01$), was als Hinweis darauf gewertet werden kann, dass beide Fähigkeiten zwar unterscheidbar, allerdings eng zusammenhängend sind.

Im Testinstrument werden die Aspekte des Unterrichts, über die reflektiert werden soll, vorgegeben. Daher reflektieren die Teilnehmenden üblicherweise sowohl über Aspekte, die sie selbst im Rahmen der Aufgaben zum Noticing als relevant einschätzten als auch über solche, die sie hier nicht als relevant einschätzten. In einem zweiten Schritt wurde daher für die $N = 192$ Personen untersucht, inwiefern in den Bereichen, die beim Noticing als relevant ausgewählt wurden, bedeutsamere Reflexionen durchgeführt wurden. Dabei zeigt sich, dass die Reflexionsaufgaben dann signifikant besser gelöst werden, wenn die reflektierten Aspekte bereits im Noticing durch die Studierenden erkannt wurden ($t(179) = 12{,}2$; $p < 0{,}01$; $d_{Cohen} = 0{,}91$). Dieser Zusammenhang konnte allerdings für die unterste Fähigkeitsstufe ($N = 17$) nicht festgestellt werden. Dies weist darauf hin, dass Noticing zumindest in den oberen Fähigkeitsstufen als Voraussetzung für gelingende Reflexion angesehen werden kann.

Zuletzt wurden mögliche Entwicklungszusammenhänge zwischen beiden Fähigkeiten in einem Cross-Lagged-Panel-Design untersucht; berechnet wurde ein Partial-Least-Square Strukturgleichungsmodell. Während jeweils die Noticing- und Reflexionsfähigkeiten zu beiden Messzeitpunkten korrelieren, konnten für die Teilstichprobe von $N = 41$ Studierenden,

die den Test zweifach bearbeitet haben, keine signifikanten Zusammenhänge auf den Kreuzpfaden festgestellt werden. Für die oberen drei Fähigkeitsstufen ($N = 37$) lässt sich allerdings ein geringer Einfluss der Noticingfähigkeit auf die Entwicklung der Reflexionsfähigkeit feststellen (s. Abb. 1).

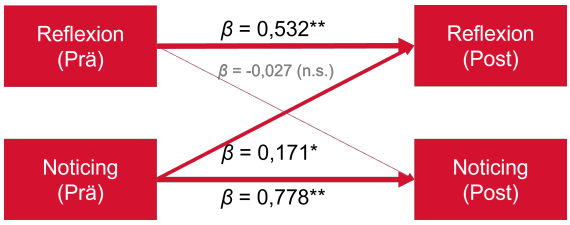


Abb. 1: Cross-Lagged-Panel zur Entwicklung von Reflexions- und Noticingfähigkeit über ein Semester Fachdidaktik ($p < 0,05$; ** $p < 0,01$)*

Schlussfolgerungen

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Fähigkeiten zum Noticing und zur Unterrichtsreflexion unterscheidbar, aber zusammenhängend zu sein scheinen. Passend zum theoretischen Verständnis scheint Noticing – zumindest für die oberen drei Fähigkeitsstufen – eine inhaltliche Voraussetzung für gelingende Unterrichtsreflexion zu sein. Auch scheint die ausgeprägte Fähigkeit zum Noticing in diesen Fähigkeitsstufen zur Entwicklung der Reflexionsfähigkeit beizutragen. Mögliche Ursache könnte sein, dass Studierende mit ausgeprägterer Fähigkeit zum Noticing besser dazu in der Lage sind, Lerngelegenheiten für bedeutsame Reflexion (z. B. während der Beobachtung von Unterricht im Praxissemester) herzustellen, indem sie die relevanten Aspekte des Unterrichts erkennen und diese reflektieren können. Unklar ist, weshalb vergleichbare Zusammenhänge für die Studierenden der unteren Fähigkeitsstufe nicht feststellbar sind. Vorstellbar ist, dass die Reflexionsfähigkeit in dieser Fähigkeitsstufe so schwach ausgeprägt ist, dass Unterschiede in den Testscores abhängig von der Bearbeitung der Aufgaben zum Noticing nicht deutlich werden oder aber dieser Zusammenhang der Fähigkeiten noch nicht ausgeprägt ist. Auch das Professionswissen könnte Einfluss auf die beobachteten Zusammenhänge nehmen, da es als Filter bzw. Voraussetzung für Noticing und Unterrichtsreflexion verstanden wird.

Implikationen für die Förderung der Reflexionsfähigkeit

Hieraus können ebenfalls mögliche Implikationen für die Förderung zur Reflexionsfähigkeit abgeleitet werden. So könnte ein Beitrag durch die explizite Benennung von Professionswissen beim Noticing bzw. insbesondere bei der Reflexion von Unterricht (vgl. Weber et al., 2023; Kulgemeyer et al., 2021) geleistet werden, um sicherzustellen, dass Studierende ihr Wissen anwenden können. Da zudem die Fähigkeiten zum Noticing und zur Reflexion unterscheidbar sind und beide – wenn auch in unterschiedlichem Maße – zur Entwicklung der Reflexionsfähigkeit beitragend, kann die getrennte Förderung der Fähigkeiten in dadurch komplexitätsreduzierten Settings angestrebt werden. Z. B. können Videovignetten eingesetzt werden, die bereits bestimmte Aspekte des Unterrichts fokussieren oder Aspekte zur Reflexion vorgeben. Hierdurch könnte der Noticingprozess zunächst vorgegeben werden, damit die Studierenden sich auf Reflexionen konzentrieren.

Literatur

Hatton, N. & Smith, D. (1995). Reflection in teacher education: Towards definition and implementation. *Teaching and Teacher Education*, 11(1), S. 33-49. https://doi.org/10.1016/0742-051X(94)00012-U

Kempin, M.; Kulgemeyer, C. & Schecker, H. (2019). Erste Einblicke in die Entwicklung der Reflexionsfähigkeit von Physiklehramtsstudierenden im Praxissemester. In: Maurer, C. (Hrsg.): *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2019,* S. 357-360. Universität Regensburg.

Kempin, M., Kulgemeyer, C. & Schecker, H. (2020). Wirkung von Professionswissen und Praxisphasen auf die Reflexionsfähigkeit von Physiklehramtsstudierenden. In: Habig, S. (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenz in der Gesellschaft von morgen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Wien 2019*. Essen: Duisburg-Essen, S. 439-442.

Kulgemeyer, C., Kempin, M., Weißbach, A., Borowski, A., Buschhüter, D., Enkrott, P., Riese, J., Schecker, H., Schröder, J. & Vogelsang, C. (2021). Exploring the impact of pre-service science teachers' reflection skills on the development of professional knowledge during a field experience. *International Journal of Science Education*, 1–23. https://doi.org/10.1080/09500693.2021.2006820

Kultusministerkonferenz (KMK) (2004). *Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften.* Abrufbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Standards-Lehrerbildung-Bildungswissenschaften.pdf (letzter Abruf: 04.03.2022)

Rothland, M. & Boecker, S. (2015). Viel hilft viel? Forschungsbefunde und –perspektiven zum Praxissemester in der Lehrerbildung. *Lehrerbildung auf dem Prüfstand*. 8, S. 112-134.

Schäfer, S. & Seidel, T. (2015). Noticing and reasoning of teaching and learning components by pre-service teachers. Journal for educational research online 7, S. 34-58.

Seidel, T., Blomberg, G., Stürmer, K. (2010): "Oberserver" - Validierung eines videobasierten Instruments zur Erfassung der professionellen Wahrnehmung von Unterricht. Projekt OBSERVE. In: E. Klieme, D. Leutner und M. Kenk (Hrsg.): Kompetenzmodellierung. Zwischenbilanz des DFG-Schwerpunktprogramms und Perspektiven des Forschungsansatzes. Weinheim, Basel: Beltz, S. 296-306.

von Aufschnaiter, C.; Hofmann, C.; Geisler, M. & Kirschner, S. (2019). Möglichkeiten und Herausforderungen der Förderung von Reflexivität in der Lehrerbildung. *SEMINAR – Lehrerbildung und Schule.* 25(1), S. 49-60.

Weber, K. E., Neuber, K. & Prilop, C. N. (2023). Videobasierte Reflexion von klassenführungsspezifischen Ereignissen – Welche Rolle spielen Wissen und Reflexionsbereitschaft von Lehramtsstudierenden? *Zeitschrift für Erziehungswissenschaften 26*, S. 1235-1257. https://doi.org/10.1007/s11618-023-01195-3

Weißbach, A. & Kulgemeyer, C. (2024). Reflexionsfähigkeit von Physiklehramtsstudierenden: Ein Online-Self-Assessment mit Feedback. *Unterrichtswissenschaft, 52,* S. 135-161. https://doi.org/10.1007/s42010-024-00195-4

Marisa Alena Holzapfel[1] [1]Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Nadine Dittert[2] [2]Universität Koblenz
Cornelia Susanne Große[3] [3]Johannes Kepler Universität Linz (Österreich)

Ein kreatives Lernsetting im Schülerlabor *SULab*

Unsere Welt ist von digitalen Technologien durchdrungen. Sie begleiten uns täglich und sind überall um uns herum. Während Kinder die Welt um sich herum erkunden und zu verstehen versuchen, ist es wichtig, dass sie sich mit digitalen Technologien auseinandersetzen und verstehen, wie diese funktionieren. Vorstellungskraft und einfache Programmieraufgaben können eingesetzt werden, um etwas zu verstehen oder etwas Neues zu schaffen. Diese Kombination von Kreativität und informatischen Grundlagen wird in dieser Studie untersucht.

Kreatives Programmieren im Sachunterricht

Informatik ist Aufgabe aller Schulstufen und -formen und hält somit auch immer mehr Einzug in die Primarstufe (Chesterman, 2023; Kyriazopoulos et al., 2022; Mannila, 2023; Schmid et al., 2018). Inhalte zur Informatik finden sich in der technischen Perspektive des Sachunterrichts (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts, 2013). Für das Erlernen von Grundlagen der Informatik spielt Kreativität eine bedeutende Rolle. Modellierungstätigkeiten erfordern und fördern gleichzeitig beispielsweise die Anwendung von Kreativität (Schubert & Schwill, 2011). Aus eigenen Ideen werden durch informatische Denk,- Arbeits- und Handlungsweisen funktionsfähige Programme, Spiele oder ganze interaktive Systeme, die eine wahrnehmbare Form erhalten. Die Förderung von Kreativität im Informatikunterricht ist entsprechend ein wichtiges Ziel (Hubwieser, 2007).

Um Aussagen über die Kreativität von Kindern treffen zu können, ist ein geeignetes Testinstrument erforderlich. Passend zur aktuellen Forschung wurde für dieses Projekt zunächst Kreativität operationalisiert (Holzapfel et al., 2022). Der aktuelle Diskurs ist recht eindeutig: Kreativität scheint ein Konstrukt zu sein, welches sich aus divergentem und konvergentem Denken zusammensetzt und beides gleichermaßen erfordert (Runco, 2006; Runco & Jaeger, 2012). Mit anderen Worten: Diejenigen, die kreativ denken, denken innovativ und anders, aber auch lösungsorientiert und zielführend (Sternberg & Lubart, 1998).

In der Kreativitätsforschung ist häufig von vier Teilkomponenten der Kreativität die Rede: der kreativen Person, dem kreativen Prozess, dem kreativen Produkt und dem kreativen Umfeld (Bliersbach & Reiners, 2017; Rhodes, 1961). Diese Teilbereiche sind alle relevant für den Unterricht und damit auch für das Erlernen von Grundlagen der Informatik. Die kreative Person kann demnach Lehrkraft oder Schüler:in sein, das kreative Produkt ein Lernergebnis, das kreative Umfeld ein entsprechend gestalteter Unterrichtsraum und der kreative Prozess kann ein Lernprozess sein (Bliersbach & Reiners, 2017).

Das hier vorgestellte Projekt betrachtet alle vier Bereiche, wobei der Schwerpunkt in diesem Beitrag auf der kreativen Person, den kreativen Schüler:innen, liegt.

Kreative Lerneinheit im Schülerlabor

Zum Erlernen informatischer Grundlagen, genauer algorithmischer Grundkompetenzen, verbrachten die Kinder einen Vormittag im Lernlabor *SULab* an der Universität Oldenburg. Zunächst fand ein ungefähr 45-minütiger Pretest statt (algorithmisches und kreatives Denken, Umgang mit digitalen Medien, Interesse an Technik, Alter, Geschlecht). Nach einer kurzen

Abb. 1: Puzzlefeld im 4x5-Design

Pause arbeiteten die Kinder rund 90 Minuten lang mit dem BlueBot Bodenroboter, den sie über die eingebauten Tasten programmierten. Die Kinder gestalteten das Feld, auf dem sie den BlueBot steuerten, selbständig in Tandems oder Dreiergruppen. Nach der Erkundung der Grundfunktionen und der Programmierung des Roboters wurden die Kinder gebeten, ihre eigenen Geschichten zu einem Thema ihrer Wahl zu erzählen. Zu diesem Zweck erhielten die Kinder Holzpuzzlekacheln: eine Start- und eine Zielkachel, 13 leere Kacheln, auf denen der BlueBot fahren durfte und fünf mit Tafellack besprühte Kacheln, die die Kinder selbst gestalten konnten, um die Geschichte zu erzählen (siehe Abbildung 1 & 2). Zum Schluss kamen die Kinder in einem Kreis zusammen, um darüber zu sprechen, was ihnen gut und was weniger gut gefallen hat. Abschließend füllten sie einen 5-minütigen Posttest zu algorithmischem Denken und Lernfreude aus.

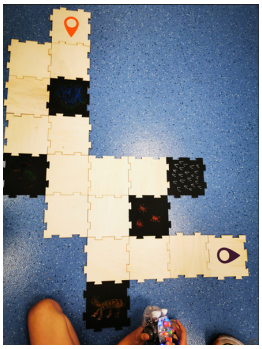


Abb. 2: Puzzlefeld in alternativem Design

Erkenntnisinteresse & methodisches Vorgehen

Wie aus der Theorie ersichtlich wird, handelt es sich bei Kreativität um ein sehr komplexes Konstrukt, welches grob durch ausgeprägte Fähigkeiten sowohl in divergentem als auch in konvergentem Denken beschrieben werden kann. Die erste Forschungsfrage lautet daher:

> ***FF1:*** *Wie kann die Kreativität von Grundschüler:innen im Kontext einer Intervention zum algorithmischen Denken gemessen werden?*

Dabei soll also die Operationalisierbarkeit des Konstrukts *Kreativität* speziell im Kontext der informatischen Grundbildung von Grundschüler:innen betrachtet werden.

In einem nächsten Schritt stellt sich die Frage nach Zusammenhängen zwischen der Kreativität und den Fähigkeiten im algorithmischen Denken. Die dazugehörige Forschungsfrage lautet:

> ***FF2:*** *Gibt es einen Zusammenhang zwischen Kreativität (divergentem/ konvergentem Denken) und algorithmischem Denken?*

Zur Beantwortung dieser beiden Fragen wurden Daten zum algorithmischen Denken (adaptiert nach Zapata et al., 2021), zum kreativen Denken (adaptiert nach Landmann et al., 2014; Torrance, 1966) und zu einigen demografischen Angaben und Kontrollvariablen (Lernfreude, Umgang mit digitalen Medien, Interesse an Technik, Alter, Geschlecht) in einem Paper-Pencil-Fragebogen im Pre-Post-Design erhoben.

Stichprobe

Insgesamt wurden $N = 16$ Schüler:innen einer vierten Klasse aus Niedersachsen (Ø zehn Jahre; acht Mädchen und acht Jungen, keine non-binären/anderen Geschlechter) befragt. Die Teilnahme war freiwillig und Schulleitung sowie alle Eltern gaben ihr Einverständnis.

Ausgewählte Ergebnisse

Zu **Forschungsfrage eins** kann festgehalten werden, dass die Skalierung der Kreativität über eine Berechnung mittels SPSS gelang. Es wurden zwei Parameter, divergentes und konvergentes Denken, anhand erhobener Daten bestimmt. Das divergente Denken wurde über

drei Skalen, zwei figurale und eine verbale Skala, in Anlehnung an Torrance (1966) erhoben und ausgewertet. Wie bei Torrance (1966) wurde für jede Skala ein Wert für *Originality*, *Fluency* und *Flexibility* ermittelt. *Originality* steht dabei für die Besonderheit oder Seltenheit der Idee, *Fluency* die Anzahl der Ideen einer Person und *Flexibility* die Anzahl unterschiedlicher Ideen einer Person. Die ermittelten Werte aller drei Skalen wurden über eine z-Standardisierung in einen Gesamtwert für das divergente Denken überführt. Für das konvergente Denken wurde eine in Anlehnung an den Compound Remote Associates Test (Landmann et al., 2014) konzipierte Skala von acht Items erhoben und ein Summenscore gebildet. Zur Einheitlichkeit wurde auch dieser Summenscore in eine z-Standardisierung überführt und bildet den Wert für konvergentes Denken. Anhand dieser beiden Werte konnten durch einen Mediansplit vier Subgruppen gebildet werden, von denen eine, die Gruppe mit höheren Werten in divergentem und konvergentem Denken, in Anlehnung an die Literatur als kreativ bezeichnet werden kann (Holzapfel et al., 2024).

Zur **zweiten Forschungsfrage** kann festgehalten werden, dass die Kinder insgesamt signifikant hinzulernten ($t(15) = -2.70$, $p = 0.016$, Cohen's $d = -0.675$). Das Vorwissen muss dabei jedoch als sehr gering beschrieben werden ($M = .56$, $SD = .96$, maximal erreichbare Punktzahl 6) und auch der Wert des Posttests zeigt kein sehr großes Wissen auf ($M = .94$, $SD = 1.39$). Es zeigt sich dabei kein signifikanter Geschlechterunterschied im Pretest des algorithmischen Denkens (w: $M = .75$, $SD = 1.17$; m: $M = .38$, $SD = .74$). Bei einem gleichen Posttest-Score (w und m: $M = 1.50$, w: $SD = 2.07$, m: $SD = 1.41$) zeigt sich jedoch ein signifikant höherer Lernzuwachs für die Jungen (w: $M = .75$, $SD = 1.49$; m: $M = 1.13$, $SD = 1.36$; $F(1, 14) = 6.499$, $p = .023$; gemessen als Differenz zwischen Pre- und Posttest).

Der Vergleich zwischen Kindern mit geringen und hohen Fähigkeiten zum divergenten Denken ergab erhebliche (wenn auch statistisch nicht signifikante) Unterschiede im Lernzuwachs des algorithmischen Denkens (divergentes Denken gering: $M = 0.75$, $SD = 1.16$ versus divergentes Denken hoch: $M = 1.13$, $SD = 1.64$; $F(1, 14) = 0.278$, $p = 0.607$, $\eta^2_p = 0.019$), was darauf hindeutet, dass Schüler.innen mit einem höheren Wert in divergentem Denken beim algorithmischen Denken besser abschneiden als Schüler:innen mit einem niedrigen Wert. Die Mädchen haben einen signifikant höheren Score im konvergenten Denken (w: $M = .55$, $SD = .44$, m: $M = -.55$, $SD = 1.13$, $p = .023$), im divergenten Denken gibt es keine Geschlechterunterschiede. Weitere Zusammenhänge konnten hier nicht gezeigt werden.

Diskussion und Ausblick

Es konnte eine praktikable Operationalisierung der Kreativität von Grundschüler:innen im Kontext einer Intervention zum Programmiereinstieg gezeigt werden. Die befragten Grundschüler:innen haben nahezu kein Vorwissen bezüglich des algorithmischen Denkens. Daher scheint es zwingend erforderlich, gerade mit Blick auf die rasante technische Entwicklung, hier Grundlagen zu vermitteln. Die Auswertung der hier vorgestellten Pilotstudie zeigt, dass die Lerneinheit geeignet ist, erste Einblicke in Informatikgrundlagen zu vermitteln. Insgesamt können zu den Zusammenhängen zwischen Kreativität und algorithmischem Denken nur Tendenzen aufgezeigt werden, was möglicherweise der geringen Stichprobengröße geschuldet ist. Dies soll in einer geplanten, größer angelegten Studie adressiert werden, in der Zusammenhänge zwischen Kreativität und dem Erwerb von Kompetenzen im algorithmischen Denken im Detail untersucht werden.

Literaturverzeichnis

Bliersbach, M., & Reiners, C. S. (2017). Kreativität und Chemie? *Chemie in unserer Zeit*, *51*(5), 324–331. https://doi.org/10.1002/ciuz.201700755

Chesterman, M. (2023). Game Making and Coding Fluency in a Primary Computing Context. In T. Keane & A. E. Fluck (Hrsg.), *Teaching Coding in K-12 Schools: Research and Application* (S. 171–187). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21970-2_12

Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (Hrsg.). (2013). *Perspektivrahmen Sachunterricht* (Vollständig überarb. und erw. Ausg). Klinkhardt.

Holzapfel, M. A., Große, C. S., & Dittert, N. (2024). Measuring Creativity of Elementary School Students in the Context of a Coding and Storytelling Intervention. *Creative Education*, *15*(09), 1818–1832. https://doi.org/10.4236/ce.2024.159111

Holzapfel, M. A., Jaggy, A.-K., & Brückmann, M. (2022). Creativity in German Science Education in Elementary Schools: Preservice Teachers' Perspective on Whether It Is Essential, Possible or Completely Unnecessary. *Creative Education*, *13*(04), 1421–1438. https://doi.org/10.4236/ce.2022.134087

Hubwieser, P. (2007). *Didaktik der Informatik: Grundlagen, Konzepte, Beispiele* (3., überarb. u. erw. Aufl. 2007). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-72478-0

Kyriazopoulos, I., Koutromanos, G., Voudouri, A., & Galani, A. (2022). Educational Robotics in Primary Education: A Systematic Literature Review. In *Https://services.igi-global.com/resolvedoi/resolve.aspx?doi=10.4018/978-1-6684-2411-7.ch034*. IGI Global. https://www.igi-global.com/chapter/educational-robotics-in-primary-education/287364

Landmann, N., Kuhn, M., Piosczyk, H., Feige, B., Riemann, D., & Nissen, C. (2014). Entwicklung von 130 deutschsprachigen Compound Remote Associate (CRA)-Worträtseln zur Untersuchung kreativer Prozesse im deutschen Sprachraum. *Psychologische Rundschau*, *65*(4), 200–211. https://doi.org/10.1026/0033-3042/a000223

Mannila, L. (2023). Integrating Programming in Other Subjects at Primary Level: Tool, Glue or Ideation. In T. Keane & A. E. Fluck (Hrsg.), *Teaching Coding in K-12 Schools: Research and Application* (S. 127–144). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21970-2_9

Rhodes, M. (1961). *An analysis of creativity*. *Vol.42, No.7*, 305–310.

Runco, M. A. (2006). Introduction to the Special Issue: Divergent Thinking. *Creativity Research Journal*, *18*(3), 249–250. https://doi.org/10.1207/s15326934crj1803_1

Runco, M. A., & Jaeger, G. J. (2012). The Standard Definition of Creativity. *Creativity Research Journal*, *24*(1), 92–96. https://doi.org/10.1080/10400419.2012.650092

Schmid, U., Weitz, K., & Gärtig-Daugs, A. (2018). Informatik in der Grundschule: Eine informatisch-pädagogische Perspektive auf informatikdidaktische Konzepte. *Informatik-Spektrum*, *41*(3), 200–207. https://doi.org/10.1007/s00287-018-1103-4

Schubert, S., & Schwill, A. (2011). *Didaktik der Informatik*. Springer-Verlag.

Sternberg, R. J., & Lubart, T. I. (1998). The Concept of Creativity: Prospects and Paradigms. In R. J. Sternberg (Hrsg.), *Handbook of Creativity* (1. Aufl., S. 3–15). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511807916.003

Torrance, E. P. (1966). *Torrance tests of creative thinking: Norms-technical manual : verbal tests, forms A and B : figural tests, forms A and B* (Research edition). Princeton, New Jersey: Personal Press, Inc.

Zapata, M., Martín, E., & Román-González, M. (2021). *BCTt: Beginners Computational Thinking Test* (S. 46–56).

Giulia Pantiri[1]
Thomas Wilhelm[1]
Lea Mareike Burkhardt[1]
Volker Wenzel[1]
Arnim Lühken[1]
Dieter Katzenbach[1]

[1]Goethe-Universität Frankfurt

Interesse und Selbstwirksamkeitserwartung im inklusiven Schülerlabor

Ausgangslage und Projekt E²piMINT

Im Rahmen der ersten Phase des vom BMBF geförderten fächerübergreifenden Projekts E²piMINT (Evidenzbasierte Entwicklung praxistauglicher inklusiver MINT-Vermittlungskonzepte für die Schule) wurde ein Unterrichtskonzept für die Sekundarstufe I entwickelt und erprobt. Ziel des Projekts ist es u. a., Schüler*innen mit und ohne sonderpädagogischen Förderbedarf (SPF) ein effektives gemeinsames Lernen zu ermöglichen und ihr Interesse an und ihren Zugang zu den Naturwissenschaften zu fördern (Feuser, 1982; CAST, 2018; Stinken-Rösner et al., 2022). Im Projekt arbeiten Vertreter*innen der drei Naturwissenschaften und der Sonderpädagogik zusammen, um durch eine enge Kooperation mit den Lehrkräften der Sek. I eine wirksame Unterstützung für ihre Unterrichtsplanung anzubieten (KMK, 2022). Das entwickelte Unterrichtskonzept wird nun in einer zweiten Phase des Projekts evaluiert, um seine Einsetzbarkeit in der Schule zu beurteilen. Der Artikel stellt das entwickelte Konzept, das Forschungsdesign und erste Evaluationsergebnisse vor.

Das entwickelte Unterrichtskonzept im Schülerlabor

Grundlage des im Projekt entwickelten Unterrichtskonzepts ist eine Stationenarbeit, bei der an Experimentierstationen Kisten („Forscherboxen“) bereitstehen, die die benötigten Materialien für die Experimente enthalten. Damit können die Schüler*innen, aufgeteilt in heterogene Gruppen, selbstständig arbeiten. Das Konzept wurde im Schuljahr 2022/23 in „Design-Based Research“-Zyklen getestet und optimiert (Wilhelm & Hopf, 2014; Pantiri et al., 2023). Wesentliche Merkmale des Konzepts sind: a) die Verwendung von stark handlungsorientierten und interdisziplinären Experimenten aus den drei Naturwissenschaften Biologie, Chemie und Physik, b) das Zusammenwirken von Einzel- und Gruppenarbeitsphasen und dadurch die Erstellung von Gruppenergebnissen in Form eines Gruppenplakats, c) die Förderung aller Lernenden durch das Angebot verschiedener Zugänge sowie schriftliche und Videoanleitungen, Hilfekarten und Zusatzaufgaben.

Für den ersten Teil der Hauptstudie wurde das Konzept für das Schülerlabor adaptiert. An einem Schülerlabortag konnte jede Gruppe (3 bis 4 Schüler*innen) selbstständig bis zu drei Forscherboxen bearbeiten und ihre Ergebnisse in einer abschließenden Plenumsdiskussion den anderen Gruppen präsentieren. Dies fördert die sozialen Kompetenzen in der Gruppe und in der gesamten Klasse (Berger & Hänze, 2004), weil die Schüler*innen zu „Expert*innen“ für die bearbeiteten Themen werden und somit ihr gewonnenes Wissen mit ihren Mitschüler*innen teilen können. Zwei Sets zu zwei verschiedenen Themen mit jeweils sieben Forscherboxen wurden entwickelt, um mögliche inhaltliche Abhängigkeiten zu untersuchen. Das Thema „Farben“ wurde bereits im Schuljahr 2023/24 in den Schülerlaboren der Goethe-Universität eingesetzt und anschließend wurden die Boxen an Schulen ausgeliehen, während das Thema „Kleben und Haften“ erst seit Beginn des Schuljahrs 2024/25 im Mittelpunkt steht.

Erhebungsdesign und -instrumente

Um die Wirksamkeit des entwickelten Unterrichtskonzepts zu evaluieren, wird ein Mixed-Methods-Ansatz mit kombinierten quantitativen und qualitativen Forschungsmethoden verwendet. Die Erhebungsinstrumente wurden im Laufe des Projekts entwickelt, pilotiert und eingesetzt. In einem Prä-Post-FollowUp-Design wird mittels Fragebogen quantitativ erforscht, wie sich das Interesse am und die Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren bei den Lernenden entwickeln. Der Fragebogen enthält bereits existierende Skalen, u. a. Interesse am Experimentieren (IE_EX, nach Fechner 2009 und nach Hoffman et al. 1998) und Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren (SWE_EX, nach Schroedter & Körner 2012). Angesichts der Anwesenheit von Schüler*innen mit SPF wurden Anpassungen in einfacher Sprache vorgenommen und erfolgreich pilotiert (Pantiri et al. 2024). Zu den qualitativen Erhebungsinstrumenten gehören halbstrukturierte Gruppeninterviews mit Lernenden und Beobachtungen der Gruppen, um u. a. die Gruppendynamik und das Wissen der Schüler*innen zu erfassen. Anschließend wird mittels eines halboffenen Fragebogens ein Feedback von den Lehrkräften eingeholt, um ihre Perspektive auf die Wirksamkeit des Unterrichtskonzepts und seine Anwendbarkeit in der Schulpraxis zu erfahren. Auf die qualitative Forschung wird in diesem Artikel nicht näher eingegangen, da der Schwerpunkt auf den ersten quantitativen Ergebnissen liegt. Die Hauptstudie umfasst vier Erhebungsphasen, die in Tabelle 1 dargestellt sind. Die oben genannten Erhebungsinstrumente werden in jeder Phase eingesetzt, so dass eine Datenanalyse pro Phase entstehen kann. Am Ende der Studie wird eine summative Evaluation durchgeführt, um eventuelle Zusammenhänge und Unterschiede zu untersuchen.

Tabelle 1: Erhebungsdesign der Hauptstudie

Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
Farben		Kleben und Haften	
Schülerlabor	Schule	Schülerlabor	Schule
Nov. 2023-Apr. 2024	*Mai-Dez. 2024*	*Sept.-Nov. 2024*	*Dez. 2024-Mär. 2025*
5.-6. Jgst.	*5.-6. Jgst.*	*7.-9. Jgst.*	*7.-9. Jgst.*

Ergebnisse zum Interesse und Selbstwirksamkeitserwartungen

Eine Forschungsfrage lautet: *Hat das Schülerlabor „Farben" einen Einfluss auf das Interesse der Schüler*innen am Experimentieren und auf die Selbstwirksamkeitserwartungen der Schüler*innen beim Experimentieren?* Um diese Frage zu untersuchen, wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholungen für abhängige Stichproben durchgeführt. In der hier vorgestellten Analyse ist die Zeit der einzige Faktor: t_1 steht für den Prä-Test, t_2 für den Post-Test und t_3 für den FollowUp-Test. Abb. 1 zeigt die Datenverteilungen der beiden Skalen pro Messzeitpunkt. Bezüglich des Interesses am Experimentieren (Abb. 1 links) ist eine Steigerung des Interesses von vor dem Schülerlaborbesuch (SL) bis danach zu erkennen und ein Rückgang 4-6 Wochen nach dem Schülerlaborbesuch. Hinsichtlich der Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren (Abb. 1 rechts) kann man einen Anstieg von vor dem Schülerlaborbesuch bis danach und – im Gegensatz zum Interesse – eine mögliche Stabilisierung der SWE_EX bis 4-6 Wochen nach dem Schülerlaborbesuch beobachten. In der Tabelle 2 sind die Signifikanzwerte und Effektstärken dargestellt, die sich aus dem paarweisen Vergleich (Bonferroni-Korrektur) ergeben (Cohen, 1992). Wie aus den Grafiken hervorgeht, gibt es für das Interesses keine langfristige Steigerung (von Prä- zum FollowUp-Test ist die Entwicklung nicht signifikant)

und für die Selbstwirksamkeitserwartung hat die Entwicklung von Prä- zum FollowUp-Test eine (kleine) Effektstärke.

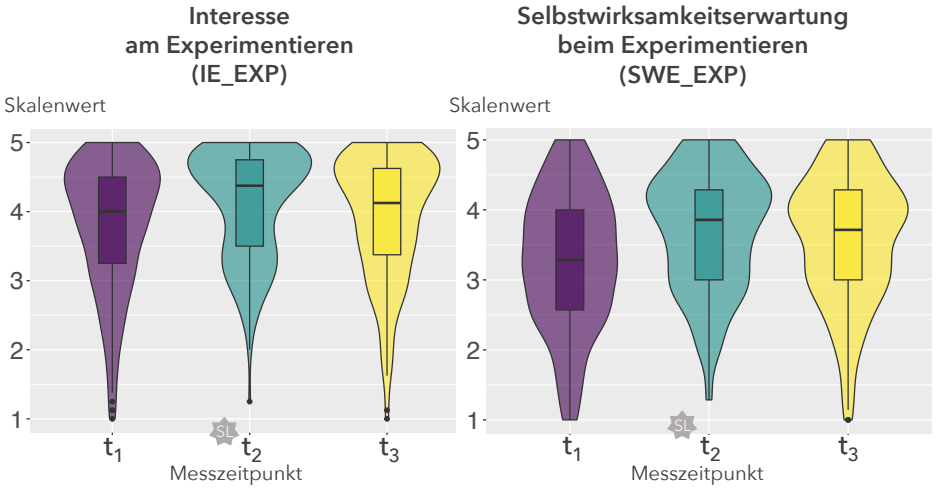


Abb. 1: Violin- und Box-Plots bzgl. der Skalen IE_EXP und SWE_EXP. Die Skalenwerte sind von 1 („stimmt gar nicht“) bis 5 („stimmt sehr“) geordnet. Die Stichprobe umfasst N = 208 SuS für die Skala IE_EXP und N = 220 SuS für die Skala SWE_EXP.

Tabelle 2: Paarweiser Vergleich bzgl. der beiden Skalen: Signifikanz und Effektstärke

Skala	Messzeitpunkte		p-Wert	Signifikanz	Cohens d	Effektstärke
IE_EXP	t_1	t_2	1.26e-06	****	0.36	klein
	t_1	t_3	1.18e-01	n.s.	0.14	-
	t_2	t_3	1.00e-03	**	0.25	klein
SWE_EX	t_1	t_2	2.39e-12	****	0.51	mittel
	t_1	t_3	1.16e-05	****	0.32	klein
	t_2	t_3	2.90e-02	*	0.18	-

Diskussion und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich ein Unterschied zwischen der Entwicklung des Interesses am Experimentieren und der Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren in Richtung einer möglichen langfristigeren Stabilisierung der SWE_EX bei den Schüler*innen feststellen. Die Steigerung des Interesses im Post-Test bestätigt die gute und positive Wahrnehmung des Schülerlabors „Farben“ bezüglich des Experimentierens und des ihm zugrundeliegenden Unterrichtskonzepts, während der nur kurzzeitige Erhöhung des Interesses den Ergebnissen aus der fachdidaktischen Forschung zur Wirksamkeit eines einmaligen Besuchs im Schülerlabor entspricht (Pawek, 2009). Die langfristigere Steigerung der Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren sollte im Hinblick auf mögliche Gründe für das Phänomen weiter untersucht werden. So können beispielsweise externe Faktoren die Selbstwirksamkeitserwartung beeinflusst haben (Wie haben die Klassenlehrkräfte den Unterricht nach dem Besuch gestaltet? Wurden mehrere Experimente eingesetzt?). Andere Einflussfaktoren wie die Entstehung von Untergruppen in der Stichprobe (Genderunterschiede, Zugehörigkeit zur Klassengruppe oder Schulart, ...) sollten weiter untersucht werden.

Literatur

Berger, R.; Hänze, M. (2004). Das Gruppenpuzzle im Physikunterricht der Sekundarstufe II – Einfluss auf Motivation, Lernen und Leistung. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 10, 205-219.

CAST (2018). Universal Design for Learning Guidelines.

Cohen, J. (1992). Statistical Power Analysis. Current Directions in Psychological Science, 1(3), 98-101. https://doi.org/10.1111/1467-8721.ep10768783.

Fechner (2009). Effects of context-oriented learning on student interest and achievement in chemistry education: Zugl.: Duisburg-Essen, Univ., Diss., 2009 (Bd. 95). Logos-Verlag.

Feuser, G. (1982). Integration = die gemeinsame Tätigkeit (Spielen/Lernen/Arbeit) am gemeinsamen Gegenstand. Produkt in Kooperation von behinderten und nichtbehinderten Menschen. Behindertenpädagogik 21 (2), 86-105.

Hoffmann, L., Häußler, P., & Lehrke, M. (1998). Die IPN-Interessenstudie Physik. Kiel: IPN Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel.

Kultusministerkonferenz (2022). Sonderpädagogische Förderung in Schulen 2013 bis 2022. Statistische Veröffentlichungen der Kultusministerkonferenz, Dokumentation Nr. 240 - Februar 2022.

Pantiri, G.; Burkhardt, L. M.; Wilhelm, T.; Wenzel, V.; Lühken, A.; Katzenbach, D.: Entwicklung praxistauglicher inklusiver MINT-Vermittlungskonzepte für die Schule. In Grötzebauch, H. & Heinicke, S. (Hrsg.): PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur virtuellen DPG-Frühjahrstagung, 2023, 247-251, https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1373/1566.

Pantiri, G.; Wilhelm, T.; Burkhardt, L. M.; Wenzel, V.; Lühken, A.; Katzenbach, D. (2024). Inklusiver NaWi-Unterricht: Erprobung von Lernstationen zu Farben – In: v. VORST, H. (Hrsg.): Frühe naturwissenschaftliche Bildung, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Hamburg 2023, Band 44, 2024, 470-473, https://gdcp-ev.de/wp-content/uploads/securepdfs/2024/06/H11_Pantiri.pdf.

Pawek, C. (2009): Schülerlabore als interessefördernde außerschulische Lernumgebungen für Schülerinnen und Schüler aus der Mittel- und Oberstufe, https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:8-diss-36693.

Schroedter, S. & Körner, H. (2012). Entwicklung eines Fragebogens zur Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren (SWE_EX). In S. Bernhold (Hg.): Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht, Berlin/ Münster: LIT-Verlag, 164-166.

Stinken-Rösner, L. et al. (2020). Thinking Inclusive Science Education from two Perspectives: inclusive Pedagogy and Science Education. RISTAL, 3, 30–45.

Wilhelm, T.; Hopf, M. (2014). Design-Forschung. In: Dirk Krüger, Ilka Parchmann und Horst Schecker (Hg.): Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin u.a: Springer Spektrum, 31-42.

Sebastian Nickel[1]
Steffen Brockmüller[1]
Sebastian Habig[1]

[1]Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Untersuchung von Repräsentationskompetenzen & Fachwissen in der Chemie

Problemlage & Theorie

Chemiker:innen sind zur Kommunikation über chemische Phänomene auf Repräsentationen angewiesen, da sie diese Phänomene mit einer nicht beobachtbaren Welt beschreiben und erklären (Bucat & Mocerino, 2009; Chiu & Wu, 2009). Um mit Repräsentationen zu arbeiten und zu lernen, bedarf es jedoch eines fundierten chemischen Fachwissens, was ein Repräsentationsdilemma impliziert: Lernende müssen unbekannte Fachinhalte mit zunächst nicht verständlichen Repräsentationen erarbeiten. Um dieses Repräsentationsdilemma zu überwinden, ist der Erwerb von Repräsentationskompetenzen (RK) notwendig (Rau, 2018).
In diesem Projekt stützen wir uns auf die von Kozma und Russell (1997, 2005) postulierten RK, die sie aus Novizen-Experten-Vergleichen abgeleitet haben, die durch Nitz (2012) und Gurung et al. (2022) weiter kategorisiert wurden (Tab. 1). Die lower-level Skills *Interpretation*, *Translation* und *Konstruktion* stellen grundlegende Fähigkeiten zur Arbeit mit Repräsentationen dar und bilden das Fundament zur Entwicklung der higher-level Skills *Vergleich & Kritik*, *Epistemologie* und *Argumentation* (Gilbert, 2008; Gurung et al., 2022). Aus diesem Grund werden letztere in diesem Projekt ausgeklammert, auch da diese strukturell unterschiedliche Anforderungen an ihre Operationalisierung stellen.
Aufgrund der konzeptionellen Nähe der Fähigkeiten *Translation* und *Konstruktion* wurden die lower-level Skills mit der in dieser Arbeit zugrunde gelegten Kategorisierung von Repräsentationen für eine eindeutigere Operationalisierung verknüpft (Tab. 1). Unter Repräsentationen verstehen wir symbolisch-mathematische (z. B. Summenformeln und Gleichungen) und visuell-graphische (realistische und logische Bilder, z. B. Kugel-Stab-Modelle) Repräsentationen (Tsui, 2003; Wu & Puntambekar, 2012), sowie hybride Formen (z. B. Keilstrichformeln) daraus (Talanquer, 2022). Diese können anhand des Abstraktionsgrads charakterisiert werden, wobei mit zunehmendem symbolisch-mathematischen Anteil einer Repräsentation auch der Abstraktionsgrad zunimmt (Talanquer, 2022).

Tab. 1: *Verknüpfung der lower-level Skills der RK (Kozma & Russell, 1997, 2005) mit der Konzeptualisierung von Repräsentationen und des Abstraktionsgrads.*

Skill	**Beschreibung:** Die Fähigkeit, …
Interpretation	Merkmale und Muster in einer Repräsentation zu identifizieren, interpretieren und analysieren, sowie Repräsentationen zum Beschreiben beobachtbarer chemischer Phänomene zu nutzen.
Translation	zwischen Repräsentationen mit ähnlichem Abstraktionsgrad und ähnlichen visuellen Informationen zu übersetzen und die Betrachtungsperspektive zu wechseln, ohne das repräsentierte Objekt zu ändern.
Konstruktion	neue Repräsentationen zu konstruieren, bei denen sich der Abstraktionsgrad vom Ausgangsobjekt stark unterscheidet oder die distinkt von der Ausgangsrepräsentation sind.

Forschungsfragen

Das von Kozma und Russell (1997, 2005) postulierte Modell wird in der chemiebezogenen Bildungsforschung häufig genutzt. Bis jetzt liegt jedoch keine empirische Evidenz vor, die dieses Modell bestätigt. Des Weiteren gibt es aktuell kein adäquates Instrument, um das Modell empirisch zu untersuchen. Instrumente wie das *Chemical Representation Inventory* (Taskin et al., 2015) und der *Test of Representational Competence* (Sim & Daniel, 2014) erheben zwar RK, differenzieren dabei jedoch nicht zwischen einzelnen Fähigkeiten (Tab. 1) und messen mit einzelnen Items potenziell eher das chemische Fachwissen als RK. Aus den dargestellten Forschungslücken lassen sich folgende Forschungsfragen ableiten:

FF1 Inwieweit lassen sich die drei lower-level Skills der RK *Interpretation*, *Translation* und *Konstruktion* in der Chemie empirisch trennen?

FF2 Inwieweit hängen die drei lower-level Skills der RK *Interpretation*, *Translation* und *Konstruktion* mit dem deklarativen Fachwissen in Chemie zusammen?

Methodik & Design

Zur Untersuchung der Forschungsfragen wurde ein Testheft zur Messung der RK und des allgemeinen Fachwissens entwickelt (s. u.). Dieses wurde mithilfe multidimensionaler Rasch Analysen evaluiert, durch die metrisch skalierte Itemschwierigkeiten und Personenfähigkeiten generiert wurden. Anschließend wurden ergänzend Korrelationsanalysen zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den Konstrukten und Fähigkeiten genutzt.

Datenerhebung

Zur Messung der lower-level Skills der RK wurde das *Chemical Representation Inventory: Translation, Interpretation, Construction* (CRI:TIC) entwickelt. Dazu wurden 17 repräsentationsbasierte Items im geschlossenen und halboffenen Format adaptiert (Averbeck, 2021; Sim & Daniel, 2014; Taskin et al., 2015) und 21 Items neu entwickelt. Die theoretisch begründete Zuordnung der Items zu den jeweiligen Skills wurde durch ein Rating dreier Expert:innen bestätigt ($\kappa_{Fleiss} = .87$): 14 Items für Interpretation, 11 Items für Translation und 13 Items für Konstruktion. Inhaltlich decken die Items verschiedenen Bereiche der Chemie ab. Zur Messung des Fachwissens wurden 18 rein verbal-textliche (Tsui, 2003; Wu & Puntambekar, 2012) Items im geschlossenen Format adaptiert (Averbeck, 2021), die sich inhaltlich mit den Items des CRI:TIC überschneiden.

Der CRI:TIC wurde gemeinsam mit den Fachwissensitems in einem Chemie-Vorkurs für Studieneinsteiger:innen vor Start des Wintersemesters 2023/24 eingesetzt. Insgesamt haben $N = 185$ Studierende ($n_{♀} = 130$, $n_{♂} = 53$, $M_{Alter} = 19.34$, $SD_{Alter} = 1.90$) teilgenommen.

Ergebnisse

FF1 - Zur Evaluation des CRI:TIC und zur Untersuchung der Struktur des Modells von Kozma und Russell (1997, 2005) wurden theoriebasiert drei Modelle abgeleitet: ① eindimensional (Int+Trans+Konst), ② zweidimensional (Int; Trans+Konst), ③ drei-dimensional (Int; Trans; Konst). Für diese Modelle wurden zunächst Item- und Modell-Fit Statistiken betrachtet und auf dieser Basis insgesamt 5 der 38 Items aussortiert, da diese inhaltliche Diskrepanzen zeigten, einen schlechten Item-Fit aufwiesen oder zu schwierig waren. Die verbleibenden 33 Items zeigen für alle drei Modelle ①-③ einen guten Item- und Modell-Fit (Tab. 2, mittlere Spalte, oben). Im Modellvergleich zeigt sich jedoch ein ambivalentes Bild, sodass keines der Modelle eindeutig bestätigt werden kann (Tab. 2, mittlere Spalte, unten). Aus diesem Grund wird das einfachste Modell (das eindimensionale Modell ①), angenommen.

Tab. 2: *Item- und Modell-Fit zur Evaluation der eingesetzten Items mit Modellvergleich zur Untersuchung der Dimensionalität der RK (FF1) bzw. zur Trennung von RK und FW (FF2).*

	FF1: Evaluation CRI:TIC			**FF2:** Trennung RK & FW	
Item-Fit Statistiken	Modelle ①-③			Modelle ④-⑤	
outfit[1]	$0.63 \leq outfit \leq 1.39$			$0.73 \leq outfit \leq 1.51$	
infit[2]	$0.80 \leq infit \leq 1.21$			$0.86 \leq infit \leq 1.25$	
Reliabilität der Messung der Personenfähigkeit					
WLE-Reliabilität	$0.53 \leq Rel_{WLE} \leq 0.86$			$0.61 \leq Rel_{WLE} \leq 0.88$	
Modell-Fit Statistiken					
SRMR[3]	0.087			$0.098 \leq SRMR \leq 0.100$	
aQ3-Statistik[4]	$-0.28 \leq aQ3 \leq 0.35$			$-0.56 \leq aQ3 \leq 0.35$	
MADaQ3[5]	0.07			0.07	
Modellvergleich	①	②	③	④	⑤
AICc[6]	**7713**	7716	7726	10949	**10923**
saBIC[7]	7635	**7631**	7633	10795	**10759**

[1]outlier- & [2]inlier-sensitive Modellpassung; [3]globaler Modell-Fit; [4]lokale & [5]globale Unabhängigkeit, [6,7]Modellgüte (stichprobenadjustiert)

FF2 - Zur Untersuchung der Trennbarkeit von chemischem Fachwissen (FW) und RK in dieser Studie wurde ein analoges Vorgehen wie für FF1 verwendet. Zwei Modelle wurden verglichen: ④ eindimensional (FW+RK) und ⑤ zweidimensional (FW; RK). Die RK entsprechen dabei dem Modell ① aus FF1. Die 18 Items zur Messung des FW wurden ebenfalls evaluiert und 2 Items aufgrund zu hoher Schwierigkeit ausgeschlossen. Beide Modelle zeigen vergleichbare und gute Item- und Modell-Fit Statistiken (Tab. 2, rechte Spalte, oben). Der Modellvergleich zeigt hier ein eindeutiges Bild, das für die Trennung der beiden Konstrukte spricht (Tab. 2, rechte Spalte, unten).
Die Korrelationsanalysen zeigen eine hohe Korrelation zwischen RK und FW ($r = 0.51$). Obwohl sich die dreidimensionale Struktur der lower-level Skills in dieser Studie empirisch nicht bestätigen lässt, ist eine getrennt Betrachtung aus chemiedidaktischer Perspektive aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen sinnvoll. Die drei lower-level Skills der RK korrelieren erwartet hoch miteinander ($0.56 \leq r \leq 0.65$).

Diskussion & Ausblick

FF1 - Die Evaluation des CRI:TIC zeigt einen guten Item- und Modell-Fit, was ihn als Instrument zur Messung der RK legitimiert. Die Dimensionsanalysen zeigen ein ambivalentes Bild, weshalb aus empirischer Sicht das einfachste Modell, das eindimensionale Modell ①, angenommen wird. Aus chemiedidaktisch-inhaltlicher Perspektive ist eine getrennte Betrachtung jedoch sinnvoll, was auch durch die eindeutige Zuordnung der Items zu den Fähigkeiten unterstrichen wird ($\kappa_{Fleiss} = .87$). Auch die hohe, aber nicht sehr hohe Korrelation zwischen den lower-level Skills legt dies nahe. Weitere quantitative Untersuchungen mit Berücksichtigung der räumlichen Fähigkeiten (z. B. Stieff et al., 2018), sowie qualitative Untersuchungen der RK sind daher sinnvoll und bereits in Vorbereitung.
FF2 - Die Studie liefert tragfähige Evidenz zur Trennbarkeit von RK und FW. Dies deckt sich mit Ergebnissen anderer Studien (z. B. Sim & Daniel, 2014) und hebt hervor, dass die Entwicklung von RK neben der Vermittlung von Fachwissen ein zentrales Ziel im Chemieunterricht und der Hochschullehre sein sollte, da Repräsentationen für Chemiker:innen unerlässlich sind.

Literatur

Averbeck, D. (2021). Zum Studienerfolg in der Studieneingangsphase des Chemiestudiums: Der Einfluss kognitiver und affektiv-motivationaler Variablen. Logos Verlag.

Bucat, B., & Mocerino, M. (2009). Learning at the Sub-micro Level: Structural Representations. In J. K. Gilbert & D. Treagust (Hrsg.), Multiple Representations in Chemical Education (Bd. 4, S. 11–29). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8_2

Chiu, M.-H., & Wu, H.-K. (2009). The Roles of Multimedia in the Teaching and Learning of the Triplet Relationship in Chemistry. In J. K. Gilbert & D. Treagust (Hrsg.), Multiple Representations in Chemical Education (Bd. 4, S. 251–283). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8_12

Gilbert, J. K. (2008). Visualization: An Emergent Field of Practice and Enquiry in Science Education. In J. K. Gilbert, M. Reiner, & M. Nakhleh (Hrsg.), Visualization: Theory and Practice in Science Education (S. 3–24). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5267-5_1

Gurung, E., Jacob, R., Bunch, Z., Thompson, B., & Popova, M. (2022). Evaluating the Effectiveness of Organic Chemistry Textbooks for Promoting Representational Competence. Journal of Chemical Education, 99(5), 2044–2054. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c01054

Kozma, R., & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. Journal of Research in Science Teaching, 34(9), 949–968. https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199711)34:9<949::AID-TEA7>3.0.CO;2-U

Kozma, R., & Russell, J. (2005). Students Becoming Chemists: Developing Representational Competence. In J. K. Gilbert (Hrsg.), Visualization in Science Education (S. 121–145). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-3613-2_8

Nitz, S. (2012). Fachsprache im Biologieunterricht: Eine Untersuchung zu Bedingungsfaktoren und Auswirkungen. Christian-Albrechts-Universität.

Rau, M. A. (2018). Supporting Representational Competences Through Adaptive Educational Technologies. In K. L. Daniel (Hrsg.), Towards a Framework for Representational Competence in Science Education (Bd. 11, S. 103–132). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-89945-9_6

Sim, J. H., & Daniel, E. G. S. (2014). Representational competence in chemistry: A comparison between students with different levels of understanding of basic chemical concepts and chemical representations. Cogent Education, 1(1), 991180. https://doi.org/10.1080/2331186X.2014.991180

Stieff, M., Origenes, A., DeSutter, D., Lira, M., Banevicius, L., Tabang, D., & Cabel, G. (2018). Operational constraints on the mental rotation of STEM representations. Journal of Educational Psychology, 110(8), 1160–1174. https://doi.org/10.1037/edu0000258

Talanquer, V. (2022). The Complexity of Reasoning about and with Chemical Representations. JACS Au, 2(12), 2658–2669. https://doi.org/10.1021/jacsau.2c00498

Taskin, V., Bernholt, S., & Parchmann, I. (2015). An inventory for measuring student teachers' knowledge of chemical representations: Design, validation, and psychometric analysis. Chemistry Education Research and Practice, 16(3), 460–477. https://doi.org/10.1039/C4RP00214H

Tsui, C.-Y. (2003). Teaching and Learning Genetics with Multiple Representations [Unveröffentlichte Dissertation, Curtin University of Technology]. https://espace.curtin.edu.au/bitstream/handle/20.500.11937/1614/14027_Tsui_combined%20aha.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Wu, H.-K., & Puntambekar, S. (2012). Pedagogical Affordances of Multiple External Representations in Scientific Processes. Journal of Science Education and Technology, 21(6), 754–767. https://doi.org/10.1007/s10956-011-9363-7

Kerstin Gresens[1]
Hendrik Härtig[1]

[1]Universität Duisburg-Essen

Hürden bei der Nutzung von Repräsentationen beheben

Im naturwissenschaftlichen Unterricht werden häufig Repräsentationen eingesetzt (Geyer & Kuske-Janßen, 2019) unter denen man Zeichen oder Symbole versteht, die für ein Phänomen oder Objekt stehen (Dolin, 2020) und die eine vermittelnde Rolle zwischen dem Lernenden und einem abstrakten Objekt haben (Härtig et al.; 2022, Klappauf & Friege, 2016; de Jong et al., 1998). Sie dienen im naturwissenschaftlichen Unterricht vor allem der Kommunikation von Konzepten oder Problemen (Cock, 2012; Geyer & Kuske-Janßen, 2019) und dem Visualisieren von Beziehungen zwischen mathematischen Variablen (Hardy, 2002). Auch multiple Repräsentationen, also ein Zusammenschluss verschiedener Repräsentationen, die miteinander in Beziehung stehen, dienen der Vermittlung von Informationen und der Unterstützung bei der Wissensvermittlung (Opfermann et al., 2017). Ainsworth (1999) fasst zusammen, dass der Umgang mit multiplen Repräsentationen für viele Schüler*innen schwierig ist. Mögliche Hürden für die Nutzung seitens der Lernenden könnten z. B. sein, dass einzelne Repräsentation nicht verstanden werden oder keine Verbindung zwischen den einzelnen Repräsentationen hergestellt wird (Ainsworth, 2006).

Projektübersicht

Das vorliegende Projekt gliedert sich in zwei Phasen. In der ersten Phase wurden Hürden identifiziert, die einer Nutzung einzelner Repräsentationen möglicherweise entgegenstehen. Für dieses Projekt wurden als Hürden alle Schwierigkeiten auf dem Lösungsweg definiert, die vom Lernenden überwunden werden müssen, d. h. alle Schwierigkeiten, die den Lösungsprozess verlangsamen oder sogar verhindern. In einer zweiten Phase sollen diese Hürden durch ein entwickeltes Training behoben werden.

Phase 1

Methode

Ziel ist es, die in der Literatur für andere Fächer oder Altersstufen benannten Hürden für den Physikunterricht zu überprüfen. 47 Schüler*innen von drei Gymnasien in Nordrhein-Westfalen haben in Einzelinterviews Aufgaben im Themenbereich Elektrizitätslehre zu einzelnen Repräsentationen bearbeitet. Diese fokussieren bereits aus der Literatur bekannte Hürden, lassen aber dennoch Raum für die Entdeckung weiterer Hürden. Genutzt wurden die Repräsentationsformen Bild, Schaltskizze, Tabelle und Diagramm. Die Aufgabenbearbeitung erfolgte mit Hilfe der Methode des Lauten Denkens, so dass die gesamte Bearbeitung autographiert werden konnte. Anschließend wurden die Audioaufnahmen transkribiert und mit der Qualitativen Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2016) ausgewertet.

Ergebnisse

Die Qualitative Inhaltsanalyse führt für die vier betrachteten Repräsentationsformen Bild, Schaltskizze, Tabelle und Diagramm zu verschiedenen Hürden. Diese wurden für alle

Schüler*innen zusammengetragen und sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Hürden, die von den meisten Schüler*innen genannt wurden, sind kursiv dargestellt.

Tabelle 1: Ergebnisse der Qualitativen Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2016)

Bild	**Schaltskizze**	**Tabelle**	**Diagramm**
Fachwortschatz	*Fachwortschatz*	Fachwortschatz	*Fachwortschatz*
Kabelführung	2D-3D-Problem	*Achsenbeschriftung*	*Achsenbeschriftung*
	Schaltsymbole unbekannt	„Legende“	*Legende*
	Verallgemeinerung	*Punktuelle Betrachtung*	*Punktuelle Betrachtung*
		Nicht-Linear	Nicht-Linear
		Leserichtung	Abhängigkeit der Achsen
			Ablesen

Wie in Tabelle 1 dargestellt, verbindet alle vier genutzten Repräsentationsformen, dass ein fehlender Fachwortschatz zu Verständnisschwierigkeiten führen kann. Besonders beim Umgang mit Tabellen und Diagrammen zeigen sich vermehrt Hürden. Eine mögliche Ursache für Probleme bei der Achsenbeschriftung kann eine fehlende Einheit sein, da ansonsten möglicherweise unterschiedliche Größen oder Größenordnungen miteinander verglichen werden. Die Legende kann zu Hürden führen, wenn Tabellenspalten bzw. Graphen nicht der richtigen Größe zugeordnet werden. Auch die Punktuelle Betrachtung führt zu Schwierigkeiten, da hierbei immer nur einzelne Wertepaare betrachtet werden und somit keine allgemeine Aussage über den Verlauf möglich ist.

Phase 2

Methode

Aufbauend auf den Ergebnissen der ersten Phase wurde ein Training entwickelt, das die identifizierten Hürden explizit thematisiert. Die Erhebung findet im Prä-Post-Follow-Up-Kontrollgruppendesign statt. In der Interventionsgruppe werden die Repräsentationen explizit behandelt (direktes Training), d. h. es wird der Fachwortschatz aufgegriffen, sowie das Ablesen einzelner Werte schrittweise besprochen. Auch der Zusammenhang in einem Diagramm über den Graphen wird explizit gemacht. Um sicherzustellen, dass auch die Kontrollgruppe mit Repräsentationen arbeitet, werden dieselben Repräsentationen, wie im Unterricht typisch, als Werkzeug eingesetzt, ohne dass sie explizit thematisiert werden (indirektes Training). Dazu werden sie im Rahmen eines Trainings zur Variablenkontrollstrategie eingesetzt. Der Ablauf beider Gruppen erfolgt analog. Nach einer kurzen fachlichen Wiederholung werden die Darstellung mittels Bild und Schaltskizze sowie Tabelle und Diagramm besprochen und in Übungsphasen trainiert. Überprüft wird die Wirksamkeit des Trainings mit verschiedenen Tests. Im Vortest werden neben Kontrollvariablen, wie den demografischen Daten, dem Interesse und dem räumlichen Vorstellungsvermögen auch das Fachwissen zur Elektrizitätslehre, das Repräsentationswissen

und das Wissen zur Variablenkontrollstrategie erhoben. Die letzten drei werden erneut beim Post- und beim Follow-Up-Test eingesetzt.
An der Pilotierung nahmen zwei achte Schulklassen aus NRW teil. Die Gymnasialklasse hatte 23 Schüler*innen und die Gesamtschulklasse 20 Schüler*innen. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die Klassen jeweils anhand ihres Fachwissens gleichmäßig in die Kontroll- und Interventionsgruppe aufgeteilt.

Ergebnisse
Für beide Klassen gibt es weder einen Unterschied im Fachwissen noch im Repräsentationswissen zwischen den Gruppen ($t_{GE}(11.11)=1.088$, $p=.299$, $t_{GY}(21)=.532$, $p=.601$). Allerdings unterscheiden sich die Klassen selbst im Repräsentationswissen ($t(25.6)=4.392$, $p<.001$). Eine ANOVA mit Messwiederholung zeigt nur einen Einfluss der Schulform auf das Fachwissen ($F(2, 82)=5.872$, $p=.004$), sowie das Repräsentationswissen ($F(2, 82)=13.566$, $p<.001$). Aus diesem Grund werden die Ergebnisse in Abbildung 1 getrennt nach Schulform und Gruppe aufgetragen.

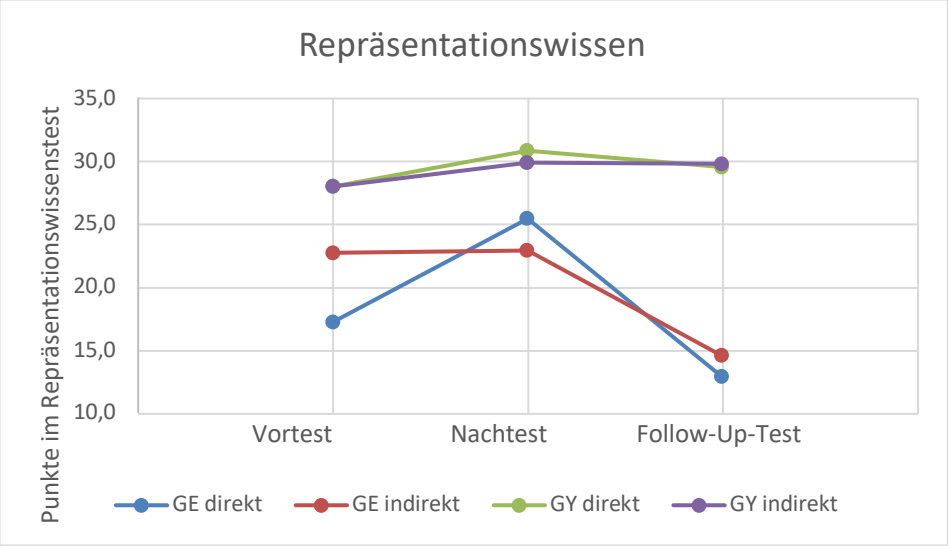


Abb. 1: Entwicklung des Repräsentationswissens

Abbildung 1 zeigt für beide direkte Gruppen eine signifikante Verbesserung, wohingegen das indirekte Training keine Verbesserung darstellt. Hieraus lässt sich die Vermutung ableiten, dass nur ein direktes Training zu einem höheren Repräsentationswissen führt. Besonders die Schule mit geringerem Repräsentationsvorwissen zeigt durch das direkte Training eine enorme Verbesserung.

Diskussion
Ob sich die Vermutung, dass nur ein direktes Training zu einer Verbesserung führt, bestätigen lässt oder weitere Faktoren einen Einfluss haben, muss aufgrund der kleinen Stichprobe in einer anschließenden Haupterhebung überprüft werden. Zusammenfassend kann man davon ausgehen, dass ein explizites Thematisieren des Umgangs mit Repräsentationen im Unterricht wichtig ist, damit Hürden vermieden werden können.

Literatur

Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple represenstations. Computers & Education, 33, 131–152.

Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. Learning and Instruction, 16(3), 183–198. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001

Cock, M. de (2012). Representation use and strategy choice in physics problem solving. Physical Review Special Topics - Physics Education Research, 8(2). https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.8.020117

Dolin, J. (2020). Representations in Science. In R. Gunstone (Hrsg.), Encyclopedia of Science Education. Springer Netherlands; Imprint Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6165-0

Geyer, M.-A. & Kuske-Janßen, W. (2019). Mathematical Representations in Physics Lessons. In G. Pospiech, M. Michelini & B.-S. Eylon (Hrsg.), Mathematics in physics education. Springer.

Hardy, I. (2002). Repräsentationsaktivitäten zur Förderung proportionalen und graphisch-visuellen Verständnisses im Grundschulalter. In H. Petillon (Hrsg.), Jahrbuch Grundschulforschung: Bd. 5. Individuelles und soziales Lernen in der Grundschule: Kindperspektive und pädagogische Konzepte. Springer; VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Härtig, H., Bernholt, S., Fraser, N., Cromley, J. G. & Retelsdorf, J. (2022). Comparing Reading Comprehension of Narrative and Expository Texts Based on the Direct and Inferential Mediation Model. International Journal of Science and Mathematics Education, 20(S1), 17–41. https://doi.org/10.1007/s10763-022-10302-5

Jong, T. de, Ainsworth, S., Dobson, M., van der Hulst, A., Levonen, J., reimann, P., Sime, J.-A., van Someren, M. W., Spada, H. & Swaak, J. (1998). Acquiring Knowledge in Science and Mathematics: The Use of Multiple Representations in Technology-Based Learning Environments. In M. W. van Someren (Hrsg.), Advances in learning and instruction series. Learning with multiple representations (1. ed.). Pergamon.

Klappauf, I. & Friege, G. (2016). "Denken Sie wirklich, ich könnte logisch denken?" - wie Lernende mathematische und physikalische Darstellungsformen sortieren. In DPG-Frühjahrstagung Hannover.

Opfermann, M., Schmeck, A. & Fischer, H. E. (2017). Multiple Representations in Physics and Science Education - Why should we use them? In D. F. Treagust, R. Duit & H. E. Fischer (Hrsg.), Multiple Representations in Physics Education. Springer International Publishing.

Irina Braun[1]
Scott E. Lewis[2]
Nicole Graulich[1]

[1]Justus-Liebig-Universität Gießen
[2]University of South Florida

Muster erkennen: Analyse der Mesomerie-Wahrnehmung von Studierenden in der Organischen Chemie

Ausgangslage und theoretischer Hintergrund

In der Organischen Chemie (OC) sind Problemlösen und Fachverständnis eng an das Verständnis von Repräsentationen gebunden. Folglich ist ein sicherer und flexibler Umgang mit Repräsentationen für den Lernerfolg in der OC essentiell. Aus kognitionspsychologischer Sicht lässt sich Repräsentationskompetenz in zwei größere, zusammenhängende Kompetenzen unterteilen (Rau 2018). *Sense-making skills* beziehen sich auf das explizite, konzeptuelle Wissen bzgl. Repräsentationen (z. B. Schrittfolgen zur Erstellung von Repräsentationen) (Rau 2018). *Perceptual fluency* umfasst hingegen die Fähigkeit, mühelos Repräsentationen zu verarbeiten, d. h. relevante Informationen in einer Repräsentation auf einen Blick zu erkennen (Rau 2018). Diese Kompetenz wird induktiv durch Erfahrung und regemäßiges Üben erworben (Kellman & Massey 2013). Allerdings werden gerade zu Beginn in der OC eine Vielzahl an Repräsentationen eingeführt, die nicht immer konsistent verwendet werden (Graulich 2015). Nicht selten führt dies seitens der Lernenden zu einer verlangsamten visuellen Verarbeitung und kognitiven Überlastung, welches das Heranziehen von relevanten Konzepten beim Problemlösen erschwert (Anderson & Bodner 2008). Anknüpfend daran haben Carle und Flynn (2020) unterschiedliche Lernziele bzgl. des Mesomerie-Konzepts formuliert. So bildet die Fähigkeit, Mesomerie in Molekülen zu erkennen, die Voraussetzung für weiterführende Kompetenzen (z. B. Erkennen von nukleophilen/elektrophilen Stellen). Aus Studien geht jedoch hervor, dass Lernende hierbei Schwierigkeiten aufweisen (z. B. Fokus auf unrelevante, saliente Strukturmerkmale, Vernachlässigung von Details wie der Atomhybridisierung, inkorrekter Ausgangspunkt zur Delokalisierung von Elektronen), wodurch das Mesomerie-Konzept nur unzureichend im Problemlösen herangezogen wird (z. B. Betancourt-Pérez, Olivera & Rodríguez 2010; Braun, Langner & Graulich 2022; Petterson, Watts, Snyder-White, Archer, Shultz & Finkenstaedt-Quinn 2020). Unklar bleibt jedoch, wie die Variation von Strukturmerkmalen die Fähigkeit von Lernenden beeinflusst, Mesomerie in Molekülen zu erkennen und welche Überlegungen die Wahrnehmung von Mesomerie leiten. Hierdurch ergeben sich folgende Forschungsfragen:

1. Wie beeinflussen verschiedene Kombinationen an Strukturmerkmalen die Fähigkeit von Lernenden, Mesomerie-Stabilisierung in Molekülen zu erkennen?
2. Welche Trends zeigen sich in der Entscheidungsfindung der Lernenden zur Mesomerie-Stabilisierung und wie hängen sie mit anderen Leistungsvariablen zusammen (z. B. Vorwissen)?

Studiendesign

Mit Studierenden der OC 1 (N=681) wurde mittels einer dreiteiligen Online-Umfrage eine quantitative Studie durchgeführt (Braun, Lewis & Graulich 2024). Zunächst wurde in

Anknüpfung an die formulierten Lernziele von Carle und Flynn (2020) das konzeptbezogene Vorwissen der Lernenden in Form einer Selbsteinschätzung und der Bearbeitung mesomerie-bezogener Aufgaben erhoben. Letztere griffen auch gängige, in der Literatur herausgestellte alternative Vorstellungen von Lernenden in Bezug auf Mesomerie auf (z. B. Xue & Stains 2020; Braun & Graulich 2024). Im zweiten Umfrageteil sollten die Studierenden für 72 unterschiedliche Molekülstrukturen entscheiden, ob diese von Mesomerie-Stabilisierung profitieren. Um Ermüdungseffekten entgegenzuwirken, beantwortete jede*r Studierende 37 Items (50%) in randomisierter Reihenfolge. Hierbei wurde auch die individuelle Bearbeitungsdauer pro Item erfasst. Im dritten, abschließenden Umfrageteil wurden die Studierenden aufgefordert, den empfundenen *Cognitive Load* bei der Beantwortung der Aufgaben im zweiten Teil der Umfrage einzuschätzen (Klepsch, Schmitz & Seufert 2017).

Datenanalyse

In der mehrschrittigen Datenanalyse wurden zunächst die entwickelten Items hinsichtlich der zu betrachteten Strukturmerkmale vereinfacht. Während die Items im Grad der Explizitheit (z. B. Angabe der Bindungen zu Wasserstoffatomen), der Bekanntheit (z. B. Vorhandensein von Heteroatomen) und der Komplexität (z. B. lineare/verzweigte Moleküle) variiert wurden, beschränkte sich die Analyse auf vier Strukturmerkmale, die zur erfolgreichen Entscheidung betrachtet werden müssen: 1. Ladungsart (positive/negative Ladung), 2. Entfernung der Ladung vom konjugierten System, 3. (Nicht-)Vorhandensein von Heteroatomen, 4. Implizite Betrachtungen (z. B. Hybridisierung). Die Kombination dieser Merkmale führte zu fünf distinkten Kategorien, die die Analyse leiteten: *Ladung in β-Position*, *Kohlenstoffatome & positive Ladung*, *Heteroatom & positive Ladung*, *Heteroatom & negative Ladung*, *Positive Ladung auf Heteroatom*. Anschließend wurden der prozentuale Erfolg pro Kategorie und Studierenden berechnet und diese Daten verwendet, um die Studierenden in einer *K*-Means Clusteranalyse nach Ähnlichkeiten in Cluster zu unterteilen. Zur Validierung der Cluster und weiterführenden Betrachtung wurden Zusammenhänge mit externen Variablen, die nicht in die Clusteranalyse eingeflossen sind, herausgestellt: die durchschnittliche Bearbeitungsdauer, der *Cognitive Load* sowie das konzeptbezogene Vorwissen. Letzteres wurde als Score durch die Auswertung der Aufgaben erfasst.

Ausgewählte Ergebnisse

Einfluss unterschiedlicher Strukturmerkmale auf die Fähigkeit, Mesomerie zu erkennen

Es konnte herausgestellt werden, dass die Studierenden je nach Strukturmerkmalskombination unterschiedlich erfolgreich beim Erkennen von Mesomerie-Stabilisierung waren (Abb. 1). Während sie insgesamt relativ erfolgreich nicht-konjugierte Systeme (*Ladung in β-Position*, 65%) erkannten und somit die Entfernung der Ladung gut einschätzen konnten, waren sie im Erkennen von Mesomerie bei allylischen Carbokationen mit 75% am erfolgreichsten. Dies könnte mitunter am Bekanntheitsgrad liegen, da in der Lehre solche Strukturen oftmals als Einführungsbeispiel für Mesomerie verwendet werden. Weiterhin müssen durch das Nicht-Vorhandensein von Heteroatomen weniger Informationen als in den anderen Kategorien verarbeitet werden (Paas & van Merriënboer 2020). Kommen Heteroatome hinzu, sinkt die Erfolgsquote auf rund 55%. Neben der erhöhten Informationsverarbeitung haben es die Lernenden auch mit anderen Mesomerie-Mustern zu tun, die zusätzlich erschwerend wirken (einfach gebundene Heteroatome, Delokalisierung der negativen Ladung in Richtung der

Doppelbindung). Bei Items, die das Betrachten von impliziten Überlegungen erfordern (*Positive Ladung auf Heteroatom*), sinkt die Erfolgsquote weiter auf 44%. Dies deutet darauf hin, dass es den Lernenden insgesamt schwerfällt, zusätzliche Aspekte in die Entscheidungsfindung zu integrieren (z. B. überschrittenes Oktett, sp^3-Hybrisierung). Statistisch konnte in einer repeated-measure ANOVA herausgestellt werden, dass sich der Erfolg der Studierenden in den fünf Kategorien signifikant unterschied ($F(3.82, 2599.75) = 123.37$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.15$).

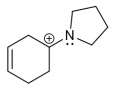
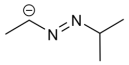
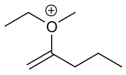
$N = 681$	Ladung in β-Position	Kohlenstoffatome & positive Ladung	Heteroatom & positive Ladung	Heteroatom & negative Ladung	Positive Ladung auf Heteroatom
Insgesamt (SD)	65.34 (25.61)	75.22 (28.44)	55.46 (27.28)	54.37 (32.23)	43.55 (28.82)
Beispiele					

Abb. 1 Erfolgsquoten der Lernenden (in %) für die verschiedenen Strukturmerkmal-Kategorien mit Angabe von Beispielen.

Trends in der Entscheidungsfindung und Zusammenhang mit externen Leistungsvariablen
Durch die Analyse und den Vergleich der unterschiedlichen Cluster konnten mehrere übergeordnete Trends herausgestellt werden, welche die Entscheidungsfindung der Studierenden beeinflussten. So wurde deutlich, dass es keine explizite Progression in der Kompetenz gab, Mesomerie zu erkennen. Während die meisten Cluster erfolgreich waren, Mesomerie in allylischen Carbokationen festzustellen, zeigten die Studierenden unterschiedliche Schwierigkeiten mit Blick auf Items mit Heteroatomen. Ferner korrelierte das konzeptuelle Vorwissen mit der Bearbeitungsdauer ($r = 0.24$, $p < 0.001$). So waren Studierende mit höherem Vorwissen signifikant langsamer in ihren Entscheidungen. Daran anknüpfend zeigte sich, dass Studierenden mit einem höheren Vorwissen eine höhere Unsicherheit im Erkennen von nicht-konjugierten Systemen aufwiesen. Ein zentraler Befund der Clusteranalyse war weiterhin, dass das Strukturmuster von allylischen Carbokationen die Lernenden im Erkennen von Mesomerie entscheidend leitete. Neben dem Erfolg in dieser Kategorie über alle Cluster hinweg (75%, Abb. 1), reduzierten rund 40% der Studierenden ihre Entscheidungen auf das Betrachten von positiven Ladungen. Ein gleich großer Anteil an Studierenden erkannte Mesomerie nur, wenn Doppelbindungen in den Items vorhanden waren. Schließlich zeigte sich clusterübergreifend, dass die Studierenden Schwierigkeiten mit impliziten Betrachtungen hatten und nicht immer Aspekte wie die Hybridisierung heranzogen.

Praktische Implikationen
Die Ergebnisse der Clusteranalyse verdeutlichen die Relevanz, Mesomerie in der Lehre kontinuierlich zu üben, legen jedoch ein adaptives Vorgehen nahe. So würden Studierende zu Beginn mit geringerem Vorwissen von *sense-making acitivities* (Rau 2018) profitieren, die die Verknüpfung von Struktur und elektronischen Betrachtungen explizit in den Blick nehmen (z. B. Fallvergleiche, Integration anderer Repräsentationsarten). Studierende mit Schwierigkeiten bzgl. einzelner Strukturmerkmale (z. B. einfach gebundene Heteroatome) könnten durch kleinere Impulsfragen, die diese Probleme aufgreifen, gefördert werden. Studierende mit höherem Vorwissen, die mit einer Vielzahl an Strukturmerkmalen erfolgreich umgehen können, in ihrer Entscheidungsfindung allerdings noch langsam sind, könnten schließlich durch *fluency-building activities* in Anlehnung an das Wahrnehmungslernen (z. B. kurze Klassifizierungsaufgaben mit direktem Feedback) unterstützt werden (Rau 2018).

Literatur

Anderson T. L. & Bodner G. M. (2008). What can we do about 'Parker'? A case study of a good student who didn't 'get' organic chemistry. Chem. Educ. Res. Pract., 9 (2), 93–101

Betancourt-Pérez R., Olivera L. J. & Rodríguez J. E. (2010). Assessment of organic chemistry students' knowledge of resonance-related structures. J. Chem. Educ., 87 (5), 547–551

Braun I. & Graulich N. (2024). Exploring diversity: student's (un-)productive use of resonance in organic chemistry tasks through the lens of the coordination class theory. Chem. Educ. Res. Pract., 25 (3), 643–671

Braun I., Langner A. & Graulich N. (2022). Let's draw molecules: Students' sequential drawing processes of resonance structures in organic chemistry. Front. Educ., 7:1055280

Braun, I., Lewis, S. E. & Graulich, N. (2024). A question of pattern recognition: investigating the impact of structure variation on students' proficiency in deciding about resonance stabilization. Chem. Educ. Res. Pract. 2024. DOI: 10.1039/D4RP00155A

Carle M. S. and Flynn A. B. (2020). Essential learning outcomes for delocalization (resonance) concepts: How are they taught, practiced, and assessed in organic chemistry?. Chem. Educ. Res. Pract., 21 (2), 622–637

Graulich N. (2015). The tip of the iceberg in organic chemistry classes: how do students deal with the invisible?. Chem. Educ. Res. Pract., 16 (1), 9–21

Kellman P. J. & Massey C. M. (2013). Chapter Four - Perceptual Learning, Cognition, and Expertise. In B. H. Ross (Ed.), The psychology of learning and motivation. Elsevier Academic Press, 117–165

Klepsch M., Schmitz F. & Seufert T. (2017). Development and Validation of Two Instruments Measuring Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. Front. Psychol., 8:1997

Paas F. & van Merriënboer J. J. G. (2020). Cognitive-load theory: methods to manage working memory load in the learning of complex tasks. Curr. Dir. Psychol. Sci., 29 (4), 394–398

Petterson M. N., Watts F. M., Snyder-White E. P., Archer S. R., Shultz G. V. & Finkenstaedt-Quinn S. A. (2020). Eliciting student thinking about acid–base reactions via app and paper–pencil based problem solving. Chem. Educ. Res. Pract., 21 (3), 878–892

Rau M. A. (2018). Making connections among multiple visual representations: how do sense-making skills and perceptual fluency relate to learning of chemistry knowledge?. Instr. Sci., 46 (2), 209–243

Xue D. & Stains M., (2020). Exploring students' understanding of resonance and its relationship to instruction. J. Chem. Educ., 97, 894–902

Lisa-Marie Christ[1]
Olaf Krey[1]
Frederik Bub[2]
Thorid Rabe[2]

[1]Universität Augsburg
[2]Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Identität und Anfangsunterricht Physik – ein qualitativer Zugang

Um besser zu verstehen, wie Schüler:innen Naturwissenschaften (NW) und den naturwissenschaftlichen Fachunterricht (nwU) wahrnehmen und sich im Besonderen zu Physik und Chemie positionieren, wird im BMBF-geförderten Forschungsprojekt „Identitätsaushandlungen zu MINT im Kontext von Anfangsunterricht“ (IdentMINT) das Identitätskonstrukt genutzt. In einer ersten Annäherung wird Identität dabei als das Bild, das Wissen und die Wahrnehmung von und über sich selbst verstanden (Rabe & Krey, 2018). In einer in Bayern und Sachsen-Anhalt an 15 Gymnasien durchgeführten Interviewstudie wird die Auseinandersetzung von einzelnen Schüler:innen aus den Klassenstufen sechs bis neun mit NW und dem jeweiligen nwU (Fokus auf Physik zum ersten Erhebungszeitpunkt) mit Hilfe von leitfadengestützten und narrativ angelegten Interviews (N=52) untersucht. In den Einzelinterviews werden die Schüler:innen u.a. ermutigt von sich selbst und der bisherigen Schulbiographie zu erzählen, von (außer)schulischen Erlebnissen und Erfahrungen mit NW und Physik, Vorstellungen zu NW, Physik und Naturwissenschaftler:innen zu berichten sowie zu verdeutlichen, wie sie den nwU und die jeweiligen Lehrkräfte wahrnehmen.

Theoretische Rahmung des Identitätskonstrukts

In der internationalen Forschung wird das Identitätskonstrukt sowohl sozialpsychologisch als auch soziologisch verortet (z.B. Darragh, 2016; Shanahan, 2009). In einer sozialpsychologischen Konzeptualisierung wird Identität produktorientiert aufgefasst, in der die Kohärenz, Beständigkeit und Übergeordnetheit von Identität mit einer Orientierung zur Vergangenheit betont werden (Erikson, 1973; Morf, 2023; Noack, 2010). Aus einer soziologischen Perspektive heraus, wird Identität als auf Handlungen und eine antizipierte Zukunft ausgerichtet aufgefasst, sodass unterschiedliche Eindrücke einer Person koexistieren und die Verschiedenartigkeit und Tendenz zu Veränderung charakteristisch für Identität(en) sind (Jörissen, 2010; Mead, 1913; Ricoeur, 1992). Insgesamt fokussiert die sozialpsychologische Konzeptualisierung auf das Individuum, wohingegen die Kontextbezogenheit von Identität in der soziologischen Perspektive im Vordergrund steht. In beiden Konzeptualisierungen ist Identität prozesshaft angelegt. Werden folglich Identitätsaushandlungen von Schüler:innen während des naturwissenschaftlichen Anfangsunterrichts aus beiden Perspektiven analysiert, ermöglicht dies ein umfassendes Bild der individuellen Identitätsarbeit in Bezug auf NW bzw. Physik, da konkret das Zusammen- und Wechselwirken von persönlichen mit gemeinsamen und gruppenorientierten Erfahrungen sowie kontext- und rollenorientierten Erwartungen und Wahrnehmungen bezüglich NW und Physik berücksichtigt werden. Ein Modell, das dieser sozialpsychologischen und soziologischen Konzeptualisierung von Identität folgt, wurde von Ivanič (1998) empirisch aus schriftlichen Narrationen entwickelt. Es beinhaltet die sozialpsychologischen und soziologischen Aspekte in den Perspektiven *autobiographical self, discoursal self, self as author* und *possibilities for selfhood in the socio-cultural and institutional context*. Die einzelnen Perspektiven können als Dimensionen verstanden werden, die es Wissenschaftler:innen ermöglichen, Identität bzw. Identitätsaushandlungen zu analysieren (s. Abb. 1).

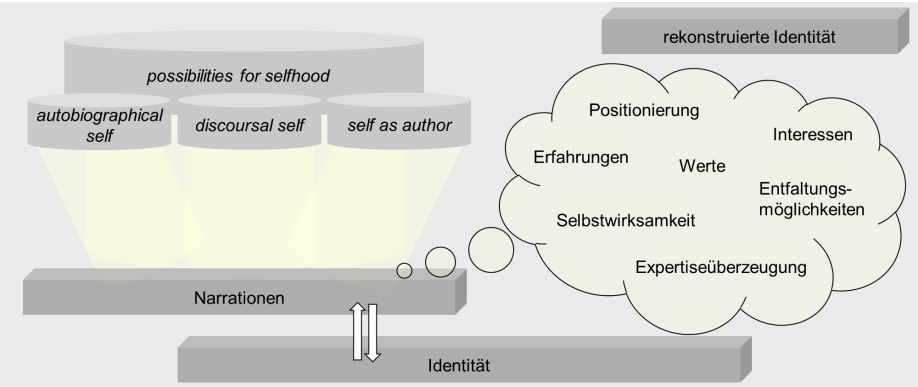


Abb. 1: Analyseperspektiven auf Identitätsaushandlungen basierend auf dem Ansatz der writer identity von Ivanič (1998).

Der Prozess des Erzählens wird mit Identitätsaushandlungen in Verbindung gebracht, sodass sich das Modell dem Ansatz der narrativen Identität zuordnen lässt (vgl. Lucius-Hoene & Deppermann, 2002). Das Modell ist kein Strukturmodell, sondern beinhaltet einen (methodischen) Zugriff auf Identität. Nachfolgend wird es als Identitätszugriffsmodell bezeichnet.

Anwendung des Identitätszugriffsmodells am Beispiel des Interviews mit Elza

Die Analysedimension **autobiographical self** beleuchtet bewusste Aspekte von Identitätsaushandlungen, wie Erfahrungen, Erlebnisse und Interessen. Diese können als Ressourcen verstanden werden, vor deren Hintergrund das Selbst verortet wird und Handlungen ausgeführt werden. Obwohl die Perspektive faktisch orientiert ist, steht im Vordergrund, wie eine Person einzelne Erfahrungen und Erlebnisse präsentiert und sich zu diesen positioniert (Ivanič, 1998, S. 24). Die retrospektive Darstellung und Einordnung von Erlebnissen und Erfahrungen, kennzeichnen die Analysedimension. Die Herangehensweise an die Narrationen ist vorwiegend inhaltsanalytisch. Exemplarisch erzählt Elza im Interview von einem Museumsbesuch mit den Eltern und einer Station im Museum *„wo halt erklärt wurde, wie Auftrieb und Aerodynamik [...] funktioniert und warum Flugzeuge so aussehen, wie sie halt aussehen“*. Das Interesse Elzas an Physik außerhalb von Schule bezieht sich hier auf technische Anwendungen. Die Analyseperspektive **discoursal self** fokussiert darauf, wie und auf welche Art und Weise eine Person einen Eindruck von sich selbst bei dem:r Kommunikationspartner:in vermittelt (Ivanič, 1998, S. 25). Dieser Eindruck ist durch sprachliche Zeichen und Symbole, d.h. das *Wie* einer Erzählung, bestimmt. Durch die verwendete Sprache können Werte, Überzeugungen und Positionierungen, auch des sozialen Umfelds, rekonstruiert werden, sodass auch unbewusste Aspekte von Identitätsaushandlungen mit dieser Analyseperspektive beleuchtet werden. Als Beispiel wird der folgende Interviewauszug herangezogen, in dem es um die Frage geht, an was Elza denkt, wenn Elza „Naturwissenschaften“ hört: *„Ja, da denke ich vor allem an Biologie, Physik und sehr tiefes Nachdenken, ja, und an schlaue Leute, die schlaue Sachen denken und versuchen die Welt zu erklären. […] Ja, ich mag das Thema. Das ist ein interessantes Thema und ich bin halt ein relativ neugieriger Mensch. Also fühle ich da halt auch sehr viel Neugier dabei, wenn ich über das Thema nachdenke. Ja, ich will halt ziemlich viel wissen, aber ja.“* Die präzisen Formulierungen Elzas im Interviewausschnitt können dahingehend interpretiert werden, dass NW intelligenten Menschen vorbehalten sind. Der unpräzise Ausdruck Elzas in

der Beschreibung der eigenen Gefühle bezüglich dieser Vorstellung, deutet auf eine aktive Identitätsaushandlung – Bin ich als naturwissenschaftliche Person geeignet? – hin. Die Analysedimension **self as author** erfasst, inwiefern im Erzählten eine Präsenz als Autor:in vermittelt wird (Ivanič, 1998, S. 26-27). Konkret wird, adaptiert auf naturwissenschaftliche Identitätsaushandlungen, das Ausmaß beleuchtet, in dem sich Lernende selbst als handelnd, aktiv oder kompetent in Bezug auf NW, naturwissenschaftliche Aktivitäten oder als Mitglied naturwissenschaftlicher Gruppen präsentieren und wahrnehmen. Die Rekonstruktion der Narrationen fokussiert somit auf die Dar- und Herstellung von Wirkmächtigkeit. Elzas Erzählungen zu den eigenen Gefühlen im Physikunterricht und während des Experimentierens betonen die Selbsttätigkeit durch die Begriffe *„selbst“* und *„besser“*. Dies legt nahe, dass Elza sich im Physikunterricht selbstwirksam erlebt und sich Kompetenz bezüglich des Verstehens und Experimentierens zuschreibt. Die Analyseperspektive **possibilities for selfhood in the sociocultural and institutional context** beleuchtet im Gegensatz zu den vorangegangenen drei Analysedimensionen strukturelle, gesellschaftliche und institutionelle Handlungs- und Entwicklungsmöglichkeiten sowie „vorgezeichnete Rollen“, in denen sich Individuen bewegen und entfalten (können) (Ivanič, 1998, S. 27-28). Die Berücksichtigung des sozialen Kontexts in dieser Analysedimension verdeutlicht, dass Identitätsaushandlungen im sozialen Umfeld stattfinden und durch die Übernahme oder Ablehnung prototypischer sozialer Identitäten beeinflusst sind. Beispielhaft können Elzas Narrationen einerseits dahingehend gedeutet werden, dass Elzas (naturwissenschaftliche) Identitätsarbeit durch das förderliche Familienumfeld mit hohem *science capital* unterstützt wird und Experimentieren als eine Art „Familien-Aktivität“ erlebt wird. Andererseits wird Elzas (naturwissenschaftliche) Identitätsarbeit auch herausgefordert. So setzt sich Elza während des Interviews mit einer häufig in Filmen reproduzierten Darstellung von einem *„alten, weißen Mann in einem Laborkittel […], der dann über irgendetwas nachdenkt und eine schlaue Formel erfindet […]“* auseinander. Elza weist diese Darstellung bzw. vordefinierte Rolle zurück und äußert den Wunsch *„das sollte halt mehr divers sein, wer halt Wissenschaftler ist und so“*. Aus dem Erzählten kann abgeleitet werden, dass die eigene Genderidentität zu prototypischen sozialen Identitäten in Beziehung gesetzt wird.

Einordnung der Analyseergebnisse und Ausblick

Die vorgestellten Analyseergebnisse stellen nur einen ersten Ausschnitt der Identitätsarbeit Elzas dar und sollen im nächsten Schritt mit Hilfe des integrativen Basisverfahrens nach Kruse (2015) weiter angereichert werden. Die ersten Analyseergebnisse (z.B. bzgl. Erfahrungen, Expertiseüberzeugung und Entfaltungsmöglichkeiten) sind vergleichbar zu einem Filter, vor dessen Hintergrund Identität rekonstruiert wird (vgl. Abb. 1). Das Identitätszugriffsmodell kann die Interviewanalyse unterstützen, indem die einzelnen Analysedimensionen als Schlaglichter auf Narrationen verstanden werden, die verschiedene Aspekte der Auseinandersetzung von Lernenden mit NW und dem nwU beleuchten und zusammen ein umfassendes Bild von Identitätsaushandlungen ermöglichen. Die Stärke des Modells liegt damit in dessen Multiperspektivität und Multidimensionalität (vgl. Fellus, 2019, S. 453). Das Modell legt dabei den Analysefokus nicht nur auf bewusste Aspekte von Identität und Identitätsaushandlungen, im Sinne *Was?* wird erzählt, sondern auch auf unbewusste Aspekte, die im *Wie?* des Erzählens nachvollzogen werden können. Folglich kann das Identitätszugriffsmodell als ein Teil einer soziolinguistischen Methodologie verstanden werden und vereint inhaltsanalytische und rekonstruktive Analysemethoden.

Literatur

Darragh, L. (2016). Identity research in mathematics education. Educational Studies in Mathematics, 93 (1), 19-33

Erikson, E. H. (1973). Identität und Lebenszyklus. Frankfurt am Main: suhrkamp taschenbuch wissenschaft

Fellus, O. O. (2019). Connecting the dots: toward a networked framework to conceptualizing identity in mathematics education. ZDM, 51 (3), 445-455

Ivanič, R. (1998). Writing and Identity. The discoursal construction of identity in academic writing. Amsterdam: John Benjamins Publishing Company

Jörissen, B. (2010). Georg Herbert Mead: Geist, Identität und Gesellschaft aus der Perspektive des Sozialbehaviorismus. In B. Jörissen & J. Zirfas (Eds.), Schlüsselwerke der Identitätsforschung. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 87 - 108

Kruse, J. (2015). Qualitative Interviewforschung. Ein integrativer Ansatz (2. ed.). Weinheim, Basel: Beltz Juventa

Lucius-Hoene, G., & Deppermann, A. (2002). Rekonstruktion narrativer Identität. Ein Arbeitsbuch zur Analyse narrativer Interviews. Wiesbaden: Springer Fachmedien

Mead, G. H. (1913). The Social Self. Journal of Philosophy, Psychology and Scientific Methods, 10 (14), 374-380

Morf, C. C. (2023). Das Selbst. In J. Ullrich, W. Stroebe, & M. Hewstone (Eds.), Sozialpsychologie (7 ed.). Berlin, Heidelberg: Springer, 147 - 192

Noack, J. (2010). Erik H. Erikson: Identität und Lebenszyklus. In B. Jörissen & J. Zirfas (Eds.), Schlüsselwerke der Identitätsforschung. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 37 - 53

Rabe, T., & Krey, O. (2018). Identitätskonstruktionen von Kindern und Jugendlichen in Bezug auf Physik – Das Identitätskonstrukt als Analyseperspektive für die Physikdidaktik? Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 24 (1), 201-216

Ricoeur, P. (1992). Oneself as another. Chicago: University of Chicago Press

Shanahan, M.-C. (2009). Identity in science learning: exploring the attention given to agency and structure in studies of identity. Studies in science education, 45 (1), 43-64

Frederik Bub[1]
Thorid Rabe[1]
Lisa-Marie Christ[2]
Olaf Krey[2]

[1]Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
[2]Universität Augsburg

Entwicklung von MINT-Identität im Anfangsunterricht Physik

Identität als Analyseperspektive für den Anfangsunterricht Physik

Im Kontext naturwissenschaftlichen Unterrichts weisen viele Untersuchungen, insbesondere für Physik, auf ein geringes Interesse, Motivation und Selbstwirksamkeitserwartungen bei Schüler*innen, hin (u.a. Schiepe-Tiska et al. 2016). Damit einhergehend werden Naturwissenschaften häufig als inkompatibel mit der eigenen Identität gesehen und Bildungswegentscheidungen gegen Naturwissenschaften gefällt. Der Anfangsunterricht gilt hierbei als prägende Lebensphase, in der Identitätsarbeit auch in den Kontexten Gender, Familie und Peers an Relevanz gewinnt (Archer et al. 2010, De Witt & Archer 2015, Kessels et al. 2006). Identität, verstanden als Vorstellungen und Wissen von Individuen über sich selbst, einhergehend mit einem Gefühl der Kohärenz und Unterscheidbarkeit von anderen (Morf and Koole 2014; Lee 2012), kann eine umfassende analytische Perspektive auf die Prozesshaftigkeit und Multidimensionalität von Bildungswegentscheidungen liefern und dabei quantitative und qualitative Zugänge integrieren (Rabe & Krey 2018).

Projektstruktur IdentMINT

Das Projekt IdentMINT nimmt die Entwicklung von MINT-Identitäten im Anfangsunterricht in Bayern und Sachsen-Anhalt in den Blick. Über einen mixed-methods-Ansatz wird im Längsschnitt u.a. untersucht, wie sich einzelne Aspekte von MINT-Identitäten entwickeln und wie Gender- und MINT-Identitäten miteinander verhandelt werden. Dazu werden zu drei Erhebungszeitpunkten (EHZ) Selbstauskünfte von Schüler*innen mittels Fragebögen (n>800) und Einzelinterviews (n=52) erhoben (vgl. Abbildung 1). Im Folgenden werden erste längsschnittliche Ergebnisse der Fragebogenstudie (Vergleich EHZ 1 und 2) aus den Teilgruppen Sachsen-Anhalts, konkret Schüler*innen aus Klasse 6 zu 7 (LSA), und Bayerns mit naturwissenschaftlich-technologischen Zweig aus den Klassen 7 zu 8 (BAY-NWT) berichtet, da in diesen Teilgruppen der Physik-Fachunterricht im Untersuchungszeitraum einsetzt.

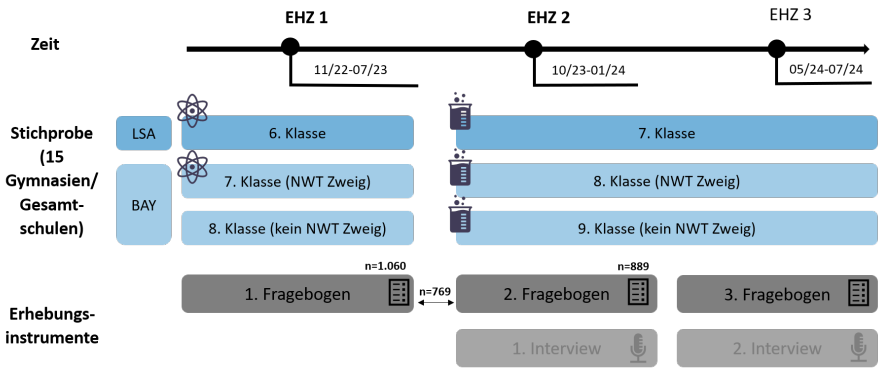


Abb 1: Längsschnittliches Erhebungsdesign IdentMINT mit Subgruppen

Entwicklung zentraler Konstrukte im Längsschnitt

Zur Überprüfung der analysierten Konstrukte wurden konfirmatorische Faktorenanalysen durchgeführt und die Güte der Modell-Fits nach Hu & Bentler (1999) bewertet. Außerdem wurden die Konstrukte auf skalare Messinvarianz bzgl. des Querschnitts (u.a. Gender) und bzgl. des Längsschnitts hin überprüft (Chen 2007). Es werden Ergebnisse für die Konstrukte schulbezogene Selbstwirksamkeitserwartungen in Physik (*SWEPhy*) und Biologie (*SWEBio*) nach Jerusalem & Satow (1999), Interesse an Physik (*IntPhy*) und Wahrnehmung des Physikunterrichts (*WahrPhy*) nach ASPIRES (2016) berichtet, wobei die Wahrnehmung des Physikunterrichts sich aus drei Subskalen zusammensetzt (Wahrnehmung des Unterrichts, der Lehrperson und angenommener persönlicher Nutzen von Physik).

Genderspezifische Entwicklungen

Bei insgesamt negativem Trend verschärfen sich in der Teilgruppe LSA genderspezifische Unterschiede bei physikbezogenen Konstrukten (vgl. Abb. 2). Die signifikant höheren Werte zu EHZ 1 für männliche Befragte bei *SWEPhy* (d=.49) und *IntPhy* (d=.47) sinken, wobei der Trend für weibliche Befragt noch deutlicher ausfällt, so dass die Unterschiede steigen (sign. Gender-Unterschiede zu EHZ 2: *SWEPhy* d=.55 und *IntPhy* d=.63). Für *WahrPhy* können insgesamt auch negative Trends festgestellt werden (d=-.44). Für geschlechtsspezifische Auswertungen sind die Modell-Fits jedoch ungenügend oder keine Messinvarianz gegeben.

In der Teilgruppe BAY-NWT nehmen Physik-Interesse und Selbstwirksamkeitserwartungen in Physik insgesamt ebenfalls ab. *IntPhy* nimmt bei Schülerinnen in der Zeit deutlich stärker ab (d=-.60) als bei Schülern (d=-.30). Bei *SWEPhy* und *WahrPhy* ist kein zunehmender Gender-Gap zu beobachten. Bei letzterem heben sich unterschiedliche Entwicklungen in den Subskalen gegenseitig auf: Schülerinnen geben eine positivere Wahrnehmung der Lehrperson als bei EHZ 1 an, wohingegen die Wahrnehmung des Physikunterrichts und der wahrgenommene Nutzen negativer ausfallen. Die Änderungen bei Schülern sind in keiner der Subskalen signifikant.

SWEBio ändert sich in den Gruppen LSA und BAY-NWT nicht signifikant über die Erhebungszeitpunkte hinweg und es sind auch keine genderspezifischen Effekte feststellbar.

Entwicklungen unter der Perspektive von Science Capital

Es zeigen sich deutlich unterschiedliche Entwicklungen je nach Science Capital der Schüler*innen. Dies wird besonders an den Selbstwirksamkeitserwartungen Physik deutlich: Schüler*innen, welche von umfangreichen außerschulischen Aktivitäten im Bereich Naturwissenschaften berichten und zum EHZ 1 deutlich höhere Werte für *SWEPhy* angeben (mit Effektstärken d=.74 (LSA) und d=.78 (BAY-NWT) im Extremgruppenvergleich mit Schüler*innen mit sehr geringen außerschulischen Aktivitäten) verlieren deutlich an Selbstwirksamkeitserwartung (mit längsschnittlichen Effekten d= -.58 für LSA und d=-.49 für BAY-NWT). Bei der Gruppe mit wenigen außerschulischen Aktivitäten zum EHZ 1 ändert sich *SWEPhy* nicht signifikant, so dass zum EHZ 2 keine signifikanten Unterschiede mehr zwischen den Gruppen feststellbar sind. Analoge Entwicklungen zeigen sich beim Vergleich zwischen Schüler*innengruppen mit und ohne Eltern mit einem naturwissenschaftlich geprägten Beruf: Hier sinkt *SWEPhy* bei Schüler*innen mit naturwissenschaftlich geprägtem Elternhaus deutlicher (LSA: d=-.43, BAY-NWT: d=-.35) als bei Schüler*innen, deren Eltern keinen naturwissenschaftlichen Beruf ausüben (LSA: d=-.38, BAY-NWT: d=-.16).

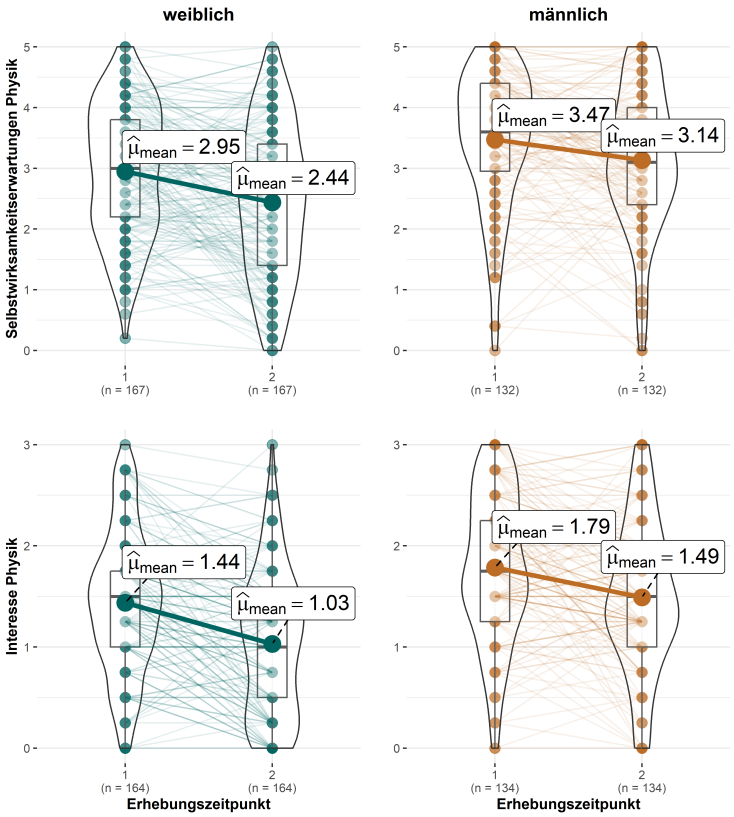


Abb 2: Längsschnitt von EHZ 1 zu 2 der Skalen SWEPhy und IntPhy in der Teilgruppe Sachsen-Anhalt (Klasse 6 zu 7) getrennt nach Gender

Zusammenfassung und Ausblick

Während des Physik-Anfangsunterrichts zeigen sich negative Trends bei physikbezogenen Identitätsfacetten wie Selbstwirksamkeitserwartungen, Interesse und Wahrnehmung des Unterrichts. Selbstwirksamkeitserwartungen in Biologie bleiben stabil. Genderspezifische Unterschiede nehmen in der Ausprägung der untersuchten Konstrukte zu, wohingegen sich die Unterschiede in Bezug auf Science Capital verringern. Zur weiteren Analyse von Identitätsarbeit im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht wird im Projekt IdentMINT unter anderem noch der Einfluss von Peers in den Blick genommen. Außerdem ist mit dem Abschluss von EHZ 3 und der Erweiterung des Längsschnitts auf fast zwei Jahre Anfangsunterricht eine Absicherung der identifizierten Trends möglich. Die Triangulation mit den qualitativen Daten des Projekts soll die Interpretation unterstützen und einen umfassenden Einblick in Identitätsarbeit von Schüler*innen ermöglichen.

Förderhinweis

Das Projekt IdentMINT wird vom BMBF gefördert und ist ein Verbundprojekt der Universität Augsburg und der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Die Förderkennzeichen von IdentMINT lauten: 16MF1021A und 16MF1021B.

Literatur

Archer, L., DeWitt, J., Osborne, J., Dillon, J., Willis, B., & Wong, B. (2010). “Doing” science versus “being” a scientist: Examining 10/11-year-old schoolchildren's constructions of science through the lens of identity. Science Education, 94(4), 617-639.

ASPIRES. (2016). Skalen aus der ASPIRES-Studie (https://www.ucl.ac.uk/ioe/departments-and-centres/departments/education-practice-and-society/aspires-research). Erhalten im Rahmen einer Emailkorrespondenz mit Jennifer DeWitt, King´s College London. (13.09.2016).

Brickhouse, N. W., Lowery, P., & Schultz, K. (2000). What Kind of a Girl Does Science? The Construction of School Science Identities. Journal of Research in Science Teaching, 37(5), 441-458.

Carlone, H. B., Scott, C. M., & Lowder, C. (2014). Becoming (less) scientific: A longitudinal study of students' identity work from elementary to middle school science. Journal of Research in Science Teaching, 51(7), 836-869. https://doi.org/10.1002/tea.21150

Chen, F. F. (2007). Sensitivity of goodness of fit indexes to lack of measurement invariance. Structural equation modeling: a multidisciplinary journal, 14(3), 464-504.

DeWitt, J., & Archer, L. (2015). Who Aspires to a Science Career? A comparison of survey responses from primary and secondary school students. International Journal of Science Education, 37(13), 2170-2192.

Hu, L. T., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. Structural Equation Modeling, 6(1), 1-55.

Jerusalem, M. & Satow, L. (1999). Schulbezogene Selbstwirksamkeitserwartung. In R. Schwarzer & M. Jerusalem, (Hrsg.), Skalen zur Erfassung von Lehrer- und Schülermerkmalen. Berlin: Freie Universität Berlin.

Kessels, U., Rau, M., & Hannover, B. (2006). What goes well with physics? Measuring and altering the image of science. British Journal of Educational Psychology, 76(4), 761-780.

Lee, Y.-L. (2012). Identity-based research in science education. In B. J. Fraser, K. Tobin & C. J. McRobbie (Hrsg.), Second international handbook of science education (S. 35–45). Heidelberg, Berlin, New York: Springer.

Morf, C. C., & Koole, S. L. (2014). Das Selbst. In K. Jonas, W. Stroebe & M. Hewstone (Hrsg.), Sozialpsychologie (S. 141–195). Berlin, Heidelberg: Springer.

Rabe, T., & Krey, O. (2018). Identitätskonstruktionen von Kindern und Jugendlichen in Bezug auf Physik–Das Identitätskonstrukt als Analyseperspektive für die Physikdidaktik?. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 1(24), 201-216.

Schiepe-Tiska, A., Simm, I., & Schmidtner, S. (2016). Motivationale Orientierungen, Selbstbilder und Berufserwartungen in den Naturwissenschaften in PISA 2015. In K. Reiss, C. Sälzer, A. Schiepe-Tiska, E. Klieme, & O. Köller (Eds.), PISA 2015. Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation (pp. 99-132). Waxmann.

Inka Haak[1] [1]MLU Halle-Wittenberg
Markus S. Feser[2] [2]IPN Kiel
Thorid Rabe[1]

Was verstehen Physikanfänger*innen unter „Physik-Community“?

Der Studieneingangsphase im Fach Physik wird in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung seit fast 20 Jahren vermehrt Aufmerksamkeit gewidmet – vor allem mit dem Fokus auf die vergleichsweise hohen Abbruch- und Wechselquoten von Studierenden (Düchs & Mecke, 2022). In den letzten Jahren ist die soziale Eingebundenheit der Studierenden – genauer deren Sense of Belonging (SoB) – in den Forschungsfokus gerückt, insbesondere deshalb, weil sich SoB als prädiktiv auf die Studiumszufriedenheit und die Tendenz zum Studienabbruch erwiesen hat (z. B. Nunn, 2021; Strayhorn, 2019). Zudem ist er im universitären Kontext bedeutsam für die intrinsische Motivation (Deci & Ryan, 1993), die Identitätsentwicklung (Feser & Haak, 2023) sowie Interesse und Selbstkonzept (Feser & Michalik, 2023). Bezüglich des Sense of Belonging von Physikstudierenden kann zwischen ihrem Zugehörigkeitsgefühl zu ihrer eigenen Hochschule (Universitäty Belonging) und ihrem Zugehörigkeitsgefühl zur Fachdomäne Physik (**Sense of Belonging to Physics**; kurz: **SBP**) unterschieden werden (für eine detaillierte Darstellung siehe z. B. Feser et al., 2023a, 2024). SBP manifestiert sich dabei in fünf Empfindungen: in der Verbundenheit mit der **Physik-Community** (**PhC**), der Anerkennung durch die PhC, dem emotionalen Wohlempfinden im Umfeld der PhC, dem Bedürfnis von der PhC wahrgenommen zu werden und einem besonderen zwischenmenschlichen Vertrauen zu der PhC (nach u.a. Feser et al, 2023a; Kuchynka et al., 2019; Lewis et al., 2016). Dabei verstehen wir im Rahmen der vorliegenden Studie unter der Physik-Community die breite Gruppe von Menschen, die sich wissenschaftlich und/oder beruflich mit Physik beschäftigen (Feser et al., 2023b).

Forschungsinteresse

Die vorliegende Studie ist eine Teilstudie der VeSP-Be-Studie (**Ve**rgleich von **S**tudieneingangsphasen in **P**hysik hinsichtlich des Sense of **Be**longing von Studierenden), in der bereits quantitative Zusammenhänge zwischen Personenmerkmalen und den Zugehörigkeitsgefühlen sowie zum Studienabbruch untersucht wurden (Feser et al. 2023a, 2024). Im Rahmen der Teilstudie sollen nun – auch im Sinne einer weiteren Validierung der eingesetzten Skalen zur Erfassung von SBP (siehe Feser et al., 2023b) – Assoziationen mit dem Begriff „Physik-Community“ untersucht werden. Konkret ergeben sich folgende Forschungsfragen, wobei sich im weiteren Verlauf dieses Beitrags auf Forschungsfrage 1a beschränkt wird:

FF1: Welche Assoziationen haben Physikstudierende in der Studieneingangsphase mit dem Begriff „Physik-Community“?
   a. Welche Assoziationen haben die Befragten bezüglich Menschen aus der Physik-Community?
   b. An welche Erfahrungen mit Menschen aus der Physik-Community denken Studienanfänger*innen?

FF2: Inwiefern stehen die Assoziationen aus Forschungsfrage 1 mit dem Sense of Belonging to Physics und dem University Belonging der Studierenden sowie verschiedenen Personenmerkmalen (u.a. Gender, Studiengang) im Zusammenhang?

Design

Die VeSP-Be-Studie wurde 2022 an 20 deutschen Hochschulen durchgeführt, wobei insgesamt 549 Studierende verschiedener Physikstudiengänge, die eine Veranstaltung des zweiten Semesters besucht haben, teilgenommen haben. Es handelte sich um eine freiwillige Online-Fragebogenerhebung mit Büchergutscheinen als Incentives. Die VeSP-Be-Studie untersucht im Wesentlichen quantitative Zusammenhänge von SBP und dem UB mit weiteren Personenmerkmalen von Physikstudierenden der Studieneingangsphase (siehe ausführlich Feser, 2023a). Für die qualitative Teilstudie werden die folgenden offenen Items ausgewertet, die im Fragebogen im Anschluss an die Skalen zur Erfassung des SBP erhoben wurden (Feser, 2023b):

Im Folgenden ist mehrfach von „Physik-Community" die Rede. Unter „Physik-Community" können Sie sich die breite Gruppe von Menschen vorstellen, die sich intensiv (z. B. wissenschaftlich und/oder beruflich) mit Physik beschäftigen. Bitte denken Sie an Ihre bisherigen Erfahrungen mit der Physik-Community insgesamt und beantworten Sie die dann folgenden Fragen. Bitte vervollständigen Sie folgende Sätze.
Wenn ich an Menschen aus der Physik-Community denke, denke ich vor allem an… (Freitextantwort)
Wenn ich an meine Erfahrungen mit Menschen der Physik-Community denke, denke ich vor allem an…. (Freitextantwort)

Die Auswertung der Freitextantworten der beiden Items erfolgte mithilfe zusammenfassender qualitativer Inhaltsanalyse mit induktiver Kategorienbildung nach Kuckartz (2014). Insgesamt konnten N = 338 Antworten ausgewertet werden. Mehrfachcodierungen einer Freitextantwort waren dabei zulässig. Es ergaben sich 36 Kategorien in 11 Hauptkategorien (siehe Tab. 1). Eine Doppelkodierung des gesamten Materials wurde durch eine*n zweite*n unabhängige*n Rater*in durchgeführt. Es ergab sich eine Interrater-Reliabilität von $\kappa = .92$ (nach Brennan und Prediger) bzw. eine Intercoderübereinstimmung von 92,48 %. Abschließend wurde bei unterschiedlichen Codierungen diskursiv ein Konsens hergestellt (Steinke, 1999).

Ergebnisse

Aus Tabelle 1 wird ersichtlich, dass die Studierenden bei dem Begriff „Physik-Community" zum größten Teil an Menschen denken, aber auch an Tätigkeiten, die Wissenschaft/die Physik selbst und bestimmte Orte. Die meisten Codierungen (203) sind – verglichen mit anderen Hauptkategorien – in der Hauptkategorie *Menschen mit spezifischen Eigenschaften* enthalten. Die in dieser Hauptkategorie am häufigsten genannten Attributionen ordnen sich in die Kategorien *schlau* (47 Codierungen), *freundlich* (36) und *Menschen mit Interesse an Naturwissenschaften* (21). Sehr häufig assoziieren Physikstudierende die PhC auch mit Menschen aus dem eigenen (universitären) Umfeld, insbesondere mit *Kommiliton*innen* (62), und mit *Menschen, die sich beruflich und/oder akademisch mit Physik beschäftigen* wie *Physiklehrende* (50) und *Wissenschaftler*innen (beruflich)* (32). Dieses wird beispielsweise an diesem Zitat deutlich: „Kommilitonen, vor allem aus höheren Semestern, wissenschaftliche Mitarbeiter und Professoren" (Proband*in 19).

Mögliche Interpretationen

Zusammengefasst assoziieren viele Studierende den Begriff „Physik-Community" mit Personen aus ihrem näheren Umfeld und mit Personen, die in einer (Hoch-)Schule als Lehrende oder unkonkret formuliert als Wissenschaftler*innen/Forschende tätig sind, also sehr nahe an der Definition sind. Insgesamt scheinen das direkte universitäre Umfeld und

signifikante Andere wohl die für Studierenden relevante Repräsentant*innen der PhC und damit relevant für die Aushandlung des SBP zu sein.
Legt man ein Augenmerk auf die verschiedenen, spezifischen Attributionen (in Form von Aussagen bestehend aus einem Adjektiv + „Menschen“), so lassen sich zum einen eher positive, aber auch eher stereotypische Eigenschaften finden. Empirisch belegte stereotypische Eigenschaften von Physiker*innen sind beispielsweise, dass man geboren sein muss, um Physiker zu sein, dass Physiker intelligent, begabt und männlich sind, aber auch neugierig und Spaß am Problemlösen haben (u.a. von Hannover & Kessels, 2007). Zudem zeigen sich in einigen Aussagen auch konkrete Äußerungen zu einem hohen SBP (z. B. „Eine Menge Freunde und viel Spaß. Menschen, die verstehen, worüber ich rede und die mit mir auf einer Wellenlänge sind“, Proband*in 410) oder auch geringem bzw. ablehnendem SBP (z. B. „Menschen die wahrscheinlich viel mehr wissen als ich und mich nicht wirklich ernst nehmen“, Proband*in 226).

(zusammenfassende) Hauptkategorie		**Anzahl Kategorien**	**Anzahl Codierungen**
Menschen	Personen aus dem näheren Umfeld	3	83
	Personen des öffentlichen Lebens	3	9
	Menschen, die sich akademisch und/oder beruflich mit Naturw. beschäftigen	2	82
	Andere Personengruppen	5	24
	Menschen mit spezifischen Eigenschaften	13	203
	Zusammensetzung der Community	2	18
Tätigkeiten & Handlungen		2	39
Wissenschaft & Wissen		1	7
Reale und virtuelle Orte		2	5
Emotionen & Bewertungen		2	26
Kenne niemanden		1	7
Summe		**36**	**503**

Tab. 1: Kategoriensystem: Übersicht über die Hauptkategorien

Zwischenfazit und Ausblick

Bislang konnte für die erste qualitative Teilfrage ein Kategoriensystems entwickelt werden, welches erste Schlüsse über die Assoziationen mit der Physik-Community zulässt. Ausstehend ist noch die Auswertung des zweiten offenen Items (FF 1b) mithilfe einer deduktiv-induktiven qualitativen Inhaltsanalyse auf Basis des bereits bestehenden Kategoriensystems. Weiterhin erscheint die Perspektive auf stereotypische Vorstellungen, aber auch auf Indikatoren für SBP gewinnbringend zu sein. Derzeit wird an einer erneuten, interpretativen Codierung für diese Perspektiven gearbeitet. Nach erfolgter Codierung soll untersucht werden, ob es Zusammenhänge zwischen einem stereotypen bzw. nicht stereotypen Bild und dem SBP gibt (FF 2).

Anmerkung

Wir danken der Max-Traeger-Stiftung für die Förderung der VeSP-Be-Studie (Förderkennung: 5149-2021).

Literatur

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. Zeitschrift für Pädagogik, 39(2), 223–238. https://doi.org/10.25656/01:11173

Düchs, G., & Mecke, K. (2022). Ein Fokus auf dem Lehramt. Statistiken zum Physikstudium an den Universitäten in Deutschland 2022. Physik Journal, 21(8/9), 74-79.

Feser, M. S., & Haak, I. (2023). Key features of teacher identity: A systematic meta-review study with special focus on teachers of science or science-related subjects. Studies in Science Education, 59(2), 287-320.

Feser, M. S., Haak, I., & Rabe, T. (2023a). Sense of belonging among first-year physics students in Germany: Exploring intergroup differences and correlations. EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 19(11), em2345.

Feser, M. S., Haak, I., & Rabe, T. (2023b). VeSP-Be – Vergleich von Studieneingangsphasen in Physik hinsichtlich des Sense of Belonging von Studierenden. Dokumentation der Erhebungsinstrumente und deren deskriptive, quantitative Ergebnisse. https://doi.org/10.25656/01:26178

Feser, M. S., & Haak, I. (2022). Key features of teacher identity: A systematic meta-review study with special focus on teachers of science or science-related subjects. Studies in Science Education. https://doi.org/10.1080/03057267.2022.2108644

Feser, M. S., & Michalik, K. (2023). Pre-Service Primary School Teachers' Interdisciplinary Competence and their Interest, Self-Concept, and Sense of Belonging Regarding Natural and Social Sciences: Findings from a Longitudinal Study in Germany. International Electronic Journal of Elementary Education, 15(5), 383–398. https://doi.org/10.26822/iejee.2023.307

Feser, M. S., Rabe, T., & Haak, I. (2024). Echoes of social experience: tracing the link between a sense of belonging in school physics classes and physics students' persistence in higher education. European Journal of Physics, 45(4), 045704.

Hannover, B., & Kessels, U. (2004). Self-to-prototype matching as a strategy for making academic choices. Why high school students do not like math and science. Learning and instruction, 14(1), 51-67.

Kuchynka, S., Findley-Van Nostrand, D., & Pollenz, R. S. (2019). Evaluating psychosocial mechanisms underlying STEM persistence in undergraduates: Scalability and longitudinal analysis of three cohorts from a six-day pre-college engagement STEM academy program. CBE–Life Sciences Education, 18(3), 41. https://doi.org/10.1187/cbe. 19-01-0028

Kuckartz, U. (2014). Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. Beltz Juventa. 2. Auflage.

Lewis, K. L., Stout, J. G., Pollock, S. J., Finkelstein, N. D., & Ito, T. A. (2016). Fitting in or opting out: a review of key social-psychological factors influencing a sense of belonging for women in physics Phys. Rev. Phys. Educ. Res. 12 020110.

Nunn, L. M. (2021). College Belonging: How First-Year and First-Generation Students Navigate Campus Life (Rutgers University Press).

Strayhorn, T. L. (2019). College students' sense of belonging: A key to educational success for all students. Routledge.

Steinke, I. (1999). *Kriterien qualitativer Forschung. Ansätze zur Bewertung qualitativ-empirischer Sozialforschung*. Juventa.

Nastja Riemer[1] [1]Universität Potsdam
Leon Richter[1]

Professionsorientierung in der Physikalischen Chemie für Lehramt

Zum Curriculum eines Chemie Lehramtsstudiums gehören standortunabhängig sowohl fachdidaktische als auch fachwissenschaftliche Module. Zu letzteren zählt die Physikalische Chemie (PC). Das Modul Physikalische Chemie, welches die drei Themenbereiche Thermodynamik, Kinetik und Elektrochemie umfasst, wird an der Universität Potsdam von Lehramtsstudierenden in der Regel im vierten Fachsemester belegt. Anhand von Befragungen wurde ermittelt, dass die Physikalische Chemie aufgrund fehlender Alltags- und Schulbezüge, der zahlreichen (mathematischen) Formeln und des in der Vor- und Nachbereitung zeitaufwändigen Praktikums im Vergleich zu den anderen fachwissenschaftlichen Modulen von den Lehramtsstudierenden als größte Herausforderung wahrgenommen wird. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse wurden an der Universität Potsdam verschiedene Ansätze zur zielgruppenspezifischen, zeitgemäßen und motivierenden Gestaltung von PC-Lehrveranstaltungen für Lehramtsstudierende entwickelt und in der Praxis evaluiert. Das professionsorientierte Maßnahmenpaket beinhaltet unterschiedliche Methoden und Ansätze, wie z. B. den Einsatz von Gamification-Elementen in Kombination mit verschiedenen in der Schule anwendbaren Methoden, die Durchführung eines Planspiels im PC-Seminar sowie die Verwendung interaktiver Versuchsanleitungen sowie eines elektronischen Laborjournals im PC-Praktikum. Letzteres wird im Beitrag „Digitales Lernen im Praktikum Physikalische Chemie“ (siehe Liedtke et al., in diesem Band) thematisiert. Hier soll daher das für das Seminar Physikalische Chemie für Lehramt entwickelte und mehrfach durchgeführte Planspiel, welches zudem die Integration von Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) in die Hochschullehre ermöglicht, näher vorgestellt und damit exemplarisch aufgezeigt werden, wie es gelingen kann, eine fachwissenschaftliche Lehrveranstaltung für Lehramtsstudierende zielgruppenspezifisch und damit professionsorientiert zu gestalten.

Planspiel in der Physikalischen Chemie

Im Rahmen des Projekts *Chemistry for Future* wurden für fachwissenschaftliche Chemieseminare für das Lehramt aufgrund zahlreicher gewinnbringender Aspekte, wie der Förderung von Kommunikations-, Bewertungs- und überfachlichen Kompetenzen (de Boer, 2014; Fitzke, 2019) sowie der Anlehnung an Lebensrealitäten und das Thematisieren gesellschaftsrelevanter Problemstellungen, drei Planspiele erstellt – ein Planspiel zur Anorganischen Chemie (Liedtke, Richter & Riemer, 2024), eines zur Allgemeinen Chemie (Richter, Liedtke & Riemer, im Druck) und das in diesem Beitrag betrachtete Planspiel zur Physikalischen Chemie. Angelehnt an die Motive und Haltung der Gruppe *Fridays for Future* liegt der Fokus aller drei Planspiele auf nachhaltiger Entwicklung und *Green Chemistry* – jeweils eingebettet in die Inhalte der zum entsprechenden Modul gehörenden Vorlesung.
Das übergreifende Thema des PC-Planspiels ist die Umwandlung von Kohlenstoffdioxid CO_2 in für die Industrie nützliche Grundchemikalien, wie z. B. Methan CH_4, Formaldehyd CH_2O oder Ethin C_2H_2. Solche Umwandlungsmethoden werden aus den drei Themenbereichen der PC (Thermodynamik, Elektrochemie und Kinetik) herausgearbeitet. In dem Planspiel werden die Studierenden in eine fiktive Situation versetzt, in der sie sich als Mitarbeitende in einem

Start-up namens *ReCO₂* befinden. Dieses Start-up befasst sich mit den kommerziellen Verwendungsmöglichkeiten von Kohlenstoffdioxid in der chemischen Industrie. Die Studierenden sind in ihrer Rolle als Mitarbeitende in dem Start-up einer Arbeitsgruppe zugeordnet (je vier Studierende), welche sich mit Umwandlungsmethoden in Bezug auf einen der drei Themenbereiche beschäftigt. Die Aufgabe der Arbeitsgruppen ist es, aus drei bis vier vorgegebenen Methoden zur CO_2-Umwandlung eine für das Start-up geeignete Methode unter Berücksichtigung physikalisch-chemischer, grüner und finanzieller Aspekte auszuwählen. Das Ziel der Studierenden ist es damit dem Start-up *ReCO₂* zum Erfolg zu verhelfen.

In Bezug auf die physikalisch-chemischen Aspekte zu den Umwandlungsmethoden werden in jedem Themenbereich die entsprechenden Methoden modellhaft auf den Einsatz im Start-up geprüft, indem die Studierenden verschiedene Werte zu den Reaktionen der Methoden berechnen. Dabei werden viele der in der Realität zusätzlich zu betrachtenden Werte, Eigenschaften und Praktiken bei der Umsetzung eines solchen Verfahrens vereinfacht und auf bekannte Konzepte aus der Vorlesung bezogen. Durch verschiedene Berechnungen, welche die Grundlage für eine problemorientierte Anwendung bilden, werden die fachwissenschaftlichen physikochemischen Fähigkeiten und Fertigkeiten der Studierenden vertieft. Im Themenbereich der Thermodynamik wird zu drei verschiedenen Reaktionen die freie Reaktionsenthalpie $\Delta_R G$ berechnet und jeweils gegen die Temperatur bei Normaldruck in einem Intervall von 0–1000 °C geplottet (vgl. Gorimbo & Muvhiiwa, 2022). Mithilfe eines solchen freie Enthalpie-Temperatur-Diagramms können die Studierenden abschätzen, bei welchen Temperaturen die Reaktionen jeweils freiwillig ablaufen und inwiefern diese sich auch wirtschaftlich – z. B. in Bezug auf Heizkosten etc. – für den kommerziellen Einsatz im Start-up eignen. Im Bereich der Kinetik liegt der Fokus auf Reaktionen, bei welchen Kohlenstoffdioxid durch Enzyme zu anderen Chemikalien umgesetzt wird (vgl. Patil et al., 2022). Die Studierenden sollen zu jeder Reaktion die Geschwindigkeit v_R sowie die Aktivierungsenergie E_A berechnen. Da es sich um enzymkatalysierte Reaktionen handelt, ist von den Studierenden dabei die Michaelis-Menten-Kinetik zu beachten. Mit den errechneten Werten können die Studierenden ableiten, inwiefern die jeweils betrachtete Reaktion schnell oder energieintensiv abläuft, woraus sich eine potentielle Eignung für das Start-up ableiten lässt. In dem Bereich der Elektrochemie betrachten die Studierenden verschiedene Elektrolyse-Kohlenstoffdioxid-Umwandlungen (vgl. Weekes et al., 2018; Kortlever et al., 2015). Dabei sind jeweils die Elektrodenpotentiale anhand der Nernst-Gleichung zu berechnen und daraus die Zersetzungsspannung E_Z der jeweiligen Elektrolyse-Reaktion zu bestimmen. Die Studierenden leiten daraus ab, welches Verfahren jeweils weniger Strom für den Ablauf der Elektrolyse nutzt.

In Bezug auf die Aspekte zur Grünen Chemie bei den Umwandlungsmethoden prüfen die Studierenden, inwiefern die 12 Prinzipien der Grünen Chemie (Anastas & Warner, 1998) in der jeweiligen Methode Anwendung finden bzw. finden können. Auch berechnen die Studierenden zwei metrische Größen der Grünen Chemie (E-Faktor und Atomökonomie) jeweils zur Prozessevaluation der jeweiligen Umwandlungsmethoden. Der E-Faktor beschreibt die Masse an Abfall, die in Relation zur Masse an gewünschtem Produkt bei einer Reaktion entsteht (Idealwert: 0; Sheldon, 2007). Hierbei ist im Planspiel mit den Studierenden zu diskutieren, inwiefern Reaktionsnebenprodukte der Umwandlungsmethoden, wie z. B. Wasser, Wasserstoff oder Sauerstoff, als Abfall anzusehen sind. Die Atomökonomie beschreibt, wie viel Prozent der Atome der Edukte einer Reaktion im gewünschten Produkt enden (Idealwert 100 %; Trost, 1991).

Die Studierenden sollen dann in ihrer Arbeitsgruppe die verschiedenen Verfahren anhand der benannten Aspekte und der jeweiligen Verkaufspreise der aus den Verfahren entstehenden Produkte für das Start-up gewichten und eine Empfehlung für ein Verfahren abgeben. Diese Entscheidung und die dazugehörige Begründung stellen die Studierenden im Plenum vor. Anschließend sollen die Lernenden diskutieren und untersuchen, inwiefern die jeweiligen drei Verfahren noch nachhaltiger gestaltet werden können. Dabei sollten sie darauf eingehen, wie und wo die Edukte beschafft werden sollen, wo die Anlage am besten stehen sollte, wie sie die Nebenprodukte handhaben oder vielleicht sogar nutzen würden. Das Planspiel wurde so gestaltet, dass es innerhalb einer regulären Seminarsitzung durchgeführt werden kann. In der Seminarsitzung vor dem eigentlichen Planspiel erhalten die Studierenden Übungsaufgaben und werden den Arbeitsgruppen des Start-ups zugeordnet. Die Übungsaufgaben an sich umfassen die Berechnungen zu den physikalisch-chemischen Aspekten der Umwandlungsmethoden ihrer Gruppe/Abteilung, welche in Vorbereitung auf das Planspiel anstelle eines regulären Übungsblattes bearbeitet werden. Das eigentliche Planspiel umfasst die folgenden Phasen: I) Einführung in Planspiel-Setting und Green Chemistry, II) Rollenübernahme in den Teams durch die Studierenden, III) Bearbeitung der Teamaufgaben (Gewichtung der Verfahren) und Rollendiskussion, IV) Entscheidungsfindung der jeweiligen Teams zu den Verfahren und V) Reflexion in der Gruppe. Das Planspiel ist für das Ende der Lehrveranstaltung vorgesehen, da es a) den Abschluss der Lehrveranstaltung darstellt und b) die Studierenden einen Einblick in die Anwendungen der drei Themenbereiche erhalten. Es bildet den Abschluss des Seminars, indem es alle drei im PC-Modul behandelten Themenbereiche abdeckt und die Studierenden gezielt in dem Themenbereich, in dem sie noch Schwierigkeiten haben, durch wiederholende Übungsaufgaben gefördert werden.

Rückmeldungen zum Planspiel und Fazit

Durch eine Evaluation ($N = 13$) des Planspiels wurde ermittelt, dass ca. 95 % ($N = 11$) der Studierenden durch die Auseinandersetzung mit der Physikalischen Chemie im Rahmen des Planspiels motiviert wurden, sich eingehender mit PC-Inhalten zu beschäftigen. Außerdem gefällt es 100 % der befragten Studierenden, dass durch das Planspiel Aufgaben mit Bezug zur Nachhaltigkeit in das PC-Seminar integriert werden. Auch wurde von 92 % der Studierenden anerkannt, dass das PC-Planspiel-Thema gesellschaftliche Relevanz aufweist. Zudem wurde der Lehramtsbezug positiv hervorgehoben sowie die alltagsbezogenen Inhalte. Auch die Anwendungsorientierung und die kooperative Arbeitsweise wurden gelobt.

Insgesamt ist es also durch die Integration der Planspielmethode in ein fachwissenschaftliches PC-Seminar für Lehramtsstudierende gelungen, die entsprechende Lehrveranstaltung professionsorientierter zu gestalten. Zusätzlich konnten durch die gewählte Planspielthematik Nachhaltigkeitsaspekte in das PC-Seminar integriert werden. Als Limitation ist zu bedenken, dass die Begrenzung des Planspiels auf eine Seminarzeit von 90 Minuten den möglichen Umfang der Inhalte und deren Umsetzung im Planspiel deutlich einschränkt. Im Zusammenhang mit dem Planspiel wurden fachwissenschaftliche Inhalte angewendet und vertieft sowie zeitgleich die Kommunikations-, Bewertungs- und überfachlichen Kompetenzen der Studierenden gefördert. Zudem vertiefen die Lehramtsstudierenden durch das Planspiel ihr Wissen über eine Methode des offenen Unterrichts und erweitern ihr Methodenrepertoire. All diese Aspekte sowie die durchweg positiven Rückmeldungen der Studierenden zeigen den eindeutig positiven Effekt der Anwendung einer schulrelevanten Methode in einer fachwissenschaftlichen Lehrveranstaltung für angehende Lehrkräfte im Bereich der Hochschullehre.

Literatur

Anastas, P. T. & Warner, J. C. (1998). Green chemistry: Theory and practice. Oxford University Press.

de Boer, H. (2014). Bildung sozialer, emotionaler und kommunikativer Kompetenzen – ein komplexer Prozess. In C. Rohlfs, M. Harring & C. Palentien (Hrsg.), Kompetenz-Bildung (S. 23–38). Springer Fachmedien Wiesbaden. doi: 10.1007/978-3-658-03441-2_2

Fitzke, C. (2019). Förderung überfachlicher Kompetenzen an Hochschulen: Neurowissenschaftliche Erkenntnisse in der Studienberatung nutzen. Springer. doi: 10.1007/978-3-658-26903-6

Gorimbo, J. & Muvhiiwa, R. (2022). Thermodynamics of CO_2 conversion. In Inamuddin, R. Boddula, M. I. Ahamed & A. Khan (Hrsg.), Carbon dioxide utilization to sustainable energy and fuels (S. 79–89). Cham: Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-030-72877-9_4

Kortlever, R., Shen, J., Schouten, K. J. P., Calle-Vallejo, F. & Koper, M. T. M. (2015). Catalysts and reaction pathways for the electrochemical reduction of carbon dioxide. The Journal of Physical Chemistry Letters, 6 (20), 4073-4082. doi: 10.1021/acs.jpclett.5b01559

Liedtke, P., Richter, L., & Riemer, N. (2024). Chemistry for Future. In N. Graulich, J. Arnold, S. Sorge & M. Kubsch (Hrsg.), Lehrkräftebildung von morgen (S. 127–133). Waxmann Verlag GmbH. doi: 10.31244/9783830997962.14

Patil, P. D., Chahande, A. D., Marghade, D. T., Bhange, V. P. & Tiwari, M. S. (2022). Enzymatic CO_2 conversion. In Inamuddin, R. Boddula, M. I. Ahamed & A. Khan (Hrsg.), Carbon dioxide utilization to sustainable energy and fuels (S. 91–111). Cham: Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-030-72877-9_5

Richter, L., Liedtke, P., & Riemer, N. (im Druck): Vernetzung von Chemie und Politischer Bildung durch Planspiele ermöglichen, In L. Girnus, I.-C. Panreck & M. Partetzke (Hrsg.), Zwischen Technokratisierung und Demokratieanspruch. Springer VS Wiesbaden.

Sheldon, R. A. (2007). The E factor: fifteen years on. Green Chemistry, 9(12), 1273-1283.

Trost, B. M. (1991). The atom economy—a search for synthetic efficiency. Science, 254(5037), 1471-1477.

Weekes, D. M., Salvatore, D. A., Reyes, A., Huang, A. & Berlinguette, C. P. (2018). Electrolytic CO_2 reduction in a flow cell. Accounts of Chemical Research, 51 (4), 910-918. doi: 10.1021/acs.accounts.8b00010

Marvin Kaldewey[1]
Stefanie Schwedler[1]

[1]Universität Bielefeld

Selbstreguliertes Lernen in der Physikochemie aus Studierendensicht

Ausgangslage

Die Studieneingangsphase gilt als anspruchsvolle Transitionsphase von der Schule zur Hochschule und damit als maßgeblich für den Studienerfolg (Bosse & Trautwein, 2014). Besonders in den MINT-Disziplinen führen Leistungsprobleme bei vielen Erstsemesterstudierenden zum Scheitern (Heublein et al., 2017). Zu Beginn des Chemiestudiums sind entsprechende Überforderungen häufig mit dem Verstehen und dem Selbststudium in Mathematik und Physikalischer Chemie (PC) verbunden (Schwedler, 2017). Im Hauptfach PC resultiert ein mangelndes Verständnis der Grundkonzepte aus Verflechtungen von inadäquaten, situativen mentalen Modellen, der komplexen Mathematik und einer Vernachlässigung der submikroskopischen Ebene (Bain et al., 2014; Tsaparlis & Finlayson, 2014; Nyachwaya & Wood, 2014). Zudem greifen Studierende auf überwiegend algorithmische, wenig verständnisorientierte Lernweisen in der PC zurück (z. B. Nyachwaya et al., 2014).

Das universitäre Selbststudium bietet im Vergleich zur Schule größere Freiheiten, bringt jedoch auch erhebliche Herausforderungen hinsichtlich der Selbstregulation mit sich (Perels et al., 2020). Obschon sich die chemiedidaktische Forschung dieser Lernphase angenommen hat, ist die Studienlage insgesamt unzureichend (Ye et al., 2015). Häufig wurden nur einzelne Aspekte des Selbstlernens in der Allgemeinen oder Organischen Chemie untersucht (Grove & Bretz, 2012; Willson-Conrad & Grunert Kowalske, 2018). Dabei wird die Perspektive der Studierenden oft vernachlässigt, was das Wissen über ihre Beweggründe, Ziele und die Rolle des Verstehens im individuellen Lernverhalten einschränkt (Sözbilir, 2004; Nayyar, Demirdöğen & Lewis, 2024). Eine entsprechende Analyse des Selbststudiums fehlt in der PC, obwohl sie angesichts der fachspezifischen Probleme von besonderer Relevanz ist. Das Forschungsvorhaben beabsichtigt daher, die Lernprozesse im Selbststudium der PC zu Studienbeginn umfassend zu charakterisieren und hinsichtlich ihrer Verständnisorientierung zu untersuchen, wobei zunächst die Zielsetzungen der Studierenden fokussiert betrachtet werden.

Die Rolle von Zielen im Selbstregulierten Lernen

Die Theorien des Selbstregulierten Lernens (SRL) eignen sich besonders für eine solche holistische Charakterisierung (Deing, 2019). Trotz diverser SRL-Modelle mit unterschiedlichen Schwerpunkten lassen sich gemäß Göller (2020) vier übergreifende Kategorien identifizieren: Zum einen umfasst das Konzept *Strategien*, welche die Handlungen der Studierenden und die Nutzung von Ressourcen in der (Selbst-)Lernphase beschreiben. Zum anderen berücksichtigt es *Beliefs* (z. B. Selbstwirksamkeitsüberzeugungen), *Bewertungen* (z. B. wahrgenommene Relevanz der Lerninhalte) und die hier fokussierten *Ziele*, die Aufschluss über individuelle Beweggründe im Lernen geben können.

Zimmermans (2000) Modell beschreibt SRL als einen zyklischen Prozess, der aus drei Phasen besteht: die Voraussicht, die Ausführung und die Selbstreflexion. Zu Beginn werden Ziele festgelegt und Strategien ausgewählt. Daraufhin finden die Anwendung der Strategien und

Überwachungsprozesse statt. Abschießend werden die Ergebnisse bewertet, was wiederum den nächsten Lernzyklus beeinflusst. Ziele spielen in diesem Modell eine zentrale Rolle, indem sie denn Soll-Zustand definieren, der durch Regulationsprozesse angestrebt wird. So initiieren sie nicht nur das Handeln, sondern dienen auch als Maßstab für die Überwachung und Bewertung (Kleinbeck, 2006). Im Rahmen des Forschungsprojekts sind vor allem Zielorientierungen von Interesse, die im Gegensatz zu konkreten Einzelzielen (z. B. das Lösen eines Übungsblatts) überdauernde Präferenzen für gewisse Ziele widerspiegeln (Pintrich, 2000; Dresel & Lämmle, 2011). Lernende mit einer Lernzielorientierung streben bevorzugt eine Erweiterung ihrer Fähigkeiten an und legen besonderen Wert auf das Verstehen der Lerninhalte, während bei einer Leistungszielorientierung das Lernergebnis, soziale Vergleiche und Noten im Fokus stehen (ebd.). Boeakaerts (2017) betont in ihrem SRL-Modell darüber hinaus die Rolle von affektiven Zielen, die auf den Schutz des eigenen Wohlbefindens ausgerichtet sind. Zielorientierungen sind im Allgemeinen empirisch gut untersucht (Meece et al., 2006; Dresel & Lämmle, 2011). So hängt eine Lernzielorientierung mit einem positiven Lernverhalten zusammen, z. B. mit dem Einsatz elaborierter Lernstrategien. Orientieren sich Lernende hingegen daran, schlechte Leistungen zu vermeiden, werden z. B. eher Oberflächenstrategien eingesetzt. Das Streben nach der Demonstration guter Leistungen ist ambivalent, da es nicht zu einer langfristigen Auseinandersetzung mit den Lerninhalten führt, aber zumindest kurzfristig gute Leistungen sichert. Im Kontext der Allgemeinen Chemie können im Wesentlichen ähnliche Zusammenhänge sowie der Einfluss von Zielen auf die Wahl von Lernstrategien herausgestellt werden (Lewis, 2018; Nayyar, Demirdöğen & Lewis, 2024). In PC zeigt eine Studie von Sözbilir (2004) zwar den Wunsch nach Verstehen auf, eine genaue Untersuchung der studentischen Zielsetzungen im Rahmen ihres SRL in diesem Fach steht jedoch noch aus.

Forschungsfragen und -design

Die Untersuchung der studentischen Ziele im Selbststudium der PC erfolgt im Rahmen eines umfassenderen Forschungsprojekts zu dieser Lernphase. Auf Ebene dieses Projekts werden die genutzten Lernressourcen und -strategien von Erstsemestern analysiert, mögliche Erklärungsansätze herausgearbeitet, die Rolle des Verstehens charakterisiert sowie Veränderungen im Laufe des ersten Semesters aufgezeigt. An dieser Stelle stehen folgende Fragen im Fokus:

- F1) Welche Ziele für das Selbststudium in PC werden von Erstsemestern berichtet?
- F2) Inwiefern wird ein Verstehensziel – im Verhältnis zu anderen Zielen – in PC verfolgt?
- F3) Inwieweit verändern sich die Ziele der Studierenden im ersten Semester?
- F4) Wie lässt sich der Zusammenhang zwischen Zielen und Lernweisen der Studierenden charakterisieren?

Die Datenerhebung erfolgte mittels problemzentrierter Interviews zu den *Strategien*, *Zielen*, *Beliefs* und *Bewertungen* sowie zur Rolle des Verstehens im Selbststudium. Auf Basis einer Pilotstudie im WS 20/21 (N = 15) wurde das Erhebungsverfahren im WS 21/22 (N = 21) und WS 22/23 (N = 9) ausgeweitet. Im Zuge dieser Hauptstudie wurden Erstsemester der Chemie oder chemienaher Studiengänge semesterbegleitend zu je drei Zeitpunkten (vor, während und nach der PC-Basisveranstaltung) interviewt. Zudem berichteten Teilnehmende einer triangulierenden Lerntagebuchstudie im WS 22/23 regelmäßig schriftlich von ihren Vorgehensweisen und Beweggründen im Selbstlernen der PC (N = 8, insg. 71 Einträge). Zur Datenauswertung findet die inhaltlich strukturierende und evaluative qualitative Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2018) Anwendung, wobei die Kategorien deduktiv-induktiv gebildet werden.

Ausgewählte Ergebnisse

Studierende äußern ihre Ziele nicht nur als Antwort auf konkrete Nachfragen, sondern auch eigeninitiativ als Begründung für ihr Handeln im Selbststudium. Auf deskriptiver Ebene (F1) können dabei gemäß der Literatur (s. o.; Göller 2020) Leistungsziele, Lernziele und Ziele zum Schutz des eigenen Wohlbefindens unterschieden werden. Die Leistungsziele beziehen sich in erster Linie auf die Klausur, wobei vereinzelt auch Aspekte wie das Einhalten der Regelstudienzeit angeführt werden. Während ein wesentlicher Teil der Proband*innen die PC-Klausur lediglich bestehen möchte, strebt der andere Teil ein höheres Klausurziel wie eine gute Note an. Hinsichtlich tieferliegender Begründungen unterscheiden sich die Gruppen etwa in ihrer Selbstwirksamkeitserwartung oder persönlichen Ansprüchen. Die berichteten Lernziele lassen sich auf einem Spektrum verorten, das von der Absicht eines groben Nachvollziehens oder Auswendiglernens bis zu einem Wunsch nach tiefem Konzeptverständnis reicht. Dazwischen liegt z. B. das Vorhaben, sich die nötigen Grundlagen in PC für das spätere Studium oder den Beruf anzueignen, oder auch das Ziel, die (physiko-)chemiespezifischen Aufgaben sicher lösen zu können. Der Schutz des eigenen Wohlbefindens wird nur selten thematisiert. Ausnahmen bilden vereinzelte Fälle, in denen eine starke Überforderung im Selbststudium zu beobachten ist, die mit entsprechenden affektiven Zielen einhergeht.

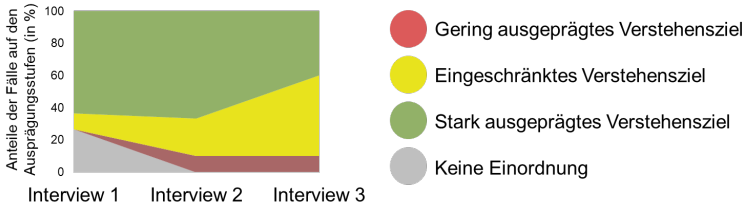


Abb. 1: Ausprägung des Verstehensziel im Selbststudium der PC im Semesterverlauf.

Aus evaluativer Perspektive (F2) lässt sich ein stark ausgeprägtes Verstehensziel bei einem Großteil der Studierenden, insbesondere in Interview 1 und 2, feststellen (Abb. 1, grün). In mehreren Fällen wird der Wunsch nach Verstehen auch am Semesterende betont. Diese Personen haben oft ein hohes Fachinteresse und sehen einen großen Nutzen im Konzeptverständnis. Ein gering ausgeprägtes Verstehensziel wird hingegen nur in wenigen Fällen beobachtet, in denen etwa Leistungsziele im Vordergrund stehen oder das Fach PC negativ bewertet wird (Abb. 1, rot). Dennoch schränken mehrere Studierende ihr Verstehensziel zum Ende des Semesters ein (Abb. 1, gelb). Begründungen für diese Veränderung (F3) betreffen u. a. die Klausur. So wird z. B. oft das Konzeptverständnis nicht als Klausuranforderung wahrgenommen oder das nicht verhandelbare Bestehensziel vor das Verstehensziel gestellt. Noch stärker fällt die Einschränkung der Verständnisorientierung bezüglich der eingesetzten *Strategien* der Studierenden aus, sodass es in einigen Fällen zu einem *mismatch* zwischen den Zielen und den individuellen Lernweisen (F4) kommt, der mit Frustration und Stress verbunden ist.

Um sowohl der kritischen Zielentwicklung als auch dem beschriebenen *mismatch* zu begegnen, bedarf es einerseits einer stärkeren Sensibilisierung der Lehrenden für die studentischen Ziele sowie einer klareren Explikation der Lernziele der Veranstaltung, die wiederum auch mit der Prüfung korrespondieren. Andererseits benötigen Studierende ein entsprechendes Strategierepertoire, um ihre Ziele auch tatsächlich verfolgen zu können. Die laufende Analyse des Selbststudiums in PC soll diese Bedarfe und mögliche Unterstützungen konkretisieren.

Literatur

Bain, K., Moon, A., Mack, M. R. & Towns, M. H. (2014). A review of research on the teaching and learning of thermodynamics at the university level. Chemistry Education Research and Practice, 15(3), 320–335

Boekaerts, M. (2017) Cognitive load and self-regulation: Attempts to build a bridge. Learning and Instruction, 51, 90–97

Bosse, E., & Trautwein, C. (2014). Individuelle und institutionelle Herausforderungen der Studieneingangsphase. Zeitschrift für Hochschulforschung, 9(5), 41–62

Deing, P. (2019). Selbstreguliertes Lernen. Theoretische Grundlagen und Förderempfehlungen. In S. Rietmann & P. Deing (Eds.), Psychologie der Selbststeuerung. Wiesbaden: Springer, 319–345

Dresel, M. & Lämmle, L. (2011). Motivation. In T. Götz (Eds.), Emotion, Motivation und selbstreguliertes Lernen. Paderborn: Schöningh, 79–142

Göller, R. (2020). Selbstreguliertes Lernen im Mathematikstudium. Wiesbaden: Springer

Grove, N. P. & Bretz, S. L. (2012). A continuum of learning: from rote memorization to meaningful learning in organic chemistry. Chemistry Education Research and Practice, 13(3), 201–208

Heublein, U., Ebert, J., Hutzsch, C., Isleib, S., König, R., Richter, J., et al. (2017). Zwischen Studienerwartungen und Studienwirklichkeit. Hannover: DZHW Forum Hochschule

Kleinbeck, U. (2006). Handlungsziele. In J. Heckhausen & H. Heckhausen (Eds.), Motivation und Handeln (3. Aufl.). Heidelberg: Springer, 255–276

Kuckartz, U. (2018). Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. Grundlagentexte Methoden (4. Aufl.). Weinheim Basel: Beltz Juventa

Lewis, S. E. (2018). Goal orientations of general chemistry students via the achievement goal framework. Chemistry Education Research and Practice, 19(1), 199–212

Meece, J. L., Anderman, E. M., & Anderman, L. H. (2006). Classroom goal structure, student motivation, and academic achievement. Annual Review of Psychology, 57, 487–503

Nayyar, P., Demirdöğen, B. & Lewis, S. E. (2024). Factors that influence general chemistry students' decision making in study strategies. Chemistry Education Research and Practice, 25(3), 877–894

Nyachwaya, J. M., Warfa, A.-R. M., Roehrig, G. H., & Schneider, J. L. (2014). College chemistry students' use of memorized algorithms in chemical reactions. Chemistry Education Research and Practice, 15(1), 81–93

Nyachwaya, J. M., & Wood, N. B. (2014). Evaluation of chemical representations in physical chemistry textbooks. Chemistry Education Research and Practice, 15(4), 720–728

Perels, F., Dörrenbächer-Ulrich, L., Landmann, M., Otto, B., Schnick-Vollmer, K. & Schmitz, B. (2020). Selbstregulation und selbstreguliertes Lernen. In E. Wild & J. Möller (Eds.), Pädagogische Psychologie. Berlin, Heidelberg: Springer, 45–66

Pintrich, P. R. (2000). The Role of Goal Orientation in Self-Regulated Learning. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich & M. Zeidner (Eds.), Handbook of Self-Regulation. San Diego, CA: Academic Press, 451–502

Schwedler, S. (2017). Was überfordert Chemiestudierende zu Studienbeginn? Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 23, 165–179

Sözbilir, M. (2004). What Makes Physical Chemistry Difficult? Perceptions of Turkish Chemistry Undergraduates and Lecturers. Journal of Chemical Education, 81(4), 573–578

Tsaparlis, G., & Finlayson, O. E. (2014). Physical chemistry education: Its multiple facets and aspects. Chemistry Education Research and Practice, 15(3), 257–265

Willson-Conrad, A. & Grunert Kowalske, M. (2018). Using self-efficacy beliefs to understand how students in a general chemistry course approach the exam process. Chemistry Education Research and Practice, 19(1), 265–275

Ye, L., Oueini, R., Dickerson, A. P. & Lewis, S. E. (2015). Learning beyond the classroom: using text messages to measure general chemistry students' study habits. Chemistry Education Research and Practice, 16(4), 869–878

Zimmerman, B. J. (2000). Attaining Self-Regulation: A Social Cognitive Perspective. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich & M. Zeidner (Eds.), Handbook of Self-Regulation. San Diego, CA: Academic Press, 13–39

Luc B. Albrecht[1] [1]Universität zu Köln
Christiane S. Reiners[2] [2]Universität zu Köln

Kritisches Denken in den Naturwissenschaften: Analyse und Konsequenzen

Die Neudefinition Kritischen Denkens

Kritisches Denken stellt eine zentrale Schlüsselkompetenz für das 21. Jahrhundert dar (Rat der Europäischen Union, 2018) und wird insbesondere in den Naturwissenschaftsdidaktiken als relevante Fähigkeit und Lernziel formuliert (Byrne & Johnstone, 1987; Vieira et al., 2011; Yacoubian, 2015). Dennoch bleibt das Kritische Denken oft vage und uneindeutig definiert (Rafolt et al., 2019), was eine Adressierung im naturwissenschaftlichen Unterricht erschwert. Im Gegensatz zu philosophischen und psychologischen Definitionsansätzen, welche Kritisches Denken als übergeordnetes Konstrukt verstehen und auch den metakognitiven Charakter herausstellen (Halpern, 2014; Kuhn, 1999; Paul & Elder, 2014), wird in den Bildungswissenschaften und Naturwissenschaftsdidaktiken Kritisches Denken schwerpunktmäßig als Kombination von Fähigkeiten und Dispositionen dargestellt (Byrne & Johnstone, 1987; Ennis, 1989; Facione, 1990; Yacoubian, 2015). Hierbei liegt der Schwerpunkt oft auf der Ausbildung rationaler Fähigkeiten, wie der Analyse oder Bewertung von Informationen, wobei die Dispositionen, wie Neugier, Selbstvertrauen oder Aufgeschlossenheit (Facione, 1990), zumeist deskriptiv verbleiben, ohne eine Richtung der Förderung oder Entwicklung darzulegen. Zugleich findet die affektive Ebene, welche das Denken in Bewertungssituationen auf der unbewussten Ebene maßgeblich formt (Kahneman, 2012; Slovic et al., 2002), nur selten Beachtung und wird von wenigen naturwissenschaftsdidaktischen Autoren explizit behandelt (Brambatti Guzzo & Dall'Alba, 2017; Rafolt et al., 2019). Wenn es das Ziel naturwissenschaftlicher Grundbildung ist, Lernende zu befähigen, naturwissenschaftliches Wissen anzuwenden, Bezüge zu den Naturwissenschaften in ihrer Lebensrealität zu erkennen und auf dieser Grundlage Entscheidungen zu treffen (Organisation for Economic Co-operation and Development, 1999), kann nicht davon ausgegangen werden, dass Handlung lediglich die Anwendung von Wissen darstellt. Besonders in komplexen Bewertungssituationen, wie bei Socioscientific Issues (SSI) der Fall, zeigen sich aufgrund der Uneindeutigkeit der Lösungen und der moralischen Komplexität Herausforderungen, Wissen anzuwenden, was sich beispielsweise durch die Vermeidung einer klaren Stellungnahme seitens der Lernenden zeigt (Chen & Xiao, 2021). Dies verdeutlicht den Unterschied zwischen einem Verfügungswissen, welches versucht, die Antwort darauf zu geben, wie etwas getan werden kann, und einem Orientierungswissen, welches handlungsleitend aufzuzeigen vermag, was getan werden sollte, und auch moralisch-ethische Aspekte beinhaltet (Mohr, 1989; Reiners, 2022). Aus diesem Spannungsverhältnis erwächst die Notwendigkeit einer Neudefinition Kritischen Denkens, welche die verschiedenen Definitionsansätze zusammenführt, sowohl die kognitive als auch die affektive Ebene adressiert, die metakognitive Ebene berücksichtigt und eine Operationalisierung des Konstruktes ermöglicht. Folgende Neudefinition Kritischen Denkens wird daher vorgeschlagen:

> Kritisches Denken (KD) bezeichnet eine sorgfältige, systematische und vor allem begründete Entscheidungsfindung bei der Auseinandersetzung der*s Denkenden mit einem Objekt oder Subjekt. Diese Auseinandersetzung beinhaltet die Evaluation und Anwendung des eigenen Wissens und der eigenen Fähigkeiten auf kognitiver Ebene sowie die Berücksichtigung der eigenen Emotionen, Werte, Einstellungen und Motivationen auf affektiver Ebene. Es umfasst

zudem eine konstante Selbstreflexion und -regulation, die eine Rückkopplung zur*m Denkenden selbst ermöglicht und diese*n nicht nur in die Position der*s Bewertenden, sondern auch in die Position der*s zu Bewertenden versetzt (eigene Definition in Anlehnung u. a. an Halpern, 2014; Kahneman, 2012; Kuhn, 1999; Rafolt et al., 2019).

Kritischem Denken kommt damit eine Schlüsselrolle zu, da es nicht nur eine Fähigkeit, sondern den Prozess geleiteten Denkens selbst darstellt. Das Kritische am Denken ist somit sein multiperspektivisch-prüfender Charakter, welcher nicht allein die Anwendung des Wissens und der Fähigkeiten bestimmt, sondern auch die affektiven Kontexte berücksichtigt, in denen diese zur Ausprägung kommen. Bezogen auf den naturwissenschaftlichen Unterricht lässt sich folgern, dass naturwissenschaftliches Wissen sowie ein Bewusstsein der Epistemologie durch ein Verständnis von Nature of Science (NOS) zwar notwendige, jedoch keine hinreichenden Bedingungen für Kritisches Denken darstellen (Ennis, 1989). Nur ergänzt durch die Selbstreflexion interner und externer Einflussfaktoren können in komplexen Bewertungssituationen bestehende Ansichten hinterfragt, soziale Kontexte miteinbezogen und voreilige Schlüsse überdacht werden (Lee & Yang, 2019). Diese drei Faktoren - naturwissenschaftliches Wissen, epistemologisches Verständnis und Selbstreflexion - bedingen sich systemisch gegenseitig und spannen einen multiperspektivischen Möglichkeitsraum auf, welcher Lernende dazu befähigt, naturwissenschaftliches Wissen in übergeordneten Kontexten wahrzunehmen (Abbildung 1).

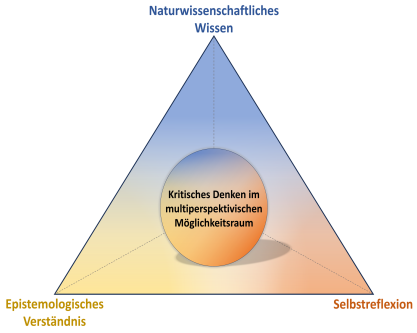


Abbildung 1: Triadisches Modell Kritischen Denkens in der Naturwissenschaftsdidaktik (eigene Darstellung)

Operationalisierung Kritischen Denkens

Die Operationalisierung Kritischen Denkens auf Basis der vorgeschlagenen Definition knüpft an eine Reihe von Gelingensbedingungen, welche das Instrument erfüllen muss. Es sollte

- unabhängig vom Fachwissen sein, da Kritisches Denken als multiperspektivische Denkpraxis und nicht das Fachwissen gemessen werden soll,
- gleichzeitig Zugriff auf mehrere Dimensionen des Denkens ermöglichen, also sowohl die affektive als auch kognitive Dimension systemisch erfassen,
- kontextunabhängig sein, um in unterschiedlichen fachdidaktischen Kontexten anwendbar zu sein
- und eine Fremdeinschätzung der Fähigkeit zum Kritischen Denken ermöglichen, da Selbsteinschätzungen stärkeren Verzerrungserscheinungen unterliegen.

Basierend auf den drei Komponenten Kritischen Denkens im naturwissenschaftlichen Unterricht - naturwissenschaftliches Wissen, epistemologisches Verständnis und Selbstreflexion - wurde ein Operationalisierungsansatz erprobt, welcher die Bewertungsansätze von Chemielehramtsstudierenden in verschiedenen SSI-Kontexten analysiert. Dazu wurden semistrukturierte Leitfadeninterviews mit Studierenden des Chemielehramts der Universität zu Köln durchgeführt und Stellungnahmen zu verschiedenen Kontexten, wie Windenergie vs. Solarenergie, Elektromobilität vs. Brennstoffzellen oder Fracking, erfragt. Dabei war es weniger von Relevanz, welches Fachwissen bei den Teilnehmenden vorhanden war oder welches Urteil sie fällten, sondern wie sich der Positionierung genähert wurde. In Anlehnung an Clough (2008) oder Paul und Elder (2014) kann angenommen werden, dass die Fähigkeit zu denken durch die Fähigkeit bestimmt wird, sich selbst Fragen zu stellen. Dementsprechend war es den

Teilnehmenden erlaubt, Fragen zu formulieren, die sie für ihre Bewertung als relevant erachteten. Das Interviewformat wurde sowohl mit freiwilligen Studierenden im Bachelor (B.A.)-(*N*=10) als auch im Masterstudiengang (M.Ed.) (*N*=7) Lehramt Chemie erprobt und in einem Pre/Post/Follow-Up Design gestaltet. Zwischen den Interviews lagen Seminareinheiten mit Schwerpunkten auf Nature of Science (u. a. Driver et al., 1996; Osborne et al., 2003), der Bewertung von Quellen (u. a. Meßmer et al., 2021), der Abgrenzung zwischen Wissenschaft und Pseudowissenschaft (u. a. Mahner, 2013) und Kritischem Denken (u. a. Paul & Elder, 2014; Rafolt et al., 2019). In diesem Kontext wurde eine Fördermöglichkeit, die systemisch-reflexive Stellungnahme, erprobt, welche aus einer Sachanalyse eines Kontextes und Bewertung der verwendeten Quellen in Einzelarbeit, einem dialogischen Selbstreflexionstraining mithilfe eines Impulsleitfadens im Tandem, einer systemisch-reflexiven Stellungnahme in Kleingruppen und einer abschließenden Prozessreflexion in Einzelarbeit bestand. Das Follow-Up-Interview erfolgte etwa sechs Monate später. Auf die ebenfalls durchgeführte Fragebogenstudie, welche einen Abgleich der Fremdeinschätzung mit der Selbsteinschätzung zum Ziel hatte, wird an dieser Stelle nicht weiter eingegangen.

Das gewonnene Interviewmaterial wurde mittels deduktiv-induktiver Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2016) analysiert, kodiert sowie von einer weiteren Person interkodiert. Basierend auf den drei Teilbereichen Kritischen Denkens im naturwissenschaftlichen Unterricht wurden deduktiv die drei Kategorien der fachlichen Bewertung (NW-A, $\kappa 1 = 0{,}84/0{,}89$), des epistemologischen Verständnisses (EP-A, $\kappa 1 = 0{,}87/0{,}88$) und der Selbstreflexion (SR-A, $\kappa 1 = 0{,}85/0{,}90$) gebildet und diese induktiv um Subkategorien erweitert. Ausschlaggebend für die Bewertung war, wie viele verschiedene Subkategorien der einzelnen Aspekte für die Bewertung und Positionierung im Kontext hinzugezogen wurden, um dem multiperspektivischen Charakter Kritischen Denkens Rechnung zu tragen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Anzahl der verschiedenen Subkategorien (Perspektiven), die bei der Bewertung hinzugezogen oder als relevant erachtet wurden

Kategorie	Pre (B.A./M.Ed)	Post (B.A./M.Ed)	FU (B.A./M.Ed)
NW-A	2,67 / 2,60	3,67 / 4,0	3,67 / 5,20
EP-A	0,67 / 3,40	4,67 / 6,0	6,34 / 6,60
SR-A	5,34 / 4,40	9,34 / 10,0	9,67 / 10,60

Fazit

Die Ergebnisse legen nahe, dass eine Operationalisierung Kritischen Denkens im Sinne der systemischen Multiperspektivität des Denkens möglich erscheint und die Formulierung von Fragen als Mittel geeignet ist, um die Dimensionen des Denkens unabhängig vom Fachwissen darzustellen. Es konnte gezeigt werden, dass sich sowohl die Selbst- als auch die Fremdeinschätzung bezüglich Kritischem Denken durch die Seminare verbessert haben, was darauf hindeutet, dass das Instrument Kritisches Denken im Sinne einer systemischen Multiperspektivität misst. Es konnten signifikante Verbesserungen in allen drei Bereichen Kritischen Denkens bei der Bewertung von SSI beobachtet werden (s. Abbildung 1 und Tabelle 1), was den Mehrwert der Neudefinition Kritischen Denkens als Konstrukt und seiner konkreten Ausrichtung für die Naturwissenschaftsdidaktiken widerspiegelt. Abschließend lässt sich festhalten, dass die Neudefinition und Operationalisierung von Kritischem Denken im naturwissenschaftlichen Unterricht nicht nur möglich, sondern notwendig ist. Sie bietet eine Grundlage, um Lernende zu befähigen, wissenschaftliche und gesellschaftliche Fragen reflektiert und multiperspektivisch zu betrachten, zu bewerten und zusätzlich zum Wissen und epistemologischen Verständnis sich selbst in die Bewertung mit einzubeziehen.

Literaturverzeichnis

Brambatti Guzzo, G., & Dall'Alba, G. (2017). What Is An Ideal Critical Thinker Expected to Conclude about Anthropogenic Global Warming? *Philosophical Inquiry in Education*, *24*(3), 223–236. https://doi.org/10.7202/1070608ar

Byrne, M. S., & Johnstone, A. H. (1987). Critical thinking and science education. *Studies in Higher Education*, *12*(3), 325–339. https://doi.org/10.1080/03075078712331378102

Chen, L., & Xiao, S. (2021). Perceptions, challenges and coping strategies of science teachers in teaching socioscientific issues: A systematic review. *Educational Research Review*, *32*, 100377. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100377

Clough, M. P. (2008). Teaching the nature of science to secondary and post-secondary students: Questions rather than tenets. *California Journal of Science Education*, *8*(2), 31–40.

Driver, Rosalind., Leach, John., Millar, R., & Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Open Univ. Press.

Ennis, R. H. (1989). *Critical Thinking and Subject Specificity: Clarification and Needed Research*. *18*(3), 4–10.

Facione, P. A. (1990). *Critical thinking: A statement of expert consensus for purposes of educational assessment and instruction (The Delphi Report)*. https://philarchive.org/archive/faccta

Halpern, D. F. (2014). *Thought and knowledge: An introduction to critical thinking* (Fifth Edition). Psychology Press.

Kahneman, D. (2012). *Schnelles Denken, langsames Denken*. Random House GmbH.

Kuckartz, U. (2016). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (3., überarbeitete Aufl.). Beltz.

Kuhn, D. (1999). A Developmental Model of Critical Thinking. *Educational Researcher*, *28*(2), 16. https://doi.org/10.2307/1177186

Lee, H., & Yang, J. (2019). Science Teachers Taking their First Steps toward Teaching Socioscientific Issues through Collaborative Action Research. *Research in Science Education*, *49*(1), 51–71. https://doi.org/10.1007/s11165-017-9614-6

Mahner, M. (2013). Science and Pseudoscience—How to Demarcate after the (Alleged) Demise of the Demarcation Problem. In M. Pigliucci & M. Boudry (Hrsg.), *Philosophy of pseudoscience: Reconsidering the demarcation problem* (S. 29–44). The University of Chicago Press.

Meßmer, A.-K., Sängerlaub, A., & Schulz, L. (with Stiftung Neue Verantwortung e. V). (2021). *„Quelle: Internet"? Digitale Nachrichten- und Informationskompetenzen der deutschen Bevölkerung im Test*. Hochschule der Medien. https://doi.org/66090

Mohr, H. (1989). Verfügungswissen und Orientierungswissen: Die Verantwortung des Wissenschaftlers. *Mathematisch-Naturwissenschaftlicher Unterricht*, *42*, 127–132.

Organisation for Economic Co-operation and Development (Hrsg.). (1999). *Measuring student knowledge and skills: A new framework for assessment*. Organisation for Economic Co-operation and Development.

Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R., & Duschl, R. (2003). What „ideas-about-science" should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, *40*(7), 692–720. https://doi.org/10.1002/tea.10105

Paul, R., & Elder, L. (2014). *Critical thinking: Tools for taking charge of your learning and your life* (Third edition, Pearson new international edition). Pearson Education Limited.

Rafolt, S., Kapelari, S., & Kremer, K. (2019). Kritisches Denken im naturwissenschaftlichen Unterricht – Synergiemodell, Problemlage und Desiderata. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *25*(1), 63–75. https://doi.org/10.1007/s40573-019-00092-9

Rat der Europäischen Union. (2018). Empfehlungen des Rates vom 22. Mai 2018 zu Schlüsselkompetenzen für lebenslanges Lernen: (Text von Bedeutung für den EWR). *Amtsblatt der Europäischen Union*, *C 189*, 1–13.

Reiners, C. (2022). *Chemie vermitteln: Fachdidaktische Grundlagen und Implikationen* (2. erweiterte Auflage). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-65511-5

Slovic, P., Finucane, M., Peters, E., & MacGregor, D. G. (2002). The Affect Heuristic. In T. Gilovich, D. Griffin, & D. Kahneman, *Heuristics and biases: The psychology of intuitive judgement* (S. 397–420). Cambridge University Press.

Vieira, R. M., Tenreiro-Vieira, C., & Martins, I. P. (2011). Critical thinking: Conceptual clarification and its importance in science education. *Science Education International*, *22*(1), 43–54.

Yacoubian, H. A. (2015). A Framework for Guiding Future Citizens to Think Critically About Nature of Science and Socioscientific Issues. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, *15*(3), 248–260. https://doi.org/10.1080/14926156.2015.1051671

Joana Konrad[1]
Annette Marohn[1]

[1]Universität Münster

Kognitive Verzerrungen erkennen und minimieren lernen

Ausgangslage und Zielsetzung

Kognitive Verzerrungen (Cognitive Biases) sind Abkürzungen im Denken, die uns im Alltag helfen, Informationen zu selektieren und schnelle Entscheidungen zu treffen. Allerdings können dabei auch Fehler passieren: Ist die Wahrnehmung durch die eigenen Vorurteile, Vorerfahrungen oder festen Einstellungen verzerrt, ist eine rationale Bewertung erschwert (Vgl. Kahneman, 2012; Pohl, 2004; Weber & Knorr, 2020).

Im naturwissenschaftlichen Unterricht zeigt sich, dass Schüler:innen selten ihr Fachwissen nutzen, um Bewertungen vorzunehmen (Menthe, 2012; Heitmann & Tiemann, 2011; Stuckey, et al., 2012; Sander & Höttecke, 2015). Sie greifen stattdessen auf eigene Erfahrungen und Überzeugungen zurück (Ratzek & Höttecke, 2020). Im Kompetenzbereich Bewertung sollen Schüler:innen lernen, sachgerecht, verantwortungsbewusst und selbstbestimmt Entscheidungen zu treffen sowie den Entscheidungsprozess zu reflektieren (KMK Chemie, 2020, 2024). Hierfür benötigen sie Meta-Wissen (KMK Chemie, 2020), zu welchem auch Kenntnisse über den Einfluss kognitiver Verzerrungen zählen.

Das Konzept fast^{2}slow

Das hier vorgestellte Design-based Research-Projekt setzt sich mit der Forschungsfrage auseinander, auf welche Weise sich die Thematik der kognitiven Verzerrungen in den naturwissenschaftlichen Unterricht integrieren lässt. Zu diesem Zweck wurden 353 kognitive Verzerrungen aus der Literatur identifiziert und kriteriengeleitet drei für den naturwissenschaftlichen Unterricht geeignete Verzerrungen ausgewählt: der Wahrheits-Bias (Illusory-Truth-Effect), der Bestätigungs-Bias (Confirmation-Bias) und der Halo-Bias (Halo-Effect) (Konrad & Marohn, 2022).

Im zweiten Schritt wurde eine Konzeption (fast^{2}slow: vom schnellen zum langsamen Denken) entwickelt, die Lernende im Verlauf von 5 Unterrichtsphasen anhand des Themenbeispiels Aromastoffe für die ausgewählten Verzerrungen sensibilisieren soll (Konrad & Marohn, 2024): Die Schüler:innen erleben anhand verschiedener Aufgaben, welchen Einfluss Einstellungen und Erfahrungen auf ihre Bewertung haben. Sie üben, Verzerrungen im eigenen Denken sowie in Aussagen anderer Personen zu erkennen und lernen wissenschaftliche Strategien kennen, die helfen können, das eigene Denken zu verlangsamen und kognitive Verzerrungen zu minimieren.

Das Lernmaterial wurde in vier Zyklen mit insgesamt 155 Teilnehmenden erprobt und in einem iterativen Prozess optimiert. In diesem Beitrag werden erste Ergebnisse zu drei untergeordneten Forschungsfragen vorgestellt. FF1: Inwiefern lässt sich der Wahrheits-Bias bei Schüler:innen auslösen? FF2: Inwieweit erkennen Schüler:innen kognitive Verzerrungen bei sich selbst? FF3: Inwieweit erkennen Schüler:innen kognitive Verzerrungen in den Aussagen anderer Personen?

FF1: Inwiefern lässt sich der Wahrheits-Bias bei Schüler:innen auslösen?

Der Wahrheits-Bias beschreibt die Tendenz, Aussagen für wahr zu halten, wenn wir sie zuvor schon häufig gehört haben. Um diese Verzerrung sichtbar zu machen, erhielten 108 Schüler:innen im Alter von 15 bis 21 Jahren die Aufgabe, aus einer Reihe von 10 Aussagen diejenigen anzukreuzen, die sie für wahr hielten. Im nächsten Schritt sollten sie aus derselben Auswahl die Aussagen markieren, die sie zuvor schon einmal gehört hatten. Die Aussagen setzten sich zusammen aus Alltagsmythen wie zum Beispiel „In Zitronen steckt das meiste Vitamin C“ (Aussage 1) und ausgedachten Behauptungen wie „Gurkenessen verbessert das Gehör“ (Aussage 2).

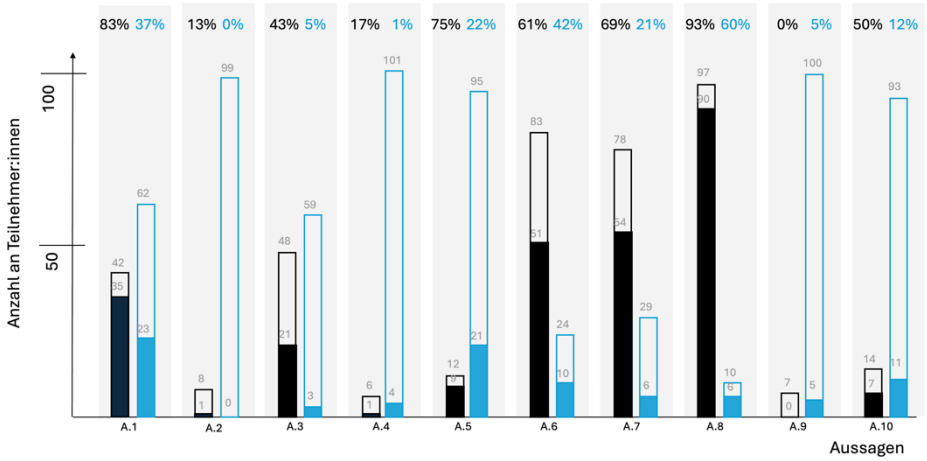


Abb. 1: Auslösen des Wahrheits-Bias. Schwarzer Rahmen: Ich habe die Aussage schon gehört; schwarze Füllung: ...und ich halte diese Aussage für wahr. Blauer Rahmen: Ich habe die Aussage noch nie gehört; blaue Füllung: ... und ich halte die Aussage für wahr.

Abbildung 1 visualisiert die Angaben und Bewertungen der Lernenden. So geben zum Beispiel 42 Schüler:innen an, Aussage 1 bereits gehört zu haben; von diesen halten 83% die Aussage auch für wahr. Demgegenüber haben 62 Personen die Aussage zuvor noch nicht gehört; aus diesem Personenkreis halten nur 37% die Behauptung für zutreffend. Diese Tendenz ist - mit Ausnahme von A.9 - auch in den übrigen Aussagen zu erkennen. Die Daten deuten darauf hin, dass der Wahrheits-Bias über die beschriebene Methode ausgelöst werden kann.

FF2: Inwieweit erkennen Schüler:innen kognitive Verzerrungen bei sich selbst?

Die Ergebnisse zu Subfrage FF1 zeigen, dass der Wahrheits-Bias bei den befragten Schüler:innen wirkt. Dies bedeutet nicht automatisch, dass die Lernenden auch erkennen, dass sie von Verzerrungen betroffen sind. Diese Selbstreflexion bildet allerdings eine Voraussetzung zur Initiierung eines kognitiven Konfliktes und eines möglichen Konzeptwechsels (Posner et al., 1982). Aus diesem Grund wurden 27 Lernende im Alter von 15 bis 21 Jahren nach Auslösen des jeweiligen Bias sowie der Einführung der Definition befragt, ob sie den Bias bei sich selbst erkennen. Dies bestätigten 26 Schüler:innen für den Wahrheits-Bias, 21 für den Bestätigungs-Bias und 22 Lernende für den Halo-Bias. Jede:r Schüler:in konnte mindestens eine kognitive Verzerrung an sich selbst erkennen.

FF3: Inwieweit erkennen Schüler:innen kognitive Verzerrungen in den Aussagen anderer Personen?

Im Rahmen einer qualitativen Inhaltsanalyse (Kuckartz & Rädiker, 2022) wurden 327 Social Media Kommentaren zu verschiedenen Socio-Scientific Issues kategorisiert und Merkmale identifiziert, an denen sich die drei ausgewählten Verzerrungen erkennen lassen. So kennzeichnet sich der Wahrheits-Bias zum Beispiel durch die Wiederholung einer Aussage, die Berufung auf einen langen Zeitraum und typische Satzbausteine wie „Ich habe schon oft gehört", „Man sagt" oder „Es ist bekannt, dass".
Im Rahmen der Unterrichtskonzeption fast^{2}slow lernen die Schüler:innen diese typischen Merkmale kennen. Um zu prüfen, inwieweit die Lernenden nach der Intervention in der Lage sind, den entsprechenden Bias in Äußerungen zu erkennen, wurden ihnen im Rahmen eines Prä-Post-Designs drei Social Media-Kommentare vorgelegt. An der Erhebung nahmen 12 Teilnehmer:innen im Alter von 18 bis 21 Jahren (Erprobung 3) und 15 Teilnehmer:innen im Alter von 15-16 Jahren (Erprobung 4) teil. Die Analyse der Antworten erfolgte mithilfe der Analysesoftware MAXQDA. Der Bias galt als erkannt, wenn die Formulierungen der Proband:innen die inhaltliche Definition des Bias abbildeten oder der Name des Bias explizit genannt wurde.
Im Prä-Test erkannten 50% der Teilnehmenden aus Erprobung 3 den Wahrheits-Bias als Denkfehler, auch wenn sie ihn noch nicht benennen konnten. Im Post-Test zeigten sich alle Lernenden in der Lage, den Bias identifizieren. Auch im Fall des Bestätigungsbias (Prä: 17%, Post: 100%) und des Halo-Bias (Prä: 17%, Post: 100%) zeigen sich deutliche Lernzuwächse.
Demgegenüber erweisen sich die Zuwächse im Fall der jüngeren Proband:innen (Erprobung 4) als geringer: Wahrheits-Bias (Prä: 0%, Post: 40%), Bestätigungs-Bias (Prä: 13%, Post: 40%), Halo-Bias (Prä: 20%, Post: 40%).
Während im Rahmen der Forschungsfragen FF1 und FF2 kein Unterschied zwischen den Altersgruppen gefunden wurde, zeigt sich im Fall des Erkennens von kognitiven Verzerrungen in den Äußerungen fremder Personen, dass dies vor allem den älteren Teilnehmer:innen gelingt. Das Ergebnis deutet auf ein höheres Anforderungsniveau dieser Aufgabe hin. Um diese These zu stärken, wäre eine größere Stichprobe nötig.

Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden anhand von 353 identifizierten kognitiven Verzerrungen drei Verzerrungen (Wahrheits-Bias, Bestätigungs-Bias, Halo-Bias) für eine exemplarische Thematisierung im naturwissenschaftlichen Unterricht ausgewählt. Diese Verzerrungen wurden in eine Unterrichtskonzeption (fast^{2}slow) zum schnellen und langsamen Denken eingebettet und anhand des Themenbeispiels Aromastoffe realisiert. Die Lernmaterialien wurden in 4 Erhebungen mit 155 Lernenden im Alter von 15 bis 21 Jahren erprobt und iterativ optimiert. Die bisherigen empirischen Untersuchungen zeigen, dass es über das Material gelingt, den Wahrheits-Bias bei Schüler:innen auszulösen. Die Lernenden sind anhand des Materials weitestgehend in der Lage, die verschiedenen Verzerrungen an sich selbst zu erkennen. Demgegenüber zeigen sich bei der Identifizierung von Verzerrungen in den Äußerungen anderer Personen altersinduzierte Unterschiede. Im weiteren Verlauf des Projektes wird die Wirksamkeit ausgewählter Design-Elemente untersucht, um Rückschlüsse auf die Design-Prinzipien der Unterrichtskonzeption ziehen zu können.

Literatur

Heitmann, P. & Tiemann, R. (2011). Aspekte von Bewertungskompetenz im naturwissenschaftlichen Unterricht. CHEMKON, 18 (3), 129–133.

Kahneman, D. (2012). Thinking fast and slow. Penguin.

Konrad, J. & Marohn, A. (2022). fast²slow – Kognitive Verzerrungen (er)kennen und vermeiden. Entwicklung eines Unterrichtskonzepts zum schnellen und langsamen Denken. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, Lehren und Forschen in einer digital geprägten Welt*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Aachen 2022 (S. 1005-1008). http://doi.org/10.25656/01:27632

Konrad, J. & Marohn, A. (2024). Der Confirmation Bias: Zum Umgang mit kognitiven Verzerrungen am Beispiel Aromastoffe. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, *35*(199), 40-43.

KMK – Ständige Konferenz der Kultusminister in der Bundesrepublik Deutschland (2024): Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss Chemie. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004 i.d.F. vom 13.06.2024. Bonn: KMK.

KMK – Ständige Konferenz der Kultusminister in der Bundesrepublik Deutschland (2020): Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004 i.d.F. vom 18.06.2020. Bonn: KMK.

Kuckartz, U. & Rädiker, S. (2022). Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung (5. Aufl.). Benltz Juventa.

Menthe, J. (2012). Wider besseren Wissens? Conceptual Change: Vermutungen, warum erworbenes Wissen nicht notwendig zur Veränderung des Urteilens und Bewertens führt. Zeitschrift für interpretative Schul- und Unterrichtsforschung, 1 (1), 161–183.

Pohl, R. F. (2022). Cognitive illusions: Intriguing phenomena in judgement, thinking and memory (3rd edition). Routledge.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. In: Science Education , 66, 211-227. http://dx.doi.org/10.1002/sce.3730660207

Ratzek, J., Höttecke, D. (2020). Ethisches Bewerten im naturwissenschaftlichen Unterricht. Plus Lucis 3, 16-20.

Sander, H. & Höttecke, D. (2015). Bewertungskompetenz in der Physikdidaktik: Zwischen Rationalität und Intuition. In A. Budke, M. Kuckuck, M. Meyer, F. Schäbitz, K. Schlüter, G. Weiss, (Hrsg.): Fachlich argumentieren lernen. Didaktische Forschungen zur Argumentation in den Unterrichtsfächern. 167–181. Waxman

Stuckey, M., Feierabend, T., Nienaber, S. & Eilks, I. (2012). Erfassung von Bewertungskompetenz in Gruppendiskussionen zum Klimawandel. In S. Bernholt (Hrsg.), Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Oldenburg 2011 (S. 382–384). Thorndike, E.L., (1920), "A Constant Error in Psychological Rating," Journal of Applied Psychology, vol. 4, 25-9.

Weber, S. & Knorr, E. (2020). Kognitive Verzerrungen und die Irrationalität des Denkens. In M. Appel (Hrsg.): Die Psychologie des Postfaktischen: Über Fake News, „Lügenpresse“, Clickbait & Co (1. Aufl., S. 103–115). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58695-2_10

Daniel Römer[1]
Jan Winkelmann[1]
[1]Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd

Pilotierung einer digitalen Erklärungsumgebung in der Optik

Ausgangslage

Im naturwissenschaftlichen Unterricht nimmt der Umgang mit Präkonzepten und „Fehl-"Vorstellungen von Lernenden eine zentrale Rolle ein (Schecker & Duit, 2018). In der geometrischen Optik haben Lernende häufig Schwierigkeiten bei der adäquaten Vorhersage von Bildentstehungsprozessen. Eine Ursache dafür kann sein, dass im Physikunterricht häufig mit der strahlengeometrischen Bildkonstruktion (mit außerordentlichen Lichtwegen) gearbeitet wird, ohne dabei näher auf den Modellcharakter einzugehen (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018). Es ist dabei essenziell, die Bedeutung, Funktion und Grenzen der zugrunde liegenden Idealisierungen zu kennen, um mit den Modellen in der geometrischen Optik sinnvoll umgehen zu können. Die Vermutung liegt nahe, dass missverstandene Idealisierungen zur Ausbildung alternativer Vorstellungen beitragen können (Winkelmann & Römer, 2023).
Eine wirksame Methode, Denk- und Arbeitsweisen in den Naturwissenschaften adäquat zu vermitteln, ist die Explikation der entsprechenden Aspekte. In anderen Kontexten ist dies bereits eine bewährte Methode (Petermann & Vorholzer, 2023; Vorholzer et al., 2020) und soll im Kontext der Idealisierungen nun näher untersucht werden. Die übergeordnete Fragestellung lautet hierfür: „Fördert die explizite Auseinandersetzung mit Idealisierungen in physikalischen Erklärungen am Beispiel der geometrischen Optik die Ausbildung adäquater Konzepte?". Im Folgenden wird die Pilotierung einer diesbezüglichen Interventionsstudie vorgestellt.

Design und Methode

Die mangelnde empirische Datenlage in diesem Feld legt ein exploratives und labornahes Setting nahe, um wichtige Einfluss- und Störvariablen im Rahmen der Intervention kontrollieren zu können, und damit den Effekt begründet auf eine explizite Auseinandersetzung mit Idealisieren zurückführen zu können. Aus diesem Grund wurde für die Interventionsstudie ein quasi-experimentelles Design mit vollständiger Randomisierung gewählt. Die Intervention erfolgt in einer digitalen Erklärungsumgebung, die selbstständig von den Lernenden bearbeitet wird. Damit wird der Einfluss der Lehrkraft auf den Lernprozess minimiert. Um die fehlende Interaktion mit der Lehrkraft weitgehend zu kompensieren, wurden die Erklärungen durch interaktive Simulationen und ein digitales Textmarker-Tool ergänzt. Die Randomisierung innerhalb des Klassenverbundes ist durch die individuelle Arbeit an den Erklärungen möglich. Die Struktur der Intervention und die zusätzlich erhobenen Variablen mit den entsprechenden Instrumenten sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Ablauf und Messinstrumente		Dauer
Leseverständnis (LGVT 5-12)	Schneider et al. (2017)	6 Minuten
Pre: Konzeptionelles Verständnis (Optiktest)	Römer & Winkelmann (2023)	9 Minuten
Treatment		15 Minuten
Post: Konzeptionelles Verständnis (Optiktest)	Römer & Winkelmann (2023)	9 Minuten
Epist. Uberzeugungen zu Idealisierungen	Adaption nach Winkelmann (2021)	2 Minuten
Vertrauen in Naturwissenschaften	Römer & Winkelmann (2024)	5 Minuten
Interesse	nach Schiepe-Tiska et al. (2016)	1 Minute
Selbstkonzept	Gaspard et al. (2016)	1 Minute
Demografische Variablen		1 Minute

Tabelle 1: Schematische Struktur der Studie (Verlauf von oben nach unten) mit eingesetzten Messinstrumenten und (mittleren) Bearbeitungszeiten.

Als Treatment wurden drei verschiedene Erklärungen zur Bildentstehung an einer teilweise verdeckten Sammellinse entworfen. Ausgehend von der Präsentation des Phänomens, dass auch bei einer teilweise verdeckten Linse ein vollständiges Bild auf einem Schirm entsteht, nutzen alle unsere Erklärungen das Modell der „dünnen Linse“. Die Unterschiede liegen in der sprachlichen Ausgestaltung und Schwerpunktsetzung in den Erklärungstexten. Sie unterscheiden sich nicht in der Auswahl der Fachinhalte sowie deren Strukturierung. Auch die Art und Anzahl der Abbildungen und Simulationen sind identisch. Für die Ausgestaltung der Umgebungen wurden die Gütekriterien nach Kulgemeyer und Tomczyszyn (2015) sowie die theoretische Beschreibung von Modellkompetenz nach Upmeier zu Belzen und Krüger (2010) herangezogen.
Treatment 1 setzt sich in der Erklärung explizit mit den zugrunde liegenden, inhaltlich relevanten Idealisierungen auseinander. Zusätzlich betonen Prompts in der Erklärungsumgebung die Art und Bedeutung der entsprechenden Idealisierungen (Hüttemann, 2012). Damit adressiert Treatment 1 den Kompetenzbereich „Eigenschaften eines Modells“ (Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010). Die Erklärung in Treatment 2 nutzt Idealisierungen implizit. Um in der ansonsten gleich gehaltenen Erklärung nicht lediglich die explizite Erwähnung von Idealisierungen zu streichen und damit eine kürzere Lerngelegenheit zu erzeugen, adressiert Treatment 2 den Kompetenzbereich „Zweck von Modellen“ (ebd.). Die ähnliche Bearbeitung des expliziten und impliziten Treatments wurde in einer Eye-Tracking-Studie nachgewiesen (Pelzer et al., 2024). Treatment 3 stellt die Kontrollgruppe der Studie dar und setzt sich weder verstärkt mit den Eigenschaften, noch mit dem Zweck der zugrundeliegenden Modelle auseinander. Die inhaltlichen Schwerpunkte wurden aus fünf Interviews mit Physiklehrkräften konstruiert. In den Interviews wurde deutlich, dass Modelle, im Einklang mit der Forschungslage, im Rahmen der geometrischen Optik beim Erklären nur verwendet und nicht weiter diskutiert werden.

Stichprobe
Im Rahmen der Pilotierung wurden insgesamt 66 Pretests bearbeitet. Aus diesen Sets stehen 30 vollständige Datensätze für die Auswertung zur Verfügung. Die Kriterien für den Einschluss von Datensätzen waren die Vollständigkeit der Pre- und Posttests sowie eine Mindest-Bearbeitungszeit für die Erklärung, um ein bloßes Durchklicken zu vermeiden ($t > 2$ Min.).

Die Stichprobe teilt sich ähnlich in männlich und weiblich auf (divers: n=1, k/A: n=9). Sie teilt sich außerdem ähnlich auf die Klassenstufe 7 (n=12) und 8 (n=14) auf (k/A: n=4). Die Klassen wurden von zwei verschiedenen Lehrkräften unterrichtet. Die Treatment-Gruppen teilen sich auf in: Explizit (N=12), Implizit (N=11) und Kontrollgruppe (N=7). Mit einer durchschnittlichen Punktzahl von 7,08 Punkten (Kl. 7, SD=3,53 Pkt.) bzw. 11,85 Punkten (Kl. 8, SD=3,26 Pkt.) im LGVT (5-12) liegt die Stichprobe beider Klassenstufen im unteren Normbereich für das Leseverständnis (vgl. Schneider et al., 2017).

Ergebnisse

Im Pretest weisen die verschiedenen Treatment-Gruppen Unterschiede auf. Die Kontrollgruppe zeigt mit einer mittleren Punktzahl von 5,57 Punkten (SD=0,98 Pkt.) die beste Leistung im Vergleich zu den Gruppen Explizit (MW=4,67; SD=1,92) und Implizit (MW=4,00; SD=1,55). Nur eine Person erreichte bei dem Pretest 0 Punkte, keine der Personen erreichte die volle Punktzahl von 11 Punkten (11 Items, 1 Punkt pro richtige Antwort). Somit zeigt das eingesetzte Messinstrument keine Boden- oder Deckeneffekte. In Bezug auf die weiteren erhobenen Zusatzvariablen zeigen sich keine Unterschiede zwischen den Treatment-Gruppen.

Die Erhebungszeit liegt im Durchschnitt bei 33,8 Minuten (SD=9,7 Min.). Davon benötigte die Bearbeitung der Erklärungen durchschnittlich 12,3 Minuten (SD= 6,2 Min). Alle Treatment-Gruppen zeigten im Posttest einen höheren Durchschnittsscore als im Pretest. Die größte Verbesserung zum Posttest zeigte mit 2,08 Punkten (SD=1,28 Pkt.) die Gruppe mit explizitem Treatment – diese Verbesserung ist statistisch signifikant (Wilcoxon-Test: $z=-2{,}821$, $p<.01$, $r=0{,}81$). Eine ähnliche Verbesserung von 2,00 Punkten (SD=1,83 Pkt.) zeigt die Kontrollgruppe. Diese Verbesserung ist auch statistisch signifikant, jedoch auf einem geringerem Signifikanzniveau ($z=-2{,}032$, $p<.05$, $r=0{,}77$). Die Verbesserung der Gruppe Implizit war auffällig niedrig (0,73 Punkte, SD=2,94), jedoch statistisch nicht signifikant. Generell zeigt sich, dass die Verbesserung im Posttest nur in den Items stattgefunden hat, die inhaltlich auch durch die präsentierte Erklärung adressiert wurden (MW=1,77 Pkt.; SD= 1,73 Pkt.). Die restlichen Items zeigten kaum eine Veränderung im Pre-Post-Vergleich (MW=-0,2 Pkt.; SD=1,27 Pkt.). Im Allgemeinen konnten keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den erhobenen Kontrollvariablen und der Pre-Post-Verbesserung festgestellt werden.

Unter Kontrolle des Leseverständnisses zeigt sich im paarweisen Pre-Post-Vergleich die Tendenz, dass Lernende vom expliziten Treatment am stärksten zu profitieren scheinen, während die Kontrollgruppe und die implizite Gruppe eine geringere und zueinander ähnliche Verbesserung aufzeigen. Diese Tendenz soll mit zusätzlichen Daten und durch Einbezug von Kovariaten näher untersucht werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Die in diesem Beitrag pilotierte Interventionsstudie erscheint praktisch und technisch umsetzbar. Das eingesetzte Messinstrument stellt sich als sinnvoll heraus. Es zeigt keine Boden- oder Deckeneffekte und ist außerdem stabil im Test-Retest-Vergleich hinsichtlich der Items, die nicht von der Intervention adressiert werden. Die Erhebungszeit ist in einem Bereich, der für die Klassenstufen zumutbar und gut umzusetzen ist. Die Haupterhebung mit einer umfangreichen Stichprobe ist für das Frühjahr 2025 vorgesehen. Dabei können zusätzlich noch die Nutzung der interaktiven Tools sowie die Ausprägungen in den Kontrollvariablen in Gruppenvergleichen nähere Erkenntnisse über die Wirksamkeit der Intervention bringen.

Literatur

Gaspard, H., Dicke, A.-L., Flunger, B., Häfner, I., Brisson, B. M., Trautwein, U., & Nagengast, B. (2016). Side effects of motivational interventions? Effects of an intervention in math classrooms on motivation in verbal domains. *AERA Open, 2*(2), 1–14.

Haagen-Schützenhöfer, C., & Hopf, M. (2018). Schülervorstellungen zur geometrischen Optik. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf, & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht*. 89–114. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2_5

Hüttemann, A. (2012). *Idealisierungen und das Ziel der Physik: Eine Untersuchung zum Realismus, Empirismus und Konstruktivismus in der Wissenschaftstheorie.* Berlin, Boston: De Gruyter. https://doi.org/10.1515/9783110811896

Kulgemeyer, C., & Tomczyszyn, E. (2015). Physik erklären – Messung der Erklärensfähigkeit angehender Physiklehrkräfte in einer simulierten Unterrichtssituation. *ZfDN* 21, 111–126. https://doi.org/10.1007/s40573-015-0029-5

Peltzer, N., Römer, D., & Winkelmann, J. (2024). Wahrnehmung physikalischer Erklärungen - Eine Eye-Tracking Studie. H. v. Vorst (Hrsg.), Frühe naturwissenschaftliche Bildung. GDCP-Jahrestagung 2023 in Hamburg. 1051-1054.

Petermann, V., & Vorholzer, A. (2023). Teachers' Use of Explicit Instruction When Planning Lessons to Foster Students' Scientific Inquiry Competencies. In: G.S. Carvalho, A.S. Afonso, & Z. Anastácio (Hrsg.), *Fostering Scientific Citizenship in an Uncertain World. Contributions from Science Education Research*, vol 13. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-32225-9_14

Römer, D., & Winkelmann, J. (2023). Zweistufiges Messinstrument zum konzeptionellen Verständnis von Abbildungsvorgängen an der Sammellinse. PhyDid B – Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der Physik in Hannover 2023. https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1360/1575

Römer, D., & Winkelmann, J. (2024). Das Vertrauen von Lehramtsstudierenden in die Naturwissenschaften. H. v. Vorst (Hrsg.), Frühe naturwissenschaftliche Bildung. GDCP-Jahrestagung 2023 in Hamburg. 438-441.

Schecker, H., & Duit, R. (2018). Schülervorstellungen und Physiklernen. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf, & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht*. 1–21. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2_1

Schiepe-Tiska, A., Roczen, N., Müller, K., Prenzel, M. & Osborne, J. (2016). Science-Related Outcomes: Attitudes, Motivation, Value Beliefs, Strategies. In: Kuger, S., Klieme, E., Jude, N., Kaplan, D. (Hrsg.) *Assessing Contexts of Learning. Methodology of Educational Measurement and Assessment.* 301–329. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45357-6_12

Schneider, W., Schlagmüller, M., & Ennemoser, M. (2017). *LGVT 5-12: Lesegeschwindigkeits-und -verständnistest für die Klassen 5–12.* Göttingen: Hogrefe.

Upmeier zu Belzen, A., & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. *ZfDN*, 16, 41–57.

Vorholzer, A., von Aufschnaiter, C., & Boone, W.J. (2020). Fostering Upper Secondary Students' Ability to Engage in Practices of Scientific Investigation: a Comparative Analysis of an Explicit and an Implicit Instructional Approach. *Res Sci Educ* 50, 333–359. https://doi.org/10.1007/s11165-018-9691-1

Winkelmann, J., & Römer, D. (2023). The 'thin lens' in the light of idealisations. *Physics Education*, *58*(6), 065024. https://doi.org/10.1088/1361-6552/acf828

Benjamin Heinitz[1]
Manfred Holodynski[1]
Andreas Nehring[2]

[1]Universität Münster
[2]Leibniz Universität Hannover

Systematische Förderung professioneller Wahrnehmung im Referendariat Die kriteriengeleitete Implementation von kognitiver Aktivierung

Theoretische Grundlagen

Kognitive Aktivierung ist eine zentrale Dimension der Unterrichtsqualität und ausschlaggebend für das Ausmaß des Lernzuwachses von Schüler*innen (Klieme et al. 2001). Zusammengefasst beschreibt die kognitive Aktivierung ein vertieftes Nachdenken und eine elaborierte Auseinandersetzung mit dem jeweiligen Unterrichtsgegenstand (Lipowsky, 2020). Angehende Lehrkräfte sollten befähigt werden, die kognitive Aktivierung ihrer Schüler*innen zu beurteilen, damit sie ihren Unterricht bei Bedarf anpassen können. Als Teil des Unterrichtsangebots ist die kognitive Aktivierung jedoch ein individueller Prozess und Schüler*innen werden durch unterschiedliche Angebote aktiviert (Groß-Mlynek et al. 2022). Zusätzlich oder vielleicht auch gerade deshalb werden in der Forschung viele unterschiedliche Operationalisierungen für eine Beurteilung der kognitiven Aktivierung verwendet (Alp Christ et al. 2022). Diese können generisch erfolgen (z. B. Praetorius & Charalambous, 2018), sind aber in den meisten Fällen (durch die starke Verknüpfung zu den Unterrichtsinhalten) fachspezifisch ausgelegt (z. B. Heinitz & Nehring, 2023).

Bei einer Beurteilung der kognitiven Aktivierung in einer Unterrichtsstunde können Probleme durch die Abstraktheit des Konstrukts entstehen und selbst Expert*innen nutzen häufig individuelle Indikatoren, die nicht notwendigerweise in Frameworks oder Theorien verortet sind (Taut & Rakoczy, 2016). Zusätzlich weisen besonders Merkmale der kognitiven Aktivierung eine geringe zeitliche Stabilität auf, sodass zur reliablen Beurteilung bis zu neun Unterrichtsstunden notwendig sein können (Praetorius et al., 2014). Angehende Lehrkräfte müssen entsprechend eine professionelle Unterrichtswahrnehmung im Bereich der kognitiven Aktivierung entwickeln, was mit Hilfe von Videovignetten erreicht werden kann (z. B. Sherin & van Es, 2009). Videovignetten werden häufig in der universitären Ausbildung genutzt und es gibt ein breites (webbasiertes) Angebot (Junker et al. 2022). In der zweiten Phase der Lehrkräftebildung finden sie jedoch bisher nur selten Anwendung. Ein Problem bei der Implementation eines systematischen Trainings der professionellen Unterrichtswahrnehmung ist, dass es nur wenige Standards in der zweiten Phase der Lehrkräftebildung gibt und zusätzlich Unterschiede zwischen den Bundesländern existieren (Kunz & Uhl, 2021).

Forschungsfragen

Die Anlage der zweiten Phase erschwert ein einheitliches Training der professionellen Unterrichtswahrnehmung, dennoch sollten alle angehenden Lehrkräfte ein vergleichbares Angebot erhalten. Gleichzeitig muss berücksichtigt werden, dass Fachleitungen durch die unterschiedlichen Voraussetzungen in den Fachseminaren (Ausbildungsstand, universitäre Ausbildung, Quer- und Seiteneinsteiger*innen) im vorgegebenen Rahmen flexibel auf die Bedürfnisse der Referendar*innen reagieren müssen. Deshalb wurde in dieser Studie gezielt ein Ansatz zum Training der professionellen Unterrichtswahrnehmung mit minimalen Vorgaben untersucht, der ein flexibles und vergleichbares Angebot für alle Referendar*innen bietet. Dabei wurden zwei Forschungsfragen untersucht:

1. Inwiefern sind die Wahrnehmung und Interpretation der kognitiven Aktivierung in den Fachseminaren vergleichbar?
2. Inwiefern sind die Änderungen in Wahrnehmung und Interpretation nach einer Seminarstunde zur kognitiven Aktivierung in den Fachseminaren vergleichbar?

Methoden:
Die Studie verfolgt einen explorativen Ansatz mit dem Ziel einer möglichst hohen ökologischen Validität. Dazu wurde die Datenerhebung sowie das Training der professionellen Unterrichtswahrnehmung in die regulären Fachseminarsitzungen eingebettet. Die Studie ist auf zwei Fachseminarstunden aufgeteilt (je 120 Minuten) und die Datenerhebung wurde in einem Prä-Post-Design durchgeführt. Insgesamt haben 21 Referendar*innen (w = 52 %) teilgenommen. Die Datenerhebung umfasste eine schriftliche Beurteilung von zwei Videovignetten („Lernvignette“ und „Transfervignette“), wobei die Teilnehmenden relevanten Unterrichtssituationen zur kognitiven Aktivierung herausstellen und beurteilen sollten, inwiefern diese als gut oder schlecht einzustufen sind. Es wurden bewusst keine Kriterien vorgegeben oder geschlossene Antwortformate genutzt, um eine Beeinflussung der Teilnehmenden zu vermeiden (Brovelli et al. 2013).
Für das Training der professionellen Unterrichtswahrnehmung sollten die Fachleitungen nach dem Prä-Assessment anhand der Lernvignette vier Merkmalen der kognitiven Aktivierung aus dem Science Education Perspectives (SEP) Framework (Heinitz & Nehring, 2023) in einer Seminarsitzung thematisieren: „Konstruktive Einbindung von Schüler*innenvorstellungen“, „Aktivierung von Vorwissen“, „Kognitiv aktivierender Einsatz naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen“ und „Kooperatives Arbeiten zur zielführenden Aktivierung der Schüler*innen“. Die Datenanalyse unterteilte sich dabei in drei Schritte.

1. Wahrnehmung: Induktive Clusterbildung relevanter Situationen in der Vignette auf Basis der schriftlichen Beurteilung durch die Referendar*innen
2. Interpretation: Qualitative Inhaltsanalyse der schriftlichen Beurteilungen (Mayring, 2014), Bildung von idea units (Jacobs & Morita, 2002), Kodierung mit dem SEP Framework (Heinitz & Nehring, 2023)
3. Vergleich der Fachseminare in vier Kategorien: Einbindung der vier Merkmale kognitiver Aktivierung; Verwendung der vorgegebenen Definitionen; Verknüpfung mit Unterrichtsbeispielen; Relative Häufigkeit bei der Thematisierung der vier Merkmale

Ergebnisse
Der durchschnittliche Zuwachs in der Wahrnehmung relevanter Situationen (erster Analyseschritt) betrug 12 % für die Lernvignette und 2 % für die Transfervignette. Bereits im Prä-Assessment als relevant wahrgenommene Situationen sind nur in wenigen Fällen im Post-Assessment nicht mehr als relevant wahrgenommen worden.
Bei der Interpretation (zweiter Analyseschritt) wurden im Prä-Assessment die Merkmale „Konstruktive Einbindung von Schüler*innenvorstellungen“ und „Aktivierung von Vorwissen“ in der Interpretation am häufigsten herausgestellt. Im Post-Assessment ließ sich der Zuwachs in der Interpretation vor allem bei diesen beiden Merkmalen finden. Die Merkmale „Kognitiv aktivierender Einsatz naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen“ und „Kooperatives Arbeiten zur zielführenden Aktivierung der Schüler*innen“ haben dagegen nur einen geringen Zuwachs aufgewiesen.

Beim Vergleich der Seminare (dritter Analyseschritt), haben Seminar A und B die maximale Punktzahl erreicht, wohingegen Seminar C und D nur die Hälfte der möglichen Punkte erhalten haben. Bezogen auf die absolute Änderung der vier Merkmale, weisen alle vier Seminare einen Zuwachs auf. Bei einer Betrachtung der durchschnittlichen Änderung aller vier Merkmale können allerdings nur Seminar A und B einen Zuwachs verzeichnen, wohingegen Seminar C und D im Durchschnitt keinen Zuwachs aufwiesen.

Diskussion und Implikationen

Bereits im Prä-Assessment ließen sich Gemeinsamkeiten in der Wahrnehmung (Fokus auf dieselben Situationen) und der Interpretation (Beschreibung derselben Merkmale) in den Fachseminaren finden. Diese sind allerdings beschränkt auf wenige Situationen und nur einzelne Merkmale der kognitiven Aktivierung. Die Zuwächse im Post-Assessment sind wiederum zu großen Teilen auf Situationen und Merkmale beschränkt, die bereits im Prä-Assessment häufig im Fokus standen. Bei der Entwicklung einer professionellen Unterrichtswahrnehmung zeigen angehende Lehrkräfte häufig Schwierigkeiten, auf relevante Situationen zu fokussieren (Star & Strickland, 2008), was sich auch bei den Referendar*innen in dieser Studie zeigte. Die Steigerung der Wahrnehmung findet primär bei der Lernvignette statt und zeigt, dass eine Besprechung konkreter Beispiele zwar dazu führt, dass diese auch später noch erkannt werden, allerdings häufig kein Transfer auf unbekannte Kontexte stattfindet. Das deutete darauf hin, dass das Training der professionellen Unterrichtswahrnehmung durch die Vignette beeinflusst wurde, was sich auch in anderen Studien finden lässt (Gold & Holodynski, 2017). Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, bei einem Training der professionellen Unterrichtswahrnehmung entweder eine große Anzahl unterschiedlicher Beispiele zu denselben Merkmalen zu bearbeiten oder abstrakte Merkmale in weniger komplexe beobachtbare Indikatoren zu unterteilen.

Bereits in vorangegangenen Studien konnten Unterschiede in der Beurteilung von Unterrichtsqualität bei Referendar*innen herausgestellt werden (Heinitz & Nehring, 2023), welche sich auch beim expliziten Fokus auf die kognitive Aktivierung in dieser Studie gezeigt haben. Grundsätzlich stellt die Beurteilung kognitiver Aktivierung eine große Herausforderung dar (z.B. Praetorius et al., 2014; Groß-Mlynek et al. 2022). Es liegen jedoch auch häufig unterschiedliche Verständnisse von kognitiver Aktivierung vor (Alp Christ et al. 2022), die sich bei der Analyse der Seminarsitzungen auch bei den Fachleitungen zeigten und zum schlechteren Abschneiden der Seminare C und D geführt haben. Dies hatte wiederum einen direkten Einfluss auf das Training der professionellen Unterrichtswahrnehmung und die Referendar*innen haben teilweise die abweichenden Interpretationen ihrer Fachleitungen repliziert. Dieses Ergebnis verdeutlicht die Notwendigkeit zur Verwendung gemeinsamer Grundlagen der Unterrichtsqualität (Heinitz & Nehring, 2023). Abweichende Verständnisse von Unterrichtsqualität werden außerdem in den Fachseminaren häufig nicht wahrgenommen (Heinitz & Nehring, in revision), was die Kommunikation auch bei anderen Themen beeinträchtigen kann.

Insgesamt bietet die Verwendung der minimalen Vorgaben unter Einbezug eines gemeinsamen Frameworks eine Möglichkeit, die Ausbildung in den Fachseminaren stärker zu vereinheitlichen und trotzdem genug Freiraum zu lassen, damit Fachleitungen ihre Seminare bei Bedarf adaptieren können. Eine Möglichkeit zur stärkeren Individualisierung des bisherigen Ansatzes könnte jedoch helfen, die unterschiedlichen Voraussetzungen der Referendar*innen künftig besser zu berücksichtigen.

Literatur

Alp Christ, A., Capon-Sieber, V., Grob, U., & Praetorius, A.-K. (2022). Learning processes and their mediating role between teaching quality and student achievement: A systematic review. Studies in Educational Evaluation, 75, 101209. https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2022.101209

Brovelli, D., Bölsterli, K., Rehm, M., & Wilhelm, M. (2013). Erfassen professioneller Kompetenzen für den naturwissenschaftlichen Unterricht: Ein Vignettentest mit authentisch komplexen Unterrichtssituationen und offenem Antwortformat. Unterrichtswissenschaft, 306–329.

Gold, B., & Holodynski, M. (2017). Using digital video to measure the professional vision of elementary classroom management: Test validation and methodological challenges. Computers and Education, 107, 13–30. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.12.012

Groß-Mlynek, L., Graf, T., Harring, M., Gabriel-Busse, K., & Feldhoff, T. (2022). Cognitive Activation in a Close-Up View: Triggers of High Cognitive Activity in Students During Group Work Phases. Frontiers in Education, 7. https://doi.org/10.3389/feduc.2022.873340

Heinitz, B., & Nehring, A. (2023). Instructional quality in science teacher education: comparing evaluations by chemistry pre-service teachers and their advisors. International Journal of Science Education. https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2213382

Heinitz & Nehring, in revision

Jacobs, J. K., & Morita, E. (2002). Japanese and American Teachers' Evaluations of Videotaped Mathematics Lessons. In Journal for Research in Mathematics Education (Vol. 33, Issue 3).

Junker, R., Zucker, V., Oellers, M., Rauterberg, T., Konjer, S., Meschede, N., & Holodynski, M. (2022). Lehren und Forschen mit Videos in der Lehrkräftebildung. Waxmann.

Klieme, E., Schümer, G., & Knoll, S. (2001). Mathematikunterricht in der Sekundarstufe I. „Aufgabenkultur" und Unterrichtsgestaltung. In E. Klieme & J. Baumert (Hrsg.), TIMSS-Impulse für Schule und Unterricht. Forschungsbefunde, Reforminitiativen, Praxisberichte und Video-Dokumente (S. 43–57). Bonn: Bundesministerium für Bildung und Forschung.

Kunz, H. & Uhl S. (2021). Allgemeine Ziele, Aufbau und Struktur des Vorbereitungsdienstes in den Bundesländern. In (Peitz J. & Harring M.) Das Referendariat. Ein systematischer Blick auf den schulpraktischen Vorbereitungsdienst (S. 15 – 27). Waxmann.

Lipowsky, F. (2020). "Unterricht," in Pädagogische Psychologie, 3, eds E. Wild and J. Möller (Hrsg.) (Berlin: Springer), 70–118. doi: 10.1007/978-3-662-61403-7_4

Mayring, P. (2014). Qualitative Content Analysis Theoretical Foundation, Basic Procedures and Software Solution. https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-395173

Praetorius, A. K., Pauli, C., Reusser, K., Rakoczy, K., & Klieme, E. (2014). One lesson is all you need? Stability of instructional quality across lessons. _Learning and Instruction_, _31_, 2–12. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2013.12.002

Praetorius, A. K., & Charalambous, C. Y. (2018). Classroom observation frameworks for studying instructional quality: looking back and looking forward. _ZDM - Mathematics Education_, _50_(3), 535–553. https://doi.org/10.1007/s11858-018-0946-0

Sherin, M. G., & van Es, E. A. (2009). Effects of video club participation on teachers' professional vision. Journal of Teacher Education, 60(1), 20–37. https://doi.org/10.1177/0022487108328155

Star, J. R., & Strickland, S. K. (2008). Learning to observe: Using video to improve preservice mathematics teachers' ability to notice. Journal of Mathematics Teacher Education, 11(2), 107–125. https://doi.org/10.1007/s10857-007-9063-7

Taut, S., & Rakoczy, K. (2016). Observing instructional quality in the context of school evaluation. Learning and Instruction, 46, 45–60. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2016.08.003

Matthias Fischer[1] [1]Pädagogische Hochschule Heidelberg
Manuela Welzel-Breuer[1]

Kompetenzen von naturwissenschaftlichen Lehrkräften in Straßenschulen

Problembeschreibung und Hinführung zum Forschungsprojekt

In Deutschland leben ca. 200.000 wohnungslose junge Personen unter 25 Jahren, von denen viele schulpflichtig sind und das Regelschulsystem besuchen (sollten) (Bundesministerium für Arbeit und Soziales, 2022; Statistisches Bundesamt, 2024). Für viele wohnungslose junge Menschen ist Schule jedoch kein positiv konnotierter Ort. Vielmehr überwiegen Erzählungen von negativen Erlebnissen und fehlender Unterstützung (Mücher, 2020). Dies führt im Zusammenspiel mit schwierigen Lebensumständen oftmals zu Abkehrprozessen, die bei nicht wenigen jungen Menschen im Schulabbruch münden. So besitzen wohnungslose junge Erwachsene etwa fünf Mal so häufig keinen Schulabschluss (ca. 28%) wie ihre Peers (Lotties, 2024). Dennoch äußern viele junge wohnungslose Menschen nach dem Schulabbruch den Wunsch, einen Schulabschluss nachholen zu wollen. Dies gelingt jedoch nur wenigen – unter anderem weil es nur wenige passende Bildungsangebote für sie gibt (Bielert, 2006).
Die existierenden Bildungsalternativen werden von uns als Straßenschulen bezeichnet. Hierzu gehören alle „Bildungsprojekte, die wohnungslosen Jugendlichen unter Berücksichtigung ihrer Lebensumstände und ihrer Bedürfnisse non-formale Bildungsangebote unterbreiten und 2023, S. 214). Erste Forschungsergebnisse (Fischer, im Druck) weisen auf den Erfolg von Straßenschulen hin. Somit stellt die in Straßenschulen gewonnene Expertise eine wertvolle Ressource dar, um diversen Forschungsdesideraten zu begegnen, die im Zusammenhang mit (naturwissenschaftlicher) Bildung für wohnungslose junge Menschen bestehen. So wurde bereits im letztjährigen Beitrag aufbauend auf einer Interviewstudie die Rolle von Lehrpersonen und ihren Kompetenzen im naturwissenschaftlichen Unterricht an Straßenschulen herausgearbeitet (Fischer & Welzel-Breuer, 2024). Dabei ist jedoch offengeblieben, inwieweit unter den interviewten Expert:innen Einigkeit hinsichtlich der erarbeiteten Anforderungen an Lehrerkompetenzen besteht und wie relevant welche Kompetenz ist. Aus diesem Grund wurde die Interviewstudie – im Sinne einer Delphi-Studie (Häder, 2014) – durch eine Fragebogenerhebung erweitert.

Forschungsmethodisches Vorgehen

Die vorliegende Delphi-Studie besteht aus drei Schritten: einer systematischen Suche nach Straßenschulen in Deutschland, einer Interviewerhebung und einer Fragebogenerhebung. Für die systematische Suche wurden zuerst Kriterien festgelegt, mit deren Hilfe entschieden wurde, wann ein Bildungsprojekt eine Straßenschule darstellt. Anschließend wurde eine Internetsuche durchgeführt und Kontakt zu den gefundenen Projekten aufgenommen. Gemeinsam wurde entschieden, inwiefern die Straßenschul-Kriterien erfüllt sind. Zudem wurde ein Schneeball-System genutzt, um weitere Bildungsprojekte zu identifizieren, die anschließend wieder mit den Kriterien abgeglichen wurden. Auf diese Weise konnten insgesamt 12 Bildungsprojekte gefunden werden, die den Straßenschul-Kriterien entsprechen. Eine ausführliche Beschreibung der Schulen und ihres naturwissenschaftlichen Bildungsangebotes findet sich in Fischer und Welzel-Breuer (2022a).
In einem zweiten Schritt wurden 14 naturwissenschaftliche Lehrkräfte (L) und 10 Schulleiter:innen (S) von zehn der zwölf gefundenen Straßenschulen interviewt. Das Ziel der

Interviewstudie war es unter anderem, Anforderungen an die Kompetenzen von naturwissenschaftlichen Lehrkräften an Straßenschulen zu erarbeiten. Die auf einem Leitfaden basierenden Interviews wurden anschließend transkribiert und mit einer qualitativen Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2018) hinsichtlich der Forschungsfragen ausgewertet. Dabei ist ein hierarchisches Kategoriensystem bezüglich der notwendigen Lehrerkompetenzen entstanden. Indem die codierten Textstellen für jede Unterkategorie zusammengefasst wurden, entstand außerdem eine kurze inhaltliche Zusammenfassung jeder Unterkategorie.
In der Fragebogenerhebung wurden diese inhaltlichen Zusammenfassungen der Interviewstudie den Fragebogenteilnehmenden (20 Lehrkräften und 18 Schulleiter:innen) mit der Bitte vorgelegt, die Aspekte hinsichtlich ihrer Relevanz auf einer sechsstufigen Likert-Skala zu bewerten. Insgesamt umfasste der Bereich Lehrerkompetenzen 14 Fragebogenitems. Anschließend wurden die ausgefüllten Fragebogen mit Hilfe deskriptiver Statistik ausgewertet, um die Relevanz der jeweiligen Aspekte und den Konsens der Expert:innen bezüglich ihrer Einschätzung zu bestimmen. Im Vorfeld wurden zudem Grenzwerte für Relevanz (Mittelwert $M \geq 4{,}00$) und Konsens (Standardabweichung $SD \leq 1{,}25$) festgelegt.

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Im Bereich Lehrerkompetenzen erreichten alle 14 Fragebogenitems die Kriterien für Relevanz und Konsens. Das bedeutet, dass Anforderungen an die Kompetenzen von (naturwissenschaftlichen) Lehrpersonen in Straßenschulen, die im Rahmen der Interviewstudie (Fischer & Welzel-Breuer, 2024) erarbeitet wurden, verallgemeinerbar sind und unter den Expert:innen ein Konsens vorliegt – selbst wenn sie aus verschiedenen Straßenschulen stammen. Im Rahmen dieses Beitrags wollen wir uns im Folgenden ausschließlich auf Items beschränken, die einen expliziten Bezug zur angebotenen naturwissenschaftlichen Bildung besitzen. Diese finden sich in Tabelle 1.
Von größter Relevanz ist laut den Expert:innen, dass Lehrkräfte Wissen über den Aufbau der naturwissenschaftlichen Abschlussprüfungen besitzen (LK3). Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund verständlich, dass Straßenschulen im naturwissenschaftlichen Unterricht das Ziel verfolgen, die Jugendlichen erfolgreich auf die naturwissenschaftlichen Abschlussprüfungen vorzubereiten. Die Abschlussprüfungen erfolgen dabei aufgrund des meist fehlenden Status einer staatlich anerkannten Schule im Rahmen der sogenannten Nichtschülerprüfung. Diese steht allen Personen offen, die außerhalb des regulären Schulsystems einen staatlich anerkannten Schulabschluss, zum Beispiel den Hauptschulabschluss, erwerben möchten. Die Prüfungen selbst werden von Regelschulen in den vorgeschriebenen Fächern (hierzu gehört in der Regel auch mindestens ein naturwissenschaftliches Fach) abgenommen. Allerdings unterscheiden sich die geprüften Inhalte und die Prüfungsform je nach Bundesland. Vereinzelt werden mit den prüfenden Schulen noch zusätzliche inhaltliche Absprachen getroffen. Diese Besonderheiten müssen naturwissenschaftliche Lehrkräfte an Straßenschulen kennen, um die Jugendlichen erfolgreich auf die Abschlussprüfungen vorbereiten zu können. Sie müssen „einen Überblick zum Jahresbeginn haben: Wo müssen wir hin am Schluss? […] Wie erreichen wir denn dieses Ziel? Welche Zwischenschritte brauchen wir noch?“ (S4, 54).
Gleichzeitig zeigt Tabelle 1 auch, dass Lehrkräfte aus Straßenschulen, ebenso wie Lehrkräfte aus Regelschulen, fachdidaktische Wissen (LK1) und fachliches Wissen (LK2) benötigen. Die Gruppenantworten zu beiden Items spiegeln die Erkenntnisse aus der Interviewstudie wider. Demnach ist es insbesondere wichtig, dass Lehrkräfte den Jugendlichen naturwissenschaftliche Lerninhalte gut erklären können und dabei auch ihre Lernvoraussetzungen, beispielsweise ihr Vorwissen und ihre Lebenswelten, berücksichtigen

können. Um dieser Aufgabe gerecht werden zu können, benötigen Lehrkräfte fachdidaktisches und fachliches Wissen. Dennoch beschäftigen Straßenschulen aufgrund der schwierigen Bewerberlage – auch Straßenschulen leiden unter dem MINT-Lehrkräftemangel – mitunter auch Lehrkräfte, die keinen naturwissenschaftlichen beziehungsweise naturwissenschaftsdidaktischen Hintergrund haben. Idealerweise gilt aber, dass Lehrkräfte „die Grundlagen, die man auch in der Schule erwirbt, die sollten auf jeden Fall da sein“ (L11, 40). Laut den Expert:innen wird also eher das Wissen über die schulischen Inhalte und kein vertieftes Fachwissen benötigt.

Als relevant wurde außerdem die Aussage bewertet, dass Lehrkräfte von den Naturwissenschaften begeistert sein sollten und dies ausstrahlen sollten (LK12). Dies zeigt sich beispielsweise an den Aussagen eines Schulleiters: “Idealerweise sollten sie wirklich viel Spaß an ihrem Fachgebiet haben. Und größtmögliche Freude, das auch anderen Menschen erklären zu wollen. Weil dann funktioniert das im Regelfall ganz gut“ (S10, 50). Besagte Begeisterung von den Inhalten und dem Unterrichten dieser kann ansteckend für die Jugendlichen sein. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass bei vielen Jugendlichen eher negative Lernemotionen – auch in den Naturwissenschaften – zu Beginn ihres Straßenschulbesuchs vorliegen (Fischer & Welzel-Breuer, 2023b), wird die Bedeutung dieses Aspekts verständlich. Die Begeisterung der Lehrkraft soll somit das Interesse und die Erwartungshaltung der Jugendlichen im Fachunterricht positiv beeinflussen.

Tabelle 1: Auswertung von ausgewählten Fragebogenitems zu den notwendigen Kompetenzen von naturwissenschaftlichen Lehrkräften in Straßenschulen

Item	Fragebogenitem	N	M	SD
LK3	Lehrpersonen an der Straßenschule sollten wissen, wie die naturwissenschaftlichen Abschlussprüfungen aufgebaut sind und welche Inhalte abgefragt werden.	34	5,41	0,77
LK1	Naturwissenschaftliche Lehrpersonen an der Straßenschule sollten wissen, wie naturwissenschaftliche Inhalte für die Jugendlichen verständlich aufbereitet werden können.	34	5,21	0,76
LK12	Naturwissenschaftliche Lehrpersonen sollten von den naturwissenschaftlichen Fächern begeistert sein und dies auch ausstrahlen.	34	5,09	0,74
LK2	Naturwissenschaftliche Lehrpersonen an der Straßenschule sollten über ein gutes naturwissenschaftliches Fachwissen verfügen.	34	4,82	0,98

Fazit

Die vorliegende Delphi-Studie zeigt, dass (naturwissenschaftlichen) Lehrkräften in Straßenschulen eine wichtige Rolle zukommt: Sie müssen es schaffen, die teilnehmenden Jugendlichen neu für Naturwissenschaften zu begeistern – und das trotz vielfältiger negativer Vorerfahrungen aus dem Regelschulsystem. Gleichzeitig müssen sie die Jugendlichen innerhalb kurzer Zeit erfolgreich auf die Abschlussprüfungen vorbereiten. Um diesen anspruchsvollen Aufgaben gerecht werden zu können, benötigen sie neben fachdidaktischem und fachlichem Wissen ebenso eine Begeisterung für das eigene Unterrichtsfach.

Danksagung

Wir möchten der Hanns-Seidel-Stiftung danken, dass sie das Promotionsprojekt finanziell durch ein Stipendium mit Mitteln des BMBF unterstützt.

Literatur

Baumert, J., & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 9 (4), 469–520. https://doi.org/10.1007/s11618-006-0165-2

Bielert, D. (2006). Straßenkarrieren von Kindern und Jugendlichen. Wenn es passiert ist …: Erklärungen aus Sicht der Jugendlichen und Hilfestellung für ihre Eltern. Hamburg: Universität Hamburg. https://ediss.sub.uni-hamburg.de/bitstream/ediss/1484/1/Bielertdissertation.pdf

Bundesministerium für Arbeit und Soziales. (2022). Ausmaß und Struktur von Wohnungslosigkeit: Der Wohnungslosenbericht 2022 des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales. https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/Soziale-Sicherung/wohnungslosenbericht-2022.pdf?__blob=publicationFile&v=4

Fischer, M., & Welzel-Breuer, M. (2022a). Zur Rolle von naturwissenschaftlicher Bildung in Straßenschulen. PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 543–550. https://doi.org/10.25656/01:25707

Fischer, M., & Welzel-Breuer, M. (2022b). Naturwissenschaftlicher Unterricht in Straßenschulen. Zu Lernvoraussetzungen von Straßenjugendlichen. PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 527–534. https://doi.org/10.25656/01:25894

Fischer, M., Welzel-Breuer, M., & Woitok, J. (2023). Straßenschulen - (nicht nur) für wohnungslose Jugendliche ein außerschulischer Ort zum Lernen. heiEDUCATION Journal. Transdisziplinäre Studien zur Lehrerbildung, 11, 239–250. https://doi.org/10.17885/heiup.heied.2023.11.24888

Fischer, M., & Welzel-Breuer, M. (2024). Naturwissenschaften & Straßenschulen: Welche Rolle spielen Lehrkräfte? In H. van Vorst (Eds.), Frühe naturwissenschaftliche Bildung. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Hamburg 2023, 430-433 https://gdcp-ev.de/wp-content/uploads/securepdfs/2024/06/G19_Fischer.pdf

Fischer, M. (im Druck). Naturwissenschaftliche Bildung in Straßenschulen und ihr Potenzial zur Erfüllung des Sustainable Development Goals „Quality Education“. Heidelberg: Pädagogische Hochschule Heidelberg

Häder, M. (2014). Delphi-Befragungen: Ein Arbeitsbuch. Wiesbaden: Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-01928-0

Kuckartz, U. (2018). Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. Weinheim, Basel: Beltz Juventa

Lotties, S. (2024). Statistikbericht – Zu Lebenslagen wohnungsloser und von Wohnungslosigkeit bedrohter Menschen in Deutschland – Lebenslagenbericht. Schwerpunktthema: Junge Menschen in Wohnungsnot. Berichtsjahr 2022. Berlin: Bundesarbeitsgemeinschaft Wohnungslosenhilfe. https://www.bagw.de/fileadmin/bagw/media/Doc/STA/STA_Statistikbericht_2022.pdf

Mücher, F. (2020). Sprungbrett Schulabschluss? Sozialpädagogische Begleitung für vom Bildungssystem entkoppelte junge Menschen. Evaluation des Pilotprojekts PREJOB April 2018 - Dezember 2020. Bochum: Evangelische Hochschule Rheinland-Westfalen-Lippe. https://kidoks.bsz-bw.de/frontdoor/deliver/index/docId/2259/file/Muecher_Sprungbrett_Schulabschluss.pdf

Statistisches Bundesamt (2024). Untergebrachte wohnungslose Personen: Deutschland, Stichtag, Nationalität, Geschlecht, Altersgruppen (Genesis-Tabelle: 22971-0001). https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=22971-0001&bypass=true&levelindex=0&levelid=1729842640470#abreadcrumb 1

Lea Grotegut[1] [1]Universität Paderborn
Christoph Vogelsang[1]

Objective Structured Teaching Examinations (OSTE) im Lehramtsstudium

Einleitung

Prüfungen im Rahmen des Lehramtsstudiums können - je nach konkreter Implementation - das Lernverhalten Studierender maßgeblich beeinflussen (Flores, Veiga Simão, Barros & Pereira, 2015). Sie können Studierende durch Rückmeldungen über ihren Leistungsstand und Lernerfolg informieren und so beim Erreichen von zukünftigen Lernzielen unterstützen (Nicol & Macfarlane-Dick, 2006; Sopka, Simon & Beckers, 2018). Prüfungen können so auch als Lerngelegenheiten fungieren (*„assessment for learning"*, Carless, Bridges, Chan & Glofcheski, 2017), die gemeinsam mit Lernzielen und Lernaktivitäten einen kohärenten Lernprozess bilden (s. *Constructive Alignment*, Biggs & Tang, 2011) und dazu beitragen theoretisches Wissen und praktische Handlungsanforderungen miteinander zu verbinden (vgl. Zeichner, 2010). Dies geschieht jedoch im Lehramtsstudium durch oft handlungsferne Prüfungsformate nur selten. Während der ersten Ausbildungsphase (Studium) dominieren Prüfungsformate, die deklaratives (*knows*) und prozedurales Wissen (*knows how*, s. *Framework for clinical assessment*, Miller, 1990) fokussieren, wie ein Großteil der Klausuren und mündlichen Prüfungen. In der zweiten Ausbildungsphase (Vorbereitungsdienst) hingegen wird im Rahmen von Unterrichtsbesuchen und später der unterrichtspraktischen Prüfung das Handeln in realen beruflichen Situationen geprüft (*does*). Hier besteht also eine Art „Prüfungslücke" zwischen der Prüfung von Wissen einerseits und beruflichem Handeln in realen Situationen andererseits. Miller (1990) bezeichnet diese Lücke zwischen *knows how* und *does* als Performanz (*shows how/performance*). Performanzorientierte Prüfungen in diesem Sinne bilden typische berufliche Handlungen in komplexitätsreduzierten Settings ab, z. B. in Form von rollenspielbasierten Simulationen (*approximations of practice*, Grossman et al., 2009). Sie bieten damit die Möglichkeit, Kernpraktiken des Lehrer*innenberufs, sogenannte *Core Practices* (s. Grossman et al., 2009), isoliert und standardisiert zu prüfen. In diesem Sinne können zum Beispiel das Führen eines Feedbackgesprächs, das Erklären eines physikalischen Phänomens oder auch das Lösen eines Konflikts zwischen Schülerinnen als *Core Practices* verstanden werden, die durch performanzorientierte Prüfungsformate geprüft werden können.

In anderen professionsorientierten Studiengängen wie der Medizin sind solche Prüfungsformate seit Langem etabliert (Pierre & Breuer, 2018). Hier kommen bspw. sogenannte *Objective Structured Clinical Examinations* (OSCE) zum Einsatz, die durch zumeist 10-12 etwa 5-minütige Prüfungsstationen, die als zusammenhängender Parcours absolviert werden, auf die Prüfung einer breiten Palette klinischer Kompetenzen abzielen (Sopka et al., 2018). An jeder Station steht dabei die Bewältigung einer spezifischen klinischen Aufgabe im Mittelpunkt, oft unterstützt durch z. B. Simulationspatient*innen, Computersimulationen oder medizinische Dokumente. Analog zu OSCE werden in der medizinischen Ausbildung außerdem *Objective Structured Teaching Examinations* (OSTE) eingesetzt, die die Prüfung von Lehr- und Kommunikationsfähigkeiten von Ausbilder*innen zum Ziel haben (Fakhouri & Nunes, 2019). Im Lehramtsstudium sind vergleichbare

performanzorientierte Prüfungsformate bisher kaum etabliert. Zu Übungszwecken kommen jedoch bereits simulationsbasierte Ansätze mit Fokus auf verschiedene *Core Practices* zum Einsatz (z. B. Führen von Elterngesprächen, Dotger et al., 2010; Gerich & Schmitz, 2016; Diagnosefähigkeiten, Fischer & Opitz, 2022). Vereinzelt existieren auch simulationsbasierte Assessmentformate, die jedoch bisher vor allem zu Forschungszwecken eingesetzt werden (z.B. für Erklärfähigkeiten, Kulgemeyer & Riese, 2018; Diagnosefähigkeiten, Kaiser & Möller, 2017).
Dieser Beitrag stellt daher die Entwicklung und Erprobung eines simulationsbasierten, performanzorientierten Prüfungsformates angelehnt an OSTE aus der Medizinausbildung für das Lehramtsstudium vor. Anhand von Ergebnissen aus ersten begleitenden Studien zur Durchführung des entwickelten OSTE-Prototypen soll zudem die Frage beantwortet werden, wie Studierende den Prototypen hinsichtlich der Eignung als Prüfungsformat für das Lehramtsstudium beurteilen.

Ein OSTE-Prototyp für das Lehramtsstudium im Fach Physik

Der OSTE-Prototyp wurde mit dem Ziel entwickelt, performative Aspekte professioneller Handlungskompetenz (angehender) Physiklehrkräfte (Blömeke, Gustafson & Shavelson, 2015) zu erfassen. Angelehnt an die vier Kompetenzbereiche Unterrichten, Beurteilen, Erziehen und Innovieren (KMK, 2024) bilden die insgesamt sieben 10- bis 20-minütigen Prüfungsstationen unterschiedliche, typische Anforderungen des Lehrkräfteberufs ab, wobei neben Neuentwicklungen bestehende Vorarbeiten adaptiert wurden (z. B. Feser, 2019; Kulgemeyer & Riese, 2018). Im Sinne des *Core-Practices*-Ansatz wird an jeder Prüfungsstation eine einzelne isolierte Kompetenz(-facette) erfasst. Dazu zählen: Unterrichtsplanung, Unterrichtsreflexion, Erklären eines physikalischen Phänomens (alle Kompetenzbereich Unterrichten), Beratung eines Schülers, Beurteilung schriftlicher Aufgabenlösungen (beide Kompetenzbereich Beurteilen), Moderation eines Konfliktgesprächs (Kompetenzbereich Erziehen) und kollegiale Unterrichtsentwicklung (Kompetenzbereich Innovieren). Der Prototyp umfasst sowohl eher bildungswissenschaftlich ausgerichtete Stationen als auch eher fachdidaktisch ausgerichtete Stationen. Zudem unterscheidet sich der Bearbeitungsmodus der Stationen: So enthält der OSTE neben Gesprächssimulationen mit Schauspieler*innen auch simulierte Videokonferenzen am Laptop sowie komplett schriftlich zu bearbeitende Stationen. Alle Stationen werden nacheinander von den Prüflingen durchlaufen, sodass ein kompletter Prüfungsparcours inklusive kurzer Pausen etwa 90 Minuten umfasst.

Wahrnehmung des OSTE-Prototypen durch Studierende

Mit dem Ziel der Erprobung und Weiterentwicklung des OSTE-Prototypen wurde der Prüfungsparcours im Sommersemester 2024 ganz oder teilweise mit insgesamt sechs Studierendengruppen an drei Universitätsstandorten durchgeführt. Je Erprobung absolvierten jeweils vier bis 11 Lehramtsstudierenden des Unterrichtsfachs Physik (n_{Physik} = 34) den gesamten Prüfungsparcours; jeweils 7 bis 12 Studierende in bildungs- bzw. erziehungswissenschaftlichen Seminaren (n_{BiWi} = 19) testeten ausschließlich die neuentwickelte Station zur Moderation eines Konfliktgesprächs.

Methodisches Vorgehen

Die Teilnehmenden in beiden Stichproben bearbeiteten jeweils nach Beenden einer Station einen Kurzfragebogen mit fünf-stufigen Likert-Items zu ihrer Wahrnehmung der

entsprechenden Station hinsichtlich Authentizität („Ich finde die dargestellte Situation authentisch.“, $0.708 < \alpha < 0.852$) und kognitiver Involviertheit („Ich habe mich in die Situation hineinversetzt.“, $0.724 < \alpha < 0.851$). In der Gesamtdurchführungsstichprobe füllten die Teilnehmenden zusätzlich einen Fragebogen zu demographischen Angaben, Erfahrungen mit für das Absolvieren des OSTE relevanten Unterrichtsinhalten sowie einer Gesamteinschätzung des OSTE-Prototyps am Ende des Prüfungsparcours aus. Hierbei kamen sechs-stufige Likert-Items zum Einsatz. Einige Studierende erklärten sich zudem zu einem vertiefenden Leitfadeninterview bereit. Die Daten aus den Fragebögen wurden deskriptiv analysiert. Die Leitfadeninterviews wurden mithilfe der qualitativen Inhaltsanalyse (Mayring, 2022) ausgewertet.

Ergebnisse und Ausblick

Die Ergebnisse deuten insgesamt auf eine positive Einschätzung des OSTE sowie der Konfliktstation in Bezug auf die Eignung als mögliches Prüfungsformat hin, zugleich aber auch auf Herausforderungen aufgrund des noch unbekannten Formats. Im Detail waren die Teilnehmenden der Ansicht, dass der Prüfungsparcours authentische Anforderungen des Lehrer*innenberufs abbildet und prüft, was für den späteren Beruf als Lehrkraft relevant ist. Auch die Wichtigkeit der geprüften Inhalte für die gesamte Lehramtsausbildung wird als hoch eingeschätzt. Weniger positiv beurteilen die Teilnehmenden hingehen die Möglichkeit, sich gut auf einen solchen Prüfungsparcours vorbereiten und die Vorbereitung gut planen zu können sowie die Vergleichbarkeit der Leistungen von Studierenden im Prüfungsparcours. Die qualitativen Ergebnisse aus den leitfadengestützten Interviews unterstreichen diesen Eindruck insgesamt.

Tab. 5: Gesamteinschätzung des OSTE-Prototyps

Items	M	SD
In so einem Prüfungsparcours wird geprüft, was für meinen späteren Beruf als Lehrkraft relevant ist.	5.35	0.73
Auf so einen Prüfungsparcours kann man sich gut vorbereiten.	3.62	1.07
ln so einem Prüfungsparcours sind die Leistungen von Studierenden gut vergleichbar.	3.76	0.99
So ein Prüfungsparcours bildet authentische Anforderungen des Lehrer*innenberufs ab.	5.44	0.71
Die Vorbereitung auf so einen Prüfungsparcours kann man gut planen.	3.82	1.03
In so einem Prüfungsparcours wird geprüft, was für die gesamte Lehramtsausbildung wichtig ist.	5.29	1.03

Insgesamt scheint der OSTE von den Studierenden als Prüfungsformat akzeptiert zu werden. Der Prototyp wird dabei insbesondere als authentisch in Bezug auf die beruflichen Anforderungen im Lehrkräfteberuf eingeschätzt. Offen ist unter anderem noch die Frage, aus welchen Gründen die Teilnehmenden die Vorbereitung auf einen solchen Prüfungsparcours als problematisch einschätzen (bspw., weil passende Lerngelegenheiten in vorherigen Kursen fehlen). Der Prototyp soll daher mit weiteren Studierenden an unterschiedlichen Universitätsstandorten erprobt werden, um eine belastbarere Datengrundlage und weitere Einschätzungen für die Weiterentwicklung zu gewinnen. Perspektivisch ist auch eine Übertragung auf andere Studienfächer möglich.

Literatur

Biggs, J. & Tang, C. (2011). Teaching for Quality Learning at University. What the students does (4th Edition). Open University Press.

Blömeke, S., Gustafsson, J.-E. & Shavelson, R. J. (2015). Beyond Dichotomies: Competence viewed as continuum. *Zeitschrift für Psychologie*, *223*(1), 3–13. https://doi.org/10.1027/2151-2604/a000194 Braun, E. (2021). Performance-based assessment of students' communication skills. *International Journal of Chinese Education*, *10*(1), 221258682110062. https://doi.org/10.1177/22125868211006202

Carless, D., Bridges, S. M., Chan, C. K. Y., & Glofcheski, R. (Eds.). (2017). Scaling up assessment for learning in higher education. Springer.

Dotger, B. H., Dotger, S. C. & Maher, M. J. (2010). From Medicine to Teaching: The Evolution of the Simulated Interaction Model. *Innovative Higher Education*, *35*(3), 129–141. https://doi.org/10.1007/s10755-009-9128-x

Fakhouri, S. A., & Nunes, M. D. P. T. (2019). Objective structured teaching examination (OSTE): an underused tool developed to assess clinical teaching skills. A narrative review of the literature. Sao Paulo Medical Journal, 137, 193-200.

Feser, M. S. (2019). Physiklehrkräfte korrigieren Schülertexte. Logos Verlag Berlin.

Fischer, F. & Opitz, A. (Hrsg.). (2022). *Learning to Diagnose with Simulations*. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89147-3

Flores, M. A., Veiga Simão, A. M., Barros, A. & Pereira, D. (2015). Perceptions of effectiveness, fairness and feedback of assessment methods: a study in higher education. Studies in Higher Education, 40 (9), 1523-1534.

Gerich, M. & Schmitz, B. (2016). Using Simulated Parent-Teacher Talks to Assess and Improve Prospective Teachers' Counseling Competence. *Journal of Education and Learning*, *5*(2), 285–301. https://doi.org/10.5539/jel.v5n2p285

Grossman, P., Compton, C., Igra, D., Ronfeldt, M., Shahan, E., & Williamson, P. W. (2009). Teaching practice: A cross-professional perspective. Teachers college record, 111(9), 2055-2100.

KMK (2024). Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004 i. d. F. vom 07.10.2022. URL: https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Standards-Lehrerbildung.pdf

Kulgemeyer, C., & Riese, J. (2018). From professional knowledge to professional performance: The impact of CK and PCK on teaching quality in explaining situations. Journal of Research in Science Teaching, 55(10), 1393-1418.

Miller, G. E. (1990). The assessment of clinical skills/competence/performance. *Academic medicine journal of the Association of American Medical Colleges*, *65*(9), S63-7. https://doi.org/10.1097/00001888-199009000-00045

Nicol, D. J. & Macfarlane-Dick, D. (2006). Formative assessment and self-regulated learning: a model and seven principles of good feedback practice. Studies in Higher Education, 31 (2), 199-218.

St. Pierre, M. S., & Breuer, G. (Hrsg.) (2018). Simulation in der Medizin: Grundlegende Konzepte - Klinische Anwendung (2. Aufl.). Springer.

Sopka, S., Simon, M., & Beckers, S. K. (2018). „Assessment drives learning ": Konzepte zur Erfolgs-und Qualitätskontrolle. In St. Pierre, & G. Breuer (Hrsg.), Simulation in der Medizin: Grundlegende Konzepte-Klinische Anwendung (2.Aufl.) (S. 97-109). Springer.

Zeichner, K. (2010). Rethinking the connections between campus courses and field experiences in college-and university-based teacher education. Journal of teacher education, 61(1-2), 89-99.

Niklas Prewitz[1]
Katharina Groß[1]

[1]Universität zu Köln

Professionsrelevantes Fachwissen
Von der Theorie in die Praxis

Angehende Chemielehrende stehen oftmals vor der Herausforderung, die Brücke zwischen ihrem universitär erlernten Fachwissen, also ihrer persönlichen Wissensbasis, und den zu lehrenden Schulwissensinhalten zu schlagen. Vielmehr nehmen sie einen deutlichen Bruch zwischen beiden Wissensfeldern wahr (Dreher et al., 2016; Klein, 2016) und haben demnach Schwierigkeiten in der eigenständigen Vernetzung dieser im Sinne einer produktiven Nutzung des universitär erlernten Fachwissens für die Erklärung und Vermittlung schulischer Fachinhalte. Dies führt schließlich dazu, dass die universitär erlernten Fachwissensinhalte zu einem trägen Wissen (Renkl, 1996) verkommen und nicht für den Schulkontext anknüpfbar sind. In der Folge führt dies zu einer mangelnden fachinhaltlichen Professionalisierung der angehenden Chemielehrenden, was auch Lehrerbildner:innen der zweiten Ausbildungsphase vermehrt wahrnehmen.
Diese sog. Diskontinuität (Wu, 2011) in der Professionswissensdomäne Fachwissen (Shulman, 1987) zu überwinden, ist das Ziel eines seit 2021 im Rahmen eines Design-Based-Research-Projektes konzipierten und stetig weiterentwickelten Lehr-/Lern-Moduls, das die explizite Transformation des universitär erlernten Fachwissens hin zu dem im Schulkontext anknüpfbaren Professionsrelevanten Fachwissen fördern soll (Prewitz & Groß, 2023).

Professionsrelevantes Fachwissen (PrFW)

Unter professionsrelevantem Fachwissen (PrFW) wird ein für unterschiedliche Lehrsituationen aufbereitetes Fachwissen von Chemielehrer:innen verstanden, das sich im Sinne eines Wissensnetzes durch die Einordnung von universitär erworbenen Fachinhalten sowie die Ableitung von Grundkonzepte der Chemie als Ganzes mit Blick auf die schulischen Fachinhalte auszeichnet. Diese Vernetzung der Fachwissensinhalte auf horizontaler Ebene schafft so eine zusammenhängende, kohärente Wissensbasis, in welche die anders strukturierten, schulischen Wissensinhalte eingegliedert werden können. (Prewitz & Groß, 2024)

Modulphase 1: Angeleitete Transformation des universitären Fachwissens zum PrFW

Im Rahmen der ersten Modulphase erfolgt eine angeleitete Vernetzung der universitären Fachwissensinhalte exemplarisch für die schulrelevanten Themenfelder *Säure-Base-* und *RedOx-Chemie* (Ministerium für Schule und Weiterbildung NRW, 2019, 2022). Dabei werden durch die iterative Arbeit mit Concept-Maps gezielt die fragmentierten Wissensinhalte aus den verschiedenen Subdisziplinen in einem umfassenden Wissensnetz zusammengeführt (Jüngst & Strittmatter, 1995), bevor letztlich – unter Bezug auf die Basiskonzepte (Ministerium für Schule und Weiterbildung NRW, 2022) – zentrale, übergeordnete Grundkonzepte abstrahiert werden. Die Studierenden reflektieren ihren Arbeits- bzw. Lernprozess im Rahmen von Prozessportfolios, was ihnen eine Metareflexion des eigenen Wissens sowie ihres Professionalisierungsprozesses ermöglicht (Diederich & Mester, 2018; Hofmann et al., 2016).
Durch die Auswertung der Prozessportfolios mittels inhaltlich strukturierender qualitativer Inhaltsanalyse (Kuckartz & Rädiker, 2022) konnte bereits gezeigt werden, dass die Ursache für die wahrgenommene Diskontinuität und die damit einhergehenden Herausforderungen in der

Wissenstransformation mit Blick auf die Schule vor allem in der starken Fragmentierung des universitär erlernten Fachwissens begründet liegt und die Studierenden umfassende Herausforderungen in der eigenständigen Vernetzung ihres Fachwissens feststellen (UF 1.1). Gleichzeitig trägt die konzipierte Methode des iterativen Concept-Mappings, wie sie in Modulphase 1 angewandt wird, jedoch erheblich dazu bei, diese Herausforderungen zu überwinden und die angehenden Lehrenden so in der Vernetzung der Fachinhalte mit Blick auf die Schule und damit in der Transformation des Fachwissens hin zum PrFW zu unterstützen (UF 1.2). (Prewitz & Groß, 2024)
Somit ist davon auszugehen, dass die angehenden Lehrenden nach Abschluss der ersten Modulphase über ein umfangreicher vernetztes PrFW verfügen.

Modulphase 2: Eigenständige Erschließung und Vermittlung neuer Fachinhalte
Im Rahmen von Modulphase 2 erhalten die Studierenden die Aufgabe, sich einen neuen Fachinhalt aus dem Feld der *Organischen Chemie* eigenständig zu erschließen, diesen für ein Microteaching (Klinzing, 1976) aufzubereiten und ihren Kommiliton:innen zu vermitteln. Die gewählten Fachinhalte entstammen dabei aktuellen Forschungsfeldern der organischen Chemie (Depmeier et al., 2021; Hetzer et al., 2014) und sind den Studierenden somit unbekannt. Sie lassen sich aber auf bekannte Konzepte der organischen Chemie zurückführen, was im Sinne der Wissenstransformation zum Aufbau des PrFW beiträgt.
Mit Modulphase 2 werden drei zentrale Zielsetzungen verfolgt: Zum einen erfolgt die vernetzte Erschließung des neuen Fachinhalts nicht angeleitet, sondern eigenständig durch die Studierenden. Dies ermöglicht Einblicke darin, ob bzw. wie die Studierenden in der Lage sind, in die Wissensvernetzung auch eigenständig neue Fachinhalte einzubeziehen (UF 2.1). Durch die Wahl des Themenfeldes der Organischen Chemie wird des Weiteren das Wissensnetz um weitere zentrale, schulrelevante Inhalte ergänzt, sodass eine umfassende PrFW-Basis ausgebildet werden kann. Zuletzt ist es durch die Aufbereitung der Wissensinhalte in Form von Microteachings möglich, einen Einblick in konkrete Lehrsituationen zu erhalten und somit der Frage nachzugehen, ob das zum PrFW vernetzte Fachwissen auch für Lehrsituationen nutzbar ist bzw. in diesen explizit angewendet wird (UF 2.2).
Die Grundüberlegung zu UF 2.2 fußt dabei auf dem Refined Consensus Model of PCK (Hume et al., 2019), nach welchem Lehrende über eine umfassende Grundwissensbasis (pPCK) verfügen, aus welcher sie – je nach Unterrichtssituation – Anteile im tatsächlichen Unterrichtsgeschehen aktiv anwenden. Um auch bei den Schüler:innen zu einem umfassenden Fachverständnis und damit zu einem kumulativen Wissenserwerb beizutragen, sollte auch die Wissensvermittlung vernetzt erfolgen und das PrFW somit auch in der aktiven Lehrsituation nutzbar sein.

Auszug der Erkenntnisse aus Modulphase 2
Analog zu Modulphase 1 wird auch Modulphase 2 durch den Einsatz eines Prozessportfolios begleitet, in welchen die Studierenden ihren Lern-/ Arbeitsprozess reflektieren. Diese können insbesondere hinsichtlich UF 2.1 mittels inhaltliche strukturierender qualitativer Inhaltsanalyse (Kuckartz & Rädiker, 2022) ausgewertet werden, um so einen Einblick in mögliche Herausforderungen bei der eigenständig vernetzten Erschließung der neuen Fachinhalte zu erhalten. Des Weiteren werden die Microteaching-Sitzungen videographiert, um explizite Vernetzungssituationen im Sinne des PrFW identifizieren zu können.
Weitere Aussagen zu UF 2.1 sind darüber hinaus aus der Gesamtmodulevaluation ableitbar. Diese erfolgt im Anschluss an das Lehr-/Lern-Modul mittels eines strukturierten Fragebogens,

welcher neben geschlossenen Frageitems – insbesondere zur wahrgenommenen Kohärenz der Lehrveranstaltung (Henning-Kahmann & Hellmann, 2019) – mittels vier offener Frageitems auch die Einschätzung der Studierenden zu den Aspekten „Verknüpfung von fachwissenschaftlichen und fachdidaktischen Inhalten, inhaltliche Progression, Verknüpfung von theoretischem Input und praktischer Erprobung sowie weitere Verbesserungsmöglichkeiten der Lehrveranstaltung“ erhebt.
Aus der Auswertung der offenen Frageitems mittels inhaltlich strukturierender qualitativer Inhaltsanalyse (Kuckartz & Rädiker, 2022) ergeben sich folgende Erkenntnisse in Bezug auf UF 2.1:
13 von 44 Studierenden berichten explizit von einem wahrgenommenen (methodischen) Bruch zwischen der angeleiteten Fachinhaltsvernetzung in Modulphase 1 und der in Modulphase 2 geforderten, eigenverantwortlichen Fachinhaltsvernetzung: „Die Verknüpfung zwischen der BC/OC-Thematik und den vorangegangenen Themenfeldern hätte noch deutlicher sein können - hier gab es einen Bruch.“ bzw. „Der letzte Teil mit dem OC-Bezug schien hingegen nicht ganz zu dem anderen Teil zu passen.“. 6 Studierende äußern darüber hinaus den konkreten Wunsch nach einer angeleiteten Vernetzung weiterer Themenfelder: „Ebenso hätte ich mir die fachliche Auseinandersetzung mit beiden Themengebieten gewünscht.“ bzw. „Wünschenswert wäre es, wenn nicht nur ein Themenfeld neu verknüpft werden würde, sondern mehrere (Säure-Base + RedOx, nicht nur eines von beiden).“. Beide Kategorien deuten auf Herausforderungen in der eigenständigen, selbstinitiierten Vernetzung von Fachwissensinhalten hin. So sollte kein Bruch zwischen der fachinhaltlichen Auseinandersetzung mit den Themenfeldern aus den Modulphasen 1 und 2 wahrgenommen werden, wenn es den Studierenden gelänge, auch die OC-Themen aus Modulphase 2 selbstständig in das Gesamtwissensnetz einzugliedern und mit den vorherigen Inhalten zu verknüpfen. Hier scheinen die Disziplingrenzen weiterhin zu bestehen. Die Äußerung des Wunsches nach mehr angeleiteter Vernetzung stützt diese Einschätzung weiter.

Fazit

Fasst man die genannten Erkenntnisse aus den Modulphasen 1 und 2 zusammen, so zeigt sich die Notwendigkeit einer explizit vernetzenden Fachinhaltslehre im Fachbereich Chemie: Während die aktuelle Strukturierung der Fachinhaltsvermittlung – gegliedert in einzelne, abgeschlossene Subdisziplinen – zu einem fragmentierten Faktenwissen führt, setzt die spätere Lehrtätigkeit ein umfassendes, vernetztes Fachverständnis voraus. Das universitär erworbene Fachwissen ist nur dann mit Blick auf die Schule anschlussfähig, wenn es als PrFW vorliegt. Die dazu notwendige Vernetzung der Fachwissensinhalte stellt die Studierenden jedoch vor große Herausforderungen, wenn diese selbstinitiiert und eigenständig erfolgen muss, weshalb es einer angeleiteten expliziten Wissensvernetzung bedarf; Entweder unmittelbar während der Fachinhaltslehre oder im Rahmen eigenständiger Lehrveranstaltungen, wie etwa dem konzipierten Lehr-/Lern-Modul.
Ob das Professionsrelevante Fachwissen schließlich auch in Lehrsituationen (im Sinne eines ePrFW) wirksam werden kann, gilt es noch zu überprüfen. Das Modulkonzept ist jedoch bereits geeignet, um die Fachwissensvernetzung hin zum pPrFW zu fördern.

Literaturverzeichnis

Depmeier, H., Hoffmann, E., Bornewasser, L. & Kath-Schorr, S. (2021). Strategies for Covalent Labeling of Long RNAs. *Chembiochem : a European journal of chemical biology*, *22*(19), 2826–2847. https://doi.org/10.1002/cbic.202100161

Diederich, J. & Mester, T. (2018). Tiefenlernen durch Concept Maps mit Reflexionsanteilen. *Die Hochschullehre*, *4*(6), 227–258. http://www.hochschullehre.org/?dl_id=156

Dreher, A., Lindmeier, A. & Heinze, A. (2016). Conceptualizing professional content knowledge of secondary teachers taking into account the gap between academic and school mathematics. In C. Csikos, A. Rausch & J. Szitányi (Hrsg.), *Proceedings of the 40th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (S. 219–226). PME.

Henning-Kahmann, J. & Hellmann, K. (2019). Entwicklung eines Fragebogens zur Erfassung der studentischen Kohärenzwahrnehmung im Lehramtsstudium. In K. Hellmann, J. Kreutz, M. Schwichow & K. Zaki (Hrsg.), *Kohärenz in der Lehrerbildung* (S. 33–50). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-23940-4_3

Hetzer, R., Kümmerlen, F., Wirz, K. & Blunk, D. (2014). Fire Testing a New Fluorine-free AFFF Based on a Novel Class of Environmentally Sound High Performance Siloxane Surfactants. *Fire Safety Science*, *11*, 1261–1270. https://doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.11-1261

Hofmann, F., Wolf, N., Klaß, S., Grassmé, I. & Gläser-Zikuda, M. (2016). Portfolios in der LehrerInnenbildung. Ein aktueller Überblick zur empirischen Befundlage. In M. Boos, A. Krämer & M. Kricke (Hrsg.), *LehrerInnenbildung gestalten. 8. Portfolioarbeit phasenübergreifend gestalten. Konzepte, Ideen und Anregungen aus der LehrerInnenbildung* (S. 23–39). Waxmann. http://waxmann.ciando.com/ebook/bid-2180769-portfolioarbeit-phasenuebergreifend-gestalten-konzepte-ideen-und-anregungen-aus-der-lehrerinnenbildung/inhalte/

Hume, A., Cooper, R. & Borowski, A. (Hrsg.). (2019). *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science*. Springer Singapore.

Jüngst, K. L. & Strittmatter, P. (1995). Wissensstrukturdarstellung: Theoretische Ansätze und praktische Relevanz. *Unterrichtswissenschaft*, *23.* https://doi.org/10.25656/01:8129 (Unterrichtswissenschaft 23 (1995) 3, S. 194-207).

Klein, F. (2016). *Elementary Mathematics from a Higher Standpoint*. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-49442-4

Klinzing, H. G. (1976). Die Integration von Skilltraining und Interaktionsanalyse in Kursen zum Training des Lehrerverhaltens am Zentrum für Neue Lernverfahren der Universität Tübingen. In W. Zifreund (Hrsg.), *Training des Lehrerverhaltens und Interaktionsanalyse* (S. 304–350). Beltz.

Kuckartz, U. & Rädiker, S. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung: Grundlagentexte Methoden* (5. Auflage). *Grundlagentexte Methoden*. Beltz Juventa.

Ministerium für Schule und Weiterbildung NRW. (2019). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen* (1. Aufl.). *Schule in NRW: Bd. 3415.*

Ministerium für Schule und Weiterbildung NRW. (2022). *Richtlinien und Lehrpläne für die Sekundarstufe II - Gymnasium, Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen* (1. Aufl.). *Schule in NRW: Bd. 4723*. Ritterbach.

Prewitz, N. & Groß, K. (2023). Chemie vernetzt und fachdidaktisch aufbereitet - Ein Lernmodul für Studierende. In H. van Vorst (Vorsitz), *Jahrestagung 2022.* Symposium im Rahmen der Tagung von GDCP, Aachen. https://gdcp-ev.de/tagungsbaende/tagungsband-2023-band-43/

Prewitz, N. & Groß, K. (2024). Förderung des professionsrelevanten Fachwissens angehender Chemielehrender. In H. van Vorst (Vorsitz), *Jahrestagung 2023.* Symposium im Rahmen der Tagung von GDCP, Hamburg. https://gdcp-ev.de/wp-content/uploads/securepdfs/2024/06/G22_Prewitz.pdf

Renkl, A. (1996). Träges Wissen: Wenn Erlerntes nicht genutzt wird. *Psychologische Rundschau*, *47*(2), 78–92.

Shulman, L. (1987). Knowledge and Teaching:Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*, *57*(1), 1–23. https://doi.org/10.17763/haer.57.1.j463w79r56455411

Wu, H.-H. (2011). The Mis-Education of Mathematics Teachers. *Notices of the American Mathematical Society*, *58*(3), 372–384.

Christoph Maut[1]
Karel Kok[1]
Burkhard Priemer[1]

[1]Humboldt-Universität zu Berlin

Fachdidaktisches Wissen über Messunsicherheiten

Einleitung

Messprozesse sind ein zentraler Bestandteil der Erkenntnisgewinnung und somit auch Gegenstand des Physikunterrichts. Dabei spielt insbesondere für die Auswertung und Interpretation von Messergebnissen die Messunsicherheit eine entscheidende Rolle. Dies findet Ausdruck darin, dass das Thema Messunsicherheit Teil der Bildungsstandards der Sekundarstufen 1 und 2 ist (Kultusministerkonferenz, 2020, 2024). Messunsicherheiten werden im Unterricht eher nebenbei behandelt (Möhrke, 2020). Dies könnte darauf zurückgeführt werden, dass bislang vergleichsweise wenig unterrichtspraktische Konzepte vorliegen und dass es wenig „empfehlenswerte" Unterrichtsroutinen zum Umgang mit Messunsicherheiten im Physikunterricht gibt (Holz & Heinicke, 2019a, 2019b; Möhrke, 2020). Dementsprechend liegen bisher auch nur wenige erprobte Lernumgebungen für Schülerinnen und Schüler vor (Kardaş, 2023; Kok, 2022), die neben der Vermittlung von Kompetenzen die Vielzahl von Alltagsvorstellungen zum Thema Messunsicherheiten aufgreifen (Hull et al., 2021).
Diese Ausgangslage zeigt, dass es bislang wenig fachdidaktische Hinweise für Lehrkräfte zur Thematisierung von Messunsicherheiten im Unterricht gibt. Wir führen das auf einen Mangel an systematischer Aufarbeitung des hierzu notwendigen fachdidaktischen Wissens zurück. Um diesem Defizit zu begegnen, hat das vorliegende Projekt das Ziel, ein Framework für fachdidaktisches Wissen über Messunsicherheiten zu erstellen.

Framework für fachdidaktisches Wissen zu Messunsicherheiten

Um Lehrpersonen in ihrer professionellen Handlungskompetenz zum Thema Messunsicherheiten zu fördern, richten wir den Blick auf Professionswissen (Baumert & Kunter, 2006; Blömeke et al., 2015; König, 2021). Dabei gilt es vor allem, das fachwissenschaftliche und fachdidaktische Wissen zum Themengebiet zu strukturieren und den Lehrpersonen zur Verfügung zu stellen. Auf fachwissenschaftlicher Ebene sind Messunsicherheiten durch das Sachstrukturmodell (Priemer & Hellwig, 2018) zusammengefasst. Bisher gibt es allerdings kein Framework, welches auf fachdidaktischer Ebene das Themengebiet strukturiert. Daher ist das Ziel dieses Projektes – neben theoretisch-orientiertem fachdidaktischen Wissen – auch praxisbezogenes fachdidaktisches Wissen zu beschreiben. Letzteres steht im Zentrum dieses Beitrags: Es sollen antizipierte Handlungen von Lehrpersonen in videobasierten Unterrichtssituationen mit unsicheren Daten erfasst, strukturiert und evaluiert werden. Dies adressiert die folgenden drei Facetten fachdidaktischen Wissens (Webersen et al., 2013): Instruktionsstrategien, Alltagsvorstellungen sowie Experimente und Vermittlung eines angemessenen Wissenschaftsverständnisses. Um ein Verfahren zur Erfassung von Handlungsmöglichkeiten in Unterrichtssituationen zu etablieren, haben wir eine Pilotierungsstudie durchgeführt.

Methodik

In Anlehnung an eine frühere Arbeit (Holz & Heinicke, 2020) wurden drei Unterrichtsvignetten vorstrukturiert und anschließend videographiert. Dabei wird jeweils eine typische Unterrichtssituation aufgezeigt, in der sich die Lehrperson in einer Unterrichtssituation befindet, in der unsichere, experimentelle Daten sowie eine dazugehörige Fragestellung vorliegen. Zudem wird die Lehrperson mit Alltagsvorstellungen versehenen Aussagen der Lernenden zu diesen Daten und der Fragestellung konfrontiert.

Diese Unterrichtsvignetten wurden in einer Pilotierung im Sommersemester 2024 mit 33 Studierenden des Lehramts Physik im Bachelor- und Masterstudium mit der Bitte gezeigt, in einem Freitextfeld zu beschreiben, wie sie an Stelle der Lehrperson im Video den Unterricht fortführen würden.

In einer explorativen Analyse der Aussagen wurden einzelne Handlungsschritte identifiziert, diese zu Handlungssträngen verknüpft und die gefundenen Handlungsstränge gruppiert.

Ergebnisse

In den 33 Freitextantworten der Studierenden ließen sich sechs Handlungsschritte identifizieren: Alltagsvorstellungen aufgreifen, fachlichen Input geben, neue Daten erzeugen, Daten auswerten, Schlussfolgerung ziehen sowie Unterrichtsziel erreichen. Zudem konnten diese sechs Handlungsschritte in vier Handlungssträngen gruppiert werden:

- Alltagsvorstellung aufgreifen, fachlichen Input geben, Daten auswerten, Schlussfolgerung ziehen
- Alltagsvorstellung aufgreifen, neue Daten erzeugen, Daten auswerten, Schlussfolgerung ziehen
- Fachlichen Input geben, Daten auswerten, Schlussfolgerung ziehen
- Alltagsvorstellung aufgreifen oder fachlichen Input geben, Unterrichtsziel erreichen

Dabei zeigt sich, dass diese Handlungsschritte sowohl auf fachwissenschaftlichen und fachdidaktischen Komponenten des Professionswissen basieren und somit die Relevanz beider Wissensfacetten unterstreichen. Zum einen ließen sich Dimensionen des Sachstrukturmodells (Priemer & Hellwig, 2018) insbesondere in Aussagen wiedererkennen, in denen fachlicher Input von der Lehrperson gegeben werden soll. Zum anderen wurden in der Hälfte der Aussagen beschrieben, dass Alltagsvorstellungen aufgegriffen werden sollen. Die Ergebnisse zeigen, dass es grundsätzlich gut möglich erscheint, von Lehrpersonen geäußerte Handlungsmöglichkeiten in herausfordernden Unterrichtssituationen zu erfassen.

Limitierend muss an dieser Stelle gesagt werden, dass die teilnehmenden Studierenden durch den Besuch von fachdidaktischen Lehrveranstaltungen Vorkenntnisse zu dem Thema Messunsicherheiten haben und sich dadurch von Lehrkräften in den Schulpraxis unterscheiden könnten. Des Weiteren wurden antizipierte Handlungsschritte beschrieben. Wie die befragten Personen in einer anderen Situation, z.B. im eigenen Unterricht, agieren würden, kann durch unsere Befragung nicht aufgeklärt werden. Ebenso lässt sich nicht sagen, ob die Personen in der Lage wären, die von ihnen beschriebenen Handlungsschritte bzw. ihren Handlungsstrang in der Praxis durchzuführen.

Ausblick

Für die Auswertung der schriftlichen Antworten soll zunächst ein reliables Kodiermanual erstellt werden. Des Weiteren soll die Vignette durch weitere Schritte erweitert werden. Zum Beispiel ist vorgesehen, dass die Probanden ebenfalls eine gezeigte Lehrkräftehandlung

einschätzen und bewerten sollen. Schließlich soll eine fachdidaktische Bewertung der von den Probanden geschilderten Handlung erfolgen, sodass aus diesen allgemeine Handlungsempfehlungen hergeleitet werden können. Dafür werden zukünftig die Unterrichtsvignetten in Interviews begleitend zu einer Lehrpersonenfortbildung zum Thema Messunsicherheiten (vgl. Kok et al., in diesem Band) genutzt.

Literatur

Baumert, J., & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 9(4), 469–520.

Blömeke, S., Gustafsson, J.-E., & Shavelson, R. J. (2015). Beyond Dichotomies: Competence Viewed as a Continuum. Zeitschrift Für Psychologie, 223(1), 3–13

Holz, C., & Heinicke, S. (2019a). Messunsicherheit – ein ungeliebter Gast im Physikunterricht? Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Kiel 2018, 39.

Holz, C., & Heinicke, S. (2019b). Der Rest ist dann halt Messfehler. Wie angehende Lehrkräfte in Unterrichtssituationen mit Messdaten umgehen. PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung.

Holz, C., & Heinicke, S. (2020). Tipps für Lehrkräfte. Unterricht Physik. 31(177/178), 39--43.

Hull, M. M., Jansky, A., & Hopf, M. (2021). Probability-related naïve ideas across physics topics. Studies in Science Education, 57(1), 45–83.

Kardaş, E. (2023). Der Einfluss von Datenkompetenz auf das Argumentieren beim Experimentieren: Entwicklung und Evaluation von Lernapps zur Förderung von Datenkompetenz. https://phka.bsz-bw.de/frontdoor/index/index/docId/588

Kok, K. (2022). Certain about uncertainty. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin. https://doi.org/10.18452/24782

Kok, K., Maut, C. & Priemer, B. (in diesem Band). Lehrkräftefortbildung zum Thema Messunsicherheiten. In H. Vorst, van (Ed.), Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor. Universität Duisburg-Essen.

König, J. (2021). Lehrerkompetenzen. In T. Hascher, T.-S. Idel, & W. Helsper (Hrsg.), Handbuch Schulforschung (S. 1–18). Springer Fachmedien Wiesbaden.

Kultusministerkonferenz. (2020). Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife.

Kultusministerkonferenz. (2024). Weiterentwickelte Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Physik (MSA).

Möhrke, P. (2020). Messunsicherheiten im Physikunterricht—Befragung von Lehrkräften in Baden-Württemberg. In S. Habig (Hrsg.), Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen (Bd. 46, S. 876–879). Universität Duisburg-Essen.

Priemer, B., & Hellwig, J. (2018). Learning About Measurement Uncertainties in Secondary Education: A Model of the Subject Matter. International Journal of Science and Mathematics Education, 16(1), 45–68.

Webersen, Y., Riese, J., & Reinhold, P. (2013). Modellierung fachdidaktischen Wissens angehender Physiklehrkräfte. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 19, 7–30.

Luzie Semmler[1]
Nadja Belova[2]
Valentin Engstler[3]
Melissa Gruber[4]
Christian G. Strippel[4]
Katharina Groß[1]

[1]Universität zu Köln
[2]Universität Bremen
[3]Universität Münster
[4]Pädagogische Hochschule Karlsruhe
[5]Ruhr-Universität Bochum

Escape Rooms in Chemie: Einsatz- und Forschungsszenarien in der Lehre

Einleitung

Escape Rooms (ERs) erfreuen sich sowohl in der Freizeit als auch in der Lehre wachsender Beliebtheit. Mit ihnen werden einige Potenziale in der Förderung von Kompetenzen und Volitionen verbunden, was sie zu einem attraktiven Angebot in der schulischen sowie universitären Lehre macht. Dennoch sind konkrete Effekte des Einsatzes von ERs auf Lehrende bislang nur wenig erforscht. Damit einher geht auch die Frage, inwiefern ERs als ernstzunehmendes Lehrangebot angesehen werden können. Diesen Fragen und Aspekten widmen sich interessierte Didaktiker:innen aus dem MINT-Bereich aus ganz Deutschland im „Netzwerk Educational Escape Rooms Deutschland (NeErDs)“. Im Folgenden werden erste Ergebnisse u. a. zur fachlichen und methodischen Modellierung von ERs aus diesem Netzwerk vorgestellt sowie ein Ausblick auf zukünftige Arbeiten gegeben. Zudem werden Einblicke in Einsatz- und Forschungsszenarien von unterschiedlichen Standorten gegeben.

Einordnung Escape Rooms in der MINT-Lehre

ERs zeichneten sich ursprünglich dadurch aus, dass eine Gruppe von Personen in einen Raum eingeschlossen wurde und innerhalb einer bestimmten Zeit durch das gemeinsame Lösen von Rätseln aus diesem Raum entkommen musste (Nicholsen, 2015). Innerhalb des Netzwerks wird auf ein erweitertes Verständnis des Spielprinzips, Rätsel durch die Interaktion mit Materialien und das Kombinieren von Informationen kooperativ zu lösen, fokussiert. Darauf aufbauend werden unterschiedliche analoge wie auch digitale ERs entwickelt und evaluiert, in denen fachliche und experimentelle Inhalte mit spannenden Geschichten und Rätseln verbunden werden. Dies stellt auch die Besonderheit sogenannter „Educational Escape Rooms“ (EERs) dar; hier wird das Spielprinzip von ERs mit fachspezifischen Inhalten verknüpft (Belova, Wlotzka & Lathwesen, 2021). Es können also eine Spiel- und eine Fachinhaltsperspektive unterschieden werden, die sich gegenseitig bedingen, ineinandergreifen und damit den Kern eines EERs ausmachen (Groß et al., 2023).

In der einschlägigen Literatur werden EERs als innovative Lernmethode, die unterschiedlichen Bildungszwecken dienen kann, diskutiert (Molina-Torres et al., 2021). Grundsätzlich können EERs zur Wiederholung, Anwendung, zum Transfer sowie zur Vermittlung von (über-)fachlichen Kenntnissen und Fähigkeiten eingesetzt werden. Dabei sollen sie nicht nur Motivation, Spaß und Engagement im Fachbereich, sondern auch fachliche und methodische Kompetenzen sowie die sogenannten 21st Century Skills wie Kreativität,

Problemlösefähigkeiten und kommunikative Fähigkeiten fördern (Fotaris & Mastoras, 2019; Lathwesen & Belova, 2021; Makri et al., 2021; Semmler & Hansel, 2023; Taraldsen et al., 2020). Bisher fehlen allerdings umfangreiche Studien, die diese Effekte untersuchen und empirisch basierte Aussagen treffen können.

Bezüglich der Förderung von fachlichen Kompetenzen weisen EERs in Hinblick auf den Einsatz in der naturwissenschaftlichen Lehre ein besonderes Merkmal auf. Durch den Fokus auf das selbstständige und kollaborative Lösen von Rätseln (Problemen) können Parallelen zum forschenden Lernen bzw. zum naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg herausgestellt werden, die sich auf einzelne Schritte des hier ablaufenden Problemlöseprozesses (z. B. Aufstellen von Ideen/Hypothesen, Testen von Lösungsideen, Reflexion der Lösung) beziehen (Mayer, 2007). Ob der Einsatz von EERs einen positiven Einfluss auf diese fachlichen Kompetenzen hat, muss noch untersucht werden.

Escape Rooms als Lernangebot

Wie bei anderen Lehr-/Lernmethoden oder -konzepten müssen beim Einsatz von EERs bestimmte didaktisch-methodische Besonderheiten beachtet werden, durch die eine Kompetenzförderung grundsätzlich angebahnt werden kann. Dadurch werden sie durchaus zu einem adäquaten, ernstzunehmenden Lernangebot, das viele Potenziale aufweist (Groß et al., 2023). So sind Elemente von EERs, z. B. die gezielte Entwicklung von Kompetenzen durch aktive Beteiligung, die selbstständige Bewegung im Lernraum oder der kontextbezogene Wissenstransfer, mit der konstruktivistischen Lerntheorie vereinbar (Franco & DeLuca, 2019). In einigen Studien wird diesbezüglich diskutiert, ob konstruktivistische Ansätze in EERs das Lernen intensiver als traditionelle Vorlesungsformate fördern (Bassford et al., 2016; Bencsik et al., 2021). Angelehnt an die Unterrichtsqualitätsbereiche nach Helmke (2022) lassen sich für EERs Besonderheiten feststellen, die bei der Vor- und Nachbereitung sowie bei der Durchführung der Lehre berücksichtigt werden müssen (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: Übertragung von Merkmalen der Unterrichtsqualitätsbereiche nach Helmke (2022) auf EERs (für eine ausführliche Übersicht s. Groß et al., 2023)

Unterrichtsqualitätsbereich	Übertragung auf EERs
Klassenführung	• spezielle Spielregeln und Rahmenbedingungen (z. B. Rolle der Spielleitung)
Förderung der Informationsverarbeitung	• Strukturierung durch Narrativ und Rätsel • Hinweise innerhalb der Rätsel als (differenzierende) Hilfen • direktes Feedback beim Rätsellösen; formative Rückmeldung durch gemeinsame Reflexion nach ER
Förderung der Lernbereitschaft	• Motivation durch Gamification-Prinzipien (z. B. Gewinnen des Spiels) • Kompetenzerleben durch Lösen fachlicher Rätsel
Kompetenzorientierung	• fachinhaltsbezogene Konzeption der Rätsel • überfachliche Kompetenzen beim Rätsellösen inbegriffen
Passung	• individuell an unterschiedliche Lern-/Spielvoraussetzungen sowie Ziele

Besonders hervorzuheben ist dabei die gemeinsame Reflexion des Rätsellöseprozesses mit den Lernenden im Anschluss an das Spiel. Diese ist notwendig, um den Kompetenzerwerb nachhaltig zu sichern. Während des Spiels ist es der Lehrperson nicht möglich, bei allen Gruppen auf eine adäquate (im Sinne einer fachbezogenen) Lösung der Rätsel zu achten. Es kann also durchaus vorkommen, dass Spielende die Rätsel z. B. nur durch Nutzung der Hinweise oder ohne die intendierte Anwendung fachspezifischen Wissens lösen. Hier muss zwischen Spiel- und Lernziel unterschieden werden; die Lernenden können das Spielziel (das Ende der Geschichte) erreichen, ohne die erwarteten Lernziele zu erreichen (oder umgekehrt) (Eukel & Morrell, 2021). Es ist daher unerlässlich, im Anschluss an den EER Lösungsideen zu vergleichen und zu reflektieren sowie die fachlichen Bezüge aufzuzeigen, um so einen langfristigen Lernerfolg zu generieren (Makri et al., 2021).

Des Weiteren heben sich EERs dadurch hervor, dass sie durch die unterschiedlichen Rätsel-, Kombinations- und Lösungsmöglichkeiten sowie durch den spielerischen Charakter eine heterogene Lernendenschaft ansprechen und die Lernenden auf vielfältige Art und Weise in das Spiel einbezogen werden können (Nybo et al., 2020). Hiermit ist ein großes Potenzial verbunden, auch solche einzubeziehen, die sonst kaum Interesse an dem jeweiligen Fach zeigen.

Einblick in und Ausblick auf die Arbeiten im NeErDs

Im Netzwerk stehen die angesprochenen Potenziale von EERs im Vordergrund. An verschiedenen Standorten in ganz Deutschland werden nicht nur vielfältige EERs entwickelt und durchgeführt, sondern auch in Hinblick auf deren Wirkungen auf Lernende untersucht. Gleichzeitig wird eine theoretische Rahmung geschaffen, zu der in diesem Beitrag ein grober Überblick gegeben wurde. Des Weiteren werden Chancen und Herausforderungen bei der Entwicklung und beim Einsatz von EERs identifiziert, um darauf aufbauend Informationen z. B. in Form von Manualen, Handreichungen oder Workshops zur Verfügung zu stellen, die die Nutzung von EERs für Lehrpersonen erleichtern sollen. Zur Zeit der Tagung steht neben der Diskussion um geeignete Forschungsmethoden auch die Auseinandersetzung mit einer geeigneten Plattform zur Verbreitung der entwickelten EERs sowie den Begleitmaterialien im Netzwerk im Vordergrund. Folgende Beiträge aus diesem Tagungsband bilden ein Symposium: Semmler und Hansel geben Einblicke in die Entwicklung und die Untersuchung von Effekten von (digitalen) EERs in der chemiebezogenen Hochschullehre, Belova, Neufeld und Lathwesen stellen Forschungsergebnisse zum Einsatz eines EERs in heterogenen Lerngruppen vor und Engstler und Marohn setzen sich mit der Frage auseinander, ob durch den Einsatz eines EERs Erkenntnisgewinnung bei Lernenden gefördert werden kann.

Das NeErDs ist ein dynamisches Netzwerk, das sich immer über neue, interessierte Mitglieder aus dem MINT-Bereich freut. Um mitzumachen, wenden Sie sich bitte an die Autor:innen dieses Beitrags.

Literatur

Bassford, M. L., Crisp, A., O'Sullivan, A., Bacon, J. & Fowler, M. (2016). CrashEd – A live immersive, learning experience embedding STEM subjects in a realistic, interactive crime scene. Research in Learning Technology, 24(1). DOI: 10.3402/rlt.v24.30089

Belova, N., Wlotzka, P. & Lathwesen, C. (2021). Escape Rooms – nicht nur in der Freizeit spannend! Ideen für den Einsatz von Escape Rooms im Chemieunterricht. Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 32(182), 2-7

Bencsik, A., Mezeiova, A. & Samu, B. O. (2021). Gamification in Higher Education (Case Study on a Management Subject). IJLTER, 20(5), 211-231. DOI: 10.26803/ijlter.20.5.12

Eukel, H. & Morrell, B. (2021). Ensuring Educational Escape-Room Success: The Process of Designing, Piloting, Evaluating, Redesigning, and Re-Evaluating Educational Escape Rooms. Simulation & Gaming, 52(1), 18-23. DOI: 10.1177/1046878120953453

Franco, P. F. & DeLuca, D. A. (2019). Learning Through Action: Creating and Implementing a Strategy Game to Foster Innovative Thinking in Higher Education. Simulation & Gaming, 50(1), 23-43. DOI: 10.1177/1046878118820892

Groß. K., Prewitz, N., Belova, N., Lathwesen, C., Semmler, L., Hansel, M., Strippel, C., Engstler, V. & Schumacher, A. (2023). Spiel oder Lernangebot? – Eine analytische Sicht auf den Einsatz von Educational Escape Games im Chemieunterricht. Chemkon. DOI:10.1002/ckon.202300038

Hansel, M. & Semmler, L. (2023). Digitale Educational Escape Games in der (Hochschul-)Lehre. In T. Wilke & I. Rubner (Hrsg.), DiCE-Tagung 2023 – Digitalisation in Chemistry Education. Workshop. Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Anorganische und Analytische Chemie. DOI: 10.22032/dbt.59420

Helmke, A. (2022). Unterrichtsqualität und Professionalisierung. Diagnostik von Lehr-Lern-Prozessen und evidenzbasierte Unterrichtsentwicklung. Köln: Klett

Lathwesen, C. & Belova, N. (2021). Escape Rooms in STEM Teaching and Learning – Prospective Field or Declining Trend? A Literature Review. Education Sciences, 11, 308, 1-14. /DOI: 10.3390/educsci11060308

Makri, A., Vlachopoulos, D. & Martina, R. A. (2021). Digital Escape Rooms as Innovative Pedagogical Tools in Education: A Systematic Literature Review. Sustainability 13(8), 4587. DOI: 10.3390/su13084587

Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden, Berlin: Springer, 177-186

Molina-Torres, G., Sandoval-Hernández, I., Ropero-Padilla, C., Rodriguez-Arrastia, M., Martínez-Cal, J. & Gonzalez-Sanchez, M. (2021). Escape Room vs. Traditional Assessment in Physiotherapy Students' Anxiety, Stress and Gaming Experience: A Comparative Study. International journal of environmental research and public health, 18(23). DOI: 10.3390/ijerph182312778

Nicholson, S. (2015). Peeking Behind the Locked Door: A Survey of Escape Room Facilities. https://scottnicholson.com/pubs/erfacwhite.pdf

Nybo, S. E., Klepser, S. A. & Klepser, M. (2020). Design of a disaster preparedness escape room for first and second-year pharmacy students. Currents in pharmacy teaching & learning, 12(6), 716–723. DOI: 10.1016/j.cptl.2020.01.037

Taraldsen, L. H., Haara, F. O., Lysne, M. S., Jensen, P. R. & Jenssen, E. S. (2020). A review on use of escape rooms in education – touching the void. Education Inquiry, 13(2), 169-184. DOI: 10.1080/20004508.2020.1860284

Luzie Semmler[1] [1]Universität zu Köln
Marie Hansel[2] [2]Technische Universität Braunschweig

Entwicklung und Effekte von (digitalen) Escape Games in der Hochschullehre

Einleitung

Im Rahmen eines Projekts, das als Teil des Förderprogramms „Innovative Lehr- und Lernkonzepte: Innovation Plus“ vom niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur (Fördernummer 104) gefördert wurde, wurde ein allgemeinchemisches Laborpraktikum für Chemie-Lehramtsstudierende im ersten Semester mithilfe von eigens dafür entwickelten Escape Games (EG) umstrukturiert. Die gesamte Veranstaltung wird von einem Narrativ gerahmt, in dem die Studierenden zu Ermittler:innen einer Spezialeinheit für chemisch undurchsichtige Realeinsätze (SECURE) ausgebildet werden. Vier EGs werden dabei semesterbegleitend eingesetzt, wovon drei digital stattfinden und die theoretische Vorbereitung für die praktische Arbeit im Labor darstellen und eins als Live Spiel in einem realen Labor der Anwendung der im Praktikum erlernten Kenntnisse und Fähigkeiten dient. Mit dem Einsatz der EGs wird das übergeordnete Ziel verfolgt, fachliche sowie überfachliche Kompetenzen (insbesondere Problemlösefähigkeiten und Kreativität) und die Motivation der Studierenden zu fördern. Zudem sollen die EGs zu einem erleichterten Einstieg ins Studium und zum Kennenlernen der Studierenden untereinander beitragen (Hansel & Semmler, 2023).

Entwicklung der Escape Games

Die Entwicklung der EGs für die Lehrveranstaltung folgt dem Entwicklungsschema nach Semmler und Hansel (2023), wobei besonderes Augenmerk auf die Passung von Spielelementen (Spielperspektive) und fachlichen Inhalten (Fachperspektive) gelegt wurde (vgl. Groß et al., 2023). Es wurden drei digitale EGs zu den Themen „Verhalten und Sicherheit im Labor“, „Quantitative Analyse (Säure-Base-Titrationen)“ und „Qualitative Analyse (Ionennachweise)“ sowie ein Live EG zu allen Inhalten des Praktikums entwickelt und in mehreren Zyklen sowohl mit Fachdidaktiker:innen als auch Studierenden erprobt, evaluiert und überarbeitet (für einen detaillierteren Einblick in die EGs s. Hansel & Semmler, 2023). Während dieser Zyklen wurden insbesondere die Rätsel und deren Strukturen in den EGs überarbeitet. Dabei wurde von Anfang an auf ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Aufgaben (im Sinne von einfachen, gut definierten Problemen) und Rätseln (im Sinne von komplexen, schlecht definierten Problemen) geachtet (Klieme et al., 2001; Scheller, 2007). Diese Rätsel und Aufgaben wurden unterschiedlich (linear, multilinear, offen) in den EGs angeordnet, um so entweder eine sehr gelenkte oder eine offen erkundbare Spielumgebung zu erschaffen (Wiemker et al., 2017). Letztere geht mit einer Erhöhung des Schwierigkeitsgrads einher. Die genannten Aspekte sollten letztlich ein Flow-Erleben ermöglichen, bei dem die Spielenden vollständig in der Tätigkeit des Spielens bzw. Rätsellösens aufgehen. In Studien wurde bereits bestätigt, dass sich dieser Zustand positiv auf den Lernerfolg und die Motivation auswirken kann (Csíkszentmihalyi, 2000; 2010; Kettler & Kauffeld, 2019). Um den Leistungsdruck beim Spielen gering zu halten, war die Teilnahme an den EGs für die Studierenden freiwillig und mit keinerlei Bewertung verbunden.

Evaluation und Begleitforschung

Bei der Evaluation füllten die Teilnehmenden nach jedem Spiel einen Fragebogen mit offenen Fragen zum Spielerlebnis aus. Im Sinne des Entwicklungsschemas nach Semmler und Hansel (2023) wurde außerdem nach jedem EG eine gemeinsame Reflexion durchgeführt, in dem Lösungsprozesse besprochen und verglichen wurden. Neben dem Spielerlebnis wurden außerdem die Motivation anhand der KIM (Wilde et al., 2009) sowie die Ausdauer und Offenheit für das Problemlösen mit einem Fragebogen aus PISA (Mang et al., 2018) im Prä-Post-Design erhoben. Die KIM wurde zusätzlich nach jedem EG ausgefüllt. Die Daten wurden anschließend quantitativ anhand deskriptiver Statistiken ausgewertet. Um detailliertere Einblicke in die Lösungsprozesse und die Interaktion der Studierenden mit den gegebenen Informationen zu bekommen, wurden die Studierenden im Live EG außerdem videografiert, bei den digitalen EGs wurden ab dem Wintersemester 2022/23 Screencapture- und Tonaufnahmen angefertigt. Diese Daten sowie die Antworten auf die offenen Fragen werden zurzeit noch mithilfe der qualitativen Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2018) ausgewertet.

Im Folgenden werden Ergebnisse zur Motivation der Studierenden im Vergleich dreier Kohorten dargestellt. Bei der Auswertung lag der Fokus auf folgenden Forschungsfragen: Inwiefern können die Ergebnisse zur (Weiter-)Entwicklung der EGs herangezogen werden? Wie unterscheidet sich die Motivation zwischen digitalen und Live EGs?

Ergebnisse zur Motivation

Insgesamt wurden Daten von N = 45 Studierenden ausgewertet, die sich wie folgt auf die Kohorten verteilt haben: WiSe 2021/22 (n = 11), WiSe 2022/23 (n = 13), WiSe 2023/24 (n = 21). Obwohl die EGs in Gruppen von zwei bis drei Studierenden gespielt wurden, wurden die Fragebögen einzeln ausgefüllt.

Die Items der KIM (Wilde et al., 2009) lassen sich in vier Kategorien einteilen: Interesse/ Vergnügen, wahrgenommene Kompetenz, wahrgenommene Wahlfreiheit sowie Druck/ Anspannung. In Abb. 1 sind exemplarisch die Ergebnisse für die erste Kategorie dargestellt. Es zeigt sich an den variierenden Mittelwerten und den hohen Standardabweichungen, dass die Ergebnisse individuell sehr unterschiedlich ausfallen. Dies konnte bei allen Kategorien festgestellt werden. Gleichzeitig bewerten die Studierenden das Live EG in allen Kategorien deutlich besser als die digitalen EGs. Interessant sind die Ergebnisse vor allem in Hinblick auf die Unterschiede zwischen der zweiten und dritten Kohorte. Seit dem Wintersemester 2022/23 ermöglichten Screencapture-Aufnahmen eine deutlich bessere Identifikation von Schwierigkeiten beim Spielen, sodass die EGs gezielt auf Basis dieser Erkenntnisse und des Feedbacks der Studierenden überarbeitet werden konnten. Im 1. EG bezogen sich die Änderungen auf eine Linearisierung der Strukturen, während im 3. EG die zuvor sehr umfangreichen Rätsel vereinfacht und entlastet wurden, indem die benötigten Fachinformationen den Studierenden bereits vor Spielbeginn bereitgestellt wurden. Zudem wurden die Tipps präzisiert. Die für die dritte Kohorte bei diesen Spielen deutlich besseren Bewertungen deuten an, dass diese Veränderungen zu einer Optimierung des Spielerlebnisses beigetragen haben. Diese Steigerung bei der Bewertung zeigte sich ebenfalls in Hinblick auf die Kategorie der wahrgenommenen Wahlfreiheit.

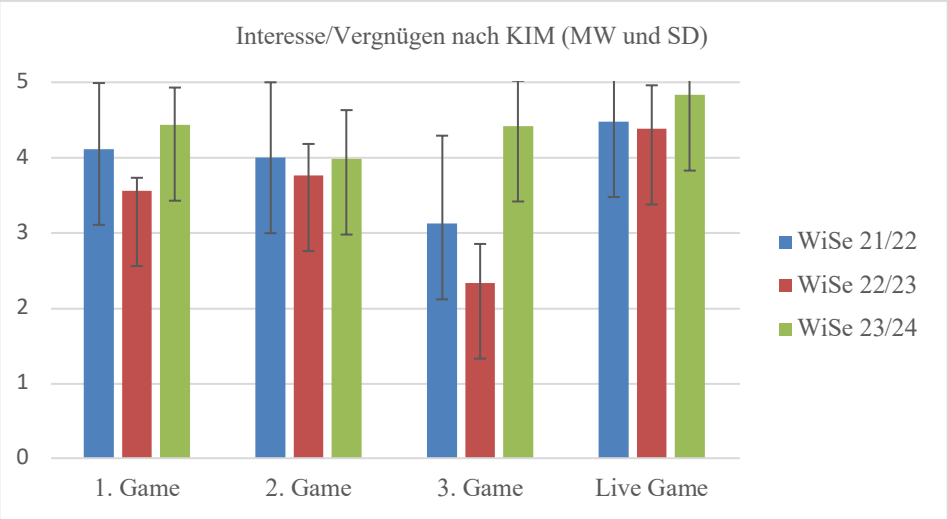


Abbildung 1: Mittelwerte und Standardabweichungen der Studierendenergebnisse (aufgeteilt in drei Kohorten) für die Kategorie Interesse/Vergnügen der KIM (Likert-Skala von 1 = stimmt gar nicht bis 5 = stimmt völlig).

Fazit und Ausblick

Insgesamt gehen die in der Lehrveranstaltung eingesetzten EGs mit einer hohen Motivation seitens der Studierenden einher, wobei die Bewertungen für das Live EG in allen Kategorien höher ausfallen als für die digitalen EGs. Gründe dafür könnten darin liegen, dass hier ausschließlich bereits Erlerntes angewendet wird und dabei die selbstständige, experimentelle Arbeit im Fokus steht. Dies könnte zu einem höheren Kompetenzerleben und einem höheren Vergnügen führen. Zudem ist während des Spielens die Spielleitung im Raum, die an die Situation angepasste, individuelle Tipps geben kann. Dies könnte sich positiv auf den Spielablauf und das Flow-Erleben auswirken. Die höheren Werte, die mit den Veränderungen der EGs einhergehen, lassen darauf schließen, dass der Aufbau und die Strukturierung der Rätsel das Spielerlebnis und die Motivation maßgeblich beeinflussen. Die Ergebnisse suggerieren, dass lineare Strukturen und weniger Informationen mit einem besseren Spielerlebnis für die Studierenden einhergehen als eine große Offenheit, die ggf. zu einer Überforderung führen kann (vgl. Csíkszentmihalyi, 2000; 2010). Diese Thesen müssen in weiteren Studien und Analysen untersucht werden.

Aus den Ergebnissen kann geschlussfolgert werden, dass EGs eine vielversprechende Alternative zu anderen Unterrichtsverfahren-/konzepten darstellen, allerdings nicht automatisch zu höherer Motivation oder einem größeren Kompetenzerleben führen; dies ist wesentlich von der Struktur und der Passung der Elemente auf der Spiel- und Fachinhaltsperspektive abhängig. Um Aspekte eines förderlichen Spieldesigns herauszustellen, soll die Analyse der Screencapture- und Videoaufnahmen zukünftig mit dem Fokus auf der Identifizierung möglicher Herausforderungen im Spielablauf sowie im Problemlöseprozess der Studierenden durchgeführt werden.

Literatur

Csikszentmihalyi, M. (2000). Beyond boredom and anxiety. San Francisco: Jossey-Bass Publishers

Csikszentmihalyi (2010): Das Flow-Erlebnis: jenseits von Angst und Langeweile: im Tun aufgehen. 10. Auflage. Stuttgart: Klett-Cotta

Groß, K., Prewitz, N., Belova, N., Semmler, L., Strippel, C., Schumacher, A., Lathwesen, C. & Hansel, M. (2023). Spiel oder Lernangebot? – Eine analytische Sicht auf den Einsatz von Educational Escape Games im Chemieunterricht. CHEMKON. https://doi.org/10.1002/ckon.202300038

Hansel, M. & Semmler, L. (2023). Digitale Educational Escape Games in der (Hochschul-) Lehre. In T. Wilke & I. Rubner (Hrsg.), DiCE-Tagung 2023 – Digitalisation in Chemistry Education: Vol. Workshop. Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Anorganische und Analytische Chemie. doi.org/10.22032/dbt.59420

Kettler, C. & Kauffeld, S. (2019). Game-based Learning. In S. Kauffeld & J. Othmer (Hrsg.), Handbuch Innovative Lehre. Wiesbaden: Springer, 249-254

Klieme, E., Neubrand, M. & Lüdtke, O. (2001). Mathematische Grundbildung: Testkonzeption und Ergebnisse. In J. Baumert, E. Klieme, M. Neubrand, M. Prenzel, U. Schiefele, W. Schneider, P. Stanat, K.-J. Tillmann & M. Weiß (Hrsg.), PISA 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich. Opladen: Leske + Budrich, 141-190

Kuckartz, U. (2018). Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. 4. Auflage. Weinheim, Basel: Beltz Juventa

Mang, J., Schiepe-Tiska, A., Müller, K., Prenzel, M., Rodríguez, E. G., Ustjanzew, N., & Sälzer, C. (2018). PISA 2012 Skalenhandbuch. Münster, New York: Waxmann Verlag

Scheller, A. (2021). Escape Rooms und Breakouts in der Schule einsetzen. Themenwahl, Erstellung und Ablauf mit praktischen Beispielen in der Sekundarstufe I. Hamburg: Persen.

Semmler, L. & Hansel, M.-C. (2023). Leitfaden zur Entwicklung digitaler Escape Games für die (Hochschul-)Lehre. OER. https://www.twillo.de/edu-sharing/components/render/b2068394-eba1-41b3-9481-805325863450

Wiemker, M., Elumir, E. & Clare, A. (2015). Escape Room Games: „Can you transform an unpleasant situation into a pleasant one?“ In J. Haag, J. Weißenböck, W. Gruber & C. F. Freisleben-Teutscher (Hrsg.), Game Based Learning – Dialogorientierung & spielerisches Lernen digital und analog. Beiträge zum 4. Tag der Lehre an der FH St. Pölten am 15.10.2015. Brunn am Gebirge: ikon VerlagsGesmbH, 55-68

Wilde, M., Bätz, K., Kovaleva, A. & Urhahne, D. (2009). Überprüfung einer Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM). Testing a short scale of intrinsic motivation. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 15, 31–45

Valentin Engstler[1]
Annette Marohn[1]

[1]Universität Münster

Kann mit Escape Games Erkenntnisgewinnung gefördert werden?

Hintergrund

Educational Escape Games (EEGs) sind ein fester Bestandteil der Bildungsforschung und -praxis (Makri et al., 2021). Nach Nicholson (2015) handelt es sich bei Escape Games um team-basierte, live-action Spiele, bei denen die Spielenden in einem bestimmten Zeitrahmen Gegenstände finden, Hinweise entdecken und Rätsel lösen müssen, um ein zu Beginn definiertes Ziel zu erreichen. Werden diese Spiele zu Bildungszwecken eingesetzt, spricht man von EEGs (Sanchez & Plumettaz-Sieber, 2019).

EEGs werden als „bottom-up"- Phänomen beschrieben (Veldkamp et al., 2020), da Lehrkräfte die Idee kommerzieller Escape Games für die Schule adaptiert und diese von dort aus Einzug in die Bildungsforschung und -praxis gehalten haben (Sanchez & Plumettaz-Sieber, 2019). Diese Entwicklung begründet sich durch die aktivierende Wirkung auf Lernende (Fotaris & Mastoras, 2019). Ein Nachteil der schnellen Entwicklung von EEGs liegt darin, dass ihr Einsatz zu Bildungsszenarien noch nicht ausreichend erforscht ist. So ist der fachliche Wissenszuwachs durch EEGs zwar bestätigt, jedoch ist unbekannt, welche Einflussfaktoren dafür verantwortlich sind (López-Pernas, 2024). Ein Wissenszuwachs auf einer nicht-fachlichen Ebene ist kaum untersucht.

In diesem Beitrag wird diskutiert, inwiefern sich die Kompetenzbereiche Sachkompetenz und Erkenntnisgewinnung durch ein selbst entwickelte Educational Escape Game „chemical [esc]ape" fördern lassen.

Forschungsrahmen

Da zu Beginn des Forschungsvorhabens kein bestehendes EEG Antworten auf die Forschungsfrage ermöglichte, wurde mit chemical [esc]ape ein eigenes, vollständig digitales EEG entwickelt. Dazu eignet sich der Ansatz des Design-Based Research (DBR), da er einen dualen Fokus auf Praxis und Theorie legt (McKenney & Reeves, 2012). Im Zentrum steht die iterative Entwicklung einer Anwendung für die Praxis. Im Zuge dieser Entwicklung werden empirische Erkenntnisse zu zwei Fragen gewonnen: *Was* funktioniert und *wie* funktioniert es? Ziel ist es, sich einer Theorie über die Wirkweise des entwickelten Designs anzunähern (Edelson, 2002).

Der Beitrag fokussiert den dritten Forschungszyklus des Projektes, in dessen Zentrum die Untersuchung des Kompetenzerwerbs der Lernenden steht.

Design-Prinzip: Lernspiel als Spielziel

Leitend für die Entwicklung von chemical [esc]ape war das Design-Prinzip „Lernziel als Spielziel" (van der Linden et al., 2019). Um den Einsatz des EEGs in der Unterrichtspraxis zu fördern, orientieren sich die gesetzten Lernziele an den Bildungsstandards für die allgemeine Hochschulreife im Fach Chemie (KMK, 2020). Im Zentrum steht die Vermittlung von Sachkompetenz (S1) sowie von Erkenntnisgewinnungskompetenzen (E3-E5) im Inhaltsbereich der elektrochemischen Spannungsreihe.

Die Sachkompetenz wird insbesondere durch ein Rätsel gefördert: In einer Simulation sollen die Lernenden eine galvanische Zelle aufbauen und die Spannung messen. Den Lernenden

stehen dafür sieben Metallhalbzellen zur Verfügung (Cobalt, Eisen, Gold, Kupfer, Nickel, Silber, Zink), die sie mit einer Zinkhalbzelle verbinden können. Anschließend werden die sieben Metalle in einer Tabelle gemäß steigender Spannung geordnet.
Kompetenzen der Erkenntnisgewinnung werden durch mehrere Rätsel bzw. simulierte Experimente adressiert. Diesen liegt die gleiche Struktur zugrunde: Die Lernenden sollen in der Simulation des Experiments zunächst eine Hypothese aufstellen, bevor sie experimentieren können. Erst wenn sie die Hypothese über einen Button festgelegt haben, wird eine Fläche zum Experimentieren freigeschaltet. Die aufgestellte Hypothese muss nach dem Aufbau des Experiments überprüft werden. Es erscheint ein Feedback: Entweder passt der Aufbau nicht zur Hypothese oder die Hypothese wird bestätigt beziehungsweise falsifiziert (s. Abb.1). Im Falle der bestätigten Hypothese schließt sich die Simulation und das Spiel wird mit dem erworbenen Wissen weitergeführt. Im anderen Fall bleiben die Lernenden in der Simulation und müssen entsprechend dem Weg der Erkenntnisgewinnung eine neue Hypothese aufstellen und diese überprüfen.

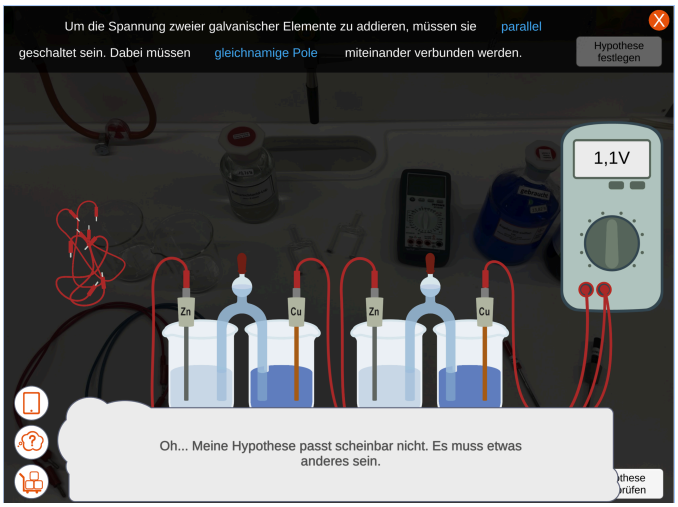


Abb. 1: Bildschirmaufnahme zu einer abgelehnten Hypothese in einer Simulation des Spiels

Datenerhebung und Ergebnisse

Der Erwerb der genannten Kompetenzen wurde in einer Erprobung mit Lernenden einer 10. Klasse einer Gesamtschule (N = 23) untersucht. Die Datenerhebung erfolgte mittels eines Prä-Post-Tests mit anschließendem Fragebogen sowie videografischer Aufnahme über Raumkameras und Bildschirmaufnahmen. Die Fragebogen-Daten wurden gemäß qualitativer Inhaltsanalyse (Kuckartz & Rädiker, 2022) analysiert. Dabei wurden induktiv-deduktiv Kategorien gebildet, die mit zufriedenstellender Übereinstimmung zweifach codiert wurden ($\kappa > .85$, Brennan & Prediger, 1981). Auf dieser Grundlage wurden die Antworten der Lernenden bewertet und die–Ergebnisse mithilfe eines Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Texts analysiert (Hartung, 2009).
Um die Sachkompetenz abzufragen, wurde im Prä-Post-Test gefordert, die im EEG behandelten Metalle der Metallhalbzellen in eine aus chemischer Sicht sinnvolle Reihenfolge zu bringen (Item 1). Eine korrekte Reihenfolge wurde mit vier Punkten bewertet. Teilweise richtige Reihenfolgen, bspw. wenn die Extrema richtig benannt werden, ergaben ein bis drei Punkte. Im zweiten Schritt sollte die selbst aufgestellte Reihenfolge begründet werden (Item

2). Bei dieser Aufgabe wurden der „edle Charakter“ und die erzeugte Spannung als Maß für die Reihenfolge mit jeweils einem Punkt bewertet, ebenso die Nennung oder Beschreibung von Zink als Bezugshalbzelle. Insgesamt waren über beide Items bis zu sieben Punkte zu erreichen. Zwischen Prä- und Post-Test konnte ein signifikanter Punktanstieg beobachtet werden ($p < .001$). Mit Blick auf die einzelnen Items ließen sich diese Ergebnisse reproduzieren (Item 1: $p < .002$, Item 2: $p < .001$). Zwar blieben die Anzahl der teilweise richtigen Reihenfolgen gleich (Prä: N = 11, Post: N = 13). Jedoch reduzierte sich die Anzahl der Antworten ohne richtigen Aspekt um acht (Prä: N = 11, Post: N = 3) und die Zahl der vollständig richtigen Reihenfolge erhöhte sich um sieben (Prä: N = 0, Post: N = 7).
Unter den Begründungen gab es eine typische Entwicklung von Prä- zu Post-Test. Vor der Intervention wurde entweder keine fachliche oder eine unzureichende Begründung für die selbst aufgestellte Reihenfolge gewählt: „wird von wertvoll zu am wenigsten wertvoll“ (Prä_L9). Nachher wurde die Reihenfolge mit der Spannung als Maß begründet: „Höchste Spannung zu niedrigster Spannung in einer galvanischen Zelle“ (Post_L9).
Um den Kompetenzzuwachs im Bereich der Erkenntnisgewinnung zu messen, sollten die Lernenden zentrale Bestandteile von wissenschaftlichem Arbeiten im Chemieunterricht beschreiben (Item 3). Ein richtiger Aspekt wurde dabei mit einem Punkt bewertet. Bei diesem Item konnte kein Lernzuwachs durch die Intervention beobachtet werden ($p = .914$). Zu beiden Messzeitpunkten wurden von den Lernenden ähnliche Bestandteile genannt, zum Beispiel Fachbegriffe aus dem Chemieunterricht (N = 11) oder das Experiment (N = 11). Demgegenüber nahmen nur wenige Lernende Bezug zum Aufstellen und Überprüfen von Hypothesen oder zum (systematischen) Ausprobieren (N = 5). Alle Antworten waren annähernd gleich auf Prä- und Post-Test verteilt.
Im Anschluss wurde in offenen Fragen zusätzlich eine begründete Einschätzung erhoben, ob die Lernenden es sinnvoll fanden, vor dem Experimentieren Hypothesen aufzustellen (Item 4). 19 von 23 Lernenden betrachteten dies als sinnvoll. In ihren Begründungen gaben die Lernenden an, dass sie durch das Aufstellen einer Hypothese zum Nachdenken angeregt (N = 4) wurden oder sie dadurch im Sinne einer Lernbegleitung (N = 14) unterstützt wurden, bspw. als Leitfaden oder Hilfestellung. Eine Person empfand es als sinnvoll, weil „mann so seine theorie bestetigen kann und ein erfolgserlebnis bekomt“ (sic) (Post_L6).
Darüber hinaus sollten die Lernenden ihr Vorgehen während des letzten Rätsels erklären, bei dem sie vor dem Experimentieren *keine* Hypothese aufstellen mussten (Item 5). In der Hälfte der inhaltlich bewertbaren Antworten (N = 10) gaben die Lernenden an, lediglich ausprobiert zu haben. Die andere Hälfte beschrieb ein *systematisches* Ausprobieren (N = 5) bzw. gab an, eine Hypothese aufgestellt zu haben (N = 5).

Schlussfolgerung und Ausblick

Aus Item 1 und Item 2 des Prä-Post-Tests lassen sich einerseits die Schlussfolgerung ziehen, dass das EEG chemical [esc]ape den Kompetenzerwerb in der Sachkompetenz fördert. Andererseits lassen die Ergebnisse aus Item 3 diesen Schluss nicht in Bezug auf die Erkenntnisgewinnungskompetenz zu. Die Antworten zu Item 4 und Item 5 aus dem anschließenden Fragebogen bieten jedoch Hinweise darauf, dass die Lernenden zum Ende des Spiels von sich aus hypothesengeleitet gearbeitet haben bzw. systematisch ausprobierten, ohne dass die Konzeption des Rätsels dies einforderte. Um eine abschließende Bewertung vornehmen zu können, bedarf es weiterer Untersuchungen. Zu diesem Zweck werden die Videodaten der Lernenden hinsichtlich ihres Vorgehens während der Rätsel ausgewertet und mit den Aussagen im Fragebogen in Beziehung gesetzt.

Literatur

Brennan, R. L., & Prediger, D. J. (1981). Coefficient Kappa: Some Uses, Misuses, and Alternatives. *Educational and Psychological Measurement*, *41*(3), 687–699. https://doi.org/10.1177/001316448104100307

Edelson, D. C. (2002). Design Research: What We Learn When We Engage in Design. *Journal of the Learning Sciences*, *11*(1), 105–121. https://doi.org/10.1207/S15327809JLS1101_4

Fotaris, P., & Mastoras, T. (2019). Escape Rooms for Learning: A Systematic Review. *Proceedings of the 12th European Conference on Game Based Learning*, 30. https://doi.org/10.34190/GBL.19.179

Hartung, J. (2009). *Statistik: Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik*. OLDENBOURG WISSENSCHAFTSVERLAG. https://doi.org/10.1524/9783486710540

Kuckartz, U., & Rädiker, S. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung: Grundlagentexte Methoden* (5. Auflage). Beltz Juventa.

López-Pernas, S. (2024). Educational Escape Rooms Are Effective Learning Activities Across Educational Levels and Contexts: A Meta-Analysis. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, *17*, 711–724. https://doi.org/10.1109/TLT.2023.3328913

Makri, A., Vlachopoulos, D., & Martina, R. A. (2021). Digital Escape Rooms as Innovative Pedagogical Tools in Education: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, *13*(8), 4587. https://doi.org/10.3390/su13084587

McKenney, S., & Reeves, T. C. (2012). *Conducting educational design research*. Routledge.

Nicholson, S. (2015). *Peeking behind the locked door: A survey of escape room facilities* [White Paper]. https://scottnicholson.com/pubs/erfacwhite.pdf

Sanchez, E., & Plumettaz-Sieber, M. (2019). Teaching and Learning with Escape Games from Debriefing to Institutionalization of Knowledge. In M. Gentile, M. Allegra, & H. Söbke (Hrsg.), *Games and Learning Alliance* (Bd. 11385, S. 242–253). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11548-7_23

Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland & Humboldt-Universität zu Berlin (Hrsg.). (2020). *Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife: Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.06.2020* (1. Auflage). Carl Link Verlag.

van der Linden, A., van Joolingen, W. R., & Meulenboeks, R. F. G. (2019). Designing an intrinsically integrated educational game on Newtonian mechanics. In M. Gentile, *Games and Learning Alliance: 7th International Conference, GALA 2018, Palermo, Italy, December 5-7, 2018, Proceedings* (S. 123–133). Springer International Publishing AG.

Veldkamp, A., van de Grint, L., Knippels, M.-C. P. J., & van Joolingen, W. R. (2020). Escape education: A systematic review on escape rooms in education. *Educational Research Review*, *31*, 100364. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100364

Nadja Belova[1]
Käthi Neufeld[1]
Chantal Lathwesen[1]

[1]Universität Bremen

Educational Escape Rooms in heterogenen Lerngruppen

Einleitung

Escape Rooms finden im schulischen Kontext immer mehr Beachtung (Lathwesen & Belova, 2021). Hierbei zeigen Studien, dass spielbasierte Lernmethoden den Lernzuwachs und die Effektivität des Lernens steigern können (Hoblitz, 2015). Wie bereits im Beitrag zum Mantelvortrag ausführlich dargestellt, liegt die Stärke von Spielen im Unterricht unter anderem darin, Immersion und Motivation zu fördern (Garris, Ahlers & Driskell, 2002) - auch Escape Rooms gelten als immersive Spiele, die einen „Flow-Zustand" herbeiführen können (Csikszentmihalyi, 1990). Gleichzeitig werden fachliche Inhalte vermittelt oder wiederholt. Bisher wurden allerdings hauptsächlich Educational Escape Rooms entwickelt, die auf die speziellen Bedürfnisse bestimmter Kurse oder Institutionen insbesondere im Hochschulbereich zugeschnitten sind (Lathwesen & Belova, 2021). Daraus ergab sich die Motivation, einen Escape Room für eine breite, heterogene Zielgruppe zu konzipieren und zu evaluieren.

Beschreibung des Escape-Room-Szenarios

Der erstellte Escape Room befasset sich intensiv mit der Wiederholung von chemischen Grundlagen (PSE, Atombau, Schalenmodell und Bildung von Ionen) und eignet sich für die Jahrgänge 9 und 10. Das Spiel trägt den Titel „Rettet die Welt – findet den Salzkristall" – die Lernenden sollen einer Wissenschaftlerin, der ein magischer Salzkristall abhandengekommen ist, helfen, diesen zu finden. Die Belohnung am Ende ist dementsprechend ein dekorativer Alaun-Kristall in Form eines Sterns.
Das Spiel wurde für den Einsatz in leistungsschwächeren, heterogenen Lerngruppen entwickelt, um die oben erwähnte Lücke zu schließen. Da die meisten Lerngruppen vermutlich wenig Erfahrung mit diesem Aufgabenformat haben, wurden die Rätsel bewusst leicht gestaltet. Einige Rätsel enthalten zudem indirekte Anweisungen, um eine selbstständige und erfolgreiche Bearbeitung zu ermöglichen. Der Schwierigkeitsgrad ist in allen Gruppen gleich und die Gruppeneinteilung erfolgt zufällig durch die Elementbestimmung im ersten Rätsel. So können schnellere Gruppen andere unterstützen und der Vorbereitungsaufwand reduziert sich. Dennoch gibt es Differenzierungsmöglichkeiten durch Tippkarten. Das Schwierigkeitsniveau der Rätsel im fachlichen Kontext entspricht dem Anforderungsbereich I, da alle Rätsel auf der Reproduktion bereits vorhandenen Wissens beruhen. Dabei darf die zusätzliche Herausforderung, die sich aus dem untypischen Aufgabenformat und den Anforderungen an die Gruppenarbeit ergibt, nicht vergessen werden. Die Rätsel (jeweils vier pro Gruppe) sind linear angeordnet – die Lösung eines Rätsels führt zum nächsten, es gibt jedoch ein gemeinsames Start- und Endrätsel, in dem die Ergebnisse zusammengeführt werden. Es handelt sich also weniger um ein kompetitives, sondern um ein kollaboratives Vorgehen. Der Zeitrahmen für die Durchführung beträgt 90 Minuten. Fast alle Materialien werden den Lernenden in Umschlägen zur Verfügung gestellt und der Raum wird nur wenig genutzt, was der Vorbereitungsaufwand noch weiter reduziert.

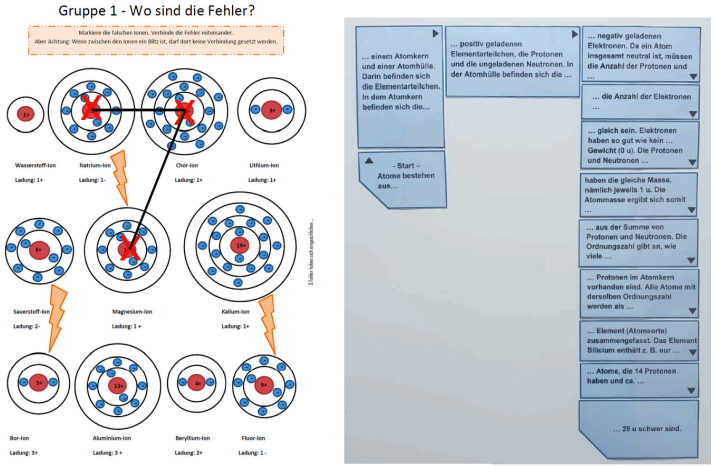


Abb. 1: Lösungen von zwei Rätseln. Die Rätsel der anderen Gruppen waren analog gestaltet, es ergaben sich lediglich andere Zahlen.

Abbildung 1 zeigt exemplarisch die Lösungen zweier Rätsel. So sollen die Lernenden die Fehler in den Darstellungen von Schalenmodellen finden und diese verbinden, was hier die Zahl 7 ergibt. Ebenfalls die Zahl 7 erhalten die Lernenden in einem anderen Rätsel durch das Lösen eines Dominos. Jedes Rätsel (inklusive des Endrätsels) verfolgt ein klares Lernziel, welches basierend auf den Kompetenzen aus dem Bildungsplan formuliert wurde. Beispielweise sollten die Lernenden anhand des PSE Informationen zu einzelnen Elementen ermitteln oder Schalenmodelle darstellen können.

Begleitforschung

Der Escape Room wurde in drei neunten Klassen einer Oberschule erprobt, wobei insgesamt 46 vollständige Datensätze generiert werden konnten. Eine der Lerngruppen konnte das Spiel nicht in 90 Minuten beenden, die anderen beiden schafften es in 68 bzw. 75 Minuten. Die Schule liegt in einem Bremer Stadtteil mit einem hohen Sozialindex, was für negative soziale Bedingungen spricht, und weist zudem eine sehr große Heterogenität der Schüler:innenschaft auf. Aufgrund sozialer Konflikte der Lernenden untereinander und auch zwischen Lernenden und Lehrkräften war die Schule immer mal wieder Thema in den lokalen Medien. Im Fokus der Forschung stand also die Frage, inwieweit ein Educational Escape Room eine geeignete Methode für diese Zielgruppe darstellt.

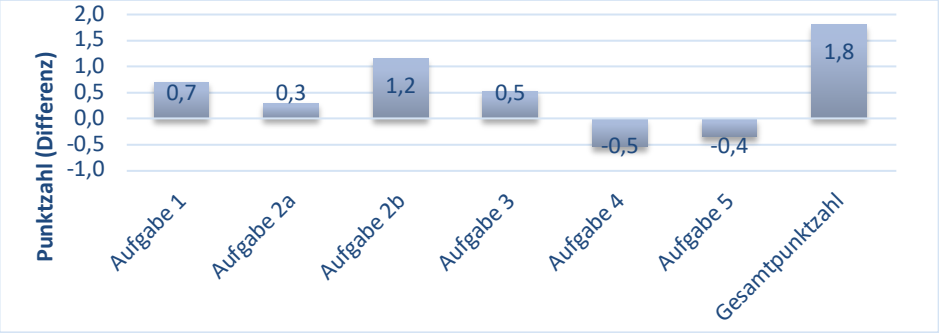


Abb. 2: Differenz der durchschnittlichen Punktzahlen zwischen Prä- und Posttest aller Lerngruppen

Das zentrale Element der Begleitstudie stellte ein Prä-Post-Wissenstest dar. Dieser fragte in fünf Aufgaben das jeweilige Lernziel der Rätsel ab. Hierbei waren die Unterschiede bei den erreichten Punkten in allen Lerngruppen nicht signifikant ($t(46) = -1{,}595$, $p = 0{,}059$). Auffällig war aber, dass die Ergebnisse bei den Aufgaben, die die Rätsel zu Beginn des Spiels abbildeten (welche ausnahmslos von allen Lernenden gelöst wurden), deutlich besser waren als bei denjenigen, die die Lernziele der späteren Rätsel abprüften (s. Abb. 2). Dies deutet durchaus auf Zusammenhänge zwischen einer erfolgreichen Lösung von Rätseln und erworbenen Fachkompetenzen hin. Die Lernenden selbst gaben jedoch an, nur wenig gelernt zu haben.
Zusätzlich zu dem Wissenstest wurden ein Beobachtungsbogen sowie ein Feedback-Fragebogen mit geschlossenen Fragen eingesetzt, die sich zum Teil an Items aus Instrumenten zur Messung der Motivation sowie des Flow-Zustandes orientierten. Hier zeigten die Ergebnisse eine sehr positive Wahrnehmung der Lernenden und es gibt Anzeichen für einen Flow-Zustand während des Spiels. An dieser Stelle soll die enge Verbindung zwischen Lernen und Motivation betont werden, wobei Lern- und Spielmotivation unterschieden werden müssen. Ein Lerneffekt setzt eine gewisse Lernmotivation voraus, während der beobachtete Flow eher als Spiel-Flow interpretiert werden kann, da die Inhalte laut den Angaben der Lernenden als irrelevant wahrgenommen wurden. Die Umfrageergebnisse unterstützen dies, da Lernende den Spaß (Spiel-Flow) positiv bewerteten, aber keinen Lernzuwachs (Lern-Flow) angaben.

Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen nur einen geringen Lernfortschritt, was trotz diverser Überarbeitungsschritte sowie auf die Qualität des Spiels, insbesondere auf die Zeit und Schwierigkeit der Rätsel, zurückzuführen ist. Für heterogene Gruppen kann es also sinnvoll sein, im Voraus passende Gruppen mit abgestimmten Rätseln zu bilden. Eine flexiblere Gestaltung würde den Einsatz optimieren, wobei hier auch kleinere Gruppen hilfreich wären. Zudem sollte der Escape Room fest in den Unterricht integriert und mit vorbereitenden sowie reflektierenden Einheiten ergänzt werden. Die Ergebnisse deuten aber darauf hin, dass die Lernenden eine recht positive Spielerfahrung hatten, breit aktiviert wurden und an ihren sozialen Kompetenzen und ihrer Problemlösefähigkeit arbeiten konnten. Weiterführende Studien zum Zusammenhang von Motivation und Lernzuwachs (im Sinne eines Lern- *und* Spiel-Flows) sind jedoch nötig, um den Einsatz abschließend zu bewerten.

Literatur

Csikszentmihalyi, M. (1990). Flow: The Psychology of Optimal Experience. New York: Harper & Row

Garris, R., Ahlers, R., Driskell, J. E. (2002). Games, motivation and learning: A research and practice model. Simulation & Gaming, 33 (4), 441–467

Hoblitz, A. (2015). Spielend Lernen im Flow – Die motivationalen Wirkungen von Serious Games im Schulunterricht. Springer VS: Wiesbaden

Lathwesen, C. & Belova, N. (2021). Escape Rooms in STEM Teaching and Learning – Prospective Field or Declining Trend? A Literature Review. Education Sciences, 11 (308), 1-14

Marie Schüßler [1]
Lea Schneider [1]
Prof. Dr. Claudia Tenberge [1]

[1]Universität Paderborn

Digital-gestütztes Unterrichten im Übergang von der Grundschule zur Sekundarstufe – Entwicklung und Adaption von Fortbildungsmodulen im INT[1]-Unterricht

Ausgangssituation und theoretische Rahmung

Durch die zunehmende Bedeutung von digitalen Medien im (Sach-)Unterricht (Gervè et al., 2023) und der Einführung von Informatik als neues Pflichtfach bereits ab Klasse 5 (Ständige Wissenschaftliche Kommission der Kultusministerkonferenz (SWK), 2022) werden professionelle digitalisierungsbezogene Kompetenzen, z.B. Auswahl und Einsatz digitaler Medien in fachlichen Lehr-Lernprozessen, der Lehrkräfte essenziell (Diepolder et al., 2021). Da diese Kompetenzen zum Teil nicht ausreichend ausgeprägt sind (ebd.), besteht eine Notwendigkeit an Fortbildungsangeboten für Lehrkräfte in diesem Bereich. In der Studie von Möller et al. (1996) konnte gezeigt werden, dass sich mangelnd ausgeprägteKompetenzen auf die Gestaltung technikbezogenen (Sach-)Unterrichts auswirken. Ebenso haben die Selbstwirksamkeit und die Einschätzung der eigenen Kompetenzen sowie die Einstellungen zum Lernen mit digitalen Medien Einfluss auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im Unterricht (Vogelsang et al., 2019). Im vom BMBF geförderten Projektverbund *Com[e]MINT – hier im ComeNet Sachunterricht* (Förderkennzeichen: 01JA23M06K) – besteht das Ziel darin, Fortbildungsmodule für Lehrkräfte zu entwickeln, die zur Implementierung digital-gestützten Sach- und INT-Fachunterrichts beitragen. Besonderes Potenzial könnte in einem problemlösend angelegten Unterrichtssetting (hier mit Blick auf die Schnittmenge zu Computational Thinking) z.B. mit Lernrobotern liegen (Barendsen & Bruggink, 2019; Tenberge, 2024).

Gestaltungselemente für wirksame Fortbildung

Um professionelle Kompetenzen von Lehrkräften zu fördern, sind gezielte und qualitativ hochwertige Fort- und Weiterbildungen für Lehrkräfte essenziell (Darling- Hammond, Hyler & Gardner, 2017). Ein wirksamer Fortbildungserfolg ist hierbei multifaktoriell bedingt und beispielsweise von den Voraussetzungen der Teilnehmenden, dem Schulkontext, aber auch von der Qualität und Quantität der Lerngelegenheiten abhängig (Lipowsky & Rzejak, 2021). Als wesentliche Gestaltungskriterien für wirksame Fortbildungen gelten ein adaptives Fortbildungsdesign mit der Bereitstellung von Material (Kleickmann et al., 2016), ein Wechsel von Input-Erprobungs- und Refelexionspahsen, ein gezieltes Feedback und Coaching sowie genügend Zeit für einen gemeinsamen Austausch und eine kollegiale Kooperation (Lipowsky & Rzejak, 2021). Für die Struktur und Gestaltung wirksamer Fortbildungen haben sich der pädagogische Doppeldecker (Wahl, 2002), bedeutsame Inhalte und Aktivitäten mit Praxisbezug und ein möglicher Transfer in den eigenen Unterricht als sinnvoll erwiesen (Lipowsky & Rzejak, 2021).

---

[1] Auf das ‚M' aus der Abkürzung MINT wurde bewusst verzichtet, da der mathematische Bereich nicht berücksichtigt wird.

Forschunsgvorhaben

Ziel der zu entwickelden Fortbildungsmodule für Lehrkräfte besteht in einer Förderung der Implementierung digital-gestützten Unterrichtens im Sach- und INT-Fachunterricht. In der Begleitforschung wird daher u.a. untersucht, inwiefern eine Veränderung der drei Aspekte der Selbsteinschätzung der digitalen Kompetenzen, den Selbstwirksamkeitserwartungen bzgl. Unterricht mit digitalen Medien und den Einstellungen zu digitalen Medien von den Lehrkräften erreicht werden kann, da diese für eine unterrichtliche Umsetzung von Fortbildungsinhalten durch die Lehrkräfte relevant erscheinen.

Konzeption der Fortbildung

Es wurde eine Fortbildungsreihe bestehend aus vier Modulen entwickelt. Diese wurde mit Hilfe einer Vorabbefragung adaptiv an die Voraussetzungen, Bedarfe und Wünsche der Teilnehmenden angepasst; an der Online-Umfrage nahmen 15 Lehrkräfte teil. Die Ergebnisse der Abfrage ermöglichten eine zielgruppenspezifische Adaption, beispielsweise in Bezug auf Inhalte (Lernroboter), Methoden und Medien (Lern- und Erklärvideos). Die resultierende Fortbildungsstruktur und deren Inhalte werden in der folgenden Abbildung dargestellt.

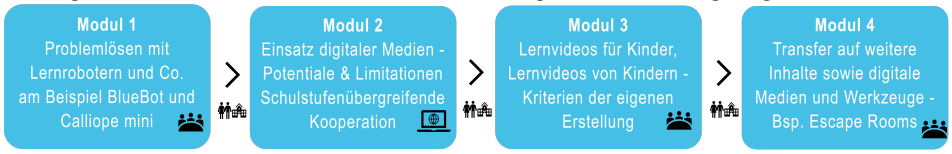


Abb. 1: Fortbildungsstruktur, eigene Darstellung

Die Fortbildung fand in Kooperation mit der Bezirksregierung Düsseldorf statt; es nahmen 34 Lehrkräfte teil. Besonders hervorzuheben dabei ist der Schulstufenübergang. Die Lehrkräfte arbeiteten zusammen in Verbünden bestehend aus Grundschul- und Sekundarstufe I-Lehrkräften, wobei insbesondere die kollegiale Kooperation im Schulstufenübergang im Fokus stand. Die Inhalte wurden im Sinne des pädagogischen Doppeldeckers (Wahl, 2002) erprobt. Basisdimensionen guten Unterrichts, wie konstruktive Unterstützung und kognitive Aktivierung, effiziente Klassenführung, Diversitätssensibilität, Kollaboration und Verstehensorientierung (Kunter & Trautwein, 2013), dienten der Reflexion der Qualität von vorgeschlagenen Unterrichtssettings.

Zum Einsatz kamen der Lernroboter BlueBot™ sowie der Mikrocontroller Calliope mini. Außerdem wurden verschiedene Lern- und Erklärvideos kriteriengeleitet analysiert (Kulgemeyer, 2018), erstellt und schließlich (digital-gestützte) Escpape-Rooms von den Lehrkräften analysiert, bewertet und Konsequenzen für die eigene unterrichtliche Umsetzung abgeleitet. Die Fortbildung fand im Wechsel von Präsenz- und digitalen Veranstaltungen statt. Zwischen den Modulen erpobten die Lehrkräfte ausgewählte Inhalte der Fortbildung in ihrem Unterrricht.

Erste Ergebnisse der Begleitforschung

In einem Prä-Post-Design wurden die Lehrkräfte zur Selbsteinschätzung ihrer digitalen Kompetenzen (i. Anl a. Quast et al., 2023), ihren Selbstwirksamkeitserwartungen bzgl. Unterricht mit digitalen Medien (i. Anl. a. Schwarzer & Jerusalem, 2003) und ihren Einstellungen zum Lernen mit digitalen Medien (i. Anl. a. Vogelsang et al., 2019) schriftlich befragt.

Da die Fortbildung noch nicht abgeschlossen ist, wird im Folgenden nur auf die Ergebnisse des Prä-Tests eingegangen. Die teilnehmenden Lehrkräfte schätzten ihre digitalen Kompetenzen selbst auf einer Skala von 1 (überhaupt nicht kompetent) bis 5 (sehr kompetent) ein. Ihre Selbstwirksamkeitserwartungen bzgl. Unterricht mit digitalen Medien sowie ihre Einstellungen zu digitalen Medien wurden von ihnen auf einer vier stufigen Likert-Skala von 1 (stimme garnicht zu) bis 4 (stimme völlig zu) bewertet. Die deskriptive Analyse der Ergebnisse zeigt, dass die an der Online-Umfrage teilnehmenden Lehrkräfte (N=8) ihre digitalen Kompetenzen mit einem Mittelwert von 3.59 bewerten. Die Selbstwirksamkeit zum Einsatz digitaler Medien wird mit einem Mittelwert von 2.93 angegeben. Die Einstellungen der Lehrkräfte zu digitalen Medien bilden einen Wert von 3.22 ab.

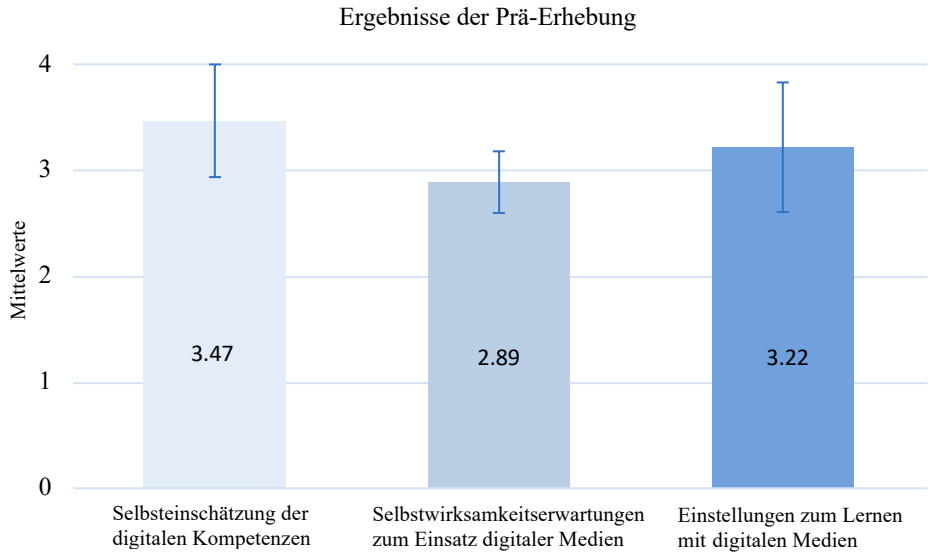


Abb. 2: Ergebnisse Prä-Test, eigene Darstellung

Diskussion und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass die Lehrkräfte bereits vor der Fortbildung ihre Selbstwirksamkeitserwartungen zum Einsatz digitaler Medien als eher hoch einschätzen. Ihre Einstellungen zum Lernen mit digitalen Medien im Unterricht schätzen die Lehrkräfte deutlich über dem arithmetischen Mittel ein. Ähnlich wie die Studierenden in der Studie von Vogelsang et al. (2019), schätzen die Lehrkräfte ihre Einstellungen zum Lernen mit digitalen Medien als hoch ein. Im Vergleich mit der Studie von Vogelsang et al. (2019) wird sichtbar, dass die dort befragten Studierenden im Gegensatz zu der vorliegenden Stichprobe eine eher geringe Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf den Einsatz digitaler Medien im Unterricht aufweisen. Mögliche Erklärungen dafür könnten sich aus der Zusammensetzung der Stichprobe ergeben, die nicht nur aus Grundschullehrkräften sondern auch aus (ausgebildeten) Informatiklehrkräften besteht. Unklar bleibt, inwiefern sich die Selbstwirksamkeitserwartungen und Einstellungen nach der Fortbildung verändern und inwiefern sich schulformspezifische Unterschiede feststellen lassen. Dazu erfolgt nach der Fortbildungsreihe im Herbst 2024 der Post-Test, bei dem dann zusätzlich die Prozess- und Transferqualität von Fortbildungen (Richter & Richter, 2023) erhoben wird.

Literatur

Barendsen, E.; Bruggink, M. (2019): Het volle potentieel van de computer leren benutten: over informatica en computational thinking, URL: https://repository.ubn.ru.nl/bitstream/handle/2066/213908/213908.pdf.

Darling-Hammond, L.; Hyler, M.E.; Gardner, M. (2017): Efective Teacher Professional Development. Palo Alto, CA: Learning Policy Institute.

Diepolder, C.; Weitzel, H.; Huwer, J.; Likas, S. (2021): Verfügbarkeit und Zielsetzungen digitalisierungsbezogener Lehrkräftefortbildungen für naturwissenschaftliche Lehrkräfte in Deutschland. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 27, S. 203-214.

Gervé, F.; Peschel, M.; Haider, M.; Gryl, I.; Schmeinck, D.; Brämer, M. (2023). Herausforderungen und Zukunftsperspektiven eines Sachunterrichts mit und über Medien. In D. Schmeinck, K. Michalik & T. Goll (Hrsg.), Herausforderungen und Zukunftsperspektiven für den Sachunterricht. Verlag Julius Klinkhardt, S. 32-47.

Kleickmann, T.; Tröbst, S.; Jonen, A.; Vehmeyer, J.; Möller, K. (2016): The effects of expert scaffolding in elementary science professional development on teachers' beliefs and motivations, instructional practices, and student achievement. Journal of Educational Psychology, 108, S. 21-42. URL: https://doi:10.1037/edu0000041.

Kulgemeyer, C. (2018): A Framework of Effective Science Explanation Videos Informed by Criteria for Instructional Explanations. Springer Nature B.V. URL: https://doi.org/10.1007/s11165-018-9787-7.

Kunter, M.; Trautwein, U. (2013): Psychologie des Unterrichts. Paderborn: Schöningh UTB. S. 77ff..

Lipowsky, F.; Rzejak, D. (2021): Fortbildungen für Lehrpersonen wirksam gestalten. Ein praxisorientierter und forschungsgestützter Leitfaden. Bertelsmann Stiftung.

Möller, K., Tenberge, C. and Ziemann, U. (1996) Technische Bildung im Sachunterricht: eine quantitative Studie zur Ist-Situation an nordrhein-westfälischen Grundschulen. Münster: Universität, Abteilung Didaktik des Sachunterrichts (Veröffentlichungen der Abteilung Didaktik des Sachunterrichts, Institut für Forschung und Lehre für die Primarstufe, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Band 2).

Quast, J.; Rubach, C.; Porsch, R. (2023): Professional digital competence beliefs of student teachers, pre-service teachers and teachers: Validating an instrument based on the DigCompEdu framework, European Journal of Teacher Education. URL: 10.1080/02619768.2023.2251663.

Richter, E., & Richter, D. (2023): Measuring the quality of teacher professional development: A large-scale validation study of an 18-item instrument for daily use. URL: https://doi.org/10.31219/osf.io/qr4t5.

Ständige Wissenschaftliche Kommission der Kultusministerkonferenz (SWK) (2022). Digitalisierung im Bildungssystem: Handlungsempfehlungen von der Kita bis zur Hochschule. Zusammenfassung. http://dx.doi.org/10.25656/01:25274.

Schwarzer, R.; Jerusalem, M. (2003): SWE. Skala zur Allgemeinen Selbstwirksamkeitserwartung. [Verfahrensdokumentation, Autorenbeschreibung und Fragebogen]. In Leibniz-Institut für Psychologie (ZPID) (Hrsg.): Open Test Archive. Trier: ZPID. URL: https://doi.org/10.23668/psycharchives.4515.

Tenberge, C. (Hrsg.); Pelz, L.; Gödiker, M.; Spremberg, G.; Ernst, C. (2024): Technik handwerklich und digital erleben. Ein Erweiterungsband mit Unterrichtsideen zur Lösung technischer Problemstellungen. 1. Auflage. Hannover: Kallmeyer in Verbindung mit Klett.

Vogelsang, C.; Finger, A.; Laumann, D.; Thyssen, C. (2019): Vorerfahrungen, Einstellungen und motivationale Orientierungen als mögliche Einflussfaktoren auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Gesellschaft für Didaktik der Physik und Chemie (GDCP) (Hrsg.): Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO (FDdB im VBIO) und Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature. URL: https://doi.org/10.1007/s40573-019-00095-6.

Wahl, D. (2002): Mit Training vom trägen Wissen zum kompetenten Handeln? – In: Zeitschrift für Pädagogik 48 2, S. 227-241.

Martina Graichen[1]
Laura Sebabi[1]
Silke Mikelskis-Seifert[1]

[1]Pädagogische Hochschule Freiburg

Hybrides Experimentieren mit MuxBooks – Bedarfe von Lehrkräften

Heterogenität und Adaptivität Ausgangslage

Die zunehmende Heterogenität der Schülerschaft in der Grundschule stellt die Lehrkräfte vor große Herausforderungen, insbesondere im Bereich des naturwissenschaftlichen Experimentierens. Die verschiedenen Heterogenitätsdimensionen (Heinzel, 2008) können zum Aufbau von Lernbarrieren beitragen, die sich zum Beispiel in mangelnder Lesekompetenz äußern. Ein vielversprechender Ansatz zum Abbau von Lernbarrieren sind adaptive Lernumgebungen, die Partizipation und Anpassung ermöglichen, so dass Lernende passende Materialien erhalten (Sibley et al., 2023; Sibley & Lachner, 2023), wenn z. B. die Lesekompetenz eher gering ausgeprägt ist. Im Idealfall ist die Anpassung in die Lernumgebung integriert und kann bei Bedarf genutzt werden.

Abbau von Lernbarrieren mit digitalen Medien

Eine Möglichkeit, adaptive Lernumgebungen zu gestalten, bieten digitale Medien. Diese können genutzt werden, um den Unterricht zu unterstützten (Plass & Pawar, 2020; Huwer et al., 2020) und um Lernbarrieren abzubauen. So können multimediale Methoden zur Texterschließung durch Vorlesefunktionen, animierte Bilder oder Videos eingesetzt werden, um Inhalte für die Schülerinnen und Schüler verständlicher aufzubereiten. Darüber hinaus können Funktionen eingebaut werden, um Antworten in anderen Modi als dem Schreiben zu dokumentieren – z. B. durch Sprachnachrichten oder Fotos von Versuchsaufbauten. Zudem ermöglichen digitale Medien das selbstgesteuerte Lernen, da Scaffolds individuell integriert werden können.

Praxischeck: digitale Medien in der Grundschule – ein ambivalentes Bild

Die Studienlage zum Einsatz von digitalen Medien in der Primarstufe ist eher spärlich (im Vergleich zu Sek 1 oder Berufsschulen). Generell gilt jedoch, dass der Einsatz digitaler Medien in Schulen steigt (Lorenz et al., 2022) und Lehrkräfte die Bedeutung digitaler Medien für den Unterricht anerkennen (Holmes et al., 2018). Jedoch haben Lehrkräfte Hemmungen, digitale Medien im Unterricht anzuwenden, wenn sie mit dem Medium nicht ausreichend vertraut sind oder wenn die technische Ausstattung oder die Unterstützung vor Ort nicht ausreichend sind. Deshalb werden digitale Medien in Grundschulen eher sporadisch genutzt.

Fortbildungen und PLGen

Fortbildungen oder Professionelle Lerngemeinschaften (PLG) können Lehrkräfte beim Einsatz digitaler Medien zum Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht unterstützen. Die Teilnahme an solchen Fortbildungen kann den Unterricht verbessern (Stoll & Luis, 2022) und das professionelle Lernen unterstützen (Vangrieken et al., 2017), wenn die Gelingensbedingungen berücksichtigt werden (Lipowsky und Kollegen: 2010, 2014, 2017).
Beide Formate unterscheiden sich jedoch. Während Fortbildungen eher formell und außerhalb der Schule organisiert werden, sind PLGen eher informelle, schulinterne Prozesse, die langfristig angelegt sind (Harris & Jones, 2019). PLGen bestehen hauptsächlich aus bottom-

up Prozessen, bei denen Lehrkräfte kollaborativ und partizipativ zusammenarbeiten und durch Austausch und Reflektion voneinander lernen, während in Fortbildungen Experten Wissen häufig in top-down Prozessen vermitteln (DuFour et al, 2004). In Fortbildungen steht eher das theoretische Wissen im Vordergrund, die Umsetzung wird den Lehrkräften überlassen (Stoll et al., 2006). PLGen hingegen arbeiten praxisorientiert und durch Ausprobieren und Anpassen wollen die Mitglieder ihren eigenen Unterricht verbessern (Stoll et al., 2006).
Hieraus ergibt sich die Fragestellung, welche Inhalte/Innovationen, Arten und Methodik sich Lehrkräfte für Weiterbildungen zum Experimentieren mit digitalen Medien im naturwissenschaftlichen Sachunterricht wünschen.

F1:	Welche Wünsche haben Lehrkräfte in Bezug auf die Implementierung von Innovationen (z.B. digitale Medien, d.h. Inhalte) sowie auf Formate und Methoden der Weiterbildung?
F2:	Inwieweit unterscheiden sich die Fortbildungspräferenzen der Lehrkräfte in Abhängigkeit von ihren digitalen Kompetenzen?

Methode

Auf Basis der „Befragung zur Lehrerfortbildung“ des Kultusministeriums Baden-Württemberg (2017) wurde eine online Befragung mit querschnittlichem Design entwickelt. Angefragt wurden ca. 50 Schulen im Südwesten von Baden-Württemberg. An der Befragung nahmen 89 Grundschullehrkräfte teil. Den kompletten Fragebogen beantworteten 36 Lehrkräfte (♂: *n*=2). Diese waren im Durchschnitt 44,82 Jahre alt (*SD* = 8,54) und hatten 13,03 Jahre (*SD* = 8,16) Berufserfahrung im Unterrichten des Sachunterrichts.

Ergebnisse

Zur Beantwortung der F1 werteten wir die Präferenzen zur Implementation von Innovationen, sowie Präferenzen zu Formaten und Methoden deskriptiv aus, siehe Tabelle 1.

Tab.1 Deskriptive Werte (*M, SD*) zu verschiedenen Präferenzen der Lehrkräfte

Implementation von Innovationen			**Präferenzen zum Format**		
	M	SD		M	SD
Experimentieren	3,44	0,77	Präsenztreffen	2,71	0,93
Digitale Medien	3,17	0,91	E-learning & Online-Treffen	2,66	0,94
Fachwissenschaft	3,08	0,91	E-Learning	2,64	1,05
Lernförderung	3,08	0,90	E-Learning & Präsenz	2,60	0,94
Differenzierung	3,06	0,92	Onlinetreffen	2,37	0,97
Fachmethodik	2,97	0,85	Onlineabruf	2,34	0,96
Fachdidaktik	2,81	0,82			
Heterogenität	2,8	0,90	**Präferenzen zur Methodik**		
Diversität	2,56	0,93	Workshops	3,44	0,70
Sprachsensibilität	2,43	1,01	Input & Handlung	3,11	0,79
			Vorträge	2,83	0,89
			PLGen	2,45	0,74
			Blended Learning	2,43	0,98
			Flipped Classroom	2,37	0,83

Anmerkung. Skala 1-4, niedrige Werte stellen Ablehnung dar, hohe Werte Zustimmung. Damit können Mittelwerte < 2,5 ablehnend interpretiert werden, Mittelwerte > 2,5 zustimmend.

Zur Beantwortung der F2 wurden die Teilnehmenden mittels Mediansplits in Gruppen mit hoher bzw. niedriger digitaler Kompetenz eingeteilt, Tab. 2. Mit diesen Gruppen wurden *t*-Tests für die inhaltlichen Präferenzen gerechnet, Tab. 3.

Tab.2: Digitale Kompetenz

Items	Skala	*M*	*SD*	Min	Max	Median	*N*	Cronbach alpha
9	1-6	3,53	1,02	1,89	5,78	3,409	32	0,91

Tab. 3: Deskriptive Werte und *t*-Test aufgrund digitaler Kompetenz zu inhaltlichen Präferenzen

	Digitale Kompetenz							
	niedrig		hoch		*t*-Test			
Inhalte	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*df*	*t*	*p*	*d*
Vorträge Methodik	3,17	0,79	3,29	0,99	33	0,42	0,337	0,14
Forschungsergebnisse	**2,72**	**0,89**	**3,35**	**0,93**	**33**	**2,04**	**0,025**	**0,69**
Fallstudien	**2,35**	**0,86**	**3,00**	**0,77**	**33**	**2,35**	**0,012**	**0,80**
Kollegiale Hospitation	**2,11**	**0,90**	**2,94**	**0,74**	**33**	**2,96**	**0,003**	**1,00**
Best Practice Austausch	**2,83**	**0,94**	**3,56**	**0,71**	**34**	**2,64**	**0,006**	**0,88**
Erstellung Material	3,11	0,83	3,28	0,96	34	0.56	0,291	0,19
Erprobung Material	2,44	1,04	2,81	1,11	32	0,99	0,163	0,34
Reflexion Material	3,39	0,61	3,39	0,70	34	0,00	0,500	0,00

Diskussion und Fazit

Vorab ist anzumerken, dass es sich um eine kleine Stichprobe handelt und die Daten deshalb eher pilotierenden Charakter haben. Daher sollte die Erhebung mit einer größeren Stichprobe wiederholt werden, um die Ergebnisse übertragbar und verallgemeinerbar zu machen.

Jedoch deuten die Ergebnisse an, dass hinsichtlich der Inhalte das Experimentieren und digitale Medien die höchste Präferenz, hingegen Heterogenität, Sprachsensibilität und Diversität die niedrigste Präferenz haben. Modernere Weiterbildungsmethoden (PLG, Blended Learning und Flipped Classroom) werden von den befragten Lehrkräften eher nicht gewünscht. Hier wünschen sich die Lehrkräfte bekanntere Formate wie Workshops oder eine Mischung aus Input und Handlung. Die Frage ist jedoch, ob es an der Methode selbst oder an der Bekanntheit der Methoden liegt. Diese weiterführende Frage lässt sich jedoch mit den hier erhobenen Daten nicht beantworten. Auch lassen sich Aussagen zum erwünschten Format schwer treffen, da sich die Werte rund im Bereich von 2,3 bis 2,7 bewegen und damit um die Trennung von Ablehnung und Zustimmung liegen.

Bei den inhaltlichen Präferenzen gibt es Methoden, die je nach selbsteingeschätzter digitaler Kompetenz befürwortet oder abgelehnt werden. Methoden, die den Unterricht öffnen und offen reflektieren, wie Fallstudien, kollegiale Hospitationen oder der Austausch von Best Practice Beispielen werden von Lehrkräften mit hoher digitaler Kompetenz bevorzugt. Für die Erstellung, Erprobung und Reflexion von neuem Material, sowie für Vorträge zu Methodik zeigten sich keine Unterschiede.

Frage ist deshalb, ob man Weiterbildungen adaptiv oder auf 2 Levels anbietet. Zunächst das Schulen digitaler Kompetenzen, dann den Umgang mit digitalen Tools, und dann Möglichkeiten zur Innovation und zur Implementation der digitalen Medien im Unterricht auf Basis von PLGn.

Literatur

DuFour, R. (2004). What Is a “Professional Learning Community”? Educational Leadership, 61, 6-11.

Harris, A., & Jones, M. (2019). Teacher leadership and educational change. *School Leadership & Management*, *39*(2), 123–126. https://doi.org/10.1080/13632434.2019.1574964

Heinzel, F. (2008). Umgang mit Heterogenität in der Grundschule. In: Ramseger, J., Wagener, M. (eds) Chancenungleichheit in der Grundschule. VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-531-91108-3_20

Holmes, W., Anastopoulou S., Schaumburg, H. & Mavrikis, M. (2018). *Personalisiertes Lernen mit digitalen Medien. Ein roter Faden*. Stuttgart: Robert Bosch Stiftung.

Huwer, J., Banerji, A. and Thyssen, C. (2020), Digitalisierung -- Perspektiven für den Chemieunterricht. Nachr. Chem., 68: 10-16. https://doi.org/10.1002/nadc.20204100187

Länderindikator 2021 – Lehren und Lernen mit digitalen Medien in der Sekundarstufe I in Deutschland im Bundesländervergleich und im Trend seit 2017. Münster: Waxmann.

Lipowsky, F. & Rzejak, D. (2023). Wodurch zeichnen sich wirksame unterrichtsbezogene Fortbildungen aus? – Ein Überblick über den Forschungsstand. In P. Daschner, K. Karpen & O. Köller (Hrsg.), Einmal ausgebildet – lebenslang qualifiziert? Lehrkräftefortbildung in Deutschland: Sachstand und Perspektiven (S. 126–145). Weinheim: Beltz Juventa

Lipowsky, F. (2023). Befunde zur Fortbildungswirksamkeit. In B. Priebe, I. Plattner & U. Heinemann (Hrsg.), Lehrkräftefortbildung. Zur Qualität von bildungspolitischer Steuerung. Befunde, Beispiele, Vorschläge (S. 16–26). Weinheim: Beltz Juventa.

Lorenz, R., Yotyodying, S., Eickelmann, B. & Endberg, M., (Hrsg.). (2022).

Plass, J. L., & Pawar, S. (2020). Toward a taxonomy of adaptivity for learning. *Journal of Research on Technology in Education*, *52*(3), 275–300. https://doi.org/10.1080/15391523.2020.1719943

Rzejak, D. & Lipowsky, F. (2023). Wirksame Fortbildungen für Lehrkräfte. Praxis Schulpsychologie, 36, 4–6.

Sibley, L., & Lachner, A. (2023). Adaptiver Unterricht: Wie er funktioniert und was digitale Medien leisten können. *schulmanagement*

Sibley, L., Fabian, A., Plicht, C., Wettke, C., Backfisch, I., Bohl, T. & Lachner, A. (2023). Gestaltung adaptiver Lernumgebungen mit Hilfe digitaler Medien: Ein Werkstattbericht aus dem Tübinger Entwicklungs- und Forschungsprojekt "DiA:GO". *Lernen und Lehren*, 3, 29 – 33.

Stoll, L., Bolam, R., McMahon, A. *et al.* Professional Learning Communities: A Review of the Literature. *J Educ Change* 7, 221–258 (2006). https://doi.org/10.1007/s10833-006-0001-8

Vangrieken, K., Meredith, Ch., Packer, T. & Kyndt, E. (2017). Teacher communities as a context for professional development: A systematic review. *Teaching and Teacher Education*, 61, 47-59. https://doi.org/10.1016/j.tate.2016.10.001.

André Kolbe[1]
Carolin Eitemüller[1]
Katrin Schüßler[1]
Maik Walpuski[1]

[1]Universität Duisburg-Essen

Gestaltung von OER zur guten wissenschaftlichen Praxis an der Universität

Theoretischer Hintergrund

Gute wissenschaftliche Praxis (GWP) ist essenziell für die Sicherstellung der wissenschaftlichen Integrität und bildet die Grundlage für qualitativ hochwertige und vertrauenswürdige Forschungsergebnisse. In Europa dienen die von den All European Academies (ALLEA) entwickelten und kontinuierlich aktualisierten Leitlinien als Maßstab für die Einhaltung dieser Prinzipien. Der 2017 veröffentlichte European Code of Conduct for Research Integrity stellt einen zentralen Referenzrahmen für GWP in Europa dar und dient als Grundlage für nationale Regelungen (All European Academies, 2017). In Deutschland hat die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) seit 1998 eigene Leitlinien zur Sicherung der GWP formuliert, die darauf abzielen, eine verbindliche Kultur der wissenschaftlichen Integrität an Forschungsinstitutionen zu etablieren (Deutsche Forschungsgemeinschaft, 2022).

Angesichts der zentralen Bedeutung der GWP ist es unerlässlich, diese Prinzipien bereits während des Studiums zu vermitteln, um eine ehrliche und transparente Wissenschaftskultur zu fördern. Studien, wie die von Fuerholzer et al. (2020), haben gezeigt, dass GWP-Kurse signifikante Veränderungen im Wissen und in den Einstellungen der Studierenden bewirken können. Dennoch gibt es einen Mangel an flächendeckenden GWP-Modulen für naturwissenschaftliche Fächer sowie an Erkenntnissen über die lernwirksamen Merkmale solcher Module.

Im Selbststudium spielen multimediale Lernmaterialien eine zunehmend wichtige Rolle, da sie nicht nur motivationale und selbstregulative Anreize bieten, sondern auch einen Mehrwert hinsichtlich der Lernwirksamkeit im Vergleich zu traditionellen Lernmaterialien darstellen (Damnik et al., 2018). Insbesondere interaktive Lernmaterialien können das Lernen effektiver und effizienter gestalten und zu einem tieferen konzeptuellen Verständnis führen (Baumgartner & Herber, 2013). Generative Aktivitäten, die eine aktive Auseinandersetzung mit Lerninhalten fördern, sind dabei besonders lernwirksam (Fiorella, 2021).

Bei der Vermittlung von GWP kommt neben der Kenntnis allgemeiner Regeln vor allem deren Anwendung in spezifischen, oft komplexen Situationen zum Tragen. Fallbeispiele bieten hier besonders gute Lerngelegenheiten (Zumbach et al., 2008). Gleichzeitig kann die Motivation der Studierenden durch textlastige Lerninhalte beeinträchtigt werden, was das Lernen erschwert (Sogunro, 2014). Graphic Novels können hier Abhilfe schaffen, indem sie textliche Inhalte entlasten und gleichzeitig die Lernmotivation steigern (Fitri Dwi Arini et al., 2016; Sipayung et al., 2020).

Bislang wurde nicht untersucht, ob digitale Selbstlernmaterialien, die mit komplexen Fallbeispielen in Form von Graphic Novels angereichert wurden, den Erwerb von anwendungsbezogenem Wissen steigern können. Diese Studie zielt darauf ab, diese Forschungslücke zu schließen und GWP als exemplarisches Anwendungsgebiet für die Evaluierung solcher Lernmaterialien zu nutzen.

Fragestellung

Die vorliegende Studie hat das Ziel, die Wirksamkeit digitaler Lernmodule zu evaluieren, die durch den Einsatz von Graphic Novels angereichert wurden. Hierfür werden drei Gruppen miteinander verglichen: eine Kontrollgruppe (KG), in der keine Graphic Novels verwendet werden, eine Interventionsgruppe 1 (IG1), in der Graphic Novels in die Instruktionsphase integriert sind, und eine Interventionsgruppe 2 (IG2), bei der Graphic Novels in die Erarbeitungsphase eingebunden werden.

Folgende Forschungsfragen sollen untersucht werden:

FF1: Inwiefern unterscheiden sich digitale Lernmodule mit Graphic Novels von Lernmodulen ohne Graphic Novels (KG) hinsichtlich Lernwirksamkeit, kognitiver Belastung, Usability und der motivationalen Wirkung?

FF2: Inwiefern unterscheiden sich Lernmodule mit Graphic Novels in der Instruktionsphase (IG1) von Lernmodulen mit Graphic Novels in der Erarbeitungsphase (IG2) hinsichtlich Lernwirksamkeit, kognitiver Belastung, Usability und der motivationalen Wirkung?

Methode

Im Rahmen eines Kooperationsprojekts an drei nordrhein-westfälischen Universitäten wurden GWP-Module für Bachelor- und Masterstudierende der Naturwissenschaften als Selbstlernmaterialien entwickelt und empirisch. Die Forschungsfragen werden mittels eines Pre-Post-Kontrollgruppen-Designs an einer Stichprobe von 150 Studierenden untersucht.

Im Sommersemester 2024 und Wintersemester 2024/2025 werden drei digitale GWP-Lerneinheiten hinsichtlich (a) Lernwirksamkeit, (b) kognitiver Belastung, (c) Usability und (d) Motivation evaluiert. Die Lernwirksamkeit wird durch einen selbstentwickelten GWP-Fachwissenstest erhoben. Die kognitive Belastung wird mit Items von Krieglstein et al. (2023) und die Usability mit Items nach Schrepp (2023) gemessen. Die Motivation wird mit Items nach Engel (2004), Haugwitz (2009) und Flake et al. (2015) erhoben. Abbildung 1 gibt einen Überblick über das Studiendesign.

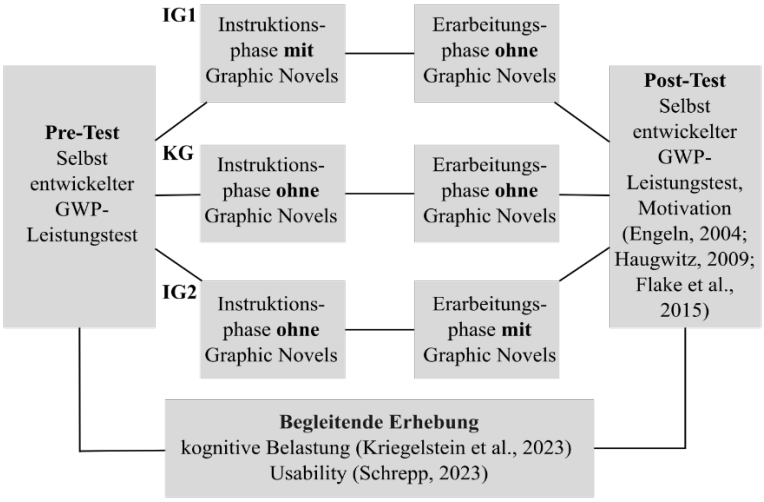


Abbildung 1: Testungsablauf vom Pre- zum Post-Zeitpunkt.

Zur Untersuchung von Unterschieden in der Lernwirksamkeit, kognitiven Belastung, Usability und Motivation zwischen den Gruppen werden einfaktorielle Varianzanalysen mit anschließenden Post-hoc-Tests durchgeführt.

Diskussion und Ausblick

Es wird erwartet, dass der Einsatz von Graphic Novels in digitalen Lernmodulen positive Effekte auf die Lernwirksamkeit, kognitive Belastung, Usability und Motivation der Studierenden hat. Insbesondere wird angenommen, dass Graphic Novels, die in die Erarbeitungsphase integriert sind (IG2), besonders effektiv sein könnten. Die Verwendung von Fallbeispielen in Form von Graphic Novels in der Erarbeitungsphase macht diese Inhalte zugänglicher und erleichtert die Identifikation der Studierenden mit den dargestellten Figuren (Peters & Peters, 2021). Dies könnte zu einer tieferen Reflexion der gezeigten Situationen und einer stärkeren Verinnerlichung der Prinzipien der guten wissenschaftlichen Praxis (GWP) führen.

Diese potenziellen Effekte haben wichtige Implikationen für die Gestaltung von GWP-Lehrmodulen in naturwissenschaftlichen Studiengängen und könnten zur Entwicklung von Best Practices für den Einsatz von Graphic Novels in der Hochschullehre beitragen. Praktisch trägt das Projekt zur Entwicklung evaluierter GWP-Lerneinheiten bei, die in bestehende Curricula integriert werden können. Theoretisch liefert die Studie wertvolle Erkenntnisse zur Lernwirksamkeit von Graphic Novels und deren Einfluss auf kognitive Belastung, Usability und Motivation in Lernkontexten.

Literatur

All European Academies. (2017). The European Code of Conduct for Research Integrity (Revised Edition). ALLEA.

Baumgartner, P. & Herber, E. (2013). Höhere Lernqualität durch interaktive Medien? - Eine kritische Reflexion. Erziehung und Unterricht, 327–335.

Damnik, G., Gierl, M., Proske, A., Körndle, H. & Narciss, S. (2018). Automatische Erzeugung von Aufgaben als Mittel zur Erhöhung von Interaktivität und Adaptivität in digitalen Lernressourcen. E-Learning Symposium, 5–16.

Deutsche Forschungsgemeinschaft (2022). Leitlinien zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis. Onlinepublikation. https://doi.org/10.5281/zenodo.6472827

Engeln, K. (2004). Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken. Dissertation. Studien zum Physiklernen: Band 36 [176 Seiten].

Fiorella, L. (2021). Multimedia Learning with Instructional Video. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Hrsg.), The Cambridge Handbook of Multimedia Learning (S. 487–497). Cambridge University Press.

Fitri Dwi Arini, Abdul Salim Choiri & Sunardi (2016). The Use Of Comic As A Learning Aid To Improve Learning Interest Of Slow Learner Student. Vorab-Onlinepublikation. https://doi.org/10.5281/zenodo.221004

Flake, J. K., Barron, K. E., Hulleman, C., McCoach, B. D. & Welsh, M. E. (2015). Measuring cost: The forgotten component of expectancy-value theory. Contemporary Educational Psychology, 41(2), 232–244. https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2015.03.002

Fuerholzer, K., Schochow, M. & Steger, F. (2020). Good Scientific Practice: Developing a Curriculum for Medical Students in Germany. Science and Engineering Ethics (26), 127–139. https://doi.org/10.1007/s11948-018-0076-7

Haugwitz, M. (2009). Kontextorientiertes Lernen und Concept Mapping im Fach Biologie [E-Dissertation]. https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:465-20100104-102352-1.

Krieglstein, F., Beege, M., Rey, G. D., Sanchez-Stockhammer, C. & Schneider, S. (2023). Development and Validation of a Theory-Based Questionnaire to Measure Different Types of Cognitive Load. Educational Psychology Review, 35(1), 13. https://doi.org/10.1007/s10648-023-09738-0

Peters, M & Peters, J. (2021). Philosophieren mit Comics und Graphic Novels. Felix Meiner Verlag. https://doi.org/10.28937/978-3-7873-3660-9

Schrepp, M. (2023). User Experience Questionnaire Handbook: All you need to know to apply the UEQ successfully in your projects. UEQ - User Experience Questionnaire.

Sipayung, T. N., Simanjuntak, S. D., Wijaya, A. & Sugiman, S. (2020). The effect of comic-based realistic mathematics approach on students' learning motivation and conceptual understanding. Journal of Physics: Conference Series, 1538(1), 12111. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1538/1/012111

Sogunro, O. A. (2014). Motivating Factors for Adult Learners in Higher Education. International Journal of Higher Education, 4(1). https://doi.org/10.5430/ijhe.v4n1p22

Zumbach, J., Haider, K. & Mandl, H. (2008). Fallbasiertes Lernen: Theoretischer Hintergrund und praktische Anwendung. Pädagogische Psychologie in Theorie und Praxis, 1–11.

Jasmin Kneuper[1]
Sebastian Henke[1]
Insa Melle[1]

[1]Technische Universität Dortmund

Redox- & Elektrochemie in der Studieneingangsphase

Einleitung

Schon seit vielen Jahren lassen sich national wie international hohe Abbruch- und Schwundquoten vor allem in den naturwissenschaftlichen Studiengängen beobachten (Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V [GDCh], 2024; Seymour et al., 2019). So brachen beispielsweise im Jahr 2020 rund 52 % der Chemie-Studierenden ihr Studium ab (Heublein et al., 2022), mit steigender Tendenz (GDCh, 2024; Heublein et al., 2022). Insbesondere Leistungsprobleme führen hierbei zu einem frühen Studienabbruch (Heublein et al., 2022), wobei unter anderem der Themenbereich Redox- & Elektrochemie zu den von Studierenden als schwierig und herausfordernd wahrgenommenen Inhaltsfeldern gehört (Childs & Sheehan, 2009). Neben der komplexen Natur der Chemie und den hohen konzeptuellen Ansprüchen (Nakiboglu et al., 2023) bereiten die auch der Redox- und Elektrochemie inhärenten mathematischen Anteile den Studierenden besondere Schwierigkeiten (Potgieter et al., 2008; Ye et al., 2024). Für ein tiefergehendes Verständnis chemischer Zusammenhänge sind diese mathematischen Aspekte jedoch unerlässlich.

Ziel des Projekts

Vor diesem Hintergrund werden Maßnahmen entwickelt, die Studierende im ersten Fachsemester beim Verständnis mathematisch-chemischer Inhalte und bei der Bearbeitung mathematikhaltiger Aufgaben im Rahmen der Redox- und Elektrochemie unterstützen sollen. Im Fokus stehen hierbei neben dem Fachwissenserwerb auch die Anwendung und Vernetzung der erworbenen Kenntnisse.

Qualitative Teilstudie

Motivation

Um die Unterstützungsangebote möglichst passgenau zu gestalten, wurden zunächst die fachlichen Schwierigkeiten aktueller Erstsemesterstudierender erhoben. Wenngleich bereits viele Fehlvorstellungen in der Literatur dokumentiert sind (z. B. Brandriet & Bretz, 2014; Goes et al., 2020; Nakiboglu et al., 2023), beziehen sich wenige Forschungsarbeiten auf Studienanfänger*innen im deutschsprachigen Raum (Busker et al., 2010; Tsaparlis, 2019). Des Weiteren können vorliegende empirische Erkenntnisse aus Studien mit Schüler*innen nur bedingt auf Studierende übertragen werden: Erstens findet eine positive Selektion der Lernenden durch ihre Studienwahl statt und zweitens führt ein vertieftes Studium nicht automatisch zu einem besseren Verständnis grundlegender Konzepte, da beispielsweise fachlich nicht tragfähige Vorstellungen gefestigt werden können.

Im vorliegenden Beitrag wird der Begriff der Fehlvorstellungen genutzt, wenn auf in der Literatur dokumentierte Befunde zu nicht tragfähigen Vorstellungen Bezug genommen wird. Für eine Ausdifferenzierung dieses Begriffes sei bspw. auf Barke (2006, S. 21) verwiesen.

Forschungsinteresse und Studienablauf

In der qualitativen Teilstudie wurde der Frage nachgegangen, welche zentralen (fachlichen) Herausforderungen den Studierenden des ersten Semesters beim Studium der Redox- und Elektrochemie begegnen. Hierzu wurden Aufgaben entwickelt, die konzeptuelles und prozedurales Wissen fokussieren (Prediger et al., 2011) und chemisch-mathematische Modellierungen (Goldhausen & Di Fuccia, 2021) erfordern. In der Literatur beschriebene Fehlvorstellungen und Schwierigkeiten bildeten die Basis der Aufgabenentwicklung.

Im Wintersemester 2023/24 wurden diese Aufgaben in der Einführungsveranstaltung „Allgemeine und Anorganische Chemie 1“ eingesetzt, welche von Studierenden der Studiengänge Chemie, Chemische Biologie, Wissenschaftsjournalismus und Lehramt Chemie (Gy/Ge, BK) besucht wurde. Innerhalb eines Zeitraums von zwei Wochen bearbeiteten die Studierenden die Hälfte der Aufgaben in einem universitären Seminar und die andere Hälfte in Hausarbeit. Während es bei Letzterer keine Kontrolle über die Bearbeitungszeit gab, war diese im Seminar auf 60 Minuten begrenzt. Die Studierenden durften gemeinsam an den Aufgaben arbeiten; die Tutor*innen wurden jedoch instruiert, keine Hilfestellungen zu geben. Insgesamt lagen 249 Dokumente mit schriftlichen Aufgabenbearbeitungen von $N = 94$ Studierenden vor.

Die schriftlichen Aufgabenbearbeitungen wurden entlang der strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2018) ausgewertet. Hierzu wurden anhand der Musterlösung deduktiv Oberkategorien abgeleitet, welche die jeweiligen Schritte einer idealen Aufgabenbearbeitung repräsentieren. Anschließend wurden induktiv aus dem Material gewonnene Unterkategorien ergänzt, welche die jeweiligen Fehler und Schwierigkeiten der Studierenden abbilden. Nachdem eine Sättigung erreicht schien, wurden die gebildeten Kategorien mit Expert*innen diskutiert und ggf. angepasst. Abschließend wurde das Material mithilfe des entstandenen Kategoriensystems (erneut) analysiert.

Ausgewählte Ergebnisse

Die Studierenden zeigen diverse Schwierigkeiten bei der Bearbeitung der Aufgaben (u. a. Tebbe, 2024), wobei eine Auswahl im Folgenden vorgestellt werden soll.

Beim Aufstellen von Redox-Reaktionsgleichungen werden aufgestellte Teilreaktionsgleichungen beispielsweise nicht bilanziert (Abb. 1a), übertragene Elektronen nicht ausgeglichen (Abb. 1b) oder Protonen zum Ladungsausgleich im alkalischen Milieu genutzt (Abb. 1c).

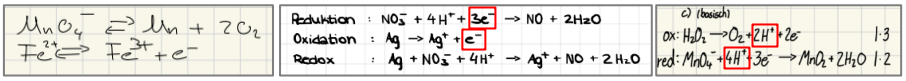


Abb. 1: Ausschnitte von schriftlichen Studierendenbearbeitungen (Markierungen ergänzt): (a) Reaktionsgleichungen nicht bilanziert, (b) Kein Ausgleich übertragener Elektronen, (c) Ladungsausgleich mit Protonen im alkalischen Milieu

Außerdem weisen Studierende gegebene Redoxsysteme falsch der Oxidation bzw. Reduktion zu, wobei vereinzelt explizite Begründungen hierzu gegeben werden, die auf falsch gelernte Voraussetzungen/Regeln hinweisen (Abb. 2). Beim Aufstellen von Redox-Reaktionsgleichungen ausgehend von gegebenen Redoxsystemen lässt sich außerdem beobachten, dass Studierende zwei Reduktions-Teilgleichungen der Form *Oxidationsmittel* + $n \cdot e^- \rightarrow$ *Reduktionsmittel* formulieren und zu einer Reaktionsgleichung zusammenfassen.

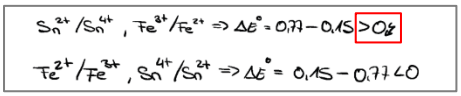


Abb. 2: Ausschnitt einer schriftlichen Studierendenbearbeitung, die auf falsch gelernte Voraussetzungen/Regeln hinweist (Markierung ergänzt)

Aufgaben, die das Aufstellen und die Anwendung der Nernst-Gleichung erfordern, scheinen für die Studierenden insbesondere hinsichtlich der Variablen wie dem Reaktionsquotienten *Q* schwierig zu sein: Sie nutzen häufig den Kehrwert (Abb. 3a) oder setzen alle in der Aufgabe gegebenen Konzentrationen ein – unabhängig davon, ob diese an der jeweiligen Stelle tatsächlich einfließen oder nicht (Abb. 3b).

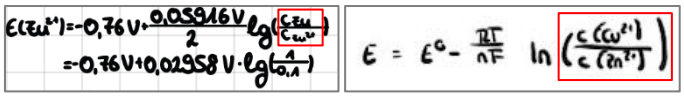


Abb. 3: Ausschnitte von schriftlichen Studierendenbearbeitungen (Markierungen ergänzt): (a) Kehrwert von Q eingesetzt, (b) Konzentrationen von Kupfer- und Zink-Ionen einbezogen, obwohl nur die Zinkhalbzelle betrachtet wurde

Limitierend ist hier festzuhalten, dass lediglich schriftliche Aufgabenbearbeitungen vorliegen und die Studierenden nicht zu ihren jeweiligen Überlegungen befragt wurden. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass Fehler, die bei verschiedenen Personen auftreten, auf zugrundeliegende Schwierigkeiten zurückzuführen sind, welche sich z. B. aus dem chemischen Inhalt oder dem Lernmaterial der Vorlesung ergeben können.

Quantitative Teilstudie

Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse aus der qualitativen Teilstudie und in der Literatur dokumentierter Befunde werden Unterstützungsmaßnahmen entwickelt und evaluiert. Hierzu werden einerseits interaktive Lernvideos erstellt, welche den Studierenden das Selbststudium ausgewählter Inhalte der Redox- und Elektrochemie ermöglichen. Andererseits werden *Worked Examples* (z. B. Atkinson et al., 2003) und *Flowcharts* (z. B. Yuriev et al., 2017) entwickelt, die in der sich anschließenden Übungsphase die Verknüpfung und Anwendung des erworbenen Fachwissens unterstützen sollen. Hierbei werden die Studierenden während der Übungen in drei (auf Basis der Fachwissenstest-Ergebnisse und des Geschlechts parallelisierte) Gruppen eingeteilt, wobei eine Gruppe mit *Worked Examples* und eine Gruppe mit *Flowcharts* arbeitet. Die dritte Gruppe erhält lediglich Kurzlösungen zu den Übungsaufgaben. Die Auswirkungen der Lernvideos und der Übungsphase auf u. a. den Fachwissenserwerb sowie die Einschätzung der Studierenden hinsichtlich Attraktivität, *Usability* und *Cognitive Load* werden untersucht (Pre-, Mid- und Post-Zeitpunkt).

Fazit und Ausblick

In einem ersten Schritt konnten im Rahmen der qualitativen Teilstudie verschiedene wiederkehrende Fehler und damit Schwierigkeiten identifiziert werden. Diese werden zur möglichst passgenauen Entwicklung von interaktiven Lernvideos, *Worked Examples* und *Flowcharts* herangezogen. Nachfolgend findet eine Evaluation und darauf aufbauend eine Optimierung der verschiedenen Unterstützungsmaßnahmen statt. Langfristig sollen die entwickelten Maßnahmen in den regulären universitären Lehr-Lern-Betrieb implementiert werden.

Literatur

Atkinson, R. K., Renkl, A. & Merrill, M. M. (2003). Transitioning From Studying Examples to Solving Problems: Effects of Self-Explanation Prompts and Fading Worked-Out Steps. *Journal of Educational Psychology*, *95*(4), 774–783. https://doi.org/10.1037/0022-0663.95.4.774

Barke, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik: Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Springer.

Brandriet, A. R. & Bretz, S. L. (2014). Measuring meta-ignorance through the lens of confidence: examining students' redox misconceptions about oxidation numbers, charge, and electron transfer. *Chemistry Education Research and Practice*, *15*(4), 729–746. https://doi.org/10.1039/C4RP00129J

Busker, M., Parchmann, I. & Wickleder, M. (2010). Eingangsvoraussetzungen von Studienanfängern im Fach Chemie: Welches Vorwissen und welche Interessen zeigen Studierende? *CHEMKON*, *17*(4), 163–168. https://doi.org/10.1002/ckon.201010134

Childs, P. E. & Sheehan, M. (2009). What's difficult about chemistry? An Irish perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, *10*(3), 204–218. https://doi.org/10.1039/B914499B

Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V. (Hrsg.). (Juli 2024). *Statistik der Chemiestudiengänge 2023: Eine Umfrage der GDCh zu Chemiestudiengängen an Universitäten und Hochschulen in Deutschland*. https://www.gdch.de/fileadmin/blaetterkatalog/catalogs/statistik_2023/pdf/complete.pdf

Goes, L. F., Nogueira, K. S. C. & Fernandez, C. (2020). Limitations of Teaching and Learning Redox: A Systematic Review. *Problems of Education in the 21st Century*, *78*(5), 698–718. https://doi.org/10.33225/pec/20.78.698

Goldhausen, I. & Di Fuccia, D.-S. (2021). Mathematical Modelling in Chemistry Lessons. *CHEMKON*, *28*(7), 282–293. https://doi.org/10.1002/ckon.201900075

Heublein, U., Hutzsch, C. & Schmelzer, R. (2022). *Die Entwicklung der Studienabbruchquoten in Deutschland*. (DZHW Brief 05|2022). DZHW. https://doi.org/10.34878/2022.05.dzhw_brief

Kuckartz, U. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (4. Auflage). *Grundlagentexte Methoden*. Beltz Juventa.

Nakiboglu, C., Rahayu, S., Nakiboğlu, N. & Treagust, D. F. (2023). Exploring senior high-school students' understanding of electrochemical concepts: patterns of thinking across Turkish and Indonesian contexts. *Chemistry Education Research and Practice*, *25*, 42–61. https://doi.org/10.1039/D3RP00124E

Potgieter, M., Harding, A. & Engelbrecht, J. (2008). Transfer of algebraic and graphical thinking between mathematics and chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, *45*(2), 197–218. https://doi.org/10.1002/tea.20208

Prediger, S., Barzel, B., Leuders, T. & Hussmann, S. (2011). Systematisieren und Sichern: Nachhaltiges Lernen durch aktives Ordnen. *mathematik lehren*, *164*, 2–9.

Seymour, E., Hunter, A.-B. & Weston, T. J. (2019). Why We Are Still Talking About Leaving. In E. Seymour & A.-B. Hunter (Hrsg.), *Talking about Leaving Revisited: Persistence, Relocation, and Loss in Undergraduate STEM Education* (S. 1–54). Springer International Publishing.

Tebbe, A. (2024). *Analyse der Aufgabenbearbeitungen von Studienanfänger*innen zu Redoxprozessen* [unveröffentlichte Masterarbeit]. Technische Universität Dortmund, Dortmund.

Tsaparlis, G. (2019). Teaching and Learning Electrochemistry. *Israel Journal of Chemistry*, *59*(6-7), 478–492. https://doi.org/10.1002/ijch.201800071

Ye, S., Elmgren, M., Jacobsson, M. & Ho, F. M. (2024). How much is just maths? Investigating problem solving in chemical kinetics at the interface of chemistry and mathematics through the development of an extended mathematical modelling cycle. *Chemistry Education Research and Practice*, *25*(1), 242–265. https://doi.org/10.1039/d3rp00168g

Yuriev, E., Naidu, S., Schembri, L. S. & Short, J. L. (2017). Scaffolding the development of problem-solving skills in chemistry: guiding novice students out of dead ends and false starts. Chemistry Education Research and Practice, 18(3), 486–504. https://doi.org/10.1039/c7rp00009j

Katharina Forster[1]
Antonia Linsmeier[1]
Jenna Koenen[1]

[1]Technische Universität München

Entwicklungsschwierigkeiten digitaler Medien- und Reflexionskompetenz im Rahmen des Konzeptes DEAN – Digitaler Experimentier-Assistent

Motivation & theoretischer Hintergrund

Im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung eröffnen sich für den Bildungssektor sowohl vielfältige neue Chancen als auch eine Vielzahl an Herausforderungen. Vor diesem Hintergrund wird die Bedeutung einer (digitalen) Medienbildung als wesentlicher Bestandteil des schulischen Bildungsauftrages deutlich (KMK, 2012), um den Herausforderungen zu begegnen. Lehrkräften kommt demnach die Aufgabe zu, ihre eigenen digitalen Medienkompetenzen zu vertiefen, um Schülerinnen und Schülern einen verantwortungsvollen Umgang mit digitalen Medien zu vermitteln. Medienkompetenz steht dabei „für das Potenzial des Menschen, Wissen über Medien zu besitzen und zu erwerben sowie die Fähigkeit, Medien souverän bedienen, kritisch beurteilen und kreativ gestalten zu können“ (Hugger, 2021, S 2). Sie umfasst nach Baacke (1996) die vier Dimensionen: Medienkritik, Medienkunde, Mediennutzung und Mediengestaltung (Treumann et al., 2007). Damit Lehrkräfte eine entsprechende Medienkompetenz aufbauen und digitale Medien sinnvoll in Unterricht integrieren können, bedarf es einer Reflexionskompetenz, die sie befähigt, ihre medienpädagogischen Entscheidungen kontinuierlich zu hinterfragen und anzupassen (Korthagen et al., 2002). Didaktische Reflexionskompetenz wird gesehen als „die Kompetenz, das eigene didaktische Handeln und die eigenen didaktischen Entscheidungen im Kontext einer pädagogischen Situation im Nachhinein zu überdenken und explizit zu begründen, um bewusst daraus zu lernen, mit dem Ziel eines persönlichkeitswirksamen Bildungsprozesses“ (Abels, 2011, S. 56). Der Reflexionsprozess hilft Lehrkräften, den Einsatz digitaler Medien im Schulunterricht zu analysieren und ihre didaktischen Entscheidungen entsprechend anzupassen. So unterstützen sich beide Kompetenzen wechselseitig: Medienkompetenz erweitert die praktischen Möglichkeiten im Unterricht, während Reflexionskompetenz sicherstellt, dass diese sinnvoll und lernförderlich eingesetzt wird.

Im naturwissenschaftlichen Unterricht, besonders im Fach Chemie, zeigt sich der Mehrwert digitaler Medien nicht nur bei der theoretischen Wissensvermittlung, sondern besonders im Kontext des selbstständigen Experimentierens. Durch innovative Anwendungen im Bereich des experimentellen Lernens bieten sich zusätzliches Potenzial für die Förderung selbstständiger Lernprozesse (Seibert et al., 2021). Dabei stellt es für Lehrkräfte eine große Herausforderung dar, die experimentellen Anforderungen mit digitalen Medien zu verknüpfen und deren Einsatz didaktisch sinnvoll und begründet zu gestalten (Sieve & Schanze, 2015). Damit Lehrkräfte dieses Potential nutzen und digitale Medien innovativ und effektiv im Unterricht einsetzen können, müssen diese entsprechende digitale Medien- und Reflexionskompetenzen besitzen. Ein Ansatz um entsprechende Kompetenzen zu fördern, ist das innovative Seminarkonzept zur Erstellung von DEANs – Digitale Experimentier-Assistenten für Lehramtsstudierende mit Fach Chemie (Forster et al., 2024). Ziel dieses Seminarkonzeptes ist durch eine verzahnte Vermittlung von theoretischem Wissen und direkter Anwendung von digitalen Medien in Praxissituationen den Kompetenzaufbau zu fördern.

Zielsetzung

Im Rahmen dieses Seminarkonzeptes sollen die Studierende entsprechende digitale Medien- und Reflexionskompetenzen erwerben. Dabei stellt sich folgende Forschungsfrage:
Inwiefern treten Schwierigkeiten und Herausforderungen bei der Entwicklung der digitalen Medien- und Reflexionskompetenz von Lehramtsstudierenden durch die begleitete Erstellung eines digitalen Experimentierassistenten (DEAN) auf?

Methode & Stichprobe

Zur Untersuchung der Entwicklung digitaler Medien- und Reflexionskompetenz wurde ein Prä-/Post-Design eingesetzt, bei dem die Teilnehmenden mittels eines Fragebogens zu ihrer Kompetenzentwicklung sowie zu Herausforderungen und Schwierigkeiten im Umgang mit digitalen Medien im Unterricht befragt wurden. An der Studie nahmen $N = 10$ Studierende im Lehramt für gymnasiale oder berufliche Bildung (n = 6 männlich, n = 4 weiblich, M(Alter) = 24,8 Jahre) teil. Die Erfassung der Reflexionskompetenz ist komplex und erfolgt zusätzlich zum Frageoben mithilfe von Stimulated Recalls. Dabei wurden die Teilnehmenden in bestimmten Lernsituationen angeregt, ihre Gedanken- und Entscheidungsprozesse zu reflektieren und zu verbalisieren. Es wurden begleitend zum Seminar drei Stimulated Recalls durchgeführt. Die Stimuli umfassten (a) das analoge Experiment auf dem basierend der DEAN entwickelt werden sollte, (b) eine Sprechstunde zu Ideen für die digitale Umsetzung in Form des DEANs sowie (c) den selbst erstellten fertigen DEAN der Studierenden. Die Stimulated Recalls wurden mithilfe des 'Zirkulären Reflexionsprozesses' nach dem ALACT-Modell von Korthagen et al. (2002) ausgewertet, dass einen systematischen Reflexionsprozess zur Analyse und Optimierung des eigenen Unterrichtshandelns ermöglicht. Dies ermöglicht Rückschlüsse auf die Reflexionskompetenz der Studierenden.

Ergebnisse & Diskussion

Medienkompetenz

Erste Ergebnisse der deskriptiven Analyse der Selbsteinschätzungen der Teilnehmenden weisen auf eine insgesamt verbesserte Medienkompetenz am Ende des Seminars hin. Die qualitativen Begründungen der Teilnehmenden spiegeln differenzierte Facetten der Medienkompetenz wider und verdeutlichen den begrenzenten Kenntnisstand der Teilnehmenden vor dem Seminar. So gibt A1_247 in der Prä-Befragung an: „Die Basics kann ich, aber es gibt noch viel, was ich denke ich gar nicht nutzen kann oder auch gar nicht weiß, dass es das gibt.“ Auch A2_247 beschreibt seine Erfahrungen als eingeschränkt: „Bisher habe ich digitale Medien nur selten genutzt.“ Nach dem Seminar in der Post-Befragung erkennen die ProbandInnen zwar Fortschritte, sehen aber weiterhin Bedarf zur Vertiefung ihrer Medienkompetenz. So reflektiert A2_247: „Das Seminar hat mir einige Möglichkeiten aufgezeigt und erklärt. Dennoch bleibt noch einiges zu lernen.“

Reflexionskompetenz

Die Ergebnisse der Selbsteinschätzung der Reflexionskompetenz der Studierenden zeigt eine leichte deskriptive Verbesserung der Reflexionskompetenz (vgl. Abb. 1). Zusätzlich zeigt sich bei einigen Teilnehmenden das Bewusstsein, ihre Reflexionskompetenz im Umgang mit Medien weiterzuentwickeln. A3_247 kommentiert in der Post-Befragung: „Meine Medienreflexion ist noch nicht ausreichend.“ Die detaillierte Auswertung der Stimulated Recalls steht derzeit noch aus und wird weitere Einblicke in die Entwicklung der Reflexionskompetenz der Teilnehmenden liefern.

Schwierigkeiten und Herausforderungen
Bei der Reflexion der Schwierigkeiten und Herausforderungen im Umgang mit digitalen Medien im Unterricht werden von den Teilnehmenden verschiedene Aspekte genannt (vgl. Abb. 2). Dabei werden vor allem technische Voraussetzungen und Ablenkung durch digitale

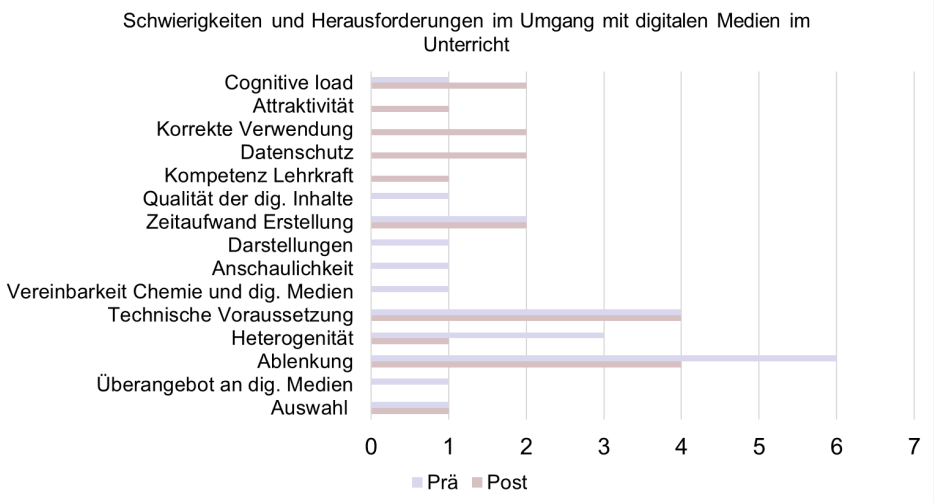


Abb. 1. Darstellung der absoluten Nennung der Schwierigkeiten und Herausforderungen im Umgang mit digitalen Medien im Unterricht seitens der Teilnehmenden im Prä-Post-Vergleich.

Medien als Schwierigkeiten angesehen. Im Prä-Post-Vergleich lässt sich erkennen, dass nach dem Seminar Schwierigkeiten spezifischer formuliert und zudem Aspekte wie Datenschutz und korrekte Verwendung der digitalen Medien in der Post-Befragung neu aufgegriffen werden.

Fazit
Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die ersten Ergebnisse darauf hindeuten, dass durch das entwickelte Seminarkonzept die digitale Medienkompetenz bei Lehramtsstudierenden angesprochen und gefördert werden kann. Bezüglich der Reflexionskompetenz lässt sich lediglich eine leichte Verbesserung erkennen, die noch vertieft anhand der Stimulated Recalls untersucht werden muss. Positiv ist zudem festzuhalten, dass Schwierigkeiten und Herausforderungen mit digitalen Medien spezifischer am Ende des Seminars erkannt werden können.

Danksagung
Die Konzeption und Umsetzung des Seminars erfolgt im Rahmen der Förderung durch das Kolleg Didaktik:digital der Joachim-Herz-Stiftung. Wir bedanken uns sehr herzlich für diese Unterstützung.

Literatur

Abels, S. (2011). LehrerInnen als "Reflective Practitioner". Reflexionskompetenz für einen demokratieförderlichen Naturwissenschaftsunterricht. VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Baacke, D. (1996). Medienkompetenz – Begrifflichkeit und sozialer Wandel. Theorie und Praxis der Erwachsenenbildung - Antje von Rein, 112–114.

Forster, K., Diermann, D., Koenen, J. (2024). DEAN – Digital unterstützt Experimentieren, eine Seminarkonzeption. In H. van Vorst (Hrsg.), Frühe naturwissenschaftliche Bildung. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung 2023 Hamburg (S. 806-809). Essen: Universität Duisburg-Essen.

Hugger, K.-U. (2021). Medienkompetenz. Handbuch Medienpädagogik, 1–15. https://doi.org/10.1007/978-3-658-25090-4_9-1.

Kultusministerkonferenz (KMK). (2012). Medienbildung in der Schule. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 08.03.2012. Kultusministerkonferenz.

Korthagen, F. A. J., Kessels, J., Koster, B., Lagerwerf, B. & Wubbels, T. (2002). Schulwirklichkeit und Lehrerbildung: Reflexion der Lehrertätigkeit. EB-Verlag.

Seibert, J., Heuser, K., Lang, V., Perels, F., Huwer, J. & Kay, C.W.M. (2021). Multitouch Experiment Instructions to Promote Self-Regulation in Inquiry-Based Learning in School Laboratories. J. Chem. Educ., 98, 1602-1609.

Sieve, B., & Schanze, S. (2015). Lernen im digital organisierten Chemieraum. Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, Heft 145, 2

Treumann, K. P., Meister, D. M., Sander, U., Burkatzki, E., Hagedorn, J., Kämmerer, M., Strotmann, M., & Wegener, C. (2007). Medienhandeln Jugendlicher: Mediennutzung und Medienkompetenz. Bielefelder Medienkompetenzmodell. VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Stefanie Lenzer[1] [1]IPN Kiel
Markus S. Feser[1]

PSY3: Lehrkräfteprofessionalisierung im Projektverbund DigiProMIN

Digitalisierungsbezogene und digital gestützte Professionalisierung von Lehrkräften

Die Digitalisierung von Lehr-Lern-Prozessen eröffnet eine Vielzahl an Potenzialen zur besseren Unterstützung von Schüler*innen, insbesondere im MIN-Unterricht, z. B. durch den Einsatz von speziell für unterrichtliche Zwecke entwickelten Simulationen und Animationen oder durch Lernsoftware, die mittels künstlicher Intelligenz angereichert wurde (z. B. Hillmayr et al., 2020). Damit diese Potenziale auch entfaltet werden können, benötigen Lehrkräfte neben fachlichen und fachdidaktischen Kompetenzen auch domänenspezifisches Wissen und Können zum Umgang mit digitalen Medien und Technologien (Huwer et al., 2019). Um Lehrkräfte diesbezüglich zu professionalisieren, bedarf es entsprechender Aus-, Fort- und Weiterbildung in allen drei Phasen der Lehrkräftebildung (Bonnes et al., 2022). Daher wurden in den vergangenen Jahren, z. B. in der BMBF geförderten *Qualitätsoffensive Lehrerbildung,* zahlreiche entsprechende Angebote entwickelt. Bisherige Angebote fokussieren jedoch überwiegend auf die erste und z. T. zweite Phase der Lehrkräftebildung. Daher stehen, trotz eines hohen Bedarfs, bislang nur wenige Angebote zur digitalisierungsbezogenen und digital gestützten Professionalisierung von Lehrkräften in der dritten Phase zur Verfügung (Bonnes et al., 2022). An dieser Stelle setzt der Projektverbund *DigiProMIN* an, zu dessen Zielen und Teilprojekten dieser und die nachfolgenden Beiträge exemplarisch für die Fächer Chemie und Physik, sowie für das fächerübergreifende Lernen im MIN-Bereich, einen Einblick geben. Im Folgenden wird – im Sinne eines Editorials – zunächst eine Zusammenfassung der Ziele und Teilprojekte des Projektverbundes gegeben (siehe auch Abb. 1), bevor anschließend eine Übersicht der nachfolgenden Beiträge, die aus dem Postersymposium *Lehrkräfteprofessionalisierung im Projektverbund DigiProMIN (PSY3)* auf der GDCP-Jahrestagung 2024 hervor gegangen sind, bereitgestellt wird.

Der Projektverbund DigiProMIN

DigiProMIN ist ein bundesweiter Projektverbund aus neun Universitäten und Forschungseinrichtungen, der im *lernen:digital* Kompetenzzentrum MINT angesiedelt ist. DigiProMIN verfolgt mehrere, miteinander verzahnte Ziele, die auf die forschungsbasierte Weiterentwicklung eines digital gestützten MIN-Unterrichts abzielen. Ein erstes Ziel ist die evidenzbasierte Entwicklung von Fortbildungen, die MIN-Lehrkräfte dahingehend professionalisieren sollen, digitale Medien und Technologien in ihrem Fachunterricht didaktisch begründet und reflektiert einzusetzen. Diese Fortbildungen werden praxisnah und nach Möglichkeit ko-konstruktiv entwickelt, um den spezifischen Anforderungen und Bedarfen der Lehrkräfte und der Unterrichtspraxis gerecht zu werden. Ferner soll durch eine enge Kooperation zwischen Forschungsinstitutionen, Schulen und Lehrkräften ein intensiverer Austausch gefördert werden, um den fachbezogenen Erkenntnistransfer zwischen den MIN-Didaktiken und der Unterrichtpraxis zu verbessern und zu fördern. Ein zweites Ziel des Projektverbunds DigiProMIN ist die Bereitstellung digitaler Lehr-Lern-Materialien für den Unterricht als Open Educational Resources (OER). Damit soll sichergestellt werden, dass

die entwickelten Materialien für alle Lehrkräfte frei zugänglich und flexibel nutzbar sind. Insbesondere soll hierdurch die Dissemination der entwickelten Materialien in die Breite, sowie deren langfristige Nutzbarkeit in der Praxis sichergestellt werden. Das dritte Ziel ist die Integration der entwickelten Fortbildungen in die Fortbildungsprogramme der beteiligten Bundesländer. Dies soll nach Projektabschluss eine Verstetigung sowie nachhaltige Nutzung in der Fortbildungspraxis gewährleisten. Darüber hinaus soll durch diese Verknüpfung von Forschung und Bildungspraxis der fachbezogene Erkenntnistransfer zwischen Wissenschaft und Bildungspraxis weiter gestärkt und ausgebaut werden.

Um diese Ziele zu erreichen, fokussiert der Projektverbund auf drei Schwerpunkte. Im Schwerpunkt *Lehrkräfte für digitale Medien im Unterricht professionalisieren* werden in fünf fachspezifischen Teilprojekten standortübergreifend und forschungsbasiert digitalisierungsbezogene sowie digital gestützte Fortbildungen für den MIN-Unterricht entwickelt, implementiert und evaluiert. Im Schwerpunkt *Lehrkräfte mit digitalen Medien professionalisieren* werden in fünf fachspezifischen und fächerübergreifenden Teilprojekten digital gestützte Methoden zur Fort- und Weiterbildung von MIN-Lehrkräften entwickelt, implementiert und evaluiert. In den drei Teilprojekten im Schwerpunkt *Transfer, Nachhaltigkeit und Evidenzbasierung gewährleisten* geht es darum, durch den Aufbau einer Strategie zur Zusammenarbeit und zum Austausch mit Landesinstituten, die Verbreitung der Produkte über verschiedene Plattformen, die forschungsbasierte Entwicklung von Instrumenten zur Evaluation der Wirksamkeit der Fortbildungen, und einen standortübergreifenden Transfer innerhalb des Projektverbundes und darüber hinaus zu gestalten.

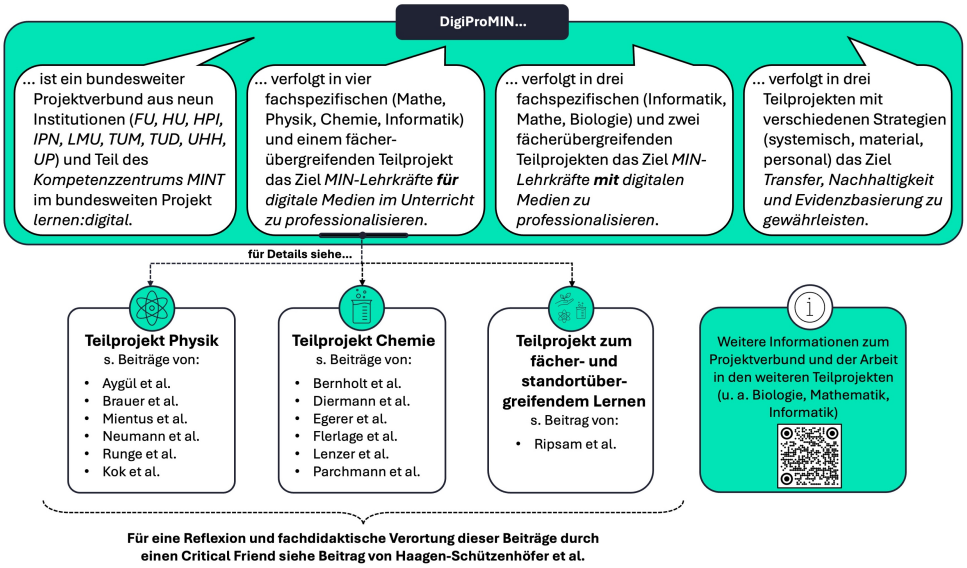


Abb 1.: Übersicht über die Beiträge im vorliegenden GDCP-Tagungsband des Projektverbundes DigiProMIN

Übersicht über die aus dem Postersymposium hervorgegangenen Beiträge

Im vorliegenden GDCP-Tagungsband thematisieren sechs Beiträge Lehrkräftefortbildungen für das Fach Physik, die im Rahmen von DigiProMIN entwickelt werden. Den Anfang stellt dabei die Fortbildung von Neumann et al. (in diesem Band) dar, in der die digital gestützte Individualisierung von forschend-entdeckend konzipiertem Physikunterricht, der dem Ansatz

nach Krajcik und Kolleg*innen folgt, thematisiert wird. Aygül et al. (in diesem Band) widmen sich in ihrer Fortbildung der Systematisierung von Unterstützungsmaßnahmen zur Förderung fachmethodischer Kompetenzen sowie von digitalen Werkzeugen zur Umsetzung dieser Maßnahmen. Die Fortbildung von Mientus et al. (in diesem Band) fokussiert auf die digital gestützte Nutzung von Klimamodellen im Physikunterricht, sowie die Reflexion der eigenen digitalisierungsbezogener Kompetenzen durch Lehrkräfte. Runge et al. (in diesem Band) beschäftigen sich mit der didaktisch sinnvollen Planung und Durchführung digital gestützter Messwerterfassung im Physikunterricht. Die Herausforderungen der Datenauswertung und der Behandlung von Messunsicherheiten stehen im Zentrum der Fortbildung, die von Kok et al. (in diesem Band) entwickelt wird. Zuletzt beleuchtet die Fortbildung von Brauer et al. (in diesem Band), wie durch den Einsatz von KI-Chatbots im Physikunterricht die Förderung der Erklärfähigkeiten von Schüler*innen gewinnbringend angereichert werden kann.

Weitere sechs Beiträge im vorliegenden GDCP-Tagungsband beschäftigen sich mit verschiedenen Fortbildungen für das Fach Chemie, die einzeln oder als Reihe belegt werden können und Lehrkräfte für einen reflektierten, digital gestützten Chemieunterricht professionalisieren sollen. Parchmann et al. (in diesem Band) beschreiben eine Fortbildung zur Ausbildung von Lehrkräften für einen reflektierten Einsatz verschiedener digitaler Medien und Technologien im Chemieunterricht. Diermann et al. (in diesem Band) beleuchten in ihrem Beitrag, wie Lehrkräfte für digital gestütztes Experimentieren im Chemieunterricht professionalisiert werden können. Egerer et al. (in diesem Band) konzentrieren sich auf die Professionalisierung zur Erstellung von bewegten 2D-Animationen verschiedener chemischer Repräsentationen mithilfe von PowerPoint. Lenzer et al. (in diesem Band) illustrieren eine Fortbildung, in der Lehrkräfte sich damit beschäftigen, wie digitale Medien und Technologien genutzt werden können, um kontextbasiertes Lernen im Chemieunterricht noch authentischer, motivierender und kollaborativer zu gestalten. Flerlage et al. (in diesem Band) stellen dar, wie Lehrkräfte dafür professionalisiert werden können, digitale Diagnoseverfahren zu erstellen und zu nutzen, um individuelle Lernverläufe ihrer Schüler*innen im Chemieunterricht aufzuzeigen. Abschließend skizzieren Bernholt et al. (in diesem Band) ein Evaluationskonzept, um die Wirksamkeit der Fortbildungen, u. a. anhand der (geplanten) unterrichtlichen Nutzung der in den Fortbildungen kennengelernten digitalen Medien, Technologien und Konzepte, zu beforschen und zu bewerten.

Ein weiterer Beitrag stellt ein Teilprojekt vor, das eine fächerübergreifende Perspektive einnimmt. Ripsam et al. (in diesem Band) beschreiben in ihrem Beitrag die Durchführung und Evaluation von Fortbildungen zum fächerübergreifenden MIN-Unterricht mit digitalen Medien und Technologien in der Grundschule und an weiterführenden Schulen.

Den Abschluss bildet der Beitrag von Haagen-Schützenhöfer et al. (in diesem Band). In diesem erfolgt eine Reflexion und fachdidaktische Verortung aller Beiträge dieses Tagungsbandes, die aus dem Postersymposium hervor gegangen sind, durch einen Critical Friend, der nicht am Projektverbund DigiProMIN beteiligt ist.

Förderhinweis

Der Projektverbund DigiProMIN, in dem dieser und die nachfolgenden Beiträge entstanden sind, ist finanziert durch die Europäische Union – NextGenerationEU und gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung.

Literatur

Aygül, P., Benz, G. & Vorholzer, A. (in diesem Band). Digitale Unterstützung zur Förderung fachmethodischer Kompetenzen im Physikunterricht: Ein systematisierter Ansatz für Lehrkräfte. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor.* Universität Duisburg-Essen.

Bernholt, S., Diermann, D., Egerer, C., Flerlage, C., Lenzer, S., Banerji, A., Parchmann, I., & Koenen, J. (in diesem Band). Von der Fortbildung zur unterrichtlichen Nutzung. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor.* Universität Duisburg-Essen.

Bonnes, C., Wahl, J. & Lachner, A. (2022). Herausforderungen für die Lehrkräftefortbildung vor dem Hintergrund der digitalen Transformation. *ZfW*, 45:133–149 https://doi.org/10.1007/s40955-022-00212-y

Brauer, A.-K., Feser, M. S., & Neumann, K.(in diesem Band). Mit KI-Chatbots Erklären im Physikunterricht fördern. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor.* Universität Duisburg-Essen.

Diermann, D., Banerji, A., Egerer, C. & Koenen, J. (in diesem Band). Experimentieren mit digitalen Medien bereichern. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor.* Universität Duisburg-Essen.

Egerer, C., Flerlage, C., Lenzer, S., Banerji, A., & Bernholt, S. (in diesem Band). Chemielehrkräftefortbildung zur Erstellung von PowerPoint-Animationen. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor.* Universität Duisburg-Essen.

Flerlage, C., Lenzer, S., Diermann, D., Koenen, J., Parchmann, I. & Bernholt, S. (in diesem Band). Individuelle Lernverläufe im Chemieunterricht aufzeigen. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor.* Universität Duisburg-Essen.

Haagen-Schützenhöfer, C., Feser, M. S., & Lenzer S. (in diesem Band). Lehrkräfteprofessionalisierung im Projektverbund DigiProMIN – SWOT-Analyse eines Critical Friends. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor*. Universität Duisburg-Essen.

Hillmayr, D., Ziernwald, L., Reinhold, F., Hofer, S. I., & Reiss, K. M. (2020). The potential of digital tools to enhance mathematics and science learning in secondary schools: A context-specific meta- analysis. *Computers Education,*153, 103897. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103897

Huwer, J., Irion, T., Kuntze, S., Schaal, S. & Thyssen, C. (2019). From TPaCK to DPaCK – Digitalization in Education Requires more than Technical Knowledge. In M. Shelly & A. Kiray (Hrsg.), *Education Research Highlights in Mathematics, Science and Technology* (pp. 298–309), IRES Publishing: Des Moines, IA, USA.

Kok, K., Maut, C. & Priemer, B. (in diesem Band). Eine Lehrkräftefortbildung zum Thema Messunsicherheit. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor*. Universität Duisburg-Essen.

Lenzer, S., Flerlage, C., Diermann, D., Koenen, J., Bernholt, S., & Parchmann, I. (in diesem Band). Chemie im Kontext 2.0 – authentisch, motivierend und kollaborativ. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor*. Universität Duisburg-Essen.

Mientus, L, Mutschler, T., & Borowski, A. (in diesem Band). Klimaprozesse modellieren – Digitalkompetenz fördern. In. H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor.* Universität Duisburg-Essen.

Neumann, K., Feser, M. S., & Vorholzer, A. (in diesem Band). Digital gestützte Individualisierung bei forschend-entdeckendem Lernen. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor*. Universität Duisburg-Essen.

Parchmann, I., Banerji, A., Bernholt, S., Koenen, J., Diermann, D., Egerer, C., Flerlage, C. & Lenzer, S. (in diesem Band). Lehrkräfte für einen reflektierten Einsatz digitaler Medien weiterbilden. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor.* Universität Duisburg-Essen.

Ripsam, M., Brückner, L., Maier, J., Nerdel, C., Parchmann, I., & Steffensky, M. (in diesem Band). Fortbildungen zum fächer- und lernorteübergreifenden Unterrichten mit digitalen Medien. In. H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor.* Universität Duisburg-Essen.

Runge, L., Feser, M. S., & Neumann, K. (in diesem Band). Digitale Messwerterfassung im Physikunterricht planen und durchführen. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor*. Universität Duisburg-Essen.

Claudia Haagen-Schützenhöfer[1] [1]Universität Graz
Markus S. Feser[2] [2]IPN Kiel
Stefanie Lenzer[2]

Lehrkräfteprofessionalisierung im Projektverbund DigiProMIN – SWOT-Analyse eines Critical Friends

MIN-Unterricht durch digitale Medien und Technologien anzureichern, birgt das Potenzial, dessen Wirksamkeit hinsichtlich seiner Adaptivität und Effektivität maßgeblich zu steigern. Aus bisheriger Forschung ist jedoch bekannt, dass viele Lehrkräfte nur bedingt über Wissen und Können zum Einsatz digitaler Medien und Technologien im MIN-Unterricht verfügen (z. B. Guzmán González & Vesga Bravo, 2023). Es besteht daher ein hoher Bedarf an entsprechenden Professionalisierungsmaßnahmen (Bonnes et al., 2022), für die im BMBF-geförderten Projektverbund *DigiProMIN* innovative Konzepte entwickelt und evaluiert werden. Erste Ergebnisse des Projektverbunds wurden auf der GDCP-Jahrestagung 2024 in Form eines Postersymposiums präsentiert (s. Lenzer & Feser, in diesem Band). Im Rahmen dieser Präsentation wurden die Einzelbeiträge durch einen 10-minütigen Impulsvortrag durch Claudia Haagen-Schützenhöfer gerahmt. In diesem Vortrag hat Claudia Haagen-Schützenhöfer das Postersymposium aus einer Außenperspektive als Critical Friend diskutiert und kritisch reflektiert. Der vorliegende Beitrag stellt eine Zusammenfassung dieses Impulsvortrags dar. Ziel ist es hierdurch, eine kritisch reflexive Perspektive auf die Professionalisierung von Lehrkräften für den Einsatz digitaler Medien und Technologien im MIN-Unterricht aufzuzeigen und insbesondere weitere Diskussionen hierrüber nicht nur innerhalb des Projektverbunds DigiProMIN, sondern auch in der chemie- und physikdidaktischen Community in der Breite, anzustoßen.

Markus S. Feser und Stefanie Lenzer

Diskussion und Reflexion der Beiträge des Postersymposiums

Die im vorliegenden Beitrag dargestellte Diskussion und Reflexion der im Postersymposium des Projektverbunds DigiProMIN präsentierten Beiträge fokussieren auf die Frage, wie Lehrkräfte im MIN-Bereich für den gezielten und reflektierten Einsatz digitaler Medien und Technologien professionalisiert werden können, um Unterricht adaptiver und effektiver zu gestalten. Für eine systematische Analyse der verschiedenen Perspektiven und Ansätze der Beiträge des Symposiums, wurde eine SWOT-Analyse (Kaplan & Norton, 2008; Weihrich, 1982) der Posterbeiträge durchgeführt, die die Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken der vorgestellten DigiProMIN-Teilprojekte herausarbeitet. Im Folgenden werden die zentralen Ergebnisse dieser Analyse zusammengeführt und eingeordnet.

Die präsentierten Poster lassen eine Reihe von Zielsetzungen in Hinblick auf die Professionalisierung von Lehrkräften erkennen, die den Teilprojekten gemeinsam sind: Lehrkräfte sollen befähigt werden, ihren MIN-Unterricht durch digitale Medien und Technologien gezielt anzureichern. Das umfasst u. a. die Fähigkeit Unterrichtsentscheidungen für oder gegen den Einsatz digitaler Medien differenziert und reflektiert abwägen zu können. Einige Module lassen eine digitale Anreicherungsstrategie besonders gut erkennen, wenn z. B.

Lehrkräfte digitale Medien und Technologien im Kontext konkreter, bekannter Unterrichtsherausforderungen nutzen lernen, um die Bedürfnisse und Voraussetzungen der Schüler*innen etwa in forschend-entdeckenden Lernszenarien durch Individualisierung besser zu berücksichtigen (z. B. Neumann et al., in diesem Band). Andere Teilprojekte konzentrieren sich wiederum stärker auf die Nutzung bestimmter, teilweise sehr spezieller Medien und Technologien (z. B. Brauer et al, in diesem Band; Diermann et al., in diesem Band; Egerer et al., in diesem Band; Runge et al., in diesem Band). In Hinblick auf die Zielsetzung des Projekts ergibt sich dabei die Herausforderung, wie trotz des Fokus auf sehr spezifische Fertigkeiten von Lehrkräften auch die Einbettung digitaler Medien und Technologien in breitere Kontexte adressiert werden kann.

Bezogen auf die methodisch-strukturelle Konzeption der Fortbildungen sind exemplarisch einige vielversprechende *Best-Practice*-Ansätze hervorzuheben, wie etwa mehrphasige Settings mit Präsenz- und online Meetings, bei denen neben der Einführung in die Thematik auch die Umsetzung in und Reflexion von unterrichtspraktischen Situationen integraler Bestandteil sind (z. B. Neumann et al., in diesem Band; Parchmann et al., in diesem Band). Dazu nutzen manche Module Prinzipien und Ansätze wie den Didaktischen Doppeldecker (z. B. Lenzer et al., in diesem Band), Vignetten (z. B. Neumann et al., in diesem Band), konkrete Unterrichtssequenzen für die Reflexion und didaktisches Begründen von Unterrichtsstrukturen (z. B. Parchmann et al., in diesem Band) sowie individuelle Coaching-Calls (z. B. Kok et al., in diesem Band). Derartige Prinzipien und Ansätze können einerseits Differenzierungs- und Individualisierungsmaßnahmen auf Ebene der Lehrkräfte darstellen und die anzunehmenden heterogenen Voraussetzungen der Teilnehmer*innen berücksichtigen. Andererseits kann durch das konkrete Unterrichtshandeln und dessen Reflexion auch ein guter Grundstein für einen längerfristigen Transfer in die Schulpraxis gelegt werden. Als Gefahrenpotentiale lassen sich beispielsweise die mögliche Vermittlung eines naiv-realistischen Verständnisses von *NOS* bei Lehrkräften und/oder Schüler*innen oder eine fehlende Entwicklung einer kritisch-distanzierten Sicht auf die Nutzung digitaler Medien und Technologien bei Lehrkräften identifizieren.

Als Fortbildungsprogramm bietet DigiProMIN eine breite Palette an modularen Angeboten, die auf spezifische Bedürfnisse der Lehrkräfte zugeschnitten sind (s. Lenzer & Feser, in diesem Band). Die Größe des Projektverbunds und die Unterschiedlichkeit von Modulen kann dabei als große Stärke, aber auch als Herausforderung für die Kohärenz des Fortbildungsprogramms ausgelegt werden. Eine Reihe von Modulen, v. a. jene zur Förderung fachmethodischer Arbeitsweisen und experimenteller Kompetenzen im MIN-Unterricht (z. B. Aygül et al., in diesem Band; Runge et al., in diesem Band), lassen bereits jetzt ein orchestriertes, kohärenzstiftendes Fortbildungsprogramm erkennen und wirken dem Risiko von Fragmentierung entgegen. Chancen und Weiterentwicklungspotentiale im Bereich der Orchestrierung und Kohärenzstiftung können die Nutzung bzw. stärkere Transparentmachung gemeinsamer Modelle und Konzepte für die Weiterentwicklung digital angereicherten Unterrichts und für die diesbezügliche Professionalisierung von Lehrkräften bieten. Insbesondere gemeinsame, den Modulen zugrunde liegende Modelle zur Förderung digitaler Kompetenzen von Lehrkräften und Schüler*innen könnten die Kohärenz des Fortbildungsprogramms und auch der Begleitforschung stärken.

Die große Stärke von DigiProMIN als forschungsbasiertes Entwicklungsprogramm liegt in der breiten und umfassenden Expertise des Projektteams, die eine umfängliche Untersuchung der Fortbildungen und deren Wirkung auf den MIN-Unterricht sowie die Entwicklung effizienter Transferstrategien ermöglicht. Allerdings stellt die kurze Laufzeit bei gleichzeitig hoher Komplexität der Projektstruktur Herausforderungen dar. Es scheint nicht realistisch, dass in der kurzen Laufzeit eine forschungsbasierte Weiterentwicklung der Fortbildungen und deren nachhaltiger Transfer in die Praxis der Landesinstitute umsetzbar ist. Insgesamt sind die Begleitforschungsansätze (z. B. Bernholt et al., in diesem Band) vielversprechend und könnten durch eine stärkere Vernetzung der Forschungskonzepte und theoretischen Grundlagen zwischen den Einzelprojekten weiter optimiert werden.

Neben Entwicklung und Forschung verfolgt das Gesamtprojekt einen mehrstufigen Transfer, einerseits jenen der Fortbildungen in die Programme von Landesinstituten und andererseits den von digitalen Anreicherungsstrategien in die Unterrichtspraxis (s. Lenzer & Feser, in diesem Band). Für den Transfer und eine erfolgreiche, nachhaltige Implementierung der forschungsbasierten Fortbildungen scheinen jedenfalls eine Reihe von Aspekten maßgeblich zu sein, etwa die Schnittstellenarbeit, die Akzeptanz der entwickelten Module durch die künftigen Dozierenden an den Landesinstituten aber auch konkrete Transferstrategien, die eine *Fidelity of Implementation* in gewissem Maße gewährleisten. Eine bloße Bereitstellung von Materialien für künftige Dozierende scheint zu kurz zu greifen, um die essenziellen Features des Fortbildungsdesigns nachhaltig zu bewahren. Diese Herausforderung bietet aber gleichsam die Chance, das in den Teilprojekten generierte Design-Wissen systematisch zu bündeln und als Framework für den Transfer nutzbar zu machen. Ähnliche Herausforderungen und Chancen lassen sich auch für den Transfer durch die Lehrkräfte in die MIN-Unterrichtspraxis ableiten.

Neben den entwickelten und implementierten Fortbildungen sowie den empirisch fundierten Erkenntnissen im Bereich Fortbildungsdesign und Transfer steckt in DigiProMIN aus meiner Sicht noch weiteres Potential, MIN-Unterricht zukünftig zu bereichern und weiterzuentwickeln. Dieses Potential haben u. a. die für die Fortbildungen entwickelten innovativen Konzepte und Tools, wie z. B. die *SAMR-ChiK-Matrix* (s. Lenzer et al., in diesem Band). Aber auch konkrete Materialien, die nach dem Prinzip der Open Educational Ressource (OER) auch über die Fortbildungen hinaus zur Verfügung gestellt und von Lehrkräften beliebig adaptiert werden können. Außerdem sind die Fortbildungskonzepte selbst so adaptiv gedacht, dass diese nicht nur in der 3. Phase der Lehrkräftebildung genutzt werden können, sondern auch in die 1. oder 2. Phase transferiert werden können.

Claudia Haagen-Schützenhöfer

Literatur

Aygül, P., Benz, G. & Vorholzer, A. (in diesem Band). Digitale Unterstützung zur Förderung fachmethodischer Kompetenzen im Physikunterricht: Ein systematisierter Ansatz für Lehrkräfte. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor.* Universität Duisburg-Essen.

Bernholt, S., Diermann, D., Egerer, C., Flerlage, C., Lenzer, S., Banerji, A., Parchmann, I., & Koenen, J. (in diesem Band). Von der Fortbildung zur unterrichtlichen Nutzung. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor.* Universität Duisburg-Essen.

Bonnes, C., Wahl, J. & Lachner, A. (2022). Herausforderungen für die Lehrkräftefortbildung vor dem Hintergrund der digitalen Transformation. *ZfW*, 45:133–149 https://doi.org/10.1007/s40955-022-00212-y

Brauer, A.-K., Feser, M. S., & Neumann, K., Feser, M. S. (in diesem Band). Mit KI-Chatbots Erklären im Physikunterricht fördern. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor.* Universität Duisburg-Essen.

Egerer, C., Flerlage, C., Lenzer, S., Banerji, A., & Bernholt, S. (in diesem Band). Chemielehrkräftefortbildung zur Erstellung von PowerPoint-Animationen. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor.* Universität Duisburg-Essen.

Guzmán González, J. R., & Vesga Bravo, G. J. (2023). TPACK in In-service Secondary Education Teachers: A Systematic Review of the Literature. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, *12*(1), 282–296. https://doi.org/10.46328/ijemst.3198

Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (2008). Identifying strengths, weaknesses, opportunities, and threats (SWOT). In *The Execution Premium: Linking Strategy to Operations for Competitive Advantage* (S. 49–53). Harvard Business Review Press.

Kok, K., Maut, C. & Priemer, B. (in diesem Band). Eine Lehrkräftefortbildung zum Thema Messunsicherheit. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor*. Universität Duisburg-Essen.

Lenzer, S., & Feser; M. S. (in diesem Band). PSY3: Lehrkräfteprofessionalisierung im Projektverbund DigiProMIN. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung 2024*. Universität Duisburg-Essen.

Lenzer, S., Flerlage, C., Diermann, D., Koenen, J., Bernholt, S., & Parchmann, I. (in diesem Band). Chemie im Kontext 2.0 – authentisch, motivierend und kollaborativ. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor*. Universität Duisburg-Essen.

Neumann, K., Feser, M. S., & Vorholzer, A. (in diesem Band). Digital gestützte Individualisierung bei forschend-entdeckendem Lernen. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor*. Universität Duisburg-Essen.

Parchmann, I., Banerji, A., Bernholt, S., Koenen, J., Diermann, D., Egerer, C., Flerlage, C. & Lenzer, S. (in diesem Band). Lehrkräfte für einen reflektierten Einsatz digitaler Medien weiterbilden. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor.* Universität Duisburg-Essen.

Runge, L., Feser, M. S., & Neumann, K., Feser, M. S. (in diesem Band). Digitale Messwerterfassung im Physikunterricht planen und durchführen. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor*. Universität Duisburg-Essen.

Weihrich, H. (1982). The TOWS matrix—A tool for situational analysis. *Long Range Planning*, *15*(2), 54–66. https://doi.org/10.1016/0024-6301(82)90120-0

Knut Neumann[1]
Markus S. Feser[1]
Andreas Vorholzer[2]

[1]IPN Kiel
[2]Technische Universität München

Digital gestützte Individualisierung bei forschend-entdeckendem Lernen

In der naturwissenschaftsdidaktischen Literatur ist das *forschend-entdeckende Lernen* ein prominenter Ansatz guten Unterrichts (Abd-El Khalick et al., 2004; Vorholzer & von Aufschnaiter, 2019). Dabei wird forschend-entdeckendes Lernen z. T. sehr unterschiedliche konzeptualisiert – von im Zugang vollständig offenen Konzeptionen, die auf die möglichst authentische Abbildung des realen Forschungsprozesses (mit all seinen Irrungen und Wirrungen) zielen bis zu stärker angeleiteten Zugängen, die Elemente direkter Instruktion und instruktionaler Unterstützung integrieren (de Jong et al., 2023; Hofer & Puddu, 2020; Vorholzer & von Aufschnaiter, 2019). Eine Synthese der einschlägigen Literatur legt allerdings eine prinzipielle Überlegenheit angeleiteter Ansätze forschend-entdeckendes Lernen nahe, u. a. deshalb, weil sie selbstbestimmte Phasen und stärker instruktionalen Phasen im Prozess des Aufbaus naturwissenschaftlichen bzw. physikalischen Wissens systematisch und zielgerichtet miteinander kombinieren (Hmelo-Silver et al., 2007).

Eine Konzeption von angeleitetem forschend-entdeckenden Lernen, die sich auf verschiedenen Ebenen als besonders effektiv erwiesen hat und bei Lehrkräften eine hohe Akzeptanz genießt, ist das forschend-entdeckende Lernen nach Krajcik und Kolleg:innen (Krajcik & Blumenfeld, 2006; Krajcik & Czernaik, 2018). Gleichzeitig ist forschend-entdeckend gestalteter Unterricht anspruchsvoll sowohl für Lehrkräfte als auch für Schüler:innen, z. B. weil er i. d. R. neben inhaltliche immer auch methodische Anforderungen aufweist. Lehrkräfte müssen Schüler:innen beim forschend-entdeckenden Lernen gezielt und individualisiert bei der Bewältigung dieser Anforderungen unterstützen, um dessen lernförderlichen Potenzial auszuschöpfen (de Jong et al., 2023; Krajcik, & Shin 2014). Digitale Technologien können hierbei unterstützend wirken, sofern sie von der Lehrkraft didaktisch sinnvoll in den Unterricht integriert werden (Krajcik & Mun, 2014).

Zur Unterstützung von Lehrkräften bei der Planung, Umsetzung und Reflexion von digital gestützten und forschend-entdeckendem Physikunterricht entwickelt und beforscht das Fachcluster Physik im Projektverbund DigiProMIN ein Fortbildungsprogramm, das aus einem Basismodul und sechs darauf aufbauenden Vertiefungsmodulen besteht (für eine Zusammenschau siehe Lenzer & Feser, in diesem Band). Das Basismodul umfasst eine Einführung in das forschend-entdeckende Lernen nach Krajcik und Kolleg:innen, sowie einen Überblick über Möglichkeiten der Individualisierung mittels digitaler Technologien in einem Physikunterricht, der diesem Unterrichtsansatz folgt. In diesem Beitrag wird die Konzeption von forschend-entdeckendem Lernen nach Krajcik und Kolleg:innen zusammenfassend vorgestellt und der Aufbau der ersten Version des entwickelten Basismoduls skizziert.

Forschend-entdeckendes Lernen nach Krajcik und Kolleg:innen

Gemein ist nahezu allen Konzeptionen von forschend-entdeckendem Lernen, dass die Schüler:innen sich ausgehend von eigenen oder zumindest für sie relevanten Fragen in den Prozess der aktiven Konstruktion von Wissen begeben. Im Rahmen des forschend-entdeckenden Lernens konstruieren die Schüler:innen sukzessive Wissen durch die Auseinandersetzung mit physikalischen bzw. naturwissenschaftlichen Phänomenen entlang

kohärenter Sequenzen der folgenden Aktivitäten, wobei deren Abfolge dem jeweiligen Lehr-Lern-Ziel entsprechend variieren kann: Fragen stellen, Modelle entwickeln, Experimente planen und durchführen, Daten auswerten, Phänomene erklären und über konkurrierende Erklärungen von Phänomenen argumentieren.

Den Ausgangspunkt forschend-entdeckenden Lernens nach Krajcik und Kolleg:innen bilden ein oder mehrere Phänomen(e) und eine damit verbundene übergeordnete Frage („*driving question"*). Typischerweise wird diese übergeordnete Frage von der Lehrkraft aus Fragen der Schüler:innen zum Phänomen bzw. zu den Phänomenen synthetisiert. Zudem leiten sich aus dieser übergeordneten Frage auch mögliche Sequenzen für unterrichtlichen Aktivitäten ab, die darauf zielen, schrittweise (entlang ausgewählter Teil- bzw. Unterfragen) eine Antwort auf die übergeordnete Frage zu entwickeln. Schüler:innen könnten z. B. in einem ersten Schritt ein Modell des Phänomens entwickeln, auf dieser Basis eine Untersuchung planen und durchführen, die gesammelten Daten auswerten, schließlich eine Erklärung entwickeln und diskutieren, inwieweit diese geeignet ist das Phänomen adäquat und hinlänglich zu erklären. Ist das Ergebnis der Diskussion, dass die Erklärung nicht geeignet ist, könnten die Schüler:innen ihr Modell ändern, weitere Untersuchungen durchführen, oder ihre Erklärung überarbeiten – bis sie schließlich eine aus ihrer Sicht eine ausreichend geeignete Antwort auf die übergeordnete Frage gefunden haben.

Abbildung 1 stellt den Ablauf einer Unterrichtseinheit zum Themenfeld Energie im Physikunterricht am Ende der Mittelstufe dar, die entsprechend dem forschend-entdeckenden Lernen nach Krajcik und Kolleg:innen konzipiert wurde[1]. Den Ausgangspunkt der Einheit bildet ein Zeitungsbericht über die Energiekrise im Jahr 2022. Aus den vielen verschiedenen Fragen und Überlegungen der Schüler:innen zur Energiekrise lässt sich die Frage ableiten, was denn nun die beste Energieversorgung der eigenen Schule ist. Diese wird in mehreren Teilschritten beantwortet. Zunächst soll geklärt werden, welche Energieformen benötigt werden und wie man diese vergleichen kann. Anschließend sollen die Eigenschaften der Energieformen erarbeitet werden, bevor erarbeitet wird, welche Energieformen sich für die Versorgung anbieten, um letztendlich die übergeordnete Frage nach der Energieversorgung der eigenen Schule zu beantworten.

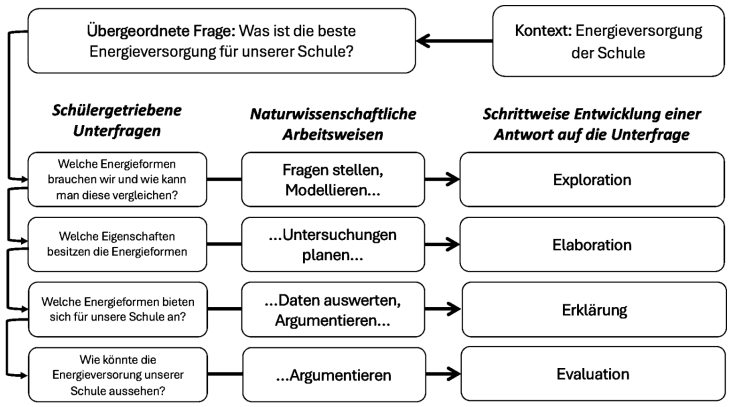


Abbildung 1. Aufbau einer forschend-entdeckenden konzipierten Unterrichtseinheit zum Thema Energie am Ende der Mittelstufe (modifiziert nach Reiser et al., 2014).

[1] Diese Unterrichtseinheit wurde im Rahmen des Projekts ALICE entwickelt (DIPF, 2024). Für weitere Details zu dieser Unterrichtseinheit siehe auch Kubsch et al. (2022).

Basismodul: Digital gestützte Individualisierung beim forschend-entdeckenden Lernen

Viele Lehrkräfte schätzen das forschend-entdeckende Lernen nach Krajcik und Kolleg:innen, stehen jedoch gleichzeitig vor der Herausforderung, sowohl inhaltliche als auch methodische Anforderungen bei der Umsetzung diese Ansatzes in ihrem eigenen Unterricht zu bewältigen (siehe oben). Insbesondere benötige viele Lehrkräfte gezielte Unterstützung, um Schüler beim forschend-entdeckenden Lernen individualisiert zu begleiten und digitale Technologien lernförderlich in den Unterricht zu integrieren. Dementsprechend ist das Ziel des Basismoduls die Einführung der an der Fortbildung teilnehmenden Lehrkräfte (a) in das forschend-entdeckenden Lernen nach Krajcik und Kolleg:innen und (b) in die lernförderliche Nutzung digitaler Technologien für die Individualisierung von forschend-entdeckendem Unterricht.

Wie in Abbildung 2 dargestellt, nutzt das Basismodul hierzu eine Kombination aus Präsenzveranstaltungen (Einheiten 1, 3 und 5), einer Online-Selbstlerneinheit (Einheit 2), sowie einer Praxisphase (Einheit 4), um professionelle Kompetenzen zur Anwendung der oben benannten Inhalte sowohl theoretisch als auch unterrichtspraktisch zu vermitteln. Dabei werden die Teilnehmenden insbesondere bei der Implementation von forschend-entdeckendem Lernen und der Integration digitaler Technologien zur Individualisierung ihres Unterrichts professionell begleitet und zur Reflexion über ihre in der Fortbildung gemachten Praxiserfahrungen angeregt.

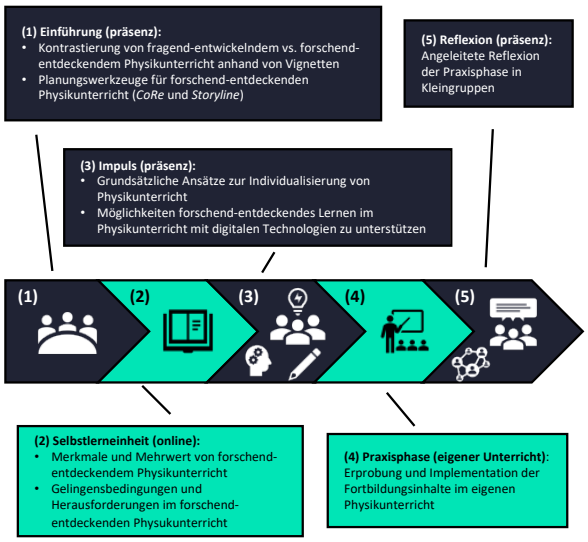


Abbildung 2. Aufbau und Inhalte des Basismoduls.

Ausblick

Die erste Version des Basismoduls (Einheiten 1 bis 3) wurde im Sommersemester 2024 mit Masterstudierenden der CAU Kiel pilotiert. Gegenwärtig (Herbst 2024) durchläuft das Basismodul eine umfassende Evaluation durch Critical Friends aus der Physikdidaktik sowie der Bildungspraxis. Diese kritische Begutachtung, ergänzt durch Rückmeldungen von Studierenden, die an einer Pilotierung des Basismoduls teilgenommen haben, dient als Grundlage für eine gezielte Überarbeitung und Weiterentwicklung der Fortbildung. Eine überarbeite Version soll zukünftig mit im Schuldienst aktiven Physiklehrkräften erprobt werden. Ziel ist es, im Sinne eines Design-Based-Research-Ansatzes (Barab & Squire 2004; Obczovsky et al., 2024), die Wirksamkeit und Praxisnähe des Basismoduls zu optimieren und auf die Bedürfnisse der Lehrkräfte abzustimmen.

Literatur

Abd-El-Khalick, F., BouJaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D., & Tuan, H. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. Science Education, 88(3), 397–419. https://doi.org/10.1002/sce.10118

Barab, S., & Squire, K. (2004). Design-Based Research: Putting a Stake in the Ground. *Journal of the Learning Sciences*, *13*(1), 1–14. https://doi.org/10.1207/s15327809jls1301_1

de Jong, T., Lazonder, A. W., Chinn, C. A., Fischer, F., Gobert, J., Hmelo-Silver, C. E., Koedinger, K. R., Krajcik, J. S., Kyza, E. A., Linn, M. C., Pedaste, M., Scheiter, K., & Zacharia, Z. C. (2023). Let's talk evidence – The case for combining inquiry-based and direct instruction. *Educational Research Review*, *39*, 100536. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2023.100536

Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation (DIPF) (2024). *ALICE – Analyzing Learning for Individualized Competence Development in Mathematics and Science Education*. https://www.dipf.de/de/forschung/projekte/analyzing-learning-for-individualized-competence-development-in-mathematics-and-science-education#6

Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G., & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, *42*(2), 99–107. https://doi.org/10.1080/00461520701263368

Hofer, E., & Puddu, S. (2020). Forschendes Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht – Begrifflichkeiten, Ausprägungen, Zielsetzungen. *transfer Forschung ↔ Schule*, *6*, 57–71.

Krajcik, J., and Blumenfeld, P. (2006). Project-based learning. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 317-333). Cambridge University Press.

Krajcik, J. S., & Czerniak, C. L. (2018). *Teaching science in elementary and middle school: A project-based learning approach*. Routledge.

Krajcik, J. S., & Mun, K. (2014). Promises and challenges of using learning technologies to promote student learning of science. In N. G. Lederman and S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research in science education* (Vol. 2) (pp. 337-360). Routledge

Krajcik, J. S., & Shin, N. (2014). Project-Based Learning. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (pp. 275–297). Cambridge University Press.

Kubsch, M., Czinczel, B., Lossjew, J., Wyrwich, T., Bednorz, D., Bernholt, S., Fiedler, D., Strauß, S., Cress, U., Drachsler, H., Neumann, K., & Rummel, N. (2022). Toward learning progression analytics—Developing learning environments for the automated analysis of learning using evidence centered design. *Frontiers in Education*, *7*, 981910. https://doi.org/10.3389/feduc.2022.981910

Lenzer, S., & Feser; M. S. (in diesem Band). Lehrkräfteprofessionalisierung im Projektverbund DigiProMIN. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, virtuelle Jahrestagung 2024*. Universität Duisburg-Essen.

Obczovsky, M., Bernsteiner, A., Haagen-Schützenhöfer, C., & Schubatzky, T. (2024). Systematizing Decisions in Design-Based Research: From Theory to Design. *Science Education*, Online First Publication. https://doi.org/10.1002/sce.21915

Reiser, B. J. (2014). Designing coherent storylines aligned with NGSS for the K-12 classroom. *Paper presented at the National Science Education Leadership Association meeting, Boston, MA.*

Vorholzer, A., & von Aufschnaiter, C. (2019). Guidance in inquiry-based instruction – an attempt to disentangle a manifold construct. *International Journal of Science Education*, *41*(11), 1562–1577. https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1616124

Pervin Aygül
Gregor Benz
Andreas Vorholzer

Technische Universität München

Digitale Unterstützung zur Förderung fachmethodischer Kompetenzen im Physikunterricht: Ein systematisierter Ansatz für Lehrkräfte

Die Förderung fachinhaltlicher und fachmethodischer Kompetenzen stellt ein zentrales Ziel im naturwissenschaftlichen Unterricht dar (Kultusministerkonferenz, 2020). Gelegenheiten im Unterricht, in denen Lernende Experimente planen, durchführen und auswerten, sind essenziell für den Aufbau und die Festigung fachmethodischer Kompetenzen, die neben experimentellen Fähigkeiten auch Aspekte wie Kommunikation und Bewertung umfassen (z.B. Hofstein & Lunetta, 2004; White & Frederiksen, 1998). Ein prominenter Ansatz, um Lernenden vielfältige Gelegenheiten für eingenständige, experimentbezogene Aktivitäten im Unterricht zu bieten, ist das forschend-entdeckende Lernen (Dobber et al., 2017; Lazonder & Harmsen, 2016; Minner et al., 2010; Vorholzer & Aufschnaiter, 2019). Es ist jedoch davon auszugehen, dass experimentelles Arbeiten der Lernenden zwar eine notwendige, aber keine hinreichende Bedingung für den effektiven Aufbau fachmethodischer, insbesondere experimenteller Kompetenzen ist (z. B. Vorholzer et al., 2020). Vielmehr deuten empirische Befunde darauf hin, dass für den effektiven Kompetenzaufbau erforderlich ist, selbstständiges experimentelles Arbeiten mit Instruktion zu verbinden, die gezielt die zugrundeliegenden Kenntnisse thematisieren (z. B. durch explizite Instruktion; Vorholzer, 2015) und den Lernenden Unterstützung zu bieten (Lazonder & Harmsen, 2016). Im Rahmen des hier vorgestellten Projekts wird eine Lehrerfortbildung entwickelt, die darauf abzielt, die professionellen Kompetenzen von Lehrkräften zu stärken, um Lernende beim selbständigen experimentellen Arbeiten mithilfe digitaler Werkzeuge effektiv zu unterstützen.

Struktur der Lehrerfortbildung

Das zugrunde liegende Fortbildungskonzept besteht aus einer digitalen Selbstlerneinheit, einem Online-Seminar und einer Praxisphase mit abschließendem Online-Seminar.
In der digitalen Selbstlerneinheit wird am Beispiel „Fragen und Hypothesen formulieren“ fachdidaktisches Grundlagenwissen thematisiert, das zum Fördern von fachmethodischen Kompetenzen im Physikunterricht relevant ist. Hierzu gehört u. a. die Definition des Begriffs „fachmethodische Kompetenzen“ und Überlegungen zur Rolle fachmethodischer Kenntnisse (Regeln, Strategien, Kriterien) für die Entfaltung fachmethodischer Kompetenzen (z. B. Formulieren naturwissenschaftlicher Fragestellungen, Planen von Untersuchungen; Vorholzer, 2017). Im anschließenden Online-Seminar wird ein systematischer Überblick über einerseits konkrete Unterstützungsmaßnahmen zur Förderung fachmethodischer Kompetenzen (z. B. Prompts oder Einschränkungen; Sun et al., 2022) und andererseits über Möglichkeiten der digitalen Umsetzung dieser Unterstützungsmaßnahmen gegeben. Der dritte Teil der Fortbildung besteht aus einer Praxisphase, in der die Lehrkräfte eine selbstgewählte, digitale Unterstützungsmaßnahme beim experimentellen Arbeiten in einer eigenen Unterrichtsstunde umsetzen und erproben sollen. Nach dieser Praxisphase findet erneut ein Online-Seminar statt, in dem die Lehrkräfte die Gelegenheit erhalten, ihre Erfahrungen und erprobten digital gestützten Unterstützungsmaßnahmen auszutauschen und zu reflektieren.

Ein Kernelement der Fortbildung ist eine von uns entwickelte zweidimensionale Heuristik, die einerseits Möglichkeiten zur Unterstützung (Dimension 1) und andererseits Arten von digitalen Werkzeugen (Dimension 2) systematisiert und aufeinander bezieht. Diese Heuristik soll Lehrkräften eine praxisnahe und flexible Orientierungshilfe für die gezielte Auswahl und den Einsatz von digitalen Unterstützungsmaßnahmen bieten und wird im Folgenden näher vorgestellt.

Systematisierungsversuch von Unterstützungsmaßnahmen

Die erste Dimension der Heuristik stellt die Systematisierung der Unterstützungsmaßnahmen dar, die 5 verschiedene Arten von Unterstützung unterscheidet. Die Systematisierung basiert auf der Metastudie von Lazonder und Harmsen (2016) und umfasst die folgenden Kategorien:

- *Einschränkungen*: Den Lernenden werden einzelne Schritte des Experimentierprozesses teilweise oder vollständig abgenommen. Dies kann z. B. durch die Vorgabe von Fragestellungen oder durch das Bereitstellen von Materialien geschehen, die den Fokus auf bestimmte Teilaspekte lenken. Dadurch werden die Anforderungen an die Kompetenzen der Lernenden in den eingeschränkten Schritten reduziert, z. B. weil keine Kenntnisse über Merkmale guter Fragenstellungen mehr erforderlich sind.
- *Erläuterungen und Anleitungen*: Lernende bekommen klare Kriterien, Regeln oder Strategien an die Hand, um sie in den einzelnen Schritten des Experimentierprozesses zu unterstützen. Beispielsweise könnten Lehrkräfte den Lernenden vor der Entwicklung einer Fragestellung Merkmale guter naturwissenschaftlicher Fragen oder Strategien für deren Formulierung erläutern.
- *Prompts*: Prompts erinnern die Lernenden an bereits bekannte Regeln, Strategien oder Kriterien, ohne diese erneut zu nennen oder zu erklären. Diese Erinnerungen können den Lernenden helfen, sich in komplexen Situationen besser zu orientieren, indem sie gezielt an das bereits Erlernte anknüpfen. Anders als Erläuterungen und Anleitungen beinhalten Prompts keine neuen Informationen für die Lernenden.
- *Feedback*: Hier erhalten die Lernenden gezieltes Feedback während einem Arbeitsprozess oder zu ihren Arbeitsergebnissen. Dies kann durch Kontrollmöglichkeiten wie Checklisten oder exemplarische Lösungen geschehen, die die Lernenden nutzen können, um z. B. ihre eigenen Fragen, Hypothesen oder Bearbeitungsssschritte zu überprüfen und zu überarbeiten.
- *Übersicht und Strukturierung*: Diese Maßnahmen zielen darauf ab, den Lernenden einen Überblick über die Bestandteile eines einzelnen Schritts des Experimentierprozesses oder den Experimentierprozess als Ganzes geben. Beispielsweise können Ablaufdiagramme oder strukturierte Arbeitspläne eingesetzt werden, um den Lernenden die systematische Planung eines Experiments zu erleichtern. Anders als Einschränkungen reduzieren Maßnahmen zur Übersicht und Strukturierung nicht die Menge oder den Umfang an Bearbeitungsschritten in einem Experimentierprozess.

Systematisierungsversuch von digitalen Tools

Die zweite Dimension der Heuristik konzentriert sich auf digitale Tools zur Umsetzung von Unterstützungsmaßnahmen. Ausgangspunkt für die Systematisierung ist die DikoLa-Toolbox (https://dikola.uni-halle.de/toolbox/), die insgesamt 13 Anwendungsszenarien für digitale Tools unterscheidet. Für die Fortbildung wurden daraus fünf Kategorien abgeleitet, die für die

Unterstützung von Lernenden beim experimentellen Arbeiten besonders anschlussfähig erscheinen:

- *Kollaboratives Arbeiten ermöglichen und unterstützen*: Diese Kategorie umfasst digitale Tools, um die Zusammenarbeit der Lernenden zu fördern. Hierzu gehören z. B. interaktive Whiteboards, Austauschplattformen oder Umfragetools, die es ermöglichen, gemeinsam an Projekten zu arbeiten, Ideen auszutauschen und sich gegenseitig zu unterstützen.
- *Arbeitsprozesse strukturieren*: Hierzu zählen digitale Tools, die den Lernenden helfen, ihren Arbeitsprozess besser zu organisieren. Beispielsweise können mit Hilfe von Kursmanagementsystemen oder Whiteboards Arbeitsprozesse strukturiert werden.
- *Inhalte präsentieren und visualisieren*: Um komplexe physikalische Sachverhalte anschaulich zu vermitteln, bieten sich digitale Tools wie Videos, Animationen und Simulationen an. Tools in dieser Kategorie helfen dabei, solche Medien zu erstellen und einzusetzen.
- *Arbeitsmaterial erstellen*: Tools dieser Kategorien unterstützen Lehrkräfte dabei, (digitale) Arbeitsmaterialien für den Unterricht zu erstellen. Dazu gehören z. B. Präsentationen oder digitale Hilfekarten, die den Lernenden bei der Bearbeitung ihrer Aufgaben Unterstützung bieten.
- *Diagnostik*: Tools dieser Kategorie unterstützen Lehrkräfte und/oder Lernende dabei, die (eigenen) Fähigkeiten und Kenntnisse (der Lernenden) einzuschätzen. Hierzu gehören z. B. Umfragetools, Aufgaben oder Quizze können, die den Lernfortschritt von Lernenden erfassen und automatisiertes Feedback bieten.

Es ist wichtig zu beachten, dass digitale Tools oft nicht eindeutig in eine Kategorie einzuordnen sind, da viele digitale Tools mehrere Funktionen erfüllen und bereitstellen können (z. B. Whiteboard zur Kollaboration, Strukturierung oder Präsentation von Inhalten). Wir möchten ebenfalls betonen, dass eine eindeutige Einordnung nicht das Ziel der vorgeschlagenen Heuristik ist. Vielmehr soll die Kombination der beiden Systematisierungen Lehrkräften eine Konzeptionsgrundlage bieten, um Unterrichtsideen zu entwickeln, die den spezifischen Unterstützungsbedarf der Lernenden berücksichtigen, und ihnen helfen, vielfältige Ideen für die Umsetzung unterschiedlicher Unterstützungsmaßnahmen zu generieren. Die Konzeptionsgrundlage dient als Inspiration, um fachmethodische Kompetenzen effektiv und modern zu fördern und digitale Möglichkeiten gezielt in den Unterricht zu integrieren.

Ausblick

Eine erste Pilotierung der Lehrerfortbildung wurde mit Studierenden der TU München durchgeführt (SS 2024), gefolgt von einer Evaluation durch Critical Friends aus der Physikdidaktik (Herbst 2024). Die Rückmeldungen und Ergebnisse aus dieser Phase dienen als Grundlage, um die Fortbildung zu überarbeiten und zu verbessern. In weiteren Schritten soll die optimierte Version mit Lehrkräften getestet werden. Neben dem Aufbau professioneller Kompetenzen von Lehrkräften soll die Fortbildung auch dazu dienen, zu untersuchen, wie Lehrkräfte fachmethodische Kompetenzen in ihrem Unterricht adressieren. Mit diesen Erkenntnissen soll die Fortbildung noch gezielter an die Bedürfnisse der Lehrkräfte angepasst werden.

Literatur

Alfieri, L., Brooks, P. J., Aldrich, N. J. & Tenenbaum, H. R. (2011). Does discovery-based instruction enhance learning? *Journal of Educational Psychology*, *103*(1), 1–18. https://doi.org/10.1037/a0021017

Dobber, M., Zwart, R., Tanis, M. & van Oers, B. (2017). Literature review: The role of the teacher in inquiry-based education. *Educational Research Review*, *22*, 194–214. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2017.09.002

Hofstein, A. & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, *88*(1), 28–54. https://doi.org/10.1002/sce.10106

Kirschner, P. A., Sweller, J. & Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, *41*(2), 75–86. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1

Kultusministerkonferenz. (2020). *Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife*. Carl Link. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Physik.pdf

Lazonder, A. & Harmsen, R. (2016). Meta-Analysis of Inquiry-Based Learning. *Review of Educational Research*, *86*(3), 681–718. https://doi.org/10.3102/0034654315627366

Minner, D. D., Levy, A. J. & Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction-what is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, *47*(4), 474–496. https://doi.org/10.1002/tea.20347

Sun, Y., Yan, Z. & Wu. Bian (2022). How differently designed guidance influences simulation-based inquiry learning in science education: A systematic review. *Journal of Computer Assisted Learning*, *38*(4), 960–976. https://doi.org/10.1111/jcal.12667

Vorholzer, A. (2015). *Wie lassen sich Kompetenzen des experimentellen Denkens und Arbeitens fördern? Eine empirische Untersuchung der Wirkung eines expliziten und impliziten Instruktionsansatzes*. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades.

Vorholzer, A. (2017). Lernaufgaben zu fachmethodischen Kompetenzen. *MNU Journal*, 83–89.

Vorholzer, A. & Aufschnaiter, C. von (2019). Guidance in inquiry-based instruction – an attempt to disentangle a manifold construct. *International Journal of Science Education*, *41*(11), 1562–1577. https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1616124

Vorholzer, A., Aufschnaiter, C. von & Boone, W. J. (2020). Fostering Upper Secondary Students' Ability to Engage in Practices of Scientific Investigation: a Comparative Analysis of an Explicit and an Implicit Instructional Approach. *Research in Science Education*, *50*(1), 333–359. https://doi.org/10.1007/s11165-018-9691-1

White, B. Y. & Frederiksen, J. R. (1998). Inquiry, Modeling, and Metacognition: Making Science Accessible to All Students. *Cognition and Instruction*, *16*(1), 3–118. https://doi.org/10.1207/s1532690xci1601_2

Lukas Mientus[1]
Tanja Mutschler[1]
Andreas Borowski[1]

[1]Universität Potsdam

Klimaprozesse modellieren – Digitalkompetenz fördern

Im BMBF geförderten Projekt DigiProMIN (Förderkennzeichen: 01JA23M05A) werden im Cluster Physik Fortbildungen zu digitalisierungsbezogenen Kompetenzen angeboten. Im vorliegenden Fortbildungskonzept wird neben der Digitalisierung die Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) als Unterrichtskontext adressiert. Modellbildung nimmt hierbei einen zentralen Stellenwert ein, da komplexe Systeme der Klimaphysik mittels digitaler Bildschirmanwendungen modelliert werden können. Ziel der Fortbildung ist, dass Lehrkräfte Modelle zur Erklärung von Klimaprozessen digitalgestützt im Unterricht nutzen können, sowie ihre digitalisierungsbezogenen Kompetenzen im Kontext BNE reflektieren können. Inwieweit Digitalkompetenz und Sachkompetenz im individuellen Unterrichtskontext vernetzt werden, bleibt oft diffus und soll daher als Begleitstudie untersucht werden.

BNE digitalkompetent unterrichten

BNE wird wiederkehrend für eine zukunftsorientierte Bildung gefordert (Deutsche UNESCO-Kommission, 2014; KMK, 2017). Lernende sollen entsprechend zu zukunftsfähigem Denken und Handeln befähigt werden (de Haan et al., 2008). Ein Ansatz des forschend entdeckenden Lernens bzw. des Inquiry Based Learning (Engage, Explore, Explain, Elaborate, Evaluate; nach Bybee et al., 2006) kann sich hierbei als lernwirksames Scaffolding im Prozess der Erkenntnisgewinnung erweisen (Hofer, 2020). Im Rahmen des Projektes KLIMAWANDEL – VERSTEHEN UND HANDELN wurde seit 2021 der LMU-Klimakoffer (weiter-)entwickelt. Dieser bietet eine Vielzahl von hands-on Experimenten (genannt Aktivitäten), welche ausgewählte Zusammenhänge der Klimaphysik modellieren. Hierzu ist das Identifizieren von relevanten Elementen und deren Zusammenhängen sowie das Rückführen dieser auf physikalische Größen und Gesetzmäßigkeiten zur zielgerichteten und angemessenen Beschreibung und Erklärung essenziell (Neumann et al., 2011). Im Zuge der Digitalisierung der Schulen kann es wertvoll sein, die Aktivitäten des Klimakoffers mittels Digitaler Bildschirmanwendungen (DBA) abermals zu modellieren. DBAs bieten hierbei das Potential naturwissenschaftliches Lernen zu unterstützen (Stieff, 2019; Develaki, 2019) und stellen eine fachspezifische Methode der Erkenntnisgewinnung dar (Wieman et al., 2010; Rutten et al., 2012).
Im Fortbildungsmodul wird die Unterrichtspraxis mit dem Klimakoffer um DBAs ergänzt, um zur kontextspezifischen Verknüpfung von Sachkompetenz und Digitalkompetenz anzuregen. Diese gibt Aufschluss über das Technologiespezifische Professionswissen (Technological Pedagogical Content Knowledge – TPACK) einer Lehrkraft (Mishra & Koehler, 2006; Mishra, 2019). Zur Erhebung von TPACK haben sich Technological Content Representations (T-CoRes) als nützliches Tool erwiesen (Nilsson, 2022), die eine Adaption der CoRes nach Loughran et al. (2006) darstellen. CoRes sind tabellarische Repräsentationsformen kontextspezifischen Professionswissens (siehe Tab. 1). Die Methode leitet zur Elementarisierung eines Lerngegenstandes an und unterstützt eine zugehörige fachdidaktische Auseinandersetzung (Hume & Berry, 2011; Hume, 2010; Bertram & Loughran, 2011).

Leitfragen ↴ | Big Ideas →	*Idea 1*	*Idea 2*	...
Was sollen die Schüler:innen wissen / können?			
Warum ist es wichtig, dass Schüler:innen genau das lernen?			
Was gibt es darüber hinaus inhaltlich noch zu wissen?			
Welche Vorgaben werden im Rahmenlehrplan/ Schulinternen Curriculum gemacht?			
Welche Präkonzepte können zu dieser Kernidee bestehen?			
Welche lerngruppenspezifischen Faktoren beeinflussen Ihren Umgang mit dieser Kernidee im Unterricht?			
Welche digitalen Lehrmethoden sollten Sie verwenden und warum?			
Welche Chancen und Herausforderungen sehen Sie in der Nutzung dieser Methoden?			
Wie kann überprüft werden, was Schüler:innen verstanden haben / anwenden können und wo Feedback nötig ist?			

Tab. 1: Übersetzung einer T-CoRe nach Nilsson (2022)

Struktur der Fortbildung

Die für das Schuljahr 2024|25 geplante Fortbildung ist als vierteilige asynchrone Präsenzfortbildung geplant. Im Flächenland Brandenburg sollen sich Lehrkräfte regional zusammenschließen und als Gruppe zur Fortbildung anmelden. In einer ersten materialgestützten Selbstlerneinheit machen sich die Lehrkräfte mit dem Klimakoffer und dem zugehörigen Projekt vertraut und entwickeln ihre Sachkompetenz im Bereich Klimaphysik und Modellbildung. Ein erstes Präsenzmeeting wird individuell vereinbart und findet regional statt. Vor Ort erhalten die Lehrkräfte einen Input zum Inquiry Based Learning sowie zur Modellierung der Aktivitäten des Klimakoffers unter Verwendung geeigneter DBAs. Für eine Praxisphase von voraussichtlich drei Monaten kann jede Lehrkraft einen Klimakoffer ausleihen und soll dessen digitalgestützten Einsatz im eigenen Unterricht mittels einer T-CoRe und eines Reflexionstextes dokumentieren. Ein zweites Präsenzmeeting dient der kollektiven Reflexion sowie der Rückgabe der Klimakoffer. Abbildung 1 zeigt einen schematischen Ablauf des Fortbildungsmoduls für eine Gruppe. Die Begleitung von bis zu vier parallelen Fortbildungen kann im Förderzeitraum geleistet werden.

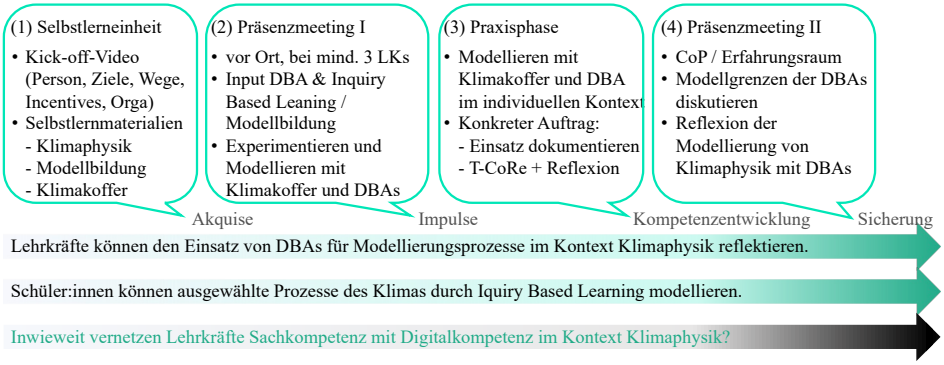


Abb. 1: Grundstruktur des Fortbildungsangebotes, Ziele und Forschungsleitfrage

Begleitforschung

Um der Leitfragen nachzugehen, inwieweit Lehrkräfte im Kontext Klimaphysik Sachkompetenz und Digitalkompetenz im eigenen Unterricht vernetzen, werden Lehrkräfte gebeten, T-CoRes vor der eigenen Unterrichtspraxis, sowie einen schriftlichen Reflexionstext nach der Unterrichtspraxis zu erstellen. T-CoRes können Lehrkräfte unterstützen, sich ihrer Digitalkompetenz bewusst zu werden (Nilsson & Loughran, 2012) und können somit für den Einsatz der DBAs im Umgang mit dem Klimakoffer hilfreich sein. Eine eigens eingerichtete online-Infrastruktur ist auch für andere Projekte open-Access unter *core.didaktik.physik.uni-potsdam.de* verfügbar. Alle Daten werden unter Verwendung eines Pseudonyms erhoben, gespeichert und analysiert.

Pilotierung und Perspektiven

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt wurden die Selbstlerneinheit sowie das Präsenzmeeting I mit dem Fokus auf der Verwendung einer Modellbildungssoftware mit $N = 9$ Lehramtsstudierenden verschiedener naturwissenschaftlicher Fachrichtungen im Praxissemester pilotiert. In halbstrukturierten Gruppeninterviews wurde die Verwendung der Modellbildungssoftware selbst als unnötig bewertet und daher für die reguläre Fortbildung aus dem Programm genommen. Stattdessen wurden die Erprobung der Aktivitäten des Klimakoffers im Sinne der Modellierung komplexer Phänomene der Klimaphysik, sowie die Modellbildung durch den Einsatz von DBAs als wertvoll bewertet. Weiter wurde zurückgemeldet, dass für einzelne Aktivitäten des Klimakoffers zusätzliches Vor- bzw. Hintergrundwissen als zentral bewertet wurde und der Hands-on-Charakter der Aktivitäten als Minds-off-Charakter bewertet wurde. Eine teils mangelhafte Zielklarheit in den Aktivitäten sowie eine fehlende Risikoschutzbewertung beispielsweise als Handreichung für Lehrkräfte schließen die Bewertungen der angehenden Lehrkräfte ab. Der Einsatz von DBAs kann hierbei Abhilfe schaffen indem beispielsweise instruktionale Anweisungen im Sinne des Inquiry Based Learning in die Anwendungen implementiert werden. Da unter *klimawandel-schule.de* nicht zu allen Anwendungen des Klimakoffers digitale Materialien zur Verfügung stehen und um den Ergebnissen der Pilotierung und dem Wunsch nach einer expliziteren Fokussierung der Fortbildung auf die doppelte Modellierung gerecht zu werden, werden derzeit im Projekt modellierende DBAs auf die Aktivitäten des Klimakoffers entwickelt und erprobt.

Für die geplante Begleiterhebung wurde die genannte online-Infrastruktur bereits im Wintersemester 2023|24 erfolgreich erprobt. $N = 12$ Physik-Lehramtsstudierende erstellten dreimalig je eine CoRe und eine schriftliche Reflexion zur eigenen Unterrichtspraxis. Die Ergebnisse dieser Erprobung zeigten einen Mehrwert für die Elementarisierung von Fachinhalten sowie die Vernetzung von Professionswissensfacetten. Auf Basis der Studierendenerfahrungen wurde die online-Infrastruktur weiterentwickelt und in den Kompetenzrahmen DiKoLAN^{KI} integriert (Mientus & Borowski, 2024). Erste Ergebnisse der Haupterhebung sind im Sommer 2025 zu erwarten.

Literatur

Bertram, A. & Loughran, J. (2012). Science Teachers' Views on CoRes and PaP-eRs as a Framework for Articulating and Developing Pedagogical Content Knowledge. *Research in Science Education*, 42, 1027–1047. https://doi.org/10.1007/s11165-011-9227-4

Bybee, R., Taylor, J., Gardner, A., Scotter, P., Carlson, J., Westbrook, A. Landes, N. (2006). *The BSCS 5E Instructional Model: Origins, Effectiveness, and Applications*. Colorado Springs: BSCS

de Haan, G. et al. (Hrsg.) (2008): Nachhaltigkeit und Gerechtigkeit. Grundlagen und schulpraktische Konsequenzen. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-85492-0

Deutsche UNESCO-Kommission (2014). *UNESCO-Roadmap zur Umsetzung des Weltaktionsprogramms „Bildung für nachhaltige Entwicklung“*. Bonn: DUK.

Develaki, M. (2019) Methodology and epistemology of computer simulations and implications for science education. *Journal of Science Education and Technology*, 28. https://doi.org/10.1007/s10956-019-09772-0

Hume, A. (2010). CoRes as tool for promoting pedagogical content knowledge of novice science teachers. *Chemistry Education in New Zeeland*, 119, 13–19.

Hume, A. & Berry, A. (2011). Constructing CoRes—A strategy for building PCK in pre-service science teacher education. *Research in Science Education*, 41 (3), 341–355. https://doi.org/10.1007/s11165-010-9168-3

KMK – Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2017). *Zur Situation und zu Perspektiver der Bildung für nachhaltige Entwicklung: Bericht der Kultusministerkonferenz vom 17.03.2017*. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2017/2017_03_17-Bericht-BNE-2017.pdf

Loughran, J., Berry, A. & Mulhall, P. (2006). *Understanding and developing science teachers' pedagogical content knowledge*. Rotterdam. Sense Publishers.

Mientus, L. & Borowski, A. (2024). KI und co bewusst einplanen – KI-CoRes als unterstützendes Tool zur Unterrichtsvorbereitung. In J. Huwer, S. Becker-Genschow, C. Thyssen, Lars-Jochen Thoms, L. v. Kotzebue, A. Finger, E. Kremser, M. Meier, & T. Bruckermann (Hrsg.), Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz. Perspektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften (S. 4–59). Waxmann.

Mishra, P. (2019). Considering contextual knowledge: The TPACK diagram gets an upgrade. Journal of Digital Learning in Teacher Education, 35 (2), 76-78. https://doi.org/10.1080/21532974.2019.1588611

Mishra, P. & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. Teachers College Record, 108 (6), 1017-1054. https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x

Neumann, I., Heinze, A., Ufer, S., & Neumann, K. (2011). Modellieren aus mathematischer und physikalischer Perspektive. Beiträge zum Mathematikunterricht, 603–606.

Nilsson, P. (2022). From PCK to TPACK – Supporting student teachers' reflections and use of digital technologies in science teaching. *Research in Science & Technological Education*. https://doi.org/10.1080/02635143.2022.2131759

Nilsson, P. & Loughran, J. (2012). Exploring the development of pre-service science elementary teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of Science Teacher Education*, 23 (7), 699–721. https://doi.org/10.1007/s10972-011-9239-y

Rutten, N., Van Joolingen, W. R., & Van Der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers and Education*, 58(1), 136–153. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017

Stieff, M. (2019). Improving Learning Outcomes in Secondary Chemistry with Visualization-Supported Inquiry Activities. *Journal of Chemical Education*, 96 (7), 1300–1307. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00205

Wieman, C. E., Adams, W. K., Loeblein, P. & Perkins, K. K. (2010). Teaching physics using PhET simulations. *The Physics Teacher*, 48(4), 225–227. PhET, University of Colorado. https://phet.colorado.edu/publications/Teaching_physics_using_PhET_TPT.pdf

Lea Runge[1] [1]IPN Kiel
Markus S. Feser[1]
Knut Neumann[1]

Digitale Messwerterfassung im Physikunterricht planen und durchführen

Experimente sind ein zentraler Bestandteil der Erkenntnisgewinnung, sowohl in der physikalischen Forschung als auch im Physikunterricht. In der physikalischen Forschung erfolgt die Messwerterfassung dabei inzwischen nahezu ausschließlich digital gestützt (Girwidz, 2020; Hopf et al., 2022; Muckenfuß, 1995). Um im Physikunterricht ein adäquates Bild aktueller naturwissenschaftlicher Forschung zu vermitteln, sollte auch hier digitale Messwerterfassung (kurz DME) eingesetzt werden (KMK, 2024; Wilhelm, 2023). Im Sinne einer Wissenschaftspropädeutik ist die Vermittlung entsprechender Kompetenzen sogar unabdingbar (KMK, 2016, 2024). Nicht zuletzt werden durch den Einsatz von DME die experimentellen Möglichkeiten im Physikunterricht erweitert (Hopf et al., 2022): So können Phänomene untersucht werden, die für das menschliche Auge nicht sichtbar sind, (z. B. die Veränderung des Luftdrucks mit der Höhe), für die Untersuchung in einer Physikstunde zu schnell (z. B. der freie Fall eines Gegenstandes) oder zu langsam (z. B. die Veränderung der Helligkeit während eines Tag-Nacht-Zyklus) ablaufen. Der Einsatz von DME kann außerdem die Motivation und das Interesse sowie das Autonomieerleben der Schüler:innen fördern (Kuhn & Vogt, 2019).

Der Einsatz von DME im Physikunterricht

Seit den 1980er Jahren existieren Möglichkeiten, Experimente im Physikunterricht mit DME zu stützen (Wilhelm, 2023). Bis heute kann allerdings kein flächendeckender und lernwirksamer Einzug in den Physikunterricht beobachtet werden (Kremer, 2015). Wenn überhaupt wird DME durch Lehrkräfte im Rahmen von Demonstrationsexperimenten genutzt, weniger jedoch von Schüler:innen selbst (Nerdel & Kotzebue, 2020; Wilhelm & Trefzger, 2010). Da auch der Einsatz von Mikrocontrollern, wie z. B. Arduinos, die in ihrer Anschaffung deutlich günstiger als die kommerziellen Messwerterfassungssysteme sind, noch eine neuere Entwicklung ist (Walkowiak et al., 2018), können hohe Anschaffungskosten nicht der einzige Grund sein, der Lehrkräfte vom Einsatz von DME in ihrem Physikunterricht abhält.
Daher liegt die Vermutung nahe, dass eine entsprechende Professionalisierung von Lehrkräften in Aus- und Fortbildungsmaßnahmen bislang nicht hinreichend stattfindet. Um dem entgegenzuwirken, wird im Projektverbund DigiProMIN (für Details siehe Lenzer & Feser, in diesem Band) eine mehrteilige Lehrkräftefortbildung entwickelt. Diese soll die teilnehmenden Lehrkräfte mit DME vertraut machen und sie dazu befähigen, diese in ihren Physikunterricht zu integrieren. Ein zentrales Design-Prinzip dieser und auch der weiteren für das Fach Physik entwickelten Fortbildungen im Projektverbund DigiProMIN ist das forschend-entdeckende Lernen nach Krajcik und Kolleg:innen (Krajcik & Czernaik, 2018; siehe dazu auch Neumann et al., in diesem Band). Das Planen und Durchführen von Untersuchungen – ein zentraler Bestandteil des forschend-entdeckenden Lernens nach Krajcik und Kolleg:innen – steht dabei in der im vorliegenden Beitrag vorgestellten Fortbildungen im Fokus.

Ein Fortbildungsmodul zum Einsatz von DME im Physikunterricht

Design. Ziel des Fortbildungsmoduls ist es, den teilnehmenden Lehrkräften Fähigkeiten und Fertigkeiten zu vermitteln, die es ihnen ermöglichen (a) DME in Physikunterricht selbst einsetzen zu können, (b) Schulexperimente hinsichtlich ihrer Eignung für den Einsatz von DME bewerten zu können, und (c) den strukturierten Einsatz von DME in ihrem eigenen Unterricht planen und durchführen zu können. Das entwickelte Fortbildungsmodul besteht aus einer Kombination von Präsenz-, Selbstlern- und Praxisphasen, deren Abfolge in Abb. 1 dargestellt ist. Insgesamt umfasst das Fortbildungsmodul drei Präsenztermine und zwei jeweils vier Wochen andauernde asynchrone Phasen. Während des gesamten Moduls arbeiten die Lehrkräfte mit der Plattform Moodle als digitales Arbeitsbuch, in dem alle Materialien der Fortbildung auch für den späteren Gebrauch hinterlegt sind.

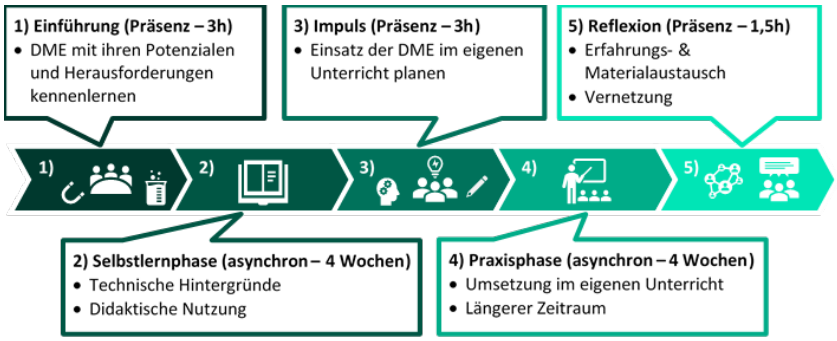


Abb. 1. Design der entwickelten Fortbildung.

Zunächst kommen die Lehrkräfte in einer 1) Einführungssitzung zusammen. In dieser lernen sie das im Fortbildungsmodul verwendete System zur DME – den Laborino (Block & Schulze, 2024) – kennen und probieren dieses selbstständig aus. Außerdem diskutieren sie Potenziale und Herausforderungen der DME. In der anschließenden 2) Selbstlernphase (realisiert im Moodle-Kurs) setzen sich die teilnehmenden Lehrkräfte selbstständig und nach ihrem eigenen Ermessen mit den technischen Grundlagen der DME sowie der Funktionsweise verschiedener Sensoren auseinander. Außerdem erhalten sie z. B. mit Strukturierungshilfen für Experimente Informationen dazu, wie sie die DME aus didaktischer Perspektive gewinnbringend in ihren Physikunterricht integrieren können. Ziel dieser Selbstlerneinheit ist es, dass sich die Lehrkräfte nach ihrem Ermessen mit den technischen sowie didaktischen Inhalten auseinandersetzen können, um so möglichst alle Lehrkräfte auf den gleichen Stand für die nächste Präsenzsitzung zu bringen. Ausgehend von einem Impuls – einem konkreten Experiment aus der Mechanik – wird in der 3) Impulssitzung der Einsatz von DME im (eigenen) Physikunterricht gemeinsam anhand eines konkreten Beispiels geplant. Die Lehrkräfte können für diese Sitzung auch eine eigene Unterrichtseinheit mitbringen, in die sie gerne DME integrieren möchten. Dabei haben sie auch die Möglichkeit sich untereinander auszutauschen und sich gegenseitig Feedback für ihre Unterrichtsplanungen zu geben. Mit der anschließenden 4) Praxisphase haben die Lehrkräfte über einen Zeitraum von vier Wochen die Gelegenheit, den Einsatz von DME auf Grundlage der in den vorherigen Sitzungen erworbenen Kenntnisse in ihrem eigenen Physikunterricht zu erproben. Dieser längere Zeitraum soll sicherstellen, dass die Lehrkräfte viele Gelegenheiten haben, DME in ihrem eigenen Physikunterricht einzusetzen. Den Abschluss der Fortbildung bildet eine 5) Reflexionssitzung, in der die Lehrkräfte ein letztes Mal in Präsenz zusammenkommen und

über ihre Praxiserfahrungen mit dem Einsatz von DME diskutieren. Der Fokus liegt dabei auf dem Austausch von Erfahrungen und Material sowie auf einer (stärkeren) Vernetzung der Lehrkräfte untereinander und der Initiierung von sog. Communities of Practice (Wenger, 1999). Damit soll ein Rahmen geschaffen werden, in dem die Lehrkräfte auch über die Fortbildung hinaus zusammenarbeiten und sich gegenseitig beim Einsatz von DME im Physikunterricht unterstützen können.

Pilotierung und Evaluation.
Die Phasen 1) bis 3) der entwickelten Fortbildung wurden im Sommersemester 2024 mit Lehramtsstudierenden im Master der CAU Kiel pilotiert. Neben online Feedback-Tools im verwendeten Moodle-Kurs konnten die Studierenden auch freiwillig an einem Interview zur Evaluation des Fortbildungspiloten teilnehmen. In der Evaluation zeigten sich die Teilnehmenden auf der einen Seite begeistert gegenüber dem eingesetzten System zur DME (dem Laborino), auf der anderen Seite wurde der Wunsch nach weiteren konkreten Einsatzbeispielen für den Physikunterricht formuliert. Abb. 2 zeigt entsprechende Feedback-äußerung der Studierenden zum Fortbildungspiloten.

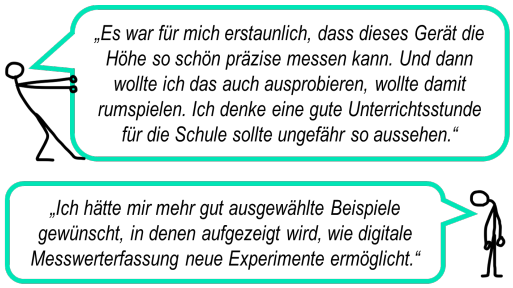


Abb. 2. Exemplarische Eindrücke von Studierenden zur ersten Version des Moduls.

Ausblick
Weiterentwicklung der Fortbildung. Im Anschluss an eine Überarbeitungsschleife wird die Fortbildung im Herbst 2024 für Lehrkräfte angeboten. Weitere Durchführungszyklen sind in Planung. Die langfristige Nutzung der Fortbildung soll über das Einspielen in das bundesweite System „ComPleTT“ sichergestellt werden.

Begleitende Forschung. Im Rahmen der oben erwähnten Interviews zur Evaluation des Fortbildungspiloten wurden die Studierenden außerdem zu ihren Vorstellungen und Orientierungen hinsichtlich des Einsatzes von DME befragt. Damit der Einsatz von DME aus verschiedenen Perspektiven betrachtet werden kann, unterteilte sich das Interview in mehrere Blöcke. Zur Annäherung an die Forschungsfrage, welche Absichten (angehende) Physiklehrkräfte in Bezug auf den Einsatz von DME haben und wie diese im Rahmen einer Fortbildung bestärkt werden (können), wurden die Studierenden zu ihren Handlungsintentionen im Sinne der Theory of Planned Behavior (Ajzen, 1991) hinsichtlich des Einsatzes von DME befragt. Zwei weitere Blöcke des Interviews befassten sich mit der Ressourcen-Nutzung zur Implementation fachdidaktischer Innovationen im Physikunterricht (Hott et al., under review) sowie der professionellen Identität (Feser & Haak, 2023) der angehenden Physiklehrkräfte.

Literatur

Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. Organizational Behavior and Human Decision Processes, 50(2), 179–211. https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T

Block, D. & Schulze, C. (2024, 24. Oktober). *Laborino – dein Labor für die Hosentasche.* Laborino. https://uksph-v-la035.physik.uni-kiel.de/autogenerated-96/

Feser, M. S. & Haak, I. (2023). Key features of teacher identity: a systematic meta-review study with special focus on teachers of science or science-related subjects. Studies in Science Education, 59(2), 287–320. https://doi.org/10.1080/03057267.2022.2108644

Girwidz, R. (2020). Experimente im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & H. E. Fischer (Hrsg.), Physikdidaktik | Grundlagen (S. 263–291). Springer Berlin Heidelberg.

Hott, J.; Sorge, S.; Breuer, J.; Neumann, K. (under review) Die Förderung persönlicher, materialer und sozialer Ressourcen für die Implementation komplexer Innovationen im naturwissenschaftlichen Unterricht [Arbeitstitel].

Hopf, M., Schecker, H., Höttecke, D., Wiesner, H. (Hrsg.) (2022). Physikdidaktik kompakt. 1. Vollständig neu bearbeitete Auflage.

Krajcik, J. S., & Czerniak, C. L. (2018). *Teaching science in elementary and middle school: A project-based learning approach*. Routledge.

Kremer, M. (2015). Innovativer naturwissenschaftlicher Unterricht mit digitalen Werkzeugen: Experimente mit Messwerterfassung in den Fächern Biologie, Chemie, Physik. MNU Themenreihe Bildungsstandards.

Kuhn, J. & Vogt, P. (2019). Physik ganz smart: Die Gesetze der Welt mit dem Smartphone entdecken. Lehrbuch. Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-59266-3

Lenzer, S., & Feser, M. S. (in diesem Band). PSY3: Lehrkräfteprofessionalisierung im Projektverbund DigiProMIN. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung 2024*. Universität Duisburg-Essen

Muckenfuß, H. (1995). Lernen im sinnstiftenden Kontext: Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts. Zugl.: Kurzfassung von: Weingarten, Pädag. Hochsch., Diss., 1995 (1. Aufl.). Cornelsen.

Nerdel, C. & Kotzebue, L. von (2020). Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht. Aufgaben für die Lehrerbildung. Zeitschrift für Pädagogik, 66, 159–173. https://doi.org/10.25656/01:25789 (Zeitschrift für Pädagogik 66 (2020) 2, S. 159-173).

Neumann, K., Feser, M. S., Vorholzer, A. (in diesem Band). Digital gestützte Individualisierung bei forschend-entdeckendem Lernen. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung 2024*. Universität Duisburg-Essen

Sekretariat der Ständigen Kultusministerkonferenz der Länder der Bundesrepublik Deutschland (KMK). (2016). Bildung in der digitalen Welt. Strategie der Kultusministerkonferenz.

Sekretariat der Ständigen Kultusministerkonferenz der Länder der Bundesrepublik Deutschland (KMK). (2024). Weiterentwickelte Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Physik (MSA).

Walkowiak, M., Schneeweiß, N., Nehring, A. & Schanze, S. (2018). Potenziale von Messwerterfassungssystemen im Chemieunterricht. In B. Barzel & G. Heckmann (Vorsitz), *Sensorgestütztes Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht.* Symposium im Rahmen der Tagung von Deutscher Verein zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts e.V.; T3-Fortbildungsnetzwerk, München und Essen.

Wenger, E. (1998). Communities of Practice: Learning, Meaning, and Identity. Cambridge: Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511803932

Wilhelm, T. (Hrsg.). (2023). Digital Physik unterrichten: Grundlagen, Impulse und Perspektiven (1. Auflage 2023). Klett Kallmeyer. https://elibrary.utb.de/doi/book/10.5555/9783772717017

Wilhelm, T. & Trefzger, T. (2010). Erhebung zum Computereinsatz bei Physik-Gymnasiallehrern. PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung.

Karel Kok[1]
Christoph Maut[1]
Burkhard Priemer[1]

[1]Humboldt-Universität zu Berlin

Eine Lehrkräftefortbildung zum Thema Messunsicherheiten

Messunsicherheiten sind ein wichtiger Teil jedes Messergebnisses. Es ist jedoch ein Thema, mit dem viele Schüler*innen konzeptuelle Schwierigkeiten haben (Hull et al., 2020). Gleichzeitig ist es aber auch ein Thema, das im Unterricht häufig vernachlässigt wird (Möhrke, 2020; Priemer & Hellwig, 2018). Leider gibt es bisher wenig Unterrichtsmaterial für Schüler*innen (Kardaş, 2023; Kok, 2022; Priemer & Hellwig, 2018) oder unterstützendes Material für Lehrkräfte. Dem steht gegenüber, dass das Thema in den Bildungsstandards für die Sekundarstufe I und II verankert ist (Kultusministerkonferenz, 2024, 2020). Um Lehrkräfte zu unterstützen, wird im Rahmen des Projekts DigiProMIN (vgl. Lenzer & Feser, in diesem Band) eine Lehrerfortbildung zum Thema Messunsicherheiten entwickelt. Diese soll sowohl fachliche und fachdidaktische Inhalte vermitteln als auch Unterstützung bei der Umsetzung einer Unterrichtseinheit bieten. Dieser Beitrag beschreibt die Inhalte und den Ablauf der Fortbildung und skizziert die geplante Begleitforschung.

Verlauf der Fortbildung

Ziel der Fortbildung ist es, den Lehrkräften das fachinhaltliche und fachdidaktische Wissen zum Thema Messunsicherheit zu vermitteln und sie bei der Einbindung in den Unterricht zu unterstützen. Abbildung 1 zeigt den geplanten Ablauf der Fortbildung.

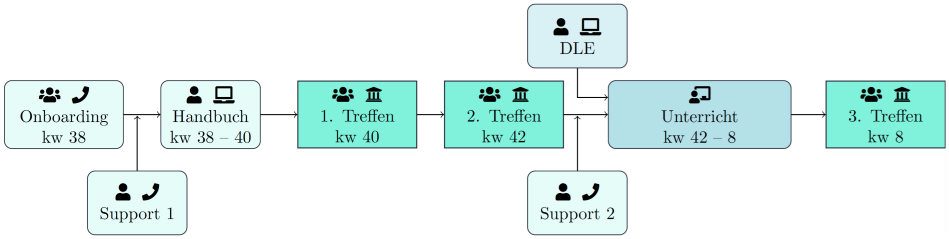


Abb. 1. Schematischer Verlauf der Fortbildung

Die Fortbildung beginnt mit einer digitalen Onboarding-Veranstaltung (ca. 30 Minuten), in der die Lehrkräfte über den Ablauf der Fortbildung informiert werden.
In den darauffolgenden Wochen finden die ersten persönlichen Supportgespräche statt (ca. 30 Min.). Diese haben zum Ziel, die Lehrkräfte individuell zu unterstützen und auch Interviewdaten für die Begleitstudie zu gewinnen. Im ersten Gespräch werden die Lehrkräfte zu ihren Erwartungen an die Fortbildung befragt und um Rückmeldung zu der Frage gebeten, welche Rolle Messunsicherheiten derzeit in ihrem Unterricht spielen. Außerdem sollen die Lehrkräfte eine Datenvergleichsaufgabe lösen und eine Videovignette bearbeiten.
Als unterstützendes Selbstlernmaterial wurde ein digitales Handbuch für Lehrkräfte entwickelt[1]. Dieses Handbuch beschreibt alle fachlichen Inhalte aus dem Sachstrukturmodell Messunsicherheit für die Sekundarstufe (Hellwig, 2012; Priemer & Hellwig, 2018). Ergänzt

[1] https://lernen.physik.hu-berlin.de/Handbuch_MU

werden diese Inhalte durch fachdidaktische Hinweise, Alltagsvorstellungen, didaktische Reduktionen, Diskussionsanlässe und fertige Unterrichtsmaterialien, die bei der Gestaltung des eigenen Unterrichts unterstützen können. Speziell gekennzeichnet sind die Inhalte, die das Hintergrundwissen der digitalen Lerneinheit (DLE)[2] für die Schüler*innen beschreiben. Diese Lernumgebung ist bereits erfolgreich mit Schüler*innen der 8. bis 11. Klassenstufe evaluiert (vgl. Kok, 2022). Diese DLE kann direkt im Unterricht eingesetzt werden, z. B. im Flipped-Classroom Format. Damit steht den Lehrkräften sowohl ein Nachschlagewerk als auch eine fertige Unterrichtseinheit in Form der DLE zur Verfügung.
Das erste Treffen ist ein Präsenztreffen (3 Stunden). Hier werden mögliche Fragen zum Handbuch besprochen. Danach wird ein Experiment mit einem Fadenpendel durchgeführt. Damit wird den Lehrkräften ein Beispiel für ein Experiment gezeigt, bei dem Messunsicherheiten eine entscheidende Rolle spielen.
Das zweite Treffen ist eine Art Workshop (3 Stunden). Hier arbeiten die Lehrkräfte an der Planung einer eigenen Unterrichtsstunde, in der Messunsicherheiten thematisiert werden.
Bevor die Lehrkräfte ihren Unterrichtsentwurf umsetzen, wird ein zweites persönliches Unterstützungsgespräch angeboten. Hier können die Lehrkräfte Fragen stellen und ihren Entwurf diskutieren. Außerdem wird eine weitere Videovignette bearbeitet.
Das dritte und letzte Treffen dient der Reflexion des durchgeführten Unterrichts (3 Stunden). Es wird ferner eine dritte Videovignette bearbeitet.

Begleitstudie
Ziel der Begleitstudie ist es herauszufinden, welchen Bedeutung Lehrkräfte dem Thema Messunsicherheiten im Unterricht zuschreiben und welche fachlichen und fachdidaktischen Kenntnisse zu hierzu haben. Folgende Forschungsdaten sollen erhoben werden:
- ein Eingangsinterview (1. Supportgespräch, siehe Abb. 1);
- mündliche Beschreibungen von Handlungsstrategien anhand einer Videovignette (beiden Supportgesprächen und das 3. Treffen);
- die Lösungen einer Datenvergleichsaufgabe (1. Treffen);
- die Aufzeichnungen der Auswertung des Fadenpendelversuchs (1. Treffen);
- die Materialien des geplanten Unterrichts sowie die Protokollierung der Reflexion der Durchführung (3. Treffen).

Im Eingangsinterview werden die Lehrkräfte nach ihren persönlichen Zielen für diese Fortbildung, ihrer wahrgenommenen Relevanz von Messunsicherheiten, ihrer Definition von Messunsicherheiten und ihren Handlungsroutinen gefragt. Dies gibt einen Einblick in die Ausgangssituation der Lehrkräfte.
Die Aufgabe der Videovignette zielt darauf ab, Handlungsstrategien von Lehrkräften zu identifizieren (ähnlich zu Holz & Heinicke, 2020). In dieser Vignette ist eine Unterrichtssituation im Rahmen eines Experiments zu sehen, in der eine Lehrkraft mit Aussagen und Alltagsvorstellungen zu Messunsicherheiten von Schüler*innen konfrontiert wird. Anschließend wird die Lehrkraft gefragt, wie sie an dieser Stelle den Unterricht weiterführen würde (vgl. Maut et al., in diesem Band). Es werden drei verschiedene Videovignetten zu drei verschiedenen Zeitpunkten der Fortbildung gezeigt, wodurch die Entwicklung dieser Handlungsstrategien im Verlauf der Fortbildung sichtbar wird.

[2] https://lernen.physik.hu-berlin.de/Messunsicherheiten

In der Datenvergleichsaufgabe (ähnlich zu Kok und Priemer, 2023) werden den Lehrkräften ein Experiment und die dazugehörigen Daten gezeigt. Die Lehrkräfte werden dann gebeten, eine Schlussfolgerung aus den Daten zu ziehen. Die Antworten geben einen Einblick in das konzeptuelle Verständnis der Lehrkräfte bezüglich von Messunsicherheiten.
Die Auswertung des Arbeitsblattes zum Fadenpendel-Experiment bietet weitere Einblicke in dieses Verständnis. Hier experimentieren die Lehrkräfte selbst an einem Schulversuch zum Fadenpendel und untersuchen den Einfluss von Masse, Länge und Auslenkwinkel auf die Periodendauer, tauschen Daten aus[3], analysieren Daten und ziehen Schlussfolgerungen.
Durch die Planung und Durchführung einer eigenen Unterrichtsstunde sollen die Lehrkräfte selbst üben, Messunsicherheiten im Unterricht zu adressieren. Reflexionsgespräche beim 3. Treffen geben einen Überblick, inwieweit die Lehrkräfte das Thema im Unterricht umsetzen konnten.

Durchführung
Diese Fortbildung hat im Sept. 2024 mit 9 Lehrkräften begonnen und wird voraussichtlich im März 2025 abgeschlossen sein.

Fazit
Die Fortbildung und die Begleitforschung möchte dazu beitragen, Lehrkräfte dabei zu unterstützen, das Thema Messunsicherheiten im Physikunterricht zu behandeln. Hierzu ist es notwendig, zum einen Fachwissen und zum anderen theoretisch-konzeptionelles und auch praxisbezogenes fachdidaktisches Wissen zu erwerben. Insbesondere zu letzterem liegen bislang wenig Forschungsergebnisse vor.

[3] https://lernen.physik.hu-berlin.de/daten_teilen

Literatur

Hellwig, J. (2012). *Messunsicherheiten verstehen: Entwicklung eines normativen Sachstrukturmodells am Beispiel des Unterrichtsfaches Physik.* Dissertation Thesis, Ruhr-Universität.

Holz, C., & Heinicke, S. (2020). Tipps für Lehrkräfte. *Unterricht Physik*, *31*(177/178), 39–43.

Hull, M. M., Jansky, A., & Hopf, M. (2020). Probability-related naïve ideas across physics topics. *Studies in Science Education*, *57*(1), 45–83. https://doi.org/10.1080/03057267.2020.1757244

Kardaş, E. (2023). *Der Einfluss von Datenkompetenz auf das Argumentieren beim Experimentieren: Entwicklung und Evaluation von Lernapps zur Förderung von Datenkompetenz.* Dissertation, PH Karlsruhe.

Kok, K. (2022). *Certain about uncertainty—What students need to know about measurement uncertainties to compare data sets.* Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin. https://doi.org/10.18452/24782

Kok, K., & Priemer, B. (2023). Assessment tool to understand how students justify their decisions in data comparison problems. *Physical Review Physics Education Research*, *19*(2), 020141. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.19.020141

Kultusministerkonferenz. (2020, June 18). *Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife*.

Kultusministerkonferenz. (2024). *Weiterentwickelte Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Physik (MSA)*.

Lenzer, S., & Feser, M. S. (in diesem Band). PSY3:Lehrkräfteprofessionalisierung im Projektverbund DigiProMIN. In H. Vorst, van (Ed.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor.* Universität Duisburg-Essen.

Maut, C., Kok, K., & Priemer, B. (in diesem Band). Fachdidaktisches Wissens über Messunsicherheiten. In H. Vorst, van (Ed.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor.* Universität Duisburg-Essen.

Möhrke, P. (2020). Messunsicherheiten im Physikunterricht—Befragung von Lehrkräften in Baden-Württemberg. In S. Habig (Ed.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen* (46), 876–879. Universität Duisburg-Essen.

Priemer, B., & Hellwig, J. (2018). Learning About Measurement Uncertainties in Secondary Education: A Model of the Subject Matter. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *16*(1), 45–68. https://doi.org/10.1007/s10763-016-9768-0

Ann-Kathrin Brauer[1]
Markus S. Feser[1]
Knut Neumann[1]

[1]IPN Kiel

Mit KI-Chatbots Erklären im Physikunterricht fördern

Durch die zunehmende Verbreitung generativer künstlicher Intelligenz (KI) und KI-gestützter Chatbots hat die Frage nach dem Potential des Einsatzes digitaler Technologien in Schule und Unterricht insbesondere im Bereich MINT vermehrt Aufmerksamkeit erhalten. Beispielsweise wurde untersucht, welche Qualität die von KI-basierten Chatbots erstellten Antworten und Erklärungen zu naturwissenschaftlichen Fragen aufweisen (siehe z. B. Cooper, 2023) und welche Arten von Unterrichtsaktivitäten, die den Einsatz dieser Chatbots einbeziehen, die Lernprozesse der Schüler:innen im MINT-Unterricht unterstützen können (siehe z. B. Bitzenbauer, 2023; Vasconcelos & dos Santos, 2023; Zhai, 2023). Ergänzend zu diesen fachdidaktischen Perspektiven liefert auch die allgemein- die schulpädagogische Forschung wichtige Erkenntnisse zum Einfluss von Chatbots auf das Lernen von Schüler:innen. Klaus Zierer (2024) fasst die Ergebnisse mehrerer diesbezüglicher Metaanalysen zusammen und kommt zu dem Schluss, dass der Einsatz von Chatbots im Unterricht die Lernleistung von Schüler:innen zwar beträchtlich steigern kann, derartige Effekte aber nur unter bestimmten Bedingungen eintreten. Entscheidend scheint dabei eine sorgfältige und didaktisch begründete Planung der Nutzung von Chatbots im Unterricht durch die Lehrkraft zu sein; bei unsystematischer Nutzung bleiben positive Effekte oft aus.
Damit Lehrkräfte KI-basierte Chatbots wie ChatGPT didaktisch begründet und lernwirksam in ihrem Unterricht einsetzen können, sind spezifische Aus- und Fortbildungsmaßnahmen notwendig. Solche Maßnahmen sollten Lehrkräfte nicht nur mit den technischen Grundlagen der den Chatbots zugrunde liegenden KI-Technologien vertraut machen, sondern auch fachdidaktische Strategien vermitteln, um deren Potenziale in unterschiedlichen Unterrichtssituationen zu nutzen. Die im Folgenden vorgestellte Lehrkräftefortbildung, die im Rahmen des Projektverbunds DigiProMIN entwickelt wurde (für Details zum Projektverbund DigiProMIN siehe Lenzer & Feser, in diesem Band), leistet hierzu einen Beitrag, indem sie sich auf einen zentralen Aspekt des Physikunterrichts konzentriert: die Förderung der Fähigkeiten von Schüler:innen zum naturwissenschaftlichen Erklären, unterstützt durch den Einsatz von KI-basierten Chatbots.

Ziele und Aufbau der entwickelten Fortbildung

Die entwickelte Fortbildung hat das Ziel, Lehrkräfte dahingehend zu professionalisieren, die Fähigkeiten und Fertigkeiten von Schüler:innen zum naturwissenschaftlichen Erklären im Physikunterricht digital gestützt zu fördern und zu unterstützen. Einen besonderen Schwerpunkt legt die Fortbildung dabei auf die Integration von KI-basierten Chatbots – am Beispiel von ChatGPT – als didaktisches Werkzeug in den Physikunterricht: Im Rahmen der Fortbildung werden die Lehrkräfte dazu befähigt, KI-basierte Chatbots im Physikunterricht als Tutor:innen einzusetzen, die ihren Schüler:innen beispielsweise komplexe physikalische Sachverhalte erklären, mit ihnen gemeinsam Inhalte wiederholen oder ihnen individualisiertes Feedback und Hilfestellungen zu ihren Aufgabenlösungen geben. Die Fortbildung ist dabei mehrteilig als eine Kombination aus sich abwechselnden Präsenzveranstaltungen, Selbstlern-

und Praxisphasen aufgebaut und verläuft über einen längeren Zeitraum (insgesamt zirka zwei Monate). Alle Kursinhalte sind für die Teilnehmenden über einen Moodle-Kurs zugänglich.

Präsenzveranstaltung 1: Einführungssitzung

In der ersten Präsenzeinheit der Fortbildung erhalten die Lehrkräfte eine didaktische Einführung zum naturwissenschaftlichen Erklären im Physikunterricht und wie dieses digital gestützt werden kann. Der inhaltliche Schwerpunkt liegt dabei auf dem Claim-Evidence-Reasoning-Modell (Kubsch & Sorge, 2021; Zembal-Saul et al., 2013) sowie den Model-Evidence-Link-Diagrammen (Lombardi et al., 2013). Die in Abbildung 1 gezeigte Aufgabe dient als Anwendungsbeispiel in der Einführungssitzung. Ziel dieser Aufgabe ist es, dass die Teilnehmenden unter zu Hilfenahme eines Chatbots (ChatGPT) konkurrierende Erklärungen für die Funktionsweise des Radiometers (Strahlungsdruck vs. thermische Effekte) generieren. Im weiteren Verlauf der Sitzung werden diese konkurrierenden Erklärungen mit Hilfe der erarbeiteten Inhalte (Claim-Evidence-Reasoning-Modell und Model-Evidence-Link-Diagramme) auf ihre Adäquatheit überprüft, wobei auch hier als digitale Unterstützung ChatGPT zum Einsatz kommt.

Abb. 1: Anwendungsbeispiel der Einführungssitzung

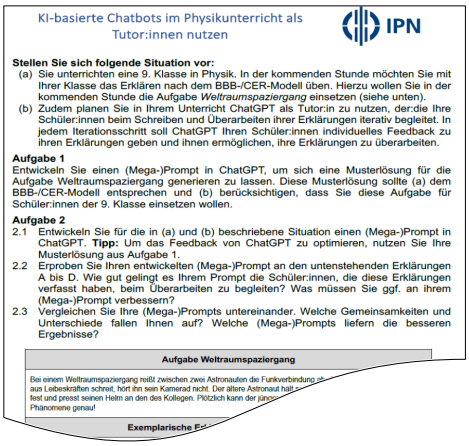
Selbstlernphase

In einer anschließenden Online-Selbstlerneinheit erarbeiten sich die teilnehmenden Lehrkräfte selbstständig und bedarfsorientiert entsprechend fachliche Grundlagen zu KI-basierten Chatbots und wie diese didaktisch sinnvoll im Physikunterricht genutzt werden können. Ziel dabei ist es, die Chancen und Herausforderungen (Zierer, 2024; Institute for Ethical AI in Education, 2021), welche der Einsatz von KI-basierten Chatbots im Unterricht mit sich bringt und grundsätzlich nicht in schwarz-weiß zu kategorisieren sind, zu erkennen und anhand dessen zu reflektieren, wie sich diese sinnvoll im Physikunterricht einsetzen lassen und so die Funktionsweisen und Einsatzmöglichkeiten KI-basierten Chatbots vertieft kennenzulernen (De Florio-Hansen, 2024; Held, 2023). Ein weiterer Teil der Selbstlerneinheit liefert eine kurze Einführung in die technischen Grundlagen der Chatbots zugrundeliegenden KI-Technologien, sowie in das Prompt-Engineering für unterrichtliche Zwecke (in Anlehnung an Ebinger & Kaufmann, 2023).

Präsenzveranstaltung 2: Impulssitzung

Vier Wochen nach der ersten Präsenzsitzung kommen die Lehrkräfte für die Impulssitzung in Präsenz zusammen und entwickeln gemeinsam Material zur Nutzung von KI-basierten Chatbots als Tutor:innen im Physikunterricht. Um in dieser Sitzung ChatGPT so zu "manipulieren", dass es sich als Tutor:in für das Verfassen von Erklärungen im Physikunterricht nutzen lässt, werden die bisher erarbeiteten Grundlagen zu KI-basierten Chatbots um das Konzept eines sog. *Mega-Prompts* erweitert (Pölert, 2024). Mega-Prompts sind Prompts, die eine mehrstufige Struktur aufweisen, und in denen man dem Chatbot zum einen detailliert beschreibt, (1) was die Aufgabe ist, mit der man sich befasst, und (2) welchen Rahmenbedingungen diese Aufgabe unterliegt und zum anderen, (3) wie der Chatbot bei

dieser Aufgabe unterstützen soll, (4) wie er dabei vorgehen soll und welche Art von Unterstützung nicht gewünscht ist, und schließlich (5) wann der Chatbot seine Aufgabe "erfüllt hat" (ab wann gilt die Aufgabe als erfüllt). Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt des Aufgabenblatts, dass die gemeinsame Materialentwicklung der Lehrkräfte während der Impulsphase anleitet. Ziel dieser Aufgabe ist es, das die Teilnehmenden selbstständig das zuvor kennengelernte Konzept eines Mega-Prompts auf einen Kontext aus dem Physikunterricht übertragen, in dem Schüler:innen mit Unterstützung eines:einer Tutor:in eine Erklärung für einen physikalischen Sachverhalt entwickeln sollen (adaptiert aus Feser, 2019). Die von den Teilnehmenden entwickelten Mega-Prompts lassen sich dabei durch wenige Änderungen auch auf diverse andere Erklärаufgaben für den Physikunterricht übertragen und können so von den Lehrkräften in der anschließenden Praxisphase durch vergleichsweise geringem Mehraufwand in die eigene Unterrichtsplanung integriert werden.


KI-basierte Chatbots im Physikunterricht als Tutor:innen nutzen

IPN

Stellen Sie sich folgende Situation vor:

(a) Sie unterrichten eine 9. Klasse in Physik. In der kommenden Stunde möchten Sie mit Ihrer Klasse das Erklären nach dem BBB-/CER-Modell üben. Hierzu wollen Sie in der kommenden Stunde die Aufgabe *Weltraumspaziergang* einsetzen (siehe unten).

(b) Zudem planen Sie in Ihrem Unterricht ChatGPT als Tutor:in zu nutzen, der:die Ihre Schüler:innen beim Schreiben und Überarbeiten ihrer Erklärungen iterativ begleitet. In jedem Iterationsschritt soll ChatGPT Ihren Schüler:innen individuelles Feedback zu ihren Erklärungen geben und ihnen ermöglichen, ihre Erklärungen zu überarbeiten.

Aufgabe 1

Entwickeln Sie einen (Mega-)Prompt in ChatGPT, um sich eine Musterlösung für die Aufgabe Weltraumspaziergang generieren zu lassen. Diese Musterlösung sollte (a) dem BBB-/CER-Modell entsprechen und (b) berücksichtigen, dass Sie diese Aufgabe für Schüler:innen der 9. Klasse einsetzen wollen.

Aufgabe 2

2.1 Entwickeln Sie für die in (a) und (b) beschriebene Situation einen (Mega-)Prompt in ChatGPT. **Tipp:** Um das Feedback von ChatGPT zu optimieren, nutzen Sie Ihre Musterlösung aus Aufgabe 1.

2.2 Erproben Sie Ihren entwickelten (Mega-)Prompt an den untenstehenden Erklärungen A bis D. Wie gut gelingt es Ihrem Prompt die Schüler:innen, die diese Erklärungen verfasst haben, beim Überarbeiten zu begleiten? Was müssen Sie ggf. an ihrem (Mega-)Prompt verbessern?

2.3 Vergleichen Sie Ihre (Mega-)Prompts untereinander. Welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede fallen Ihnen auf? Welche (Mega-)Prompts liefern die besseren Ergebnisse?

Aufgabe Weltraumspaziergang

Bei einem Weltraumspaziergang reißt zwischen zwei Astronauten die Funkverbindung ab. aus Leibeskräften schreit, hört ihn sein Kamerad nicht. Der ältere Astronaut hält fest und presst seinen Helm an den des Kollegen. Plötzlich kann der jüng Phänomene genau!

Exemplarische E

Abb. 2: Aufgabenblatt der Impulssitzung.

Praxisphase

Die Lehrkräfte erproben das von ihnen in der Impulssitzung entwickelte Material (den Mega-Prompt, um ChatGPT als Tutor:in beim Erklären zu nutzen) in ihrem eigenen Physikunterricht. Die Erprobung des Materials erfolgt hierbei über einen Zeitraum von mehreren Wochen, um den Lehrkräften zu ermöglichen, das Material an ihre konkrete Unterrichtsplanung anzupassen, auf die Bedürfnisse ihrer Schüler:innen abzustimmen, und das Material – im besten Fall – in möglichst vielen und unterschiedlichen Klassen auszuprobieren.

Präsenzveranstaltung 3: Reflexionssitzung

Zum Abschluss der Fortbildung kommen die Lehrkräfte zu einem gemeinsamen Austausch erneut in Präsenz zusammen, um ihre Erfahrungen aus der Praxisphase zum Einsatz von KI-basierten Chatbots in ihrem Physikunterricht zu reflektieren. In dieser Reflexionssitzung sollen sowohl Erfahrungen wie auch erstelltes Material untereinander ausgetauscht werden, sodass die Lehrkräfte gegenseitig voneinander profitieren und eine Initiierung zur Bildung von Communites of Practice (Wenger, 1999) angeregt wird.

Ausblick

Im Sommersemester 2024 wurden die ersten drei Phasen der Fortbildung (Einführungssitzung, Selbstlerneinheit, Impulssitzung) mit Masterstudierenden des Lehramts Physik an der CAU Kiel pilotiert. Aktuell (Herbst 2024) durchläuft die Fortbildung eine umfassende Revision, basierend auf den Erfahrungen aus der Pilotierung sowie dem Feedback von Critical Friends aus der Physikdidaktik und der Bildungspraxis. Eine vollständige und überarbeitete Version der Fortbildung soll voraussichtlich 2025 mit im Schuldienst aktiven Physiklehrkräften in Schleswig-Holstein erprobt werden.

Literatur

Bitzenbauer, P. (2023). ChatGPT in physics education: A pilot study on easy-to-implement activities. Contemporary Educational Technology, 15(3), ep430. https://doi.org/10.30935/cedtech/13176

Cooper, G. (2023). Examining Science Education in ChatGPT: An Exploratory Study of Generative Artificial Intelligence. Journal of Science Education and Technology, 32(3), 444–452. https://doi.org/10.1007/s10956-023-10039-y

De Florio-Hansen, I. (2024). KI-Tools für den Unterricht. Beltz.

Ebinger, J., & Kaufmann, S. (2023). Künstliche Intelligenz im Unterricht: Sprachgesteuerte KI praxisorientiert einsetzen (1. Auflage). Cornelsen.

Feser, M. S. (2019). Physiklehrkräfte korrigieren Schülertexte. Eine Explorationsstudie zur fachlich-konzeptuellen und sprachlichen Leistungsfeststellung und -beurteilung im Physikunterricht. Logos.

Institute for Ethical AI in Education (2021). The Ethical Framework for AI in Education. The Institute for Ethical AI in Education, University of Buckingham.

Held, O. (2023). ChatGPT im Geschichtsunterricht. Wochenschau Verlag.

Kubsch, M., & Sorge, S. (2021). Unterstützungsmöglichkeiten beim Erklären und Argumentieren im Physikunterricht. MNU-Journal, 74(4), 275–279.

Lenzer, S., & Feser, M. S. (in diesem Band). PSY3: Lehrkräfteprofessionalisierung im Projektverbund DigiProMIN. In H. van Vorst (Hrsg.), Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung 2024. Universität Duisburg-Essen

Lombardi, D., Sibley, B., & Carroll, K. (2013). What's the Alternative? The Science Teacher, 080(05), 36–41.

Pölert, H. (2024). Lernbegleitung mit ChatGPT Mega-Prompts? Erste Überlegungen zu KI als Writing-Tutor. https://unterrichten.digital/2023/01/25/chatgpt-unterricht-feedback-mega-prompt/

Vasconcelos, M. A. R., & Dos Santos, R. P. (2023). Enhancing STEM learning with ChatGPT and Bing Chat as objects to think with: A case study. Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 19(7), em2296. https://doi.org/10.29333/ejmste/13313

Wenger, E. (1999). Communities of practice: Learning, meaning, and identity. Cambridge University Press.

Zembal-Saul, C., McNeill, K. L., & Hershberger, K. (2012). What's your evidence? Engaging K-5 students in constructing explanations in science. Pearson Education.

Zhai, X. (2023). ChatGPT for Next Generation Science Learning. XRDS: Crossroads, The ACM Magazine for Students, 29(3), 42–46. https://doi.org/10.1145/3589649

Zierer, K. (2024). ChatGPT als Heilsbringer? Über Möglichkeiten und Grenzen von KI im Bildungsbereich. Waxmann.

Ilka Parchmann[1]
Amitabh Banerji[2]
Sascha Bernholt[1]
Jenna Koenen[3]
Dominik Diermann[3]
Constantin Egerer[2]
Carolin Flerlage[1]
Stefanie Lenzer[1]

[1]IPN Kiel
[2]Universität Potsdam
[3]Technische Universität München

Lehrkräfte für einen reflektierten Einsatz digitaler Medien weiterbilden

Früher hatten Lehrkräfte noch Probleme ein passendes digitales Medium zu finden, um einen analogen Lehr-Lern-Ansatz mit Mehrwert zu innovieren. Heute stehen viele Lehrkräfte vor einer gegenteiligen Herausforderung: Die Vielzahl digitaler Medien und Technologien für den Unterricht erschwert es, passende Ansätze sinnstiftend und lernförderlich für den Unterricht auszuwählen, zu gestalten und didaktisch legitimiert einzusetzen. Insbesondere Lehrkräfte im Schuldienst haben dafür in ihrem Alltag nur wenig Zeit. Diese Problematik wird noch verstärkt durch eine angestrebte Passung der Medien zum unterrichteten Fach und dessen spezifischen Herausforderungen. In der Lehre der Chemie gilt es beispielsweise digitale Medien zu nutzen, um die naturwissenschaftlichen Erkenntnismethoden zu erleichtern (Becker et al., 2020) oder die ohne Hilfsmittel nicht sichtbare Teilchenebene zu visualisieren und verständlich zu machen (Eilks et al., 2012). Für effektiven digital gestützten Unterricht und zum Erreichen zugehöriger Lernziele benötigen Lehrkräfte daher spezifische Kompetenzen zur reflektierten Auswahl, effizienten Erstellung und lernwirksamen Einbettung digitaler Medien und Technologien in variablen Unterrichtssituationen. Diese Kompetenzen, die in Kompetenzrahmen wie beispielsweise dem DigCompEdu (Redecker, 2017) oder dem DiKoLAN (Becker et al., 2020; Thyssen et al., 2020; Henne et al., 2022) ausdifferenziert und miteinander in Beziehung gesetzt werden, benötigen alle Lehrkräfte, unabhängig von der Phase (1., 2. oder 3.) in der sie sich gerade befinden. Untersuchungen haben gezeigt, dass Fortbildungen eine valide Möglichkeit darstellen, Lehrkräfte in der dritten Phase in diesen Bereichen weiterzubilden und ihnen neue Kompetenzen und Impulse an die Hand zu geben, da positive Wirkungen von Fortbildungsmaßnahmen bezüglich der Leistung der Lernenden gefunden wurden ($d = .54 - .66$; Timperley et al., 2007; Yoon et al., 2007; Hattie et al., 2014). Auch im Umgang mit digitalen Medien ist daher davon auszugehen, dass Lehrkräftefortbildungen wirksame Maßnahmen zur Vermittlung von notwendigem, neuen Wissen sind. Die in diesem Beitrag eines gemeinsamen Postersymposiums (vgl. Lenzer & Feser, in diesem Band) thematisierte Fortbildung stellt das sogenannte „Orientierungsmodul“ des Teilprojekts Chemie von DigiProMIN (= Digitalisierungsbezogene und digital gestützte Professionalisierung von MIN-Lehrkräften) vor, welches sich der Frage widmet anhand welcher didaktischen und empirischen Leitlinien der „Wald vor lauter Bäumen“ gesehen werden kann und passende digitale Medien und Technologien für den Chemieunterricht theoriegeleitet ausgewählt werden können. Die in diesem Beitrag dargestellte Fortbildung kann als Ausgangspunkt für das weitere Fortbildungsangebot von DigiProMIN Chemie angesehen werden. Aus diesem Grund wird abschließend auch ein Ausblick auf weitere Fortbildungen gegeben, die vertiefend Aspekte des Chemieunterrichts mit Hilfe spezifischer digitaler Medien ansprechen.

Beim Orientierungsmodul „Chemieunterricht mit digitalen Medien innovieren“ handelt es sich um eine halbtägige (ca. drei bis vier Stunden Dauer), synchrone Chemielehrkräftefortbildung, die online oder in Präsenz angeboten werden kann. Die zentrale Fortbildungsaufgabe besteht in der didaktisch reflektierten Anreicherung einer beispielhaften (analogen) Unterrichtseinheit zum forschend-entdeckenden Lernen mit digitalen Elementen. Abbildung 1 zeigt hierzu den geplanten Fortbildungsablauf.

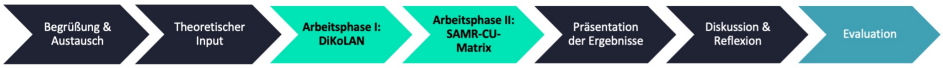


Abb. 1: Schematische Darstellung des Fortbildungsablaufs

Nach einer kurzen Begrüßung, Vorstellung der angestrebten Lernziele und kurzem theoretischen Input zum TPACK-Modell (Koehler et al., 2013; auf dem der DiKoLAN u.a. basiert) und dem forschend-entdeckenden Lernen (vgl. Pedaste et al., 2015) werden während der Fortbildung gemeinsam verschiedenen digitale Medien gesammelt. Diese werden als erste Orientierung durch die teilnehmenden Lehrkräfte in den DiKoLAN-Kompetenzrahmen eingeordnet. Dabei gilt es zu diskutieren, welche Kompetenzbereiche mit den jeweiligen digitalen Medien angesprochen bzw. gefördert werden können. Anschließend wird eine exemplarische, analoge Unterrichtseinheit zum Thema „Untersuchung von Eigenschaften der Salze“ und die selbst entwickelte, sogenannte „SAMR-Chemieunterricht-Matrix“ (vgl. Abbildung 2) vorgestellt. Die Matrix basiert auf dem SAMR-Modell (Puentedura, 2013) und verbindet dessen Stufen zur Bereicherung von Lernaufgaben mit digitalen Medien und Technologien mit den typischen Phasen des forschen-entdeckenden Unterrichts. Unter Nutzung der Matrix diskutieren und reflektieren die Lehrkräfte vor dem Hintergrund der zu adressierenden Lernziele welcher Digitalisierungsgrad (von *analoger Anwendung* bis *Redefinition*) für die verschiedenen Unterrichtsphasen der Beispielstunde von Mehrwert ist. Während der gesamten Fortbildung wird auf einer gemeinsamen Taskcard-Pinnwand (vgl. Abbildung 2) kollaborativ gearbeitet.

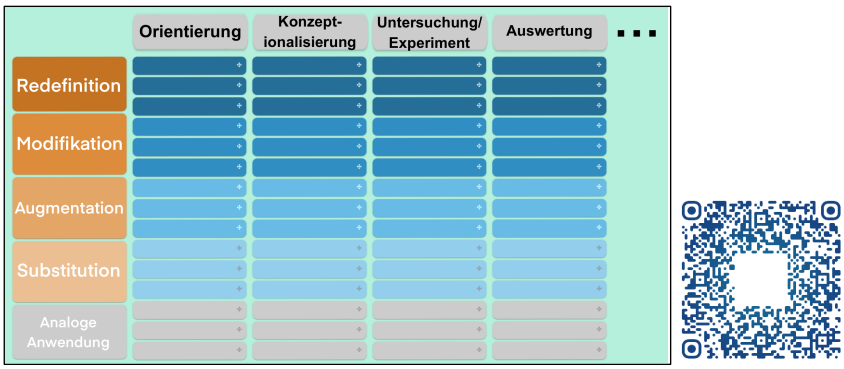


Abb. 2: Ausschnitt der „SAMR-Chemieunterricht-Matrix“ auf einer Taskcards-Pinnwand (inkl. zugehöriger QR-Code) zum kollaborativen Ausfüllen in der Fortbildung

Abschließend werden die Arbeitsergebnisse vorgestellt und im Plenum diskutiert. Ausgewählte Lernziele der Fortbildung lauten demnach:

- Lehrkräfte kennen verschiedene digitale Medien für den Chemieunterricht und sortieren diese begründet nach potenzieller Kompetenzförderung.
- Lehrkräfte ordnen gegebene digital-gestützte Unterrichtssequenzen begründet in die vier Stufen des SAMR-Modells und die Phasen des forschenden Lernens ein.
- Lehrkräfte begründen den allgemeinen Einsatz ausgewählter digitaler Medien für den Chemieunterricht aus didaktischer Sicht.

In der Fortbildung liegt der gewünschte Fokus auf Erfahrungsaustausch, Diskussion und Eigenarbeit (in Kleingruppen), wodurch auch empirisch bestätigte Leitlinien für Fortbildungskonzeptionen erfüllt werden (vgl. Lipowsky & Rzejak, 2019; Sieve, 2017). Um einen gewinnbringenden Austausch zu ermöglichen hat sich das Präsenz-Format bewährt, eine Umsetzung als online Fortbildung ist dennoch möglich. Das Orientierungsmodul wurde (gemeinsam mit den weiteren Fortbildungen des Projektes) bereits mehrfach pilotiert und durchgeführt. Im Zuge dessen wurden kleinere Aspekte angepasst und überarbeitet. Im Sinne des „Design-Based Research“ Ansatzes und auf Grundlage der Ergebnisse durch die Evaluationen wird das Fortbildungsangebot stetig weiterentwickelt. Das gemeinsame Evaluationskonzept auf Basis der „Unified Theory of Acceptance and Use of Technology“ (vgl. Šumak & Šorgo, 2016) wird im Beitrag von Bernholt et al. (in diesem Band) genauer dargestellt. Die ersten Einblicke in die bisherigen Evaluationsergebnisse zeigen positive Rückmeldungen, eine hohe Akzeptanz des Konzeptes und des Inhalts sowie insgesamt ein hohes Motivationspotential durch die Fortbildung. An mehreren Stellen der Beispielstunde lassen sich auf sinnvolle und lernförderliche Weise digitale Medien und Ansätze integrieren, die in den sogenannten vier „Vertiefungsmodulen“ (weitere Fortbildungen) genauer thematisiert werden, welche sich beispielsweise mit digital-gestützter Kontextualisierung, Diagnose, Experimentieren oder der Erstellung von Animationen befassen. Abbildung 3 zeigt einen aktuellen Überblick über das DigiProMIN Chemie Fortbildungsangebot.

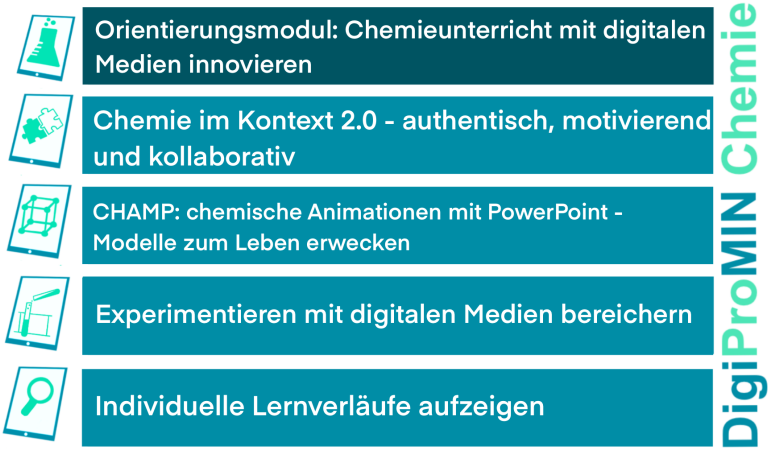


Abb. 3: Übersicht über das gesamte DigiProMIN Chemie Fortbildungsangebot, inklusive vier Vertiefungsmodule mit spezielleren Ansätzen.

Um Lehrkräften die Wahl der für sie bestmöglich passenden Fortbildung zu erleichtern, wurde zudem ein anonymes online Selbsteinschätzungstool[1] entwickelt.

[1] Der sogenannte „Chemie-Wahl-O-Mat“ ist online aufrufbar unter https://chemie-wahl-o-mat.vercel.app

Literatur

Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C. & von Kotzebue, L. (2020). DiKoLAN: Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften. Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen. DiKoLAN. http://dikolan.de/

Bernholt, S., Diermann, D., Egerer, C., Flerlage, C., Lenzer, S., Banerji, A., Parchmann, I. & Koenen, J. (in diesem Band). Von der Fortbildung zur unterrichtlichen Nutzung. In H. van Vorst (Hrsg.), Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung 2024. Universität Duisburg-Essen.

Eilks, I., Pietzner, V., & Witteck, T. (2012). The Role and Potential Dangers of Visualisation when Learning about Sub-Microscopic Explanations in Chemistry Education. Center for Educational Policy Studies Journal, 2(1), 125–145. https://doi.org/10.26529/cepsj.398

Hattie, J., Beywl, W. & Zierer, K. (2014). Lernen sichtbar machen (2. korr. Aufl.). Schneider-Verl. Hohengehren

Henne, A., Möhrke, P., Thoms, L.-J. & Huwer, J. (2022). Implementing Digital Competencies in University Science Education Seminars Following the DiKoLAN Framework. Educational Sciences, 12, Art.-Nr. 356. https://doi.org/10.3390/educsci12050356

Koehler, M. J., Mishra, P., & Cain, W. (2013). What is Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)? Journal of Education, 193(3), S. 13-19. https://doi.org/10.1177/002205741319300303

Lenzer, S., & Feser, M. S. (in diesem Band). PSY3: Lehrkräfteprofessionalisierung im Projektverbund DigiProMIN. In H. van Vorst (Hrsg.), Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung 2024. Universität Duisburg-Essen

Lipowsky, F., & Rzejak, D. (2019). Was macht Fortbildungen für Lehrkräfte erfolgreich? – Ein Update. In B. Groot-Wilken & R. Koerber (Hrsg.), Nachhaltige Professionalisierung für Lehrerinnen und Lehrer. Ideen, Entwicklungen, Konzepte. Beiträge zur Schulentwicklung. (S. 15–56). Bielefeld: wbv. http://dx.doi.org/10.3278/6004746w

Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., et al. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. Educational Research Review, 14, 47–61. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003

Puentedura, R. R. (2013, May 29). SAMR: Moving from enhancement to transformation [Web log post]. Retrieved from http://www.hippasus.com/rrpweblog/archives/000095.html

Redecker, C. (2017). European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu. Seville, Spain: Joint Research Centre. https://dx.doi.org/10.2760/159770

Sieve, B. (2017). Implementation digitaler Medien – Bedürfnisse von Lehrkräften erfassen. In J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen - Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer (S. 249–263). Joachim Herz Stiftung Verlag: Hamburg.

Šumak, B., & Šorgo, A. (2016). The acceptance and use of interactive whiteboards among teachers: Differences in UTAUT determinants between pre-and post-adopters. Computers in Human Behavior, 64, 602-620.

Timperley, H., Wilson, A., Barrar, H., & Fung, I. (2007). Teacher professional learning and development. Best evidence synthesis iteration (BES). Wellington: Ministry of Education

Thyssen, C., Thoms, L-J., Kremser, E. Finger, A. Huwer, J. & Becker, S. (2020). Digitale Basiskompetenzen in der Lehrerbildung unter besonderer Berücksichtigung der Naturwissenschaften. In: M. Beißwenger, B. Bulizek, I. Gryl et al. (Hrsg.) Digitale Innovationen und Kompetenzen in der Lehramtsausbildung (S. 77-98) Duisburg: Universitätsverlag Rhein-Ruhr. https://dx.doi.org/10.17185/duepublico/73330

Yoon, K.-S., Duncan, T., Lee, S. W.-Y., Scarloss, B. & Shapley, K. L. (2007). Reviewing the evidence on how teacher professional development affects student achievement. Issues & Answers Report (33), S. 1–62

Dominik Diermann[1]
Amitabh Banerji[2]
Jenna Koenen[1]
Constantin Egerer[2]

[1]Technische Universität München
[2]Universität Potsdam

Experimentieren mit digitalen Medien bereichern

Naturwissenschaften, wie Physik und Chemie zeichnen sich auch durch ihre fachspezifischen Arbeitsweisen und Anforderungen aus. Zentral hierbei ist das Experimentieren, durch welches forschende Schülerinnen und Schüler motiviert werden (z.B. Kremer et al., 2019), neue Erkenntnisse erlangen (z.B. Furtak et al., 2012) oder diverse weitere Lernziele leichter erreichen können. (Schülerzentriertes) Experimentieren erfordert durch die verschiedenen Arbeits- und Denkschritte (vgl. Teilprozessansatz; Abd-El-Khalick, 2004) verschiedene Kompetenzen (Sieve & Schanze, 2015; Kremer et al., 2019) und verursacht dadurch potenziell Lernschwierigkeiten oder Verständnisprobleme bei Planung, Durchführung und Auswertung. Diese können in unserem digitalen Zeitalter beispielsweise mit Hilfe digitaler Medien adressiert werden, die den gesamten Experimentierprozess bereichern können. Bereits verbreitet sind beispielsweise die digitale Messwerterfassung, online Recherche oder Software zur Datenaufbereitung. Um das Experimentieren mit digitalen Medien zu unterstützen, müssen Lernende und auch Lehrkräfte über das notwendige Wissen und Fähigkeiten für deren gewinnbringenden und didaktisch legitimierten Einsatz verfügen. Hier haben sich Lehrkräftefortbildungen als wirksame Maßnahmen erwiesen (vgl. Timperley et al., 2007; Yoon et al., 2007; Hattie et al., 2014; Lipowsky & Rzejak, 2017, 2019), um digitale Medien und die fachspezifische Arbeitsweise des Schüler- und Schülerinnenexperiments sinnvoll zu verbinden.

Im Rahmen eines Postersymposiums zum Verbundprojekt DigiProMIN (Lenzer & Feser, in diesem Band), stellt der hier dargestellte Posterbeitrag die Konzeption und didaktische Leitgedanken einer Chemielehrkräftefortbildung zum Thema „digital gestütztes Experimentieren“ vor. Die Fortbildung fokussiert darauf, Lehrkräfte dazu zu befähigen, empirisch bestätigte Mehrwerte digitaler Medien auch für die chemiespezifische Arbeitsweise des Experimentierens zu nutzen. Aus der Gesamtheit möglicher digitaler Medien, die beim Experimentieren eingesetzt werden können, wurden bewusst zwei konkrete Ansätze ausgewählt, um diese im Ein-Tages-Präsenzprogramm (ca. 7 h im Laborsetting) umfänglich behandeln zu können. Die Konzeption erfolgte anhand empirisch validierter Prinzipien (vgl. Emden & Baur, 2017; Lipowsky & Rzejak, 2012, 2019; Sieve, 2017) und setzt daher auf aktive Teilhabe der Lehrkräfte, Kollaboration durch Kleingruppenarbeit, Arbeit mit konkreten Best-Practice-Beispiel-Materialien und eine Einteilung in Vermittlungs-, Erarbeitungs- und Reflexions- bzw. Diskussionsphasen. Inhaltlich ist die vorgestellte Fortbildung in eine kurze theoretische Input-Phase und zwei Arbeitsphasen zu den gewählten digitalen Medien sowie eine abschließende Reflexionsphase gegliedert. Von besonderem Wert ist auch die eigene Erstellung digitaler Medien sowie der Fokus auf Diskussionen zum reflektierten Erfahrungsaustausch untereinander.

Der erste digitale Experimentier-Ansatz behandelt den Bau und die Programmierung eines automatisierten Titrationsroboters mit dem LEGO® Education SPIKE™ Prime Set (vgl. Abbildung 1). Durch die eigenständige Entwicklung können informatische Konzepte wie Automatisierung und Robotik Einzug in den Chemieunterricht finden und neuartige Lernziele

für den Chemieunterricht aufgestellt werden (beispielsweise die Entwicklung einer schrittweisen Titrationsanweisung durch algorithmisches Denken oder einfache Programmieraufgaben). Die intuitive Programmieroberfläche der zugehörigen App, das Erkunden und Erproben des LEGO-Sets sowie der anschließende Wettbewerb beim Testen der eigenen Roboter fördern zudem spielerisch das Lernen und das Interesse von Lehrkräften in der Fortbildung sowie deren Schülerinnen und Schülern im Unterricht.

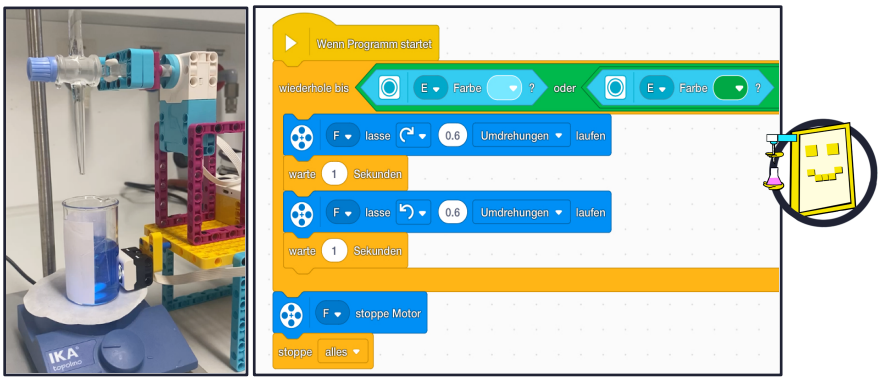


Abb. 1: Beispielhafter LEGO-Titrationsroboter (links) und Ausschnitt der Programmieroberfläche (rechts).

Während der Arbeitsphase werden die Lehrkräfte durch einen sogenannten DEAN (Digitaler Experimentier-Assistent) und das Fortbildungsteam als Lerncoaches begleitet. Der DEAN (vgl. Forster et al., 2024) ist gleichzeitig der zweite Ansatz, der in der Fortbildung vorgestellt wird: Dabei handelt es sich um ein interaktives eBook, welches mit PowerPoint (oder ähnlicher Präsentationssoftware) erstellt werden kann und verschiedene Phasen des Experimentierprozesses begleitet. Hierbei wird das Konzept des „didaktischen Doppeldeckers“ realisiert: Die Lehrkräfte wechseln von der Rolle des „users“ eines DEANs hin zum „producer“, da sie im zweiten Teil der Fortbildung angehalten werden einen eigenen DEAN zu einem selbst-gewählten Experiment (oder Unterrichtsthema) zu erstellen. Dazu erhalten sie einen Beispiel-DEAN (PowerPoint Datei in der interaktiven Bildschirmpräsentation auf einem Tablet), der ausführliche Erklärungen zu den notwendigen PowerPoint-Features sowie weiterer Software zur Erstellung von beispielsweise Animationen oder Erklärvideos enthält (vgl. Abbildung 2).

Abb. 2: Screenshot aus dem Fortbildungs-DEAN.

Eine Besonderheit der DEANs ist die Möglichkeit individuelle digitale Lernhilfen (z.B. Hinweise durch Verlinkungen auf bestimmte Folien) zu geben und diverse Medien in die Experimentieranleitung einzubinden oder in ihr zu erstellen (z.B. Quiz).
Lehrkräfte diskutieren während der Arbeitsphasen und als Abschluss der Fortbildung, wie die vorgestellten digitalen Medien, d.h. ein automatisierter Titrationsroboter und ein digitaler eBook-Experimentierassistent beim Experimentieren lernförderlich und sinnstiftend gestaltet und im eigenen Chemieunterricht eingesetzt werden können. Insgesamt ergeben sich folgende Hauptlernziele für die Fortbildung:

Lehrkräfte können …
- mit Hilfe des LEGO® SPIKE™ Prime Sets einen automatischen Titrationsroboter aufbauen und programmieren.
- erläutern, wie informatische Grundprinzipien im Chemieunterricht behandelt werden können.
- mit Hilfe von PowerPoint interaktive eBooks als Bildschirmpräsentationen erstellen und verschiedene digitale Medien (Animationen, Videos, Lernspiele) begründet einbinden.
- diskutieren, inwiefern digitale Medien verschiedene Phasen des Experimentierprozesses unterstützen können.

Es besteht die Möglichkeit die Fortbildung in zwei Teile zu jeweils drei bis vier Stunden aufzuteilen. Dabei wird dann jeweils einer der vorgestellten digitalen Ansätze behandelt und der kurze Input entsprechend angepasst. Aufgrund der Arbeit im Labor kann der erste Teil zum Titrationsroboter voraussichtlich nur in Präsenz angeboten werden. Der Teil zur Erstellung interaktiver eBooks muss nicht auf das Experiment begrenzt sein und könnte ebenfalls online oder gegebenenfalls als asynchrones Angebot angepasst werden.
Die angestrebten Lernziele und Kompetenzen orientieren sich an den Kompetenzbereichen des DiKoLAN (Becker et al., 2020) und des DigCompEDU (Redecker, 2017). Im Allgemeinen ist es das Ziel von DigiProMIN Chemie transferfähiges Wissen zu vermitteln und Lehrkräfte zur eigenständigen Erstellung digitaler Lehr-Lern-Medien zu befähigen.
Die Fortbildung zum „digital gestützten Experimentieren“ wurde bisher bereits pilotiert und mehrfach durchgeführt sowie auf Basis der „Unified Theory of Acceptance and Use of Technology“ (vgl. Šumak & Šorgo, 2016) evaluiert (vgl. Bernholt et al., in diesem Band). Im Sinne des Design-Based-Research Ansatzes wurde sie dabei stetig angepasst und weiterentwickelt. Die ersten Eindrücke zeigen sehr positives Feedback, hohe Motivation und Akzeptanz der Medien und Ansätze durch die teilnehmenden Lehrkräfte. Einzelne Rückmeldungen betonen jedoch auch den erhöhten Arbeitsaufwand bei der DEAN-Erstellung oder die Kosten zur Anschaffung der LEGO® SPIKE™ Prime Sets.
Zukünftig wird die Fortbildung (wie auch die weiteren Fortbildungen im DigiProMIN Chemie Projekt) weiter angepasst und mit Lehrkräften durchgeführt und evaluiert, um sie bestmöglich an die berufliche Praxis und die Bedarfe und Wünsche aus dem Schulalltag anzupassen.

Literatur

Abd-El-Khalick, F., Boujaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D., & Tuan, H.-I. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. Science education, 88(3), S. 397-419. https://doi.org/10.1002/sce.10118

Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C. & von Kotzebue, L. (2020). DiKoLAN: Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften. Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen. DiKoLAN. http://dikolan.de/

Bernholt, S., Diermann, D., Egerer, C., Flerlage, C., Lenzer, S., Banerji, A., Parchmann, I. & Koenen, J. (in diesem Band). Von der Fortbildung zur unterrichtlichen Nutzung. In H. van Vorst (Hrsg.), Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung 2024. Universität Duisburg-Essen.

Emden, M. & Baur, A. (2017). Effektive Lehrkräftebildung zum Experimentieren – Entwurf eines integrierten Wirkungs- und Gestaltungsmodells. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 23, S. 1–19. http://dx.doi.org/10.1007/s40573-016-0052-1

Forster, K., Diermann, D. & Koenen, J. (2024). DEAN – Digital unterstützt Experimentieren. Eine Seminarkonzeption. In H. van Vorst (Hrsg.), Frühe naturwissenschaftliche Bildung. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung 2023, Band 44. (S. 806-809)

Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H., & Briggs, D. C. (2012). Experimental and quasi-experimental studies of inquiry-based science teaching. Review of Educational Research, 82, S. 300–329. https://doi.org/10.3102/0034654312457206

Hattie, J., Beywl, W. & Zierer, K. (2014). Lernen sichtbar machen (2. korr. Aufl.). Schneider-Verlag, Hohengehren

Kremer, K., Möller, A., Arnold, J. & Mayer, J. (2019) Kompetenzförderung beim Experimentieren. In J. Groß et al. (Hrsg.), Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis (S. 113-128). Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58443-9_7

Lenzer, S., & Feser, M. S. (in diesem Band). PSY3: Lehrkräfteprofessionalisierung im Projektverbund DigiProMIN. In H. van Vorst (Hrsg.), Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung 2024. Universität Duisburg-Essen.

Lipowsky, F. & Rzejak. D. (2017) Fortbildungen für Lehrkräfte wirksam gestalten – erfolgsversprechende Wege und Konzepte aus Sicht der empirischen Bildungsforschung. Bildung und Erziehung, 70(4), S. 379-400

Lipowsky, F., & Rzejak, D. (2019). Was macht Fortbildungen für Lehrkräfte erfolgreich? – Ein Update. In B. Groot-Wilken & R. Koerber (Hrsg.), Nachhaltige Professionalisierung für Lehrerinnen und Lehrer. Ideen, Entwicklungen, Konzepte. Beiträge zur Schulentwicklung. (S. 15–56). Bielefeld: wbv. http://dx.doi.org/10.3278/6004746w

Redecker, C. (2017). European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu. Seville, Spain: Joint Research Centre. https://dx.doi.org/10.2760/159770

Sieve, B. (2017). Implementation digitaler Medien – Bedürfnisse von Lehrkräften erfassen. In J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen - Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer (S. 249–263). Joachim Herz Stiftung Verlag: Hamburg.

Sieve, B., & Schanze, S. (2015). Lernen im digital organisierten Chemieraum. Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 26(145), S. 2-7

Timperley, H., Wilson, A., Barrar, H., & Fung, I. (2007). Teacher professional learning and development. Best evidence synthesis iteration (BES). Wellington: Ministry of Education

Yoon, K.-S., Duncan, T., Lee, S. W.-Y., Scarloss, B. & Shapley, K. L. (2007). Reviewing the evidence on how teacher professional development affects student achievement. Issues & Answers Report (33), S. 1–62.

Constantin Egerer[1]
Carolin Flerlage[2]
Stefanie Lenzer[2]
Amitabh Banerji[1]
Sascha Bernholt[2]

[1]Universität Potsdam
[2]IPN Kiel

Chemielehrkräftefortbildung zur Erstellung von PowerPoint-Animationen

Einleitung

Die Dynamik von Teilchenprozessen kann durch haptische Modelle oder Abbildungen nicht adäquat abgebildet werden. Somit fällt der Fokus auf andere Medien, wie Animationen. Diese werden bereits regelmäßig von Lehrkräften im naturwissenschaftlichen Unterricht eingesetzt (Wenzel & Wilhelm, 2015). Dabei sind vorhandene Animationen, die im Internet zu finden sind, nicht auf die Lerngruppe zugeschnitten, sodass unter Umständen die Komplexität, die Auswahl der Fachinhalte oder getroffenen Gestaltungskonventionen unpassend für den Unterricht sein können. Um Animationen selbst zu erstellen gibt es eine Vielzahl an Tools, wie beispielsweise blender (Blender Foundation, o. J.), jedoch bieten viele davon keine intuitive Bedienung und bedürfen einer intensiven Einarbeitung. PowerPoint (PPT) hingegen ist eine Software, die bereits auf vielen Geräten von Lehrkräften installiert ist. Weiterhin ist der Funktionsumfang ausreichend, um niedrigschwellig 2D-Animationen zu erstellen (Banerji, 2017), die auch von weniger technisch-affinen Lehrkräften bearbeitet werden können. In diesem Beitrag wird die Konzeption einer Lehrkräftefortbildung vorgestellt, die dazu dienen soll, entsprechende digitale und fachdidaktische Kompetenzen zur Erstellung von PPT-Animationen[1] und deren sinnvollen Einbettung in den Chemieunterricht zu vermitteln. Dieses Konzept ist Teil des Projektverbundes DigiProMIN, der zum Kompetenzverbund lernen:digital zugehörig ist. Eine Übersicht über die Teilprojekte des Projektverbundes (Lenzer & Feser, 2024) finden Sie in diesem Band.

Theoretische Grundlagen

Grundlegend orientiert sich das Fortbildungsangebot an den bildungswissenschaftlichen Standards der Lehrerbildung (KMK, 2019). Im Kompetenzbereich Unterrichten steht vor allem folgende Teilkompetenz im Fokus: „[Lehrkräfte] gestalten Unterrichtsmaterialien sowie analoge und digitale Medien selbstständig und lernförderlich“ (KMK, 2019). Dabei wird im Folgenden darauf eingegangen, wie einerseits Lehrkräfte selbstständig Animationen erstellen können und wie diese andererseits möglichst lernförderlich gestaltet werden können. Den Lehrkräften soll eine möglichst umfangreiche und selbstständige Auseinandersetzung mit PPT zur Animationserstellung ermöglicht werden, um einen Kompetenzerwerb anzustreben, der zu einer selbstständigen Erstellung von Animationen professionalisiert. Dabei steht das Konzept des situierten Lernens (Schmohl, 2021) im Vordergrund. Die Teilnehmenden lernen an authentischen Unterrichtssituationen und Beispielen, wodurch ein hohes Maß an Praxisorientierung gewährleistet wird. Um Schwierigkeiten, beispielsweise in der Bedienung, im Schulalltag zu vermeiden, werden diese antizipierend in der Fortbildung besprochen. Außerdem

[1] Grundsätzlich sind die Funktionen zur Erstellung von Animationen auch auf andere Präsentationsprogramme wie Keynote oder LibreOffice übertragbar.

sind die erworbenen Kompetenzen flexibel auf diverse Unterrichtssituationen, Kontexte und Fachgebiete anwendbar. Um die Lernziele der Fortbildung möglichst effektiv zu erreichen, wurden außerdem mehrere Werke über die Konzeption von Lehrkräftefortbildungen berücksichtigt (vgl. Klapproth-Hildebrandt et al., 2018; Lipowsky & Rzejak, 2021). Neben diesen theoretischen Grundlagen, die zur Konzeption dienen, werden auch inhaltliche Aspekte zur lernförderlichen Gestaltung von Animationen im Chemieunterricht vermittelt. Dabei wurde ein interdisziplinärer Ansatz gewählt, der neben der Lehr-/Lernforschung und Chemiedidaktik (z.B. Barke, 2018; Boucheix et al., 2013; Chang, 2002; Lowe & Schnotz, 2014; Wu & Shah, 2004) auch Erkenntnisse aus Wahrnehmungspsychologie (z.B. Müsseler & Rieger, 2017) und Neurowissenschaften (z.B. Bear et al., 2018) berücksichtigt. Die Synergie dieser Inhalte mündete in Gestaltungskriterien, die das Fortbildungsangebot als Grundlage für die Animationserstellung begleiten. Diese werden genauer in diesem Band als Diskussionsvorschlag (Egerer & Banerji, 2024) vorgestellt.

Konzeption der Fortbildung

Besonderer Wert wurde in diesem Fortbildungsangebot auf Modularität gelegt, um Landesinstituten und anderen Fortbildungseinrichtungen ein adäquates Angebot bereitzustellen, welches in den jeweiligen Organisationsstrukturen umsetzbar ist. Die Formate zum Thema PPT-Animationen erstrecken sich von einem einstündigen online-Kurs über drei- bis vierstündige Präsenz-Formate bis hin zu ganztägigen Veranstaltungen. Exemplarisch wird im Folgenden das ganztägige Format vorgestellt.

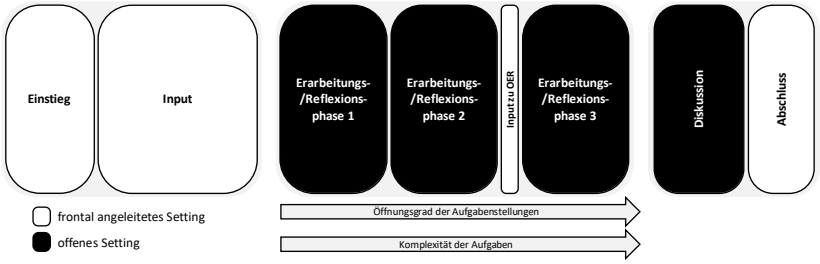


Abbildung 1: Übersicht über das Fortbildungskonzept

Jeweils am Anfang und am Ende der Fortbildung wird eine Erhebung durchgeführt, die beispielsweise Vorerfahrungen und die Akzeptanz der verwendeten Tools erfasst. Dabei wurde unter anderem das UTAUT-Modell (Šumak & Šorgo, 2016) angewendet. Genauere Informationen finden Sie in einem weiteren Beitrag (Bernholt et al., 2024) dieses Bandes. Nach einem alltags- und praxisorientierten Einstieg und einer kurzen Begrüßungsrunde werden die oben genannten Inhalte in Form eines Inputs den Teilnehmenden nähergebracht. Dabei werden konkrete Unterrichtsbeispiele und aktivierende Aufgabenstellungen eingesetzt. Darauf folgen drei Erarbeitungsphasen mit anschließenden Reflexionsphasen. Dabei nimmt mit dem Verlauf der Fortbildung die Öffnung und Komplexität der Aufgabenstellungen zu. Außerdem durchlaufen die Teilnehmenden einen Wechsel vom unreflektierten Benutzen (use) hin zur reflektierten Erstellung von Animationen (produce).

Erarbeitungsphase 1: „Bohrsches Atommodell - Flammenfärbung“

In dieser Phase wird mithilfe einer geschlossenen Aufgabenstellung eine Animation mit der PPT-Funktion „Pfadanimation“ erstellt, die eine Erklärungsgrundlage für die Flammenfärbung durch Alkalimetalle im Anfangsunterricht bilden soll. Da das Kompetenzniveau der

Lehrkräfte für den Gebrauch digitaler Medien sehr heterogen ist (vgl. Vodafone Stiftung Deutschland gGmbH, 2022), wurde die Arbeitsphase in drei Niveaustufen differenziert mit zusätzlichen Aufgaben für besonders Erfahrene. Zur Unterstützung werden PPT-Vorlagen, Anleitungen und Videos zur Verfügung gestellt.

Erarbeitungsphase 2: „Substitutionsreaktion von Ethan und Chlor"
An dieser Stelle wird auf eine andere Arbeitstechnik zur Animationserstellung gesetzt. Die PPT-Funktion „Morphen" ist in der Lage, Änderungen der Position, Größe und Farbe von Objekten zwischen zwei Folien zu animieren. Mithilfe dieser Funktion und einer PPT-Vorlage soll weitestgehend selbstständig der Mechanismus der radikalischen Substitution animiert werden. Eine interaktive PPT-Datei, die sich an digitalen Experimentieranleitungen (DEANs) orientiert (Forster et al., 2023), dient zur individuellen Unterstützung bei fachwissenschaftlichen und technischen Fragen.

Erarbeitungsphase 3: „selbstgewähltes Unterrichtsbeispiel"
Im Anschluss findet ein kurzer Input zu den Merkmalen von OER-Materialien statt, die im Folgenden auf ein selbstgewähltes Unterrichtsbeispiel angewendet werden sollen. Dabei ist es das Ziel, die erlernten Arbeitstechniken „Pfadanimation" und „Morphen" sinnstiftend miteinander zu verknüpfen. Am Ende werden die Materialien (nach einer internen Sichtung) in einer Animationsbibliothek veröffentlicht. Nach einer Diskussion über den Nutzen und die Hürden für den Einsatz von PPT als Animationstool werden die Teilnehmenden verabschiedet.

Erste exemplarische Ergebnisse der Pilotierungen
Diese Fortbildung wurde bereits an der Universität Potsdam mit Studierenden des Masterstudiengangs Lehramt Chemie, Lehramtsstudierenden des Fachs Chemie der Universität Ulm und Lehrkräften aus Schleswig-Holstein (N=12) in halbtägigen Formaten pilotiert. In letzterer wurde die Einfachheit in der Bedienung von PPT als Animationstool auf einer Skala von 1-sehr komplex bis 5-sehr einfach und der wahrgenommene Nutzen von 1-sehr gering bis 5-sehr hoch vor und nach der Fortbildung eingeschätzt (vgl. Jockisch, 2010). Der Skalenmittelwert der Einfachheit der Bedienung stieg von der Pre- (M=2,16; SD=0,89) zur Post-Erhebung um 0,92 (M=3,08; SD=0,64). Jedoch sank der Skalenmittelwert bezüglich des wahrgenommenen Nutzens von der Pre- (M=4,00; SD=0,70) zur Post-Erhebung (M=3,50; SD=1,18). Zwar kann an dieser Stelle vermutet werden, dass durch eine geeignete Einführung in das Tool PowerPoint zur Animationserstellung erste Hürden bezüglich der Bedienbarkeit abgebaut wurden, jedoch wurde der Nutzen von den Lehrkräften für den eigenen Unterricht zu Beginn tendenziell überschätzt. Aufgrund der geringen Stichprobe und des dazu im Widerspruch stehenden sehr guten Feedbacks sind genauere Untersuchungen notwendig.

Ausblick
Im Verlauf des Jahres 2024 und 2025 sind weitere Durchführungen der Fortbildung in München und Potsdam in ganztägigen Präsenzformaten und eine online-Fortbildung für Lehrkräfte in Hamburg geplant. Dabei werden weitere Daten erhoben, die dazu beitragen sollen, das Fortbildungskonzept zu überarbeiten und zu evaluieren.

Literatur

Banerji, A. (2017). Gestaltung digitaler Lernumgebungen mit PowerPoint und PREZI: Ein Praxisbericht aus der Lehrerausbildung. *CHEMKON*, *24*(2), 69–72. https://doi.org/10.1002/ckon.201710296

Barke, G. und K. S. und M. A., Hans-Dieter und Harsch. (2018). *Chemiedidaktik kompakt*. Springer-Verlag.

Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2018). *Neurowissenschaften: Ein grundlegendes Lehrbuch für Biologie, Medizin und Psychologie* (A. K. Engel, Hrsg.; A. Held & M. Niehaus, Übers.; 4. Auflage). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57263-4

Bernholt, S., Diermann, D., Egerer, C., Flerlage, C., Lenzer, S., Banerji, A., Parchmann, I., & Koenen, J. (2024). Von der Fortbildung zur unterrichtlichen Nutzung. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor; Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung 2024 in Bochum*.

Blender Foundation. (o. J.). Blender.org—Home of the Blender project—Free and Open 3D Creation Software. *Blender.Org*. Abgerufen 9. April 2024, von https://www.blender.org/

Boucheix, J.-M., Lowe, R. K., Putri, D. K., & Groff, J. (2013). Cueing animations: Dynamic signaling aids information extraction and comprehension. *Learning and Instruction*, *25*, 71–84. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2012.11.005

Chang, D. (2002). Enhancing Learning Experience With Dynamic Animation. *2002 Annual Conference Proceedings*, 7.508.1-7.508.13. https://doi.org/10.18260/1-2--11333

Egerer, C., & Banerji, A. (2024). Theoriegeleitete Gestaltungskriterien zur Erstellung von Animationen für den CU. *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung 2024 in Bochum, Universität Duisburg-Essen.

Forster, K., Diermann, D., & Koenen, J. (2023). Entwicklung digitaler Experimentier-Assistenten für den Chemieunterricht. *GDCP*. https://gdcp-ev.de/wp-content/uploads/securepdfs/2023/09/Forster.pdf

Jockisch, M. (2010). Das Technologieakzeptanzmodell. In G. Bandow & H. H. Holzmüller (Hrsg.), *„Das ist gar kein Modell!“: Unterschiedliche Modelle und Modellierungen […]* (1. Auflage). Gabler Research.

Klapproth-Hildebrandt, I., Missal, Dr. S., Prüfer, Dr. S., Groot-Wilken, B., Hanisch, Dr. R., Heinemann, Dr. U., Kubina, Dr. C., Schweckendiek, Dr. U., & Veith, Prof. Dr. H. (2018). Ergebnisse des Projektes Qualitätsentwicklung in der Lehrkräftefortbildung—Teil 2. *Musterorientierungsrahmen für die Lehrkräftefortbildung*, *Heft 48*, 72. http://www.lehrerinnenfortbildung.de

KMK. (2019). Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften. *Beschluss der Kultusministerkonferenz*, 14. https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Standards-Lehrerbildung-Bildungswissenschaften.pdf

Lenzer, S., & Feser, M. S. (2024). PSY3:Lehrkräfteprofessionalisierung im Projektverbund DigiProMIN. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung 2024 in Bochum*.

Lipowsky, F., & Rzejak, D. (2021). *Fortbildungen für Lehrpersonen wirksam gestalten—Ein praxisorientierter und forschungsgestützter Leitfaden*. Bertelsmann Stiftung.

Lowe, R. K., & Schnotz, W. (2014). Animation Principles in Multimedia Learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2. Aufl., S. 513–546). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.026

Müsseler, J., & Rieger, M. (Hrsg.). (2017). *Allgemeine Psychologie*. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-53898-8

Schmohl, T. (2021). Situiertes Lernen. In *Handbuch Transdisziplinäre Didaktik* (Bd. 1, S. 301–312). IWD - Institut für Wissenschaftsdialog, Transcript.

Šumak, B., & Šorgo, A. (2016). The acceptance and use of interactive whiteboards among teachers: Differences in UTAUT determinants between pre- and post-adopters. *Computers in Human Behavior*, *64*, 602–620. https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.07.037

Vodafone Stiftung Deutschland gGmbH (Hrsg.). (2022). *IPSOS-Erhebung*. https://www.vodafone-stiftung.de/wp-content/uploads/2022/11/Digitale-Bildung-zwischen-Vision-und-Realitaet_IPSOS-Studie_2022_der-Vodafone-Stiftung-Deutschland.pdf

Wenzel, M., & Wilhelm, T. (2015). Erhebung zum Einsatz Neuer Medien bei Physik-Gymnasiallehrern. *Frühjahrstagung 2015*. Didaktik der Physik, Wuppertal.

Wu, H.-K., & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, *88*(3), 465–492. https://doi.org/10.1002/sce.10126

Stefanie Lenzer[1]
Carolin Flerlage[1]
Dominik Diermann[2]
Jenna Koenen[2]
Sascha Bernholt[1]
Ilka Parchmann[1]

[1]IPN Kiel
[2]Technische Universität München

Chemie im Kontext 2.0 – authentisch, motivierend und kollaborativ

Chemie im Kontext im digitalen Zeitalter

Kontexte wie Gesundheit, Energie und Klima sind für unser tägliches Leben von großer Bedeutung, da sie mit großen Herausforderungen verbunden sind. Obwohl die Chemie einen wichtigen Beitrag zur Bewältigung dieser Herausforderungen leisten kann, scheint die Wahrnehmung der Relevanz von Chemie im Alltag weiter abzunehmen. Um die Bedeutung von Chemie für unseren Alltag herauszustellen, ist kontextbasiertes Lernen ein etabliertes und effektives Konzept (Parchmann et al. 2006; Sevian, Dori & Parchmann, 2018). Kontextbasiertes Lernen kann das situationale Interesse und die intrinsische Motivation positiv beeinflussen (Bennett et al. 2007, van Vorst et al. 2015), indem es „das naturwissenschaftliche Lernen näher an das Leben und die Interessen der Schüler*innen heranbringt“ (eigene Übersetzung nach Pilot & Bulte, 2006a, S. 953-954). Bei diesem Konzept ist der Kontext „der rote Faden, entlang dessen sich die Untersuchung des betreffenden Themas entwickelt“ (eigene Übersetzung nach Nentwig et al., 2007, S. 1441). Die Lernenden arbeiten an Problemen und Aufgaben, die in direktem Zusammenhang mit diesem Kontext stehen, und werden sich dadurch des inhaltlichen Wissens bewusst, das für das Verständnis des betreffenden Themas nach dem „Need-to-know“-Prinzip erforderlich ist (Broman, Bernholt & Parchmann, 2018; Bulte et al., 2006). Aufgrund der empirischen Evidenz zur Wirksamkeit von kontextbasiertem Lernen, wurden in vielen Ländern konzeptionelle Rahmenwerke, Lehrpläne und Unterrichtsmaterialien in Anlehnung an dieses Konzept entwickelt (z. B. American Chemical Society, 2014; Demuth, Parchmann, & Ralle, 2006; Nentwig & Waddington, 2005; Shwartz, Dori, & Treagust, 2013).

Aufgrund der rasanten und grundlegenden Veränderungen des Lernens durch die Digitalisierung ist es jedoch notwendig, etablierte Konzepte wie das kontextbasierte Lernen zu hinterfragen. Ist dieses Konzept noch sinnvoll in einem Zeitalter...

- …in dem die Kommunikation und Informationsbeschaffung über wissenschaftliche Phänomene durch digitale und soziale Medien dominiert wird?
- …in der die Motivation und das Interesse an alltäglichen Aufgaben u.a. durch Gamification beeinflusst wird?
- …wo die Zusammenarbeit von verschiedenen Menschen aus der ganzen Welt möglich ist?

Aus der Perspektive der Autor*innen sind diese Fragen mit „ja“ zu beantworten. Allerdings sollte das Potenzial digitaler Medien und Technologien berücksichtigt und in weitere Konzeptualisierungen des kontextbasierten Lernens integriert werden. Der Einsatz digitaler Medien und Technologien kann z. B. dabei helfen, das kontextbasierte Lernen für Schüler*innen authentischer, motivierender und kollaborativer zu gestalten (Parchmann et al. 2023; Puentedura, 2013). Doch wie kann dies in der Unterrichtspraxis gelingen?

An dieser Stelle setzt die im Teilprojekt Chemie des Projektverbundes DigiProMIN entwickelte Fortbildung zum Thema „Chemie im Kontext 2.0“ an. Anhand von konkreten Beispielen zu Lehr-Lern-Materialien zum Kontext „Klima“ wird der Einsatz verschiedener Medien und Technologien für die vier Phasen von *Chemie im Kontext* (*ChiK*: 1. Begegnung, 2. Neugier und Planung, 3. Erarbeitung, 4. Vernetzung und Vertiefung; Parchmann et al. 2023) aufgezeigt, diskutiert und reflektiert. Leitfragen sind dabei z. B.: Wie kann die Förderung von Bewertungskompetenzen durch den Einbezug fachlicher Diskurse zum Treibhauseffekt in verschiedenen (sozialen) Medien authentischer werden? Dieser Beitrag gibt erste Einblicke in den Ablauf und exemplarische Materialien der Fortbildung.

Die Fortbildung „Chemie im Kontext 2.0“

In der Fortbildung besteht das übergeordnete Ziel, die Lehrkräfte für einen reflektierten Einsatz verschiedener digitaler Medien und Technologien beim kontextbasierten Chemielernen zu professionalisieren. Dafür werden die folgenden Lernziele adressiert:

- Die Lehrkräfte lernen durch OER-Beispielmaterialien zum Kontext „Klima“ verschiedene Medien und Technologien für die vier Phasen von *ChiK* kennen (LZ1).
- Die Lehrkräfte diskutieren anhand der Beispielmaterialien Potenziale und Einsatzszenarien verschiedener Medien und Technologien für kontextbasiertes Lernen (LZ2).
- Die Lehrkräfte skizzieren (LZ3) anhand der Beispielmaterialien eine Unterrichtseinheit und reflektieren (LZ4) diese.

Die Fortbildung wurde für ein drei Stunden Format in Präsenz entwickelt und in diesem Format auch bereits erfolgreich durchgeführt. Es folgt dem Prinzip des *Didaktischen Doppeldeckers*, sodass die Lehrkräfte für das Erreichen der Lernziele selbst die vier Phasen nach *ChiK* durchlaufen und die verschiedenen Medien und Technologien, die sie dafür später im Unterricht nutzen können, auch bereits in der Fortbildung nutzen. Wie diese vier Phasen konkret aussehen und welche Lernziele in der jeweiligen Phase adressiert werden sollen, wird nachfolgend skizziert.

In der *Begegnung(sphase)* geht es darum, zu diagnostizieren, welche Vorerfahrungen die Lehrkräfte mitbringen sowie sie kognitiv und motivational zu aktivieren (Parchmann et al. 2023). Nach dem Kennenlernen findet in einem Gruppengespräch zunächst ein Erfahrungsaustausch zur Planung und Durchführung von digital gestütztem, kontextbasiertem Chemieunterricht statt. Danach folgt jeweils ein kurzer theoretischer Input zu Klimabildung im digitalen Zeitalter (z. B. Pfeiffer et al. 2022) sowie zum Konzept *ChiK*. Es werden erste exemplarische OER-Beispielmaterialien zum Kontext „Klima“ vorgestellt (LZ1). Auch in der *Neugier- und Planung(sphase)* geht es um kognitive und motivationale Aktivierung jedoch auch um Strukturierung, das Finden eines roten Fadens und erste Planungen für die eigene Unterrichtseinheit (Parchmann et al. 2023). Dazu lernen die Lehrkräfte weitere OER-Beispielmaterialen zum Kontext „Klima“ kennen (LZ1). Sie diskutieren (LZ2) und reflektieren (LZ4) den Einsatz verschiedener Medien und Technologien für kontextbasierten Chemieunterricht sowohl basierend auf ihren eigenen Erfahrungen als auch anhand der Beispielmaterialen mithilfe der für die Fortbildung entwickelten *SAMR-ChiK-Matrix* (siehe Abb. 1). Diese Matrix verbindet die Phasen von *ChiK* mit verschiedenen Digitalisierungsgraden nach dem *SAMR*-Modell (Puentedura, 2006). Ausgehend von der Diskussion und Reflexion in der Gruppe fertigen die Lehrkräfte in Kleingruppen eine erste Skizze für eine Unterrichtseinheit an (LZ3).

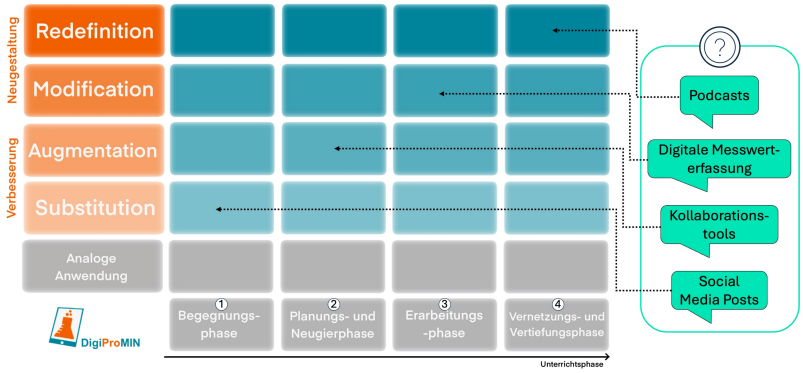


Abb. 1: SAMR-ChiK-Matrix mit exemplarischer Zuordnung verschiedener digitaler Medien und Technologien für den Einsatz beim kontextbasierten Lernen (eigene Darstellung)

In der *Erarbeitung(sphase)* der Fortbildung stehen ein gutes Lernklima und konstruktive Unterstützung im Vordergrund (Parchmann et al. 2023). Die Lehrkräfte können an verschiedenen digitalen Stationen (s. Abb. 2) weitere Beispielmaterialen für die vier Phasen zum Kontext „Klima“ erkunden (LZ1). Die Stationen enthalten neben den OER-Beispielmaterialien, die die Lehrkräfte nach der Fortbildung zur Verfügung gestellt bekommen und frei für ihren Unterricht anpassen können, auch Leitfäden zur eigenen Erstellung solcher Materialien. Nachdem die verschiedenen Materialien nach eigener Schwerpunktsetzung erkundet wurden, diskutieren und reflektieren (LZ2, LZ4) die Lehrkräfte ihre zuvor skizzierte Unterrichteinheit und überarbeiten diese nach Bedarf (LZ3).

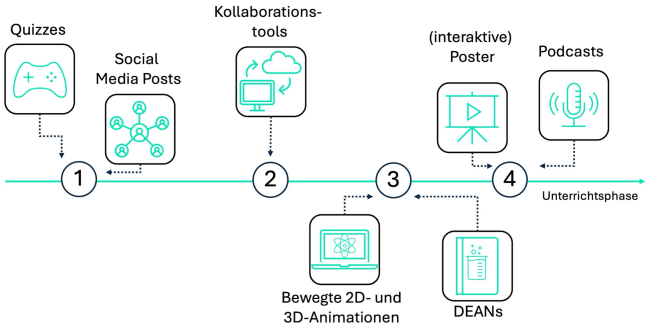


Abb.2: Überblick über die verschiedenen Stationen, die nach eigener Schwerpunktsetzung besucht werden können (eigene Darstellung)

In der *Vernetzung- und Vertiefung(sphase)* geht es vor allem um eine abschließende Diagnostik und Feedback aber auch darum, wie Inhalte der Fortbildung zukünftig genutzt werden können (Parchmann et al. 2023). Nach der Präsentation im Plenum erfolgen eine finale Diskussion und Reflexion der skizzierten Einheiten in der großen Gruppe (LZ2, LZ4). Außerdem wird eine Vernetzung mit anderen Themen, wie z. B. digital gestützter Diagnose (s. Flerlage et al., in diesem Band) thematisiert.

Um die Wirksamkeit bezüglich Technologieakzeptanz und Nutzung zu untersuchen, findet begleitend eine empirische Evaluation statt. Das Evaluationskonzept zu diesem und weiteren Fortbildungen im Teilprojekt Chemie wird im Beitrag von Bernholt et al. (in diesem Band) ausführlicher beschrieben.

Literatur

American Chemical Society. (2014). Chemistry in context: Applying chemistry to society (8th ed.). Boston: McGraw-Hill Higher Education.

Bennett, J., Lubben, F., & Hogarth, S. (2007). Bringing science to life: A synthesis of the research evidence on the effects of context-based and STS approaches to science teaching. *Science education*, *91*(3), 347-370.

Bernholt, S., Diermann, D., Egerer, C., Flerlage, C., Lenzer, S., Banerji, A., Parchmann, I., & Koenen, J. (in diesem Band). Von der Fortbildung zur unterrichtlichen Nutzung. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor.* Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung 2024. Universität Duisburg-Essen.

Broman, K., Bernholt, S., & Parchmann, I. (2018). Using model-based scaffolds to support students solving context-based chemistry problems. *International journal of science education*, *40*(10), 1176-1197. https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1470350

Bulte, A. M. W.,Westbroek, H. B., de Jong, O., & Pilot, A. (2006). A research approach to designing chemistry education using authentic practices as contexts. *International Journal of Science Education,* 28(9), 1063–1086.

Demuth, R., Parchmann, I., & Ralle, B. (Hrsg.). (2006). Chemie im Kontext – Kontexte, Medien, Basiskonzepte – Sekundarstufe II. Berlin: Cornelsen Verlag.

Flerlage, C., Lenzer, S., Diermann, D., Koenen, J., Parchmann, I. & Bernholt, S. (in diesem Band). Individuelle Lernverläufe im Chemieunterricht aufzeigen. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor.* Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung 2024. Universität Duisburg-Essen.

Nentwig, P., Demuth, R., Parchmann, I., Gräsel, C., & Ralle, B. (2007). Chemie im Kontext: Situated learning in relevant contexts while systematically developing basic chemical concepts. *Journal of Chemical Education*, 84(9), 1439–1444.

Nentwig, P., &Waddington, D. (Eds.). (2005). Making it relevant – context based learning of science. Münster: Waxmann.

Parchmann, I., & Wlotzka, P., Lossjew, J. (2023). Unterrichtsplanung im Kontext: Tipps und Hilfen für Lehrkräfte für die Diagnose und zur Planung kontextorientierter Unterrichtseinheiten. Unterricht Chemie, 2023(197), 13-18.

Parchmann, I., Gräsel, C., Baer, A., Nentwig, P., Demuth, R., & Ralle, B. (2006). "Chemie im Kontext": A symbiotic implementation of a context-based teaching and learning approach. *International journal of science education*, *28*(9), 1041-1062.

Pfeiffer, C., Lenzer, S., & Nehring, A. (2022). Klimabildung, die etwas bewegt: Was kann der Chemieunterricht zu einer wirksamen Klimabildung beitragen?. *Unterricht Chemie*, *2022*(191), 2-6.

Pilot, A., & Bulte, A. M. (2006a). Why do you "need to know"? Context-based education. *International Journal of Science Education*, 28(9), 953–956.

Puentedura, R. R. (2013, May 29). SAMR: Moving from enhancement to transformation [Web log post]. Retrieved from http://www.hippasus.com/rrpweblog/archives/000095.html [abgerufen am 11.10.2024]

Sevian, H., Dori, Y. J., & Parchmann, I. (2018). How does STEM context-based learning work: What we know and what we still do not know. *International Journal of Science Education*, *40*(10), 1095-1107. https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1470346

Shwartz, Y., Dori, Y. J., & Treagust, D. (2013). How to justify formal chemistry education, to outline its objectives and to assess them. In I. Eilks & A. Hofstein, (Eds.), Teaching chemistry – a studybook (pp. 37–66). Rotterdam: Sense Publishers.

van Vorst, H., Dorschu, A., Fechner, S., Kauertz, A., Krabbe, H., & Sumfleth, E. (2015). Charakterisierung und Strukturierung von Kontexten im naturwissenschaftlichen Unterricht–Vorschlag einer theoretischen Modellierung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *1*(21), 29-39.

Carolin Flerlage[1]
Stefanie Lenzer[1]
Jannik Lossjew[1]
Dominik Diermann[2]
Jenna Koenen[2]
Ilka Parchmann[1]
Sascha Bernholt[1]

[1]IPN Kiel
[2]TU München

Individuelle Lernverläufe im Chemieunterricht aufzeigen

Formative Diagnostik als Schlüssel zu individueller Förderung

Der Chemieunterricht stellt Lehrkräfte vor die anspruchsvolle Aufgabe, chemische Vorgänge auf verschiedenen Repräsentationsebenen zu vermitteln und dabei die individuellen Vorstellungen der Schüler*innen zu berücksichtigen. In diesem Zusammenhang spielt die frühzeitige Identifizierung von Lernschwierigkeiten eine entscheidende Rolle, da sie die Grundlage für gezielte individuelle Lernunterstützung bildet (Bernholt et al., 2020; Kubsch et al., 2022) und eine adaptive Gestaltung des Chemieunterrichts erst ermöglicht (Dumont, 2019). Besonders wichtig ist hierbei die formative Diagnostik, deren Ziel es ist, den Lernfortschritt und die Bedürfnisse der Lernenden im Unterrichtsprozess aufzuzeigen, anstatt den Lernerfolg am Ende summativ zu bewerten (Klieme & Warwas, 2011).
Es gibt viele Möglichkeiten formative Diagnostik anzuwenden und konzeptuell zu verstehen (vgl. Schütze et al., 2018). Neben strukturierten Tests und Quizfragen bieten sich beispielsweise Unterrichts- und Gruppengespräche, Peer-Feedback, Präsentationen und ähnliche Aktivitäten zur Lernstandskontrolle an (Köller, 2005; Schütze et al., 2018). Trotz vielfältiger Möglichkeiten sind in der Praxis Unterrichtsgespräche oft vorherrschend, da sie einfach umzusetzen sind. Allerdings liefern sie meist ein verzerrtes Bild der Lernstände und Lernprozesse der Lernenden. Denn zurückhaltende Schüler*innen kommen kaum zu Wort und sind dadurch unterrepräsentiert. Somit fehlen insbesondere Informationen zum Leistungsstand der „schweigenden Masse“ sowie die zeitlichen Lernverläufe, was einen vollständigen Überblick über die individuellen Lernstände erschwert. Formative Diagnostik soll dabei nicht der Benotung dienen, sondern vielmehr eine Orientierung an individuellen Bezugsnormen fördern, eine positive Fehlerkultur unterstützen (vgl. Nachtigall et al., 2020), die kognitiven und motivationalen Lernvoraussetzungen verbessern und die Selbstwirksamkeit der Lernenden stärken (Ochsen et al., 2023). In Papierform erfordert formative Diagnostik, z.B. in Form von Tests, jedoch die zeitaufwendige Korrektur durch die Lehrkraft, was den unmittelbaren Nutzen für den Unterrichtsalltag einschränkt, da Ergebnisse zeitversetzt vorliegen.

Das Potenzial von digital-gestützter Diagnose im Chemieunterricht

Die Digitalisierung bietet die Möglichkeit, neue unterstützende Technologien einzusetzen, um die Lernstände von Schüler*innen in Echtzeit zu erfassen, zu analysieren und sowohl für eine direkte Rückmeldung an die Lernenden als auch für die Anpassung des Unterrichts zu nutzen (Blossfeld et al., 2018; Faber et al., 2017). Dadurch kann die Digitalisierung von Aufgaben eine transformative Anwendung von Bildungstechnologien fördern (vgl. SAMR-Modell, Puentedura, 2013; Hamilton et al., 2016). Lehrkräfte können durch eine automatisierte Auswertung schon während der Unterrichtszeit wertvolle diagnostische Informationen

erhalten, unmittelbares Feedback geben und ihre Unterrichtsgestaltung gezielt anpassen (Faber et al., 2017). Somit wird das digitale formative Assessment perspektivisch zu einem vielversprechenden Element zur Unterstützung und professionellen Umsetzung von adaptivem Unterricht.
Allerdings reicht die bloße Verfügbarkeit einer digitalen Technologie zur formativen Echtzeit-Diagnostik nicht aus, um einen qualitativ hochwertigen und zielgerichteten Einsatz im Unterricht sicherzustellen. Einerseits erfordert die Erstellung und Auswahl geeigneter Aufgaben zur Leistungsdiagnostik ein hohes Maß an fachlicher und fachdidaktischer Expertise von den Lehrkräften (Südkamp et al., 2012). Andererseits muss Unterricht mit digitalen Medien sorgsam geplant und orchestriert werden (Dillenbourg, 2013; Scheiter, 2021). Aus diesem Grund gehen wir davon aus, dass es für Lehrkräftefortbildungen essentiell ist, exemplarische Unterrichtseinheiten und Anwendungsszenarien bereitzustellen und zu diskutieren. Auf diese Weise können die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten digitaler formativer Assessments erkannt und im Sinne eines didaktischen Methodenkoffers als Inspiration für mehr Individualisierung genutzt werden.

Konzeption des Fortbildungsmoduls „Digital-gestützte Diagnose“
Um das aufgezeigte Desiderat zu adressieren, wird im Rahmen des Teilprojekts DigiProMIN Chemie (s. Lenzer & Feser, in diesem Band) die Fortbildung „Digital-gestützte Diagnose“ als Teil eines modularen Fortbildungskonzepts entwickelt und erprobt. Diese Fortbildung bietet den Lehrkräften die Möglichkeit, die Einsatzpotenziale und Formate der digital-gestützten formativen Diagnostik kennenzulernen, gemeinsam zu diskutieren und selbst digital-gestützte Diagnoseformate zu erstellen. Dabei steht das Ziel im Fokus, die Lernverläufe der Schüler*innen sichtbar zu machen, damit die teilnehmenden Lehrkräfte ihren Chemieunterricht stärker adaptiv gestalten können.
Außerdem spielt die Praxisrelevanz eine große Rolle. So basiert das Modul auf einer exemplarischen Unterrichtssequenz zum Thema Reaktionsgeschwindigkeit, die in der Lernplattform Moodle implementiert ist (Lossjew & Bernholt, 2023).

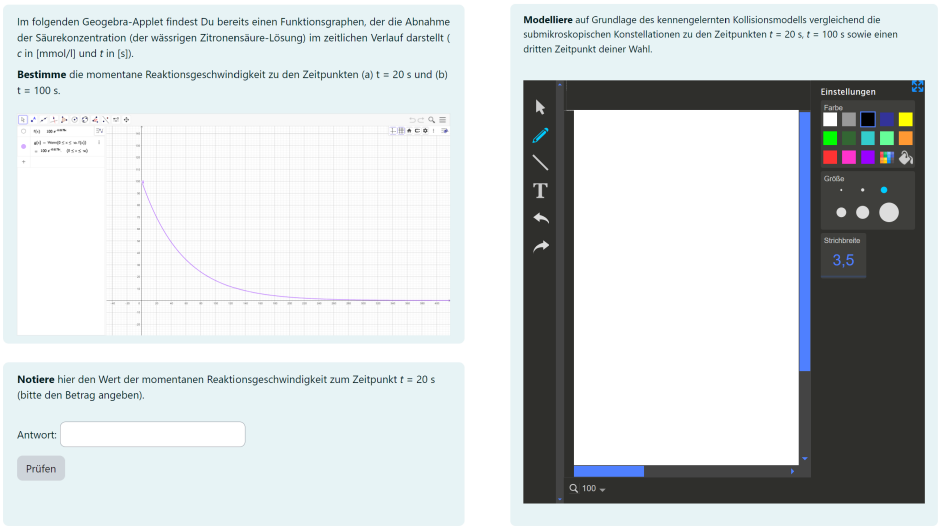


Abb. 1: Screenshots einer geschlossenen (links) und offen Aufgabe (rechts) aus dem eingesetzten Moodle-Kurs zum Thema Reaktionsgeschwindigkeit.

Diese Unterrichtssequenz bietet verschiedene geschlossene (z.B. Multiple Choice, Drag-and-Drop, numerische Eingabe) und offene Aufgabenformate (z.B. Freitext, Freizeichnen), die sich zur formativen Diagnose eignen (s. Abb. 1)[1]. Die Lehrkräfte erhalten so nicht nur einen direkten Einblick in die Einsatzmöglichkeiten digitaler Medien, sondern können die vorgestellten Methoden und Formate hinsichtlich der Passung zum Lernziel reflektieren und diskutieren. Gleichzeitig wird im Sinne des didaktischen Doppeldeckers ein Moodle-Kurs eingesetzt, um die teilnehmenden Lehrkräfte im Fortbildungsverlauf durch die Input- und Arbeitsphasen zu leiten und relevante Materialien bereitzustellen.
Die dreistündige Präsenz-Fortbildung ist in zwei Teile gegliedert. Zunächst erfolgt ein Austausch über die bisher von den Lehrkräften eingesetzten Diagnoseformate. Diese Reflexionsphase dient als Ausgangspunkt, um die Unterschiede zwischen summativer und formativer Diagnostik zu klären und die besonderen Herausforderungen der formativen Diagnostik zu diskutieren. Anhand der bereitgestellten Beispielsequenz wird anschließend gemeinsam überlegt, welche Aufgabenformate und Zeitpunkte für eine formative Diagnostik besonders geeignet sind. Diese Diskussion erfolgt aus fachlicher, fachdidaktischer und technischer Perspektive, um die Lehrkräfte für die verschiedenen Dimensionen der digital-gestützten Diagnose zu sensibilisieren.
Im zweiten Teil der Fortbildung steht die praxisorientierte Arbeit im Vordergrund. Die Teilnehmer*innen adaptieren die vorhandenen Diagnoseformate aus der Beispielsequenz und entwickeln eigene formative Aufgaben. Dabei geht es nicht nur um die technische Umsetzung in Moodle, sondern auch um die didaktische Einbettung der Diagnostik in den Unterrichtsverlauf. Die Lehrkräfte lernen, wie sie digitale Medien gewinnbringend einsetzen können, um den Lernprozess ihrer Schüler*innen besser zu verstehen und gezielt zu fördern.

Erste Rückmeldungen von Lehrkräften

Wie alle Module der Fortbildungsreihe wird auch diese Fortbildung durch eine Evaluation begleitet (s. Bernholt et al., in diesem Band). Dabei kommt ein gemeinsamer Fragebogen zum Einsatz, der auf der „Unified Theory of Acceptance and Use of Technology“ (vgl. Šumak & Šorgo, 2016) basiert und modulspezifisch angepasst wurde. In einer ersten Erprobung der Fortbildung berichteten Lehrkräfte im Anschluss eine erhöhte Motivation, sich mit digital-gestützter formativer Diagnostik auseinanderzusetzen. Dieses Feedback ist besonders erfreulich mit Blick auf die unterschiedlichen Lernmanagementsysteme, die an den Schulen eingesetzt wurden, sodass die Übungen in Moodle nicht unmittelbar übertragen werden konnten. Um die Fortbildung auch aus technischer Perspektive besser auf die Praxis der Lehrkräfte abzustimmen, sollte (wenn möglich) das entsprechend genutzte Lernmanagementsystem des jeweiligen Bundeslandes genutzt werden.
Die Fortbildung wird zukünftig in weiteren Bundesländern durchgeführt. Das Konzept und die Inhalte der Fortbildung werden im Sinne eines Design-Based-Research Ansatzes stetig weiterentwickelt und die Bedürfnisse und Wünsche der Lehrkräfte angepasst. Mittelfristig wird angestrebt, die Fortbildung in das Fortbildungsangebot der beteiligten Landesinstitute in Bayern, Brandenburg, Hamburg und Schleswig-Holstein zu implementieren.

[1] Bisher können vor allem geschlossene Aufgabenformate automatisiert ausgewertet werden. Der Einsatz von Künstlicher Intelligenz könnte jedoch künftig auch die schnelle Auswertung offener Aufgabenformate ermöglichen und direktes Feedback bieten.

Literatur

Bernholt, S., Höft, L., & Parchmann, I. (2020). Die Entwicklung fachlicher Basiskonzepte im Chemieunterricht–Findet ein kumulativer Aufbau im Kompetenzbereich Fachwissen statt?. Unterrichtswissenschaft, 48(1), 35–59.

Bernholt, S., Diermann, D., Egerer, C., Flerlage, C., Lenzer, S., Banerji, A., Parchmann, I., Koenen, J. (in diesem Band). Von der Fortbildung zur unterrichtlichen Nutzung. In H. van Vorst (Hrsg.), Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor. GDCP, Jahrestagung 2024. Universität Duisburg-Essen.

Blossfeld, H.-P., Bos, W., Daniel, H.-D., Hannover, B., Köller, O., Lenzen, D., McElvany, N., Roßbach, H.-G., Seidel, T., Tippelt, R. & Wößmann, L. (2018). Digitale Souveränität und Bildung. Gutachten. Münster: Waxmann

Dillenbourg, P. (2013). Design for classroom orchestration. Computers and Education, 69, 485–492. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.04.013

Dumont, H. (2019). Neuer Schlauch für alten Wein? Eine konzeptuelle Betrachtung von individueller Förderung im Unterricht. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 22(2), 249–277.

Faber, J. M., Luyten, H., & Visscher, A. J. (2017). The effects of a digital formative assessment tool on mathematics achievement and student motivation: Results of a randomized ex-periment. Computers & Education, 106, 83–96.

Hamilton, E. R., Rosenberg, J. M., & Akcaoglu, M. (2016). The substitution augmentation modification redefinition (SAMR) model: A critical review and suggestions for its use. TechTrends, 60(5), 433-441.

Lossjew, J. & Bernholt, S. (2023). Von Zahlen zu Erkenntnissen: Analyse reaktionskinetischer Daten im Chemieunterricht mit GeoGebra. *MNU-Journal*, *76*(4), 334-341.

Klieme, E., & Warwas, J. (2011). Konzepte der individuellen Förderung. Zeitschrift für Pädagogik, 57, 805–818.

Köller, O. (2005). Formative assessment in classrooms: a review of the empirical German literature. In OECD (Ed.), Formative assessment: Improving learning in secondary classrooms (pp. 265–279). Paris: OECD.

Kubsch, M., Czinczel, B., Lossjew, J., Wyrwich, T., Bednorz, D., Bernholt, S., Fiedler, D., Strauss, S., Cress, U., Drachsler, H., Neumann, K. & Rummel, N. (2022). Toward learning progression analytics—Developing learning environments for the automated analysis of learning using evidence centered design. In Frontiers in Education (p. 605). Frontiers.

Lenzer, S., & Feser, M. S. (in diesem Band). PSY3: Lehrkräfteprofessionalisierung im Projektverbund DigiProMIN. In H. van Vorst (Hrsg.), Lernen, lehren und forschen im Schülerlabor. GDCP, Jahrestagung 2024. Universität Duisburg-Essen.

Nachtigall, V., Serova, K., & Rummel, N. (2020). When failure fails to be productive: Probing the effectiveness of productive failure for learning beyond STEM domains. Instructional Science, 48(6), 651-697.

Ochsen, S., Bernholt, A., Grund, S., & Bernholt, S. (2023). Interestingness is in the eye of the beholder–the impact of formative assessment on students' situational interest in chemistry classrooms. *International Journal of Science Education*, *45*(5), 383-404.

Puentedura, R. R. (2013, May 29). SAMR: Moving from enhancement to transformation [Web log post]. Retrieved from http://www.hippasus.com/rrpweblog/archives/000095.html

Schütze, B., Souvignier, E., & Hasselhorn, M. (2018). Stichwort–Formatives Assessment. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 21(4), 697-715.

Scheiter, K. (2021). Lernen und Lehren mit digitalen Medien: Eine Standortbestimmung. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 24(5), 1039–1060. https://doi.org/10.1007/s11618-021-01047-y

Šumak, B., & Šorgo, A. (2016). The acceptance and use of interactive whiteboards among teachers: Differences in UTAUT determinants between pre-and post-adopters. Computers in Human Behavior, 64, 602-620.

Südkamp, A., Kaiser, J. & Möller, J. (2012). Accuracy of teachers' judgments of students' academic achievement: A meta-analysis. Journal of Educational Psychology, 104(3), 743–762.

Sascha Bernholt[1]
Dominik Diermann[2]
Constantin Egerer[3]
Carolin Flerlage[1]
Stefanie Lenzer[1]
Amitabh Banerji[3]
Ilka Parchmann[1]
Jenna Koenen[2]

[1]IPN Kiel
[2]Technische Universität München
[3]Universität Potsdam

Von der Fortbildung zur unterrichtlichen Nutzung: Evaluation der Lehrkräftefortbildungen im Teilprojekt Chemie von DigiProMIN

Theoretische Grundlagen der Evaluationsstrategie: Wissen erwerben, Handeln erproben & Erfahrungen reflektieren

Mit der Digitalisierung im schulischen Bildungssystem wird u.a. die Erwartung verbunden, schulische Lernprozesse zu unterstützen und zu verbessern (Blossfeld et al., 2018). Das Potenzial digitaler Medien liegt dabei bspw. in der Bereitstellung eines multiperspektivischen Informationsangebots, der Darstellung fachlicher Konzepte durch multiple Repräsentationen oder der Ermöglichung selbstgesteuerter oder kooperativer Lernprozesse (KMK, 2021). Der erwartete Mehrwert eines Einsatzes digitaler Medien wird dabei auch durch empirische Befunde gestützt, sei es übergreifend mit Blick auf positive Effekte auf den Lernzuwachs von Schüler*innen, durch die Nutzung computerbasierter Lernmedien (Chauhan, 2017) oder durch spezifische Anwendungen (bspw. dynamische Visualisierungen: Ploetzner et al., 2020; tutorielle Systeme: Ma et al., 2014; kollaborative Lernszenarien: Chen et al., 2018).

Allerdings sind digitale Medien nicht per se lernförderlich, sondern ihr Einsatz stellt in erster Linie ein Potenzial dar (Blundell et al., 2016). Lernwirksamer digital-gestützter Unterricht und damit die Einlösung des erwarteten lernförderlichen Potenzials digitaler Medien setzt zum einen professionelle Kompetenzen auf Seiten der Lehrkräfte voraus (Starkey, 2020). Diese Kompetenzen umfassen technisches Wissen zur Nutzung der jeweiligen digitalen Medien, aber auch pädagogisches, diagnostisches und fachliches Wissen, um digitale Medien lernförderlich im Unterricht einsetzen zu können (Mishra, 2019). Zum anderen setzen die Entwicklung und Umsetzung lernwirksamer digital-gestützter Unterrichtsangebote auch förderliche motivationale Orientierungen und Werthaltungen auf Seiten der Lehrkräfte voraus, z. B. positive Überzeugungen hinsichtlich der Nützlichkeit digitaler Medien für unterrichtliche Lehr-Lernprozesse (Bürger et al., 2021). Beide Aspekte, d.h. professionelle Kompetenzen als auch motivationale Orientierungen und Werthaltungen, beeinflussen letztlich die Bereitschaft von Lehrkräften, digitale Medien und Technologien im Unterricht zu nutzen (Schulze-Vorberg et al., 2021; Vogelsang et al., 2019).

Damit diese vielschichtigen Kompetenzen von Lehrkräften erworben und umgesetzt werden können, bedarf es spezifischer Fortbildungsangebote. Die Fortbildungen des Teilprojekts Chemie in DigiProMIN zielen darauf ab, die professionellen Kompetenzen, aber insbesondere auch die Nutzungsintentionen von Lehrkräften zum Einsatz digitaler Medien im Unterricht zu adressieren (Desimone, 2009). Dabei werden in den Modulen unterschiedliche Foki gesetzt. Das Orientierungsmodul (Parchmann et al., in diesem Band) zielt darauf ab Lehrkräfte dabei zu unterstützen, passende digitale Medien für den Chemieunterricht theoriegeleitet

auszuwählen und gezielt den Mehrwert des Einsatzes digitaler (oder auch nicht-digitaler) Medien für den Lernprozess der Schüler*innen zu reflektieren. Die Fortbildung „Chemie im Kontext 2.0“ (Lenzer et al., in diesem Band) soll Lehrkräfte für einen reflektierten Einsatz verschiedener digitaler Medien und Technologien beim kontextbasierten Chemie-lernen professionalisieren. Während in diesen beiden Fortbildungen eher eine Vielfalt digitaler Medien und entsprechend Auswahl- und Einsatzkriterien im Vordergrund stehen, fokussieren die weiteren Fortbildungsangebote auf spezifische digitale Medien und deren Einsatz im Unterricht. Dabei geht es um die Erstellung und Nutzung von digitalen Animationen mittels PowerPoint (Egerer et al., in diesem Band), von digitalen Experimentierassistenten zur Unterstützung der Lernenden (Diermann et al., in diesem Band) oder von digitalen Tools zur Lernverlaufsdiagnostik (Flerlage et al., in diesem Band). Übergreifend folgt der Aufbau der Fortbildungen den Teilschritten des *Cognitive Apprenticeship*-Ansatzes (Collins et al., 1991), um das fachdidaktische Wissen der Lehrkräfte zu Umsetzungsformen und lernförderlichen Einbettungen der jeweils thematisierten digitalen Medien zu erweitern (Lipowsky & Rzejak, 2021). Diese Teilschritte umfassen die Verknüpfung von Input-, Erprobungs- und Reflexionsphasen (Abb. 1), die darauf abzielen, dass Lehrkräfte zum einen Wissen erwerben, die Nutzung digitaler Medien aber auch durch eigenes aktives Handeln erproben und die dabei gemachten Erfahrungen reflektieren (Schulze-Vorberg et al. 2021). Die Lernprozesse und Erfahrungen der an den Fortbildungen teilnehmenden Lehrpersonen werden dabei durch Rückmeldungen, konkrete Unterrichtsbeispiele und weiterführende Anregungen unterstützt (Collins et al., 1991; Lipowsky & Rzejak, 2021). Die systematische Verzahnung und praxisnahe Ausgestaltung soll dabei letztlich vor allem die Nutzungsintention auf Seiten der Lehrkräfte fördern, die in der jeweiligen Fortbildung thematisierten und erarbeiteten Ansätze nachfolgend auch im Unterricht einzusetzen. Nur dadurch kann letztlich die Möglichkeit entstehen, die eigene Unterrichtspraxis hinsichtlich des Einsatzes digitaler Medien zu reflektieren und (schrittweise) weiterzuentwickeln (Desimone, 2009).

Abb.1: Schematischer Ablauf der Fortbildungsmodule in Anlehnung an Teilschritte des Cognitive Apprenticeship-Ansatzes (Collins et al., 1991)

Evaluationskonzept der Fortbildungsmodule als embedded assessment

Da eine hohe Nutzungsintention zum Einsatz digitaler Medien und Technologien im Unterricht das zentrale Anliegen der Fortbildungen darstellt, basiert das Evaluationskonzept auf der *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology* (UTAUT; Šumak & Šorgo, 2016), einer Erweiterung des *Technology Acceptance Model* (Davis et al., 1989). Das UTAUT-Modell differenziert Einflussfaktoren, die den erwarteten Mehrwert, die erwartete Nutzbarkeit sowie die Nutzungsintention von digitalen Technologien beeinflussen. Das Modell wurde für die Nutzung digitaler Medien von Lehrkräften im Unterricht adaptiert und der Technologiefokus auf die in den jeweiligen Fortbildungen thematisierten digitalen Medien bezogen. Darüber hinaus wurden Personenmerkmale berücksichtigt, die sich in anderen Untersuchungen ebenfalls als prädiktiv für die Nutzungsintention von digitalen Medien durch Lehrkräfte herausgestellt haben, bspw. die Selbstwirksamkeitserwartung (Joo et al., 2018;

Schulze-Vorberg et al., 2021) oder die motivationale Orientierung zum Einsatz digitaler Medien im Unterricht (Vogelsang et al., 2019), sowie einzelne demografische Angaben (Alter, Geschlecht, Unterrichtsfächer, Schulform, Lehrerfahrung; vgl. Abb. 2).
Um die begrenzte Fortbildungszeit nicht durch umfangreiche Begleiterhebungen zu belegen, wurde die Evaluation im Sinne eines *embedded assessments* (Youngs & Bird, 2010) in die Teilschritte der Module integriert. So wurden zu Beginn Vorerfahrungen der Lehrkräfte gesammelt (Phase (1) in Abb. 1/Abb. 2) und diese in der Fortbildung thematisiert. Nach einer Einführung auf Basis von theoriebezogenen Inhalten und konkreten Umsetzungsbeispielen wurde eine Einschätzung der eigenen Fähigkeiten, des Mehrwerts sowie notwendiger organisatorischer Rahmenbedingungen bezogen auf einen unterrichtlichen Einsatz erfragt (2). Auf die eigene Erprobung und angeleitete Entwicklung erfolgte schließlich eine Einschätzung der Nutzbarkeit und der Nutzungsintention (3), eine abschließende Bewertung der eigenen Selbstwirksamkeitserwartung sowie eine Gesamtevaluation des Fortbildungsmoduls (4). Als Follow-up Befragung ist eine Erfragung der tatsächlichen Nutzung der thematisierten digitalen Medien im Unterricht, eine aktualisierte Nutzungsintention für den (weiteren) zukünftigen Einsatz sowie ggf. Hinderungsgründe für eine Nichtnutzung vorgesehen (5).

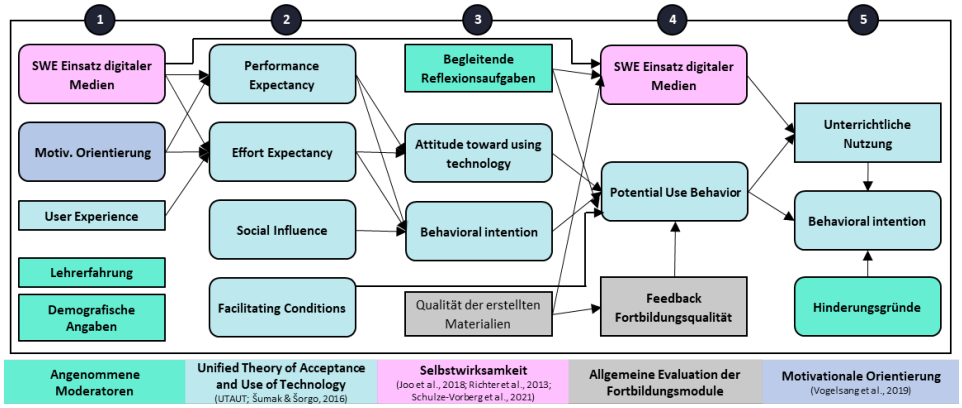


Abb. 2: Heuristisches Modell angenommener Wirkungsketten auf Basis der ergänzten Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (Šumak & Šorgo, 2016)

Erste Erkenntnisse

Das Evaluationskonzept wurde als digitale Befragung umgesetzt und bisher in mehreren Durchführungen der einzelnen Fortbildungen erfolgreich eingesetzt. Die Rückmeldungen der Lehrkräfte zur Integration der Befragung in die Fortbildung und zu deren Umfang waren dabei sehr positiv. Erste Analysen deuten zudem daraufhin, dass die im heuristischen Modell vorgesehenen Skalen gute bis sehr gute Reliabilitäten aufweisen. Die für inhaltliche Analysen notwendigen Stichproben werden aktuell durch weitere Durchführungen der Fortbildungen in den Bundesländern Bayern, Brandenburg, Hamburg und Schleswig-Holstein vergrößert. Die Auswertung zielt zum einen auf eine Analyse der auf Basis bisheriger empirischer Arbeiten zum UTAUT-Modell erwarteten Zusammenhänge zwischen den erhobenen Variablen, zum anderen aber auch im Sinne eines *Design-based Resarch*-Ansatzes auf die Ableitungen von Aspekten, die in der bisherigen Umsetzung der Fortbildung weiter optimiert werden können, um die Nutzungsintention der Lehrkräfte bezüglich der jeweils thematisierten digitalen Medien und Technologien noch gezielter zu fördern.

Literatur

Blossfeld, H.-P., Bos, W., Daniel, H.-D., Hannover, B., Köller, O., Lenzen, D., McElvany, N., Roßbach, H.-G., Seidel, T., Tippelt, R. & Wößmann, L. (2018). *Digitale Souveränität und Bildung*. Gutachten. Münster: Waxmann

Blundell, C., Lee, K.-T., & Nykvist, S. (2016) Digital learning in schools: Conceptualizing the challenges and influences on teacher practice. *Journal of Information Technology Education:Research*, *15*, 535-560

Bürger, N., Haselmann, S., Baumgart, J., Prinz, G., Girnat, B., Meisert, A., ... & Wecker, C. (2021). Beyond professional knowledge: A systematic literature review on motivation-related factors influencing the use of digital technology in teaching. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *24*, 1087-1112.

Chauhan, S. (2017). A meta-analysis of the impact of technology on learning effectiveness of elementary students. *Computers & Education*, *105*, 14-30.

Chen, J., Wang, M., Kirschner, P. A., & Tsai, C. C. (2018). The role of collaboration, computer use, learning environments, and supporting strategies in CSCL: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, *88*(6), 799-843.

Collins, A., Brown, J. S., & Holum, A. (1991). Cognitive apprenticeship: Making thinking visible. *American educator*, *15*(3), 6-11.

Davis, F. D., Bagozzi, R. P. & Warshaw, P. R. (1989). User Acceptance of Computer Technology. A Comparison of Two Theoretical Models. *Management Science, 35* (8), 982–1003.

Desimone, L. M. (2009). Improving impact studies of teachers' professional development: Toward better conceptualizations and measures. *Educational Researcher*, *38*(3), 181-199.

Joo, Y. J., Park, S., & Lim, E. (2018). Factors influencing preservice teachers' intention to use technology: TPACK, teacher self-efficacy, and technology acceptance model. *Journal of Educational Technology & Society*, *21*(3), 48–59.

Kultusministerkonferenz (2021). Lehren und Lernen in der digitalen Welt. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2021/2021_12_09-Lehren-und-Lernen-Digi.pdf. Letzter Zugriff: 23.10.2024.

Lipowsky, F. & Rzejak, D. (2021). *Fortbildungen für Lehrpersonen wirksam gestalten Ein praxisorientierter und forschungsgestützter Leitfaden*. Gütersloh: Bertelsmann Stiftung.

Ma, W., Adesope, O. O., Nesbit, J. C., & Liu, Q. (2014). Intelligent tutoring systems and learning outcomes: A meta-analysis. *Journal of Educational Psychology*, *106*(4), 901.

Mishra, P. (2019). Considering Contextual Knowledge: The TPACK Diagram Gets an Upgrade. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, *35*(2), 76-78.

Ploetzner, R., Berney, S., & Bétrancourt, M. (2020). A review of learning demands in instructional animations: The educational effectiveness of animations unfolds if the features of change need to be learned. *Journal of Computer Assisted Learning*, *36*(6), 838-860.

Schulze-Vorberg, L., Krille, C., Fabriz, S., Horz, H. (2021). Hinweise und Empfehlungen für die Konzeption von Lehrkräftefortbildungen zu digitalen Medien. *Zeitschrift für Erziehungswissemschaft. 24*, 1113–1142

Starkey, L. (2020). A review of research exploring teacher preparation for the digital age. *Cambridge Journal of Education*, *50*(1), 37-56.

Šumak, B., & Šorgo, A. (2016). The acceptance and use of interactive whiteboards among teachers: Differences in UTAUT determinants between pre-and post-adopters. *Computers in Human Behavior*, *64*, 602-620.

Vogelsang, C., Finger, A., Laumann, D., & Thyssen, C. (2019). Vorerfahrungen, Einstellungen und motivationale Orientierungen als mögliche Einflussfaktoren auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *25*, 115-29.

Youngs, P., & Bird, T. (2010). Using embedded assessments to promote pedagogical reasoning among secondary teaching candidates. *Teaching and Teacher Education*, *26*(2), 185-198.

Melanie Ripsam[1]
Claudia Nerdel[1]
Lea Brückner[2]
Ilka Parchmann[2]
Jessica Maier[3]
Mirjam Steffensky[3]

[1]Technische Universität München
[2]IPN - Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik
[3]Universität Hamburg

Fortbildung zum fächer- und lernorteübergreifenden Unterrichten mit digitalen Medien

Theoretischer Hintergrund

Seit Jahren nimmt sich die Unterrichtsforschung der Schwierigkeiten hinsichtlich des Lehrens und Lernens im MIN-Bereich an. Die Lücke an erfolgreich eingesetzten Unterrichtskonzepten, bei denen das Wissen aus den naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern auf reale Problemsituationen transferiert wird, ist noch groß (Huntemann et al. 1999). Kontextorientiertes Lernen zielt darauf ab, interdisziplinäre, authentische Lehr- und Lernumgebungen zu konstruieren, die Anknüpfungspunkte zur Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Phänomenen demonstrieren (Bessenrodt 2007). Themen wie „Wasserstoff-/E-autos“ oder „Gentechnisch veränderte Lebensmittel“ sind in unserem Alltag allgegenwärtig. Entsprechend muss die Wichtigkeit von Naturwissenschaften im alltäglichen Leben einschließlich ihrer Gesellschaftsrelevanz in Schule und Unterricht gezielt thematisiert werden. Auf diese Weise erhalten Lernende einen Zugang zu diversen Berufsfeldern, welche naturwissenschaftliche Kompetenzen voraussetzen (Parchmann et al. 2007; Nerdel 2017). Lehrpersonen stehen vor der Herausforderung, interessante Kontexte auszuwählen und mit den Basiskonzepten in Relation zu setzen, damit zusammenhängende Begriffe oder Theorien herausgefiltert und in einer fächerübergreifenden Unterrichtsplanung berücksichtigt werden können (Demuth et. al 2008). Aktive, konstruktive, zielgerichtete, situierte und sozial eingebundene Lernprozesse können durch das *Forschende Lernen* initiiert werden (Reinmann-Rothmeier & Mandl 2001; Scholkmann 2016). Unter Forschendem Lernen wird eine konkrete Lernaktivität verstanden, die den Lernenden ermutigt, in Form eines wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses Verständnis über naturwissenschaftliche Inhalte sowie (Erkenntnis-) Methoden aufzubauen (Otto et al. 2023). Hierfür zeigen sich Lehr-Lern-Labore im Erkenntnisgewinnungsprozess unterstützend, da sie in zyklischen und miteinander verbunden Phasen Wechsel zwischen Theorie und Praxis bieten (Roth & Priemer 2020; Glocker et al. 2023). Insbesondere digitale Medien können das kontextorientierte Forschende Lernen gewinnbringend unterstützen, wenn diese als Lehr- und Lernwerkzeuge gezielt implementiert werden (Nerdel & Kotzebue 2020). Die Befunde der fach- und mediendidaktischen Lehr-Lernforschung belegen das Potential digitaler Medien für das Lehren und Lehren im MIN-Unterricht (z.B. Hillmayr et al. 2020). Darüber hinaus besitzen sie das große Potential, den Lernort Schule mit außerschulischen MIN-Lernorten zu verbinden. Entsprechend müssen (angehende) Lehrkräfte an der Schnittstelle von fachdidaktischem und technologischem Wissen mediendidaktische Kompetenzen zur Vervollständigung ihres Professionswissens erwerben (Digitaler Campus Bayern 2017). Der DigCompEdu-Kompetenzrahmen für Lehrkräfte gliedert sich in sechs fachunabhängige Kompetenzbereiche mit 22 Teilkompetenzen (Redecker 2017). Lehrkräfte sollten die Fähigkeit besitzen, anregende Lernumgebungen in den Unterricht zu implementieren, die digitale Innovationen im Forschungs- und Berufskontext behandeln und sich digitale Werkzeuge für die Unterrichtsgestal-

tung zu Nutze machen. Daher sollten digitale Medien und ihre technischen Erneuerungen stärker in die fachspezifische Lehrkräftebildung und –fortbildung integriert werden (Digitaler Campus Bayern 2017). Laut Henne et al. (2021) werden die Einsatzmöglichkeiten digitaler Medien, u.a. im experimentellen Kontext, im Unterricht aktuell kaum ausgeschöpft (Drossel et al. 2019). Das Potential innovativer Technologien für das Forschende Lernen wird nur mäßig ausgenutzt und beschränkt sich auf einen vergleichsweise einfachen Unterrichtseinsatz im Sinne niederschwelliger Anwendungen (z.B. PDF-Erstellen).

Ziele und wissenschaftliche Fragestellungen

Es wird eine fächer- und lernortübergreifende Lehrkräftefortbildung initiiert, die geeignete Kontexte (z.B. Ernährung) horizontal und vertikal über die Schullaufbahn thematisiert und die Möglichkeiten digitaler Werkzeuge zur Kompetenzförderung fokussiert. Mit dem Ziel die MIN-Fortbildung zu evaluieren, werden folgende Fragestellungen untersucht:

FF1: Inwiefern fördert die Fortbildung das technologiebezogene Professionswissen von MIN-Lehrkräften?

FF2: Wie schätzen die Lehrkräfte die Wirksamkeit der Fortbildungsreihe diesbezüglich ein?

Methodik

Gestaltung der Fortbildung. Das Fortbildungskonzept[1] stützt sich auf einem Basismodul zum digital gestützten fächerverbindenden Lernen an ausgewählten MIN-Kontexten (z.B. Gärung) und einem (bis zwei) weiteren Vertiefungsmodul(en) zum digital gestützten fächerverbindenden Lernen in den Sekundarstufen mit dem Fokus auf Berufseinblicken, Potentialen außerschulischer Lernorte für die digitale Transformation in den Naturwissenschaften. Der DigCompEdu-Referenzrahmen bildet in Hinblick auf die konzeptionelle Umsetzung und Evaluation die Basis für die Fortbildung. Ferner werden die Lehrkräfte, orientiert an der „symbiotischen Implementierungsstrategie“ (Gräsel & Parchmann 2004), in den Prozess der Konzeptentwicklung und –umsetzung einbezogen. Zur Erweiterung ihres Professionswissens richtet sich das Konzept an MIN-Lehrkräfte (Fokus: Biologie und Chemie) der weiterführenden Schulen (Gymnasium/FOS/BOS). Vor Fortbildungsbeginn können die Lehrpersonen eines von vier digitalen Schwerpunktpaketen wählen. Zum Beispiel werden im App-Paket *Digitale Messwertdatenerfassung* Messsonden zur Erfassung des Kohlenstoffdioxid-Gehalts bei Hefe-Experimenten eingesetzt, wodurch anschließend Diagrammdarstellungen und ihre -auswertungen am Tablet stattfinden können. In Modul 1 (Fokus: Mediendidaktik) wird das App-Paket bei Durchführung eines realen Hefe-Experiments erprobt sowie fach- und mediendidaktisch reflektiert. Es folgt auf Basis des App-Pakets die eigenständige Entwicklung eines Unterrichtskonzepts (passend zum Lehrplan). Das Unterrichtskonzept wird mit Unterstützung eines Moodle-Kurses im Anschluss an Modul 1 finalisiert und in den eigenen Fachunterricht implementiert. Es folgt Modul 2 (Fokus: Digitale Transformation), welches zum Austausch und zur Diskussion hinsichtlich der Implementation einlädt. Anschließend erhalten die Kursteilnehmenden eine Einführung in das Thema *Data Science*. Entsprechend werden die Möglichkeiten und Grenzen von Künstlicher Intelligenz im Allgemeinen und insbesondere beim naturwissenschaftlichen Arbeiten eruiert. Diverse Tutorprogramme (z.B. ChatGPT, Notion usw.) werden vor dem Hintergrund der Unterrichtsplanung und -gestaltung kritisch reflektiert. Ferner werden die eingesetzten Unterrichtskonzepte KI-basiert erweitert und „Socio-Scienti-

[1] Nachstehend exemplarisch für Bayern (TUM) vorgestellt.

fic Issues“ thematisiert. Modul 3 bietet optional eine Vertiefung der erlernten Inhalte an, indem über die Potentiale und Grenzen der (KI-gestützten) App-Pakete diskutiert wird. Themen wie „Nachhaltigkeit des Bildungsangebots“ oder „Citizen Science“ runden Modul 3 ab.

Studiendesign, Stichprobe und Ablauf der Datenerhebung. Die explorative Studie ist in einem einfaktoriellen Design mit Messwiederholung gestaltet. Dabei beschreibt die konzeptionelle Gestaltung der Fortbildung die erste abhängige Variable, welche mittels Interviewleitfäden erfasst wird. Das technologiebezogene Professionswissen wird als weitere abhängige Variable angesehen, welches durch die DigCompEdu-Kompetenzbereiche operationalisiert wird. Als Probanden sind Gymnasial-, Realschul- und FOS/BOS-Lehrkräfte mit den Unterrichtsfächern Biologie und Chemie geplant (beliebige Jgst., $N > 50$). Die Fortbildungen werden mit den städtischen/staatlichen Schulen im jeweiligen Großraum der Universitätsstandorte erprobt. Um das technologiebezogene Professionswissen zu untersuchen, füllen alle Versuchspersonen zu Beginn einen digitalen Fragebogen aus. Anschließend nehmen die Lehrkräfte in Präsenz an dem ersten Fortbildungstag teil, an den sich ein Kurzinterview zur Einschätzung der Wirksamkeit der Fortbildung in Bezug auf den Kompetenzerwerb anschließt. Nach Implementierung des in Modul 1 entwickelten Unterrichtskonzepts im Schulalltag folgt die Teilnahme an Fortbildungstag 2 (und optional 3) in Form eines weiteren Präsenztreffens. Danach findet das Abschlussinterview statt, um die selbsteingeschätzte Wirksamkeit der Fortbildung zu erheben. Die Studie schließt mit dem Posttest zur objektiven Erfassung des Professionswissens ab, welcher zusätzlich durch Bearbeitung einer Elaborationsaufgabe validiert wird.

Erhebungs- und Auswertungsmethoden. Die Erfassung des technologiebezogenen Professionswissens erfolgt mithilfe eines Fragebogens aus 22 Skalen, angepasst an den DigCompEdu-Selbsteinschätzungsbogen (nach Redecker 2017). Die Items wurden derart adaptiert, dass sie sich inhaltlich auf das Forschende Lernen mit digitalen Medien beziehen. Ferner wurde eine weitere Skala mit fünf Items konzipiert, welche das Professionswissen hinsichtlich der Kontextorientierung im MIN-Unterricht operationalisieren soll. Jede Skala umfasst bis zu sechs Items auf einer vierstufigen Likert-Skala. Für die quantitative Auswertung des technologiebezogenen Professionswissens werden die Items der Fragebögen zu Skalen zusammengefasst und auf Reliabilität geprüft. Ferner werden nicht-parametrische Tests genutzt. Die Elaborationsaufgabe konzentriert sich auf das Forschende Lernen und fordert den Probanden auf, einen Unterrichtsentwurf mit digitalen Medien zu konzipieren. Hierfür wird die Methode des Lauten Denkens angewandt. Zur Erfassung der Wirksamkeit der Fortbildung in Bezug auf den Kompetenzerwerb wurden evidenzbasiert zwei Interviewleitfäden entwickelt. Im Fortbildungszeitraum können sich verschiedene Kooperationsprozesse etablieren, die mittels inhaltsanalytisch strukturierenden Ansatz beschrieben werden können (Warwas & Schadt 2020): Während das erste Interview auf den „Zustand“ und „Prozess“ (Kansteiner et al. 2020) abzielt, konzentriert sich der zweite Interviewleitfaden auf die aktionale Dimension (Kooperation), innerhalb der Fortbildung (Schröder-Lausen & Nerdel 2008). Die aufgezeichneten Interviews sowie die Elaborationsaufgabe werden qualitativ nach Mayring (2010) ausgewertet. Daher werden zwei Kategoriensysteme nach demselben theoriegeleiteten Vorgehen wie bei der Entwicklung der Messinstrumente erstellt und im Zuge der Analyse induktiv am Datenmaterial angepasst.

Ausblick

August 2024 wurde die Fortbildung in Kiel am IPN pilotiert. Ab November 2024 werden die ersten Fortbildungen (mit Datenerhebungen) in Bayern und Hamburg durchgeführt.

Literaturverzeichnis

Bessenrodt, Monika (2007): Geschlechtergerechtes Lehren und Lernen in Naturwissenschaft und Technik. Aktiv, kooperativ und authentisch durch Kontextorientierung und reflexive Ko-edukation. DOI: 10.1515/9783839406748-009.

Demuth, Reinhard; Grasel, Cornelia; Parchmann, Ilka; Ralle, Bernd (2008): Chemie im Kon-text. von der innovation zur nachhaltigen verbreitung eines unterrichtskonzepts. Münster: Waxmann.

Forschungsgruppe Lehrerbildung Digitaler Campus Bayern. (2017). Kernkompetenzen von Lehrkräften für das Unterrichten in einer digitalisierten Welt. *merz spektrum*, 65–74.

Glocker, Laura; Breitenbach, Sebastian; Hansen, Miriam; MMendzheritskaya, Julia; Lê-Hoa Võ, Melissa (2023): Entwicklung und Einsatz von VR-Lernszenarien für den Lehrkompe-tenzaufbau. Klassenraumsimulationen mit Virtual Reality. DOI: 10.1007/978-3-658-40109-2_22.

Gräsel, Cornelia; Fußangel, Kathrin; Pröbstel, Christian (2006): Lehrkräfte zur Kooperation anregen - eine Aufgabe für Sisyphos? Zeitschrift für Pädagogik 52 (2006) 2, S. 205-219. In: Zeitschrift für Pädagogik 52. DOI: 10.25656/01:4453.

Gräsel, Cornelia; Parchmann, Ilka (2004): Implementationsforschung - oder: der steinige Weg, Unterricht zu verändern. Unterrichtswissenschaft 32 (2004) 3, S. 196-214. In: Unterrichtswis-senschaft 32. DOI: 10.25656/01:5813.

Henne, A.; Beuter, A.; Hachfeld, A.; Schumann, S.; Möhrke, P. (2021): Naturwissenschaftli-cher Unterricht während der Corona-Pandemie. In: S. Habig (Hg.): Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, 47. Jahrestagung (virtuell) 2020. Duisburg. Universität Duisburg-Essen, S. 669–672.

Hillmayr, Delia; Ziernwald, Lisa; Reinhold, Frank; Hofer, Sarah I.; Reiss, Kristina M. (2020): The potential of digital tools to enhance mathematics and science learning in secondary schools: A context-specific meta-analysis. In: Computers & Education 153, S. 103897. DOI: 10.1016/j.compedu.2020.103897.

Huntemann, Heike; Paschmann, Antje; Parchmann, Ilka; Ralle, Bernd (1999): Chemie im Kon-text-ein neues Konzept für den Chemieunterricht? Darstellung einer kontextorientierten Kon-zeption für den 11. Jahrgang. In: Chemkon 6 (4), S. 191–196. DOI: 10.1002/ckon.19990060406.

Kansteiner, K.; Stamann, C.; Buhren, C. G.; Theurl, P. (Hg.) (2020): Professionelle Lernge-meinschaften als Entwicklungsinstrument im Bildungswesen. Weinheim: Beltz Juventa.

Mayring & P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken* (2. Aufl.). Weinheim: Beltz-Verlag.

Nerdel, C. (2017): Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik - Kompetenzorientiert und auf-gabenbasiert für Schule und Hochschule. Heidelberg: Springer-Spektrum.

Nerdel, C.; Kotzebue, L. von (2020): Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht. Aufgaben für die Lehrerbildung. Zeitschrift für Pädagogik 66 (2020) 2, S. 159-173. In: Zeit-schrift für Pädagogik 66, S. 159–173.

Otto, K.-H. Ciprina, Steffen Hohmann, Jan Paulus, Katja Rath, Anna Jeske, Ina Keil, Andreas (Lern – und Erlebnislabor Industrienatur) (2023): LELINA: Digitale Medien in der außerschuli-schen Bildung für Nachhaltige Entwicklung in einem Lehr-Lern-Labor auf einer Industrienatu-rfläche in der Metropole Ruhr, 91-105. DOI: 10.1007/978-3-658-40109-2_7.

Parchmann, Ilka; Gräsel, Cornelia; Baer, Anja; Nentwig, Peter; Demuth, Reinhard; Ralle, Bernd (2007): "Chemie im Kontext": A symbiotic implementation of a context-based teaching and learning approach. In: International Journal of Science Education 28 (9), S. 1041–1062. DOI: 10.1080/09500690600702512.

Redecker, C. (2017): European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu. In: JRC Research Reports JRC107466, Joint Research Centre (Seville site).

Reinmann-Rothmeier, G.; Mandl, H. (2001): Gestaltung problemorientierter Lernumgebungen. In: Andreas Krapp / Bernd Weidenmann (Hrsg.). Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch. Weinheim: Beltz PVU, 627-628.

Roth, J., Priemer, B. (Eds.). (2019). Lehr-Lern-Labore: Konzepte und deren Wirksamkeit in der MINT-Lehrpersonenbildung. Springer Spektrum.

Scholkmann, Antonia (2016): Forschend-entdeckendes Lernen. (Wieder-)Entdeckung eines didaktischen Prinzips. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/297569270_Forschend-entdeckendes_Lernen_Wieder-Entdeckung_eines_didaktischen_Prinzips.

Schröder-Lausen, E.; Nerdel, C. (2008b): Kooperation von Grundschullehrkräften zum Heimat- und Sachunterricht - Erste Ergebnisse einer Fragebogenstudie. In: Zeitschrift für Didaktik der Natruwissenschaften 14, S. 185–200.

Warwas, J.; Schadt, C. (2020): Zur Modellierung Professioneller Lerngemeinschaften–Vergleich und Integration unterschiedlicher Ansätze. In: K. Kansteiner, C. Stamann, C. G. Buhren und P. Theurl (Hg.): Professionelle Lerngemeinschaften als Entwicklungsinstrument im Bildungswesen. Weinheim: Beltz Juventa, S. 37–48..

Amina Zerouali[1]
Bernhard Werner[2]
Jiwoo Hwang[1]
Jenna Koenen[1]

[1]Technische Universität München
[2]Hochschule München

How to be a *CHEMPION*? Variablenkontrolle spielerisch meistern

Hintergrund

Digitale Lernspiele haben das Potenzial die Motivation zu steigern, Interesse zu wecken und komplexe Sachverhalte realitätsnah darzustellen (Breuer, 2010; Hauser, 2013; Tobias & Fletcher, 2011). Sie vereinen Lerninhalte mit spielerischen Elementen und können maßgeblich zum Wissenserwerb und zur Entwicklung kognitiver Fähigkeiten beitragen (Wouters et al., 2013). Zur Förderung von prozessbezogenen Kompetenzen wie Variablenkontrollstrategien – die im Rahmen des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung ein elementares Ziel des Chemieunterrichts darstellen (KMK, 2020) – stellen digitale Lernspiele daher einen vielversprechenden Ansatz dar. Doch trotz zahlreicher benannter Vorteile finden digitale Lernspiele nur selten ihren Weg in den Unterricht, da Lehrkräfte noch immer starke Vorbehalte gegenüber digitalen Lernspielen empfinden und Barrieren in Bezug auf den Einsatz dieser wahrnehmen (Sánchez-Mena & Martí-Parreño, 2017; Allsop & Jessel, 2015).

Dieser Sachverhalt sollte bei der Entwicklung eines digitalen Lernspiels zur Förderung von Variablenkontrollstrategien gezielt adressiert werden. Um die Implementation von digitalen Lernspielen im Unterricht zu ermöglichen, ist es daher notwendig elementare Bedingungsfaktoren für eine Implementation zu lokalisieren. Als Gestalter des Unterrichts sind Lehrkräfte der entscheidendste Bedingungsfaktor (Blackwell et al., 2013). Die Konzeption des Lernspiels baute daher auf einer ersten Studie auf, welche die Erfassung der Einstellungen und Barrierewahrnehmung gegenüber digitalen Lernspielen fokussierte (Zerouali & Koenen, in prep.).

Ausgehend von den Ergebnissen der ersten Studie folgte die Entwicklung des Lernspiels einem iterativen Zyklus aus Konzeption, Programmierung, Qualitätskontrolle und Anpassung. In der letzten Iteration dieses Prozesses wurde nun im Zuge der dargestellten Studie das Lernspiel im Rahmen von Experteninterviews evaluiert bevor nach einer letzten Anpassung der Einsatz des digitalen Lernspiels im Schulunterricht in einer Implementationsstudie untersucht werden soll.

Forschungsfrage

Um eine Optimierung des Lernspiels auf Grundlage von Experteneinschätzungen vornehmen zu können lässt sich für die durchgeführte Studie folgende Forschungsfrage ableiten:

FF Wie nehmen Lehrkräfte und Didaktikexpert:innen das digitale Lernspiel und die zugehörigen Begleitmaterialien in Bezug auf die Usability des Lernspiels wahr?

Neben der Usability stellte im Rahmen der Studie ebenfalls die Wahrnehmung der Effektivität des Lernspiels einen Forschungsgegenstand dar. In diesem Beitrag soll jedoch ausschließlich

eine fokussierte Betrachtung ausgewählter erste Ergebnisse zur dargestellten Forschungsfrage in Bezug auf Usability erfolgen.

Das digitale Lernspiel *CHEMPION*

Das browserbasierte digitale Lernspiel ist als 2D Adventure-Rollenspiel konzipiert, bei welchem die Spielenden die Rolle eines Praktikanten in einem fiktiven Chemieunternehmen einnehmen. Die primär lineare narrative Struktur des Spiels basiert auf einer Reihe von Problemstellungen (Aufgaben/Quests), die die Spielenden durch Anwendung wissenschaftlicher Prinzipien und experimenteller Untersuchungen lösen müssen. Wesentliches Merkmal ist die Einbindung interaktiver Simulationen, die fester Bestandteil des Spielverlaufs sind. Um eine barrierefreie Implementierung des Spiels im Unterricht zu ermöglichen wurden zur Unterstützung Begleitmaterialien für Lehrkräfte wie z.B. Stundenverlaufspläne, Handreichungen und ein Videotutorial entwickelt.

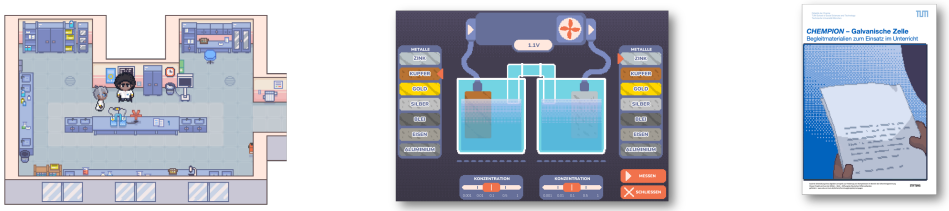


Abb. 1: Screenshot aus dem Lernspiel CHEMPION (links), Interaktive Simulation einer Galvanischen Zelle (mitte), Begleitende Handreichung (rechts).

Methodik

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurden leitfadengestützte Experteninterviews durchgeführt. Um sowohl praxisnahe als auch theoretische Perspektiven zu erfassen erfolgte die Datenerhebung der (*N=8*) Experteninterviews mit (*n=4*) Lehrkräften und (*n=4*) Didaktikexpert:innen.

Im Anschluss wurden die Interviews transkribiert und im Rahmen einer Qualitativen Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2018) ausgewertet. Die Kodierung der Daten erfolgte dabei mithilfe eines deduktiv-induktiv entwickelten Kategoriensystems. Die Hauptkategorien des Kategoriensystems – *Usability, Effektivität, Einstellungen und Optimierungsvorschläge* – wurden dabei aus den der Studie zugrundeliegenden Forschungsfragen und dem konzipierten Leitfaden abgeleitet.

Erste Ergebnisse

In dem vorliegenden Datenmaterial konnten insgesamt 346 Kodiereinheiten der Hauptkategorie *Usability* zugeordnet werden. Orientiert an in der Fachliteratur etablierten Dimensionen (Savi, 2011; Takatol et al., 2010; Sweetser & Wyeth, 2005) erfolgte die deduktive Bildung von sechs Subkategorien (Abb. 2).

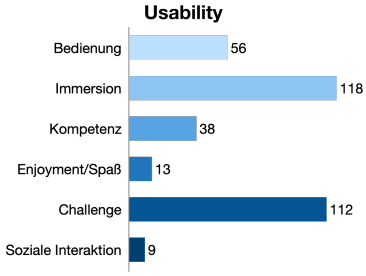


Abb. 2: Absolute Häufigkeiten der Usability-Subkategorien.

Für die Kategorie *Bedienung* erfolgte darüber hinaus die induktive Bildung der vier Subkategorien *Intuitiver Umgang, Hardware, Software und Autonomie*. Eine anschließende Kontingenzanalyse (Kuckartz, 2010) mit den Subkategorien *Positiv* und *Negativ* der Hauptkategorie *Einstellungen* zeigte, mit 35 von 56 Kodiereinheiten, dass die Bedienung des Spiels im Allgemeinen als positiv wahrgenommen wird. Zudem zeigte die Analyse, dass Verbesserungspotential vor allem in der Subkategorie *Software* in Zusammenhang mit dem Wegklicken von Sprechblasen und Audiobugs. So zum Beispiel das folgende Zitat: *„Also praktikabler wäre es für mich, wenn ich die Blasen nicht extra schließen müsste, die Sprechblasen. Sondern wenn sich die automatisch schließen, wenn ich weitergehe (LK 4, Pos. 18)“*.

Diskussion und Ausblick

Da bislang noch keine Zweitkodierung vorgenommen wurde, konnte eine Überprüfung der Reliabilität bisher nicht erfolgen. Die Fertigstellung der Auswertung, die Durchführung der Zweitkodierung sowie die Berechnung der Intercoder-Reliabilität sind daher noch ausstehend.

Im Anschluss an die Auswertung wird die aktuelle Beta-Version des Lernspiels auf Grundlage der Ergebnisse der Expert:innen-interviews angepasst, um potenzielle Barrieren zu verringern und die Usability sowie die Effektivität im Lernprozess zu optimieren.

Die Interviews mit Expert:innen zeigen lediglich die Wahrnehmungen dieser, erlauben jedoch keine direkten Rückschlüsse auf die tatsächliche Effektivität des Lernspiels in Bezug auf die Förderung von Kompetenzen bei Lernenden. Die finale Version des Lernspiels soll daher im Rahmen einer Implementationsstudie in Schulen systematisch untersucht werden.

Danksagung

Die Entwicklung des Spiels *CHEMPION* wurde im Rahmen des Projektes CompAGES von der Müller+Reitz Stiftung gefördert.

Literatur

Allsop, Y., & Jessel, J. (2015). Teachers' Experience and Reflections on Game-Based Learning in the Primary Classroom. International Journal of Game-Based Learning, 5(1), 1–17

Hauser, B. (2005). Das Spiel als Lernmodus: Unter Druck von Verschulung - im Lichte neuerer Forschung. In T. Guldimann & B. Hauser (Hrsg.), Bildung 4- bis 8-jähriger Kinder (S. 143–168). Münster: Waxmann.

KMK (Hrsg.), (2020). Beschlüsse der Kultusministerkonferenz. Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife, Beschluss vom 18.06.2020.

Kuckartz, U. (2010). Einführung in die computergestützte Analyse qualitativer Daten. In VS Verlag für Sozialwissenschaften eBooks. https://doi.org/10.1007/978-3-531-92126-6

Kuckartz, U. (2018). Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung. Weinheim: Beltz Juventa.

Sánchez-Mena, A., & Martí-Parreño, J. (2017). Drivers and barriers to adopting gamification: Teachers' perspectives. Electronic Journal of E-Learning, 15(5), 434–443.

Savi, R., Wangenheim, G., & Borgatto, F. (2008). Analyse eines Bewertungsmodells für Lernspiele. [Details zur Veröffentlichung fehlen].

Sweetser, P., & Wyeth, P. (2005). GameFlow: A model for evaluating player enjoyment in games. Computers in Entertainment, 3(3).

Takatalo, J., Häkkinen, J., Kaistinen, J., & Nyman, G. (2010). Presence, involvement, and flow in digital games. In R. Bernhaupt (Ed.), Evaluating User Experience in Games: Concepts and Methods (S. 23-46). Springer.

Tobias, S., & Fletcher, J. D. (2011). Introduction. In S. Tobias & J. D. Fletcher (Eds.), Computer games and instruction (S. 3–15). Charlotte, NC: Information Age Publishing.

Walpuski, M., & Schulz, A. (2011). Erkenntnisgewinnung durch Experimente - Stärken und Schwächen deutscher Schülerinnen und Schüler im Fach Chemie. Chimica et ceterae artes rerum naturae didacticae, 37(104), S. 6-27.

Wouters, P., van Nimwegen, C., van Oostendorp, H., & van der Spek, E. D. (2013). A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. Journal of Educational Psychology, 105(2), 249–265. https://doi.org/10.1037/a0031311

Diana Zeller[1]
Thorben Frohne[1]
Claudia Bohrmann-Linde[1]
Nils Mack[1]
Claudia Schrader[1]

[1]Universität Wuppertal

VR-Lernsetting zu Verbrennungen: Erkundung der Teilchenebene in 3D

Einleitung

Im Gegensatz zu klassischen Medientypen wie Abbildungen oder Animationen ermöglicht Virtual Reality (Thiele, Mirica, Lau & Habig, 2023) ein immersives Eintauchen in räumliche Darstellungen oder Abläufe und bietet die Möglichkeit zur responsiven Interaktion mit dreidimensionalen Objekten. Ziel der in dem Beitrag vorgestellten Studie war es zu überprüfen, inwiefern VR bei Schüler*innen einen positiven Effekt auf das Verständnis chemischer Fachinhalte haben könnte, da der bisherige Forschungsstand nur wenige Aussagen zum didaktischen Mehrwert zur Verwendung von VR in der Unterrichtspraxis zulässt. Die Studie wurde im Rahmen einer Masterarbeit mit SchülerInnen des Anfangsunterrichts Chemie durchgeführt (Frohne, 2024).

Forschungsstand zu VR im Fach Chemie

Ein Überblick über den aktuellen Forschungsstand zeigt, dass der Einsatz von VR im Fach Chemie vor allem in der Hochschullehre beforscht wurde (van Dinther, Putter & Pepin, 2023) (Lopes et al., 2024) und deshalb die Befunde für die Sekundarstufe, insbesondere zum Verständnis der Teilchenebene, noch unterrepräsentiert sind (Maksimenko et al. 2021; Zhao, Chu & Chen, 2022; Calma-Roddin, Park & Keighron, 2023). Allgemein konnte bisher gezeigt werden, dass die Nutzung von VR-Anwendungen zum Verständnis der Teilchenebene beitragen kann. Dabei wurde auch festgestellt, dass der generelle Lernzuwachs durch die Anwendung von VR mindestens gleichwertig oder etwas höher im Vergleich zu traditionellen Methoden ausfällt (Laricheva & Ilikchyan, 2023; Abbasi, Rasool & Habib, 2023). Aus diesem Grund sollte in der vorliegenden Studie untersucht werden, inwiefern VR-basierte Lernumgebungen einen messbaren Lernerfolg bei Lernenden der 8. Klasse ermöglichen und wie dieser sich zu traditionellen Medien (hier: Animationsvideos) unterscheidet.

Präkonzepte von Lernenden zu Verbrennungen

Das Thema Verbrennungen ist mit einer Bandbreite an Präkonzepten von Lernenden (Barke, 2006; Hundertmark & Schanze, 2017; Petermann, Friedrich & Oetken, 2011) verbunden. So verknüpfen Lernende basierend auf ihren Alltagsbeobachtungen die Verbrennung häufig mit Vernichtungs- oder Zerlegungsprozessen. Weiterhin ist eine fachliche Herausforderung, dass die bei der Verbrennungsreaktion entstehenden farblosen Gase nicht sichtbar sind und somit auch häufig von Lernenden nicht als an der Reaktion beteiligte Stoffe betrachtet werden. Auch bereitet den Lernenden der Übergang von der makroskopischen auf die (sub-) mikroskopische Ebene Schwierigkeiten (Mahaffy, 2004). Für die Adressierung dieser Präkonzepte und das Verständnis der chemischen Prozesse auch auf der Teilchenebene könnte Virtual Reality (VR)

einen neuartigen Zugang auf der Teilchenebene bieten, der bereits in der Einstiegsphase im Fach Chemie von Vorteil sein könnte.

Studiendesign

Als Grundlage der Studie wurde ein VR-Lernsetting zu Verbrennungsreaktionen ausgewählt, das von Studierenden im Lehrprojekt FoPro-VR (Zeller, Bohrmann-Linde, Mack, Diekmann & Schrader, 2025) entwickelt worden war. Diese VR-Lernsettings bestehen aus zwei Teilen: Der Durchführung von Verbrennungsversuchen in einem virtuellen Labor und die anschließende Erkundung der Reaktionen auf der Teilchenebene. Inhaltlich ging es um die Verbrennung von verschiedenen Stoffen (Eisen, Kohlen oder Magnesium) in einer Sauerstoff- bzw. einer Kohlenstoffdioxid-Atmosphäre (Zeller, Bohrmann-Linde, Mack, Diekmann & Schrader, 2024). Für die Studie wurde ein Triangulationsdesign im Mixed-Methods-Ansatz mit quantitativen und qualitativen Items im Pre-/Post-Test gewählt (Kuckartz, 2014). Aufgrund des benötigten Vorwissens zur Teilchenebene wurde die Studie mit zwei 8. Klassen (N = 52) durchgeführt. Die Klassen wurden dafür halbiert und erarbeiteten die Inhalte entweder über das VR-Lernsetting oder über Animationsvideos. Die Items der Pre-/Post-Befragung wurden im Wesentlichen aus der Literatur entnommen (Barke, 2006) (Hundertmark & Schanze, 2017). Hinsichtlich der Erfassung der Transferleistung wurden vier weitere Items passend zu der vermittelten Teilchenebene entwickelt, wobei auch eine Zeichenaufgabe zur qualitativen Auswertung inkludiert wurde. Über die Zeichnung sollten die jeweiligen Vorstellungen über die Prozesse bei chemischen Reaktionen auf der Teilchenebene erhoben werden.

Lernerfolg durch VR vs. Animationsvideos

Die erste Fragestellung war, welchen Einfluss eine VR-basierte bzw. Animations-basierte Lernumgebung auf den Lernerfolg von Lernenden zum Thema Verbrennungsreaktionen hat. Basierend auf dem aktuellen Forschungsstand waren die hypothetischen Überlegungen, dass bei beiden Methoden eine signifikante Verbesserung des Lernstands zu erwarten gewesen wäre. Die deskriptiven Ergebnisse des Vergleichs von Pre- und Post-Test zeigen, dass dies durch die Ergebnisse zunächst bestätigt werden konnte (Abb. 1). Neben den deskriptiven Daten wurde auch die Signifikanz und die Effektstärke r berechnet. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass beide Lernszenarien einen ausgeprägten effektiven Lernerfolg induzieren und somit für die Vermittlung des Themas geeignet sind. In der zweiten Fragestellung wurde überprüft, inwiefern der Lernerfolg bei der Nutzung von VR im Vergleich zu traditionellen Lehrmethoden ist. Die inferenzielle Statistik erfolgte mit einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung. Deren Ergebnisse verdeutlichen, dass für den fachlichen Kontext der Studie beide Methoden einen gleichen Lernerfolg zeigen.

Gruppe	W	z	p	r
VR (n = 26)	33	-3.221	.001*	.63
Animation (n = 26)	6	-4.226	<-.001*	.83

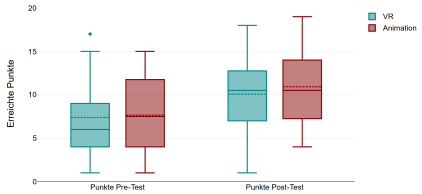


*Abb. 1: Links: Box-Plot-Diagramme Pre-/Post-Test, Rechts: Ergebnisse aus den Wilcoxon-Tests (*p < .05; r = Effektgröße) (Frohne, 2024).*

Einfluss von VR auf Präkonzepte

In der dritten Fragestellung wurden die qualitativen Items der Tests dahingehend ausgewertet, inwiefern bekannte, lernhinderliche Präkonzepte durch die Intervention in fachlich fundierte Konzeptionen eine Änderung erfahren haben. Hierfür wurden die Antworten der Freitext- und Zeichnungs-Items anhand der Auflistung typischer Schülervorstellungen zum Thema Verbrennungen von Hundertmark & Schanze (2017) qualitativ überprüft. In den Pre-Tests konnten an den entsprechenden Freitext-Items gängige Präkonzepte identifiziert werden: Dabei wurde am häufigsten angeführt, dass es sich bei Verbrennungen um einen Zerlegungsprozess handeln würde. In den Post-Tests konnte bei diesen Lernenden dann in der Regel auch keine Revision der Vorstellung festgestellt werden. Bei wenigen Lernenden schien sich sogar ein weiteres, klassisches Präkonzept eingestellt zu haben. Bspw. wurde im Pre-Test von KO17 (anonymer Code) bei dem Freitextitem „Handelt es sich bei einer Verbrennung um eine chemische Reaktion?“ angegeben, dass sich ein Objekt bei einer Verbrennung in Rauch „auflöst“. Bei dieser Formulierung handelt es sich um das klassische Präkonzept, dass es sich bei einer Verbrennung um einen Zerlegungsprozess handelt. Im Post-Test dagegen wurde von KO17 beschrieben, dass „der Zustand des Objekts“ sich verändert habe. Diese Formulierung könnte darauf hindeuten, dass nach der Intervention die Vorstellung vorliegt, dass bei der chemischen Reaktion nicht eine neue Verbindung entstanden ist, sondern lediglich der Aggregatzustand gewechselt habe.

In der Zeichenaufgabe konnte aber bei der Reproduktion der Teilchenebene bei beiden Gruppen eine leicht positive Tendenz festgestellt werden. Nicht immer hat sich die Darstellungsleistung sichtlich verbessert, da in vielen Zeichnungen keine Unterschiede zwischen den Aggregatzuständen oder die Anordnung in einer Gitterstruktur zu erkennen sind. Die stöchiometrischen Verhältnisse werden nur von wenigen Lernenden beachtet. Aufgrund der gemischten Befundlage lässt sich diese Fragestellung nicht allgemeingültig beantworten. Insbesondere in den Darstellungen der Teilchenebene zeigte sich, dass Schülervorstellungen nicht zwangsläufig durch den neuen Zugang zu den fachlichen Inhalten mit VR korrigiert werden konnten.

Diskussion und Ausblick

Die Ergebnisse der Studie bestätigen, dass sowohl VR-basierte als auch Animationsvideos-basierte Lernmethoden effektiv sind, um das Verständnis von Verbrennungsreaktionen zu verbessern. Dabei ließ sich kein Unterschied zwischen den beiden methodischen Vorgehensweisen feststellen: So waren sie hinsichtlich ihrer Effektivität identisch und haben somit jeweils eine unabhängige Daseinsberechtigung zur Vermittlung des hier verwendeten Themengebiets. Des Weiteren zeigen die Ergebnisse auf, dass beide Lernmethoden bei der Vermittlung der Teilchenebene erfolgreich sind, jedoch eine Korrektur lernhinderlicher Präkonzepte nicht erkannt werden konnte. Hier stellt sich natürlich die Frage, inwiefern diese einmalige Intervention für eine nachhaltige Korrektur auch erfolgreich sein könnte.

Vor diesem Hintergrund ist die verwendete VR-Umgebung dennoch eine passende Möglichkeit zum Erreichen von einer Methodenvielfalt im Chemieunterricht ohne Einbußen des Lernerfolgs. Mit Blick auf die Erprobung von VR in der Schulpraxis wäre ein nächster Schritt zu überprüfen, inwiefern die Ergebnisse im Unterrichtseinsatz bestätigt werden können. Wenn es auch einige Nachteile bezüglich des Einsatzes von VR im regulären Unterricht, wie den hohen Bedarf an personellen und technischen Ressourcen, gibt, bietet die Technologie eine neuartige Lernmethode, die durch den hohen motivationalen Charakter (Schrader et al., 2024) für Lernende den Chemieunterricht bereichern könnte.

Literatur

Abbasi, I., Rasool, S., Habib, U. (2023). Virtual Reality as a Medium of Asynchronous Content Delivery for Teaching about Enzymes. J. Chem. Educ. 100/3, 1203–1210.

Barke, H.-D. (2006). Chemiedidaktik. Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen. Springer, Berlin, Heidelberg.

Calma-Roddin, N., Park, K., Keighron, J. (2023). Exploring the Structure of Proteins and Other Biomolecules with a VR Museum: Lessons in Classroom Integration. J. Chem. Educ. 100/7, 2574–2582.

Frohne, T. (2024). Konzeption, Durchführung und Auswertung einer Untersuchung zum fachlichen Verständnis von Verbrennungsreaktionen auf der Teilchenebene mithilfe von VR im Abgleich zu Animationen, Masterarbeit. Universität Wuppertal.

Hundertmark, S., Schanze, S. (2017). Was wird bei Verbrennungen vernichtet? Von einem Alltagsphänomen zum Konzept der chemischen Reaktion. NiU-C 25/159, 19–25.

Kuckartz, U. (2014). Mixed Methods. Methodologie, Forschungsdesigns und Analyseverfahren. Springer VS, Wiesbaden.

Laricheva, E. N., Ilikchyan, A. (2023). Exploring the Effect of Virtual Reality on Learning in General Chemistry Students with Low Visual-Spatial Skills. J. Chem. Educ. 100/2, 589–596.

Lopes, R. M., Braga, L. A. M., Serrão, A. S. R., Teixeira, L. d. A., Comarú, M. W., Souza, R. A. de, Souza, C. A. M. de, Mota, F. B. (2024). Virtual Reality to Teach Students in Laboratories: A Bibliometric and Network Analysis. J. Chem. Educ. 101/2, 501–513.

Mahaffy, P. G. (2004). The Future Shape of Chemistry Education. Chem. Educ. Res. Pract. 5/3, 229–245.

Maksimenko, N., Okolzina, A., Vlasova, A., Tracey, C., Kurushkin, M. (2021). Introducing Atomic Structure to First-Year Undergraduate Chemistry Students with an Immersive Virtual Reality Experience. J. Chem. Educ. 98/6, 2104–2108.

Petermann, K., Friedrich, J., Oetken, M. (2011). Die Quantifizierung des „Horror vacui“. Ein Gedankenexperiment zur Bestimmung der mittleren Teilchenabstände im gasförmigen Zustand. PdN-ChiS 60/2, 45–48.

Schrader, C., Diekmann, C., Schulz, P., Mack, N., Bohrmann-Linde, C., Zeller, D. (2024). Hands-on training: Effects on virtual presence, learning-centered emotions, cognitive load and learning outcome when learning with virtual reality. Computers in Human Behavior Reports, 100487.

Thiele, G., Mirica, K. A., Lau, K. C., Habig, S. (2023). AR, VR, and the Metaverse in Teaching: An Advocacy for Precise Differentiation. J. Chem. Educ. 100/11, 4177–4180.

van Dinther, R., Putter, L. de, Pepin, B. (2023). Features of Immersive Virtual Reality to Support Meaningful Chemistry Education. J. Chem. Educ. 100/4, 1537–1546.

Zeller, D., Bohrmann-Linde, C., Mack, N., Schrader, C. Produktion eigener VR-Lernsettings im Projekt FoPro-VR. Ein interdisziplinärer Lehransatz für die Lehramtsausbildung, In: Mrohs, L., Franz, J., Herrmann, D., Lindner, K., Staake, T. (2025). Digitales Lehren und Lernen an der Hochschule. Strategien – Bedingungen – Umsetzung. Transcript Verlag (im Erscheinen).

Zeller, D., Bohrmann-Linde, C., Mack, N., Diekmann, C., Schrader, C. (2024). Virtual Reality für den Chemieunterricht. Nachrichten aus der Chemie 72/6, 15–20.

Zhao, R., Chu, Q., Chen, D. (2022). Exploring Chemical Reactions in Virtual Reality. J. Chem. Educ. 99/4, 1635–1641.

Simeon Wallrath[1]
Björn Risch[1]

[1]RPTU Kaiserslautern-Landau

Entwicklung eines Open Source VR-Spiels im Projekt ViR:TuoS

Ausgangslage

Nach dem aktuellen Modell der planetaren Grenzen sind die Belastbarkeitsgrenzen im Bereich der „Biogeochemischen Kreisläufe“ (Phosphor- und Stickstoffkreislauf) deutlich überschritten worden (Richardson et al., 2023). Ein Grund dafür ist der hohe Eintrag von phosphor- und stickstoffhaltigen Düngemitteln in der Landwirtschaft, der vor allem der Ertragsmaximierung dient. Der überschüssige Stickstoff gelangt durch Auswaschung unter anderem als Nitrat in Grund- und Oberflächengewässer und als Ammoniak und Lachgas in die Atmosphäre. Im Ergebnis tragen Einträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen zu circa 75 % der Stickstoffeinträge und zu 50 % der Phosphoreinträge in die deutschen Oberflächengewässer bei (Umweltbundesamt, 2017a). Hohe Nitratkonzentrationen erfordern unter anderem erhebliche Maßnahmen und Kosten bei der Aufbereitung zu Trinkwasser. Zudem führen sie zu einer Nährstoffanreicherung (Eutrophierung) in Wäldern, Mooren, Heiden, Oberflächengewässern und Meeren. Ammoniak führt zur Versauerung von Böden und Gewässern und damit zur Beeinträchtigung der biologischen Vielfalt (Umweltbundesamt, 2017b). Zudem fördert Ammoniak die Bildung von Feinstaub, der in die Lunge eindringen und die menschliche Gesundheit schädigen kann. Lachgas trägt als starkes Treibhausgas zur Klimaerwärmung bei. Die ab 2020 geltende Düngeverordnung (=DüV-20) soll dazu beitragen, den Stickstoffeintrag weiter zu reduzieren. Doch wie können und müssen Personen mit Bezug zur Landwirtschaft darauf reagieren? Welche Maßnahmen tragen dazu bei, die Düngung effizienter zu gestalten? Und vor allem: Wie können Informationen über Stickstoff in der Landwirtschaft und das Düngeverhalten verbreitet werden?

Das von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderte Projekt **ViR:TuoS** (**V**irtual **R**eality: **T**rainieren **u**nd **o**ptimieren des **S**tickstoffeinsatzes) setzt sich zum Ziel, dieses Wissen zur Stickstoffproblematik in Form eines Virtual Reality Spiels aufzubereiten und orientiert sich dabei an einem Game-based leaning Ansatz. Inhaltlich werden dabei Diagnose- und Handlungsoptionen didaktisch aufbereitet, unter anderem in Form von Nitratmessungen, Wasseraufbereitung oder der Erprobung guter landwirtschaftlicher Praxis (z.B. Düngezeitpunkt oder Bodenbearbeitung) auf dem Feld.

Virtual Reality und Game-based learning

Das Spiel als Medium ist eng mit dem Lernen verknüpft und nutzt oft dieselben didaktischen Konzepte, wie Jackson Kellinger (2017) herausstellt: Unter anderem nutzen Spiele Storytelling, Scaffolding (z.B. in Form von Tutorials oder Hinweisen), bauen Wissen sukzessive auf, halten die Nutzer*innen in der Zone der proximalen Entwicklung oder vermitteln das Gefühl von „Agency“. Vor allem aber schaffen Spiele etwas, was im institutionalisierten Schulsystem nur bedingt möglich ist: Sie schaffen einen künstlichen Konflikt, der in einem risikoreduzierten Raum stattfindet. In Spielen können Fehler gemacht und Abschnitte beliebig oft wiederholt werden, ohne dass die Spielenden reale Konsequenzen

(z.B. schlechte Noten) befürchten müssen. Dennoch ist ein Zugewinn an Wissen oder Fähigkeiten messbar, die Spielenden werden „besser“, was sich z.B. in Spielfortschritten oder Punktesystemen widerspiegeln kann. Tekinbaş & Zimmerman (2003) definieren Spiele daher als “system in which players engage in artificial conflict, defined by rules, that results in a quantifiable outcome”.
Die Entscheidung ein Spiel entwickeln, ergibt sich in der der Kombination mit dem Medium Virtual Reality, das im Gegensatz zum Spiel nicht inhärent didaktisch ist. LaValle (2020) definiert die Virtual Reality dabei wie folgt: „Inducing targeted behaviour in an organism by using artificial sensory stimulation, while the organism has little or no awareness of the interference”.
Im Vergleich zu schulischen Einsatzszenarien schafft Virtual Reality (wie auch die meisten Videospiele) einen besonderen Raum. Es wird eine eigene Welt geschaffen, die in sich geschlossen und unabhängig von den institutionellen und sozialen Strukturen der Schule funktioniert und die freiwillig betreten und verlassen werden kann. Dies impliziert, dass die didaktische Qualität kein hinreichender Prädiktor dafür ist, ob Lernende das Spiel spielen (wollen), sondern dass sich die Qualität durch alle Bereiche des Spiels ziehen muss, um gegebenenfalls mit kommerziellen Alternativen konkurrieren zu können. Die Entwicklung von Spielen ist ein komplexer und langwieriger Prozess, der durch die verhältnismäßig spezielle VR-Hardware noch verstärkt wird. Sie erfordert Kompetenzen aus der Softwareentwicklung, aber auch aus vielen künstlerischen Disziplinen, wie 3D-Modellierung, Animation, Komposition oder Sounddesign (Gregory, 2018).

Bedeutung und Implikationen quelloffener Entwicklung

Um wissenschaftliche Ergebnisse einordnen und reproduzieren zu können, ist der Zugriff auf das Produkt notwendig. Im Falle eines VR-Spiels ist dies eine Software, die beispielsweise über gängige Plattformen wie Steam zur Verfügung gestellt werden kann. Ince et al. (2012) nennen zudem die Verfügbarkeit des Quellcodes, auf dessen Basis die Ergebnisse berechnet wurden, als unabdingbar. Dies ermöglicht Einblicke in Faktoren, die nach dem Kompilieren nicht mehr einsehbar sind, und damit auch die Möglichkeit einer externen Überprüfung. Gleichzeitig erlaubt es die Manipulation von Variablen, die während des Entwicklungsprozesses einfließen, um Erkenntnisse über deren Auswirkungen zu gewinnen. Der Quellcode gibt außerdem angehenden Entwickler*innen Einblicke in die Umsetzung und dient damit als kulturelles Wissen als Ausgangspunkt für neue Projekte. Inwieweit solche Grundlagen für ein eigenes Produkt vorhanden sind, wird derzeit in einem Review ermittelt. Untersucht wurden dabei 73 Veröffentlichungen aus den Reviews zu Virtual Reality im Bildungskontext von Marougkas et al. (2023), Radianti et al. (2020) und Jensen & Konradsen (2018) unter folgenden Fragestellungen:

Ist das untersuchte Produkt auf der Grundlage der in der Veröffentlichung enthaltenen Informationen oder einer Internetrecherche
(a) herunterladbar, ggf. kommerziell erwerbbar?
(b) Open-Source, d.h. können alle Dateien zum Kompilieren frei heruntergeladen werden?
(c) Dokumentiert, um anderen die Modifikation zu erleichtern?

Erste Ergebnisse sind in Abbildung 1 dargestellt. Sieben Veröffentlichungen wurden ausgeschlossen, da sie sich nicht direkt auf die Untersuchung eines Produktes beziehen.

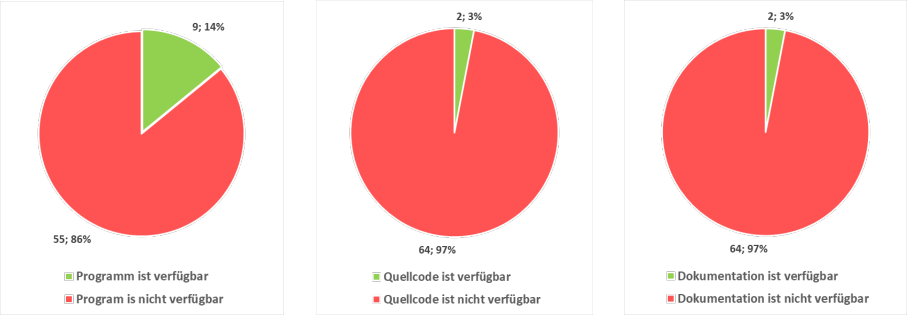


Abbildung 1 Erste Ergebnisse des Reviews

Die Ergebnisse zeigen, dass mit 85% in der überwiegenden Zahl der Veröffentlichungen keine Zugriffsmöglichkeit zum Produkt identifiziert werden konnte. Darüber hinaus konnte nur in zwei Publikationen ein quellenoffenes Produkt (Maroon VR) identifiziert werden. Das Projekt **ViR:TuoS** hat es sich deshalb zum Ziel gesetzt, transparent zu arbeiten und das Spiel Open Source zu entwickeln.

Autoethnografie als holistisch-entwicklungsbegleitende Methode

Da die virtuelle Realität aus dem Nichts geschaffen werden muss, ist jede Entscheidung im Designprozess konzeptionell intendiert, eingeschließlich der Freiheiten und scheinbaren Zufälle. Als Resultat bieten Forschungsdaten keine generalisierbaren Aussagen, ohne das Produkt und seinen Entwicklungsprozess zu analysieren, zu reflektieren und zu kontextualisieren. Radianti et al. (2020) schreiben als ein Fazit ihres Reviews:

> *„[F]uture VR development for higher education needs to build on existing experiments (rather than being exploratory from scratch) and to provide results that allow for generalization. There is no general issue with design-oriented or even mostly developmental works. However, to make thorough contributions, such works need to take a holistic standpoint.“*

Die Suche nach einer Methode, die solch einen holistischen Standpunkt während einer entwicklungsorientierten Arbeit einnehmen kann, und gleichzeitig den hohen Bias, der sich aus der Einnahme der Positionen sowohl der Wissenschaft als auch der Softwareentwicklung ergibt, anerkennt, führte zur Autoethnografie. Diese nutzt die Artefakte der Entwicklung, in diesem Fall beispielsweise Notizen, Code-Ausschnitte, Dokumentationen oder Prototypen, aber auch Gespräche oder Interviews mit Spieler*innen, um persönliche Erfahrungen und Perspektiven systematisch zu reflektieren und zu analysieren. Die Methode erkennt an, dass Wissenschaftler*innen und ihr kulturelles Umfeld maßgebliche Einflussfaktoren auf die Forschung selbst sind, Neutralität und Objektivität werden in Frage gestellt und die dichotome Trennung zwischen Kunst und Wissenschaft aufgelöst (Ellis et al., 2011).

Weiterführende Informationen

Das im Projekt **ViR:TuoS** entwickelte Spiel namens „VIRTUOS WORLD“ befindet sich in der aktiven Entwicklung. Weitere Informationen zum Projekt sowie weiterführende Links finden sich auf der Projekthomepage unter https://virtuos.world.

Literatur

Ellis, C., Adams, T. E., & Bochner, A. P. (2011). Autoethnography: An Overview. *Historical Social Research Vol. 36*, *No. 4*, Volumes per year: 1 . https://doi.org/10.12759/HSR.36.2011.4.273-290

Gregory, J. (2018). *Game engine architecture* (Third edition). Taylor and Francis, CRC Press.

Ince, D. C., Hatton, L., & Graham-Cumming, J. (2012). The case for open computer programs. *Nature*, *482*(7386), Article 7386. https://doi.org/10.1038/nature10836

Jackson Kellinger, J. (2017). *A Guide to Designing Curricular Games*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42393-7

Jensen, L., & Konradsen, F. (2018). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies*, *23*(4), 1515–1529. https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0

LaValle, S. M. (2020). *VIRTUAL REALITY*. Cambridge University Press.

Marougkas, A., Troussas, C., Krouska, A., & Sgouropoulou, C. (2023). Virtual Reality in Education: A Review of Learning Theories, Approaches and Methodologies for the Last Decade. *Electronics*, *12*(13), Article 13. https://doi.org/10.3390/electronics12132832

Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, *147*, 103778. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778

Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., von Bloh, W., Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huiskamp, W., Kummu, M., Mohan, C., Nogués-Bravo, D., … Rockström, J. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, *9*(37), eadh2458. https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458

Umweltbundesamt. (2017a). *Gewässer in Deutschland: -Zustand und Bewertung*. http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/gewaesser-in-deutschland

Umweltbundesamt. (2017b). *Umweltschutz in der Landwirtschaft*. www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltschutz-in-der-landwirtschaft

Leonard Meiertoberend[1]
Jürgen Menthe[1]

[1]Universität Hildesheim

Augmented Reality-gestützte Lernhilfen für den Chemieunterricht

Einleitung und Zielsetzung

Smartphones und Tablet-PCs sind in der Schule mittlerweile fast flächendeckend verfügbar. Eine besondere Chance für den wirksamen Einsatz digitaler Lehr-Lernwerkzeuge im Chemieunterricht ist die Anwendung mobiler Endgeräte zur Anreicherung von Fachinhalten mit der Augmented Reality (AR)-Technologie. Wesentliche Aspekte der Technologie, darunter die Kombination realer und virtueller Objekte und eine in Echtzeit erfolgende Interaktion mit dem Benutzenden, wurden bereits 1997 in einer vielzitierten systematischen Untersuchung herausgestellt (Azuma, 1997). Der Einsatz von AR ermöglicht es, abstrakte Inhalte – etwa naturwissenschaftliche Modellvorstellungen oder physikalische Messwerte – als virtuelle Objekte unmittelbar in die reale Welt zu integrieren.

In dem Projekt Digital CAMPUS-le@rning an der Universität Hildesheim wird die Wirksamkeit des Einsatzes der AR-Technologie zum besseren Verständnis des Stoff-Teilchen-Konzepts im Chemie-Experimentalunterricht untersucht. Dabei wird ein Experiment in Echtzeit mit der Visualisierung der physikalisch-chemischen Vorgänge auf der Teilchenebene angereichert, um die von Johnstone (2006) als herausfordernd beschriebene Darbietung von Fachinhalten auf verschiedenen Abstraktionsebenen im Chemieunterricht zu adressieren. Die Anwendung wird mit einer digitalen Protokollierungshilfe kombiniert, die Lernende im Umgang mit den sprachlichen und strukturellen Besonderheiten von Versuchsprotokollen unterstützt. Der eingereichte Beitrag stellt neben der Entwicklung und Konzeption der Lernhilfe auch die Ergebnisse einer Pilotstudie zur Lernwirksamkeit der beschriebenen Anwendung vor.

Hintergrund

Mehrere Veröffentlichungen beschreiben den Einsatz von AR zur Anreicherung der bei Versuchen beobachtbaren makroskopischen Ebene mit Erklärungen auf der submikroskopischen Ebene (Peeters et al., 2023; Ripsam, 2023). Durch die in Echtzeit dargebotene Visualisierung wird eine bessere Verknüpfung beider Abstraktionsebenen erwartet, da die Lernenden bereits im Experimentierprozess zu einer Auseinandersetzung mit der Darstellung des beobachteten Phänomens auf Submikroebene angeregt werden (Peeters et al., 2023). Zudem vermuten Thees et al. (2020) aufgrund der Entsprechung der AR-Lernumgebung mit den Designprinzipien der räumlichen und zeitlichen Kontiguität nach Mayer (2012) eine Reduktion der extrinsischen kognitiven Belastung (ECL). Neben einer empirischen Untersuchung (ebd.) bestätigen auch mehrere Übersichtsarbeiten die Annahme und zeigen mehrheitlich eine geringe kognitive Belastung und einen höheren Lernerfolg durch AR (Buchner et al., 2022; Syskowski et al., 2024).

Im Lehralltag erfolgt die systematische Dokumentation naturwissenschaftlicher Versuche mithilfe von Versuchsprotokollen, die fachliches Lernen mit fachsprachlichen Elementen kombinieren (Müllner et al., 2024). Um neben der Vermittlung von Fachinhalten einen übergeordneten Mehrwert zu bieten, wird die AR-Begleitung in Verbindung mit einer digitalen Hilfe zur Protokollerstellung eingesetzt. In dem interaktiven Dokument werden die Lernenden angeregt, jeden Schritt der beobachteten Reaktion auf der Makro-, Submikro- und Repräsentationsebene nach Johnstone zu betrachten. Zugleich erhalten die Lernenden nach dem Prinzip des Scaffolding (Wessel, 2015) inhaltlich-fachsprachliche Unterstützung, beispielsweise in Form von Textbausteinen, die schrittweise zurückgenommen wird.

Umsetzung

Die praktische Umsetzung der AR-Lernhilfe erfolgt in Form einer eigens entwickelten App für mobile Android- und iOS-Endgeräte für den Einsatz mit Farbreaktionen. Die App erfasst die Farbe eines Objekts, etwa einer wässrigen Lösung mit pH-Indikator, und blendet passend zu den voreingestellten Farbwerten Modelle der in der Lösung angenommenen submikroskopischen Teilchen ein. Im Zuge der Pilotierung wurden Farbwerte für den pH-Indikator Bromthymolblau in saurem, neutralem und basischem Milieu und Kugel-Stab-Modelle der entsprechenden Ionen in wässriger Lösung hinterlegt. In der derzeitigen Ausführung eignet sich die Anwendung damit für die Bestimmung des sauren oder basischen Charakters einer mit pH-Indikator versetzten Lösung und kann als visuelle Hilfe bei Neutralisationsreaktionen und Titrimetrie dienen.

Abbildung 1 stellt die Implementierung der AR-Begleitung innerhalb der digitalen Strukturierungshilfe dar. Die Lernenden listen in tabellarischer Form für jeden Versuchsschritt ihr Vorgehen, eine fotografisch gestützte schriftliche Dokumentation ihrer Beobachtungen, einen Screenshot aus der AR-Lernhilfe und eine Verbalisierung der Modellvorstellung auf.

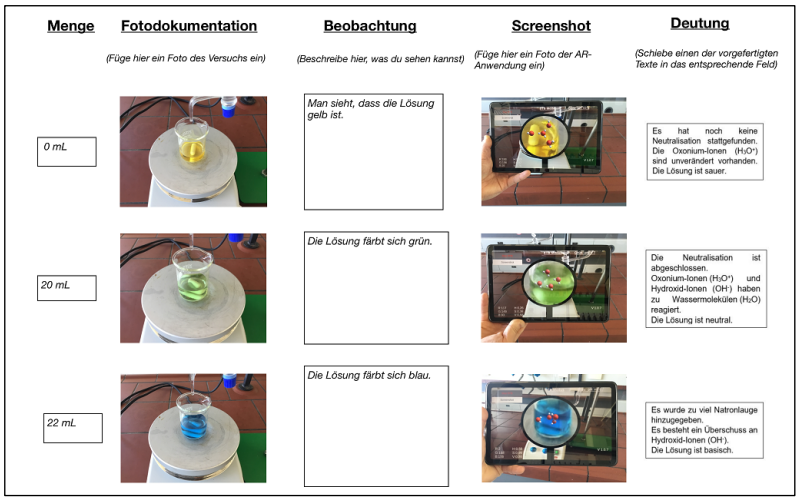


Abb. 1: Digitale Protokollierungshilfe mit abfotografierten AR-Darstellungen der Interventionsgruppe.

Pilotierung

Die Anwendung wurde mit $n = 31$ Schülerinnen und Schülern (SuS) der Sekundarstufe I im Hinblick auf ihre Lernwirksamkeit und die empfundene Benutzerfreundlichkeit nach einer Skala von Brooke (1996) pilotiert. Die Untersuchung erfasst in einem quasi-experimentellen Zwei-Gruppen Pre-Post-Design themenspezifisches Fachwissen der SuS. Dazu wurden die SuS zunächst im Umgang mit der Strukturierungshilfe geschult. Im weiteren Verlauf absolvierten die SuS der Interventionsgruppe eine AR-unterstützte Unterrichtseinheit zum Thema Säuren und Basen in Gruppenarbeit zu je 3-4 SuS. Jeder SuS-Gruppe wurde ein Tablet-PC zur Anwendung der AR-Lernhilfe und ein weiterer Tablet-PC zur Bearbeitung der Strukturierungshilfe bereitgestellt. Die AR-Darstellungen wurden durch Abfotografieren des Bildschirms in die Strukturierungshilfe übertragen. Die Kontrollgruppe absolvierte die gleiche Unterrichtseinheit ohne AR-Unterstützung. Die SuS nutzten ebenfalls einen Tablet-PC zur Bearbeitung der Strukturierungshilfe, bekamen aber vorgefertigte Screenshots aus der AR-Anwendung bereitgestellt.

Ergebnisse

Die SuS der Interventionsgruppe (8 ♀, 9 ♂) bewerten die Benutzerfreundlichkeit mit einem Usability-Score nach Brooke (1996) von $\bar{x} = 74{,}7$. Unter Anwendung einer etablierten Ordinalskalierung (Bangor & Kortum, 2009) kann die Benutzerfreundlichkeit damit als „gut“ gedeutet werden. Während sich die erreichte Punktzahl der Kontrollgruppe (8 ♀, 6 ♂) nicht signifikant zwischen Pre- und Posttest unterscheidet, erreicht die Interventionsgruppe im Posttest mit 4,94 von 8 möglichen Punkten durchschnittlich 1,35 Punkte mehr als im Pretest. Trotz der kleinen Stichprobe ist der beobachtete Unterschied mit $p = 0{,}016$ signifikant und es kann eine Effektstärke $d = 0{,}657$ angegeben werden.

Tabelle 1: Statistische Auswertung der Schüler*innenantworten mit „Paired Samples“ *t*-Test.

Measure	Pretest		Posttest		*p*	Cohen’s *d*	SE Cohen’s *d*
	Mean	SD	Mean	SD			
Non-AR ($n = 14$)	3.07	1.44	3.29	1.86	0.648	-0.657	0.306
AR ($n = 17$)	3.59	1.46	4.94	2.05	0.016	-0.125	0.273

Fazit

Es wurde ein lauffähiger Prototyp der AR-Lernhilfe entwickelt und erfolgreich getestet. Eine Untersuchung mit 31 Schülerinnen und Schülern zeigte einen positiven Effekt auf den Lernerfolg und steht damit im Einklang mit vorausgegangenen empirischen Studien. Weitere Untersuchungen mit größeren Stichproben und variierenden Inhalten sind notwendig, um den Lernzuwachs statistisch sicher zu erfassen und von kurzfristigen motivationalen Effekten zu trennen.

Literatur

Azuma, R. (1997). A Survey of Augmented Reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 6(4), 355–385.

Bangor, A., & Kortum, P. (2009). Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. Journal of Usability Studies, 4(3), 114–123.

Brooke, J. (1996). SUS - A quick and dirty usability scale. In P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester & I. L. McClelland (Eds.), Usability Evaluation in Industry. London: Taylor & Francis, 189-194.

Buchner, J., Buntins, K., & Kerres, M. (2022). The impact of augmented reality on cognitive load and performance: A systematic review. Journal of Computer Assisted Learning, 38(1), 285–303.

Johnstone, A. H. (2006). Chemical education research in Glasgow in perspective. Chemistry Education Research and Practice, 7(2), 49–63.

Mayer, R. E. (2012). Principles for Reducing Extraneous Processing in Multimedia Learning: Coherence, Signaling, Redundancy, Spatial Contiguity, and Temporal Contiguity Principles. In R. E. Mayer (Hrsg.), The Cambridge Handbook of Multimedia Learning. Cambridge: Cambridge University Press, 183-200.

Peeters, H., Habig, S., & Fechner, S. (2023). Does Augmented Reality Help to Understand Chemical Phenomena during Hands-On Experiments?–Implications for Cognitive Load and Learning. Multimodal Technologies and Interaction, 7(2), 9.

Ripsam, M. (2023). Wirksamkeit von Augmented Reality zur Förderung des Stoff-Teilchen-Konzeptverständnisses. Technische Universität München.

Syskowski, S., Wilfinger, S., & Huwer, J. (2024). Impact and Classification of Augmented Reality in Science Experiments in Teaching - A Review. Education Sciences, 14(7), 760.

Thees, M., Kapp, S., Strzys, M. P., Beil, F., Lukowicz, P., & Kuhn, J. (2020). Effects of augmented reality on learning and cognitive load in university physics laboratory courses. Computers in Human Behavior, 108, 106316.

Wessel, L. (2015). Fach- und sprachintegrierte Förderung durch Darstellungsvernetzung und Scaffolding. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 45-59.

Luisa Lauer[1] [1]Universität des Saarlandes
Markus Peschel[2]

Entscheidungen in Bezug auf den Einsatz von AR(-Technologien) von angehenden Lehrkräften

Motivation und Hintergrund

Im Sachunterricht der Primarstufe gibt es noch immer ein Desiderat zur Entwicklung und Erforschung von Anwendungen mit Augmented Reality. Augmented Reality wird verstanden als mittels virtueller (=digital generierter) Inhalte angereicherte Wahrnehmung der Realität (Dörner et al., 2019; Azuma et al., 2001). Das pädagogisch-didaktische Potenzial des Einsatzes von AR in Lehr-Lern-Situationen liegt daher in der gleichzeitigen Wahrnehmung realer und virtueller Objekte (Dunleavy, 2014) mit einer Echtzeit-Verschränkung (räumlich, zeitlich, semantisch) zwischen Realität und Virtualität. Insbesondere beim Umgang mit multiplen Repräsentationen (Radu & Schneider, 2019) in Lehr-Lern-Situationen, welche eine stetige Adaption der Visualisierung von Repräsentationen erfordern, kann AR durch seine technischen Charakteristika neue didaktische Gestaltungsmöglichkeiten eröffnen (Anderson & Anderson, 2019).

Im Bildungsbereich verfügbare, meist kommerzielle AR-Anwendungen werden für Tablets designt/ über Tablets genutzt (Akçayır & Akçayır, 2017). Diese müssen zwar in der Hand gehalten oder fest fixiert werden, sind aber aktuell noch technisch einfacher nutzbar und erschwinglicher als spezielle, auf dem Kopf getragene AR-Brillen, welche dein Eindruck erzeugen, dass die virtuellen Objekte in AR unmittelbar an den Realobjekten visualisiert werden (Dörner et al., 2019). Während solche AR-Brillen von der Art der Visualisierung der AR also aus pädagogisch-didaktischer Sicht Tablets in Bezug auf die Fokussierung auf den Lerngegenstand (Realobjekt) überlegen zu sein scheinen, wird dieser potenzielle Vorteil derzeit wegen technischer Nutzungshürden und ökonomischer Aspekte noch nicht wirksam (Lauer, 2023).

Eine bereits publizierte Studie zur Evaluation einer AR-Anwendung (in Brillen- und Tablet-Variante) zum Thema „elektrische Schaltskizzen“ bzgl. verschiedener pädagogisch-didaktischer Aspekte durch Grundschullehrkräfte (Lauer & Peschel, 2023) zeigte, dass die befragten Lehrkräfte die pädagogisch-didaktischen Potenziale von AR nicht oder kaum ansprachen und auch die Unterschiede zwischen verschiedenen AR-Technologien (Brille vs. Tablet) nur teilweise benannten. Es wurde unter anderem vermutet, dass die Lehrkräfte dies nur teilweise oder gar nicht ansprachen, da sie entweder keine ausreichenden Vorerfahrungen/Kompetenzen in Bezug auf (den Einsatz von) AR(-Technologien) in Lehr-Lern-Situationen hatten oder dass etwaige potenzielle Vorteile nicht als bedeutsam/wirksam empfunden oder eingeschätzt wurden (ebd.). In einer der hier beschriebenen Studie soll daher näher untersucht werden, wie und aus welchen Gründen sich (angehende) Lehrkräfte für oder gegen AR-(Technologien) entscheiden.

Studiendesign und -Methode

Die Stichprobe der Studie bestand N=48 angehenden Lehrkräften (Studierende des Lehramts Primarstufe aus verschiedenen Fachsemestern) mit heterogenen Vorerfahrungen und Expertise in Bezug auf (den Einsatz von) AR(-Technologien) in Lehr-Lern-Situationen. Dies wurde zu Beginn der Online-Befragung als Vorab-Abfrage erhoben (adaptiert nach

Christensen & Knezek 1999). Anschließend wurden die angehenden Lehrkräfte mit zwei Entscheidungen konfrontiert, bei welchen die Befragten jeweils eine Wahl treffen und diese Wahl begründen sollten. Die erste Entscheidung bestand zwischen zwei Varianten einer Lehr-Lern-Anwendung zum Thema „elektrische Schaltskizzen“: eine mit einer Echtzeit-Visualisierung von Schaltsymboliken in AR und eine „analoge“ non-AR-Variante (Abb. 1a). Die zweite Entscheidung sollte zwischen einer Realisierung der AR-Visualisierung in der Lehr-Lern-Anwendung über AR-Brillen oder über Tablets (Abb. 1b) getroffen werden.

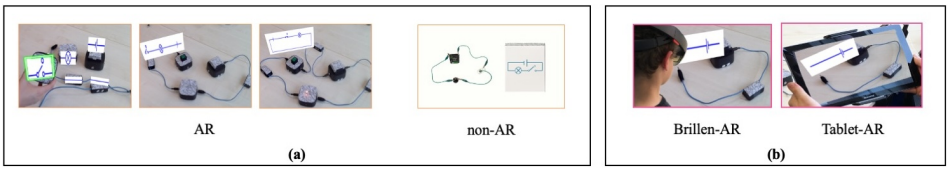


Abb.1. *(a) Entscheidung AR vs. non-AR, (b) Entscheidung Brillen-AR vs. Tablet- AR.*

Die Daten der Online-Befragung wurden sortiert bzgl. der getroffenen Wahl in Bezug auf jede Entscheidung. Die Begründungen für die jeweils getroffene Wahl wurden mittels qualitativer Inhaltsanalyse (Mayring & Fenzl, 2019) zunächst paraphrasiert und dann inhaltlich strukturiert. Aus dieser Analyse ist für jede Wahloption je Entscheidung ein Kategoriensystem entstanden.

Ergebnisse und Diskussion

Bei der Darstellung der Ergebnisse werden grundlegende Tendenzen aus den gewonnenen Kategoriensystemen zusammengefasst. Die vollständigen Kategoriensysteme sind aus Platzgründen nicht abgebildet.

(1) Entscheidung zwischen AR-Variante und Non-AR-Variante

Die Wahl der AR-Variante wird begründet mit organisatorischen Argumenten (z.B. Zeitersparnis/Vereinfachung von Abläufen), verschiedenen Gestaltungsaspekten der Lehr-Lern-Situation (z.B. Eigenaktivität der Lernenden) oder erwarteten Wirkungen auf die Lernenden (z.B. in Bezug auf die Motivation oder die empfundene Selbstwirksamkeit). Außerdem werden didaktische Aspekte wie die visuelle Verschränkung verschiedener Repräsentationsebenen (Schaltung, Schaltskizze) bei der Wahl der AR-Variante als Begründung genannt. Bei der Wahl der non-AR-Variante werden persönliche Präferenzen (z.B. Bevorzugung „analoger“ Lehr-Lern-Umgebungen gegenüber „digitaler“) sowie fehlende Kompetenzen oder Unsicherheit in Bezug auf den Einsatz von AR in Lehr-Lern-Situationen. Einige Befragte geben an, keinen Mehrwert in der AR-Variante zu sehen und deswegen die Non-AR-Variante zu bevorzugen. Außerdem werden befürchtete Demotivation durch technische Schwierigkeiten sowie Ablenkungen vom Fachinhalt durch die Technik und eine mögliche Verhinderung des selbstständigen Zeichnens von Schaltskizzen als Gründe für eine Wahl der non-AR-Variante genannt.

Das Potenzial von AR in Lehr-Lernsituationen (s. a. theoretischer Hintergrund), insb. die Verschränkung (visueller) Repräsentationen unmittelbar an Realobjekten ohne zusätzliche „Didaktisierung“ (z.B. spezielle Stecksysteme mit Schaltsymboliken) der Realobjekte schient erkannt worden zu sein. Die Nennung von personenbezogenen Gründen wie fehlende Vorerfahrung/Kompetenz in Bezug auf den Einsatz von AR in Lehr-Lern-Situationen oder die Angabe, keinen Mehrwert zu erkennen, könnten für eine verstärkte Adressierung von/

Auseinandersetzung mit (innovativen Technologien wie) AR in der Ausbildung von Lehrkräften sprechen.

(2) Entscheidung zwischen Brillen-AR-Variante und Tablet-AR-Variante
Die Wahl der Brillen-AR-Variante wird zum einen begründet mit Nutzungsaspekten wie Händefreiheit oder der scheinbaren Augmentierung direkt am Realobjekt. Außerdem wird -meist daran anknüpfend- argumentiert, dass mit der Augmentierung direkt am Realobjekt auch die verschiedenen Repräsentationen (Schaltung, Schaltskizze) verschränkt werden ohne wahrnehmbares Display dazwischen (wie beim Tablet). Des Weiteren wird auch eine vermutete höhere Motivation der Lernenden gegenüber der Verwendung eines Tablets als Begründung für eine Wahl der AR-Brillen-Variante angegeben. Die Wahl der Tablet-AR-Variante wird einerseits begründet mit fehlenden Vorerfahrungen oder Kompetenzen in Bezug auf den Einsatz von AR-Brillen (in Lehr-Lern-Situationen) oder auch mit einer (derzeit noch) einfacheren Handhabung und höheren Bekanntheit von/Vertrautheit mit Tablets gegenüber AR-Brillen. Außerdem werden eine (derzeit noch) einfachere Kontrolle der Aktivitäten von Lernenden durch die Lehrkraft sowie eine (derzeit noch) einfachere Nutzung von Tablet-AR in Gruppen gegenüber Brillen-AR als Begründungen für die Wahl der Tablet-AR-Variante genannt.
Das Potenzial von AR-Brillen gegenüber Tablets (s. theoretischer Hintergrund), z. B. Händefreiheit, unmittelbare Augmentierung an Realobjekten, scheint also durchaus erkannt zu werden. Allerdings scheinen viele technische Limitationen der AR-Brillen (bzw. sich daraus ergebende Überlegenheit von Tablets), welche aktuell noch bestehen, die befragten Lehrkräfte zu einer Entscheidung gegen AR-Brillen zu bewegen.

Fazit und Ausblick:
Insgesamt zeigt sich, dass das Potenzial von AR und speziell AR-Brillen erkannt zu werden scheint, dass aber (meist) pragmatische Schwierigkeiten in Lehr-Lern-Situationen eine Entscheidung der Lehrkräfte für AR oder speziell für Brille-AR (derzeit noch) verhindert. Dies könnte eine mögliche Erklärung für den Umstand sein, dass in der vorangegangenen Studie viele der befragten Lehrkräfte von sich aus keine möglichen Vorzüge von AR(-Brillen) ansprachen. Beim Vergleich der Begründungen für oder wider AR(-Technologien) fällt überdies auf, dass -wenngleich viele Entscheidungen anhand von pädagogisch-didaktischen oder unterrichtspraktischen Argumenten begründet werden- insbesondere bei Entscheidungen *wider* AR(-Technologien) mit persönlichen Präferenzen oder selbst empfundenen Kompetenzdefiziten begründet werden. In weiterführenden, explorativen Analysen könnte der Einfluss der Vorerfahrungen/Kompetenzen in Bezug auf AR (Gegenstand der Vor-Befragung) auf die Entscheidungsfindung und -begründung untersucht werden (z.B. durch Kontrastierung von Fallbeispielen).
Weitere Studien könnten überdies die Entscheidungsfindung und -begründung von praktizierenden Lehrkräften (tendenziell unterrichtspraktischer erfahren, tendenziell älter) in den Blick nehmen und mit den bisher gewonnenen Befunden vergleichen. Insgesamt könnten die hier dargestellten sowie die angekündigten Untersuchungsergebnisse einen wichtigen Beitrag zur Ableitung konkreter Implikationen für die Lehrkräftebildung im Spannungsfeld zwischen innovativen Technologien (hier: AR) und unterrichtspraktischen, meist noch durch die Technik und/oder die Qualifikation der Lehrkräfte bedingten Einsatzhürden leisten.

Literatur

Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, *20*, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002.

Anderson, C. L., & Anderson, K. M. (2019). Wearable Technology: Meeting the Needs of Individuals with Disabilities and Its Applications to Education. In I. Buchem, R. Klamma, & F. Wild (Hrsg.), *Perspectives on Wearable Enhanced Learning (WELL)*, 59–77. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-64301-4_3.

Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S. J., & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, *21*(6), 34–47. https://doi.org/10.1109/38.963459.

Christensen, R., & Knezek, G. (1999). Stages of adoption for technology in education. Computers in New Zealand Schools, 11(3), 25–29.

Dunleavy, M. (2014). Design Principles for Augmented Reality Learning. *TechTrends*, *58*(1), 2834. https://doi.org/10.1007/s11528-013-0717-2.

Dörner, R., Broll, W., Grimm, P., & Jung, B. (2019). *Virtual und Augmented Reality (VR/AR): Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität*. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58861-1.

Lauer, L. (2023). Augmentierungen für das Erlernen von Schaltsymboliken im naturwissenschaftlich-orientierten Sachunterricht der Primarstufe. Universität des Saarlandes. https://dx.doi.org/10.22028/D291-41400.

Lauer, L., & Peschel, M. (2023). ‹Pedagogical Usability› von Augmented Reality zum Thema Elektrik: Eine qualitative Studie zum Potenzial des Einsatzes von AR im (naturwissenschaftlich-orientierten) Sachunterricht der Primarstufe. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, *51*, 25–64. https://doi.org/10.21240/mpaed/51/2023.01.11.X.

Mayring, P., & Fenzl, T. (2019). Qualitative Inhaltsanalyse. In N. Baur & J. Blasius (Hrsg.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*, 633–648. Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-21308-4_42.

Radu, I., & Schneider, B. (2019). What Can We Learn from Augmented Reality (AR)?: Benefits and Drawbacks of AR for Inquiry-based Learning of Physics. *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–12. https://doi.org/10.1145/3290605.3300774.

Tilmann Steinmetz[1]
Peter Gerjets[2]
Andreas Lachner[1]
Walther Paravicini[1]
Jan-Philipp Burde[1]

[1]Eberhard Karls Universität Tübingen
[2]Leibniz-Institut für Wissensmedien Tübingen

Lernen mit KI in der E-Lehre: Ein KI-Tutor für das EPo-Konzept in der Sekundarstufe I

Einleitung

Für das Fach Physik gibt es zahlreiche etablierte Unterrichtskonzeptionen (vgl. Wilhelm et al., 2021), die jedoch die Heterogenität der Lernenden nicht explizit berücksichtigen und daher an ihre Grenzen stoßen. Ein Beispiel ist die Elektrizitätslehre, insbesondere das Thema einfacher Stromkreise. Obwohl mit dem EPo-Konzept (Elektrizitätslehre mit Potenzial, Burde & Wilhelm, 2021) eine effektives Unterrichtskonzeption vorliegt, bleibt die Heterogenität von Lernenden in der Konzeption bislang unberücksichtigt. Digitale Technologien, insbesondere Künstliche Intelligenz (KI), bieten hier neue Möglichkeiten, Lernprozesse individuell zu unterstützen. Das vorliegende Forschungsprojekt, das im Rahmen des Postdoc-Kollegs TEIFUN (Technologiegestützte Innovationen in fachspezifischen Unterrichtssettings) durchgeführt wird, zielt darauf ab, das EPo-Konzept um einen KI-gestützten Tutor zu erweitern und dessen Potenzial für personalisiertes Lernen in der Sekundarstufe I empirisch zu untersuchen. Eine besondere Stärke des Projekts liegt in der theoriegeleiteten Entwicklung sowohl der tutoriellen als auch der fachdidaktischen Vorgaben an den KI-Tutor. Da der Einsatz generativer KI im Bildungsbereich relativ neu ist, soll mit einer explorativen Vorstudie zunächst die Nutzung der Technologie durch Lernende und dessen Einfluss auf Lernprozesse erforscht werden.

Forschungsstand: KI-basiertes Tutoring

Tutoring gilt als besonders effektive Lehr- und Lernform, da es eine interaktive und personalisierte Lernumgebung schafft (Chi et al., 2001; vanLehn, 2011). So stellen Lernende in tutoriellen Umgebungen deutlich häufiger vertiefende Fragen als im traditionellen Unterricht, was als förderlich für ein vertieftes Verständnis von Fachwissen gilt (Graesser & Person, 1994). Kriterien für gutes menschliches Tutoring sind bereits gut untersucht. Beispielsweise wird nach Chi et al. (2001) Tutoring besonders erfolgreich, wenn der Tutor die Lernenden durch gezielte Unterstützung (Scaffolding) anregt, eigene Fragen und Überlegungen zu formulieren (schülerzentriertes Tutoring), anstatt auf Erklärungen zu fokussieren (tutorzentriertes Tutoring). Mit KI-basierten Tutoren ist es potenziell möglich, die Vorteile tutorieller Lernumgebungen einfacher und in größeren Lerngruppen umzusetzen, da sie von mehreren Lernenden gleichzeitig genutzt werden können (Skalierbarkeit) und sogar von zu Hause aus zugänglich sind. Aktuell entsteht eine neue Generation von KI-Tutoren, die auf Large Language Models (LLMs) basieren und so eine Interaktion in natürlicher Sprache ermöglichen. Dies erleichtert Lernenden den Zugang zu fachlichen Gesprächen, die besonders förderlich für eine kognitive Aktivierung sind (Graesser, 2016), denn anders als bei anderen interaktiven digitalen Lernumgebungen können Lernende in Dialogen ihre eigenen Fragen und Gedanken äußern und erhalten daraufhin individualisierte Rückmeldungen und Unterstützung. Darüber hinaus bieten generative KI-Systeme weitere Vorteile, die in Bildungsprozessen genutzt werden können (vgl. Tab. 1), etwa die Förderung von eher schüchternen Lernenden, die sich möglicherweise eher

Tabelle 1: Eigenschaften und Funktionen generativer KI (GAI) in der Bildung

Eigenschaften von GAI	***Funktionen von Lernsystemen mit GAI***
- *Generativ* (erzeugt dynamisch Texte, Aufgaben, Diagramme, Formeln etc.) - *Just-in-time* Antworten - *Schneller Informationszugriff* - *Ubiquitär* (überall verfügbar) - *Natürliche Sprache* (ermöglicht intuitive Kommunikation) - *Skalierbar* (kann viele Lernende gleichzeitig betreuen) - *Adaptiv* (passt sich an das individuelle Lernniveau an) - *Flexibel* (vielfältige Anwendungsmöglichkeiten durch Engineered Prompts) - *Interaktiv und dialogisch* - *Immersiv* (schafft eine tiefere Lernerfahrung)	- *Tutor für zuhause* - *Fachbezogenes Feedback* - *Scaffolding* - *Dialogischer Lernpartner* - *Diagnostik und angepassten Aufgaben* (passgenaue Aufgabenerstellung für individuelles Lernen) - *Barrierearmer Lernraum* (niederschwelliger Zugang, insbesondere für schüchterne Lernende) - *Erstellung wissenschaftlicher Diagramme* (vereinfachte Analyse und Darstellung von digitalen Daten durch sprachbasierte Anweisung) - *Schneller Informationszugriff* (z. B. für Rechercheaufgaben)

trauen, Fragen an einen KI-Tutor zu stellen (Inoferio et al., 2024). Inwiefern sich diese Eigenschaften KI-basierter Tutoren in realen Lernumgebungen auch wirksam umsetzen lassen, ist Gegenstand aktueller Forschung.

Der Einsatz generativer KI im Bildungsbereich befindet sich dabei noch in einer frühen Entwicklungsphase, in der Erfahrungen mit dem Verhalten der KI in Lehr- und Lernprozessen gesammelt werden müssen. In den letzten Jahren sind verschiedene KI-basierte Tutorsysteme entstanden, wie zum Beispiel Open Tutor (Nye et al., 2023), Khanmigo (Shetye, 2024) und LEAP (Steinert et al., 2023). Diese Systeme bieten vielversprechende Möglichkeiten für den Schulunterricht, sind jedoch auch mit technischen Herausforderungen und Problemen konfrontiert. Ein häufig genanntes Problem sind fachliche Ungenauigkeiten und sogenannte "Halluzinationen", bei denen die KI falsche oder erfundene Informationen generiert. Darüber hinaus wird oft unangemessenes oder übermäßig positives Feedback kritisiert, das den Lernprozess eher behindern als fördern kann (Küchemann et al., 2024). Die Forschung zu den Lerneffekten in KI-gestützten Lernumgebungen ist dementsprechend uneinheitlich. Während einige Studien positive Auswirkungen von KI-Tutoren auf den Lernerfolg zeigen (z. B. Kestin et al., 2024), weisen andere sogar auf negative Effekte hin (Bastani et al., 2024), wobei der Zugang zu einem KI-Tutor vertieftes Lernen eher verhindert.

Unser Ansatz: Ein theoriebasierter KI-Tutor für das EPo-Konzept

Zur Verbesserung der Qualität unseres KI-Tutors wird in diesem Projekt ein theoriebasierter Ansatz für die Entwicklung eines KI-Tutors zu einfachen Stromkreisen erfolgt. Dieser Ansatz basiert auf zwei zentralen Dimensionen: der tutoriellen und der fachdidaktischen Dimension des KI-Tutors.

In der tutoriellen Dimension wird der KI-Tutor gemäß dem Five-Step-Modell von Chi et al. (2001) entwickelt, das als bewährtes Modell für effektives menschliches Tutoring gilt. Dieses Modell beschreibt eine spezifische Abfolge im Lehr-Lern-Prozess: (1) Begrüßung, (2) eine initiale Frage, (3) korrigierendes Feedback ohne zusätzliche Erklärungen, (4) Scaffolding zur Unterstützung der Lernenden bei der Erarbeitung einer fachlich korrekten Antwort und

(5) eine Überprüfung des Verständnisses in Form einer Zusammenfassung des Gesagten, gegebenenfalls ergänzt durch eine Transferaufgabe.

Um die fachdidaktische Qualität zu gewährleisten, soll der KI-Tutor auf Basis eines fachdidaktisch erprobten Unterrichtskonzepts entwickelt werden. Während dies den Tutor stärker spezifiziert und weniger generisch macht, dient es der fachlichen und fachdidaktischen Qualitätssicherung. Ein geeignetes Beispiel hierfür ist das sogenannte EPo-Konzept (Burde & Wilhelm, 2021), das theoriegeleitet entwickelt und empirisch evaluiert wurde (Burde & Wilhelm, 2020). Die Motivation hinter dem EPo-Konzept besteht darin, dass viele Lernende auch nach der Sekundarstufe I oftmals über kein konzeptionelles Verständnis elektrischer Stromkreise verfügen. Als Kernproblem gilt dabei die unzureichende Vermittlung des Spannungskonzepts, welches häufig zugunsten des Strombegriffs vernachlässigt wird (Cohen et al., 1983). Im EPo-Konzept wird die elektrische Spannung als Potenzialdifferenz in den Mittelpunkt gestellt und als „elektrischer Druckunterschied" eingeführt, um an bestehende Vorstellungen der Lernenden zum Luftdruck anzuknüpfen. Der elektrische Strom wird anschließend als „Elektronenströmung" eingeführt.

Geplante Vorstudie: Angebot und Nutzung von Lernumgebungen mit KI-Tutor

Im Rahmen einer Vorstudie soll ein erster Prototyp des KI-Tutors zunächst mit Erstsemesterstudierenden der Physik erprobt werden. Ausgehend vom Angebots-Nutzungs-Modell (Helmke, 2012) steht die Frage im Mittelpunkt, wie Lernende den KI-Tutor bei der Bearbeitung von Aufgaben nutzen. Die explorative Studie greift den uneindeutigen Forschungsstand auf, wonach der Zugang zu KI-Tutoren nicht zwangsläufig zu höheren Lernerfolgen führt (z. B. Bastani et al., 2024). Daher wird untersucht, wie Lernende das Angebot des Tutors konkret nutzen – etwa, wie sie auf die Antworten des KI-Tutors reagieren, ob sie gezielt Fragen stellen und in welchem Maße dies zu einem besseren Verständnis führt. Zudem wird evaluiert, ob das Verhalten des KI-Tutors den tutoriellen und fachdidaktischen Vorgaben entspricht oder ob Anpassungen erforderlich sind. Methodisch werden hierzu Chatverläufe, die in realen Lernsituationen entstehen, inhaltlich analysiert. Um eine reale Lernsituation zu realisieren, können die teilnehmenden Studierenden den KI-Tutor in Rahmen dieser Studie zur Auffrischung ihres physikalischen Schulwissens nutzen und sich so auf ihr Fachstudium vorbereiten.

Ausblick: Weiterentwicklung des KI-Tutors und langfristige Ziele

Die Vorstudie soll die Grundlage für die Weiterentwicklung des KI-Tutors und die Entwicklung geeigneter Lernumgebungen schaffen. Langfristig wird angestrebt, den KI-Tutor in der Sekundarstufe I einzusetzen. Dafür soll spezifisches Unterrichtsmaterial entwickelt werden, das auf die Nutzung des KI-Tutors im Rahmen des EPo-Konzepts zugeschnitten ist. Besonders geeignet sind Lernaufgaben, die nicht nur auf Leistung, sondern auf die Entwicklung von Kompetenzen abzielen (Leisen, 2010), um das Potenzial von KI-Tutoren voll auszuschöpfen. Diese Aufgaben sollen den Lernenden ermöglichen, Problemstellungen eigenständig zu entdecken und eigene Vorstellungen zu entwickeln. Solche Lernaufgaben gelten als besonders effektiv für einen nachhaltigen Lernerfolg, sind jedoch ohne technische Unterstützung, wie sie ein KI-Tutor mit individuell angepassten Hilfestellungen anbieten kann, mit einem hohen Betreuungsaufwand verbunden. In einer größer angelegten empirischen Studie soll schließlich untersucht werden, inwiefern das Zusammenspiel zwischen dem KI-Tutor und dem fachdidaktischen EPo-Konzept mit Lernaufgaben Lernprozesse beeinflusst und das Verständnis der Schülerinnen und Schüler zu einfachen Stromkreisen verbessert.

Literatur

Bastani, H., Bastani, O., Sungu, A., Ge, H., Kabakcı, Ö., & Mariman, R. (2024). Generative AI Can Harm Learning. Preprint. https://doi.org/10.2139/ssrn.4895486

Burde, J.-P. & Wilhelm, T. (2020). Results of a Design-Based-Research Study to Improve Students' Understanding of Simple Electric Circuits. In J. Guisasola & K. Zuza (Hrsg.), Research and Innovation in Physics Education: Two Sides of the Same Coin (S. 119–133). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51182-1_10

Burde, J.-P. & Wilhelm, T. (2021). Vom Luftdruck zur Spannung. MNU Journal 74, Nr. 1, 2021, S. 34 - 39

Chi, M. T. H., Siler, S. A., Jeong, H., Yamauchi, T. & Hausmann, R. G. (2001). Learning from human tutoring. Cognitive Science, 25(4), 471–533. https://doi.org/10.1207/s15516709cog2504_1

Cohen, R., Eylon, B. & Ganiel, U. (1983). Potential difference and current in simple electric circuits: A study of students' concepts. American Journal of Physics, 51(5), 407–412. https://doi.org/10.1119/1.13226

Graesser, A. C. & Person, N. K. (1994). Question asking during tutoring. American Educational Research Journal, 31, 104 –137

Graesser, A. C. (2016). Conversations with AutoTutor Help Students Learn. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 26(1), 124–132. https://doi.org/10.1007/s40593-015-0086-4

Helmke, A. (2012): Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität. Seelze: Klett Kallmeyer

Inoferio, H. V., Espartero, M., Asiri, M., Damin, M., Chavez, J. V., Inoferio, H. V., Espartero, M., Asiri, M., Damin, M. & Chavez, J. V. (2024). Coping with math anxiety and lack of confidence through AI-assisted Learning. Environment and Social Psychology, 9(5). https://doi.org/10.54517/esp.v9i5.2228

Kestin, G., Miller, K., Klales, A., Milbourne, T.,& Ponti, G. (2024). AI Tutoring Outperforms Active Learning. Preprint. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4243877/v1

Küchemann, S., Steinert, S., Kuhn, J., Avila, K. & Ruzika, S. (2024). Large language models—Valuable tools that require a sensitive integration into teaching and learning physics. The Physics Teacher, 62(5), 400–402. https://doi.org/10.1119/5.0212374

Leisen, J. (2010). Lernprozesse mithilfe von Lernaufgaben strukturieren: Informationen und Beispiele zu Lernaufgaben im kompetenzorientierten Unterricht. Naturwissenschaften im Unterricht. Physik, 21(117/118), S. 9-13.

Nye, B. D., Mee, D. & Core, M. G. (2023). Generative Large Language Models for Dialog-Based Tutoring: An Early Consideration of Opportunities and Concerns. LLM@ AIED, 78–88.

Shetye, S. (2024). An Evaluation of Khanmigo, a Generative AI Tool, as a Computer-Assisted Language Learning App. Studies in Applied Linguistics and TESOL, 24(1), Article 1. https://doi.org/10.52214/salt.v24i1.12869

Steinert, S., Avila, K. E., Ruzika, S., Kuhn, J. & Küchemann, S. (2023). Harnessing Large Language Models to Enhance Self-Regulated Learning via Formative Feedback (arXiv:2311.13984). arXiv. http://arxiv.org/abs/2311.13984

VanLehn, K. (2011). The Relative Effectiveness of Human Tutoring, Intelligent Tutoring Systems, and Other Tutoring Systems. Educational Psychologist, 46(4), 197–221. https://doi.org/10.1080/00461520.2011.611369

Wilhelm, T., Schecker, H. & Hopf, M. (2021). Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht. Berlin: Springer.

Julia Hofmann[1]
Larissa Hahn[1]
Pascal Klein[1]
Sebastian Becker-Genschow[2]

[1]Universität Göttingen
[2]Universität zu Köln

LEIFIadaptiv: KI-basiertes adaptives Lernen in der Mechanik

Künstliche Intelligenz (KI) bietet herausragendes Potential, Lernprozesse insbesondere angesichts wachsender Heterogenität von Lernenden zu unterstützen. Vor diesem Hintergrund wurde in einem durch die Joachim Herz Stiftung geförderten Projekt in Kooperation mit dem Unternehmen AREA9 Lyceum auf Basis des online Lernportals *LEIFIphysik* eine KI-basierte adaptive Lernumgebung (*LEIFIadaptiv)* zum ungedämpften Federpendel (Mechanik) entwickelt. Diese nutzt ein intelligentes tutorielles System, welches die Präsentation von Lehr-Lern-Materialien auf Basis verschiedener objektiv-leistungsbasierter sowie subjektiver Indikatoren adaptiert. Die Wirksamkeit wurde im Rahmen eines Kontroll- und Interventionsgruppendesigns mit 42 Schüler:innen anhand des Konzeptwissens zum ungedämpften Federpendel und der Benutzerfreundlichkeit im Vergleich zu *LEIFIphysik* untersucht. Lernende beider Gruppen zeigten nach einer Selbstlernphase ein signifikant besseres Ergebnis im Konzepttest, das sich jedoch zwischen den Gruppen nicht signifikant unterschied.

Theoretischer Hintergrund

Die Integration von KI in den Bildungsbereich weckt großes Interesse, da KI-basierte Anwendungen vielfältige Möglichkeiten der Personalisierung sowie Differenzierung von Lernprozessen bieten (Rane et al., 2023; Haag et al., 2023). Der Fokus der (physik-) didaktischen Forschung lag hierbei bisher vor allem auf den Möglichkeiten und Herausforderungen von KI-generiertem Feedback (Zhu et al., 2022) und Large Language Models, z. B. GPT-4, für das Lehren und Lernen (Küchemann et al., 2023; Kasneci et al., 2023). Forschung zur Effizienz des individualisierten Lernens mit KI-basierten adaptiven Lernsystemen im Vergleich zu herkömmlichen bzw. traditionellen Lernmethoden steht jedoch noch am Anfang. Digitale Medien im Allgemeinen zeigten bereits in einer Vielzahl von Studien einen positiven Einfluss auf das Lernen. In einer Meta-Analyse von Hillmayr et al. (2020) wurden die Lernergebnisse von Studierenden, die mit und ohne digitale Medien lernten, untersucht. Vor allem intelligente tutorielle Systeme wiesen aufgrund ihrer personalisierten und adaptiven Natur einen der größten Effekte im Vergleich zu hypermedialen Lernsystemen auf. Eine Studie zum Lernen mit einer KI-basierten adaptiven Lernumgebung zum Themenbereich der Bionik mit Schüler:innen der Sekundarstufe I unterstützt diese Ergebnisse, indem sie einen positiven Lernzuwachs nachwies (Honke & Becker-Genschow, 2024). Außerdem zeigten sich große motivationale Effekte der Lernumgebung, welche positive Emotionen, z. B. Freude, hervorbrachte.

Die adaptive Lernumgebung *LEIFIadaptiv*

Mit Blick auf den dargestellten Forschungsstand wurde eine adaptive Lernumgebung (*LEIFIadaptiv)* zum ungedämpften Federpendel basierend auf einem intelligenten tutoriellen System entwickelt, die die entsprechenden Inhalte des online Lernportals *LEIFIphysik*

zugrunde legt. Dieses basiert auf einem multi-dimensionalen biologischen Modell, welches auf Grundlage objektiver sowie subjektiver Faktoren eine kontinuierliche Anpassung ermöglicht und so individuelle Lernwege schafft (Meier, 2019). Objektive Faktoren beziehen sich vor allem auf die Performanz der Lernenden, d. h. die Antwortkorrektheit sowie -zeit, das Antwortverhalten (z. B. die Auswahl von Distraktoren), die Lesezeit des eingeblendeten Feedbacks und die Fortschrittsrate des Lernprozesses. Darüber hinaus werden die Antwortsicherheit und der selbsteingeschätzte Wissensstand der Lernenden als subjektive Parameter berücksichtigt. Die Abwägung dieser Faktoren fließt kontinuierlich in die Präsentation nachfolgender Lerninhalte ein (Meier, 2019).

Abb. 1: Benutzeroberfläche der KI-basierten adaptiven Lernumgebung LEIFIadaptiv.

Leitfrage

Die Wirksamkeitsanalyse der adaptiven Lernumgebung erfolgt anhand folgender Leitfrage: Besitzt die KI-basierte adaptive Lernumgebung *LEIFIadaptiv* zum ungedämpften Federpendel eine höhere Lernwirksamkeit als das herkömmliche Lernportal *LEIFIphysik?*

Wirksamkeitsanalyse

Die Stichprobe besteht aus 42 Schüler:innen (17.3 ± 0.7 Jahre; 21 männlich) der 11. und 12. Klassenstufe eines Göttinger Gymnasiums. Diese absolvierten zunächst einen Konzepttest zur Bewegung eines ungedämpften Federpendels. Anschließend folgte eine Selbstlernphase zum ungedämpften Federpendel. Hierbei wurde die Stichprobe randomisiert in zwei gleichgroße Gruppen unterteilt, die sich darin unterschieden, dass die Interventionsgruppe (IG) mit *LEIFIadaptiv* lernte, wohingegen die Kontrollgruppe (KG) eine Sammlung von *LEIFIphysik* nutzte[1]. Die Gruppen wiesen keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich ihres Vorwissens (Abb. 2a und b) sowie verschiedener soziodemographischer Variablen (z. B. Physikzeugnisnote, Alter, Klassenstufe) auf. Abschließend beantworteten die Schüler:innen erneut einen Konzepttest zur Bewegung eines ungedämpften Federpendels sowie einen Fragebogen zur Benutzerfreundlichkeit der Lernumgebung (Items nach Brooke, 1996; Shellman & Turan, 2006; Unver et al., 2017). Im Konzepttest gaben die Lernenden zusätzlich ihre Antwortsicherheit an. Die Analyse der Leistungs- und Benutzerfreundlichkeitsskalen erfolgte mithilfe standardisierter statistischer Verfahren.

[1] *Sammlung im online Lernportal LEIFIphysik: https://www.leifiphysik.de/sammlung/di9wfw*

Ergebnisse

Sowohl die Antwortkorrektheit als auch die -sicherheit im Konzepttest konnten durch die Selbstlernphase mit *LEIFIadaptiv* und *LEIFIphysik* signifikant gesteigert werden (große Effekte nach Cohen, 1988; Abb. 2a und b). Dabei verzeichneten IG sowie KG einen mittleren Lernzuwachs (normalisierter Hake-Index $g_{H,IG} = 0.52$, $g_{H,KG} = 0.52$ nach Hake, 1998). Obwohl die Selbstlernphase bei der IG signifikant länger war als bei der KG ($MW_{KG} = 39$ min und $MW_{IG} = 50$ min; $t(40) = -4.08$, $p < 0.001$, $d = 1.26$), unterschieden sich beide Gruppen nicht signifikant bzgl. der Antwortkorrektheit ($t(40) = 0.63, p = 0.53$) sowie -sicherheit ($t(40) = 0.97$, $p = 0.33$) bei der Bearbeitung konzeptueller Aufgaben nach der Selbstlernphase. Die Benutzerfreundlichkeit der verwendeten Lernumgebung wurde von der KG als signifikant höher eingeschätzt ($t(39) = -2.88$, $p = 0.006$; Abb. 2c), mit großer Effektstärke nach Cohen (1988).

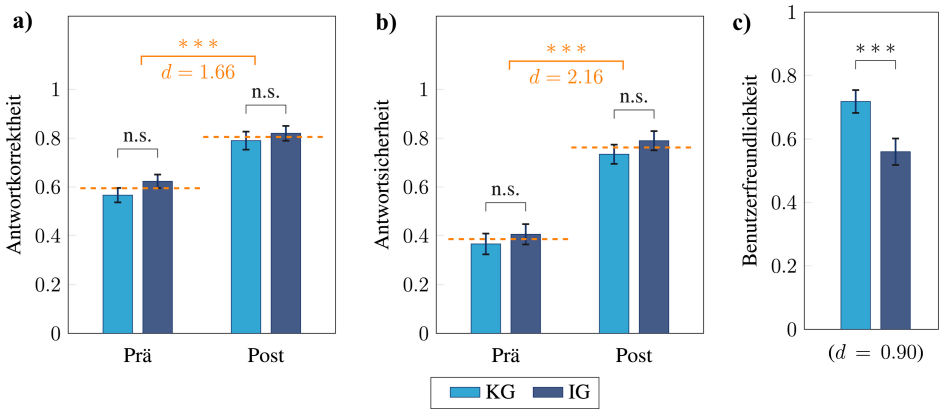


*Abb. 2: Antwortkorrektheit (a) und -sicherheit (b) im Konzepttest sowie Benutzerfreundlichkeit der Lernumgebung (c) im Vergleich von IG und KG. Zusätzlich ist der Prä-Post-Vergleich von Antwortkorrektheit (a) und -sicherheit (b) in orange dargestellt (1 SEM; n.s. nicht signifikant; *** hoch signifikant $p < 0.001$, Effektstärke Cohens d).*

Diskussion

Sowohl die Instruktion mit dem herkömmlichen online Lernportal *LEIFIphysik* als auch mit der KI-basierten adaptiven Lernumgebung *LEIFIadaptiv* erzeugten positive Lerneffekte bei Schüler:innen der gymnasialen Oberstufe. Der normalisierte Hake-Index beider Gruppen entspricht dabei dem innovativer Lernumgebungen in vorangegangenen Studien (Coletta & Phillips, 2007; Hake, 1998). Diese Ergebnisse bieten eine evidenzbasierte Entscheidungshilfe für den Einsatz beider Lernumgebungen im Schulunterricht. Im Gruppenvergleich zeigte sich trotz signifikant unterschiedlicher Bearbeitungsdauern kein Unterschied bzgl. verschiedener Leistungsindikatoren, was angesichts der Ergebnisse vorheriger Studien überrascht (Hillmayr, 2020). Allerdings beurteilte die IG, die *LEIFIadaptiv* nutzte, die Benutzerfreundlichkeit der Lernumgebung als signifikant geringer. Eine mögliche Erklärung eines fehlenden Gruppenunterschieds der Leistungsindikatoren könnte daher in der Bedienung der adaptiven Lernumgebung begründet sein. Honke und Becker-Genschow (2024) erzielten in ihrer Studie ähnliche Ergebnisse und führten diese auf die Unsicherheit der Lernenden im Umgang mit einer vergleichbaren adaptiven Lernumgebung zurück. Aus diesem Grund wird im nächsten Schritt der Umgang mit den Lernumgebungen stärker in den Fokus gerückt, z. B. mithilfe von Eye-Tracking, um tiefere Einblicke in die Lernprozesse zu gewinnen (Hahn & Klein, 2022).

Literatur

Brooke, J. (1996). Sus: a ’quick and dirty’ usability scale. In P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester & I. L. McClelland (Hrsg.), Usability Evaluation in Industry (S. 189–194). Taylor & Francis.

Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates

Coletta, V. P., Phillips, J. A., & Steinert, J. J. (2007). Interpreting force concept inventory scores: Normalized gain and SAT scores. Physical Review Special Topics – Physics Education Research, 3(1), 010106.

Haag, F., Günther, S. A., Hopf, K., Handschuh, P., Klose, M., & Staake, T. (2023). Addressing Learners' Heterogeneity in Higher Education: An Explainable AI-based Feedback Artifact for Digital Learning Environments. Wirtschaftsinformatik 2023 Proceedings, 74.

Hahn, L., & Klein, P. (2022). Eye tracking in physics education research: A systematic literature review. Physical Review Physics Education Research, 18(1), 013102.

Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. American Journal of Physics, 66(1), 64–74.

Hillmayr, D., Ziernwald, L., Reinhold, F., Hofer, S. I., & Reiss, K. M. (2020). The potential of digital tools to enhance mathematics and science learning in secondary schools: A context-specific meta-analysis. Computers & Education, 153.

Honke, N. & Becker-Genschow, S. (2024). Unveiling the future of learning: The transformative impact of adaptive leanring environments in the field of bionics in science education [preprint].

Kasneci, E., Seßler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., ... & Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. Learning and individual differences, 103.

Küchemann, S., Steinert, S., Revenga, N., Schweinberger, M., Dinc, Y., Avila, K. E., & Kuhn, J. (2023). Can ChatGPT support prospective teachers in physics task development? Physical Review Physics Education Research, 19(2), 020128.

Meier, C. (2019). KI-basierte adaptive Lernumgebungen. Deutscher Wirtschaftsdienst / Luchterhand / Wolters Kluwer.

Rane, N., Choudhary, S., & Rane, J. (2023). Education 4.0 and 5.0: Integrating Artificial Intelligence (AI) for personalized and adaptive learning. Available at SSRN 4638365.

Shellman, S. M., & Turan, K. (2006). Do simulations enhance student learning? An empirical evaluation of an IR simulation. Journal of Political Science Education, 2(1), 19–32.

Unver, V., Basak, T., Watts, P., Gaioso, V., Moss, J., Tastan, S., … & Tosun, N. (2017). The reliability and validity of three questionnaires: The student satisfaction and self-confidence in learning scale, simulation design scale, and educational practices questionnaire. Contemporary Nurse, 53(1), 60–74.

Zhu, M., Liu, O. L., & Lee, H. S. (2020). The effect of automated feedback on revision behavior and learning gains in formative assessment of scientific argument writing. Computers & Education, 143.

Benjamin Münch[1] [1]Universität Regensburg
Oliver Tepner[1]

Sprachmodellgestützte Klassifikation schriftlicher Unterrichtsreflexionen

Theoretischer Hintergrund

Die Reflexionskompetenz von angehenden Lehrkräften spielt eine zentrale Rolle in der Professionalisierung von Lehrkräften (Baumert & Kunter, 2006) und Qualitätssicherung des Unterrichts (Abels, 2011; KMK, 2004). Sie umfasst die Fähigkeit, über vergangene Unterrichtserfahrungen nachzudenken, diese zu bewerten und Konsequenzen für zukünftige Handlungen abzuleiten (Wyss, 2013). Die Analyse der Reflexionskompetenz erfolgt in der Regel manuell mit validierten Kodiermanualen (Kobl, 2021; Reimer & Tepner, eingereicht). In der Lehrkräfteausbildung sind (schriftliche) Reflexionen daher ein etabliertes Mittel, um diesen Kompetenzerwerb zu fördern (von Aufschnaiter et al., 2019). Die Herausforderung liegt jedoch in der aufwendigen Analyse der Reflexionen durch klassische Kodiermanuale. Mit dem Aufkommen von Methoden des Machine Learning (ML) und Natural Language Processing (NLP) eröffnen sich neue Wege, diese Reflexionen automatisiert und ressourcenschonend auszuwerten.

Im vorliegenden Promotionsprojekt wird der Einsatz von Machine-Learning-Modellen, insbesondere von großen Sprachmodellen (Large Language Models, LLMs) zur Evaluation von Reflexionskompetenz untersucht. Ziel ist es, zu prüfen, inwieweit diese Modelle eine valide Alternative zu klassischen Kodiermanualen darstellen und welche spezifischen Aspekte der Reflexionskompetenz sie identifizieren können.

Sprachbasierte Modelle, insbesondere LLMs wie BERT (Devlin et al., 2018), bieten die Möglichkeit, natürliche Sprache auf systematische Weise zu analysieren. Diese Modelle sind in der Lage, Zusammenhänge in Textdaten zu verstehen und anhand festgelegter Kategorien zu klassifizieren. Im Bildungsbereich können solche Modelle Muster im Text von Lehramtsstudierenden identifizieren (Wulff et al., 2022), die Rückschlüsse auf die Qualität der Reflexionen erlauben.

Ziele (Z) und Fragestellungen (F)

Z1: Training eines Klassifikators (Modell) zur Evaluation spezifischer Aspekte der Reflexionskompetenz von Studierenden des Chemielehramts

Z2: Weiterentwicklung des Klassifikators als Feedback-Tool für Dozierende

F1: Kann ein Machine-Learning-Modell zur Erfassung von Reflexionskompetenz von Chemielehramtsstudierenden entwickelt werden, das eine Alternative zu klassischen Kodiermanualen bietet?

F2: Welche Aspekte von Reflexionskompetenz kann ein Machine Learning basiertes Tool valide erfassen?

Methodik

Das Modelltraining basiert auf 168 schriftlichen Reflexionen von Studierenden des Chemielehramts. Diese Reflexionen wurden mithilfe eines bereits etablierten Kodiermanuals manuell in insgesamt 19 Kategorien (siehe Tab. 1) der Reflexionsbreite und -tiefe eingeordnet (Kobl, 2021; Reimer & Tepner, eingereicht). Eine weitere Kategorie wurde ergänzt, um Teile eines Reflexionstextes abzubilden, die sich weder der Reflexionstiefe noch der

Reflexionsbreite zuordnen lassen. Insgesamt wurden 29.367 Textsegmente kodiert, ein Segment stellt hierbei einen Satz oder einen Teilsatz dar.

Tabelle 1: Kategorien des Datensatzes für das Modelltraining

	Kategorie (Label)	**Häufigkeit**
Reflexionsbreite	Adaptivität	386
	Adressatenorientierung	615
	Chemisches Fachwissen	66
	Lehrerperformanz	606
	Lernförderliches Klima	197
	Medien	459
	Organisationsform	34
	Regeln im Chemieunterricht	51
	Schülerexperiment	20
	Sonstiges	113
	Sprachliche Verständlichkeit	378
	Sprech- & Körperausdruck	452
	Strukturiertheit	325
	Visualisierung	113
Reflexionstiefe	Alternative	513
	Beschreibung	4420
	Negative Bewertung	2021
	Perspektive	120
	Positive Bewertung	2989
	Verbesserungsvorschlag/Konsequenz	3761
	Nicht kategorisiert	11737

Ein zentraler Aspekt der Untersuchung war der Umgang mit den zunächst unbalancierten Daten. Da einige Kategorien häufiger vertreten waren als andere, wurden Techniken wie Oversampling angewendet (Mohammed et al., 2020; Ta et al., 2022), um eine ausgeglichene Verteilung der Kategorien im Trainingsdatensatz zu gewährleisten. Bei Oversampling wird aus den vorhandenen Beispielen wiederholt zufällig gezogen, bis die Kategorie(n) eine bestimmte Häufigkeit aufweisen.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass das Modell (Latif et al., 2024) eine hohe Genauigkeit bei der Klassifikation der Reflexionensegmente in 20 Kategorien erreicht.

Die besten Ergebnisse wurden bei der 5-Fold Crossvalidation mit unbalanciertem Datensatz erzielt, der einen F1-Score von .66 erreichte (siehe Tab. 2). Der F1-Score stellt den harmonischen Mittelwert aus Recall und Precision dar (Sokolova et al., 2006) und bewegt sich auf einer Skala von 0 bis 1. Je höher der F1-Score, desto stärker stimmt die Vorhersage des Modells mit der tatsächlichen kategoriellen Zuordnung des Satzsegments überein. Dies zeigt,

dass das Modell in der Lage ist, valide Rückschlüsse auf die Reflexionsbreite und -tiefe zu ziehen.

Tabelle 2: Ergebnisse der 5-Fold Crossvalidation

	unbalanciert	**balanciert (oversampling)**
Accuracy	0.68	0.64
Precision	0.67	0.65
Recall	0.68	0.64
F1	0.66	0.63
Micro F1	0.68	0.64
Macro F1	0.43	0.43
Cohens κ	0.57	0.52
Loss	1.05	1.32

Diskussion

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass LLMs eine vielversprechende Alternative zu traditionellen Kodiermanualen darstellen können. Die automatisierte Klassifikation ermöglicht es, große Mengen an Reflexionen in kurzer Zeit auszuwerten, ohne die Validität der Ergebnisse zu beeinträchtigen.

Ein zentrales Problem bleibt die Verarbeitung unausgeglichener Datensätze. Trotz des Einsatzes von Oversampling-Techniken war die Klassifikation seltener Kategorien weniger präzise als bei Verwendung des unbalancierten Datensatzes. Eine mögliche Erklärung für dieses Ergebnis ist, dass sich die Textvariation innerhalb einer Kategorie nicht erhöht und das Modell deshalb vom Training mit dem vergrößerten, aber redundanten Datensatz nicht profitiert. Zudem bleibt unklar, auf welchen Merkmalen die Zuordnung des Modells beruht.

Fazit und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Machine Learning, insbesondere Large Language Models (LLMs), das Potenzial hat, die Analyse von Unterrichtsreflexionen in der Lehrkräfteausbildung grundlegend zu erweitern. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass solche Modelle valide Rückschlüsse auf Reflexionskompetenz ziehen können und eine ressourcenschonende Alternative zu traditionellen Kodiermethoden bieten. Ein zentraler Vorteil ist die Skalierbarkeit: LLMs ermöglichen es, große Mengen an Reflexionen automatisiert auszuwerten, wodurch der zeitliche und personelle Aufwand erheblich reduziert wird. Damit wird auch sehr zeitnahes Feedback an die Lernenden möglich, welches für die Reflexion und weitere Planungen und Handlungen im Rahmen der Lehrkräfteaus- und fortbildung genutzt werden kann. Zudem fördern LLMs eine konsistente Bewertung, indem sie subjektive Interpretationen minimieren, die in manuellen Kodierungen durch unterschiedliche Kodierende auftreten können.

Zukünftige Bestrebungen dieses Forschungsprojektes werden sich darauf konzentrieren, die Modelle im Sinne von *explainable machine learning* weiter zu optimieren, um die Kategorienzuordnung transparenter zu machen. Auch der Einsatz synthetischer Daten wird näher erforscht, um mit balancierten Trainingsdatensätzen die Klassifizierung der Studierendenreflexionen weiter zu verbessern. Das übergeordnete Ziel dieser Forschungsvorhaben ist die Entwicklung eines praktischen Tools, das Dozierende in der Lehre unterstützt und den Studierenden automatisiertes Feedback zu ihren Reflexionen bietet.

Literatur

Abels, S. (2011). *LehrerInnen als „Reflective Practitioner“: Reflexionskompetenz für einen demokratieförderlichen Naturwissenschaftsunterricht*. VS Verlag für Sozialwissenschaften GmbH.

Baumert, J., & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *9*(4), Article 4. https://doi.org/10.1007/s11618-006-0165-2

Carlson, J., Daehler, K. R., Alonzo, A. C., Barendsen, E., Berry, A., Borowski, A., Carpendale, J., Kam Ho Chan, K., Cooper, R., Friedrichsen, P., Gess-Newsome, J., Henze-Rietveld, I., Hume, A., Kirschner, S., Liepertz, S., Loughran, J., Mavhunga, E., Neumann, K., Nilsson, P., … Wilson, C. D. (2019). The Refined Consensus Model of Pedagogical Content Knowledge in Science Education. In A. Hume, R. Cooper, & A. Borowski (Hrsg.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (S. 77–94). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5898-2_2

Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2018). *BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding*. https://doi.org/10.48550/ARXIV.1810.04805

KMK (Hrsg.). (2004). *Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften. (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004 i. D. F. vom 07.10.2022)*. https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Standards-Lehrerbildung.pdf

Kobl, C. (2021). *Förderung und Erfassung der Reflexionskompetenz im Fach Chemie*. Logos Verlag Berlin. https://doi.org/10.30819/5259

Latif, E., Lee, G.-G., Neuman, K., Kastorff, T., & Zhai, X. (2024). *G-SciEdBERT: A Contextualized LLM for Science Assessment Tasks in German*. https://doi.org/10.48550/ARXIV.2402.06584

Mohammed, R., Rawashdeh, J., & Abdullah, M. (2020). Machine Learning with Oversampling and Undersampling Techniques: Overview Study and Experimental Results. *2020 11th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS)*, 243–248. https://doi.org/10.1109/ICICS49469.2020.239556

Reimer, S., & Tepner, O. (eingereicht). Förderung der adaptiven Erklärkompetenz angehender Chemielehrkräfte. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 1–46.

Sokolova, M., Japkowicz, N., & Szpakowicz, S. (2006). Beyond Accuracy, F-Score and ROC: A Family of Discriminant Measures for Performance Evaluation. In A. Sattar & B. Kang (Hrsg.), *AI 2006: Advances in Artificial Intelligence* (Bd. 4304, S. 1015–1021). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/11941439_114

Ta, T., Butt, S., Angel, J., Sidorov, G., & Gelbukh, A. (2022). *The Combination of BERT and Data Oversampling for Relation Set Prediction*.

von Aufschnaiter, C., Fraij, A., & Kost, D. (2019). Reflexion und Reflexivität in der Lehrerbildung. *Herausforderung Lehrer_innenbildung - Zeitschrift zur Konzeption*, *Gestaltung und Diskussion*, 144-159 Seiten. https://doi.org/10.4119/UNIBI/HLZ-144

Wulff, P., Mientus, L., Nowak, A., & Borowski, A. (2022). Utilizing a Pretrained Language Model (BERT) to Classify Preservice Physics Teachers' Written Reflections. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. https://doi.org/10.1007/s40593-022-00290-6

Wyss, C. (2013). *Unterricht und Reflexion: Eine mehrperspektivische Untersuchung der Unterrichts-und Reflexionskompetenz von Lehrkräften*. Waxmann.

Hendrik Prause[1]
Dennis Dietz[1]

[1]Freie Universität Berlin

LLM-gestützte Untersuchungen zum vernetzten Lernen des Energiekonzepts

1. Ausgangspunkt

Large Language Models (LLMs) ermöglichen die zeitökonomische Verarbeitung großer Datenmengen. Aus diesem Grund hat der Einsatz von LLMs insbesondere in qualitativen Forschungsarbeiten erheblich an Bedeutung gewonnen und zugenommen (Chew et al., 2023; Zhang et al. 2023). Ziel dieser Arbeit ist es daher, ein LLM zu spezifizieren, mit dem Vernetzungsleistungen von Schüler*innen in Bezug auf das fachdidaktisch bedeutsame Energiekonzept automatisiert und zuverlässig untersucht werden können.

2. Theorie

Aus lerntheoretischer Perspektive ist der Aufbau vernetzter Wissensstrukturen anzustreben (u.a. Ausubel, 1974; Gagné, 1970; Mandl, 2006). In erfolgreichen Lernprozessen werden Begriffe gebildet, indem die relevanten Begriffselemente möglichst vielfältig miteinander verknüpft werden (Aebli, 1981). Wenn Lernende einen komplexen Begriff – bspw. in Form eines Essays – erklären sollen, können die hierarchischen Strukturen zwischen den im Zuge der Begriffsbildung verknüpften Begriffselementen temporär aufgedeckt werden. So kann das latente Konstrukt „vernetztes Wissen“ operationalisiert untersucht werden (Aebli, 1981; Dietz, 2023; Dietz & Bolte, 2021; 2022). Untersuchungen dieser Art sind mit dem Modell zur Analyse der Vernetzung von Begriffselementen (Akronym: MAVerBE) möglich (Dietz, 2023; Dietz & Bolte, 2021; 2022).

Im MAVerBE werden drei Strukturierungsdimensionen unterschieden: 1. Das vertikale Vernetzungsniveau, das die Komplexität der Verknüpfung zwischen Begriffselementen beschreibt, 2. die horizontale Vernetzung, die auf die verknüpften Begriffselemente fokussiert und offenlegt, inwieweit Fachgrenzen überschritten werden und 3. die fachliche Richtigkeit der Verknüpfung (Dietz, 2023; Dietz & Bolte, 2021; 2022). In der Strukturierungsdimension „vertikales Vernetzungsniveau“ werden im MAVerBE sechs Kategorien definiert, die fünf verschiedene vertikale Vernetzungsniveaus beschreiben (s. Tab. 1 in Abschnitt 4).

Das MAVerBE wurde bereits im Rahmen einer Feldstudie im Kontroll- und Interventionsgruppendesign für die Untersuchung der Effekte eines integrierten naturwissenschaftlichen Unterrichtsansatzes in den Jahrgangsstufen 7 und 8 auf das vernetzte Erlernen des fächerübergreifenden Energiekonzepts genutzt (Dietz, 2023; Dietz & Bolte, im Druck). Da sich in diesem Zusammenhang die Rekonstruktion der Vernetzungsleistungen jedoch als sehr zeitaufwendig herausgestellt hat, sind large-scale assessments zum vernetzten Erlernen des Energiekonzepts unter Nutzung des MAVerBE-Analyseverfahrens zurzeit aus ökonomischen Gründen kaum zu realisieren (Dietz, 2023).

LLMs bieten hier potenziell Hilfe, da in Aussicht gestellt wird, dass zeitaufwendige qualitativ-inhaltsanalytische Untersuchungen automatisiert werden können (Chew et al., 2023). LLMs basieren auf künstlichen neuronalen Netzen, die durch informationstechnologische Verfahren, wie „Prompt Engineering“, „Fine-Tuning“, „Retrieval-Augmented Generation (RAG)“ oder „Agentic Workflows“ auf spezifische Aufgaben ausgerichtet werden können (Fan et al., 2024; White et al., 2023; Zhang et al. 2023). Beim „Prompt Engineering“ wird z.B. eine

Befehlseingabe entwickelt, um eine gewünschte Ausgabe des LLMs zu erzeugen (White et al., 2023). Mit Blick auf diese Vielfalt an Spezifikationsmöglichkeiten für LLMs gehen wir der folgenden Forschungsfrage nach:
Inwieweit stimmen die Ergebnisse aus den Analysen zu den vertikalen Vernetzungsleistungen von Schüler*innen in Bezug auf das Energiekonzept überein, wenn die Schüler*innen-Essays mit dem MAVerBE-Analyseverfahren
a) ad personam oder
b) automatisiert durch ein eigens spezifiziertes LLM kodiert werden?

3. Design und Methode

Zur Beantwortung unserer Forschungsfrage galt es, im ersten Schritt aus der enormen Vielzahl unterschiedlicher LLMs ein geeignetes zu identifizieren. Neben den forschungsethischen und rechtlichen (Gewährleistung des Datenschutzes) sowie ökonomischen (lizenzfreie und damit kostenlose Nutzung im universitären Kontext) Voraussetzungen sind bei der Auswahl eines geeigneten LLMs auch technische Kriterien zu beachten (wie bspw. die benötigte Rechenleistung und die mögliche zu verarbeitende Textlänge). Unter Abwägung der Vor- und Nachteile verschiedener LLMs haben wir uns schlussendlich für das *Llama-3.1-8B-instruct-q8_0* von Meta (2024) entschieden.
Für die Spezifikation des ausgewählten LLMs bestand die Aufgabe darin, einen geeigneten „Prompt“ zu entwickeln, durch den Schüler*innen-Texte zum Energiekonzept in Analyseeinheiten unterteilt und diese anschließend einem vertikalen Vernetzungsniveau im MAVerBE zugeordnet werden können. Hierfür haben wir unter Anwendung des Ansatzes von Chew und Kolleg*innen (2023) zur Entwicklung eines LLM-gestützten qualitativ-inhaltsanalytischen Untersuchungsverfahrens (dem LACA-Ansatz; Akronym für: LLM-Assisted Content Analysis) in einem ersten Schritt den Kodierleitfaden zur Nutzung des MAVerBE adaptiert. In diesem Zusammenhang haben wir uns zusätzlich an theoriebasierten Empfehlungen zum „Prompt Engineering“ orientiert (Eager & Brunton, 2023; Wei et al., 2022; White et al., 2023). Der auf Grundlage dieser theoretischen Überlegungen heraus formulierte „Prompt“ wurde anschließend in einem iterativen Prozess überarbeitet, indem die ad personam vorgenommenen und die LLM-gestützten Kodierungen von insgesamt 32 randomisiert ausgewählten Schüler*innen-Texten zum Energiekonzept (aus dem Datensatz von Dietz (2023)) miteinander verglichen wurden. Das auf diese Weise spezifizierte LLM wurde anschließend an 82 weiteren randomisiert ausgewählten Schüler*innen-Texten zum Energiekonzept final erprobt.

4. Ergebnisse

Die Ergebnisse zu den jeweiligen Kodierungen der vertikalen Vernetzungsleistungen in den 82 Schüler*innen-Texten sind in der Tabelle 1 dargestellt.
Tabelle 1 legt offen, dass das LLM insgesamt deutlich weniger Analyseeinheiten ausweist als dies im Zuge der persönlichen Untersuchung der Schüler*innen-Texte zum Energiekonzept erfolgt ist (s. Zeile „gesamt“ in Tab. 1). Darüber hinaus wurden die von dem LLM festgelegten Analyseeinheiten lediglich in 21 von 789 Fällen einem höheren vertikalen Vernetzungsniveau zugeordnet (s. N_1 in Tab. 1). Insgesamt wurde eine prozentuale Übereinstimmung zwischen LLM-gestützter und ad personam Kodierung von 56 % ermittelt (s. Tab. 1).

Tabelle 1. Ergebnisse in Bezug auf die Anzahl der LLM-gestützten (N_1) bzw. ad personam vorgenommenen Kodierungen (N_2, ap) zum vertikalen Vernetzungsniveau in 82 Schüler*innen-Texten zum Energiekonzept sowie Befunde zur prozentualen Übereinstimmung (LLM und ap); in Klammern: relativer Anteil an Kodierungen in Bezug auf die Gesamtanzahl an Kodierungen

Vertikales Vernetzungsniveau nach MAVerBE (Dietz, 2023)	N_1: LLM (relativer Anteil)	N_2: ad personam (ap, relativer Anteil)	Übereinstimmung (LLM und ap)
1a) Erfahrungswissen	137 (17 %)	126 (10 %)	41 %
1b) wissenschaftlicher Fakt	228 (29 %)	539 (44 %)	69 %
2) Zusammenhang ohne Begründung	403 (51 %)	403 (33 %)	65 %
3) verbundener Zusammenhang	18 (2 %)	136 (11 %)	2 %
4) Zusammenhang mit Begründung	0 (0 %)	18 (1 %)	0 %
5) multiperspektivische Verallgemeinerung	3 (0 %)	11 (1 %)	0 %
gesamt	789	1233	56 %

Normiert man die Kodierungen von LLM-gestützter und ad personam Kodierung in Bezug auf die Gesamtanzahl der jeweils gebildeten Analyseeinheiten, dann werden Unterschiede mit Blick auf die relative Gewichtung der von den Schüler*innen erbrachten vertikalen Vernetzungsleistungen deutlich erkennbar (s. Werte in Klammern für N_1 und N_2 in Tab. 1).

5. Diskussion

Die ermittelte Übereinstimmung über alle Analyseebenen zwischen LLM-gestützter und ad personam vorgenommener Kodierung der vertikalen Vernetzungsleistungen von Schüler*innen in Höhe von 56 % könnte in Anlehnung an Altman (1991) als „moderat“ bezeichnet werden. Der Blick auf die einzelnen vertikalen Vernetzungsniveaus offenbart allerdings, dass es dem eigens spezifizierten LLM gegenwärtig nicht ausreichend gelingt, Analyseeinheiten als Grundlage für die Kodierung des vertikalen Vernetzungsniveaus zu bilden. Das liegt vor allem daran, dass das von uns spezifizierte LLM nahezu ausschließlich ganze Sätze als Analyseeinheiten identifiziert. In Folge dessen werden in vielen Fällen mehrere Analyseeinheiten, die sprachlich in Form einer Aufzählung verdichtet sind, ebenso, wie Sinnzusammenhänge, die sich über mehrere Sätze erstrecken, vom LLM nicht erkannt. Aus diesem Grund sind für Kategorien, die ein niedrigeres vertikales Vernetzungsniveau beschreiben, höhere Übereinstimmungsraten zwischen LLM-automatisierter und ad personam Kodierungen zu finden; die Übereinstimmungsrate nimmt demgegenüber mit steigendem vertikalen Vernetzungsniveau rapide ab (s. Tab. 1). Die Probleme in Bezug auf die Verarbeitung komplexer semantischer Strukturen durch LLMs konnten auch von anderen Forschenden bisher nicht gelöst werden (He et al., 2024). Inwieweit diese Ergebnisse durch die Auswahl des LLMs oder dem konkret in dieser Arbeit entwickelten „Prompt“ limitiert sind, ist zum jetzigen Zeitpunkt eine offene Frage.

6. Ausblick

LLMs bieten neben dem „Prompt Engineering“ weitere Methoden und Techniken zur Spezifizierung für bestimmte Aufgaben (s. Abschnitt 2). Im nächsten Schritt werden wir daher die Möglichkeiten des „Fine-Tuning“ zur aufgabenspezifischen Adaption des LLMs erproben. Wir erhoffen uns auf diese Weise, die Probleme bei der automatisierten Bildung von Analyseeinheiten, die insbesondere bei Aufzählungen und komplex(er)en Schüler*innen-Aussagen aufgetreten sind, begegnen zu können.

Literatur

Aebli, H. (1981). *Denken: das Ordnen des Tuns. Band 2: Denkprozesse.* Klett-Cotta.

Altman, D. G. (1991). *Practical Statistics for Medical Research.* Chapman and Hall.

Ausubel, D. P. (1974). *Psychologie des Unterrichts. Band 1.* Beltz.

Chew, R., Bollenbacher, J., Wenger, M., Speer, J. & Kim, A. (2023). LLM-assisted content analysis: *Using large language models to support deductive coding.* arXiv:2306.14924.

Dietz, D. (2023). *Vernetztes Lernen im fächerdifferenzierten und integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht aufgezeigt am Basiskonzept Energie. Eine Studie zur Analyse der Wirksamkeit der Konzeption und Implementation eines schulinternen Curriculums für das Unterrichtsfach „Integrierte Naturwissenschaften 7/8"*. Logos.

Dietz, D. & Bolte, C. (2021). Mehrdimensionale Analyse zur Vernetzung von Begriffselementen des Basiskonzepts Energie. In: V. Nordmeier & H. Grötzebauch (Hrsg.), *Phydid B: Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung. Digitale Frühjahrstagung 2021* (S. 233-241), Berlin: DPG.

Dietz, D. & Bolte, C. (2022). Multidimensional Analysis of Knowledge-Linking within the Concept of Energy in Student Essays. *NorDiNa, 18(3),* 353-368.

Dietz, D. & Bolte, C. (im Druck). Revisioning science education: Fostering content knowledge-linking within the energy concept using the integrated science teaching approach. In: *Proceedings of the 14th Nordic Research Symposium on Science Education.* University of Iceland.

Eager, B., & Brunton, R. (2023). Prompting Higher Education Towards AI-Augmented Teaching and Learning Practice. *Journal of University Teaching & Learning Practice, 20(5)*, 1–19.

Fan, W., Ding, Y., Ning, L., Wang, S., Li, H., Yin, D., Chua, T.-S., & Li, Q. (2024). *A Survey on RAG Meeting LLMs: Towards Retrieval-Augmented Large Language Models*. ArXiv (Cornell University), *24*, 6491–6501.

Gagné, R. M. (1970). *Die Bedingungen des menschlichen Lernens (2. Auflage).* Hermann Schroedel Verlag.

He, Q., Zeng, J., Huang, W., Chen, L., Xiao, J., He, Q., Zhou, X., Liang, J., & Xiao, Y. (2024). *Can Large Language Models Understand Real-World Complex Instructions? Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, *38(16),* 18188–18196.

Mandl, H. (2006). Wissensaufbau aktiv gestalten. *SCHÜLER Wissen für Lehrer.* 28–30.

Meta (2024). Introducing Llama 3.1: Our most capable models to date. https://ai.meta.com/blog/meta-llama-3-1/ (letzter Zugriff: 11.09.2024)

Wei, J. Z., Wang, X., Schuurmans, D., Bosma, M., Ichter, B., Xia, F., Chi, E. H., Le, Q. V., & Zhou, D. (2022). *Chain-of-Thought Prompting Elicits Reasoning in Large Language Models.* arXiv:2201.11903

White, J., Fu, Q., Hays, S., Sandborn, M., Olea, C., Gilbert, H., Elnashar, A., Spencer-Smith, J., & Schmidt, D. C. (2023). *A prompt pattern catalog to enhance prompt engineering with chatgpt*. arXiv preprint arXiv:2302.11382.

Zhang, H., Wu, C., Xie, J., Lyu, Y., Cai, J., & Carroll, J. M. (2023). *Redefining qualitative analysis in the AI era: utilizing ChatGPT for efficient thematic analysis.* arXiv (Cornell University).

Marija Herdt[1]
Heidrun Heinke[1]

[1]RWTH Aachen University

Vielfältige Smartphone-Experimente als Ansatz zur Interessenförderung

Motivation

In einer Zeit, in der technologische Innovationen und wissenschaftliche Fortschritte das tägliche Leben prägen, nimmt die Relevanz der MINT[1]-Fächer immer stärker zu. Gleichzeitig wird gerade im MINT-Bereich auf dem Arbeitsmarkt eine große Deckungslücke zwischen der Anzahl offener Stellen und potentieller Bewerber:innen beobachtet, wie der hohen sog. MINT-Lücke im Frühjahrsreport des IW[2] entnommen werden kann (Anger et al., 2024). Andererseits leben die Jugendlichen heute in einer hochtechnisierten Welt, was sich z.B. in der häufigen Nutzung mobiler Endgeräte bei Jugendlichen widerspiegelt. So besitzen 96 % der Jugendlichen ein eigenes Smartphone (JIM-Studie, 2023, S.7) und 98 % nutzen dieses täglich oder mehrmals pro Woche (ebd., S.13). Auch im gymnasialen Unterricht werden vermehrt Smartphones (39 %) und Tablets (44 %) täglich oder mehrmals pro Woche eingesetzt (ebd., S. 59). Smartphones und Tablets gehören somit zum Alltag der Schüler:innen und haben das Potential, durch die Herstellung eines Bezugs zu ihrer Lebensrealität das MINT-Interesse zu stärken, indem sie als digitale Messgeräte in authentischen Kontexten zum Einsatz kommen. Mit der App phyphox lassen sich unter Nutzung von Smartphones und Tablets vielfältige Experimente im MINT-Bereich, speziell im Fach Physik, durchführen (Staacks et al., 2018a).
Vor diesem Hintergrund ist ein Ansatz zur Interessenförderung über den Einsatz vielfältiger Smartphone-gestützter Experimente im Physikunterricht der Sekundarstufe I entwickelt worden. Dieser Ansatz beinhaltet eine 90-minütige Einführungsstunde (Herdt, 2023), welche einen Einstieg in das Experimentieren mit Smartphones und Tablets bietet. Zusätzlich sollen Experimentiersets mit Schülerexperimenten mit der App phyphox bereitgestellt werden, die verschiedene Inhaltsfelder des Kernlehrplans Physik (MSW NRW, 2019) abdecken. Mit beiden Ansätzen soll die nachhaltige Implementation von Smartphone-Experimenten im Physikunterricht der Mittelstufe unterstützt und damit das Interesse der Schüler:innen an physikalischen Experimenten (auch in Alltagskontexten) gefördert werden.

Die App phyphox

Die App phyphox ist eine kostenfreie App zur flexiblen Messwertaufnahme mit Smartphones und Tablets. Sie greift auf die verbauten Sensoren der digitalen Endgeräte zu, wertet die aufgenommenen Daten aus und stellt diese in verschiedenen Formaten dar (Staacks et al, 2018b). Funktionen wie eine Fernsteuerung über den Webbrowser oder eine Zeitautomatik erleichtern dabei die Umsetzung vieler experimenteller Settings. Außerdem können bestehende Experimentkonfigurationen an die eigenen Bedürfnisse angepasst und neue erstellt werden.
Neben der einfachen Messwertaufnahme mit Smartphones und Tablets ist es zudem möglich, externe Sensorboxen über Bluetooth Low Energy mit dem Endgerät zu verbinden (Dorsel, 2023). Die Sensorboxen sind für erweiterte Einsatzmöglichkeiten entwickelt worden, sodass z.B. Sensoren genutzt werden können, die auf einem Smartphone oder Tablet gar nicht oder nicht immer vorhanden sind, wie beispielsweise ein Luftdrucksensor.

---

[1] MINT – Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften, Technik
[2] IW – Institut der deutschen Wirtschaft

Im Falle des Ansatzes zur Interessenförderung wird auf die Nutzung externer Sensorboxen bewusst verzichtet, um einen sehr niederschwelligen und damit breiten Einstieg in das Experimentieren mit Smartphones und Tablets für möglichst viele Schüler:innen zu ermöglichen.

Einführungsstunde zu Smartphone-Experimenten

Die Einführungsstunde dauert 90 Minuten und ist in drei Phasen unterteilt:

- Einführung: In dieser ca. 30-minütigen Phase werden die Schüler:innen in die Arbeit mit der App phyphox eingeführt und verschiedene Einsatzmöglichkeiten der App im Alltag werden präsentiert. Weiter werden typischerweise verbaute Sensoren des Smartphones besprochen, auf die phyphox zur Messwertaufnahme zugreifen kann. Schließlich wird anhand eines Beispielversuchs zur Lokalisierung des Magnetfeldsensors am eigenen Gerät der allgemeine Umgang mit der App gemeinsam erarbeitet.
- Praktische Phase: Der Fokus der Einführungsstunde liegt auf der 45-minütigen Praxisphase, in welcher die Schüler:innen einen modularen Lernzirkel durchlaufen. Sie können in Kleingruppen selbstständig an verschiedenen Stationen arbeiten, dabei die zu bearbeitenden Stationen frei wählen und im eigenen Tempo durchführen. Die Stationen beinhalten Experimente mit Alltagsgegenständen zu unterschiedlichen Themengebieten unter Nutzung verschiedener Sensoren der schülereigenen Smartphones.
  In bisherigen Erprobungen wurden jeweils Lernzirkel mit den in Tab. 1 benannten sechs Versuchen eingesetzt. Prinzipiell kann der Lernzirkel aber auch je nach den Rahmenbedingungen der Nutzung flexibel mit anderen Stationen bestückt werden (s. Liste weiterer Experimente in Tab.1).
- Abschluss: In den letzten 15 Minuten gibt es die Möglichkeit, offene Fragen zu klären. Außerdem werden den Schüler:innen sogenannte „Take-Home-Challenges“ vorgestellt, die sie dazu animieren sollen, im Alltag mit dem Smartphone zu experimentieren, indem sie beispielsweise die Schwingung einer Schaukel untersuchen.

Das Konzept der Einführungsstunde berücksichtigt Grundsätze der Selbstbestimmungstheorie der Motivation (Deci & Ryan, 1993). Die Bearbeitung in Kleingruppen soll das Bedürfnis nach sozialer Zugehörigkeit erfüllen. Mit der Bearbeitung einfacher, gleichzeitig fordernder Aufgaben erleben sich die Schüler:innen als kompetent. Die freie Wahl der zu bearbeitenden Station ermöglicht es ihnen schließlich, Autonomie zu verspüren.

Tab. 1 Übersicht über bereits entwickelte Versuche zu Smartphone-Experimenten

Einführung	Aufzug	Bestimmung der Höhe unterschiedlicher Etagen und der Geschwindigkeit des Aufzugs
	Fidget Spinner	Bestimmung der Periodendauer der Drehung eines Fidget Spinners
	Herzschlag	Aufnahme des eigenen Pulses
	Hörbereich	Untersuchung des eigenen Hörbereichs durch die Generierung von Tönen verschiedener Frequenzen
	Magnetfelder	Untersuchung der Magnetfelder von durch Strom durchflossenen Leitern
	Schwebung	Erzeugung einer Schwebung bei Schallwellen mit Hilfe zweier Geräte und Untersuchung mit drittem Gerät
Weitere Experimente	Druck, Freier Fall, Handy-Karussell, Instrument stimmen, Jahreszeiten, LC-Display, Maßband vs. Luftdruck, Rolle, Schall, Springender Ball	

Die Einführungsstunde ist mit 259 Schüler:innen der Jahrgangsstufen 7 bis 10 in verschiedenen Lernsettings erprobt worden. Ursprünglich wurde sie für eine MINT-AG konzipiert, welche interessierte Schüler:innen im Nachmittagsbereich adressiert, kam in der Erprobung aber auch in Ferienangeboten und im Unterricht zum Einsatz. Dabei wurde schriftliches Feedback mit offenen Fragen gesammelt und mithilfe der qualitativen Inhaltsanalyse nach Kuckartz kategorisiert sowie weitergehend ausgewertet (Kuckartz, 2016).
Die Ergebnisse der Erprobung zeigten ein hohes Interesse an den Smartphone-Experimenten seitens der Schüler:innen auf. Dies war nicht nur bei den Nachmittags- und Ferienangeboten für offensichtlich MINT-interessierte Schüler:innen der Fall, sondern auch im unterrichtlichen Kontext nachzuweisen, in welchem durch eine breitere Heterogenität auch weniger stark an MINT-Themen interessierte Schüler:innen teilgenommen haben und befragt wurden. Außerdem gab es eine positive Resonanz zur Selbstständigkeit und praktischen Arbeit. Auch die Lehrkräfte, in deren Unterricht die Erprobung stattfand, haben positives Feedback bezüglich des Einsatzes im Unterricht zurückgemeldet.
Einige der sechs Stationen, die in der Erprobung eingesetzt wurden, sind als zu schwierig empfunden worden. In einem Design-Based-Research-Ansatz (Reinmann, 2017) wurde der Schwierigkeitsgrad in mehreren Überarbeitungszyklen entsprechend angepasst.

Experimentiersets
Zusätzlich zur Einführungsstunde werden aktuell Sets mit Smartphone-Experimenten zusammengestellt. Diese sollen auf Grundlage der im Lernzirkel verwendeten Stationen sowie ähnlicher Experimente modulare Arbeitsblätter zu verschiedenen Inhaltsfeldern des Kernlehrplans Physik in der Sekundarstufe I beinhalten. Neben den Arbeitsblättern soll das Set Begleitmaterial zur Verfügung stellen, welches Lehrkräftehandreichungen, Steckbriefe zu den verwendeten Sensoren, Lösungs- sowie Tippkarten beinhaltet. Auch das experimentelle Zubehör zu den einzelnen Versuchen soll bereitgestellt werden, damit ein möglichst niederschwelliger Zugang zu einem unterrichtlichen Einsatz der Experimente ermöglicht werden kann. Aktuell sind bereits 16 Schülerexperimente (s. Tab. 1) für den Einsatz in den Sets erstellt worden, weitere sind in Bearbeitung.

Studiendesign
Die Einführung in Smartphone-Experimente und die Experimentiersets werden in einer Studie genutzt, um die nachhaltige Implementation von Smartphone-gestützten Experimenten in der Unterrichtspraxis zu untersuchen. Dabei sollen am Studienbeginn Lehrkräfte-Interviews geführt werden, in denen Einstellungen zu und Vorerfahrungen mit Smartphone-Experimenten im Unterricht erfragt werden. Zudem soll zu Beginn des Schuljahres die Einführungsstunde durchgeführt werden, damit die Schüler:innen im Umgang mit der App vertraut gemacht werden. Für den Rest des Schuljahres werden die oben beschriebenen Experimentiersets zur Verfügung gestellt. Die Lehrkräfte können dabei frei entscheiden, welche der Versuche sie im Unterricht einsetzen möchten, wobei der unterrichtliche Einsatz im Laufe des Schuljahres erfasst wird. Die Lehrkräfte werden am Ende des Schuljahres erneut interviewt, um einen möglichen Wandel ihrer Einstellungen gegenüber Smartphone-Experimente festzustellen. Außerdem können sie tiefere Einblicke in das Unterrichtsgeschehen bieten und Aufschluss darüber geben, wie sie die Schüler:innen beim Experimentieren mit Smartphones (ggfs. auch im Vergleich zu anderen Schülerexperimenten) wahrgenommen haben.

Literatur

Anger, C; Betz, J. & Plünnecke, A. (2024). MINT-Frühjahrsreport 2024. Herausforderungen der Transformation meistern, MINT-Bildung stärken. Gutachten für BDA, Gesamtmetall und MINT Zukunft schaffen. Köln: Institut der deutschen Wirtschaft.

Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. In: Zeitschrift für Pädagogik, 39 (2), S. 223-238. Weinheim/Basel: Beltz Juventa. DOI: https://doi.org/10.25656/01:11173.

Dorsel, D. (2023). Entwicklung der Nutzbarkeit externer Sensoren bei Smartphone-Experimenten und deren Einsatz in naturwissenschaftlichen Experimenten. Dissertation. RWTH Aachen University.

Herdt, M. (2023). Konzipierung und Erprobung eines Kurses mit phyphox-Experimenten im außerschulischen Bereich. Masterarbeit. RWTH Aachen University.

JIM-Studie; Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (2023). JIM-Studie 2023 - Jugend, Information, Medien. Abgerufen am 11.12.2023 von https://www.mpfs.de/filead-min/files/Studien/JIM/2022/JIM_2023_web_final_kor.pdf.

Kuckartz, U. (2016). Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. Weinheim und Basel: Beltz Juventa.

MSW NRW; Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2019). Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen - Physik. 1. Auflage. Düsseldorf: Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen.

Reinmann, G. (2017). Design-based Research. In: Schemme, D. & Novak, H. (Hrsg.). Gestaltungsorientierte Forschung – Basis für soziale Innovationen. Erprobte Ansätze im Zusammenwirken von Wissenschaft und Praxis, S. 49-61. Bielefeld: Bertelsmann.

Staacks, S.; Hütz, S.; Heinke, H. & Stampfer, C. (2018a). Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox. In: Physics Education, 53. DOI: https://doi.org/10.1088/1361-6552/aac05e.

Staacks, S.; Heinke, H. & Stampfer, C. (2018b). Smarte Experimente. In: Physik Journal, 17 (11), S. 35-38. Weinheim: WILEY-VCH.

Pascal Liedtke[1]
Nastja Riemer[1]
Sascha Eidner[1]

[1]Universität Potsdam

Digitales Lernen im Praktikum der Physikalischen Chemie

Einleitung

Chemielehrkräfte sollten mit den modernsten Technologien und Konzepten ausgebildet werden (Maxton-Küchenmeister & Meßinger-Koppelt, 2020). Da es sich bei der Digitalisierung um eines der Zukunftsthemen handelt, sollte auch die Lehrkräftebildung in sämtlichen Phasen möglichst optimal auf die Anforderungen einer digitalen Bildung und Schule vorbereiten und weiterhin unterstützen. Nur durch die Professionalisierung der Lehrkräfte kann erreicht werden, dass digitale Technik pädagogisch zielgerichtet angeschafft und verwendet werden kann (KMK, 2021). Die KMK fordert somit, dass die lehrkräftebildenden Hochschulen digital und konzeptionell so ausgestattet sind, „dass sie Lehrkräften ein Erleben, Erproben und Reflektieren der Potentiale des Lehrens und Lernens in der digitalen Welt“ (KMK, 2021, S. 27) ermöglichen.

Um möglichst umfassend zur Professionalisierung angehender Lehrkräfte beizutragen, werden die Empfehlungen der KMK (2021) an der Universität Potsdam auch insbesondere im Bereich der fachwissenschaftlichen Lehrkräftebildung berücksichtigt. So werden beispielsweise im Rahmen des Laborpraktikums Physikalische Chemie für Lehramt vor allem die Aspekte der Erprobung digitaler Technologien und digital gestützte Kooperationen in Kollaborationen beachtet. Als digitale kooperativ fördernde Technologie wird ein elektronisches Laborjournal verwendet. Der Einsatz des elektronischen Laborjournals wird mittels Interviews und Umfragen begleitet.

Elektronisches Laborjournal

Elektronische Laborjournale (engl. Electronical Lab(ortory) Notebook, Abk. ELN) sind Systeme, die es erlauben, vollständig elektronische Einträge unter Berücksichtigung rechtlicher, regulatorischer, technischer und wissenschaftlicher Anforderungen zu erstellen, zu speichern, zu teilen und zu erhalten (Machina & Wild, 2013b). Sie dienen der experimentellen digitalen Dokumentation und Auswertung unter Verzicht handschriftlich dokumentierter Aufzeichnungen und Journale. Die Funktionalität handschriftlicher Notizbücher ist in kollaborativen Settings nicht ausreichend, da das Zusammentragen aller relevanten Informationen aus möglicherweise sogar verschiedenen Papier-Laborbüchern aufwendig und zeitintensiv ist. Weiterhin kann es zu Miss- oder Unverständlichkeiten hinsichtlich der Notizen kommen, weil diese Mängel aufweisen, schwer lesbar oder bedingt nachvollziehbar sein können (Machina & Wild, 2013a).

Beim durchgeführten Praktikum in Physikalischer Chemie geht es einerseits um die gewissenhafte Dokumentation der Messwerte und andererseits um die Präsentation der hieraus erhaltenen Ergebnisse. Für diese Aufgaben erweist sich ein ELN als sinnvoll. So liegen die Messdaten am Ende des Versuchs entweder digital als Messwerttabelle im ELN-Eintrag oder in Form einer Textdatei vor. Beides kann sehr einfach für die Nutzung in entsprechenden Auswertungsprogrammen exportiert werden. Dadurch wird der zeitliche Aufwand für die Auswertung reduziert, da auf eine Digitalisierung durch Abtippen auf Papier notierter

Messwerte verzichtet werden kann (Machina & Wild, 2013a). Weiterhin ermöglichen ELN kollaboratives Bearbeiten der Einträge und damit auch die Weiternutzung der Informationen (Machina & Wild, 2013a; ZB MED, 2020).

Digitale Lernarrangements

Im Pflichtmodul „Physikalische Chemie und mathematische Grundlagen für Lehramt" erlernen und erweitern die Lehramtsstudierenden an der Universität Potsdam wesentliche Fachbegriffe und Fachkonzepte aus der Thermodynamik, Kinetik und Elektrochemie. Diese orientieren sich an den Inhalten der ländergemeinsamen inhaltlichen Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken für die Sekundarstufen I und II (vgl. KMK, 2008). Das Laborpraktikum ist integraler Bestandteil der Ausbildung, um die theoretisch vermittelten Inhalte praktisch erfahrbar zu machen und den Erkenntnisgewinn zu erhöhen. Das sichere Experimentieren stellt eine wesentliche Kompetenz naturwissenschaftlichen Unterrichts dar. Mit fortschreitender Digitalisierung kommen Kompetenzen hinzu, Entwicklungen digitaler Technologien und ihre Chancen und Grenzen für den Einsatz im Unterricht zu (er)kennen. Für die Entwicklung dieser Kompetenzen ist das eigene Erfahren und die eigene Erkenntnis unverzichtbar (KMK, 2008).

Im Praktikum des oben genannten Moduls werden digitale Technologien integriert, um die Lehramtsstudierenden einerseits bei der Vorbereitung und Durchführung der Experimente zu unterstützen und andererseits ein zeitgemäßes Dokumentationssystem kennenzulernen.

Bisher fanden sich auf dem universitätsinternen Lernmanagementsystem die Versuchsanleitungen zu den einzelnen Experimenten, zum Teil unterstützt von kurzen Erklärvideos zu einfachen Arbeitstechniken. Durch unser vom VCI/FCI gefördertes Projekt eLab@P^2C konnten diese Versuchsanleitungen um einen weiteren Aspekt ergänzt werden, der den Studierenden die Vorbereitung auf die Versuche und das Umsetzen der in der Versuchsanleitung verschriftlichten Durchführung im Praktikumslabor erleichtern soll. Hierzu wurden zu jedem Experiment mit Genially (genially.com) interaktive Inhalte basierend auf Fotografien der Versuchsaufbauten erstellt.

Für die Dokumentation der Messwerte und Präsentation der Ergebnisse wurde auf ein ELN gesetzt. Für Berechnungen, das Erstellen von Diagrammen etc. stand den Studierenden die Wahl der Software frei. Entscheidende Kriterien für das ELN waren neben der Nutzendenfreundlichkeit vor allem Verfügbarkeit und Kosten. Daher fiel die Entscheidung zunächst auf freie Software und dann auf die webbasierte Anwendung eLabFTW (CARPi et al., 2017). Zum Funktionsumfang von eLabFTW gehören (vgl. Deltablot, 2024):

- Exportieren der Daten bzw. Laborjournaleinträge als PDF, ZIP, CSV
- Zeichnen von Molekülen und Aufstellen von Reaktionsgleichungen mit dem Moleküleditor Chemdoodle
- Verwendung von Protokollvorlagen für Experimente
- Anfügen und Hochladen von Dateien
- Einbettung von Bildern in den Text
- Gleichungssetzen mit LaTeX-Syntax
- orts- und zeitunabhängiger Zugriff auf das Laborbuch
- browserbasierte Software und damit betriebssystemunabhängig
- in Gruppen nutzbar

Mit Blick auf die digitalen Basiskompetenzen (vgl. Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen, 2020), die angehende Lehrkräfte in den Naturwissenschaften erreichen

sollen, werden durch die Integration der digitalen Elemente in das Laborpraktikum Basiskompetenzbereiche angesprochen. Der Kompetenzbereich Dokumentation wird erweitert, indem die Studierenden bereits im Labor die Möglichkeit erhalten, digital festzuhalten und dabei die Perspektiven zur dauerhaften digitalen Dokumentation- und Datenarchivierung aufgezeigt bekommen (vgl. Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen, 2020). Weiterhin erweitern die Chemielehramtsstudierenden ihre Kompetenzen im Bereich der Messwert- und Datenerfassung, indem diese unmittelbar (automatisiert durch Messsoftware) wie auch mittelbar (durch analoge Eingabe) Messdaten erfassen (vgl. Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen, 2020). Mit dem ELN eLabFTW nutzen sie zudem eine kollaborative Software und erweitern dadurch ihre Fähigkeiten in der gemeinschaftlichen Textbearbeitung und gelangen so auch in einem direkten Austausch zu den Anforderungen an die Datenverarbeitung und -dokumentation.

Evaluation

Die Selbsteinschätzung einer Kohorte (Lehramtsstudierende, $N = 14$) eines bereits abgeschlossenen Praktikums in Physikalischer Chemie zeigte, dass die Studierenden ihre Fähigkeit hinsichtlich der sicheren Bedienung und Strukturierung des ELNs als positiv bewerteten. Dabei gaben 93% der Befragten an, dass sie ELN strukturiert verwalten können. Im Bedienen des ELN (eLabFTW) fühlten sich 86% der Befragten sicher. Positive Resonanzen erhielt zudem das digitale Festhalten und Erfassen von Messdaten (93% der Befragten) sowie der Einsatz eines ELN (86% der Befragten).

Fazit

Im Praktikum Physikalische Chemie für Chemie Lehramtsstudierende an der Universität Potsdam wird der Ansatz verfolgt, didaktisch-methodisch digitales Lernen anhand fachwissenschaftlicher Inhalte in einem laborpraktischen Kontext zu vermitteln. Idealerweise erkennen die Studierenden darin für sich Chancen. Chancen, digitale Technologien kennenzulernen und für die Vorbereitung, Durchführung, Protokollierung und Auswertung der Versuche zu nutzen. Aber auch Chancen, Potenziale und Grenzen dieser Technologien für sich und ihre Umsetzung im späteren Berufsalltag als Lehrkraft auszuloten.

Danksagung

Wir bedanken uns beim Fonds der Chemischen Industrie für die Förderung des Projektes „eLab@P^2C – elektronisches Laborjournal im Praktikum Physikalische Chemie“ im Rahmen von „Neue Lehrmethoden/Inhalte im Chemiestudium“. Weiterhin danken wir Nils Bergander, der mit innovativen Ideen und deren erfolgreiche Umsetzung zum Gelingen des Projektes beitrug.

Literatur

Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen: Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C. & Kotzebue, L. von. (2020). Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN. In S. Becker, J. Meßinger-Koppelt & C. Thyssen (Hrsg.), *Digitale Basiskompetenzen: Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 14–43). Joachim Herz Stiftung.

CARPi, N., Minges, A. & Piel, M. (2017). eLabFTW: An open source laboratory notebook for research labs. *The Journal of Open Source Software*, *2*(12), 146. https://doi.org/10.21105/joss.00146

Deltablot. (2024, 12. Juli). *eLabFTW - Open Source Laboratory Notebook.* Deltablot. https://www.elabftw.net/

KMK (2008). Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung: Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.10.2008 i. d. F. vom 08.02.2024. https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2008/2008_10_16-Fachprofile-Lehrerbildung.pdf

KMK (2021). Lehren und Lernen in der digitalen Welt: Die ergänzende Empfehlung zur Strategie "Bildung in der digitalen Welt". https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2021/2021_12_09-Lehren-und-Lernen-Digi.pdf

Machina, H. K. & Wild, D. J. (2013a). Electronic laboratory notebooks progress and challenges in implementation. *Journal of laboratory automation*, *18*(4), 264–268. https://doi.org/10.1177/2211068213484471

Machina, H. K. & Wild, D. J. (2013b). Laboratory informatics tools integration strategies for drug discovery: integration of LIMS, ELN, CDS, and SDMS. *Journal of laboratory automation*, *18*(2), 126–136. https://doi.org/10.1177/2211068212454852

Maxton-Küchenmeister, J. & Meßinger-Koppelt, J. (2020). Digitale Kompetenzen im naturwissen-schaftlichen Lehramtsstudium – eine Einführung. In S. Becker, J. Meßinger-Koppelt & C. Thyssen (Hrsg.), *Digitale Basiskompetenzen: Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 4–7). Joachim Herz Stiftung.

ZB MED. (2020). *Elektronische Laborbücher im Kontext von Forschungsdatenmanagement und guter wissenschaftlicher Praxis - ein Wegweiser für die Lebenswissenschaften* (2. aktualisierte und erweiterte Fassung). ZB MED - Informationszentrum Lebenswissenschaften. https://doi.org/10.4126/FRL01-006422868

Nils Bergander[1] [1]Technische Universität Dortmund
Insa Melle[1]

Lerntransparenz in einer digitalen Lernumgebung

Einleitung

Die Fähigkeit, selbstreguliert lernen zu können, wird in der modernen Gesellschaft als wesentliche Schlüsselkompetenz betrachtet (z. B. Foster & Piacentini, 2023; González-Pérez & Ramírez-Montoya, 2022). Gleichzeitig findet in der Schule ein *„Wandel von eher lehrerzentrierten zu lernerzentrierten Lernumgebungen und Instruktionsmethoden"* (Perels & Dörrenbächer, 2020, S. 86) sowie eine zunehmende Technologisierung des Unterrichts durch den verstärkten Einsatz digitaler Werkzeuge statt (Robert Bosch Stiftung, 2023). Dadurch gewinnt die Fähigkeit des selbstregulierten Lernens zunehmend an Bedeutung, da die Nutzung technologiebasierter Medien die Lernenden vor Herausforderungen stellt. Gleichzeitig bietet dieser Einsatz aber auch Potenziale zur Förderung des selbstregulierten Lernens (Perels & Dörrenbächer, 2020; Hoch et al., 2023; Hoch et al., 2020).
Es ist daher notwendig, dass beide Aspekte zusammen in den Blick genommen werden. Die Integration von Lerntransparenz im Kontext des selbstregulierten Lernens bietet hierbei die Chance, Lernende einerseits gezielt zu fördern und andererseits Barrieren abzubauen (Perels & Dörrenbächer, 2020; Winkelmes, 2023; Balloo et al., 2018; Anderson et al., 2013).

Theoretischer Hintergrund

Lernende stehen im Kontext des multimedialen selbstregulierten Lernens häufig vor der Herausforderung, dass sie nicht in der Lage sind geeignete kognitive oder metakognitive Strategien abzurufen (Hoch et al., 2023; Hoch et al., 2020). In schulischen Lernsituationen ist es häufig der Fall, dass die Lernenden nicht wissen, welche Anforderungen oder Erwartungen innerhalb eines Lernprozesses an sie gestellt werden, welches Wissen ihnen abverlangt wird und insbesondere, welches Ziel sich dahinter versteckt (Winkelmes, 2023; Orr et al., 2022). Mager beschreibt diese Problematik sehr treffend: *"If you don't know where you're going, how will you know which road to take and how do you know when you get there?"* (Mager, 1997, S. 14).

Lerntransparenz

Der Begriff der Lerntransparenz umfasst eine Vielzahl didaktischer Aspekte, so werden z. B. Bruchstücke aus der Feedback-, Assessment- oder Lernzielforschung einbezogen, aber auch das Classroom Management spielt in eine umfassende Begriffsdefinition hinein.
Das "*Transparency in Learning and Teaching*"-Framework aus den USA bietet einen ersten zielgerichteten Anhaltspunkt für eine begriffliche Einordnung. Das Framework adressiert bereits im Vorfeld des Lernprozesses, mit Hilfe einer Strukturierungshilfe, drei wesentliche Schritte, welche explizit auf die Unterstützung von Aufgabenbearbeitungen ausgerichtet sind (Winkelmes, 2023):

- *Schritt 1:* Dieser Schritt legt den Fokus auf den Zweck der Aufgabe, sodass die Lernenden bereits im Vorfeld der eigentlichen Arbeit eine Begründung mit dem erwarteten Nutzen erhalten.
- *Schritt 2:* Dieser Schritt nimmt die spezifische Aufgabengestaltung in den Blick, indem den Lernenden verdeutlich werden soll, was und wie sie etwas machen sollen.

- *Schritt 3:* Dieser Schritt adressiert die Kriterien, die für eine gute und erfolgreiche Aufgabenbearbeitung erreicht werden müssen.

Diese Strukturierungshilfe soll einerseits die Lehrenden bei der Planung ihres Unterrichts unterstützen und andererseits die Lernenden auf einer metakognitiven Ebene bei der Bearbeitung der Aufgaben fördern (Winkelmes, 2023).
Ergänzend kann der Ansatz des *Formative Assessment* einbezogen werden. Black & William (2009) weisen in diesem Zusammenhang u. a. darauf hin, wie wichtig es ist, dass Lernabsichten und Lernerfolgskriterien von den Lehrenden transparent gemacht werden und die Lernenden Verantwortung für ihren eigenen Lernprozess übernehmen. Letzteres kann durch gezieltes *Self-Assessment* erreicht werden, indem die Lernenden dazu angeregt werden, ihr Lernen zu reflektieren und zu evaluieren, sodass sie den Erfolg und die Qualität ihrer eigenen Arbeit besser einschätzen können (Panadero et al., 2016).
Auch in der Lernzielforschung spielen Transparenzaspekte eine Rolle, denn Lernziele sollen u. a. den Zweck, Erwartungen oder Bedingungen vermitteln (Orr et al., 2022; Mager, 1997; Bloom et al., 1956). In der Forschung gibt es erste positive Hinweise darauf, dass transparente Lernziele lernförderlich sein können (Orr et al., 2022).
Auf der Grundlage dieser Forschungsansätze wurde eine umfangreiche Definition entwickelt, die verdeutlichen soll, welche Aspekte Lehrende bei der Planung von Unterricht beachten sollten, damit Lernende bei der Initiierung, Durchführung und Reflexion von Lernprozessen unterstützt werden können:

> Transparenz umfasst alle Maßnahmen, die eine Lehrperson ergreifen kann, um Lernsituationen so zu gestalten, dass Lernende wissen,
> … warum sie etwas lernen und wie sie das erworbene Wissen nutzen können, um situationsspezifische und über die Lernsituation hinausgehende Ziele zu erreichen.
> … was von ihnen zu bearbeiten ist und welche Anforderungen an sie gestellt werden.
> … wie sie ihre eigenen Lernleistungen adäquat bewerten können.

Selbstreguliertes Lernen
Das Konstrukt des selbstregulierten Lernens kann auf die drei zentralen Komponenten Kognition, Motivation und Metakognition reduziert werden, wobei zusätzlich in einigen Definitionen auch ein Prozesscharakter angenommen wird (Perels & Dörrenbächer, 2020; Zimmerman, 2000). Das Prozessmodell von Zimmerman (2000) unterscheidet zwischen der Planungs-, Handlungs- und Reflexionsphase, wobei die einzelnen Phasen als ein iterativer Prozess zu betrachten sind. In der Planungsphase erfolgt die Aufgabenanalyse (z. B. Auswahl geeigneter Strategien oder Zielsetzung), gleichzeitig sind auch motivationale Aspekte von Bedeutung. In der Handlungsphase kommen insbesondere metakognitive Strategien (z. B. Selbstkontrolle oder Selbstbeobachtung) zum Tragen, welche darauf ausgerichtet sind, die Planungen umzusetzen, den Lernprozess zu überwachen und ggf. Anpassungen vorzunehmen. In der Reflexionsphase werden die Zielerreichung sowie der Lernprozess bewertet und daraus ggf. notwendige Schlussfolgerungen für künftige Lernprozesse abgeleitet (Zimmerman, 2000; Perels & Dörrenbächer, 2020). Aus dieser Idee heraus wird deutlich, warum das selbstregulierte Lernen beim Lernen mit multimedialen Medien von Bedeutung ist, denn Lernende *„die ihr Lernen effektiv planen, überwachen und reflektieren können, sind auch besser dazu in der Lage, mit den multiplen Repräsentationen der Lerninhalte und der hohen Autonomie in solchen Lernumgebungen umzugehen“* (Perels & Dörrenbächer, 2020, S. 86).

Verknüpfung von Lerntransparenz und selbstreguliertem Lernen

Die beiden theoretischen Konstrukte lassen sich miteinander verknüpfen, um den genannten Herausforderungen und Potentialen gerecht zu werden:

- In der Planungsphase kann den Lernenden im Hinblick auf die Aufgabenanalyse mit Hilfe geeigneter Maßnahmen (z. B. mit Lernzielen) transparent gemacht werden, warum, was und wie sie lernen können, damit sie im Anschluss in der Lage sind u. a. geeignete Strategien auszuwählen.
- In der Handlungsphase können die Lernenden durch Unterstützungsmaßnahmen (z. B. Scaffolding) in der metakognitiven Wahrnehmung ihres eigenen Lernprozesses gefördert werden, indem weiterhin die Aspekte des Warum, Was und Wie adressiert werden.
- In der Reflexionsphase kann mit Hilfe von Maßnahmen (z. B. Musterlösungen oder Selbsteinschätzungsbögen), die insbesondere das *Self-Assessment* der Lernenden in den Blick nehmen, die Reflexion gefördert werden.

Erste Hinweise auf Effekte der Verzahnung dieser beiden Konstrukte haben sich in Forschungen bereits gezeigt. Beispielsweise kann der Einsatz von Lernzielen oder Bewertungsleitfäden auf mehreren Ebenen relevant sein, da Lernende einerseits in der Planungsphase bei der Organisation ihres Lernens und der Auswahl geeigneter Lernstrategien unterstützt werden können. Andererseits kann auch ein Einsatz als *Self-Assessment* Tool in der Reflexionsphase sinnvoll sein (u. a. Osueke et al. 2018; Baartman & Prins, 2018). Darüber hinaus konnten Studien zeigen, dass explizit transparenzschaffende Maßnahmen dazu führen können, dass Lernende selbstregulierter lernen und gleichzeitig nicht die Gefahr besteht, dass der Anforderungsgrad zu gering wird (u. a. Balloo et al., 2018).

Ausblick

Vor dem Hintergrund der genannten Herausforderungen multimedialen Lernens und der Potenziale, die eine Verknüpfung von Lerntransparenz und selbstreguliertem Lernen bietet, liegt der Fokus unserer aktuell durchgeführten Studie auf der Entwicklung und Evaluation einer digitalen Lernumgebung zum Thema „Chemisches Gleichgewicht“, die Lerntransparenz in den Mittelpunkt stellt.

Die Implementierung soll im Chemieunterricht der Jahrgangsstufe 11 an Gymnasien in Nordrhein-Westfalen erfolgen. Ziel ist es, die Wirkung verschiedener transparenzschaffender Maßnahmen, insbesondere in der Planungs- und Reflexionsphase des selbstregulierten Lernens, zu untersuchen. Darüber hinaus soll das Arbeitsverhalten der Lernenden bei der Nutzung der digitalen Lernumgebung analysiert werden.

Literatur

Anderson, A. D., Hunt, A. N., Powell, R. E. & Dollar, C. B. (2013). Student Perceptions of Teaching Transparency. *The Journal of Effective Teaching*, *13*(2), 38–47.

Baartman, L. K. J. & Prins, F. J. (2018). Transparency or Stimulating Meaningfulness and Self-Regulation? A Case Study About a Programmatic Approach to Transparency of Assessment Criteria. *Frontiers in Education*, *3*, Artikel 104. https://doi.org/10.3389/feduc.2018.00104

Balloo, K., Evans, C., Hughes, A., Zhu, X. & Winstone, N. (2018). Transparency Isn't Spoon-Feeding: How a Transformative Approach to the Use of Explicit Assessment Criteria Can Support Student Self-Regulation. *Frontiers in Education*, *3*, Artikel 69, 1–11. https://doi.org/10.3389/feduc.2018.00069

Black, P. & Wiliam, D. (2009). Developing the theory of formative assessment. *Educational Assessment, Evaluation and Accountability, 21*(1), 5–31. https://doi.org/10.1007/s11092-008-9068-5

Bloom, B. S., Engelhart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H. & Krathwohl, D. R. (1956). *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals*. *Handbook I: The Cognitive Domain.* Longmans.

Foster, N. & Piacentini, M. (Hrsg.) (2023). *Innovating Assessments to Measure and Support Complex Skills.* OECD Publishing.

González-Pérez, L. I. & Ramírez-Montoya, M. S. (2022). Components of Education 4.0 in 21st Century Skills Frameworks: Systematic Review. *Sustainability, 14*(3), 1493. https://doi.org/10.3390/su14031493

Hoch, E., Scheiter, K. & Schüler, A. (2020). Implementation Intentions for Improving Self-Regulation in Multimedia Learning: Why Don't They Work? *The Journal of Experimental Education*, *88*(4), 536–558. https://doi.org/10.1080/00220973.2019.1628693

Hoch, E., Scheiter, K. & Stalbovs, K. (2023). How to support learning with multimedia instruction: Implementation intentions help even when load is high. *British journal of psychology*, *114*(2), 315–334. https://doi.org/10.1111/bjop.12620

Mager, R. F. (1997). *Preparing instructional objectives: A critical tool in the development of effective instruction* (3rd ed., completely rev). *The Mager six-pack*. Center for Effective Performance.

Orr, R. B., Csikari, M. M., Freeman, S. & Rodriguez, M. C. (2022). Writing and Using Learning Objectives. *CBE life sciences education*, *21*(3), 1-6. https://doi.org/10.1187/cbe.22-04-0073

Osueke, B., Mekonnen, B. & Stanton, J. D. (2018). How Undergraduate Science Students Use Learning Objectives to Study. *Journal of microbiology & biology education*, *19*(2). https://doi.org/10.1128/jmbe.v19i2.1510

Panadero, E., Brown, G. T. L. & Strijbos, J.-W. (2016). The Future of Student Self-Assessment: a Review of Known Unknowns and Potential Directions. *Educational Psychology Review*, *28*(4), 803–830. https://doi.org/10.1007/s10648-015-9350-2

Perels, F. & Dörrenbächer, L. (2020). Selbstreguliertes Lernen und (technologiebasierte) Bildungsmedien. In H. M. Niegemann & A. Weinberger (Hrsg.), *Handbuch Bildungstechnologie: Konzeption und Einsatz digitaler Lernumgebungen: mit 141 Abbildungen und 17 Tabellen* (S. 81–92). Springer.

Robert Bosch Stiftung (2023). *Das Deutsche Schulbarometer. Aktuelle Herausforderungen aus Sicht der Lehrkräfte. Ergebnisse einer Befragung von Lehrkräften allgemein- und berufsbildender Schulen*. Robert Bosch Stiftung.

Winkelmes, M.-A. (2023). Why it Works. In S. Tapp, P. Felten, M.-A. Winkelmes, A. Boye & A. Finley (Hrsg.), *Transparent Design in Higher Education Teaching and Leadership* (S. 17–35). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003448396-3

Zimmerman, B. J. (2000). Attaining Self-Regulation. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich & M. Zeidner (Hrsg.), *Handbook of Self-Regulation* (S. 13–39). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-012109890-2/50031-7

Jonas Ponath[1]
Pascal Pollmeier[1]
Sabine Fechner[1]

[1]Universität Paderborn

Erhebung und Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen von Chemielehrkräften

Ausgangslage

Der Einsatz von digitalen Medien gewinnt im Chemieunterricht immer mehr an Bedeutung (Huwer et al., 2020) und besitzt insbesondere zur Anreicherung von Experimenten großes Potenzial (Martens & Schwarzer, 2023). Damit der Einsatz digitaler Medien zielgerichtet erfolgen kann, benötigen Lehrkräfte (fach-)didaktisches und technologiebezogenes Wissen zu den eingesetzten Tools sowie motivationale Überzeugungen zum Einsatz, welche als digitalisierungsbezogene Kompetenzen (DBK) zusammengefasst werden (Hämäläinen et al., 2021).

Theoretischer Hintergrund

DBK werden in verschiedenen theoretischen Rahmenmodellen verortet. Dazu zählen u.a. das international etablierte und empirisch breit fundierte TPACK-Modell (Koehler et al., 2013).
In diesem werden Wissensbereiche abgebildet, die für Lehrkräfte im Zusammenhang mit Digitalisierung von Bedeutung sind. Das *technological pedagogical content knowledge* (TPACK) ist in diesem Modell eine technologiebezogene Erweiterung des *pedagogical content knowledge* (PCK) nach Shulman (1987), welches als empirisch fundiertes Modell zur Darstellung des Professionswissens von Lehrkräften gilt. Ein fächerübergreifender (digitalisierungsbezogener) Kompetenzrahmen für Lehrkräfte in den sechs Kompetenzbereichen *Berufliches Engagement, Digitale Ressourcen, Lehren und Lernen, Bewertung, Schülerengagement* und *Förderung der digitalen Kompetenzen der Lernenden* wird mit dem *digital competence framework for educators* (DigCompEdu) von der EU bereitgestellt (Ghomi & Redecker, 2019).
Um nun ausgehend von dem fachübergreifenden Kompetenzmodell hin zu naturwissenschaftsspezifischen Kompetenzerwartungen zu gelangen, haben Becker et al. (2020) den Orientierungsrahmen „Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften“ (DiKoLAN) entwickelt. Aus diesem lassen sich konkret für das Fach Chemie digitalisierungsbezogene Kompetenzen ableiten. Dort sind neben allgemeineren Kompetenzen in den Bereichen *Dokumentation, Präsentation, Kommunikation/Kollaboration* und *Recherche & Bewertung* auch die fachspezifische Kompetenzerwartungen aufgeführt, denen die drei Anforderungsbereiche *Nennen*, *Beschreiben* und *Anwenden/Durchführen* zugrunde liegen. DBK für den Chemieunterricht umfassen dabei insbesondere die fachspezifischen Bereiche der *Messwert- und Datenerfassung*, der *Datenverarbeitung* sowie der *Simulation und Modellierung* (Becker et al., 2020), aber auch deren kritische Reflexion.
Die beiden Referenzrahmen DigCompEdu und DiKoLAN beschreiben beide DBK für Lehrkräfte, unterscheiden sich jedoch in ihrem Fokus. Der DigCompEdu richtet sich europaweit an allgemeine DBK von Lehrkräften und betont grundlegende pädagogische und technologische Fähigkeiten, die fachübergreifend anwendbar sind. Der DiKoLAN Orientierungsrahmen hingegen legt den Fokus mehr auf praxisnahe Fähigkeiten für Lehrkräfte in den Naturwissenschaften.
Um DBK bedarfsgerecht zu fördern, müssen diese valide erhoben werden können (Zhao et al., 2021). Erhebungen von DBK in den Naturwissenschaften erfolgen bisher überwiegend über Selbsteinschätzungsskalen (Wang et al., 2018; Ghomi & Redecker, 2019; Vogelsang et al., 2019; Kotzebue et al., 2021).

Wie bereits Kruger & Dunning (1999) mit dem „Dunning-Kruger-Effekt“ zeigen konnten, geben Selbsteinschätzungen jedoch nicht immer den tatsächlichen Kompetenzstand wieder. Dies liegt an der mangelnden Fähigkeit, die eigenen Kompetenzen adäquat einzuschätzen. So können Personen mit eher gering ausgeprägten Kompetenzen zu einer hohen Selbsteinschätzung gelangen, sie überschätzen ihre eigenen Fähigkeiten. Personen mit hoch ausgeprägten Kompetenzen können sich in der Selbsteinschätzung unterschätzen (Kruger & Dunning, 1999). Dieser Effekt zeigt sich ebenfalls bei (angehenden) Lehrkräften, die sich hinsichtlich ihrer DBK oft ungenau einschätzen (Feldman & Özalp, 2019; Zhao et al., 2021; Krempkow et al., 2022; Ernst et al., 2023).
Als weitere Möglichkeiten zur Messung werden z.B. in der Physik vignetten-basierte Instrumente eingesetzt, die das fachdidaktische Wissen zum Einsatz digitaler Medien erfassen (Große-Heilmann et al., 2022). Vergleichbare Instrumente für das Fach Chemie müssen noch entwickelt werden (Rubach & Lazarides, 2023).
Das diesem Projekt zu Grunde liegende Forschungsdesiderat besteht also in der Entwicklung eines vignetten-basierten Instruments zur Erhebung der DBK im Bereich der Messwerterfassung und der anschließenden Förderung von digitalisierungsbezogenen Kompetenzen bei Chemielehrkräften durch Fortbildungen.

Forschungsfragen
Das Instrument soll entwickelt und zur Begleitforschung von Fortbildungen eingesetzt werden, wobei der Fokus auf folgenden Fragestellungen liegt:
FF1: Inwiefern unterscheiden sich Chemielehrkräfte in ihren selbst eingeschätzten und den über das vignetten-basierte Instrument erhobenen DBK?
FF2: Inwiefern verändern sich die DBK von Chemielehrkräften nach dem Besuch einer bedarfsorientierten Fortbildung?
FF3: In welchem Ausmaß verändern sich ebenfalls TPACK-Selbstwirksamkeit sowie die Einstellungen gegenüber dem Einsatz digitaler Medien im Chemieunterricht nach der Teilnahme an einer Fortbildungsveranstaltung?

Design des Instruments
Für das Instrument werden verschiedene Unterrichtsvignetten konstruiert, mit denen die Chemielehrkräfte den Einsatz von digitalen Tools (z.B. digitale Sensoren zur Messwerterfassung) in Unterrichtssituationen mit einem vorgegebenen Lernziel beurteilen sollen. In der Konstruktion werden Tools berücksichtigt, welche sowohl dem aktuellen Stand der fachwissenschaftlichen Forschung entsprechen als auch für die Schulen verfügbar sind und einen Mehrwert für den experimentellen Chemieunterricht bieten. Des Weiteren werden die Tools entsprechend so ausgewählt, dass deren Einsatz Bezug auf das Lernziel der Stunde nimmt. Die Lernziele orientieren sich an den Kernlehrplänen für das Fach Chemie in Nordrhein-Westfalen (MSB NRW, 2019; MSB NRW, 2022). Mit der Auswahl und Passung der Lernziele werden im gleichen Schritt die curriculare Validierung der Vignetten vorgenommen. Bei den Anforderungsniveaus der einzelnen Vignetten werden die DiKoLAN-Anforderungsbereiche adaptiert. Insgesamt gibt es für jedes der acht Tools pro Anforderungsniveau ein Item, so dass 24 Unterrichtsvignetten designt wurden.
Eine Unterrichtsvignette enthält den Item-Stamm, in welchem das grundlegende Lernsetting beschrieben wird. Neben dem formulierten Lernziel für dieses Unterrichtssetting wird ein Prompt formuliert, der die Lehrkräfte auffordert, sich für eine oder mehrere Antwortoptionen zu entscheiden. Diese Antwortoptionen enthalten Attraktoren und Distraktoren, welche sowohl aus fachdidaktischer Literatur als auch aus Befragungen von Expert*innen heraus entwickelt werden. Für technisch anspruchsvolle Tools wird zusätzlich noch eine Info-Box mit den grundlegenden technischen Möglichkeiten angegeben, um die Ratewahrscheinlichkeit aufgrund von fehlendem technischen Wissen zu reduzieren. Dies erscheint besonders sinnvoll

in Anbetracht der Befunde, dass in Bezug auf digitalen Medien das technische Wissen (TK) mit dem fachdidaktischen Wissen (PCK) korreliert (Cetin-Dindar et al., 2018).

Methoden

Zur Entwicklung und Validierung des Instruments werden im Konstruktionsprozess mehrere Entwicklungsschritte durchlaufen. Die Bildung eines evidenzbasierten Validitätsarguments mittels Expert*innenbefragungen (Meinhardt et al., 2018) erscheint hier zielführend, da es bisher noch an empirischer Grundlagenliteratur mangelt, die den Mehrwert von spezifischen Messwerterfassungssystem herausstellt.

Die Vignetten werden in zwei Zyklen mit Expert*innen aus Fachdidaktik, Lehrkräfteausbildung am Studienseminar und Lehrkräften diskutiert, um diese inhaltlich zu validieren. In der ersten Phase werden entwickelte Vignetten in Interviews mit Expert*innen besprochen, um inhaltliche Klarheit der gewählten Formulierungen zu gewährleisten und weitere Antwortmöglichkeiten zu generieren. Die Vignetten und Antwortoptionen werden nach Auswertung der Interviews überarbeitet und in einer zweiten Phase mit weiteren Expert*innen hinsichtlich der Eindeutigkeit der formulierten Antwortoptionen besprochen.

Anschließend soll das vorläufige Instrument mit Studierenden des Master of Education im Fach Chemie an mehreren Standorten in einer quantitativen Pilotierungsstudie eingesetzt werden. Die Wahl der Stichprobe zur Validierung begründet sich aus der geringen Anzahl an Lehrkräften, die zur Validierung des Instruments zur Verfügung stehen. In größerer Anzahl stehen Studierende mit ausreichenden Kenntnissen zur Verfügung, die zwar nicht über den gleichen Kompetenzstand wie ausgebildete Lehrkräfte verfügen, aber zur Erprobung des Instruments einen wertvollen Beitrag leisten können (Großmann & Krüger, 2024). Nach erfolgter Reliabilitätsprüfung und ggf. weiteren Überarbeitungen soll das Instrument zukünftig auch zur Begleitforschung bei Lehrkräftefortbildungen eingesetzt werden.

Ausblick

Nach dem Durchlaufen der beschriebenen Validierungs- bzw. Überarbeitungsschritte soll im kommenden Jahr die Hauptstudie durchgeführt werden. In dieser liegt der inhaltliche Fokus auf den beschriebenen Forschungsfragen, welche mittels einer Prä-Post-Interventionsstudie begleitend zu den durchgeführten Fortbildungen beforscht werden. Ein besonderes Interesse wird es sein, die selbst eingeschätzten DBK mit den Ergebnissen aus dem vignetten-basierten Instrument zu vergleichen.

Förderhinweis

Das Promotionsprojekt findet im Rahmen des Teilprojekts ComeMINT-Netzwerk statt und wird unter dem Förderkennzeichen 01JA23M06K finanziert durch die Europäische Union – NextGenerationEU und gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung. Die geäußerten Ansichten und Meinungen sind ausschließlich die des Autors/der Autorin und spiegeln nicht unbedingt die Ansichten der Europäischen Union, Europäischen Kommission oder des Bundesministeriums für Bildung und Forschung wieder. Weder Europäische Union, Europäische Kommission noch Bundesministerium für Bildung und Forschung können für sie verantwortlich gemacht werden.

Literaturverzeichnis

Becker, S., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M. & Kotzebue, L. von. (2020). Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN. In *Digitale Basiskompetenzen: Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (14-43).

Bos, W., Schaumburg, H., Gerick, J., Schwippert, K., Vahrenhold, J., Goldhammer, F., Senkbeil, M. & Eickelmann, B. (2019). *ICILS 2018 #Deutschland*. Waxmann Verlag.

Cetin-Dindar, A., Boz, Y., Yildiran Sonmez, D. & Demirci Celep, N. (2018). Development of pre-service chemistry teachers' technological pedagogical content knowledge. *Chemistry Education Research and Practice*, *19*(1), 167–183.

Diepolder, C., Weitzel, H., Huwer, J. & Lukas, S. (2021). Verfügbarkeit und Zielsetzungen digitalisierungsbezogener Lehrkräftefortbildungen für naturwissenschaftliche Lehrkräfte in Deutschland. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *27*(1), 203–214.

Ernst, H. M., Wittwer, J. & Voss, T. (2023). Do they know what they know? Accuracy in teacher candidates' self-assessments and its influencing factors. *British Educational Research Journal*, *49*(4), 649–673.

Feldman, A. & Özalp, D. (2019). Science teachers' ability to self-calibrate and the trustworthiness of their self-reporting. *Journal of Science Teacher Education*, *30*(3), 280–299.

Ghomi, M. & Redecker, C. (2019). Digital competence of educators (DigCompEdu): Development and evaluation of a self-assessment instrument for teachers' digital competence. In *11th International Conference on Computer Supported Education*.

Große-Heilmann, R., Riese, J., Burde, J.-P., Schubatzky, T. & Weiler, D. (2022). Fostering pre-service physics teachers' pedagogical content knowledge regarding digital media. *Education Sciences*, *12*(7), 440.

Großmann, L. & Krüger, D. (2024). Assessing the quality of science teachers' lesson plans: Evaluation and application of a novel instrument. *Science Education*, *108*(1), 153–189.

Hämäläinen, R., Nissinen, K., Mannonen, J., Lämsä, J., Leino, K. & Taajamo, M. (2021). Understanding teaching professionals' digital competence: What do PIAAC and TALIS reveal about technology-related skills, attitudes, and knowledge? *Computers in Human Behavior*, *117*, 106672.

Huwer, J., Banerji, A. & Thyssen, C. (2020). Digitalisierung - Perspektiven für den Chemieunterricht. *Nachrichten aus der Chemie*, *68*(10), 10–16.

Koehler, M. J., Mishra, P. & Cain, W. (2013). What is technological pedagogical content knowledge (TPACK)? *Journal of Education*, *193*(3), 13–19.

Kotzebue, L. von, Meier, M., Finger, A., Kremser, E., Huwer, J., Thoms, L.-J., Becker, S., Bruckermann, T. & Thyssen, C. (2021). The framework DiKoLAN (Digital competencies for teaching in science education) as basis for the self-assessment tool DiKoLAN-Grid. *Education Sciences*, *11*(12), 775.

Krempkow, R., Gäde, M., Hönsch, A. & Boschert, C. (2022). Digitale Kompetenzen von Studierenden auf dem Prüfstand. Analysen zur Zuverlässigkeit der Erfassung digitaler Kompetenzen. *Qualität in der Wissenschaft*, *16*(1), 20–28.

Kruger, J. & Dunning, D. (1999). Unskilled and unaware of it: How difficulties in recognizing one's own incompetence lead to inflated self-assessments. *Journal of Personality and Social Psychology*, *77*(6), 1121–1134.

Martens, M. A. & Schwarzer, S. (2023). Digital media in chemistry education: Developing professional skills in context of a school student laboratory. *CHEMKON*, *30*(2), 75–81.

Meinhardt, C., Rabe, T. & Krey, O. (2018). Formulierung eines evidenzbasierten Validitätsarguments am Beispiel der Erfassung physikdidaktischer Selbstwirksamkeitserwartungen mit einem neu entwickelten Instrument. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *24*(1), 131–150.

Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2019). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium/Gesamtschulen in Nordrhein-Westfalen: Chemie*.

Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2022). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen: Chemie*.

Rubach, C. & Lazarides, R. (2023). A systematic review of research examining teachers' competence-elated beliefs about ICT use: Frameworks and related measures. *Bildung für eine digitale Zukunft*, *15*, 189–230.

Shulman, L. (1987). Pedagogical content knowledge in social studies. *Scandinavian journal of educational research*, *31*(2), 59–70.

Vogelsang, C., Finger, A., Laumann, D. & Thyssen, C. (2019). Vorerfahrungen, Einstellungen und motivationale Orientierungen als mögliche Einflussfaktoren auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *25*(1), 115–129.

Wang, W., Schmidt-Crawford, D. & Jin, Y. (2018). Preservice teachers' TPACK development: A review of literature. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, *34*(4), 234–258.

Zhao, Y., Pinto Llorente, A. M. & Sánchez Gómez, M. C. (2021). Digital competence in higher education research: A systematic literature review. *Computers & Education*, *168*, 104212.

Schweizer Malte[1]
Schanze Sascha[1]
[1]Leibniz Universität Hannover

UsingOER - Ein Projekt zur Entwicklung einer offenen Bildungspraxis

Motivation – OER ein ungenutzter Möglichkeitsraum?

Über die letzten Jahre sind neben strikt lizensierten, kostenpflichtigen Materialien eine Vielzahl freier Unterrichtsmaterialien oder Offene Bildungsressourcen (Open Educational Ressources, OER) entwickelt und als webbasierte Inhalte über diverse Portale zugänglich gemacht worden. Die webbasierten Inhalte bilden über alle Fächer hinweg einen wachsenden Möglichkeitsraum zur Gestaltung potentieller Unterrichtsangebote bzw. Lerngelegenheiten (Schweizer & Schanze, 2024). Allein für das Fach Chemie umfasst der digital basierte Möglichkeitsraum momentan über 119 Webauftritte und mindestens 18 Datenbanken, welche insgesamt knapp 50.000 Materialeinträge aufweisen. Bei den durchweg kostenlos verfügbaren Webseiten hat sich die Anzahl innerhalb von wenigen Jahren von 35 (Neumann 2016) auf nun 79 mehr als verdoppelt. Angesichts dieser Entwicklung äußern selbst digital affine Lehrkräfte in Interviews eine Überforderung und fordern Unterstützungsmechanismen hinsichtlich digitalitätsbezogener Fähigkeiten (Schweizer & Schanze, 2024).

OER werden das Potenzial zugesprochen, Lehrkräfte in einer besonderen Weise zu unterstützen: Als potenziell veränderbare Gestaltungselemente lassen sich diese flexibel an die eigenen Bedarfe anpassen. Gleichzeitig können diese Anpassungen und die sich anschließende Praxis-Erfahrung in die OER-Community zurückgegeben werden. Bildungsressourcen und deren Einsätze können sich so innerhalb einer Community of Practice weiterentwickeln. Allerdings wird diese Praxis kaum gelebt. Es herrscht im Gegenteil eher Verunsicherung darin, ob bzw. inwiefern eine aus dem Netz geladene Ressource überhaupt genutzt, verändert und dann sogar weiter verteilt werden darf. Daher fällt der Nutzungsanteil digitaler Medien im Unterricht, trotz aller Potenziale, im Vergleich zu analogen Medien deutlich zurück (z.B. Härtig et al. 2021). Zudem mangelt es u.a. auch an der Kenntnis didaktisch begründeter Einsatzszenarien (ebd.). Auch im Hochschulbereich bleibt die Etablierung der Nutzung und Erstellung von digitalen Bildungsressourcen aufgrund einer geringen Akzeptanz und/oder aufgrund individueller Unsicherheiten deutlich hinter den bildungspolitischen Zielsetzungen zurück (vgl. Ladwig 2022). Daher müssen wir uns als Community, welche Bildungsressourcen produziert und publiziert, weiterhin mit den Fragen auseinandersetzen: Wie gehen wir als fachdidaktische Community damit um, dass relevante digitale Innovationen veröffentlicht werden und nicht wahrgenommen werden? Und wie fördern wir, dass Lehrkräfte effizient und aktiv qualitativ hochwertige Inhalte für alle möglichen Unterrichtskontexte frei zugänglich finden, nutzen und teilen?

Ziel des Projektes UsingOER ist es ausgehend von diesen Fragen eine transparente Darstellung und Erarbeitung einer *Offenen Bildungspraxis* (OEP), die Etablierung von fächerübergreifenden und die Unterstützung von fachspezifischen Bildungsangeboten sowie der begleitende Ausbau einer Community Practice (CoP). Die Idee und Struktur wird über diesen Beitrag vorgestellt und kann so bereits durch die Community für andere Institutionen aufgegriffen und adaptiert werden.

Offene Bildungsmaterialien in einer Community of Practice

In einer CoP für OER werden einerseits Professionswissen und Einstellungen (die zentralen Dispositionen beim Unterrichtshandeln; z.B. Kulgemeyer & Riese (2018)) zukünftiger Lehrkräfte geprägt sowie praktizierende Lehrkräfte über Bildungsangebote adressiert. Andererseits werden aber auch selbst OER verwendet, um die Lehre digital zu gestalten. Unter anderem Terhart (2012) beschreibt die Lehrkräftebildung als den Schlüssel, Professionswissen derart

zu beeinflussen, dass sich Unterricht verändert. Es ist plausibel, anzunehmen, dass dies auch für Wissen und Fähigkeiten im Umgang mit OER gilt. Wenn also in die Lehrkräftebildung der Universitäten eine OEP integriert wird, so ist nach Art eines didaktischen Doppeldeckers auch zu erwarten, dass zukünftige Lehrkräfte an Schulen davon beeinflusst werden.
Hier setzt das Projekt UsingOER zunächst an bereits vorhandenen Strukturen der Leibniz Universität Hannover an und soll hiervon ausgehend verschiedenen Ebenen die Lehrkräftebildung stärken. Eine Heuristik für den analytischen Blick auf die Annahme und Nutzung von OER auf institutioneller Ebene bietet die Adaption Pyramid nach Cox & Trotter (2017; vgl. auch Baas et. al. 2019). Das Modell richtet sich an Forschende, Dozierende und Institutionen. Der Einsatz und die Erstellung von OER sowohl in der Lehrkräftebildung als auch von Lehrkräften im eigenen Unterricht ist danach maßgeblich von sechs verschiedenen Faktoren (a-f) abhängig (Abb. 1). Basierend auf diesen Faktoren wird eine Unterscheidung und der Vergleich von Einflüssen auf die Integration von OER in die Lehre ermöglicht (Cox & Trotter, 2017).

Abbildung 1 Adaption Pyramid adaptiert nach Cox & Trotter (2017)

Nicht alle der sechs Faktoren der Adoption Pyramid sind in universitären CoP gleich weit entwickelt, sodass jeweils ein standortspezifischer Handlungsbedarf besteht. Grundsätzlich kann jedoch davon Ausgegangen werden, dass ein Handlungsbedarf für die Faktoren, *Bewusstsein, Fähigkeiten, Verfügbarkeit* und letztendlich der *Nutzung* besteht (Baas et. al. 2019). UsingOER leistet einen Beitrag, diesen Handlungsbedarf zu adressieren und wird die im Rahmen des Projekts entstehenden Materialien und Erkenntnisse der Community zur Verfügung stellen.

Aufbau eines Konzeptes zur Förderung einer offenen Bildungspraxis

Zur Förderung einer OEP gilt es, das Bewusstsein für vorhandene Infrastrukturen zu schaffen. Darauf aufbauend werden die Bildungsakteure über Seminarangebote und Workshops adressiert und gemeinsam der Bedarf an potentiellen Metadaten für die zielgerichtete Recherche erarbeitet (Abbildung 2). In einem letzten Schritt werden entstandene Produkte in einem Selbstlernkurs zusammengefasst und als OER publiziert.

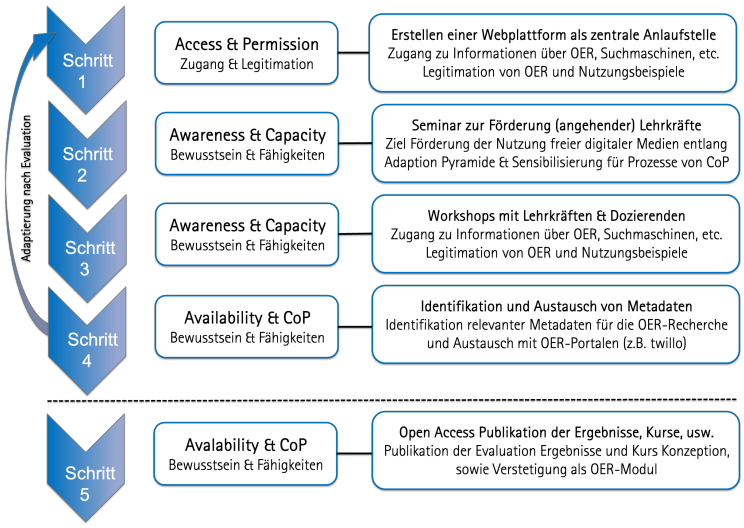
Im Rahmen der Lehrkräftebildung bieten Universitäten als Institution bereits durch die vorhandene Infrastruktur einen *Zugang* und die *Legitimation* im Sinne der Adoption-Pyramid. Allerdings ist dies angehenden Lehrkräften und auch Dozierenden nicht zwangsläufig bewusst (Baas et al. 2019, Gerthofer & Schneider, 2021), weshalb Schritt 1 eine Unterstützung in Form einer zentralen Webpräsenz die Bereiche *Zugang*, *Legitimation* und *Bewusstsein* adressiert. Die Webseite weist u.a. auf relevante Angebote, wie Informationsseiten (z.B. OERinfo), Datenbaken (z.B. Wir lernen Online) oder rechtliche Aspekte hin.

Ziel der Schritte 2 und 3 ist es, angehende Lehrkräfte und Dozierende progressiv an die Nutzung, Erstellung und das Teilen freier Bildungsmaterialien heranzuführen, sodass sie diese zukünftig zielführend einsetzen können. Im Fokus steht die Förderung des Bewusstseins der

Besonderheit von OER sowie der Fähigkeiten der Zielgruppen, für die Gestaltung einer Lerngelegenheit angemessene webbasierte Inhalte zu finden, zu gestalten und/oder sie mit tragfähigen Metainformationen zu versehen, um sie potenziell teilen zu können. Hierfür gilt es, Unterstützung hinsichtlich rechtlicher Sicherheit zu geben und Recherche- und Bewertungskompetenzen zu fördern (vgl. Becker et al., 2020). Explizit zu berücksichtigen ist die Gestaltung von Unterrichtsmaterialen anhand konkreter Beispiele guter Praxis.

Da Dozierende im Sinne des didaktischen Doppeldeckers für die Ausbildung als Multiplikatoren eine zentrale Rolle einnehmen (Baas et al., 2019) gilt es, diese über Workshops zusätzlich zu fördern. Gemeinsam mit OER-erfahrenen (externen) Expert*innen können Weiterbildungen als Austausch- und Diskussionsplattform und der Vernetzung der Akteure innerhalb der Lehrkräftebildung dienen. Basierend auf dieser Vernetzung können Bedarfe hinsichtlich relevanter Metadaten ermittelt werden und diese in Portale wie Twillo aber auch in Arbeitsgruppen mit dem Schwerpunkt Metadaten eingebracht werden.

Auf diese Weise wird eine Vernetzung angestoßen, die auf intentioneller Ebene zum Ausbau von CoP führen kann und durch Teilhabe an webbasierten Netzwerken langfristig auch deszentrale CoP unterstützt. Seitens der Fachdidaktiken als Bildungsakteure wird dadurch nicht nur ein Beitrag dazu geleistet, Innovationen und didaktische Kommunikate zu publizieren, sondern auch deren nachhaltige Auffindbarkeit und Nutzung zu gewährleisten.



Durch die Besonderheiten des Fachs Chemie mit Blick auf die Modellierungs- und Visualisierungsebenen kann diese Domäne besonders von OER profitieren. Hierfür gilt es jedoch das Bewusstsein über und die Verfügbarkeit von OER innerhalb der Lehrkräftebildung zu fördern. Mit UsingOER wird ein Konzept zur Förderung der potentiale von OER vorgestellt, welches es noch zu evaluieren gilt. Über die gemeinsame Erarbeitung von Materialien und dem Ausbau einer CoP können empirische geprüfte didaktische Kommunikate für jeden Lehr-Lern-Anlass entstehen. Durch den Aufbau von CoP auf verschiedenen Handlungsebenen wird eine nachhaltige Etablierung gemeinsamer Qualitätskriterien und Prüfmechanismen für OER in Einklang mit der Lehrkräftebildung eröffnet. Dies kann einen Beitrag dazu leisten, dass relevante digitale Innovationen zukünftig besser wahrgenommen werden.

Literatur

Baas, M., Admiraal, W. & van den Berg, E. (2019). Teachers' Adoption of Open Educational Resources in Higher Education. *Journal of Interactive Media in Education*, 2019(1), p.9.DOI: https://doi.org/10.5334/jime.510

Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C. & von Kotzebue, L. (2020). DiKoLAN: Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften. Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen. https://dikolan.de/

Cox, G. & Trotter, H. (2017) . An OER framework, heuristic and lens: Tools for understanding lecturers' adoption of OER. *Open Praxis*, 9(2), p.151-171.DOI: https://doi.org/10.5944/openpraxis.9.2.571

Gerthofer, L., & Schneider, J. (2021). Fallkonstellationen zum Einsatz digitaler Medien im Unterricht. Eine qualitative, lehrendenzentrierte Betrachtung». Medien Pädagogik 16 (Jahrbuch Medienpädagogik), 281–315. https://doi.org/10.21240/mpaed/jb16/2021.04.29.X.

Härtig, H., Ostermann, A., Ropohl, M., Schwanewedel, J., Kampschulte, L. & Lindmeier, A. (2021). Gibt es einen fachspezifischen Medieneinsatz im naturwissenschaftlichen Fachunterricht? Ergebnisse einer Fragebogenerhebung. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 27(1), 139–154. https://doi.org/10.1007/s40573-021-00130-5

Ladwig, T. (2022): Konzeptstudie: Förderung der Akzeptanz von OER an den niedersächsischen Hochschulen. In: Hochschulforum Digitalisierung (Hrsg.): Arbeitspapier Nr. 64. Online: https://hochschulforumdigitalisierung.de/sites/default/files/dateien/HFD_AP_64_Konzeptstudie_Open_Educational_Ressources_OER.pdf

Kulgemeyer, C., & Riese, J. (2018). From Professional Knowledge to Professional Performance: The Impact of CK and PCK on Teaching Quality in Explaining Situations. Journal of Research in Science Teaching, 55(10), 1363–1496. https://doi.org/10.1002/tea.21457

Neumann, D. (2016). Open Educational Resources (OER) oder Kostenloses Lehrmaterial aus dem Internet. Marktanalyse 2016 und Aktualisierung der Diskussion. URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-126715 - DOI: 10.25656/01:12671

Schweizer & Schanze, S. (2024). Webbasierte Angebote zur Unterstützung des Chemieunterrichts – Eine Bestandsaufnahme. In Helena van Vorst (Hg.): *Frühe naturwissenschaftliche Bildung, GDCP-Jahrestagung 2023* (2024)

Terhart, E. (2012). Wie wirkt Lehrerbildung? Forschungsprobleme und Gestaltungsfragen. Zeitschrift für Bildungsforschung, 2(1), 3–21.

Mosab Abumezied[1]
Dominik Dorsel[1]
Sebastian Staacks[1]
Heidrun Heinke[1]

[1]RWTH Aachen University

Smartphone-gestützte Experimente zur Untersuchung des Federpendels

Einleitung

Smartphones und Tablets können als experimentelle Werkzeuge im Physikunterricht eingesetzt werden und fördern den kognitiven und motivationalen Lernerfolg beim Experimentieren, wenn damit physikalische Phänomene im Physikunterricht untersucht werden (Kuhn & Vogt 2015, 2022). Da Smartphones über Sensoren wie Beschleunigungssensor, Gyroskop und Magnetometer verfügen, deren Messwerte von einer App wie phyphox ausgelesen und graphisch dargestellt werden können (Staacks et al., 2018), lassen sich insbesondere in der Mechanik zahlreiche Experimente durchführen. Die App phyphox kann darüber hinaus auch externe Sensoren auslesen (siehe z.B. Dorsel. et al., 2019, 2023). Dadurch können smartphonegestützte Experimente sowohl mit dem Smartphone selbst als auch mit externen Sensoren realisiert werden. Dies wird am Beispiel des Federpendels gezeigt. Die Amplitude der Schwingung kann mit verschiedenen externen Sensoren wie einem Abstandssensor oder Drucksensor gemessen werden. Hierzu wurden diese Sensoren zusammen mit einem leichten und kompakten Mikrocontroller in einer zylindrischen Sensorbox (siehe Abb. 1 links) verbaut, die mit der App phyphox über Bluetooth ausgelesen wird. Durch die kompakte und leichte Bauweise der Sensorbox können Variablen wie die Pendelmasse oder die Größe einer zur Dämpfung der Schwingung genutzten Pappe (siehe Abb. 1 Mitte) leicht variiert werden. In dieser Arbeit werden Daten aus mit der App phyphox durchgeführten Federpendel-Experimenten für vier verschiedene (externe) Sensortypen, nämlich einen Beschleunigungssensor, Abstandssensor, Drucksensor und Magnetfeldsensor, vorgestellt, verglichen und Einsatzoptionen diskutiert.

1 Abstands- und Beschleunigungssensor

Die Amplitude der gedämpften Schwingung kann direkt mit dem Abstandssensor und indirekt mit dem Beschleunigungssensor gemessen werden. Dies kann auch parallel geschehen. Abbildung 1 zeigt rechts die Messdaten der beiden Sensoren. Die gedämpfte Schwingung wurde

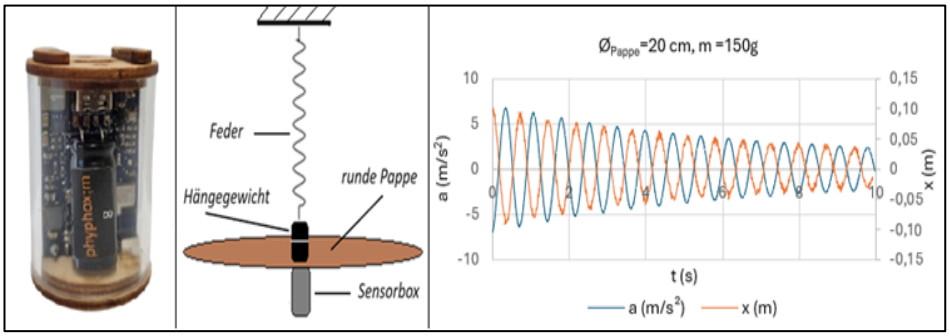


***Abb. 1**: Sensorbox von phyphox (links), Skizze des experimentellen Aufbaus (Mitte). Abstands -und Beschleunigungsmessung zeitgleich aufgenommen mit der Sensorbox (rechts).*

hierbei durch eine kreisförmige Pappe mit einem Durchmesser $d = 20$ cm, mit einer Pendelmasse $m = 150$ g und eine Feder mit einer Federkonstante $k = (11.9 \pm 0.2)$ N/m realisiert. Die gleichzeitige Messdatenaufnahme mit den beiden Sensoren erlaubt den Lernenden einen Vergleich, der die zeitliche Verschiebung der Maxima und der Minima der Abstands- und Beschleunigungsmessung sichtbar macht, wie in Abb. 1 (rechts) zu sehen ist.

2 Drucksensor

Nach der barometrischen Höhenformel ist der Atmosphärendruck mit der Höhe verknüpft, so dass ein in vertikaler Richtung pendelnder Drucksensor auch Informationen über die Pendelbewegung enthält. In der Sensorbox wurde ein Bosch BMP581 Drucksensor verbaut, der absolute Drücke im Bereich bis 125 kPa messen und mit seiner relativen Genauigkeit Höhenunterschiede von wenigen cm auflösen kann. Zusätzlich können auch veränderliche Geschwindigkeiten des Pendelkörpers nach der Bernoulli-Gleichung zu Variationen im Druck führen, was z.B. bei der Messung mit Pitot-Rohren genutzt wird (Dorsel et al., 2022).
Abb. 2 zeigt die Messdaten des Drucksensors bei Pendelversuchen, die ohne ((a) und (b)) und mit Pappe ((c) und (d)) zur Dämpfung durchgeführt wurden. Insbesondere die Rohdaten in der Abb. 2(a) für die Schwingung ohne Dämpfungsglied (Pappe) zeigen, dass der Mittelwert von

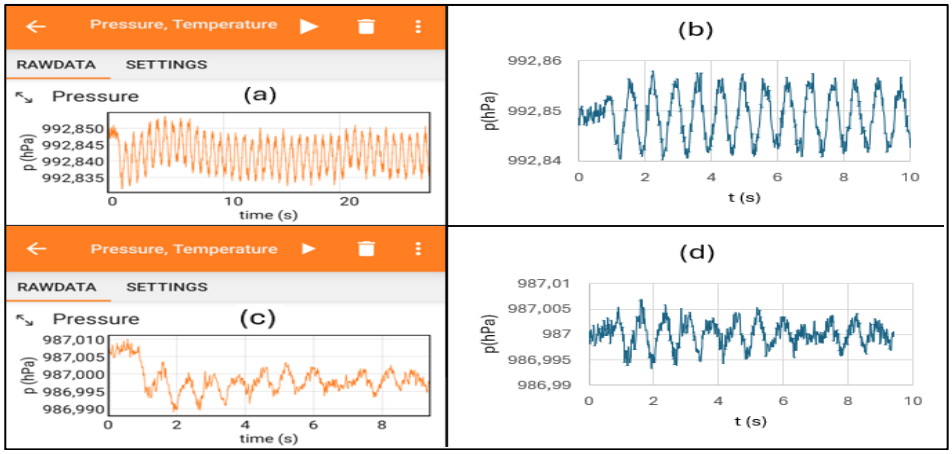


***Abb. 2**: (a) und (c) sind graphische Darstellungen der Messdaten des Drucksensors der Sensorbox phyphox:m in der App phyphox für eine Schwingung ohne und mit Pappe als Dämpfungsglied. (b) und (d) sind die Messdaten aus (a) und (c) mit Korrektur auf einen konstanten Mittelwert.*

benachbarten Maxima und Minima der Kurve deutlich mit der Zeit variiert. Dies ist dadurch bedingt, dass der Druck stark von den Gegebenheiten der Umgebung (wie z.B. leichte Luftströmungen in einem Gebäude) beeinflusst wird. Daher wurde die Messung um den zeitabhängigen Verlauf des Mittelwerts korrigiert, was zu den Graphen in Abb. 2(b) und (d) geführt hat. Bei der gedämpften Schwingung (Abb. 2(c) und (d)) bleibt der Verlauf der Messdaten auch nach dieser Korrektur stark verrauscht.

3 Magnetfeldsensor

In diesem Versuch wird die Auslenkung der gedämpften Schwingung mit dem Magnetfeldsensor über die Veränderung der ortsabhängigen Magnetfeldstärke bei zwei verschiedenen Positionen und Ausrichtungen des Magneten parallel und senkrecht zur Bewegungsrichtung der Pendelmasse untersucht. Abb. 3 zeigt den experimentellen Aufbau mit dem Magneten und

die Messdaten der z-Achse des Magnetometers. Man erkennt charakteristische Unterschiede der Messdaten für beide Magnetkonfigurationen. Bei Position 2 unterliegt die Amplitude aufgrund unvermeidbarer kleiner Rotationen und Schaukelbewegungen der Masse beim Pendeln deutlichen Schwankungen.

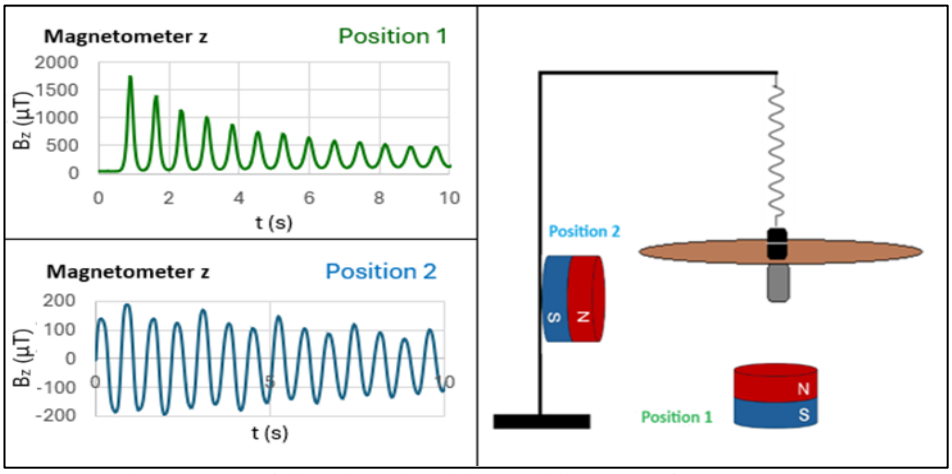


***Abb. 3**: Detektierte Magnetfeldstärke während der Pendelbewegung für Position 1 und 2 des Magneten (links) bezogen auf die z-Achse des Magnetometers. Skizze des experimentellen Aufbaus (rechts).*

Ergebnisse und Diskussion

Mit vier verschiedenen Sensoren, die alle in einer Sensorbox implementiert waren und mit der App phyphox ausgelesen wurden, konnten Messdaten zur Schwingung verschieden gedämpfter Federpendel aufgenommen werden. Die Messkurven verdeutlichen neben charakteristischen Daten der Schwingung jeweils zusätzliche physikalische Phänomene. Diese einfachen Experimente eignen sich dabei sowohl zur Vermittlung physikalischer Konzepte als auch als Gegenstand vielfältiger Aufgabenstellungen zum forschenden Lernen.

Die Experimente können zudem sehr gut zur Vermittlung vielfältiger experimenteller Kompetenzen genutzt werden. Dies betrifft z.B. die Optimierung der Messungen hinsichtlich des Signal-Rausch-Verhältnisses. So zeigt ein Vergleich der Messdaten des Abstands- und Beschleunigungssensors, dass die Messkurven der Beschleunigung weniger Rauschen als die vom Abstandssensor aufweisen, insbesondere bei Langzeitmessungen, wenn die Amplitude sehr klein wird. Messungen mit dem Drucksensor und dem Magnetfeldsensor können zwar die Periodizität der Pendelbewegung sichtbar machen, erscheinen aufgrund komplexer physikalischer Hintergründe aber zur quantitativen Beschreibung des zeitlichen Verlaufs der Amplituden nur bedingt geeignet.

Fazit

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden Smartphone-gestützte Experimente zur Untersuchung gedämpfter Federpendel vorgestellt. Vier verschiedene externe Sensoren einer Sensorbox ermöglichen es prinzipiell, Charakteristika der Bewegung des Federpendels zu untersuchen und eröffnen vielfältige Möglichkeiten nicht nur zur Vermittlung verschiedener physikalischer Konzepte, sondern auch für die Umsetzung von Aufgabenstellungen zum forschenden Lernen und zur Schulung diverser experimenteller Kompetenzen.

Literatur

Kuhn, J., Vogt, P. (2015).Smartphone & Co. in physics education: effects of learning with new media experimental tools in acoustics. In: Schnotz, W., Kauertz, A., Ludwig, H., Müller, A., Pretsch, J. (eds.) Multidisciplinary Research on Teaching and Learning. Palgrave Macmillan, Basingstoke, UK, S.254.

Kuhn, J., Vogt, P.(2022). Smartphone as mobile minilabs in physics. Cham: Springer Nature Switzerland AG, S.5.

Staacks, S., Hütz, S., Heinke, H. & Stampfer, C. (2018). Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox. In: Physics Education, 53. DOI: https://doi.org/10.1088/1361-6552/aac05e.

Dorsel, D., Staacks, S., Hütz, S., Heinke, H. & Stampfer, C (2019). Smartphone-Experimente für MINT-Fächer mithilfe von externen Sensoren. GDCP Tagungsband 2019 – Band 39.

Dorsel, D., Staacks S., Loch M. & Pusch A. (2023). Sensordaten drahtlos zur Smartphone-App phyphox übertragen und grafisch auswerten. Ein einfaches Beispiel mit dem ESP32 und dem Ultraschallsensor HC-SR04 . MNU Journal / Verband zur Förderung des MINT-Unterrichts, 76 1, S. 36-43

Dorsel, D., Staacks, S., Heinke, H. & Stampfer, C. (2022). Using a Smartphone Pressure Sensor as Pitot Tube Speedometer. The Physics Teacher 60(4):273-275.

Johannes Schlaf
Dominik Dorsel
Sebastian Staacks
Christoph Stampfer
Heidrun Heinke

RWTH Aachen University

Smartphone-gestützte Experimente zur Quantenphysik

Hintergrund

Smartphones sind mit einer Vielzahl interner Sensoren ausgestattet, darunter Beschleunigungssensoren, Gyroskope und Magnetometer. Diese Sensoren können durch spezialisierte Apps wie z.B. phyphox ausgelesen werden, um Messdaten aufzunehmen (Staacks et al., 2018a) (Staacks et al, 2018b) (Dorsel, 2023, S. 7-8). In Verbindung mit ihrer kompakten Größe können Smartphones daher auf vielfältige und häufig sehr einfache Art und Weise zum Experimentieren genutzt werden. Beispiele hierfür sind die Messung der Zentripetalbeschleunigung in einer Salatschleuder und die Simulation eines Sonars durch gleichzeitige Verwendung von Lautsprecher und Mikrophon (Phyphox, Stand 10/2024a). Ein entscheidender Vorteil von Smartphones für den Einsatz im Bildungsbereich ist zudem ihre weite Verbreitung: Etwa 96% aller Jugendlichen zwischen 12 und 19 Jahren besitzen ein solches Gerät (Medienpädagogischer Forschungsverband Südwest, 2023, S. 7).
Die an der RWTH Aachen entwickelte App phyphox bietet nicht nur die Möglichkeit, interne Sensoren auszulesen, sondern erlaubt auch die Integration externer Sensormodule über Bluetooth Low Energy (BLE). Ein wenig Programmiererfahrung vorausgesetzt ermöglicht es die Arduino-Bibliothek phyphoxBLE zudem, eigene, auf den jeweiligen Einsatzzweck maßgeschneiderte Sensormodule zu kreieren, wodurch diese auch als DIY-Projekte (DIY = do it yourself) realisierbar sind (Phyphox, Stand 10/2024b).

Motivation und Zielsetzung

Es existiert ein Mangel an Realexperimenten zur Quantenphysik an Schulen, was zu einer gehäuften Nutzung von Simulationen führt (Breuer et al., 2022, S. 8). Im Vergleich zu Realexperimenten sorgt der Einsatz von Simulationen allerdings für ein niedrigeres Schülerinteresse (Herbst et al., 2016, S. 4). Auch der Kernlehrplan des Landes Nordrhein-Westfalen gibt Realexperimenten den Vorzug gegenüber anderen Methoden (Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2022, S. 12). Zusätzlich zu dem angesprochenen Mangel erfordern typische, auch im Kernlehrplan genannte Experimente wie der Photoeffekt in der Regel komplexe und kostenintensive Aufbauten, was sie häufig auf den Einsatz als Demonstrationsexperimente beschränkt. Kontrastierend hierzu nennt der Kernlehrplan allerdings das eigenhändige Durchführen von Experimenten als Bestandteil der zu erwerbenden Sachkompetenz (Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2022, S. 15). Zusammenfassend besteht ein Bedarf an geeigneten Schülerexperimenten zur Quantenphysik.
Das Ziel dieses Projekts ist es, die Sammlung der Quantenphysik-Experimente durch niederschwellig einsetzbare Schülerexperimente mit übersichtlichen, leicht verständlichen und kostengünstigen Aufbauten zu erweitern, welche sich einfach in Unterricht integrieren lassen. Um dies zur erreichen, wird das Smartphone als breit verfügbares Messinstrument

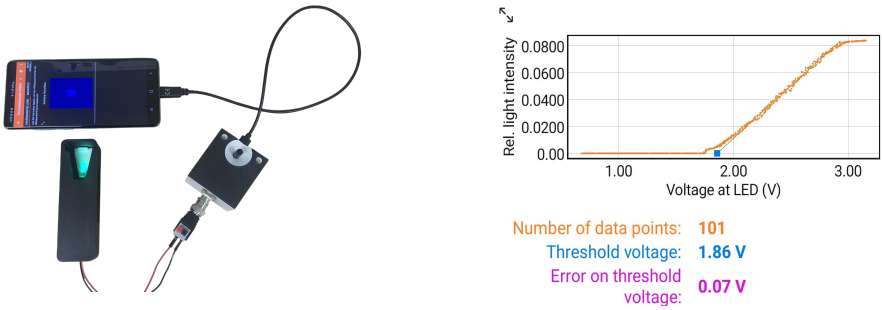


Abb. 1: Aufbau und zu erwartende Messkurve beim Versuch zur Messung des Planck'schen Wirkungsquantums. Links: Aufbau zur Messung von Schwellenspannungen von LEDs. Rechts: Screenshot einer exemplarischen Messkurve.

genutzt. Als Datenschnittstelle kommt die App phyphox zum Einsatz, was die Einbindung externer Module ermöglicht.
Bisher wurden zwei Schülerexperimente entwickelt, welche im Folgenden vorgestellt werden. Sie werden ab dem Wintersemester 2024/25 in einem Studierendenpraktikum und ab Anfang 2025 in monatlich an der RWTH Aachen angebotenen Workshops hinsichtlich ihrer Usability evaluiert.

Experiment 1: Messung des Planck'schen Wirkungsquantums
In diesem Experiment wird das Planck'sche Wirkungsquantum als Steigung in einer Auftragung von Photonenenergien verschiedener LEDs über der zugehörigen Lichtfrequenz bestimmt. Die jeweilige Photonenenergie wird aus der Schwellenspannung der entsprechenden LED berechnet, welche in einem hierzu konzipierten Aufbau gemessen wird. Der Aufbau (siehe Abb. 1) besteht aus einem Smartphone mit der phyphox-App, einem mit phyphox über BLE koppelbaren externen Modul, welches eine variable Spannung ausgibt und den momentanen Spannungswert an phyphox sendet, sowie einer 3D-gedruckten Verdunklungsbox mit austauschbaren, mit verschiedenen LEDs bestückten Einsätzen. Als externes Modul kann wahlweise die phyphox-E-Box oder die phyphox-h-Box verwendet werden (siehe Abb. 2). Erstere wurde als Sensormodul für den Einsatz in der E-Lehre entwickelt mit vielfältigen Funktionen (Spannungsversorgung, Spannungs- und Strommessung). Im Gegensatz dazu beschränkt sich die Funktionalität der phyphox-h-Box auf die Ausgabe einer manuell einstellbaren Spannung. Zudem ist diese Box auf einen Einsatz als DIY-Projekt ausgelegt. Zur Messung der Lichtintensität wird die Kamera des verwendeten Smartphones verwendet. Mithilfe des Aufbaus wird eine Kennlinie wie in Abb. 1 aufgenommen und die Schwellenspannung als Abszissenabschnitt einer Ausgleichsgerade bestimmt.

Abb. 2: Verwendete Sensorboxen. Links: phyphox-E-Box. Mitte: phyphox-h-Box. Rechts: phyphox-h-box als Bausatz.

Experiment 2: Analogie zum BB84-Protokoll

Das BB84-Protokoll ist ein Verfahren zum quantenkryptographischen Austausch von Schlüsseln. Es nutzt Einzelphotonen mit insgesamt vier verschiedenen Polarisationszuständen. Ein Sender (typischerweise mit dem Namen Alice) schickt eine zufällige Abfolge von Polarisationszuständen an den Empfänger (typischerweise mit dem Namen Bob) (Reddy et al., 2023). Aufgrund der hohen Kosten und der diffizilen Handhabbarkeit einer Einzelphotonenquelle werden üblicherweise Analogieexperimente für das BB84-Protokoll verwendet (siehe z.B. auch Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Stand 10/2024). In dem hier beschriebenen Aufbau werden die Polarisationszustände durch Farben symbolisiert. Die unterschiedlichen Rollen (Sender = Alice, Empfänger = Bob) werden durch die Wahl designierter Experimente in der phyphox-App zugeteilt. Der Ablauf des Experiments ist wie folgt (siehe auch Abb. 3): Im Alice-Experiment wird automatisch ein zufälliger Polarisationszustand gewählt. Die Wahl erfolgt hierbei über aus dem Rauschen des Beschleunigungssensors generierte Zufallszahlen. Die dem Polarisationszustand zugeordnete Farbe wird im Display angezeigt. Nun kann Bob diese Farbe mit der Kamera seines Smartphones einlesen. Anschließend „misst“ das Bob-Experiment den zugehörigen Polarisationszustand über eine zufällige Messbasis. Diese Abfolge wird für mehrere Polarisationszustände wiederholt. Alternativ kann auf einem dritten Smartphone ein zusätzliches phyphox-Experiment namens Eve (abgeleitet vom englischen „evesdropping“) zwischen Alice und Bob geschaltet werden und so ein Abhörversuch simuliert werden.

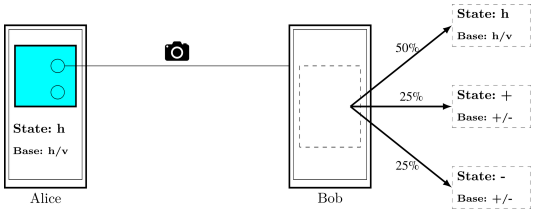


Abb. 3: Nutzungsschema des Analogieexperiments zum BB84-Protokoll.

Ausblick

Aktuell befindet sich ein weiteres Experiment in Entwicklung, in dem die quantisierte Leitfähigkeit von Nanodrähten untersucht wird. Beim Lösen des Kontaktes zweier Metalldrähte bilden sich an der Kontaktstelle für einige Mikrosekunden näherungsweise eindimensionale Nanokontakte zwischen den Drähten aus. Diese Nanokontakte weisen eine quantisierte Leitfähigkeit auf, sodass der auf einem Oszilloskop betrachtete Spannungsverlauf während der Kontaktlösung diskrete Stufen aufweist (Pascual et al., 1995). Da diese Stufen typischerweise etwa eine Mikrosekunde lang sind, muss ein den Spannungsverlauf aufnehmendes Messinstrument über eine Datenrate von mehreren Megasamples pro Sekunde verfügen, um eine ausreichende Auflösung zu gewährleisten. Diesbezüglich wird aktuell die phyphox-E-Box optimiert. Zudem finden Optimierungen am Versuchsaufbau zur Erhöhung der Länge der beobachtbaren Stufen und der Verbesserung der Reproduzierbarkeit statt.

Ab dem Jahresanfang 2025 werden monatliche Schülerworkshops für SuS in der Qualifikationsphase an der RWTH Aachen durchgeführt, in denen die Usability der Aufbauten evaluiert wird. Der monatliche Turnus wird ergänzt durch ferienspezifische Sondertermine, welche sich auch an SuS der Sekundarstufe I richten. Zudem wird pro Quartal ein Lehrkräfteworkshop angeboten, in dem die verschiedenen Experimente von Lehrkräften durchgeführt und kooperativ Einsatzszenarien für den Schulunterricht entwickelt werden können.

Literatur

Breuer, J., Vogelsang, C., Reinhold, P. (2022). Nutzungsverhalten von Lehrkräften bei der Implementierung einer physikdidaktisch innovativen Unterrichtskonzeption. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 28(1).

Dorsel, D. (2023). Entwicklung der Nutzbarkeit externer Sensoren bei Smartphone-Experimenten und deren Einsatz in naturwissenschaftlichen Experimenten (Diss.). RWTH Aachen University. Verfügbar unter: https://www.institut-1a.physik.rwth-aachen.de/go/id/huji/lidx/1/file/964136.

Herbst, M., Fürtbauer, E.-M., Strahl, A. (2016). Interesse an Physik. DPG-Frühjahrstagung, Hannover.

Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (2023). JIM-Studie 2023: Jugend, Information, Medien. Verfügbar unter: https://www.mpfs.de/studien/jim-studie/2023/.

Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2022). Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium / Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen.

Pascual, J. I., Méndez, J., Gómez-Herrero, J., Baró, A. M., Garcia, N., Landman, U., Luedtke, W. D., Bogachek, E. N., Cheng, H.-P. (1995). Properties of Metallic Nanowires: From Conductance Quantization to Localization. In: Science, 267(5205), 1793-1795.

Phyphox (Stand 10/2024a). Experimente. URL: https://phyphox.org/de/experimente.

Phyphox (Stand 10/2024b). Bluetooth Low Energy. URL: https://phyphox.org/de/ble-de/.

Pili, U. & Violanda, R. (2019). Smartphone-based measurement of the Planck's constant with light emitting diodes. In: Physics Education, 54(2) 023007.

Reddy, S., Mandal, S., Mohan, C. (2023). Comprehensive Study of BB84. A Quantum Key Distribution Protocol. In: International Research Journal of Engineering and Technology, 3(10).

Staacks, S., Heinke, H., Stampfer, C. (2018a). Smarte Experimente. In: Physik Journal 17(11).

Staacks, S., Hütz, S., Heinke, H., Stampfer, C. (2018b). Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox. In: Physics Education 53(4). Verfügbar unter: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6552/aac05e.

Westfälische Wilhelms-Universität Münster (Stand 10/2024). O3Q. BB84-Protokoll. URL: https://o3q.de/bb84/.

Mathias Ziegler[1]
Lisa Stinken-Rösner[1]

[1]Universität Bielefeld

Einsatz von Experimentiervideos aus Sicht der Lehrkräfte

Einleitung

In Folge der digitalen Transformation steht eine ganze Bandbreite verschiedener digitaler Lehr-Lernmedien zur Verfügung, die unterschiedliche Potenziale für den Einsatz im Physikunterricht bieten (siehe z.B. Weiler et al., 2023). In diesem Zusammenhang werden immer häufiger auch (interaktive) Experimentiervideos diskutiert. Jedoch profitiert der Physikunterricht nicht ohne Weiteres von ihnen, sie müssen didaktisch sinnstiftend in den Unterricht eingebunden werden. Auf dieser Grundlage wurde eine Lehrkräftefortbildung konzipiert, die Lehrkräften den Erwerb dafür notwendiger digitaler Kompetenzen (TPACK; Köhler & Mishra, 2008) ermöglicht. Gleichzeitig wurden Gelingensbedingungen und Implementationsbarrieren aus Sicht der teilnehmenden Lehrkräfte erhoben. Im Folgenden werden erste ausgewählte Ergebnisse dargeboten.

Begriffsklärung: Das (interaktive) Experimentiervideo

Der Begriff "Experimentiervideo" bezeichnet Medien, die aus der Kombination der Methode des Experimentierens und dem digitalen Werkzeug der Videografie entstehen (Stinken-Rösner et al., 2023). Im Zuge der Produktion dieser Videos werden physikalische Experimente unter Beachtung der Gestaltungsprinzipien für Demonstrationsexperimente nach Schmidkunz (1983) aufgebaut und der vollständige Experimentiervorgang videografiert. Der Fokus liegt somit vorrangig auf dem Experimentieren und nicht auf der Vermittlung von Fachwissen. Zudem ist es möglich, multimediale und interaktive Elemente, unter Berücksichtigung der Gestaltungsprinzipien für Multimedia–anwendungen (Mayer, 2014), in die Experimentiervideos zu integrieren (Abb.1) sowie Einfluss auf den Verlauf des Videos zu nehmen. Die dann als interaktive Experimentiervideos bzw. Hypervideos (Ziegler & Stinken-Rösner, im Druck-a) bezeichneten Videos weisen so einen erhöhten Interaktionsgrad auf, wodurch sich die Schüler*innen in einer aktiven Teilnehmendenrolle befinden. Interaktive Experimentiervideos können somit einen individuellen sowie kognitiv aktivierenden Lernprozess auf Seiten der Schüler*innen auslösen (vgl. ICAP; Chi & Wylie, 2014).

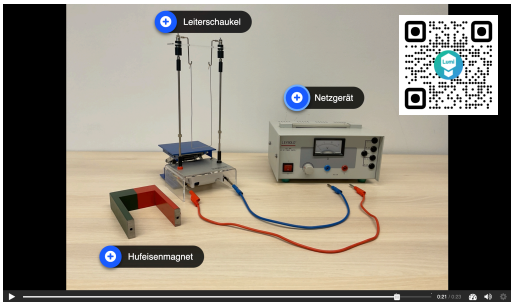


Abb.1: Screenshot eines Hypervideos (mit QR-Code zum Hypervideo).

Wie beurteilen Lehrkräfte den Einsatz von Experimentiervideos?

In der Literatur findet man nur wenige Studien, die sich mit den Einstellungen von Lehrkräften hinsichtlich eines Einsatzes von Experimentiervideos befassen. Im Rahmen des VidEX-Projekts wurde eine Fragebogenstudie durchgeführt, deren Ergebnisse eine grundsätzlich positive Einstellung der Lehrkräfte gegenüber dem Einsatz von interaktiven

Experimentiervideos belegen (Meier et al., 2022). Eine Gegenposition wird von einer Gruppe von Skeptiker*innen eingenommen, die dem realen Experimentieren im Physikunterricht einen höheren Stellenwert zuordnet und die Auffassung vertritt, dass dieser Stellenwert durch den Einsatz von Experimentiervideos nicht beeinträchtigt werden darf (Meier et al., 2022). Die Gruppe von Skeptiker*innen betrachtet Experimentiervideos nicht als didaktisches Hilfsmittel, welches das reale Experimentieren im Physikunterricht ergänzt, sondern als reinen Ersatz für das Realexperiment, welcher keinen funktionalen Mehrwert bietet (vgl. SAMR; Puentedura, 2006).

Methodische Umsetzung: Lehrkräftefortbildung mit Begleitstudie

Um den Lehrkräften die notwendigen digitalen Kompetenzen zu vermitteln und den funktionalen Mehrwert von (interaktiven) Experimentiervideos zu verdeutlichen, wurde im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes LFB-Labs-digital (Kirchoff, Schwedler et al., 2024) eine Lehrkräftefortbildung konzipiert (Brusdeilins et al., 2024; Ziegler & Stinken-Rösner, im Druck-b), die sich aus drei aufeinander aufbauenden Modulen zusammensetzt (vgl. Abb. 2).

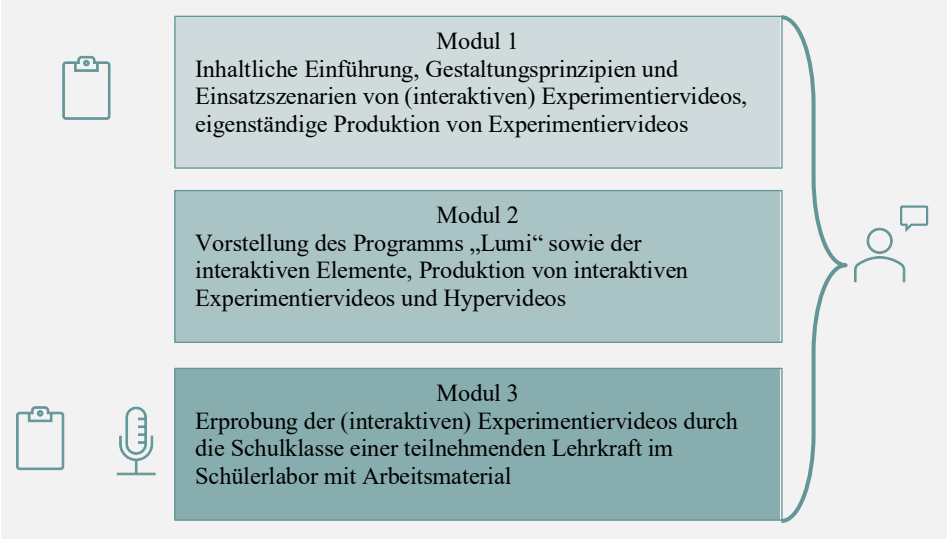


Abb.2: Ablauf der Lehrkräftefortbildung

Die Effektivität der Lehrkräftefortbildung wird durch eine Studie im Mixed-Method-Ansatz evaluiert. Dabei werden zur Auswertung sowohl quantitative als auch qualitative Forschungsmethoden herangezogen. Die Erfassung der Konstrukte Technikakzeptanz, Selbstwirksamkeitserwartung und professionelles Wissen (TPACK) erfolgt mittels eines Fragebogens im Prä-Post-Design. In diesem Zusammenhang werden unter anderem die auftretenden Veränderungen der spezifischen digitalen Kompetenzen der teilnehmenden Lehrkräfte untersucht. Im Anschluss an das dritte Modul findet als qualitative Forschungsmethode ein leitfadengestütztes Gruppeninterview mit den teilnehmenden Lehrkräften statt, in dem mögliche Gelingensbedingungen und Implementationsbarrieren aus Sicht der Lehrkräfte hinsichtlich des Einsatzes von Experimentiervideos im Physikunterricht ermittelt werden. Darüber hinaus werden zur qualitativen Datenerhebung das Peer-Feedback der Lehrkräfte zu den eigenproduzierten (interaktiven) Experimentiervideos bzw.

Hypervideos verwendet sowie teilnehmende Beobachtungen während der Fortbildungstage durchgeführt.

Ausgewählte Ergebnisse: Experimentiervideos aus der Sicht der Lehrkräfte

Der erste von vier angestrebten Fortbildungsdurchgängen weist eine sehr geringe Stichprobengröße (n = 2) auf, so dass eine vorläufige Analyse der quantitativen Daten nicht sinnvoll erscheint. Aus diesem Grund werden zunächst ausgewählte Ergebnisse der qualitativen Datenerhebung mittels Gruppeninterview und Peer-Feedback präsentiert. Diese wurden hinsichtlich der Gelingensbedingungen (GB) und Implementationsbarrieren (IB) des Einsatzes von Experimentiervideos im Physikunterricht analysiert. Dabei konnten folgende ausgewählte Ergebnisse erzielt werden:

(GB1) Individuelle Auseinandersetzung mit dem Medium (interaktives) Experimentiervideo.
(Interaktive) Experimentiervideos und Hypervideos stellen digitale Lernmedien dar, mit deren Erstellung und Einsatz viele Lehrkräfte aktuell noch nicht vertraut sind. Durch eine individuelle Auseinandersetzung mit Best-Practice-Beispielen – hier im Rahmen der Fortbildung – können Funktionen, Einsatzszenarien und Produktionsschritte kennengelernt und erprobt werden. Durch die Auseinandersetzung wird die Produktion als weniger komplex und der Einsatz als wertvoll für den Unterricht wahrgenommen.
(GB2) Grundlegende digitale und technische Kompetenzen.
Damit Lehrkräfte (interaktive) Experimentiervideos bzw. Hypervideos in den Physikunterricht einbinden können, benötigen sie spezifische digitale Kompetenzen und eine positive Einstellung zu digitalen Medien. Diese können z.B. im Rahmen einer Lehrkräftefortbildung erworben werden.

(IB1) Fehlende Ressourcen bzw. Zeitaufwand bei Eigenproduktion.
Die Lehrkräfte geben an, dass sie (interaktive) Experimentiervideos dann einsetzen würden, wenn entsprechende Sammlungen für sie verfügbar wären. Für eine eigenständige Produktion sei der Zeitaufwand zu hoch, weshalb sie dies im Regelunterricht nicht leisten können.
(IB2) Experimentiervideos werden als Ersatz, nicht als Ergänzung zu Realexperimenten angesehen.
Aus Sicht der teilnehmenden Lehrkräfte stellt das Realexperiment „die hochwertigste Form der Auseinandersetzung mit einem Experiment dar“, die sie stets bevorzugen würden. Das Experimentiervideo wird vorwiegend als Ersatzmedium zum Realexperiment wahrgenommen, wenn dieses nicht durchfürbar ist, oder aber als ergänzendes Lernmedium zur Unterstützung des Lernprozesses der Schüler*innen. Der Einsatz des Mediums Experimentiervideo in Kombination beider Funktionen wird aus den Aussagen der Lehrkräfte nicht klar ersichtlich. Es bleibt offen, ob das volle didaktische Potential des Mediums erkannt wird.

Ausblick

Die nächsten Schritte sehen die Auswertung der quantitativen Daten vor. Die Analyse der Daten wird Aufschluss darüber geben, inwiefern sich das professionelle Wissen (TPACK), die Technikakzeptanz und die Selbstwirksamkeitserwartung der teilnehmenden Lehrkräfte durch die Teilnahme an der Lehrkräftefortbildung verändert haben. Zudem ist die Durchführung weiterer Fortbildungsdurchgänge vorgesehen, um die identifizierten Gelingensbedingungen und Implementationsbarrieren zu validieren sowie weitere zu erheben.

Literatur

Brusdeilins, M., Abels, S., Blumberg, E., Brückmann, M., Kiel, C., Meyer, D., Schwedler, S., Stinken-Rösner, L., Wenzel, A. & Ziegler, M. (2024). Schülerlabore als Ort der Lehrkräftefortbildung in der digitalen Welt. In H. van Vorst (Hg.), *Frühe naturwissenschaftliche Bildung. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Hamburg.* 902–905.

Chi, M. T. H. & Wylie, R. (2014). The ICAP framework: Linking cognitive engagement to active learning outcomes. *Educational Psychologist, 49*(4), 219–243. https://doi.org/10.1080/00461520.2014.965823

Kirchhoff, T., Schwedler, S., Abels, S., Acher, A., Anselmetti, D., Besa, K.-S., Biehl, J., Blumberg, E., Breiter, A., Brückmann, M., Büntemeyer, D., El Tegani, M., Engelhardt, A., Grotjohann, N., Kempe, L., Kiel, C., Kleine, M., Koerber, R., Lambrecht, M., Lehmenkühler, A., … Wilde, M. (2024). LFB-Labs-digital: Schülerlabore als Ort der Lehrkräftefortbildung in der digitalen Welt. Ein Bericht zur Konzeption eines Verbundprojektes. *PraxisForschungLehrer*innenBildung – Zeitschrift für Schul- und Professionsentwicklung*, *6*(1), 130–155. https://doi.org/10.11576/pflb-7349

Köhler, M. J. & Mishra, P. (2008). Introducing TPCK. In AACTE Committee on Innovation and Technology (Hrsg.), *Handbook of technological pedagogical content knowledge (TPCK) for educators* (S. 2–29). Routledge.

Mayer, R. E. (2014). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2. Aufl.). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369

Meier, M., Kastaun, M. & Stinken-Rösner, L. (2022). Experimentiervideos im naturwissenschaftlichen Unterricht – Lehren und Lernen mit und durch VidEX. In E. M. Watts & C. Hoffmann (Hrsg.), *Digitale NAWIgation von Inklusion. Digitale Werkzeuge für einen inklusiven Naturwissenschaftsunterricht* (S. 51–65). Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-37198-2_5

Puentedura, R. (2006). *Transformation, Technology, and Education* [Blog post]. http://hippasus.com/resources/tte/

Schmidkunz, H. (1983). Die Gestaltung chemischer Demonstrationsexperimente nach wahrnehmungspsychologischen Erkenntnissen. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik, Chemie*, *31*(10), 360-367.

Stinken-Rösner, L. & Meier, M. (2023). Experimentiervideos – Mehr als ein Ersatz für Realexperimente. *Plus Lucis, 3*, 17–21.

Weiler, D., Burde, J.-P., Große-Heilmann, R., Riese, J., & Schubatzky, T. (2023). Einsatzmöglichkeiten von digitalen Medien im Physikunterricht - Eine Übersicht. *Plus Lucis, 3*, 4–8.

Ziegler, M. & Stinken-Rösner, L. (im Druck-a). Mit Hypervideos digital experimentieren. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik*.

Ziegler, M. & Stinken-Rösner, L. (im Druck-b). Lernen mit (interaktiven) Experimentiervideos. Schülerlabore als Orte der Lehrkräftefortbildungen (LFB). *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG Frühjahrstagung 2024.*

Tobias Winkens[1]
Heidrun Heinke[1]

[1]RWTH Aachen University

Vermittlung der Variablenkontrollstrategie: Wege für die Schulpraxis

Hintergrund

Die explizite Förderung von experimentellen Kompetenzen ist elementarer Bestandteil der Bildungspläne (vgl. KMK, 2024). Zu diesen Kompetenzen gehört die Variablenkontrollstrategie (VKS). In Vorarbeiten sind vier teilfähigkeitsspezifische Arbeitsblattvorlagen zur Vermittlung der VKS entwickelt worden (vgl. Winkens et al., 2024; Winkens & Heinke, im Druck). Die Vorlagen stützen sich einerseits auf die in der Theorie bekannten vier Teilfähigkeiten der VKS zur Identifizierung kontrollierter Experimente (ID), zur Interpretation der Befunde kontrollierter Experimente (IN), zur Planung kontrollierter Experimente (PL) sowie zum Verständnis der fehlenden Aussagekraft konfundierter Experimente (UN) (vgl. Schwichow et al., 2016; Chen & Klahr, 1999; Schwichow & Nehring, 2018). Andererseits wurden sie auf Grundlage von erprobten und lernwirksamen Lernzirkelstationen zur VKS (vgl. Goertz, 2022) konzipiert. Dass die Teilfähigkeiten unterschiedliche Schwierigkeitsgrade besitzen, kann zur Konzeption differenzierter Unterrichtsmaterialien zur VKS genutzt werden: Diese Materialien greifen in dem vorgestellten schulpraxistauglichen Ansatz auf das gleiche experimentelle Setting zu. Dabei können die Lehrkräfte auch schuleigene Experimente verwenden und in die Arbeitsblattvorlagen implementieren.

Evaluation zur Implementation von Experimenten in Arbeitsblattvorlagen zur VKS

Die teilfähigkeitsspezifischen Vorlagen wurden in einer Evaluation mit Lehrkräften (N=39) im Rahmen einer Fortbildung untersucht. Ziel dieser Studie war auch, die praktische Unterrichtserfahrung der Lehrkräfte in die (Weiter-)Entwicklung der Arbeitsblattvorlagen einfließen zu lassen. Zum Vergleich der dabei erhobenen Daten werden die Daten einer ersten, vorangegangenen Untersuchung mit Lehramtsstudierenden (N=13) herangezogen (vgl. Winkens & Heinke, im Druck). Der Ablauf der Evaluation ist ähnlich zum Design der Untersuchung mit Studierenden und dauerte bei den Lehrkräften ungefähr 75 Minuten (bei den Studierenden 90 Minuten). Sie bestand aus einer 10-minütigen Einführung zur VKS, zum Prinzip der Arbeitsblattvorlagen und der Präsentation des Arbeitsauftrags, den die Lehrkräfte für die anschließende ca. 50-minütige Implementation eines Experiments (Widerstand eines Drahtes) in die Arbeitsblattvorlagen erhielten. Die Proband:innen wurden in vier ähnlich große Teilgruppen aufgeteilt, welche die teilfähigkeitsspezifischen Vorlagen bearbeiteten (11x ID, 10x IN, 10x PL, 8x UN). Im Anschluss an die Bearbeitung wurde den Lehrkräften ein Fragebogen zum Ausfüllen bereitgestellt, der neben personenspezifischen Teilen aus elf geschlossenen Items und sechs offenen Fragen zur Bewertung und zum möglichen Einsatz der Vorlagen im Unterricht bestand. Zusätzlich wurde von den Proband:innen die benötigte Dauer für die Implementation eines ersten Experiments angegeben. Beim mittleren Zeitaufwand sind keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Kohorten der Studierenden ($t_{N=10} = (39 \pm 10)$ min) und der Lehrkräfte ($t_{N=25} = (38 \pm 8)$ min) zu konstatieren. Allerdings haben 9 der 39 Lehrkräfte angegeben, in der vorgegebenen Zeit nicht fertig geworden zu sein, sodass der mittlere Aufwand leicht höher ausfallen kann. Die Bewertung der Arbeitsblattvorlagen mit

Hilfe der geschlossenen Items zeigt im Rahmen der statistischen Schwankungen keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Kohorten der Lehramtsstudierenden und der Lehrkräfte, weshalb diesbezüglich auf die Darstellung der Ergebnisse der Evaluation mit den Studierenden verwiesen wird (vgl. Winkens & Heinke, im Druck).
Die Antworten auf die sechs offenen Fragen wurden mittels qualitativer Inhaltsanalyse nach Kuckartz durch induktive Bildung von Kategorien ausgewertet (vgl. Kuckartz, 2018). Da beide Probandengruppen die gleichen offenen Fragen beantwortet haben und bei der Auswertung keine spezifischen Unterschiede zwischen den Ergebnissen beider Gruppen zu identifizieren waren, beziehen sich die folgenden Ausführungen auf zusammenfassende Ergebnisse für beide Gruppen (N=52). Dabei werden Ergebnisse nur für Kategorien mit mindestens drei Nennungen in der Diskussion erörtert und andernfalls in die Kategorie *Sonstiges* eingeordnet.

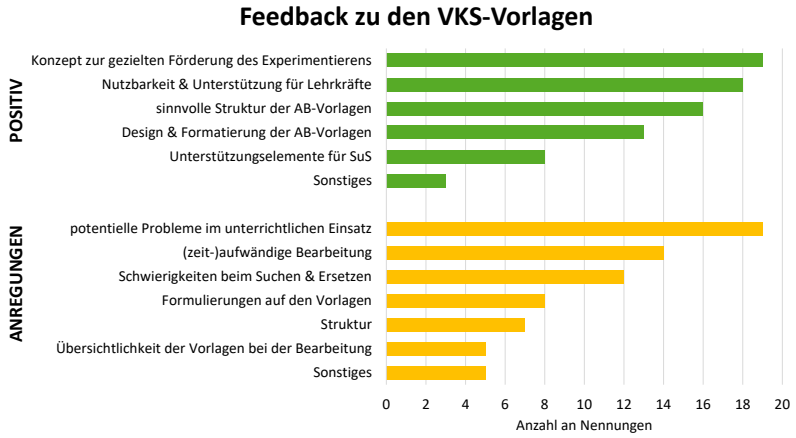


Abb. 1: Kategorisierte Antworten des offenen Feedbacks zu den VKS-Arbeitsblattvorlagen mit ihrer jeweiligen Anzahl an Nennungen für N=52 Proband:innen.

Feedback zu den VKS-Vorlagen
Konkretes Feedback zu den Arbeitsblattvorlagen wurde mithilfe zweier offener Fragen eingeholt. Aufgeteilt in die beiden Oberkategorien *positive Rückmeldungen* (in Abb. 1 in grün gekennzeichnet) sowie *Anregungen zu den Vorlagen* (in Abb. 1 orange gekennzeichnet), die in einer Iterationsschleife zur Weiterentwicklung der Vorlagen aufgegriffen werden können, sind die kategorisierten Antworten in Abb. 1 dargestellt.
Zu den meistgenannten Aspekten zählt die Bewertung, dass das Konzept der Vorlagen zur gezielten Förderung experimenteller Kompetenzen bzw. hier konkret zur VKS als sehr gewinnbringend eingeschätzt wurde. Ein möglicher Grund könnte darin liegen, dass herkömmliche Unterrichtsmaterialien vielfach auf inhaltliche Aspekte fokussieren. Ebenfalls positiv hervorgehoben wurde, dass die Vorlagen sich durch eine gute Nutzbarkeit und Bearbeitung auszeichnen sowie zudem Unterstützungselemente für Lehrkräfte für die Implementation von Experimenten enthalten. Dazu zählen unter anderem farbliche Hervorhebungen der zu bearbeitenden Stellen und die leichte Handhabung bei Anpassungen. Aus inhaltlicher Perspektive wurde eine sinnvolle Strukturierung innerhalb der verschiedenen teilfähigkeitsspezifischen Arbeitsblattvorlagen hervorgehoben, die sich durch einen systematischen Aufbau und vorstrukturierten Bearbeitungsprozess auszeichnet. Zudem wurden äußerliche Aspekte wie ein übersichtliches und fertiges Design und eine gute Formatierung der Arbeitsblattvorlagen als angenehm bewertet.

Es wurden auch Anregungen formuliert, die in einer Iterationsschleife in den Vorlagen noch angepasst werden können. In der Kategorie zu potentiellen Problemen im unterrichtlichen Einsatz umfasst ein Teilaspekt der Kategorie die tendenziell eher geschlossene Aufgabenstellung in den Vorlagen, bei der Lehrkräfte die Gefahr einer starken Lenkung durch die Arbeitsblätter sehen. Von den Proband:innen wurde zudem rückgemeldet, dass die Implementation eines Experiments zeitaufwändig ist. Konkret empfinden sie, dass das Einarbeiten in das Konzept aufwändig ist und am Ende trotz der Vorformulierungen auf den Vorlagen grammatikalische Anpassungen vorgenommen werden müssen. Das Problem der zeitaufwändigen Bearbeitung wird sich vermutlich bei mehrfacher Nutzung der Arbeitsblattvorlagen erübrigen, da Proband:innen, die (in Einzelfällen) das gleiche Experiment in einer weiteren Vorlage implementiert haben, hierfür deutlich kürzere Bearbeitungszeiten benötigten. Als Gründe dafür wurde angeführt, dass Grafiken und Skizzen oder Fotos zum Experiment wiederverwendet werden konnten und die Einarbeitung in das Konzept der Vorlagen entfällt. Zudem wurden wenige formale Anpassungen wie eine einheitliche Benennung der Variablenplatzhalter vorgeschlagen.

Einblick in weitere Ergebnisse

Die weiteren offenen Fragen zielten auf Motive bezüglich der Nutzung der Vorlagen sowie auf die konkreten Unterstützungselemente bei der Implementation ab. Hinsichtlich der Motive, die für eine Nutzung der Arbeitsblattvorlagen sprechen, beziehen sich die Proband:innen zum Teil auf bereits erwähnte Aspekte und nennen die potentielle Entlastung, das gute Konzept zur Förderung des Experimentierens sowie die gute Passung zum Unterrichtsalltag als Nutzungsmotive. Als Argument dagegen überwiegt die Sorge um einen hohen Zeitaufwand, der jedoch bei mehrfacher Nutzung vermutlich reduziert werden kann. Als besonders hilfreiche Elemente zur Unterstützung bei der Implementation eines Experiments in Arbeitsblattvorlagen werden vor allem die Struktur mit vorgefertigten Elementen und Aufgabentypen sowie die Handreichung inklusive einer beispielhaften Implementation genannt. Als zusätzliche Unterstützungselemente hätten sich die Proband:innen eine noch ausführlichere Anleitung sowie Auswahlmöglichkeiten für Bilder bzw. Skizzen zu verschiedenen Experimenten gewünscht.

Zusammenfassung und Ausblick

Zur schulpraktischen Vermittlung der VKS dienen vier teilfähigkeitsspezifische Arbeitsblattvorlagen zur Implementation von Experimenten, deren Evaluation in diesem Artikel vorgestellt wird. Dazu haben Lehrkräfte (N=39) im Rahmen einer Fortbildung diese Vorlagen getestet, indem sie ein Experiment in mindestens eine Vorlage implementierten. Zum Vergleich wurden die Ergebnisse einer ersten Evaluation mit Lehramtsstudierenden (N=13) herangezogen (vgl. Winkens & Heinke, im Druck). Die Lehrkräfte gaben positives Feedback zur Struktur und Nutzbarkeit der Vorlagen. Der festgestellte Zeitaufwand von ca. 40 min bei der ersten Anwendung wird sich bei mehrfacher Nutzung vermutlich reduzieren. Wie stark diese Verringerung des Zeitaufwands bei mehrfacher Nutzung der Arbeitsblattvorlagen ausfällt, soll zukünftig konkret untersucht werden. Es wurden hilfreiche Elemente wie farbliche Hervorhebungen und vorstrukturierte Aufgaben sowie einige Verbesserungsvorschläge zu formalen Aspekten der Arbeitsblattvorlagen benannt. Zur Validierung der Ergebnisse sollte die Kategorisierung der offenen Antworten mittels eines Interratings abgesichert werden. Die Ergebnisse lassen erwarten, dass es aufbauend auf den vier teilfähigkeitsspezifischen Arbeitsblattvorlagen gelingt, einen Materialpool mit differenzierten Arbeitsblättern zu Experimenten zur gezielten Schulung der VKS mit wenig Materialaufwand aufzubauen und weiterzuentwickeln.

Literatur

Chen, Z. & Klahr, D. (1999). All Other Things Being Equal: Acquisition and Transfer of the Control of Variables Strategy. Child Development, 70(5), 1098–1120.

Goertz, S. (2022). Module und Lernzirkel der Plattform FLexKom zur Förderung experimenteller Kompetenzen in der Schulpraxis – Verlauf und Ergebnisse einer Design-Based Research Studie. Berlin: Logos Verlag.

KMK; Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. (2024). Weiterentwickelte Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Physik (MSA) https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2024/2024_06_13-WeBiS_Physik_MSA.pdf. Zuletzt abgerufen am: 24.10.2024.

Kuckartz, U. (2018). Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung (4. Aufl.). Weinheim Basel: Beltz Juventa.

Schwichow, M., Christoph, S., Boone, W. J. & Härtig, H. (2016). The impact of sub-skills and item content on students' skills with regard to the control-of variables strategy. International Journal of Science Education, 38 (2), 216–237.

Schwichow, M. & Nehring, A. (2018). Variablenkontrolle beim Experimentieren in Biologie, Chemie und Physik: Höhere Kompetenzausprägungen bei der Anwendung der Variablenkontrollstrategie durch höheres Fachwissen? Empirische Belege aus zwei Studien. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 24, 217–233.

Winkens, T., Atahan, S. & Heinke, H. (2024). Variablenkontrollstrategie: Individuelle Förderung hoch 2. In von H. van Vorst (Hrsg.), Frühe naturwissenschaftliche Bildung. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Hamburg 2023, 362–365.

Winkens, T. & Heinke, H. (im Druck). Arbeitsblattvorlagen als Mittel zur differenzierten Förderung der Variablenkontrollstrategie. PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung in Greifswald 2024.

Winkens, T. & Heinke, H. (2023). Diagnose von Kompetenzfacetten zur Variablenkontrollstrategie. PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung in Hannover 2023, 177-183.

Sebastian Wyrobek[1]
Engin Kardaş[1]
Marcus Kubsch[2]
Stefan Sorge[3]
Tobias Ludwig[1]

[1]Pädagogische Hochschule Karlsruhe
[2]Freie Universität Berlin
[3]IPN Kiel

Review zu verschiedenen Arten von Unsicherheiten beim Experimentieren

Motivation

Naturwissenschaftlicher Unterricht vermittelt häufig ein positivistisches Bild von Naturwissenschaften (McComas, 2004), welches Wissenschaft als „sicher" und „unveränderlich" darstellt (z. B. Manz & Suárez, 2018; Rosenberg et al., 2022). Naturwissenschaften sind in ihrem Wesen jedoch diskursiv, vorläufig und unsicher (z. B. Driver et al., 2000; Osborne, 2012). Diese Diskrepanz zeigt die Relevanz eines adäquaten Umgangs mit Unsicherheit beim Lernen von Naturwissenschaften. Dem gegenüber steht, dass der Umgang mit Unsicherheit für Lernende sehr anspruchsvoll sein kann, da sie unerwartet mit Unsicherheit konfrontiert sein können und Unsicherheit im Erkenntnisgewinnungsprozess vielfältig auftreten und bedeutsam sein kann (Ludwig et al. 2024). Vor diesem Hintergrund adressiert eine Reihe von physikdidaktischen Arbeiten den Umgang mit Unsicherheit beim Experimentieren, wobei Aspekte eines adäquaten Umgangs mit Messunsicherheiten (z. B. Heinicke, 2012; Priemer & Hellwig, 2018) ebenso untersucht werden wie Aspekte von Unsicherheit hinsichtlich der Eignung eines Experiments, der eigenen Fähigkeit beim Experimentieren (Ludwig et al., 2021) oder der Eignung des Untersuchungsaufbaus bzw. der dem Versuch zugrunde liegenden Modellannahmen (Rosenberg et al., 2022). Letztere Aspekte werden jedoch selten zur Lerngelegenheit gemacht (z.B. Warren, 2020), obwohl diese unmittelbar Auswirkungen auf die Gültigkeit von Schlussfolgerungen aufweisen können. Aus diesen unterschiedlichen Ansätzen zur Adressierung von Unsicherheit lässt sich folgern, dass es jeweils spezifischer Unterstützungsangebote bedarf. Hierbei ist jedoch unklar, wie diese charakterisiert werden können und inwiefern dabei Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Aspekten von Unsicherheit vorliegen? Diesen Fragen wurde durch ein systematisches Review nachgegangen.

Methode

Ein systematisches Literaturreview identifiziert, evaluiert und synthetisiert den bestehenden Forschungsstand in einem Themenbereich. Bei der Durchführung des systematischen Reviews wurden Empfehlungen des PRISMA 2020 Statement (Page et al., 2021) zu Grunde gelegt. In die Suche wurden deutsch- und englischsprachige Artikel inkludiert, welche über die Datenbank Web of Science abgerufen wurden. Die Suchbegriffe bestanden aus drei Elementen und wurden systematisch in der *topic search* permutiert. Das vorliegende Review untersucht den Forschungsstand fachdidaktischer Arbeiten, die Unsicherheit beim Experimentieren adressieren. Daher wurden auf Grundlage der Arbeit von Pedaste et al. (2015) [Uncertaint* OR ambiguit*], [science AND (education OR class* OR lab)] und [Theory, question, hypothes*, predict*, plan*, explor*, observ*, experiment*, evidence, data and (analyze* or asses or evaluate or collect* or interpret*), model*, expla*, reasoning, argu*, construct*, conclusion, drawing inference, judgement, discuss*, communicate, justif*, decision, appl* knowledge, inquir* sense and mak*] als Suchbegriffe verwendet. Die Suche ergab insgesamt 12.239 Artikel, von denen 8.436 Duplikate und 3.727 Artikel wegen fehlender inhaltlicher Passung ausgeschlos-

sen wurden. Weiterhin wurden Artikel ausgeschlossen, bei denen kein Fokus auf dem Experimentieren (n=4), Unsicherheiten (n=12) oder der Schüler:innenebene lag. Insgesamt entsprechen somit 55 Artikel den Kriterien, von denen bis zur Abgabe dieses Beitrags 40 Artikel zufällig ausgewählt und analysiert wurden.

Arten von Unsicherheit in fachdidaktischer Forschung

Auf Grundlage des Reviews konnten 15 verschiedene Konzeptionen von Unsicherheit aus den Artikeln identifiziert werden, die nachfolgend kurz präsentiert werden. Eine Reihe von Konzeptionen (statistische Unsicherheit, n=1, Messunsicherheit, n=8) lassen sich als aleatorische Unsicherheit zusammenfassen (Hüllermeier & Wagemann, 2021). Die Unsicherheit resultiert dabei aus der Messung. Bezeichnungen wie Nature-of-Science-basierte oder epistemische Unsicherheit (n=1) beziehen sich beispielsweise auf Wissensgenerierung und Vertrauenswürdigkeit von naturwissenschaftlichem Wissen sowie Auswahl und Verwendung korrekter Methoden und können konzeptuell als epistemische Unsicherheit zusammengefasst werden. Als dritte übergreifende Konzeption konnten ontologische bzw. konzeptuelle Unsicherheiten identifiziert werden. In dieser Konzeption lassen sich die Bezeichnungen disziplinäre (n=1), ontologische (n=1), konzeptuelle (n=6) und inhaltliche Unsicherheiten (n=2) einordnen. Beispiele aus den untersuchten Artikeln sind Unsicherheit bezüglich des eigenen Verständnisses eines Konzepts oder der Verbindung von Alltagswissen mit wissenschaftlichem Wissen sowie Unsicherheit, die aus unvollständigem Wissen resultiert, die Korrektheit eines Modells betrifft oder spezifisch für den Kontext der von Schüler:innen durchgeführten Untersuchung sind. Einige der identifizierten Konzeptionen von Unsicherheiten lässt sich sowohl der ontologischen bzw. konzeptionellen als auch der epistemischen Unsicherheit zuordnen (Unsicherheit im exp. Design, n=1, Ressourcenunsicherheit, n=1, datenbasierte Unsicherheit, n=4, Modellunsicherheit, n=2, Prozessunsicherheit, n=1). Hierunter werden beispielsweise Unsicherheiten von den Autor:innen adressiert, wie ein Experiment gestaltet und ausgewertet wird, wie Ressourcen und Modelle in einer Untersuchung verwendet werden oder bezüglich der Generalisierbarkeit von Trends und Dateninterpretationen. Jenseits der drei Konzepte wurden die Konzeptionen relationale Unsicherheit (n=3), die auf sozialer Interaktion und dem Vergleich mit anderen Experimentierenden hinsichtlich Ziel, Motivation, Datengeneration & -interpretation basiert, sowie wissenschaftliche Unsicherheit (n=5) verwendet. Eine Analyse der identifizierten Unsicherheitskonzeptionen legt offen, dass in 25 von 40 Artikeln lediglich eine Konzeption von Unsicherheit genannt und adressiert wird und eine Gesamtzahl von vier Konzeptionen von Unsicherheit in den Artikeln nicht überstiegen wird.

Charakterisierung von Unsicherheit beim Experimentieren

Auf Grundlage der verschiedenen Aspekte von Unsicherheit bei Lernenden während des Experimentierens, wurde entsprechend des zweiten Forschungsziels des Reviews, Charakteristika der gefundenen Unsicherheiten entwickelt und in Kategorien strukturiert, die sich auf Sinneszusammenhänge der Charakteristika stützen. Die Kategorie *datenbasiert* umfasst, den Zusammenhang der Unsicherheit mit Daten und wird durch die Charakteristika Glaubwürdigkeit der Daten, mathematisch, statistisch oder Datenauswertung beschrieben. *Experimentelles Vorgehen* umfasst die Charakteristika Abhängigkeit der Unsicherheit von Messprozessen, von experimentellen Designs oder von der Durchführung von Experimentieren. Unsicherheit beim Experimentieren kann eine Abhängigkeit vom Wissen von Schüler:innen haben. Diese Abhängigkeit kann unter der Kategorie *wissens-basiert* subsumiert werden, welche die Charakteristika Vorwissen, Sprache, Vertrauen in Erkenntnisse und Aktualisierung des Vorwissens

umfasst. Die Kategorie *Interaktion-basiert* umfasst Charakteristika von Unsicherheit, die von sozialen Strukturen abhängig oder interpersonell bedingt sind. Zudem kann für die Unsicherheit die Abhängigkeit von internalen und externalen Faktoren charakterisierend sein. Dieser Zusammenhang ist in der Kategorie *Ursprung* dargestellt.

Diskussion

Die Ergebnisse zeigen zunächst, dass naturwissenschaftsdidaktische Arbeiten zum Thema Unsicherheiten beim Experimentieren unter verschiedenen Begriffen adressiert werden. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass die unterschiedlichen Unsicherheitskonzeptionen nicht trennscharf voneinander sind (bspw. ontologisch vs. konzeptuelle Unsicherheit, statistische Unsicherheit vs. Messunsicherheit, wissenschaftliche Unsicherheit). Deutlich wird zudem, dass es keinen Konsens in der Verwendung der Konzeptionen gibt. Aspekte wie epistemische Unsicherheit und Messunsicherheit werden zwar in einer Vielzahl von Artikeln verwendet, dem gegenüber steht jedoch eine Reihe von sehr speziellen Unsicherheitskonzeptionen, wie beispielsweise ontologische, disziplinäre oder prozedurale Unsicherheit, die jeweils nur einmal identifiziert werden konnten. Die Verteilung der adressierten Unsicherheitskonzeptionen legt dar, dass eine starke Segregation zwischen den Konzeptionen vorliegt und eine umfassende Betrachtung von verschiedenen Unsicherheitskonzeptionen nicht Forschungsgegenstand ist. Darüber hinaus zeigt die nicht vorhandene Trennschärfe zwischen den Formulierungen entweder die Notwendigkeit einer einheitlichen Kategorisierung, um sprachlich klar zwischen unterschiedlichen Facetten von Unsicherheiten beim Experimentieren differenzieren zu können (z. B. Lübke & Heuckmann, 2024) oder eine alternative Art der Betrachtung, welche keine stringente Kategorisierung der Aspekte bedingt, sondern über Charakteristika die Unsicherheiten beschreibt. Dieser zweite Ansatz ist aus unserer Perspektive vielversprechender, da bisherige Ergebnisse darauf hindeuten, dass bestimmte spezifische Situationen nicht immer trennscharf einer Kategorisierung zugeordnet werden können. Die Charakterisierung ermöglicht es, Gemeinsamkeiten und Unterschiede von Unsicherheit beim Experimentieren in verschiedenen Situationen präzise vergleichen zu können.

Fazit & Ausblick

Die vorliegende Arbeit konnte aufzeige, dass Unsicherheit im experimentellen Erkenntnisprozess derzeit vielfältig untersucht wird und Befunde zu einem produktiven Umgang mit diesen vorliegen. Es zeigt sich jedoch, dass kein Konsens über Begrifflichkeiten besteht und einige Unsicherheitsformulierungen daher arbiträr wirken. Zudem konnte das Review zeigen, dass derzeit keine Arbeiten vorliegen, die Unsicherheit übergreifend adressieren, indem z.B. mehr als nur ein Aspekt von Unsicherheit während des Experimentierprozesses kohärent aufgegriffen wird. Die entwickelten Charakteristika sollen zunächst in einem Expertenrating validiert werden. Die Verwendung der Charakteristika zur Beschreibung von Unsicherheit beim Experimentieren scheint aus unserer Perspektive vielversprechender als eine isolierte Betrachtung von Unsicherheitskategorien. Die Charakterisierung von Unsicherheit beim Experimentieren unter Berücksichtigung internaler und externaler Faktoren integriert die individuelle Perspektive der Lernenden und schafft dadurch eine Grundlage, die als Ausgangspunkt für die Entwicklung unterstützender Lernmaterialien dienen kann.

Literatur

Cooper, C., Booth, A., Varley-Campbell, J., Britten, N., & Garside, R. (2018). Defining the process to literature searching in systematic reviews: A literature review of guidance and supporting studies. BMC Medical Research Methodology, 18(1), 85. https://doi.org/10.1186/s12874-018-0545-3

Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. Science Education, 84(3), 287–312. https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3<287::AID-SCE1>3.0.CO;2-A

Heinicke, S. (2012). Aus Fehlern wird man klug: Eine genetisch-didaktische Rekonstruktion des „Messfehlers". Logos.

Hüllermeier, Eyke, und Willem Waegeman. „Aleatoric and Epistemic Uncertainty in Machine Learning: An Introduction to Concepts and Methods". Machine Learning 110, Nr. 3: 457–506. https://doi.org/10.1007/s10994-021-05946-3.

Lübke, B., & Heuckmann, B. (2024). Umgang mit Ungewissheit als Charakteristikum von Nature of Science. In B. Reinisch, D. Krüger, & D. Mahler (Hrsg.), Biologiedidaktische Nature of Science-Forschung: Zukunftsweisende Praxis (S. 59–70). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-68409-2_6

Ludwig, T., Kubsch, M., Sorge, S., & Kardaş, E. (2024). Quellen von Unsicherheit beim Experimentieren—Welche Rolle spielen verschiedene Arten von Unsicherheit beim Experimentieren? In H. van Vorst (Hrsg.), GDCP Jahrestagung (Bd. 44).

Ludwig, T., Priemer, B., & Lewalter, D. (2021). Assessing Secondary School Students' Justifications for Supporting or Rejecting a Scientific Hypothesis in the Physics Lab. Research in Science Education, 51(3), 819–844. https://doi.org/10.1007/s11165-019-09862-4

Manz, E., & Suárez, E. (2018). Supporting teachers to negotiate uncertainty for science, students, and teaching. Science Education, 102(4), 771–795. https://doi.org/10.1002/sce.21343

McComas, W. F. (2004). Keys to teaching the nature of science. The science teacher, 71(9), 24.

Osborne, J. (2010). Arguing to Learn in Science: The Role of Collaborative, Critical Discourse. Science, 328(5977), 463–466. https://doi.org/10.1126/science.1183944

Osborne, J. (2012). The Role of Argument: Learning How to Learn in School Science. In K. Tobin, C. J. McRobbie, & B. J. Fraser (Hrsg.), Second International Handbook of Science Education (S. 933–949). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_62

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., … Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ, 372, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. Educational Research Review, 14, 47–61. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003

Polanin, J. R., Maynard, B. R., & Dell, N. A. (2017). Overviews in Education Research: A Systematic Review and Analysis. Review of Educational Research, 87(1), 172–203. https://doi.org/10.3102/0034654316631117

Priemer, B., & Hellwig, J. (2018). Learning About Measurement Uncertainties in Secondary Education: A Model of the Subject Matter. International Journal of Science and Mathematics Education, 16(1), 45–68. https://doi.org/10.1007/s10763-016-9768-0

Rosenberg, J. M., Kubsch, M., Wagenmakers, E.-J., & Dogucu, M. (2022). Making Sense of Uncertainty in the Science Classroom. Science & Education, 31(5), 1239–1262. https://doi.org/10.1007/s11191-022-00341-3

Warren, A. R. (2020). Impact of Bayesian updating activities on student epistemologies. Physical Review Physics Education Research, 16(1), 010101. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.010101

Julia Gaffron[1]
Martin Gröger[1]

[1]Universität Siegen

Experimentieren im Sachunterricht zwischen Wunsch und Wirklichkeit - Eine Längsschnittfallstudie zur Durchführung von Experimenten im Vorbereitungsdienst

Einleitung

Kinder experimentieren gerne und Versuche zu biologischen, physikalischen und chemischen Phänomenen im Sachunterricht erfreuen sich großer Beliebtheit. Mit Experimenten lassen sich die Kinder demgemäß auch gut für naturwissenschaftliche Inhalte motivieren (vgl. Frischknecht-Tobler & Labudde, 2013). Neben der motivationalen Funktion sprechen weitere didaktische und lerntheoretische Argumente für den Einsatz von Experimenten im Sachunterricht: Kinder lernen dabei u.a. Anleitungen zu lesen, gezielt Materialien auszuwählen, Vermutungen zu äußern, genau zu beobachten und zu dokumentieren.

Nach dem Lehrplan für den Sachunterricht für Nordrhein-Westfalen ist die Durchführung von Versuchen auch ausdrücklich gefordert (Ministerium für Schule und Bildung, 2021), doch faktisch wird im Sachunterricht kaum experimentiert: „… elementary teachers tend to avoid science ...“ (Appleton 2007, S. 496). Zudem werden im Sachunterricht eher biologische als physikalische oder chemische Themen behandelt (Möller, 2004) und wenn experimentiert wird, so häufig mit detaillierten Anleitungen als „step by step instructions“ (Harlen, 1997). Freiere Experimentierangebote, die statt angeleitetem Handeln auch eigenständiges Planen, Durchführen und Reflektieren fordern und fördern, also im Sinne eines „hands-on as well as minds-on“ (Reiss et al., 2016) vorgehen, finden im tatsächlichen Unterrichtsgeschehen kaum statt.

Die Ursachen für die Unterrepräsentanz naturwissenschaftlich orientierten Experimentierens im Sachunterricht liegen laut Forschungslage in negativen eigenen Lernbiographien in der naturwissenschaftlichen Domäne (außer Biologie), dem Fehlen von Interesse und Motivation an naturwissenschaftlichen Sachinhalten, einem geringen Fähigkeitsselbstkonzept (academic self-concept) und schwacher Selbstwirksamkeitserwartung (self-efficacy) in der naturwissenschaftlichen Domäne, mangelndem Professionswissen bei Fachwissen und fachdidaktischem Wissen zum Einsatz von Experimenten im Sachunterricht, wie auch im „fach“-fremden Unterrichten im Sachunterricht (Möller, 2004; Schmidt, 2015).

Forschungsfrage und Forschungsdesign

Aus dem dargestellten Zusammenhang und der Zielstellung, zukünftige Lehrpersonen für den Sachunterricht eher in die Lage zu versetzen möglichst eigenständiges Experimentieren in ihren Unterricht zu integrieren, wurde folgende Forschungsfrage entwickelt (Gaffron, 2023):
Kann eine Intervention zum Experimentieren im Sachunterricht am Beispiel Sprudelgas das Interesse, das Fähigkeitsselbstkonzept, die Selbstwirksamkeit und das Professionswissen von Lehramtsanwärterinnen und Lehramtsanwärtern im Vorbereitungsdienst langfristig stärken?
Zur Klärung der vermuteten Implikationen wurde eine Intervention zum Thema „Experimentieren mit Sprudelgas“ mit Lehramtsanwärterinnen und Lehramtsanwärtern im Vorbereitungsdienst in Nordrhein-Westfalen geplant und durchgeführt. Deren Wirksamkeit wurde in einer explorativen Studie mit einem Mixed-Methods-Ansatz untersucht. Dazu wurden zunächst die Merkmale Interesse, Fähigkeitsselbstkonzept, Selbstwirksamkeit und

Professionswissen mit geschlossenen Fragebögen in einem Pre-Post-Design erhoben, der neben der quantitativen Auswertung über die Treatment-Gruppe auch Einzelfallbetrachtungen ermöglichte (Gaffron & Gröger, 2022). Mit einer Follow-up-Befragung und Interviews mit ausgewählten Teilnehmenden nach zwei Jahren sollten zudem Langzeiteffekte erhoben und auch bezogen auf den Einzelfall Potenziale und Grenzen der Intervention identifiziert werden. Die anschließenden fakultativen qualitativen Interviews sollten im Rahmen der Kontextanalyse weiteren Aufschluss über die langfristige Entwicklung der Parameter Interesse, Fähigkeitsselbstkonzept, Selbstwirksamkeit und Professionswissen bezüglich des Experimentierens sowie generell des Potenzials der Intervention liefern.

Intervention

Hauptziele der Intervention waren, die experimentellen Fähigkeiten (möglichst langfristig) zu stärken und erweitern, die Methoden des Experimentierens im Sachunterricht zu vermitteln und zu reflektieren, das Experimentieren als Motor für Motivation und Interesse von Schülerinnen und Schülern erlebbar zu machen, das Zusammenspiel von Theorie und Empirie beispielhaft zu verdeutlichen und nicht zuletzt die Lehramtsanwärterinnen und Lehramtsanwärter beim eigenen Experimentieren Lernprozesse der Kinder selbst „erleben“ zu lassen.

Es wurden drei Veranstaltungstermine (je zwei Zeitstunden) nach dem *cognitive apprenticeship*-Ansatz (vgl. Collins, Brown & Newman, 1989) geplant und strukturiert. Dabei wurde den Teilnehmenden neben der vertieften fachdidaktischen Reflexion auch die Möglichkeit gegeben, die Rolle von Kindern beim Experimentieren einzunehmen und so in Form dieses pädagogischen Doppeldeckers (vgl. Widulle, 2009) die Perspektiven zu wechseln und ihr Reflexionsvermögen zu stärken.

Inhaltlich ging es bei der Intervention zum Kontext „Sprudelgas“ also um Phänomene bezüglich der Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser, die anhand der experimentellen Lernaufgabe: „Was sprudelt in der Brause?“ bearbeitet wurden. Konkret wurden dazu elf verschiedene Versuchsanleitungen in kindgerechter Sprache für den Einsatz im Sachunterricht der Grundschule inklusive Versuchsanleitungen für die Hand der Lehrkraft konzipiert, wozu bereits bekannte Versuche neu zusammengestellt, überarbeitet und mit Fotos und Texten als Arbeitsmaterial gestaltet wurden (Gaffron, 2023; Gaffron & Gröger, 2020).

Ergebnisse der Fragebogenstudie

Bei der quantitativen Auswertung der Fragebögen bezüglich der Parameter Interesse, Fähigkeitsselbstkonzept, Selbstwirksamkeit und Professionswissen zeigen sich bei fünf Skalen zum Professionswissen und Interesse kaum Effekte. Bei den vier Skalen „Interesse beim Experimentieren“, „Persönliche Herausforderung beim Experimentieren“, „Selbstwirksamkeit bzgl. des Unterrichtens“ und „Selbstwirksamkeit beim Experimentieren“ finden sich signifikante stark positive Effekte (Gaffron & Gröger, 2022). Demnach ergibt sich, dass die Intervention zumindest kurzfristig die Bereiche situationales Interesse beim Experimentieren, Selbstwirksamkeit bezüglich des selbstständigen Experimentierens, sowie bezüglich Planung und Durchführung von Experimentalunterricht sowie das experimentbezogene Fähigkeitsselbstkonzept stärken kann.

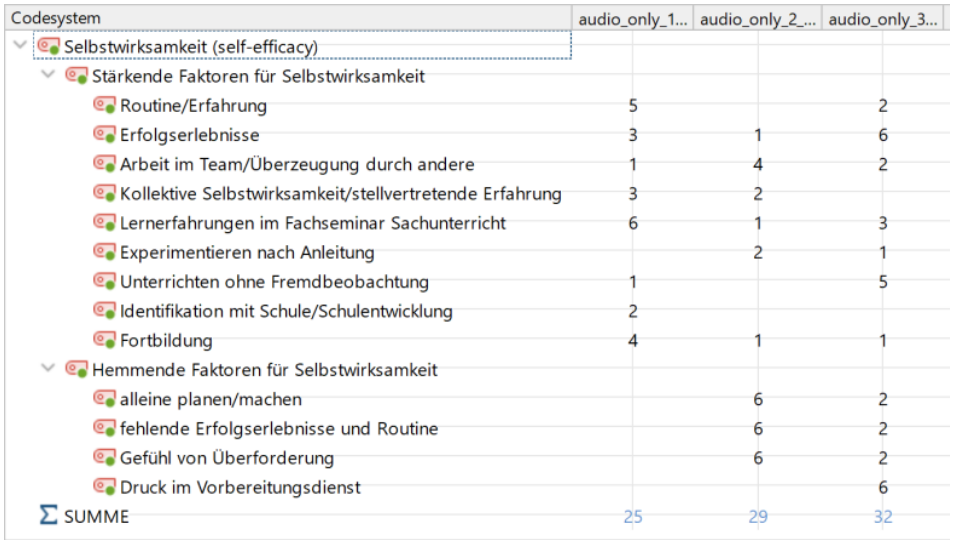
Eine weitere Auswertung nach Fällen belegt Gruppen von „Profiteur/-innen“, „Nicht-Profiteur/-innen“ und „Wider-Erwarten-Typen“. Bei der Follow-Up-Befragung nach zwei Jahren zeigt sich diesbezüglich jedoch eine heterogene Datenlage, aus der keine allgemeinen Trends oder Tendenzen mehr abgelesen werden können. Es zeigen sich zwar Langzeiteffekte,

die jedoch keine Aussage zulassen, um bezogen auf den Einzelfall das Potenzial und die Grenzen der Intervention zu identifizieren.

Ergebnisse der Interviewstudie

Mit der Interviewstudie sollten dann als Kontextanalyse weitere Hinweise zum Potenzial und zu den Grenzen der Intervention gewonnen werden. Für die Interviews wurden drei Kandidaten/-innen ausgewählt, deren Daten aus der Follow-up-Studie besondere Auffälligkeiten aufwiesen.

Diese wurden auf Basis ihrer Angaben in den Fragebögen spezifisch zu den benannten Merkmalen befragt. Die Auswertung wurde als strukturierende qualitative Inhaltsanalyse (vgl. Kuckartz & Rädiker, 2022) mit Unterstützung durch die Computersoftware MAXQDA durchgeführt und es wurde deduktiv-induktiv ein Kategoriensystem entwickelt, das beispielhaft bezüglich der Dimension Selbstwirksamkeit als Screenshot aus MAXQDA in Abb. 1 dargestellt ist.



Codesystem	audio_only_1...	audio_only_2_...	audio_only_3...
Selbstwirksamkeit (self-efficacy)			
Stärkende Faktoren für Selbstwirksamkeit			
Routine/Erfahrung	5		2
Erfolgserlebnisse	3	1	6
Arbeit im Team/Überzeugung durch andere	1	4	2
Kollektive Selbstwirksamkeit/stellvertretende Erfahrung	3	2	
Lernerfahrungen im Fachseminar Sachunterricht	6	1	3
Experimentieren nach Anleitung		2	1
Unterrichten ohne Fremdbeobachtung	1		5
Identifikation mit Schule/Schulentwicklung	2		
Fortbildung	4	1	1
Hemmende Faktoren für Selbstwirksamkeit			
alleine planen/machen		6	2
fehlende Erfolgserlebnisse und Routine		6	2
Gefühl von Überforderung		6	2
Druck im Vorbereitungsdienst			6
SUMME	25	29	32

Abbildung 1: Screenshot aus MAXQDA zu Haupt- und Subkategorien zur Selbstwirksamkeit

Die Auswertung ergibt insgesamt, dass Interesse und die Selbstwirksamkeit demnach (mittelbar) moderierende Variablen sind. Das Fähigkeitsselbstkonzept ist eine deutlich moderierende Variable: Trotz großem Interesse, eher positiver Selbstwirksamkeit und vorhandenem Professionswissen wird Experimentalunterricht zwar als wünschenswert empfunden, aber selten praktiziert, wenn das Fähigkeitsselbstkonzept schwach ausgeprägt ist. Passung von positiver naturwissenschaftlicher Bildungsbiografie, hohem Interesse und vorgefundenem MINT-Schulprofil mit starker kollektiver Selbstwirksamkeit begünstigen einen Experimentalunterricht. Trotz Interesse und Professionswissen wird Experimentalunterricht zwar als wünschenswert gesehen, aber vermieden, wenn kollegiale Unterstützung fehlt und die Schulrealität als belastend angesehen wird. Eigenverantwortlicher Unterricht ohne Ausbildungsdruck, Erfahrungen, Routine und Erfolgserlebnisse im Schulalltag steigern die Selbstwirksamkeit.

Literatur

Appleton, K. (2007). The Elementary Science Teacher. In: S. K. Abell & N. G. Lederman (Hrsg.). Handbook of research on science education. Mahwah, N. J: Lawrence Erlbaum Associates, S. 496-499

Collins, A.; Brown, J. S. & Newman, S. E. (1989). Cognitive apprenticeship. Teaching the crafts of reading, writing, and mathematics. In: L. B. Resnick (Hrsg.). Knowing, learning, and instruction. Hillsdale, NJ: Erlbaum, S. 453-494

Frischknecht-Tobler, U. & Labudde, P. (2013). Beobachten und Experimentieren. In: P. Labudde (Hrsg.). Fachdidaktik Naturwissenschaft. 1.-9. Schuljahr. 2., korr. Aufl. Bern: Haupt, S. 133-148

Gaffron, J. (2023). Experimentieren im Sachunterricht zwischen Wunsch und Wirklichkeit. Eine Längsschnittfallstudie zur Durchführung von Experimenten im Sachunterricht. Dissertation, Universität Siegen

Gaffron, J. & Gröger, M. (2020). Children like to experiment, many teachers apparently do not. In: Gröger, M., Prust, C. & Flügel, A. (Hrsg.): Cultural Appropriation of Spaces and Things, Siegen: Universi-Verlag, S. 87-97. Verfügbar über: https://dspace.ub.uni-siegen.de/bitstream/ubsi/1711/3/Cultural_appropriation.pdf [Zugriff: 4.10.2024]

Gaffron, J. & Gröger, M. (2022). Kinder experimentieren gerne, viele Lehrkräfte aber offenbar nicht.Eine Fallstudie zur Durchführung von Experimenten im Sachunterricht. In: Habig, S. (Hrsg.): Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Universität Duisburg-Essen, S. 584-587

Harlen , W. (1997). Primary Teachers' Understanding in Science and its Impact in the Classroom. Research in Science Education 27(3), S. 323-337

Kuckartz, U. & Rädiker, S. (2022). Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. 5. Auflage. Weinheim, Basel: Beltz Juventa

Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2021). Lehrplan für die Primarstufe in Nordrhein-Westfalen. Fach Sachunterricht. Verfügbar über: https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/292/ps_lp_su_einzeldatei_2021_08_02.pdf [Zugriff: 4.10.2024]

Möller, K. (2004). Naturwissenschaftliches Lernen in der Grundschule. Welche Kompetenzen brauchen Grundschullehrkräfte? In: H. Merkens (Hrsg.). Lehrerbildung: IGLU und die Folgen. Wiesbaden: Springer, S. 65-84

Reiss, K.; Sälzer , Ch.; Schiepe-Tiska, A.; Klieme, E. & Köller, O. (2016) (Hrsg.). PISA 2015. Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation. Münster: Waxman

Schmidt, M. (2015). Professionswissen von Sachunterrichtslehrkräften. Zusammenhangsanalyse zur Wirkung von Ausbildungshintergrund und Unterrichtserfahrung auf das fachspezifische Professionswissen im Unterrichtsinhalt „Verbrennung“. Berlin: Logos

Widulle, W. (2009). Handlungsorientiert Lernen im Studium. Arbeitsbuch für soziale und pädagogische Berufe. Wiesbaden: VS Verlag

Niklas Weiß[1]
Yvonne Kretzer[1]
Larissa Hahn[1]
Pascal Klein[1]
Stefan Klumpp[1]

[1]Universität Göttingen

Modellierung von Blickbewegungen bei der Beurteilung der Divergenz von Vektorfeldern

Motivation

Die Fähigkeit, Formeldarstellungen visuell zu interpretieren, ist eine grundlegende Komponente des Verständnisses von mathematischen und physikalischen Konzepten. Diese Übersetzungsleistung wird bei der Beurteilung der Divergenz zweidimensionaler Vektorfelder relevant. Bei einer Eye-Tracking Studie mit 141 Studienanfänger:innen (Klein et al., 2021) wurde gezeigt, dass systematische Augenbewegungen in horizontale und vertikale Richtung auf ein korrektes Vorgehen bei der Lösung solcher Probleme hinweisen. Den Teilnehmenden wurde dabei die Strategie der Vektordekomposition sowie der Vergleich benachbarter Vektorpfeile zur Divergenzbeurteilung vermittelt. Eine Darstellung der Sakkadenbewegungen durch eine symbolische Dynamik ermöglicht die quantitative Analyse und die Modellierung der Blickbewegungen. Damit wird untersucht, ob die Studierenden diese Strategie anwenden und inwieweit sie zu einer Verbesserung bei der Beurteilung der Divergenz führt.

Methodik

An der Studie von Klein et al. (2021) nahmen 141 Physikanfänger:innen der Technischen Universität Kaiserslautern teil. Auf einer Instruktionsseite wurde als Strategie zur Beurteilung von Vektorfelddiagrammen hinsichtlich der Divergenz instruiert, die Vektorpfeile in ihre Komponenten zu zerlegen und dann benachbarte Vektorpfeile zu vergleichen. Im Anschluss sollten die Studierenden die Divergenz von acht verschiedenen Vektorfeldern beurteilen, wobei ihre Blickbewegung mithilfe einer Eye-Tracking-Apparatur (Tobii X3-120) aufgezeichnet wurde (Alemdag et al., 2018, Hahn et al., 2022).

Nun soll untersucht werden, ob es auch ein erhöhtes Vorkommen von gerichteten Sakkadenketten - also mehreren aufeinanderfolgenden Sakkadenbewegungen in eine Richtung - gibt und ob dies mit einer verbesserten Beurteilung der Divergenz korreliert. Dazu wurden die Sakkadenbewegungen in eine symbolische Dynamik (Daw et al., 2003) basierend auf der Blickrichtung übersetzt: Für horizontale und vertikale Bewegungen wurden die Symbole „h“ und „v“ verwendet, während alle anderen Bewegungen als „o“ (other) zusammengefasst wurden. Bewegungen, die außerhalb des Vektorfeldes beginnen oder enden, wie beispielsweise beim Blick auf die Instruktion, wurden als „p“ (pause) codiert. Auf diese Weise wird für jeden Studierenden und jedes Vektorfeld die Blickbewegung durch eine individuelle Symbolkette dargestellt. Um die Analyse zu präzisieren, wurden die kürzesten Ketten jedes Vektorfeldes aus den Daten entfernt, sodass schließlich 85 Ketten übrig blieben. Anschließend wurden aus den Symbolketten die Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen den Symbolen berechnet. Die Matrix der

Übergangswahrscheinlichkeiten definiert ein Markov-Modell für die Augenbewegung, welches neue Symbolketten erzeugt. Für jede experimentelle Kette wurden 100 Ketten simuliert, wobei die Länge der simulierten Ketten den experimentellen Ketten entsprach.
Aus mehreren Sakkaden bestehende längere Bewegungen in dieselbe Richtung werden als „k-run“ bezeichnet, wobei k die Länge des entsprechenden runs angibt. Ein vertikaler 3-run wäre demnach „vvv“. Zum Vergleich der Ketten untereinander wurden zwei verschiedene Metriken definiert. Die „k-run occurrence“ (k-RO) gibt an, ob ein run der Länge k auftritt, der Wert ist also entweder 1 oder 0. Die „k-run fraction“ (k-RF) beschreibt den Prozentsatz aller gleichen Symbole in einer Ketten, die Teil eines runs der Länge k oder länger sind. Dadurch ist die k-RF unabhängig von der Gesamtlänge der Ketten und der Häufigkeit des Vorkommens des Symbols.
Da im Markov-Modell jedes Symbol nur vom vorherigen Symbol abhängt, lässt sich durch den Vergleich der simulierten und experimentellen Ketten analysieren, ob bestimmte runs aufgrund strategischen Vorgehens über- oder unterrepräsentiert sind.

Ergebnisse

Zunächst wird der Fokus auf Vektorfeld 4 (VF 4) gelegt. Dieses Vektorfeld hat eine konstante Vektorkomponente in vertikaler Richtung und eine sich in vertikaler Richtung ändernde horizontale Komponente, es ist also divergenzfrei. Dies ist das Vektorfeld mit der geringsten Antwortkorrektheit (42%). In der Studie von Klein et al. (2021) wurde beschrieben, dass bei diesem Vektorfeld eine höhere Anzahl an vertikalen Sakkaden mit einer korrekten Lösung korreliert ist.
Nach Konstruktion des Modells haben die experimentellen und simulierten Sakkaden gleich viele 1-runs (769 im Experiment/771 in der Simulation). Die Simulation weist vermehrt 2-runs (250/323) und 3-runs (121/136) auf, während im Experiment 4-runs zu beobachten sind

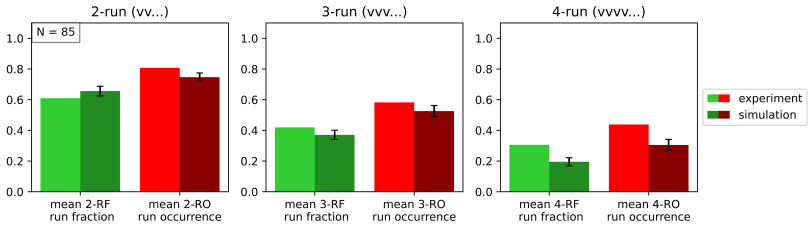


Abb. 1: Werte der k-RF und k-RO für vertikale Sakkaden für VF 4: Vergleich von Experiment und Simulation. Der Fehlerbalken in der Simulation ist der Standardfehler.

(71/56). Dies verdeutlichen auch die Metriken:
In Abb.1 ist die k-RF und k-RO jeweils für vertikale 2-, 3- und 4-runs dargestellt, aufgeteilt für die experimentellen und simulierten Daten. Bei 4-runs ist die 4-RF im Experiment höher, was auf eine Überrepräsentation von längeren runs hindeutet. Auch die 3-RF ist im Experiment höher, obwohl die totale Anzahl an 3-runs in der Simulation größer war. Da beide Datensätze dieselben Übergangswahrscheinlichkeiten haben, sind folglich 2-runs leicht unterrepräsentiert. Auch die k-RO ist im Experiment höher, allerdings ist die Rate für

das Auftreten längerer runs mit 0.44 bei der 4-RO relativ gering. Das bedeutet, dass mehr als die Hälfte der Sakkadenketten keine runs in vertikaler Richtung aufweisen.

In Abb. 2 werden die 4-Runs von Studierenden mit korrekter und inkorrekter Bewertung der Divergenz verglichen, wobei für die Simulation jeweils eigene Übergangswahrscheinlichkeiten innerhalb der beiden Gruppen bestimmt wurden. Insgesamt haben 69% der Symbolketten mit korrekter Divergenzbeurteilung einen 4-run, während dies bei nur etwa 25% der Ketten mit inkorrekter Beurteilung der Fall ist. Längere Symbolketten korrelieren folglich mit einer korrekten Divergenzbeurteilung. Der Vergleich mit der Simulation zeigt, dass 4-runs sowohl bei korrekten als auch bei inkorrekten Antworten überrepräsentiert sind.

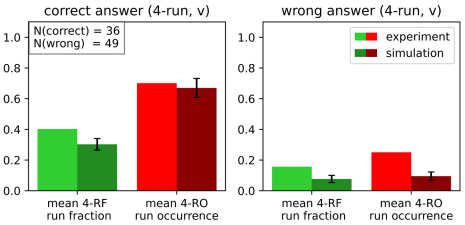


Abb. 2: 4-RF und 4-RO für korrekte (links) und inkorrekte (rechts) Divergenzbeurteilung in VF 4.

Abb. 3 zeigt die Differenzen in der 4-RF zwischen Studierenden mit richtiger und falscher Antwort für alle Vektorfelder. Mit Ausnahme von VF 2 ist die 4-RF bei Studierenden mit korrekter Divergenzbeurteilung bei mindestens einer Komponente höher. Besonders ausgeprägt ist diese Differenz bei VF 4, VF 6 und VF 8, wobei die Vektorkomponenten der entsprechenden Richtung variabel sind.

	h/v Vektor-Komponenten	Differenz 4-RF h	Differenz 4-RF v
VF 1	Null/Variabel	0.118 (0.082)	0.052 (0.090)
VF 2	Null/Konstant	-0.080 (0.100)	0.077 (0.092)
VF 3	Variabel/Null	0.133 (0.133)	0.073 (0.039)
VF 4	Konstant/Variabel	0.083 (0.084)	0.227 (0.111)
VF 5	Variabel/Konstant	0.079 (0.141)	0.111 (0.092)
VF 6	Null/Variabel	0.100 (0.110)	0.205 (0.084)
VF 7	Konstant/Null	0.023 (0.112)	0.113 (0.107)
VF 8	Variabel/Variabel	0.241 (0.096)	0.113 (0.156)

Abb 3: Differenzen der horizontalen (h) und vertikalen (v) 4-RF des Experiments zwischen korrekter und inkorrekter Antwort für alle acht Vektorfelder. In Klammern ist der Standardfehler angegeben, welcher über das Bootstrapping-Verfahren bestimmt wurde. Dunklere Farbe bedeutet eine höhere Differenz hinsichtlich des Standardfehlers.

Diskussion und Ausblick

Die Analyse der Augenbewegungen von Studierenden bei der Beurteilung der Divergenz von Vektorfelder hat gezeigt, dass lange Sakkadenketten in der Richtung, in welcher das Vektorfeld variabel ist, gegenüber einem minimalen Markov-Modell überrepräsentiert sind. Dies legt die Interpretation nahe, dass die Studierenden bewusst die Strategie der Vektordekomposition und den Vergleich benachbarter Vektorpfeile anwenden, welche im Vorfeld instruiert wurde (Klein et al., 2021).

Zudem konnte gezeigt werden, dass Studierende, die längere Sakkadenketten aufweisen, auch häufiger die Divergenz des entsprechenden Vektorfeldes korrekt beurteilen. Allerdings sind beide Effekte bei verschiedenen Vektorfeldern unterschiedlich stark ausgeprägt, was weitere Untersuchungen erfordert. Es soll außerdem untersucht werden, inwiefern eine Vor-

hersage der korrekten Beurteilung der Divergenz anhand der eingeführten Metriken mit Machine Learning möglich ist.

Literatur

Klein P., Hahn L. & Kuhn J. (2021). Einfluss visueller Hilfen und räumlicher Fähigkeiten auf die graphische Interpretation von Vektorfeldern: Eine Eye-Tracking-Untersuchung. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 27(1):181-201

Alemdag E., Cagiltay K. (2018). A systematic review of eye tracking research on multimedia learning. Computers & Education, 125, 413-428

Hahn, L. and Klein, P. (2022). Eye tracking in physics education research: A systematic literature review. Phys. Rev. Phys. Educ. Res. 18, 013102

Daw C.S., Finney C.E.A. & Tracy E.R.. (2003) A review of symbolic analysis of experimental data. Review of Scientific Instruments 74, 915-930

Hanne Rautenstrauch[1]
Christian Pipke[1]

[1]Europa-Universität Flensburg

Gasdrucksensor beim Eiswasserkocher: eine Interventionsstudie

Die Aggregatzustände von Stoffen sind ein zentrales Thema im Anfangsunterricht der Naturwissenschaften. Um die verschiedenen Aggregatzustände zu erklären, wird auf der Teilchenebene ein grundlegendes Teilchenmodell eingeführt. Dieses Modell ermöglicht nicht nur die Beschreibung der Aggregatzustände, sondern auch eine Erklärung des Drucks auf Teilchenebene: Die Teilchen befinden sich in ständiger, ungeordneter Bewegung und stoßen dabei zufällig miteinander oder mit den Wänden eines Gefäßes zusammen. Der Druck entsteht durch die Anzahl der Stöße der Teilchen gegen die Gefäßwände pro Zeiteinheit. Er wird von Faktoren wie dem Volumen, der Anzahl der Teilchen und ihrer Energie beeinflusst. Bei Experimenten kann der Druck innerhalb eines Systems variieren, abhängig von diesen veränderlichen Bedingungen. Für Schüler:innen ist es oft schwierig, den Druck bzw. Druckänderung als Phänomen wahrzunehmen, es sei denn, die Druckänderung hat eine gerichtete Bewegung zur Folge, wie beispielsweise beim „Füllen“ eines Luftballons, dem „Zusammenziehen“ einer Kunststoffflasche oder der Bewegung des Kolbenstempels in einem Kolbenprober. Diese sichtbaren Bewegungen resultieren aus Druckunterschieden oder Druckausgleichsprozessen. Die Verbindung von Druck und Bewegung, sowohl in Experimenten als auch in alltäglichen Redewendungen wie „Ich übe Druck auf etwas aus“, fördert bei Schüler:innen häufig das Präkonzept, dass Druck eine gerichtete Größe sei (Wodzinski, 2000). Der Einsatz eines digitalen Drucksensors in isochoren Systemen bietet eine wertvolle Möglichkeit, das Präkonzept der Schüler:innen zu adressieren. In verschiedenen Themenbereichen, wie etwa dem chemischen Gleichgewicht (Rautenstrauch & Rebenstorff, 2023) oder der chemischen Energetik (Rautenstrauch, Rebenstorff & Junk, 2024), kann experimentell verdeutlicht werden, dass der Druck sich auch in einem isochoren System während einer Reaktion verändern kann, ohne dass eine sichtbare gerichtete Bewegung stattfindet.

Der Eiswasserkocher

Ein weiteres Experiment, das in einem isochoren System durchgeführt wird, ist der sogenannte Eiswasserkocher, ein bekanntes Schulexperiment im Themenbereich Aggregatzustände und Phasenwechsel, das von de Vries (2002) vorgestellt wurde. In der herkömmlichen Durchführung wird ein Thermometer in eine Weithalsflasche, wie etwa eine Milch- oder Saftflasche, eingeführt. Die Flasche wird anschließend randvoll mit kochendem Wasser gefüllt und fest verschlossen. Zur Kühlung wird ein Eiswürfel auf den Deckel der Flasche gelegt. Während des Experiments können die Schüler:innen beobachten, wie die Temperatur in der Flasche allmählich sinkt und sich gleichzeitig Gasblasen bilden, die zur Oberfläche aufsteigen. Zudem entstehen Konvektionsströme, und mit der Zeit bildet sich ein leerer Raum unterhalb des Deckels. Gelegentlich tropfen Wassertropfen vom Deckel zurück in die Flüssigkeit.

Das zentrale Lernziel dieses Experiments besteht darin, die Druckabhängigkeit des Siedepunkts von Wasser zu verdeutlichen. Allerdings konzentrieren sich die Schüler:innen bei

der Beobachtung meist auf die sinkende Temperatur und die aufsteigenden Gasblasen. Die Verbindung dieser Phänomene mit dem Druck fällt oft schwer – selbst Studierenden. Das liegt daran, dass der Druck während des Experiments nicht direkt wahrnehmbar ist und deshalb bei der Interpretation häufig außer Acht gelassen wird.

In der fachdidaktischen Literatur hat u.a. Kotter (1975) Kriterien für die Auswahl geeigneter Schulexperimente formuliert. Diese beinhalten, dass ein Experiment einen klaren Effekt zeigen, im vorgegebenen Zeitrahmen durchführbar sein und den Sicherheitsvorschriften entsprechen muss. Zudem sollte es die relevanten Phänomene deutlich darstellen (Kotter, 1975). In diesem Versuch jedoch bleibt die Druckänderung während des Experiments unsichtbar und schwer erfassbar. Somit wird ein zentrales Kriterium für ein gutes Schulexperiment nicht erfüllt. Der Einsatz eines digitalen Messsensors, wie eines Gasdrucksensors, bietet hier die Möglichkeit, diesen "unsichtbaren" Prozess der Druckänderung (v. Kotzebue & Fleischer, 2020) sichtbar zu machen und für die Schüler:innen verständlicher darzustellen.

Um die Verständlichkeit des Experiments zu verbessern, wurde der Versuchsaufbau entsprechend modifiziert und ein digitaler Gasdrucksensor integriert (Abb. 1). Diese Anpassung ermöglicht es den Lernenden, während des Experiments zu beobachten, dass der Druck im isochoren System kontinuierlich abnimmt, beispielsweise von anfänglich 105,9 kPa auf 45,1 kPa. Diese Daten können dann in die Interpretation des Experiments einbezogen werden und erleichtern das Verständnis des Druckverlaufs.

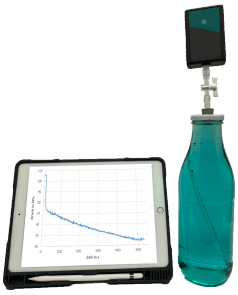


Abb. 1: Eiswasserkocher mit Drucksensor

Interventionsstudie

Um zu untersuchen, inwieweit die Modifikation des Versuchsaufbaus und der Einsatz eines Gasdrucksensors das Verständnis der Zusammenhänge zwischen Druck und Siedetemperatur im Experiment „Eiswasserkocher“ verbessert, wurde eine erste Interventionsstudie mit Lehramtsstudierenden des Sachunterrichts (N=60) durchgeführt. Das Experiment ist Teil eines Laborpraktikums im ersten Semester und hat in der herkömmlichen Durchführung häufig zu Lernschwierigkeiten geführt. Deshalb wurde das modifizierte Experiment in der Studie eingesetzt. Zur Erfassung des Vorwissens erstellten die Studierenden eine Concept Map zum Thema „Kochen von Wasser“ mit neun vorgegebenen Begriffen (u.a. Druck, Siedetemperatur). Anschließend führten sie das Experiment, abhängig von einer zufälligen Zuweisung (Zufallsstichprobe), entweder mit oder ohne Gasdrucksensor durch und verfassten

im Anschluss eine Versuchsbeobachtung und -auswertung. Am Ende des Semesters erstellten sie erneut eine Concept Map, um den langfristigen Lernerfolg zu evaluieren.
Die erstellten Concept Maps sowie die Versuchsbeobachtungen und -auswertungen wurden auf ihre inhaltliche Korrektheit hin überprüft. Bei den Concept Maps zur Erfassung des Vorwissens gab es keine signifikanten Unterschiede in der Anzahl der korrekt angegebenen Propositionen zwischen den beiden Interventionsgruppen ($p = .063$, $N = 26/24$). Dies deutet darauf hin, dass das Vorwissen in beiden Gruppen vergleichbar war.
Die Versuchsbeobachtungen und -auswertungen wurden ebenfalls auf inhaltliche Korrektheit untersucht. Für jeden korrekt dargestellten Aspekt wurde ein Punkt vergeben, aus dem ein Summenscore gebildet wurde. Die Ergebnisse zeigten, dass sowohl die Versuchsbeobachtungen als auch die Versuchsauswertungen der Studierenden, die das Experiment mit dem Gasdrucksensor durchgeführt hatten, signifikant besser waren (Abb. 2). Die Mittelwertsunterschiede zeigten dabei jeweils einen mittleren Effekt.

	Kein Sensor		Druck-Sensor		
	$\bar{x}$	N	$\bar{x}$	N	Cohens d
Beobachtung	3,04**	28	3,77**	26	.697
Auswertung	2,19**	27	3,00**	26	.716

Abb. 2: Ergebnisse der durchgeführten t-Tests

Zusammenfassung und Ausblick

Der Einsatz eines digitalen Gasdrucksensors beim Experimentieren ermöglicht es, Druckänderungen während chemischer und physikalischer Prozesse für Lernende sichtbar zu machen. In einer Interventionsstudie wurde untersucht, inwieweit diese Anpassung des Versuchsaufbaus tatsächlich lernförderlich ist. Die Ergebnisse zeigen erste Anzeichen dafür, dass der Einsatz des Gasdrucksensors die Lernwirksamkeit verbessert. So wurde eine höhere inhaltliche Korrektheit in den Versuchsbeobachtungen und -auswertungen festgestellt. Aufgrund der geringen Stichprobengröße lassen diese Ergebnisse jedoch nur vorsichtige Schlussfolgerungen zu.
Im Rahmen des Projekts der Europa-Universität Flensburg werden neben dem vorgestellten Experiment weitere bewährte Schulexperimente, wie etwa der Springbrunnenversuch (Freienberg, J., & Flint, A. (2001); Strippel, C., & Go, L. (2024)), auf ihre Eignung für den modernen Chemieunterricht überprüft und gegebenenfalls modifiziert. Dies umfasst die Integration digitaler Messsensoren, die Anpassung der Gefahrstoffe an aktuelle Sicherheitsvorschriften sowie die Einbindung der Experimente in sinnstiftende und für Schüler:innen relevante Kontexte.

Literatur

T. de Vries (2002). "Der „Eiskocher". CHEMKON, 9(4), 199–200

Freienberg, J., & Flint, A. (2001). Ein alternativer „Springbrunnen-Versuch". CHEMKON, 8(2), 91–91.

L. Kotter (1975). Das Experiment im Chemieunterricht. Sturmberger

L. von Kotzebue & T. Fleischer (2020). "Experimentieren mit digitalen Sensoren - Unsichtbares sichtbar machen,". in Digitale Basiskompetenzen - Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften, 58–61

H. Rautenstrauch, A. Rebenstorff (2023). Hirschhornsalz und das chemische Gleichgewicht – Experimente mit digitalem Drucksensor. CHEMKON, 30 (8), 349–353

H. Rautenstrauch, A. Rebenstorff & A. Junk (2024). Standardreaktionsenthalpien anschaulich machen: Innere Energie, Enthalpie und Druck-Volumen-Arbeit in Experimenten mit digitalen Sensoren untersuchen. Unterricht Chemie, 201, 22–29

Strippel, C., & Go, L. (2024). Springbrunnen-Versuch, Reaktionskinetik und chemisches Gleichgewicht: Eigenständigkeit und Interaktivität mit H5P-Aufgaben im Chemieunterricht. Unterricht Chemie, 202+203, 20–26

Wodzinski, R. (2000). Zustandsgröße Druck. Zur Einführung des Druckbegriffs in der Sekundarstufe I. Unterricht Physik, 11 (57), 124–126

Fabian Baierl[1]
Thorid Rabe[1]

[1]MLU Halle-Wittenberg

Experimentieren zum Treibhauseffekt
Entwicklung und Evaluation einer Lernumgebung für den Physikunterricht

Motivation und Befunde

Aufgrund der Verankerung der Klimaphysik in den Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss wird die Klimaphysik zukünftig vermehrt in den Bildungsplänen der Bundesländer zu finden sein (Kultusministerkonferenz, 2024). In Sachsen-Anhalt – wie auch in einigen anderen Bundesländern – ist sie bereits Bestandteil des Curriculums der Klassenstufe 10 an Gymnasien. Allerdings stehen bisher kaum evaluierte Materialien für den Unterricht zur Verfügung. Der Treibhauseffekt stellt einen zentralen Aspekt dar, wenn es darum geht die Auswirkung menschenverursachter Treibhausgasemissionen zu verstehen. Obwohl die Wirkung von Treibhausgasen in der Atmosphäre bereits seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts experimentell belegt ist (Foote, 1856, Tyndall, 1861), wird die Existenz des Klimawandels in der aktuellen Gesellschaft von einer kleinen, aber präsenten Minderheit angezweifelt oder geleugnet. Eine mögliche Ursache wird in der Unwissenheit über naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung vermutet (Bathiany & Egerer, 2021). Damit naturwissenschaftliche Argumente im Zusammenhang mit dem Klimawandel nachvollzogen, eingeschätzt und generiert werden können und um gesellschaftliche und politische Entscheidungsprozesse nachvollziehen und daran teilhaben zu können (Höttecke & Hopf, 2014), bedarf es Wissens über die Natur der Naturwissenschaften.
Im Rahmen eines Promotionsprojektes sollen deshalb sowohl Vorstellungen über den Treibhauseffekt als auch über naturwissenschaftliches Experimentieren und Modellieren als mögliche Lernausgangslagen erfasst werden. Daran anknüpfend werden experimentelle Lernumgebungen entwickelt und hinsichtlich der induzierten Lernprozesse untersucht.

Schüler:innenvorstellungen zum Treibhauseffekt

Die Befundlage zu Schüler:innenvorstellungen im Bereich des Klimawandels ist vergleichsweise umfassend und zeigt speziell zum Treibhauseffekt unterschiedliche und aus fachlicher Sicht unangemessene Vorstellungsausprägungen (u.a. Niebert, 2010; Schubatzky et al., 2023). Zu diesen gehört die Vorstellung einer Ozonschicht, die durch Treibhausgase geschädigt wird (= Ozonloch) und dadurch einen erhöhten Einfall von Sonnenstrahlung zulässt. Eine weitere Vorstellung geht davon aus, dass die vom Menschen emittierten Treibhausgase eine Schicht bilden und das Entweichen von Strahlung verhindern. Außerdem wird die Wechselwirkung von Treibhausgasen und elektromagnetischer Strahlung im Bereich des sichtbaren Lichts vermutet, wodurch das Aussenden infraroter Strahlung durch die Erdoberfläche und deren Wechselwirkung mit Treibhausgasen unberücksichtigt bleiben.
Vorstellungen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren und Modellieren sind speziell im Kontext der Klimaphysik nicht erforscht. Relevant könnten hier insbesondere allgemeine Vorstellungen zur Datengewinnung sein, die auf die Klimaforschung übertragen werden. Dazu gehört das Point-Verständnis, in dem die Interpretation eines einzelnen Werts als wahrer Wert vorgenommen wird (Höttecke & Hopf, 2018). Ebenso werden die Arbeitsprozeduren als Ausprobieren und Herausfinden verstanden und es zeigt sich ein weniger angemessenes

Verständnis bezogen auf das systematische Überprüfen von Variablen und Parametern (Höttecke & Hopf, 2018). Zusammenfassend wird die Befundlage zu Vorstellungen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren und Modellieren so eingeschätzt, dass diese in einem ersten Untersuchungsschritt zunächst erhoben werden müssen.

Literaturanalyse zu experimentellen Zugängen zum Treibhauseffekt

Im Folgenden werden zwei experimentelle Zugänge zum Treibhauseffekt vorgestellt: die Absorptionsmessung und die Transmissionsmessung.

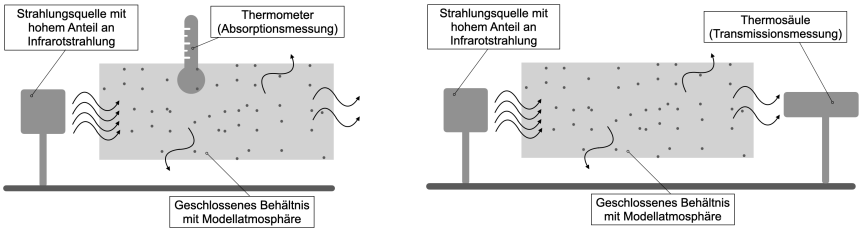


Abb. 1: Versuchsanordnung zur Absorptionsmessung (links) und Transmissionsmessung (rechts) des Treibhauseffekts

Das Versuchsprinzip der Absorptionsmessung besteht darin, eine Modellatmosphäre mit Infrarotstrahlung zu bestrahlen (u.a. Scorza et al., 2021). Bezüglich der Realebene stellt der Versuch die emittierte Strahlung der Erde im Infrarotbereich sowie die Wechselwirkung dieser Strahlung mit Treibhausgasen und deren Einfluss auf die Temperatur der Erde modellhaft dar. Die Temperatur in der Modellatmosphäre wird dazu bis zum Einstellen einer Gleichgewichtstemperatur gemessen. Anschließend wird CO_2-Gas in die Modellatmosphäre geleitet (≙ anthropogene Treibhausgasemissionen) und die Temperatur erneut bis zum Einstellen einer Gleichgewichtstemperatur gemessen.

Bei der Transmissionsmessung wird die Modellatmosphäre ebenfalls mit Infrarotstrahlung bestrahlt. Allerdings wird hier die Thermospannung als Maß für die durchdringende Infrarotstrahlung nach Passieren der Modellatmosphäre gemessen. Im zweiten Schritt können verschiedene Treibhausgase in das Behältnis geleitet werden, sodass sich in Abhängigkeit von deren Treibhauspotential die durch die Thermosäule messbare Thermospannung ändert (Specht & Sokolowski, 2021).

Bei beiden Versuchsprinzipien kann ein Bezug zur Geschichte der Erkenntnisgewinnung über die Einordnung der Versuche in die Historie der Klimaforschung hergestellt werden: Eunice Foote untersuchte 1856 mittels einer Absorptionsmessung den Einfluss von Luftfeuchtigkeit, Luftdruck und CO_2-Gehalt auf die Temperatur innerhalb geschlossener Glasröhren bei Bestrahlung mit Sonnenstrahlung (Foote, 1856). Zusätzlich führte sie Referenzmessungen mit Luft, Stickstoff, Sauerstoff und Wasserstoff durch. John Tyndall beschrieb 1861 das Verhalten von CO_2 und Wasserdampf bei Bestrahlung mit Infrarotstrahlung (Tyndall, 1861). Dafür maß er mithilfe eines Bolometers die durch die Modellatmosphäre dringende Strahlung und konnte nachweisen, dass Treibhausgase infrarote Strahlung absorbieren.

Aus Nature of Science-Perspektive können die beiden Versuchsprinzipien als evolutionär, d.h. historisch und in einem möglichen Unterrichtsgang als aufeinander aufbauend verstanden werden (Ertl, 2010). Aufgrund der vergleichsweise einfachen Versuchsanordnungen könnte

eine Auseinandersetzung mit den Versuchen positiv zum Verstehen naturwissenschaftlichen Experimentierens beitragen.

Forschungsfragen und geplantes Vorgehen

Das Forschungsvorhaben folgt dem Design-Based-Research Ansatz, da sowohl systematisch wirksame Lernumgebungen entwickelt, als auch ein Beitrag zur Grundlagenforschung geleistet werden soll (u. a. Wilhelm & Hopf, 2014).

Ausgehend der Analyse von Experimenten zum Treibhauseffekt aus fachlicher und fachdidaktischer Perspektive wird ein materialgestütztes experimentelles Setting entwickelt, das sowohl eine fachliche Auseinandersetzung mit dem Treibhauseffekt, als auch ausgewählte Aspekte von Nature of Science umfasst. Inhaltliche Anknüpfungspunkte werden zum Fachlehrplan für Physik an Gymnasien in Sachsen-Anhalt hergestellt.

Zudem sollen empirische Erkenntnisse zu Schüler:innenvorstellungen zum Experimentieren und zum Treibhauseffekt erweitert und deren Veränderung im Lernprozess untersucht werden. Angedacht ist ein Untersuchungssetting, in dem in Anlehnung an teaching experiments die entwickelten Materialien zunächst unter Anleitung in Kleingruppen eingesetzt werden (Lamb & Geiger, 2012). Die Bearbeitung der Lernumgebung wird videografiert, zusätzlich werden ggf. Interviews durchgeführt. Die Video- und Interviewdaten werden qualitativ ausgewertet. Folgende vorläufige Forschungsfragen sollen damit beantwortet werden:

FF1: Wie verändern sich (Vor-)Wissen und Schüler:innenvorstellungen zum Treibhauseffekt (im Sinne von Lernpfaden) in einem lernmaterialgestützten experimentellen Setting?

FF2: Welche Designkriterien tragen dazu bei, dass eine experimentelle Lernumgebung ein Lernen über naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung im Bereich der Klimaphysik anregen kann?

FF3: Inwiefern hängen das Verständnis von naturwissenschaftlicher Modellbildung und Vorstellungen zum Treibhauseffekt zusammen?

Ausblick

Im nächsten Schritt des Promotionsvorhabens sollen Vorstellungen zur naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung und Modellbildung im Kontext der Klimaphysik erhoben werden und in die Entwicklung einer Lernumgebung entlang ausgewählter Designkriterien eingehen. Die Ergebnisse von deren Evaluation werden im Rahmen des Re-Designs der Lernumgebung mit Blick auf das Verständnis naturwissenschaftlichen Experimentierens und Modellierens aufgegriffen.

Literatur

Lederman, N.G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R.L., & Schwartz, R.S. (2002). Views of Nature of Science Questionaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. Journal of Research in Science Teaching, 39 (6), 497-521

Bathiany, S. & Egerer, S. (2021). Die Berechnung der Welt. Wie Klimawissenschaftler und wissenschaftlerinnen arbeiten und woher sie wissen, dass der Mensch das Klima verändert. Naturwissenschaft im Unterricht. Physik, 183/184 (32), S. 13-17.

Ertl. D. (2010). The Nature of Science. Plus Lucis (17), S. 5-7.

Foote, E. (1856). On the heat in the sun's rays. The American Journal of Science and Arts, 22, 382-383.

Haagen-Schützenhöfer, C., Obczovsky, M., & Kislinger, P. (2024). Design-based research–Tension between practical relevance and knowledge generation–What can we learn from projects? Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 20(1)

Höttecke, D. & Hopf, M. (2018). Schülervorstellungen über die Natur der Naturwissenschaften. In: Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M. & Duit, R. (Hrsg.) Schülervorstellungen und Physikunterricht. Berlin: Springer.

Kultusministerkonferenz (2024). Weiterentwickelte Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Physik (MSA).

Lamb, J. & Geiger, V. (2012). Teaching Experiments and Professional Learning. In: Seel, N.M. (Hrsg.) Encyclopedia of the Sciences of Learning. Bosten: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_1017

Niebert, K. (2010). Den Klimawandel verstehen: eine didaktische Rekonstruktion der globalen Erwärmung (Dissertation). Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg.

Schubatzky, T. et al. (2023). Entwicklung eines Concept-Inventory CCCI-422 zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 29 (10), S. 1-23.

Scorza, C., Lesch, H., Strähle, M. & Sörgel, D. (2022) Der Klimawandel: verstehen und handeln. München Fakultät für Physik LMU

Specht, M. & Sokolowski, M. (2021). Absorption von Wärmestrahlung durch CO2. Naturwissenschaft im Unterricht. Physik. 186 (32)

Tyndall, J. (1861). On the absorption and radiation of heat by gases and vapours and on the physical connexion of radiation, absorption and conduction. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 151, 1-36

Wilhelm, T. & Hopf, M. (2014). Design-Forschung. In: Krüger, D., Parchmann, I. & Schecker, H. (Hrsg.), Methoden der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Heidelberg: Springer. S. 31-42

Ramona Schauer-Bollig[1]
Maria Hinkelmann[1]
Heidrun Heinke[1]

[1]RWTH Aachen

Mit „Project Find & Link“ physikalische Fachbegriffe spielend lernen

Sprache im Physikunterricht ist sowohl Mittel als auch Zweck bzw. Lernziel selbst (Schroeter-Brauss, Wecker & Henrici, 2018). Insbesondere die Fachsprache ist ein zentraler Punkt im naturwissenschaftlichen Unterricht (ebd.). Ein weiterer wichtiger Aspekt in Lernkontexten ist die Motivation. Mit dem Konzept der Gamification lassen sich der Erwerb von Wissen und Spaß bei den Lernenden verbinden. Lernspiele können dabei nicht nur das Erreichen kognitiver und motivationaler Lernziele fördern, sondern auch beim Verfolgen sozialer sowie emotionaler Ziele helfen (Forkel, 2009). Letztes gilt auch für kooperative Lerngelegenheiten (Traub, 2004). Deswegen wurde ein kooperatives und kommunikatives Spiel zum Vertiefen und Vernetzen von Fachbegriffen im Physikunterricht der Sekundarstufe I entwickelt und evaluiert (Schauer-Bollig et al., in Druck). Die Spielmechanik basiert dabei auf dem Vorbild des existierenden Gesellschaftsspiels „Codenames“.

Sprache im naturwissenschaftlichen Fachunterricht

Gespräche im Fachunterricht sind in der Regel eine Mischung aus Alltags- Bildungs- und Fachsprache, wobei die Bildungs- und Fachsprache in höheren Klassenstufen mehr Raum des Sprachgeschehens einnehmen (Schroeter-Brauss, Wecker & Henrici, 2018). Da der Lernerfolg im naturwissenschaftlichen Unterricht eng verbunden ist mit den sprachlichen Fähigkeiten, sollte Fachunterricht immer auch Sprachunterricht sein (ebd.). Auch Bildungsstandards sehen (Fach-)Sprache als ein grundlegendes Instrument, dass zur Entwicklung von Kompetenzen dient (MSB, 2019; MSB 2013). Der Unterricht in Naturwissenschaften ist geprägt durch die Fachsprache der jeweiligen wissenschaftlichen Disziplin und erfordert somit fachspezifische Sprachkompetenzen wie einen großen Wortschatz (Schroeter-Brauss, Wecker & Henrici, 2018). Die Bedeutung der Vermittlung und Verwendung von Fachbegriffen spiegelt sich allerdings nicht in Lehrbüchern wider (ebd.).

Spiele als Lerngelegenheit

Spielen ist ein Grundbedürfnis des Menschen und eine universelle Verhaltensweise (Fischer & Reichmuth, 2020). Es ist davon auszugehen, dass die Geschichte des Spielens und des Spiels deswegen so alt wie die Menschheit selbst ist (Warwitz & Rudolf, 2021). Aus entwicklungspsychologischer Perspektive ist keine Trennung zwischen Spielen und Lernen möglich, weswegen Spielen als Grundlage für spätere (schulische) Bildungsprozesse dient (ebd.). So ist es nicht verwunderlich, dass auch Lernspiele oder Spiele zu pädagogischen Zwecken eine lange Tradition haben (Retter, 1979).

Das Konzept der Gamification erfreut sich aktuell großer Beliebtheit (Fischer & Reichmuth, 2020; Fuchs, 2020). Unter dem Begriff ist der Einsatz spieltypischer Elemente in nicht-spielerischen Kontexten zu verstehen (Keller, Klein & Tuschl, 2015; Fischer & Reichmuth, 2020).

Eng eingegrenzt umfasst der Begriff Gamification (auch Gameful Design) lediglich die Verwendung gamifizierter Elemente (Fischer & Reichmuth, 2020). Dem gegenüber stehen die häufig synonym verwendeten Bezeichnungen Serious Games (ernsthaftes Spielen) und Game-based Learning (auf Spielen basierendes Lernen), die vollständige Spiele beschreiben bzw. darauf fußen (ebd.). Die Abgrenzung zwischen kompletten Spielen und ausschließlich spieltypischen Elementen ist jedoch nicht ganz trennscharf (ebd.). Allen Begriffen gemein ist, dass sie regelbasierte, zielorientierte Spielformen beschreiben (ebd.). Gleiches gilt auch für Lernspiele, die zu den Serious Games zählen. Diese sind nicht nur zielorientiert, sondern verfolgen darüber hinaus explizit eine betonte Lernabsicht (Thiele, 2020).

Das Spiel „Project Find & Link"

Eine detailliertere Beschreibung des Spiels „Project Find & Link" findet sich in Ref. (Schauer-Bollig et al., in Druck), so dass Inhalt und Ablauf des Spiels hier nur grob erläutert werden. Das Spiel wurde mit dem Ziel entwickelt, das Vertiefen und Vernetzen von Fachbegriffen im Physikunterricht zu fördern sowie zur Kooperation und Kommunikation unter den Lernenden anzuregen. Die Zielgruppe sind Schüler*innen der Sekundarstufe I an Gymnasien und Gesamtschulen.

Inhaltlich sind die Fachbegriffe an den Kernlehrplan dieser Zielgruppe für das Fach Physik in Nordrhein-Westfalen angepasst. Es gibt 13 Themensets mit physikalischen Fachbegriffen, elf davon orientieren sich an den Inhaltsfeldern des Kernlehrplans. Die zwei weiteren Themensets „Experimentieren" und „Wissenschaftler" sind stufenunabhängig einsetzbar. Durch die flexible Auswahl der Themensets zum Spielen wird ein situationsgerechter Einsatz ermöglicht. Das Spiel ist sowohl zum Üben und Wiederholen am Ende einer Unterrichtseinheit oder eines Schuljahres als auch zum Aktivieren vorhandenen Wissens zu Beginn eines neuen Themas oder eines Schuljahres geeignet.

Ausgelegt ist das Spiel für vier bis zehn Spielende, empfohlen werden jedoch sechs bis acht Spieler*innen. Diese teilen sich in zwei Teams auf und treten gegeneinander an. Für jedes Team wird ein Geheimdienstchef gewählt, die restlichen Spielenden sind Ermittler (s. Abb. 1, links). Das Spielfeld besteht aus 25 Wortkarten mit Decknamen. Hinter diesen sind entweder Agenten, unbeteiligte Zuschauer oder der Attentäter verborgen. Die Identitäten werden über die Codierkarte festgelegt und sind nur den Geheimdienstchefs bekannt. Ziel des Spiels ist es, alle Agenten des eigenen Teams zu finden.

Der Spielablauf ist rechts in Abb. 1 kurz dargestellt. In der ersten Phase gibt der Geheimdienstchef einen Hinweis. Dabei versucht er so viele Begriffe seiner Teamfarbe wie möglich mit nur einem einzigen Wort zusammenzufassen. Der Hinweis besteht dann nur aus diesem Wort und der Anzahl der Karten, auf die er verweisen möchte, z. B. „Anziehung 2" für Gravitation und Magnet. In der Phase zwei müssen die Ermittler erraten, welche Begriffe gemeint sein könnten. Die maximale Zahl der Rateversuche entspricht der vorher genannten Anzahl des Geheimdienstchefs. Je nachdem, ob die Ermittler auf einen Agenten des eigenen Teams, einen des gegnerischen Teams, unbeteiligte Zuschauer oder auf den Attentäter tippen, dürfen sie weiterraten, sind die Gegner dran oder das Spiel endet sofort. Das Team, das als erstes alle seine Agenten aufdeckt, gewinnt.

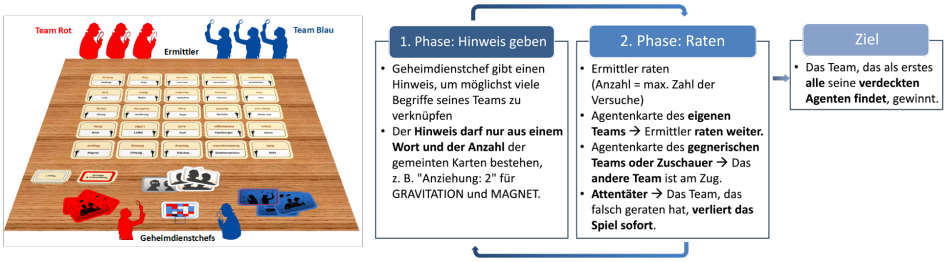


Abb. 1: Aufbau (links) und Ablauf (rechts) des Spiels „Project Find & Link“

Ausgewählte Ergebnisse der Erprobungen

Der Prototyp des Spiels wurde mit zwei Kohorten von Proband*innen im Frühjahr 2023 erprobt. Testreihe 1 bestand aus insgesamt 132 Teilnehmer*innen der Unter- und Mittelstufe aus fünf Klassen und einer Arbeitsgemeinschaft (Schauer-Bollig et al., in Druck). Diese teilten sich auf drei Gymnasien (92 Schüler*innen) und zwei Gesamtschulen (40 Schüler*innen) auf. An Testreihe 2 nahmen 20 Expert*innen in vier verschiedenen Gruppen teil. Als Expert*innen werden in diesem Zusammenhang Lehrkräfte für Physik, Technik und Naturwissenschaften sowie Personen mit einem Studium, einer Ausbildung oder einem Beruf im naturwissenschaftlichen bzw. technischen Bereich bezeichnet.

Die Ergebnisse der Erprobungen stützen sich hauptsächlich auf die Auswertung der Fragebögen, die in allen Gruppen verwendet wurden. Zusätzlich wurden in Testreihe 1 in einigen Gruppen Tonaufnahmen gemacht.

Von den Proband*innen wird das Potential des Spiels, zum Vertiefen und Vernetzen von Fachbegriffen beizutragen sowie zur Kommunikation und Kooperation anzuregen, als hoch eingeschätzt (Schauer-Bollig et al., in Druck). Das Spiel eignet sich insbesondere zum Wiederholen von Fachbegriffen. Darüber hinaus kann es zu Diskussionen und einem Austausch von Fachbegriffen anregen. Während die Schüler*innen hauptsächlich unbekannte Fachbegriffe klärten und ihre Vorstellungen zu Fachbegriffen durch das Spielen etwas erweitern konnten, führten die Expert*innen überwiegend fachliche Diskussionen.

In 14 von 20 Fällen umschrieben die Geheimdienstchefs in den Spielen der Schüler*innen nur einen Begriff. In 5 von 20 Fällen wurden zwei und in 1 von 20 Fällen drei Begriffe verknüpft. 69,4 % aller Proband*innen gaben an, dass ihnen das Verknüpfen von Fachbegriffen nach dem Spielen leichter fällt. Bei separater Betrachtung beider Probandengruppen ergibt sich, dass bei den Expert*innen mit 80 % mehr Proband*innen dieser Überzeugung waren als bei den Schüler*innen. In dieser Gruppe war es mit 66,7 % trotzdem eine deutliche Mehrheit.

Fazit & Ausblick

Die ersten Ergebnisse der Erprobungen bestätigen die zugrundeliegende Idee, dass sich die positiven motivationalen, emotionalen, kognitiven und sozialen Effekte des Spielens lernförderlich nutzen lassen. Auf Grund dieser Ergebnisse wird vermutet, dass eine häufigere oder sogar regelmäßige Verwendung des Spiels noch bessere Resultate erzielen würde. Um dies zu überprüfen, werden aktuell weitere Testungen mit Schülergruppen durchgeführt.

Literatur

Fischer, S. & Reichmuth, A. (2020). Gamification – Spielend lernen. Bern: hep

Forkel, A. (2009). Entdeckendes Lernen mit Lernspielen im Unterricht der Sekundarstufe I: Konzeptionelle Grundlegung, Entwicklung und Erprobung. Köln:

Fuchs, P. (2020). Die Bedeutung des Gesellschaftsspiels. https://www.jungundaltspielt.de/wp-content/uploads/2020/08/Spielen.pdf (24.10.24)

Keller, B., Klein, H.-W. & Tuschl. S. (2015). Zukunft der Marktforschung: Entwicklungschancen in Zeiten von Social Media und Big Data. Wiesbaden: Springer

MSB [Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen] (Hrsg.) (2013). Kernlehrplan für die Gesamtschule – Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen: Naturwissenschaften. Düsseldorf:

MSB [Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen] (Hrsg.) (2019). Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen: Physik. Düsseldorf:

Retter, H. (1979). Spielzeug. Handbuch zur Geschichte und Pädagogik der Spielmittel. Weinheim, Basel: Beltz

Schauer-Bollig, R., Hinkelmann, M. & Heinke, H. (in Druck). Project Find & Link: ein Gesellschaftsspiel zum Vertiefen und Vernetzen physikalischer Fachbegriffe. In H. Grötzebauch (Hrsg.), PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2024 in Greifswald.

Schroeter-Brauss, S., Wecker, V. & Henrici. L. (2018). Sprache im naturwissenschaftlichen Unterricht. Münster, New York: Waxmann

Thiele, R. (2020). Spielend lernen: Was macht ein gutes Lernspiel aus?. In V. Mehringer & W. Warburg (Hrsg.), Spielzeug, Spiele und Spielen. Wiesbaden: Springer, 143 - 156

Traub, S. (2004). Unterricht kooperativ gestalten. Kempten: Julius Klinkhardt

Warwitz, S. & Rudolf, A. (2021). Vom Sinn des Spielens: Reflexionen und Spielideen. (5. Aufl.). Baltenmannsweiler: Schneider Verlag

Elena Klaric[1]
Gabriele Blell[1]
Andreas Nehring[1]

[1]Leibniz Universität Hannover

„Wie sagt man das am besten?!“ – Fachfremdsprachliches Sprechen beim Experimentieren im CLIL-Chemieunterricht

Theoretische Verortung und Forschungsdesiderata

Eine explizite Sprachbildung auf bildungs-/fachsprachlicher Ebene[1] ist vor dem Hintergrund vieldiskutierter diversitätssensibler, individualisierender und inklusiver Perspektiven mit Blick auf eine „Verbesserung der Chancengleichheit und Bildungsgerechtigkeit“ (KMK, 2019, S. 2) von eminenter Bedeutung. Im Sinne angestrebter gleicher Bildungschancen müssen alle Schüler:innen, z.B. unabhängig ihrer individuellen Bildungshintergründe, erfolgreich am Fachunterricht teilnehmen können. Dies schließt ein sprachliches Verständnis sowie die Realisierung von Ideen auf bildungs-/fachsprachlicher Ebene ein, nicht zuletzt um ein vertieftes fachliches Verständnis (Coyle & Meyer, 2021) gewährleisten zu können. In der Vergangenheit wurde die Bildungs-/Fachsprache vornehmlich mit einer konzeptionellen Schriftlichkeit in Verbindung gebracht und der durch Mündlichkeit geprägten Alltagssprache konträr gegenübergestellt (Vollmer & Thürmann, 2010). Diese mit konzeptioneller Schriftlichkeit assoziierte Perspektive auf Bildungs-/Fachsprache zeigt sich auch heute noch insofern in der Literatur, als diese kaum mit Mündlichkeit in Verbindung gebracht wird. Vielmehr gilt es, in unterrichtlichen Prozessen auch bildungs-/fachsprachlich adäquat mündlich zu handeln (Gogolin, Lange, Michel & Reich, 2013) und sich dabei an den Regeln des Schriftsprachgebrauchs zu orientieren (Feilke, 2012). Dies ist in einem Unterricht, in dem interaktive Phasen und Sprechanlässe, die über kurze Redebeiträge hinaus (Pineker-Fischer, 2017; Sumfleth & Pitton, 1998) stets zu maximieren sind (Schmölzer-Eibinger, 2013), systematisch zu fördern, indem dem oft defizitären Sprechen schwerpunktartig Aufmerksamkeit gewidmet wird (Sumfleth et al., 2013 in Seidl, 2023).

Content and Language Integrated Learning (CLIL, auch bekannt als ‚bilingualer‘ Sachfachunterricht) vereint die erforderliche Verzahnung von Sprach- und Inhaltslernen und gilt – bedingt durch den Einsatz einer Fremdsprache (hier englische Sprache im Fokus der Studie) – und den dadurch natürlichen Sprachfokus als „besonders günstige Ausgangsbasis für die Ausbildung von sprachlich ausgedrückter Expertise im Sachfach“ (Heine, 2012, S. 106). Aus diesem Grund findet CLIL als Bildungsansatz zur Sprachbildung in der Unterrichtspraxis Verwendung (Bonnet, 2019).

CLIL-Unterricht ist damit jedoch nicht per se sprachsensibel. Die ersten empirischen Befunde von Bonnet (2004) liefern vielmehr Evidenz für defizitäre fachfremdsprachliche Kompetenzen von Schüler:innen im ‚bilingual‘ unterrichteten Unterrichtsfach Chemie. Weitere Forschung für das Fach Chemie liegt in diesem Kontext jedoch lediglich mit

[1] Die Bildungssprache als interdisziplinär formales Sprachregister und die Fachsprache als fachspezifisches formales Sprachregister teilen zentrale Charakteristika, weswegen eine Abgrenzung voneinander nicht trennscharf ist und sich Unterschiede insbesondere auf lexikalischer Ebene (z.B. Fachterminologie) zeigen (Wey, 2022). Vor dem Hintergrund, dass sowohl die Bildungs- als auch die Fachsprache gemeinsam gefördert werden müssen, sollen diese Begrifflichkeiten in diesem Beitrag synonym verwendet werden.

Connollys Interventionsstudie (2019) und einem Schwerpunkt auf der Förderung schriftlicher Sachfachliteralität vor. Die Förderung der mündlichen Sachfachliteralität im CLIL-Chemieunterricht bildet insofern ein wesentliches Forschungsdesiderat. Es bleibt dabei offen, inwiefern sich die referierten grundsätzlichen Defizite auch in weiteren CLIL-Chemie-Kontexten, in erster Linie auf der mündlichen Diskursebene, zeigen und welche Schlussfolgerungen daraus zu ziehen sind. Eine konstante Spracharbeit im (CLIL-)Unterricht gilt (aus theoretischer Perspektive) diesbezüglich als zu verfolgendes Ziel, um die sprachbildenden, dem CLIL inhärenten Potenziale zu nutzen und, um allen Schüler:innen den Erwerb fachlicher sowie bildungs-/fachsprachlicher Kompetenzen zu ermöglichen.

Kontext der Studie und Forschungsfrage

Im Verlauf einer Feldstudie wurden Daten in einer zehnten gymnasialen Schulklasse des CLIL-Chemieunterrichts an einer norddeutschen Schule erhoben. Der Forschungsfokus liegt dabei auf der monolingual-fremdsprachlichen, mündlichen Sachfachliteralität im Kontext des Experimentierens. Im Bereich der Sprachdidaktik existieren bereits verschiedene Ansätze, das für die Chemie repräsentative Laborprotokoll zur Sprachförderung zu nutzen (Becker-Mrotzek & Böttcher, 2013). Vor diesem Hintergrund bilden die drei Schritte der Hypothesenformulierung, Versuchsbeschreibung und -erklärung, die mit drei zentralen Diskursfunktionen korrelieren (Krabbe, 2015), entlang eines idealisierten Ablaufs der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung den Rahmen der Datenerhebung.

In diesem Beitrag soll ausschnitthaft die folgende Forschungsfrage des Dissertationsprojektes in den Blick genommen werden: Welche Bedarfe zeigen sich in Bezug auf die Förderung von mündlicher Sachfachliteralität in der CLIL-Chemie-Unterrichtspraxis?

Methodisches Vorgehen

In einem Fallstudienansatz wurde mit dem Ziel einer Bestandsanalyse die alltägliche CLIL-Chemie-Unterrichtspraxis in der fokussierten Klasse mittels Hospitationen und Feldnotizen mit einem Fokus auf der Unterrichtsgestaltung und dem Schwerpunkt der Rolle von mündlicher Bildungs-/Fachsprache beleuchtet. Des Weiteren wurden Audioaufzeichnungen von Interaktionen (Lehrkraft/Schüler:innen) angefertigt. Darauf folgten problemzentrierte, offene Interviews mit den Schüler:innen in Fokusgruppen, welche nach einer Transkription qualitativ inhaltsanalytisch (Mayring, 2015) ausgewertet wurden.

Ausgewählte vorläufige Befunde

Für den Untersuchungsfall deutet sich an, dass im Unterrichtsalltag des CLIL-Chemieunterrichts wenige Gelegenheiten zum (fachfremdsprachlichen) Sprechen eingefordert werden und, dass der Kontext des Experimentierens dabei wenig als genuin-(fachfremd-)sprachlicher Interaktionsraum genutzt wird, sodass die Schüler:innen kaum aufgefordert werden, eigenständig und in vollständigen Sätzen Hypothesen, Versuchsbeschreibungen und -erklärungen mündlich zu formulieren. Der unterrichtliche Fokus liegt verstärkt auf dem stichwortartigen Verschriftlichen experimenteller Beobachtungen und Ergebnisse, was i.d.R. maßgeblich von Unterstützungsmaßnahmen der unterrichtenden Lehrkraft gelenkt wird und durch schüler:innenseitiges Vorlesen von Kurzphrasen im Plenum erfolgt. Wird eine fachfremdsprachliche Interaktion zu Hypothesen, Versuchsbeschreibungen und -erklärungen (für die Durchführung der Studie) eingefordert,

wird aus Schüler:innenperspektive unter anderem von Unsicherheiten und fehlenden Sprachmitteln insofern berichtet, als dass ein:e Schüler:in äußert: „[…] wie sagt man das am besten?! Keine Ahnung halt“. Andere Schüler:innen merken dahingehend bspw. auch an, dass Sprache konträr zum Englischunterricht im Fach Chemie nebensächlich sei, dass das (fachfremdsprachliche) Sprechen regulär nicht schwerpunktartig eingefordert werde und, dass kein aktives (Fach-)Sprachenlernen im CLIL-Chemiekontext erfolge. Es wird indes auch – analog zu den Hospitationsbefunden – geschildert, dass der Kontext des Experimentierens nicht als (fachfremdsprachlicher) Interaktionsprozess geläufig sei und, dass der Fokus auf der Verschriftlichung liege.

Diskussion: Theorie trifft auf Praxis – Fragen der Realisierbarkeit

Die vorläufigen Befunde aus der untersuchten CLIL-Unterrichtspraxis des Faches Chemie decken sich mit den Forschungserkenntnissen über den deutschsprachigen Chemieunterricht. Dies zeigt sich insofern, als dass analog zum deutschsprachigen Unterricht und entgegen der theoretischen Leitbilder für CLIL, die Lehrperson die Kommunikation auch im untersuchten CLIL-Chemieunterricht dominiert (Franke-Braun, 2008), was z. B. kurze Antworten von Schüler:innen im Plenum zur Folge hat (Pineker-Fischer, 2017; Sumfleth und Pitton, 1998). Auch Unsicherheiten bezogen auf die Verwendung von Bildungs-/Fachsprache bestehen insofern sowohl im deutschsprachigen (Seidel, 2023) als auch im CLIL-Chemieunterricht. (Bildungs-/Fach-)Sprachbildung wird von vielen Lehrkräften als zeitlich herausfordernde, „zusätzlich aufgebürdete Aufgabe“ (Heine, 2012, S. 106) betrachtet, sodass der Zeitaspekt sowie auch ein Material- und Fortbildungsmangel für Lehrkräfte (Connolly, 2019) die theoretischen Forderungen für eine praktische Umsetzung erschweren können. Deutlich wird jedoch auch, dass sich bereits an dieser Stelle wiederum weiterführende, offene Fragen ergeben, die das Spannungsfeld Theorie – Praxis betreffen: Inwiefern lassen sich die theoretisch fundierten Perspektiven für mündliche (Bildungs-/Fach-)Sprachbildung im alltäglichen (CLIL-)Unterrichtsalltag überhaupt realisieren? Inwiefern besteht ein Bewusstsein für das Erfordernis einer Förderung der mit konzeptioneller Schriftlichkeit assoziierten Bildungs-/Fachsprache auf mündlicher Ebene?

Ausblick: Anknüpfung an Bedarfe einer expliziten Sprachbildung

Anknüpfend an die erfolgte Bedarfsanalyse soll sodann der Frage nachgegangen werden, inwiefern und wie mündliche Sachfachliteralität in der CLIL-Unterrichtspraxis im Fach Chemie gefördert werden kann. Dafür folgt eine Intervention zur Förderung mündlicher Sachfachliteralität mittels expliziter Spracharbeit auf Wort- und Satzebene (sprach- und inhaltsintegrierte Vokabelarbeit und Übungen; Erklärvideos mit dem Schwerpunkt auf der Vermittlung kognitiver Diskursfunktionen). Die prä-, interventionsbegleitende sowie post-interventionelle Datenerhebung erfolgt dabei mittels Audioaufzeichnungen von Schüler:innen-Äußerungen, die im Sinne der (adaptierten) Tagungsmethode nach Nehring und Lüttgens (2019) das fachfremdsprachliche Sprechen über Experimente im Rahmen einer Nachstellung einer Chemie-Fachtagung von Schüler:innen einfordert. Die Audiodaten werden nach einer Transkription qualitativ inhaltsanalytisch (unter Co-Codierung) analysiert (Mayring, 2010) und ein eingesetzter Fragebogen zur Erhebung der Schüler:innen-Perspektive auf das Interventionsmaterial (entlang einer Likert-Skala) wird sodann quantitativ ausgewertet.

Literatur

Becker-Mrotzek, M., Böttcher, I. (2013). Schreibkompetenz entwickeln und beurteilen. Berlin: Cornelsen.

Bonnet, A. (2004). Chemie im bilingualen Unterricht. Kompetenzerwerb durch Interaktion. Opladen: Leske und Budrich.

Bonnet, A. (2019). Bilingualer Sachfachunterricht in der Perspektive von vorhandener und weiterzubauender Mehrsprachigkeit. In C. Fäcke & F.J. Meißner (Hrsg.), Handbuch Mehrsprachigkeits- und Mehrkulturalitätsdidaktik. Tübingen: Narr Francke Attempto, 509-513.

Connolly, T. (2019). Die Förderung vertiefter Lernprozesse durch Sachfachliteralität: Eine vergleichende Studie zum expliziten Scaffolding kognitiver Diskursfunktionen im bilingualen Chemieunterricht am Beispiel des Erklärens. Dissertation.

Coyle, D., Meyer, O. (2021). Beyond CLIL. Pluriliteracies Teaching for Deeper Learning. Cambridge: Cambridge University Press.

Feilke, H. (2012). Bildungssprachliche Kompetenzen - Fördern und entwickeln. Praxis Deutsch, 39 (233), 4-13.

Franke-Braun, G. (2008). Aufgaben mit gestuften Lernhilfen: Ein Aufgabenformat zur Förderung der sachbezogenen Kommunikation und Lernleistung für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Berlin: Logos-Verlag.

Gogolin, I., Lange, I., Michel, U. & Reich, H. H. (2013). Herausforderung Bildungssprache – und wie man sie meistert. Münster: Waxmann.

Heine, L. (2012). Mehr als nur Terminologie – Sprache im bilingualen Sachfach Erdkunde als Weg in die Fachlichkeit. In B. Diehr & L. Schmelter (Hrsg.), Bilingualen Unterricht weiterdenken. Programme, Positionen, Perspektiven. Frankfurt am Main: Peter Lang, 91-110.

Kultusministerkonferenz (KMK). (2019). Bildungssprachliche Kompetenzen in der deutschen Sprache stärken. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2019/2019_12_05-Beschluss-Bildungssprachl-Kompetenzen.pdf

Krabbe, H. (2015). Das Versuchsprotokoll als fachtypische Textsorte des Physikunterrichts. In E. Thürmann & S. Schmölzer-Eibinger (Hrsg.), Schreiben als Medium des Lernens: Kompetenzentwicklung durch Schreiben im Fachunterricht. Münster: Waxmann, 157-174.

Mayring, P. (2015). Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlage und Techniken. Weinheim: Beltz.

Nehring, A., Lüttgens, U. (2019). Die Tagungsmethode. Kommunikationskompetenz und Nature of Science Konzepte handlungs- und problemorientiert fördern. Unterricht Chemie, 174, 14-19.

Pineker-Fischer, A. (2017). Sprach- und Fachlernen im naturwissenschaftlichen Unterricht: Umgang von Lehrpersonen in soziokulturell heterogenen Klassen mit Bildungssprache. Wiesbaden: Springer VS.

Seidl, S. (2023). „Das mein ich ja - oder doch nicht?" Qualitative Analyse von Redebeiträgen von Lernenden im chemieunterrichtlichen Diskurs der Sekundarstufe I. Dissertation.

Schmölzer-Eibinger, S. (2013). Sprache als Medium des Lernens im Fach. In M. Becker-Mrotzek, K. Schramm, E. Thürmann & H.J. Vollmer (Hrsg.), Sprache im Fach. Sprachlichkeit und Fachliches Lernen. Münster: Waxmann, 25-40.

Sumfleth, E. & Pitton, A. (1998). Sprachliche Kommunikation im Chemieunterricht: Schülervorstellungen und ihre Bedeutung im Unterricht. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 4 (2), 4–20.

Vollmer, H. J., Thürmann, E. (2010). Zur Sprachlichkeit des Fachlernens: Modellierung eines Referenzrahmens für Deutsch als Zweitsprache. In B. Ahrenholz (Hrsg.), Fachunterricht und Deutsch als Zweitsprache. Tübingen: Narr Francke Attempto, 107-132.

Wey, S. (2022). Wie Sprache dem Verstehen hilft: Ergebnisse einer Interventionsstudie zu sprachsensiblem Geographieunterricht. Wiesbaden: Springer VS.

Valerie Vogel[1]
Heiko Krabbe[1]

[1]Ruhr-Universität Bochum

Evaluation einer Schreibförderung zum experimentellen Prüfen

Theoretischer Hintergrund

Sprache soll als „Medium des Lernens“ in der Schule explizit und systematisch gefördert werden (Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung, 1999, S.2). Für den Schulerfolg ist die bildungssprachliche Kompetenz von großer Bedeutung, denn Sprache vermittelt Lerninhalte interpersonell und dient intrapersonell als Denkwerkzeug (Schmölzer-Eibinger, 2013, Rincke & Krabbe, 2020). Sprache ist somit elementare Basis des fachlichen Lernens. Zur Förderung der Fachsprache bietet sich insbesondere das Schreiben als verlangsamter und bewussterer Prozess gegenüber dem Sprechen an (Schmölzer-Eibinger, 2013). In den naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern werden insbesondere Versuchsprotokolle geschrieben. Bei diesen hängen fachsprachliche und fachliche Kompetenzen hoch signifikant zusammen (Enzenbach, Krabbe & Fischer, 2019). Sprachförderung anhand der Textsorte Versuchsprotokoll soll daher auch der Förderung der fachlichen Kompetenzen dienen. Für die Textsorte Versuchsprotokoll konnten mit schreibfördernden Interventionen bislang jedoch keine signifikanten Effekte erzielt werden (Krabbe & Timmermann, 2022; Österlein et al., 2023). Dabei wurde die Schreibförderung zu den Teilprozessen des Versuchsprotokolls (Forschungsfrage, Durchführung, Dokumentation, Ergebnisse und Schlussfolgerungen) durchgeführt. Gut-Glanzmann und Mayer (2018) schlagen eine vom Teilprozessansatz abweichende Systematisierung von Experimenten vor. Nach dieser werden Experimente bezüglich der Problemstellung, die mit dem Experiment bearbeitet wird, unterschieden. Dabei gilt: „Teilfähigkeiten werden im Gegensatz zum Teilprozess nicht als sequenziell zu denkende Prozessfähigkeiten unterschieden […], sondern als Fähigkeit, unterschiedliche experimentelle Problemstellungen (*Problemtypen*; Gut et al. 2014) lösen zu können“ (Gut-Glanzmann & Mayer, 2018, S.125).

Zielsetzung und ausgewählte Forschungsfragen

Da mit sprachfördernden Interventionen nach den Teilprozessen des Experiments bislang keine signifikant lernförderlichen Ergebnisse erzielt wurden, wird ein anderer Ansatz der Sprachförderung gewählt, der die Problemtypen des Experiments nach Gut-Glanzmann und Mayer (2018) mit der Sprachförderung verflechtet. Dazu wird eine sprachfördernde Unterrichtseinheit zu einem Problemtyp entwickelt, dem experimentellen Prüfen, das dem effektbasierten Identifizieren nach Gut-Glanzmann und Mayer (2018) entspricht. In der Evaluation der Unterrichtseinheit ist die Entwicklung der sprachlichen und fachlichen Kompetenzen von Interesse. Dies ist in den folgenden Forschungsfragen abgebildet:

- F1: Inwiefern entwickeln sich die sprachlichen und fachlichen Kompetenzen in Prüfberichten zum Problemtyp experimentelles Prüfen durch die Unterrichtseinheit?
- F2: Inwiefern sind die in der Unterrichtseinheit vermittelten sprachlichen Kompetenzen in Prüfberichten von Lernenden mit unterschiedlichen allgemeinen Sprachkompetenzen repräsentiert?

Design der Intervention

Ziel war die Entwicklung einer Intervention, die fachsprachliches und fachlich-experimentelles Lernen kombiniert und im regulären Physikunterricht und seinen Themen anwendbar ist. Entwickelt wurde eine Unterrichtseinheit zum Thema „Hören und Sehen prüfen“, die aus vier Experimenten besteht, in denen die Lernenden ihre eigenen Sinne prüfen. Das erste Experiment, in dem die Lernenden ihre Rot-Grün-Sehfähigkeit prüfen, fungiert als Prototyp dieses Problemtyps und wird entsprechend nicht in der Auswertung berücksichtigt. Im Fokus der Unterrichtsreihe steht die Relevanz und das Formulieren von Prüffragen sowie das Angeben und Formulieren von begründeten Schlussfolgerungen. Gefordert, aber nicht explizit gefördert werden weiterhin auch das Aufbauen von Versuchen, Beobachten und Dokumentieren.

Forschungsdesign

Vor Beginn der Unterrichtseinheit wurde die Sprachfähigkeit der Lernenden mittelt C-Test erhoben und so die allgemeine Sprachfähigkeit festgestellt. Anschließend wurde die Unterrichtseinheit im Physikunterricht einer 6. Klasse einer Gesamtschule in Nordrheinwestfalen von der Autorin durchgeführt. Der Stichprobenumfang beträgt $N = 19$. Im Verlauf der Unterrichtseinheit verfassten Lernende Texte, die ihre sprachlichen und fachlichen Kompetenzen widerspiegeln. Nach Durchführung der Unterrichtseinheit wurden die Schreibprodukte, mittels qualitativer Inhaltsanalyse nach Mayring (2022) analysiert. Dazu wurde in der Phase der Zusammenfassung induktiv ein Kategoriensystem auf Basis der Texte der Lernenden erarbeitet. Anschließend wurden die Schreibprodukte in der Phase der Strukturierung anhand des Kategoriensystems kodiert. Die aus den Schreibprodukten der Lernenden gewonnen Daten und die Ergebnisse des C-Tests wurden miteinander in Verbindung gesetzt, indem ordinale Korrelationen zwischen der allgemeinen Sprachfähigkeit, sprachlichen und fachlichen Kompetenzen bestimmt wurden. Weiterhin wurden für die drei Messzeitpunkte (drei Experimente) relative Auftretenshäufigkeiten der Kompetenzen bestimmt und ein Vergleich des Messzeitpunkte mittels Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test durchgeführt.

Ergebnisse

Entwicklung der Kompetenzen

Die sprachlichen und fachlichen Kompetenzen entwickeln sich ohne einheitlichen Trend (Abb. 1). Sprachliche Kompetenzen entwickeln sich positiv, bei nicht signifikanten Unterschieden zwischen den Messzeitpunkten, sodass im vierten Experiment min. 60% der Lernenden die Kompetenzen, Prüffragen mit spezifischen sprachlichen Mitteln zu formulieren (PS1) und Entscheidung und Begründung mit Konjunktionen oder Adverbien zu verbinden (AS1), aufweisen. Die fachlich-experimentellen Kompetenzen eine Entscheidung anzugeben (AE1) und diese mit den gemachten Beobachtungen zu begründen (AE2), werden bereits zu Beginn der Unterrichtsreihe von über 80% der Lernenden gezeigt. Die relativen Häufigkeiten dieser Kompetenzen bleiben im vierten Experiment auf ähnlichem Niveau, bei nicht signifikanten Unterschieden. Der teils signifikante Rückgang im dritten Experiment kann mit einer Besonderheit im Design des Experiments begründet werden.

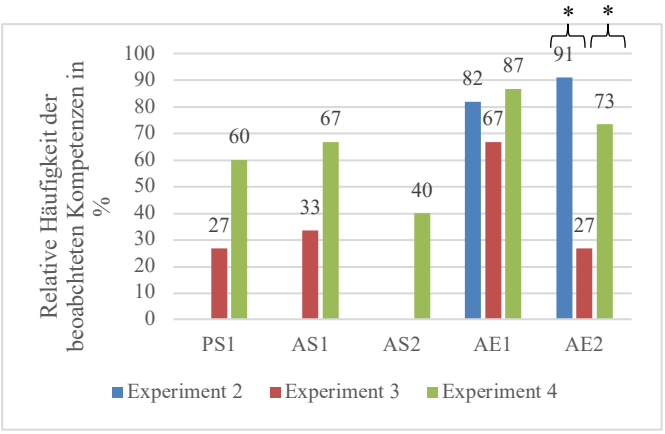


Abb. 1: Relative Häufigkeiten der Kompetenzen zu verschiedenen Messzeitpunkten
Sofern nicht anders angegeben, bestehen keine signifikanten Unterschiede
** entspricht einem signifikanten Unterschied, α < .05*

Zusammenhang zwischen fachsprachlichen und allgemeinsprachlichen Kompetenzen
Zwischen den fachsprachlichen Kompetenzen und der allgemeinen Sprachfähigkeit in Deutsch besteht eine signifikant große Korrelation (r_s = .62, p < .05). Gleiches gilt bei Betrachtung der Textteile *Prüffrage* und *Auswertung*. Die Anzahl der gezeigten Kompetenzen im Textteil *Prüffrage*, weist eine signifikante große Korrelation mit der allgemeinen Sprachfähigkeit auf (r_s = .62, p < .05). Im Textteil *Auswertung* zeigt sich ebenfalls eine große Korrelation zwischen beiden Kompetenzen, die jedoch einen p-Wert geringfügig oberhalb des Signifikanzniveaus aufweist (r_s = .50, p = .08). Je höher also die allgemeine Sprachkompetenz der Lernenden, desto höher sind die fachsprachlichen Kompetenzen in Prüfberichten. Dies gilt ebenfalls für den Textteil *Prüffrage*.

Fazit und Ausblick
Die untersuchten fachsprachliche Kompetenzen werden im Verlauf der Messzeitpunkte zunehmend erlernt und umgesetzt, weshalb die Sprachförderung als gelungen angesehen werden kann. Experimentelle Kompetenzen werden bereits zu Beginn der Intervention vielfach erfolgreich angewendet und im Verlauf der Unterrichtseinheit weiter auf hohem Niveau gezeigt, mit Ausnahme des 3. Experiments, auf dessen Design der Rückgang der Kompetenzhäufigkeit zurückzuführen ist. In diesem Experiment prüften die Lernenden ihr räumliches Sehvermögen, wobei differenzierter beobachtet und begründet werden musste als in den anderen Experimenten. Eine Untersuchung mit mehr Messzeitpunkten wäre von Interesse, um die Kompetenzentwicklung genauer untersuchen zu können.
Weiterhin kann gezeigt, dass die fachsprachlichen Kompetenzen umso höher sind, je höher die allgemeinsprachlichen Kompetenzen sind.
Mit der Sprachförderung nach experimentellem Problemtyp wurde ein vielversprechender neuer Weg beschritten, entgegen der etablierten Sprachförderung nach Teilprozessen.

Literatur

Gut-Glanzmann, C. & Mayer, J. (2018). Experimentelle Kompetenz. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 121-140). Springer.

Krabbe, H & Timmerman, P. (2022). *Beschreiben* und *Erklären* im Versuchsprotokoll des Physikunterrichts. In Roll et al. (Hrsg.), *Schreibförderung im Fachunterricht der Sekundarstufe I* (S. 251-282). Waxmann.

Mayring, P. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse – Grundlagen und Techniken* (13. Aufl.). Beltz.

Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung (1999). *Förderung in der deutschen Sprache als Aufgabe des Unterrichts in allen Fächern.* Schulministerium NRW.
schulentwicklung.nrw.de/cms/angebote/foerderung-in-der-deutschen-sprache/angebot-home/startseite.html

Österlein, J.-M., Ropohl, M., Habig, S., Morek, M. (2023). In H. van Vorst (Hrsg.) *Lernen, Lehren und Forschen in einer digital geprägten Welt – Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Aachen 2022* (S. 981-984).

Rincke, K. & Krabbe, H. (2020). Sprache im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & H.E. Fischer (Hrsg.) *Physikdidaktik Grundlagen* (4. Aufl., S. 367-402). Springer Spektrum.

Roll, H. et al. (2019). Schreiben im Fachunterricht der Sekundarstufe I unter Einbeziehung des Türkischen – Ausgangsannahmen, Forschungsdesign und fächerübergreifende Befunde. In Roll et al. (Hrsg.), *Schreiben im Fachunterricht der Sekundarstufe I unter Einbeziehung des Türkischen* (S. 21-47). Waxmann.

Schmölzer-Eibinger, S. (2013). Sprache als Medium des Lernens im Fach. In M. Becker-Mrotzek et al. (Hrsg.) *Sprache im Fach* (3. Aufl., S. 25- 40). Waxmann.

Peter Michael Westhoff[1] [1]Universität Münster
Susanne Heinicke[1]

aufGEZEICHNET – die Lernförderlichkeit des Zeichnens bei der Texterschließung

Skizzen, Zeichnungen und Abbildungen können Studien zufolge beim Dokumentieren, Erschließen neuer Inhalte und im Besonderen beim Erinnern helfen. Gleichzeitig werden aber auch Einschränkungen in der Literatur genannt. Daher beschäftigt sich dieses Projekt damit, inwieweit Zeichnen im Hinblick auf das Lernen und Behalten im naturwissenschaftlichen Unterricht und unter Berücksichtigung der persönlichen Merkmale von Lernenden fördernd wirken kann. In diesem Beitrag werden erste Ergebnisse einer Interviewstudie zur Texterschließung naturwissenschaftlicher Inhalte anhand von drei Methoden (Abzeichnen, Ergänzen einer Grafik, Erstellen einer freien Zeichnung) mit Lernenden (N=50) vorgestellt.

Motivation

Visualisierungen zeigen eine förderliche Wirkung in Bezug auf das Lernen und Erinnern fachlicher Inhalte (Fiorella & Zhang, 2018). Eine ebensolche lernförderliche Wirkung zeigt auch die Aktivität des Zeichnens (Kollmer, Scheiter et al. 2020). Dabei nimmt die eigene Produktion in der Regel mehr Zeit in Anspruch als die Rezeption, könnte auf fachlich inadäquate Darstellungen führen und ist ggf. von den Kompetenzen der Lernenden abhängig. Gleichzeitig stellt sie eine hohe kognitive Aktivierung dar, da die Zeichnenden den Repräsentationswechsel in der Darstellung der Informationen selbst konstruieren.

Theoretischer Hintergrund

Bei der Verwendung von Abbildungen im Unterricht kann zunächst zwischen Rezeption und Produktion unterschieden werden. Zur **Rezeption**, dem reinen Betrachten von Grafiken, ist u.a. bekannt, dass der Lernerfolg höher ausfallen kann, wenn der Text in angemessener Weise von Grafiken begleitet wird („Multimedia Learning effect“, Mayer, 2014). Zudem verweist Mayer (2014) auf eine Optimierung des Lernerfolges durch Gestaltungsprinzipien von Text und Bild. Weiter zeigen Studien unter Lernenden Schwierigkeiten bei der Integration verbaler und figuraler Darstellungsformen (Renkl & Scheiter, 2017; Schnotz & Wagner, 2018) und Beeinflussung der metakognitiven Beurteilung durch die Illusion des Verstehens (Peeck, 1993; Wiley, 2019). Im Kontrast zur Rezeption sind Lernende bei der **Produktion** eigener Visualisierungen aus Texten deutlich intensiver kognitiv gefordert und es werden vor allem visuelle als auch (senso-)motorische Prozesse aktiviert. Insbesondere das **freie Zeichnen** ist oftmals kognitiv anspruchsvoll und zeitaufwändig (Hellenbrand et al., 2019; Leutner et al., 2009). Neben dem Lesen des Textes müssen Vorwissen aktiviert und die Inhalte in eine graphische Form übersetzt werden, um so durch eine aktive multimodale Verarbeitung ein tieferes Verständnis und den Wissenstransfer zu fördern (Leutner & Schmeck, 2014; Zhang & Fiorella, 2019). Entsprechend besteht die Gefahr der Überforderung durch die Fülle an kognitiven Aktivitäten bei Lernanfänger (Seufert, 2003, 2019; Skuballa et al., 2018) und der Konstruktion ungenauer bis fehlerhafter mentale Modelle durch geringe Zeichenqualität (Zhang und Fiorella, 2021).

Diese Herausforderungen und Fehlerquellen treten bei der **Reproduktion** einer Grafik, d.h. beim **Abzeichnen**, nur selten auf. Im Gegensatz zum freien Zeichnen werden hier Inhalte lediglich übertragen, sodass die Lernenden nahezu komplett im zeichnerischen Bereich gefordert sind und die eigene Konstruktionsleistung verringert wird, bzw. entfällt.

Neueste Studien unter Studierenden haben gezeigt, dass unvollständige Grafiken bei der Qualität ihrer Zeichnung und im Besonderen bei der Einschätzung zum tieferen Verständnis und

Detailgrad helfen können (Kollmer, Scheiter et al. 2020). Bei dieser Mischform aus Freizeichnen und gegebener Grafik, dem **Ergänzen** einer Grafik, sind einzelne Elemente (z.B. strukturierend) vorgegeben, die durch die Inhalte des Textes ergänzt werden müssen. Es wird vermutet, dass diese Form den Lernenden beim Zeichenprozess, u.a. der ersten Schritte der Zeichnung oder dem Fokus auf relevanten Inhalten besonders unterstützt.

Forschungsfragen

Bei der Frage nach der Lernwirksamkeit ist die Heterogenität der Lernenden zu beachten, da sich verschiedene Methoden der Produktion und Rezeption je nach Kompetenzen und Persönlichkeitsmerkmalen der Lernenden unterschiedlich auf den Lernerfolg auswirken können. So stehen im Fokus der Studie die personenbezogenen Merkmale der Lernenden und die Lernwirksamkeit des Zeichnens als Lern- und Behaltensmethode. Auf dieser Grundlage werden die drei Texterschließungsmethoden mit unterschiedlicher Zeichenaktivitäten (Abzeichnen, Ergänzen und Freizeichnen) und als Kontrollgruppe das reine Betrachten einer Grafik verglichen. Die Studie geht dabei den folgenden Forschungsfragen nach:

1. *Personenbezogene Merkmale* - Welche Selbstwerteinschätzung zur Kreativität (SSCS) und zum Zeichnen (SWE-Z) und welche Motivation zum Umgang mit Zeichnungen im Unterrichtskontext (ZIU) bringen Lernende mit?
2. *Lernföderlichkeit* – Wie lernförderlich zeigen sich Methoden des Zeichnens in drei Varianten (abzeichnen, ergänzen, freizeichnen) und die Methode des Betrachtens im Kontext des Physikunterrichts bei Lernenden der 8. und 9. Klasse des Gymnasiums / der Gesamtschule?
3. *Personenbezogene Merkmale und Lernförderlichkeit* - Wie hängen die Lernförderlichkeit der Methoden (FF2) und die personenbezogenen Merkmale (FF1) zusammen?
4. *Hürden und Hilfen bei der Umsetzung der Methoden mit Zeichnungen:*
    a. Welche Schwierigkeiten treten bei den drei Methoden zur Texterschließung mit Zeichnungen auf?
    b. Wie beurteilen die Lernenden die Methode des Ergänzens im Hinblick auf die Unterstützung beim Zeichnen und ihre Lernförderlichkeit?

In diesem Artikel wird der Fokus auf die FF2 gelegt und erste Ergebnisse werden präsentiert.

Auswahl der Erhebungsinstrumente

Zur Untersuchung der FF2 wurde eine Studie nach dem Pre-Post-Design mit zwei unterschiedlichen Texten (zur Wärmeisolation der Ente und der Entstehung von Polarlichtern) entwickelt. Diese Texte gliedern sich in vier Absätze: die Einleitung (nur lesen) und drei Abschnitte, deren Inhalt zeichnerisch bearbeitet werden muss. Beim Text zu Polarlichtern bauen die Abschnitte inhaltlich aufeinander auf, bei der Ente nicht. Die Texte enthalten Informationen auf den Ebenen von *Begriffen* (Erwähnung von relevanten Begriffen, z.B. „Teilchen"), *Fakten* (Zuweisung von Eigenschaften zu Begriffen, z.B. „Die Teilchen sind energiegeladen.") und *Zusammenhängen* (Verknüpfung von mehreren Fakten, z.B. „je mehr Teilchen zusammenstoßen, desto mehr Energie wird frei"). Zur Beurteilung des Wissenszuwachses wurde ein Wissenstest (Eigenentwicklung) im Pre- und Postdesign eingesetzt. Zusätzlich schloss sich an die Erhebung ein Interview zur Erschließung des Textes, die Methode und Optimierungen an.

In der Erarbeitungsphase standen den Probanden der jeweilige Text und eine Methode zur Verfügung, nach der jeweils die Textinhalte in eine Grafik gebracht werden sollten. Der Umfang der Zeichenaktivität und Konstruktion der eigenen Zeichnung variierte jedoch bei den jeweiligen Methoden (vgl. Abb. 1):

Das „**Abzeichnen**" einer gegebenen Grafik zeichnet sich durch eine stark geführte Zeichenaktivität aus, da zu dem Text fertige Abbildungen gegeben sind, die komplett übertragen werden müssen.

Beim „**Ergänzen**“ erhalten die Probanden anhand einer unvollständigen Grafik eine grundlegende Struktur ihrer Zeichnung, die gleichzeitig Freiraum für die zeichnerische Feinumsetzung lässt.
Das „**Freizeichnen**“ auf einem leeren Blatt enthält keinerlei grafische Unterstützung. Die Anforderungen an Zeichen- und Konstruktionsaktivität von den Probanden sind entsprechend hoch.

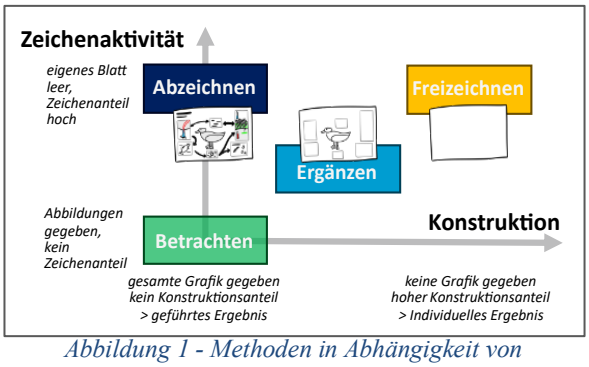


Abbildung 1 - Methoden in Abhängigkeit von Zeichenaktivität und Konstruktionsaktivität

Erste Tendenzen aus den Pilotstudien im Vergleich der Methoden

An der ersten Pilotierung der Textstudie nahmen 50 Lernende der 8. und 9. Klasse teil. Davon bearbeiteten 16 den Text zur Ente (5 abz., 6 erg. und 5 frz.) und 34 den Text zu Polarlichtern (10 abz. 14 erg. und 10 frz.). Aus den Antworten aus Pre- und Posttest wurde eine Differenz der Gesamtpunktzahl und unterteilt in die drei oben genannten Kategorien (Begriffe, Fakten, Zusammenhänge) gebildet. Aus der geringen Stichprobe lassen sich bereits erste Tendenzen im Vergleich der Methoden bei beiden Texten im Hinblick auf die Gesamtpunktdifferenz erkennen. Dabei erreichen die Probanden beim Abzeichnen den geringsten Wissenszuwachs im Vergleich zum Ergänzen und Freizeichnen. Bei Betrachtung der Inhaltsdimensionen zeigen sich Unterschiede bei der Wiedergabe von Begriffen und Fakten. Besonders die Wiedergabe von Zusammenhängen schneidet beim Text zu Polarlichtern, der mit dem Fokus auf Zusammenhänge konzipiert wurde, bei den Methoden mit Konstruktionsaktivität besser ab.

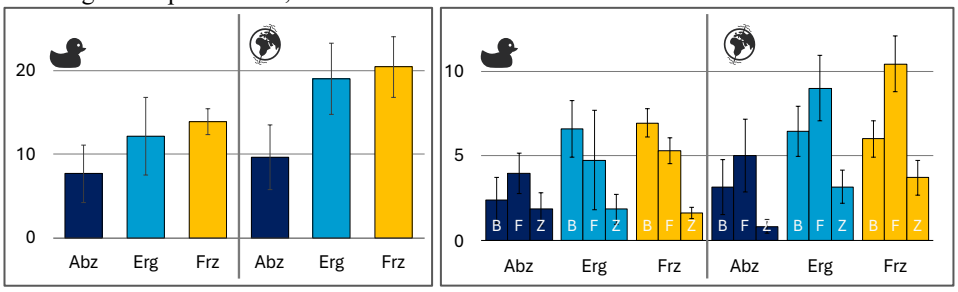


***Abbildung 2** - Darstellung des Punktunterschieds zwischen Pre- und Posttest aufgeteilt nach Text („Ente auf Eis“ und „Leuchten am Himmel“) und **links**: Methode (Abzeichnen, Ergänzen & Freizeichnen) und **rechts**: Methode und Inhaltsdimension (Begriff (B), Fakt (F), Zusammenhang (Z))*

Ausblick

Die Pilotstudie deutet an, dass sich die Konstruktionsleistung beim eigenen Zeichnen positiv auf die Behaltensleistung auswirkt, daher wird die Erhebung in der folgenden Hauptstudie auf eine größere Stichprobe ausgedehnt und als Kontrollgruppe die vierte Methode (Rezeption einer Graphik) hinzugenommen. Zudem werden die Ergebnisse der Erhebung zu personenbezogenen Merkmalen mit den Ergebnissen zum Wissenszuwachs in Zusammenhang gebracht, um so Erkenntnisse von Lernförderlichkeit und Aussagen zum Interesse an Kreativität und Zeichnen zu erlangen (FF3). Die bisherigen Ergebnisse anderer Pilotstudien deuten auf eine positive Einstellung der Lernenden zu ihrer Kreativität und zum Zeichnen im Unterricht hin (Westhoff und Heinicke, 2023).

Literatur

Fernandes, M. A., Wammes, J. D., & Meade, M. E. (2018). The Surprisingly Powerful Influence of Drawing on Memory. Current Directions in Psychological Science, 27(5), 302-308. https://doi.org/10.1177/0963721418755385

Fiorella, L., Zhang, Q (2018). Drawing Boundary Conditions for Learning by Drawing. *Educ Psychol Rev* 30, 1115–1137. https://doi.org/10.1007/s10648-018-9444-8

Hellenbrand, J., Mayer, R. E., Opfermann, M., Schmeck, A. & Leutner, D. (2019). How generative drawing affects the learning process: An eye-tracking analysis. Applied Cognitive Psychology, 33(6), 1147–1164. https://doi.org/10.1002/acp.3559

Kollmer, J., Schleinschok, K., Scheiter, K. et al. (2020) Is drawing after learning effective for metacognitive monitoring only when supported by spatial scaffolds?. Instr Sci 48, 569–589 (2020). https://doi.org/10.1007/s11251-020-09521-6

Leutner, D., Leopold, C. & Sumfleth, E. (2009). Cognitive load and science text comprehension: Effects of drawing and mentally imagining text content. Computers in Human Behavior, 25(2), 284–289. https://doi.org/10.1016/j.chb.2008.12.010

Leutner, D. & Schmeck, A. (2014). The Generative Drawing Principle in Multimedia Learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), The Cambridge Handbook of Multimedia Learning (S. 433–448). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.022

Mayer, R. E. (Hrsg.). (2014). The Cambridge Handbook of Multimedia Learning. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369

Peeck, J. (1993). Increasing picture effects in learning from illustrated text. Learning and Instruction, 3(3), 227–238. https://doi.org/10.1016/0959-4752(93)90006-L

Renkl, A. & Scheiter, K. (2017). Studying Visual Displays: How to Instructionally Support Learning. Educational Psychology Review, 29(3), 599–621. https://doi.org/10.1007/s10648-015-9340-4

Schnotz, W. & Wagner, I. (2018). Construction and elaboration of mental models through strategic conjoint processing of text and pictures. Journal of Educational Psychology, 110(6), 850–863.

Seufert, T. (2003). Supporting coherence formation in learning from multiple representations. Learning and Instruction, 13(2), 227–237. https://doi.org/10.1016/S0959-4752(02)00022-1

Seufert, T. (2019). Training for Coherence Formation When Learning From Text and Picture and the Interplay With Learners' Prior Knowledge. Frontiers in psychology, 10, 193. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00193

Skuballa, I. T., Dammert, A. & Renkl, A. (2018). Two kinds of meaningful multimedia learning: Is cognitive activity alone as good as combined behavioral and cognitive activity? Learning and Instruction, 54, 35–46. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2018.02.001

van Meter, P. (2001). Drawing construction as a strategy for learning from text. Journal of Educational Psychology, 93(1), 129–140. https://doi.org/10.1037/0022-0663.93.1.129

van Meter, P. & Firetto, C. M. (Hrsg.). (2013). Cognitive model of drawing construction: Learning through the construction of drawings. IAP Information Age Publishing. https://psycnet.apa.org/record/2014-01969-010

van Meter, P. & Garner, J. (2005). The Promise and Practice of Learner-Generated Drawing: Literature Review and Synthesis. Educational Psychology Review, 17(4), 285–325. https://doi.org/10.1007/s10648-005-8136-3

Westhoff, P. M., & Heinicke, S. (2023). Lernen durch Zeichnen: Die Methode des Zeichnens im Physikunterricht. PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung.

Wiley, J. (2019). Picture this! Effects of photographs, diagrams, animations, and sketching on learning and beliefs about learning from a geoscience text. Applied Cognitive Psychology, 33(1), 9–19. https://doi.org/10.1002/acp.3495

Zhang, Q. & Fiorella, L. (2019). Role of generated and provided visuals in supporting learning from scientific text. Contemporary Educational Psychology, 59, 101808. https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2019.101808

Zhang, Q. & Fiorella, L. (2021). Learning by drawing: When is it worth the time and effort? Contemporary Educational Psychology, 66, 101990. https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2021.101990

Meike Wichmann[1]
Jolanda Hermanns[1]

[1]Universität Potsdam

Formen und Farben als Unterstützung beim Erstellen von Reaktionsmechanismen

Einleitung

„*Formen sind in der Chemie sehr wichtig. Zwei Moleküle, die sich so wenig voneinander unterscheiden wie die linke von der rechten Hand, können ganz unterschiedliche physikalische, chemische und biologische Eigenschaften haben*“ (Hoffmann & Lazlo, 1991, S. 4). Um über Chemie zu sprechen, müssen daher Formen wahrgenommen und Unterschiede erkannt sowie interpretiert werden. Visualisierungen werden in der Chemie auch als eine Art Dolmetscher zwischen der Teilchenebene und deren Interpretation genutzt. Allgemein betrachtet man in der Chemie drei Ebenen: die makroskopische (für die Phänomene), die submikroskopische (für die Theorien) und die symbolische Ebene der Formeln, welche die universelle Sprache der Chemiker ist (Johnstone, 2000; Reiners, 2022). Der Wechsel zwischen diesen Ebenen ist generell für Lernende schon eine Herausforderung. Die Organische Chemie wird innerhalb der Disziplin als eine der schwierigsten Teilgebiete angesehen. Viele Lernenden versuchen die Herausforderungen zu meistern, indem sie die Inhalte, auch komplette Reaktionsmechanismen, auswendig lernen (Bowman, Gooch & Karty, 2007). Unterstützungsmöglichkeiten für Lernende, gerade für das Erstellen von Reaktionsmechanismen, werden daher kontinuierlich gesucht und entwickelt. Hierbei wird gerne auf unterschiedliche Möglichkeiten der Visualisierung zurückgegriffen, da diese für die Kommunikation chemischer Sachverhalte ausschlaggebend ist, weil die Sachverhalte meistens nicht sichtbar sind (Cooper, DeSutter & Stieff, 2017). Allgemein sind Darstellungen ein Mittel zum Ausdruck fachlicher Inhalte und bauen in ihrer Anforderung an das Abstraktionsvermögen der Lernenden aufeinander auf (Leisen, 2015). Jedoch, für komplexe chemische Inhalte wie die Reaktionsmechanismen, die zu vielen Lernschwierigkeiten führen, fehlen besonders Repräsentationen auf submikroskopischer Ebene wie Abbildungen von Teilchenmodellen. Im Folgenden wird die Entwicklung einer bildhaften, auf Formen und Farben basierenden Lernhilfe zu Reaktionen der Organischen Chemie, die ohne formelsprachliche Elemente beim Erstellen von Reaktionsmechanismen unterstützt, beschrieben.

Anforderungen an die Lernhilfe

Die Lernhilfen der Bildgeschichten sollen auf der ikonischen bzw. bildlichen Darstellungsebene ansetzen. Sie sollen aus einer zusammenhängenden Reihe an schematischen Abbildungen bestehen, ohne dabei formelsprachliche Elemente wie Formeln oder Pfeile zu verwenden. Darstellungen sollen beim ersten Kontakt mit neuen Sachverhalten nicht-symbolischer Natur sein, wodurch Komplexität reduziert, und formalsprachliche Hürden umgangen werden (Kuntze, 2013). Die Formelsprache behindert bei zu zeitiger Verwendung den Lernprozess, da sie sehr viel Vorwissen verlangt und die höchste Anforderung an das Abstraktionsvermögen stellt (Barke, Harsch, Kröger & Marohn, 2018). Die Abbildungen der Bildgeschichten sollen den Ablauf von wesentlichen Reaktionsarten in

der Organischen Chemie darstellen. Sie veranschaulichen als Anschauungsmodelle die Reaktionsmechanismen der Reaktionsarten in bildlicher Weise.

Die Entwicklung der Bildgeschichten

Für die Entwicklung der Bildgeschichten wurden Grundlagen für die Gestaltung berücksichtigt sowie verschiedene Schritte bis zur Festlegung des endgültigen Designs durchlaufen. Tabelle 1 gibt hierzu einen Überblick.

Grundlagen	• Berücksichtigung des Farbkreises nach Itten (Wäger, 2017) • Prinzip der Nähe: zwei Formen, die nah beieinander liegen, werden als eine Einheit erkannt (Breiner, 2019) • Prinzip der Einfachheit: Formen in ihrer stabilsten Weise verstanden (Breiner, 2019)
Designschritte	• Erste Entwürfe: Nutzung von einfachen Formen wie Vierecken und Kreisen. Starke Orientierung an den Formeldarstellungen in den Reaktionsmechanismen • Zweite Entwürfe: Orientierung an Elektronendichten von Verbindungen und deren Darstellung (siehe Abb. 1). • Dritte Entwürfe: Einbezug von Elektronendichtekonturen und Potenzialmodellen (Carey & Sundberg, 2007)

Tabelle 1. Entwicklungsschritte für die Bildgeschichten

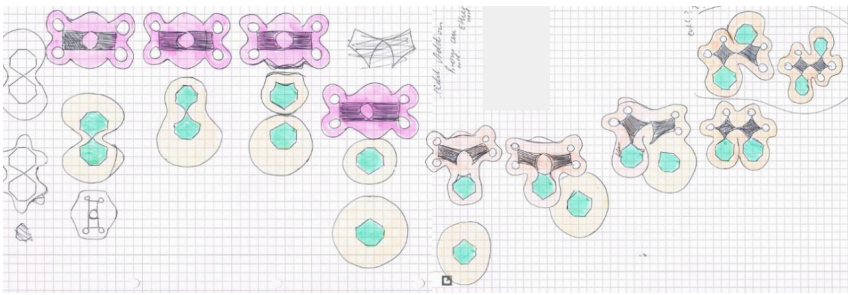


Abb. 1. Skizze des Mechanismus der elektrophilen Addition an eine Doppelbindung mit stärkerer Orientierung an Elektronendichten (eigene Darstellung)

Für das endgültige Design (siehe Abb. 2) wurden die folgenden Elemente gewählt:

- Die Formen sind rund und/oder eckig, sodass sie dynamisch wirken. Farblich siedeln sich die Formen in einem grünen Bereich an, wobei zur Unterscheidung von Reaktionspartnern auch eine gelb-grün und gelb-orangene Farbgebung verwendet wurde. Generell wurde Grün als die Farbe der Formen gewählt, um einerseits einen gestalterischen Kontrast zu anderen verwendeten Farben herzustellen und um andererseits die Assoziation mit Passivität und Ruhe hervorzurufen.
- Bindungen werden durch Überschneidungen der Formen dargestellt, ähnlich wie die Überschneidung von Atomorbitalen zur Bildung von gemeinsamen Molekülorbitalen.
- Bei Additionsreaktionen vereinen sich bspw. die Farben und Formen der Reaktionspartner. In komplexen Mechanismen werden die Stellen der Formen, an

denen die Reaktion stattfindet, farblich hervorgehoben, z.B. durch einen helleren bzw. dunkleren Grünton.

- Die Formen sind von farbigen Linien umgeben. Diese stellen die Elektronendichte dar und variieren in der Farbigkeit von Blau zu Violett und zu Rot. Blaue Linien stehen weiter auseinander und verbildlichen basierend auf den Potenzialmodellen einen positiven Ladungsschwerpunkt bzw. ein Elektrophil. Das Blau suggeriert, dass etwas noch frei ist. Rote Linien stehen enger zusammen und stellen ebenfalls basierend auf den Potenzialmodellen einen negativen Ladungsschwerpunkt bzw. ein Nukleophil dar. Ebenfalls verbunden mit der Farbassoziation vermittelt energiegeladenes Rot das Gefühl von Dynamik, die Möglichkeit zur Reaktion und zur Bereitstellung von Elektronen. Violette Linien stehen für eine ausgeglichene Elektronendichteverteilung. Die Farbgebung kommt zustande, weil die Mischung von Blau und Rot Violett ergibt.
- Die Dynamik der Reaktion wird gezeigt, indem sich die Formen annähern. Dabei wird insbesondere darauf geachtet, dass der angreifende Partner sich hauptsächlich bewegt. Zum Fokussieren des Geschehens werden bei komplexeren Mechanismen minimal die Größenverhältnisse angepasst. So werden bspw. in einem Schritt unbeteiligte Formen verkleinert, damit sie in den Hintergrund treten.
- Die Bildgeschichten selbst sind von links nach rechts und von oben nach unten zu lesen. Sie umfassen fünf bis zwölf Abbildungen und wurden mit dem Illustrator-Programm von Adobe erstellt.

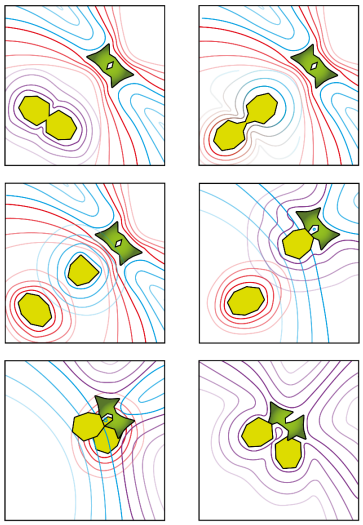


Abb. 2. Bildgeschichte zum Mechanismus der elektrophilen Addition an eine Doppelbindung (eigene Darstellung)

Erste Evaluationsergebnisse und Ausblick

Eine erste Erprobung im Wintersemester 2023-24 zeigte, dass die Studierenden durch die Nutzung der Bildgeschichten bei der Erstellung der Reaktionsmechanismen nicht nur unterstützt wurden, sondern die Mechanismen auch besser verstanden haben. Diese Ergebnisse wurden durch die Hauptstudie im Sommersemester 2024 bestätigt. Daher werden für weitere Reaktionsmechanismen Bildgeschichten erstellt, in verschiedenen Lehrveranstaltungen erprobt und evaluiert.

Literatur

Barke, H.-D., Harsch, G., Kröger, S. & Marohn, A. (2018). *Chemiedidaktik kompakt: Lernprozesse in Theorie und Praxis* (3. Aufl.). Springer Spektrum, Heidelberg.

Bowman, B. G., Gooch, G. & Karty, J. M. (2007). Teaching a Modified Hendrickson, Cram, and Hammond Curriculum in Organic Chemistry: Curriculum Redesign To Turn Around Student Performance. *J. Chem. Educ., 84*(7), 1209-1216.

Breiner, T. C. (2019). *Farb- und Formpsychologie*. Springer, Heidelberg.

Carey, F. A. & Sundberg, R. J. (2007). *Advanced Organic Chemistry: Part A: Structure and Mechanisms* (5. Aufl.). Springer, Heidelberg.

Cooper, M. M., DeSutter, D. & Stieff, M. (2017). Sketching the Invisible to Predict the Visible: From Drawing to Modeling in Chemistry. *Top. Cogn. Sci., 9*(4), 902-920.

Hoffmann, R. & Laszlo P. (1991). Darstellungen in der Chemie - die Sprache der Chemiker. *Angew. Chem., 103*(1), 1-16.

Johnstone, A. H. (2000). Teaching of Chemistry: Logical or Psychological? *Chem. Educ. Res. Pract., 1*(1), 9-15.

Kuntze, S. (2013). Vielfältige Darstellungen nutzen im Mathematikunterricht. In J. Sprenger, A. Wagner & M. Zimmermann (Hrsg.) *Mathematik lernen, darstellen, deuten, verstehen: Didaktische Sichtweisen vom Kindergarten bis zur Hochschule* (S. 17-36). Springer Spektrum, Heidelberg.

Leisen, J. (2015). Fachlernen und Sprachlernen! Bringt zusammen, was zusammengehört! *MNU, 68*(3), 132-137.

Reiners, C. S. & Saborowski, J. (2022). Auf dem Weg zum Chemieunterricht. In C. S. Reiners (Hrsg.). *Chemie vermitteln: fachdidaktische Grundlagen und Implikationen* (2. erweiterte Aufl., S. 113-179). Springer Spektrum, Heidelberg.

Wäger, M. (2017) Das ABC der Farbe. Theorie und Praxis für Grafiker und Fotografen. 1. Aufl. Rheinwerk Verlag GmbH Bonn

Wichmann, M. (2024). Formen und Farben als Unterstützung beim Erstellen von Reaktionsmechanismen. Bachelorarbeit, Universität Potsdam.

Sabine Streller[1]
Pascal Azibert[1]
Robert Gieske[1]

[1]Freie Universität Berlin

Kopfsache? Vorstellungen von Schüler*innen in Texten zum Lösevorgang

Der Umgang mit Schülervorstellungen im Unterricht ist ein zentraler Aspekt des Lernprozesses (z. B. Pfundt, 1975; Häußler u. a., 1998). Um Schüler*innen bei der Reflexion ihrer Vorstellungen und deren Veränderung hin zu Konzepten, die der naturwissenschaftlichen Sichtweise entsprechen, angemessen zu unterstützen, müssen Lehrkräfte diese Vorstellungen zuverlässig identifizieren können. Eine Möglichkeit dazu ist die Analyse von Texten, die Schüler*innen verfassen. In unserer Untersuchung haben wir Texte zum Lösevorgang von Salz in Wasser, die an Adressat*innen mit unterschiedlichem Vorwissen gerichtet sind (Gieske u. a., 2022; 2024a), auf Schülervorstellungen untersucht, also solche, die nicht der naturwissenschaftlichen Sicht entsprechen. Ziel ist, Einblick zu erhalten, ob Schüler*innen in der adressatenorientierten chemiebezogenen Kommunikation je unterschiedliche oder in der Anzahl variierende Schülervorstellungen zum Ausdruck bringen.

Theoretischer Rahmen

Obwohl Schülervorstellungen zum Lösevorgang bereits umfassend erforscht sind (vgl. Grüß-Niehaus & Schanze, 2011; Barke, 2006), erscheint uns der Fokus auf adressatenorientierte Texte lohnenswert. Schülervorstellungen betreffen in diesem Zusammenhang sowohl den Lösevorgang selbst, als auch den Aufbau von Salzkristallen und Wasser. So stellen sich Lernende Kochsalz häufig als aus NaCl-Molekülen (Hilbing & Barke, 2004) oder kovalent gebundenen Salzteilchen aufgebaut vor (Barke, 2006). Bezogen auf Wasser ist die Vorstellung vom kontinuierlichen Aufbau des Wassers und der hybriden Vorstellung, Wasserteilchen befänden sich in Wasser, weit verbreitet (Barke, 2006; Driver u. a., 1993). Schülervorstellungen zum Lösevorgang selbst betreffen oft das Verschwinden oder Schmelzen des Salzes (Grüß-Niehaus & Schanze, 2011; Streller u. a. 2019). Weiterhin sind animistische Vorstellungen willentlich aktiver Wasserteilchen, die für das Lösen des Salzes verantwortlich sind, bekannt (Barke, 2006).

Fragestellungen

1. Welche Vorstellungen, die nicht der naturwissenschaftlichen Sichtweise entsprechen, lassen sich in Texten von Schüler*innen unterschiedlicher Schulform, die an unterschiedliche Adressat*innen gerichtet sind, identifizieren?
2. Inwiefern unterscheiden sich die in den Texten der Schüler*innen identifizierten Vorstellungen in Bezug auf die Adressat*innen?

Methode

Die im Rahmen der Studie von Gieske zur Wirksamkeit des *Disaggregate-Instruction*-Ansatzes auf den Lernerfolg und fachsprachliche Kompetenzen von 8.-Klässler*innen an Gymnasien und Integrierten Sekundarschulen (ISS) gewonnenen 322 Texte bilden die Basis für diese Untersuchung (Gieske u. a., 2024b). Von jeder/jedem Schüler*in lagen zwei Texte an je unterschiedliche Adressat*innen a) eine Lehrkraft und b) eine Freundin vor. Die Schüler*innen verfassten Texte zu folgender Schreibaufgabe:

Schreibaufgabe Lösen von Salz in Wasser

Erkläre deinem Chemielehrer (Erkläre deiner Freundin, die das Thema Salze im Chemieunterricht noch nicht behandelt hat), wie sich Salz in Wasser löst. Berücksichtige für deine Erklärung das Modell, dass Stoffe aus kleinsten Teilchen bestehen.

Zur Analyse der Texte wurde ein Kategoriensystems zunächst deduktiv, basierend auf Barke (2006); Driver u. a. (1993); Egbers & Marohn (2013); Grüß-Niehaus & Schanze (2011); Hilbing & Barke (2004); Peetz (2019) entwickelt und im Verlauf der Codierung induktiv ergänzt. Drei Hauptkategorien (HK) mit je weiteren differenzierenden Kategorien umfasst das Kategoriensystem:

(HK) Aufbau Kochsalz	(7 Kategorien mit insg. 19 weiteren Subkat.)
(HK) Aufbau Wasser	(5 Kategorien mit insg. 10 weiteren Subkat.)
(HK) Lösevorgang Salz in Wasser	(12 Kategorien mit insg. 33 weiteren Subkat.)

Die Analyse der Vorstellungen, die nicht der naturwissenschaftlichen Sichtweise entsprechen, erfolgte mittels qualitativer Inhaltsanalyse (Mayring, 2002; Kuckartz, 2014).

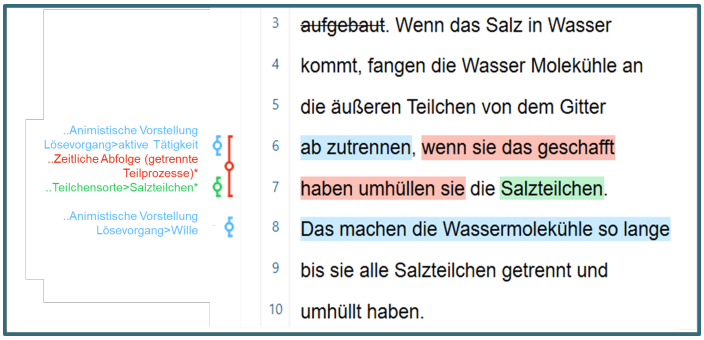


*Abb. 1 Beispieltext (Schüler*in, 8. Jahrgangsstufe, Gymnasium, Text an Freundin [HPG_IG_OVNA26_F]) mit vorgenommenen Codierungen in MAXQDA (2022)*

Ergebnisse

In den 322 Texten (davon 2 x 112 Texte Gym, 2 x 49 Texte ISS) wurden insgesamt 867 Codierungen vorgenommen; sie verteilen sich wie folgt auf die Hauptkategorien:
Aufbau Kochsalz (85 Codierungen, 10%), Aufbau Wasser (96 Codierungen, 11 %) und Lösevorgang Salz in Wasser (686 Codierungen, 79%) (Tab. 1).
Die summierten Codierungen pro Kategorie wurden anschließend nach Adressat*in und Schulform differenziert betrachtet. Die Anzahl der Codierungen in den Texten an den Chemielehrer (N=433) und an die Freundin (N=434) betrug im Mittel 2,7 Codes pro Text. Die Verteilung der identifizierten Vorstellungen auf die drei Hauptkategorien zeigt keine statistisch signifikanten Unterschiede.

Tab. 1 Ergebnisse im Überblick – alle drei Hauptkategorien (Aufbau Kochsalz, Aufbau Wasser, Lösevorgang Salz in Wasser) und ausgewählte *(Sub-)*Kategorien[1]

	N_{codes}
Aufbau Kochsalz	85
Teilchensorte	46
NaCl als Molekül	*(8)*
Salzteilchen	*(28)*
Salzionen	*(5)*
animistische Vorstellungen Salz	14
aktive Tätigkeit	*(13)*
Wille	*(1)*
Aufbau Wasser	96
Aufbau	49
Wasser besteht aus Wasserstoffteilchen	*(31)*
Eigenschaften des Wassers	*38*
Wasserteilchen besitzen echte Ladung	*(31)*

	N_{codes}
Lösevorgang Salz in Wasser	686
animistische Vorstellungen Lösevorgang	245
aktive Tätigkeit	*(193)*
Wille	*(52)*
verantwortlich für Löseprozess	87
Wasser	*(59)*
zeitliche Abfolge (getrennte Teilprozesse)	
zuerst Anionen gelöst	*(25)*
zuerst Kationen gelöst	*(3)*
erst Teilchen gelöst, dann Hydrathülle	*(58)*
zuerst Anionen mit Hydrathülle	*(18)*
zuerst Kationen mit Hydrathülle	*(2)*

Bzgl. der Differenzierung nach Schulform zeigen sich jedoch Unterschiede: So variiert die Länge der Texte (ISS ø 47 Wörter/Text, GYM ø 71 Wörter/Text). Beträgt die Anzahl an Codierungen in den Texten der Schüler*innen am Gymnasium 2,20 pro Text, sind es in den Texten der ISS-Schüler*innen 1,97 Codierungen pro Text. Die Verteilung der identifizierten Vorstellungen auf die drei Hauptkategorien zeigt keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den nach Schulform differenzierten Texten.
Zudem können wir feststellen, dass Schüler*innen unabhängig von Schulform und Adressat*in in den Texten vor allem Formulierungen verwenden, die auf animistische Vorstellungen zum Löseprozess schließen lassen und den Löseprozess als getrennte Teilprozesse beschreiben (z. B. „erst lösen sich Anionen, dann Kationen, dann wird die Hydrathülle gebildet“).

Diskussion und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen eine große Vielfalt an Vorstellungen in den Texten und eine hohe Übereinstimmung mit bereits bekannten Vorstellungen (Quellen s.o.), dennoch sind weitere Vorstellungen insbesondere zum Ablauf des Lösens in Teilprozessen ausgemacht worden. Wir vermuten, dass die schrittweise Darstellung des Lösevorgangs in der Intervention (Gieske u. a., 2024b) mit Hilfe einer Filmleiste diese Vorstellungen von getrennten Teilprozessen beim Lösen provoziert haben könnte. Dieser Annahme gehen wir nach.
Der Vergleich der Schüler*innentexte von ISS und Gymnasium zeigt eine nahezu gleiche Anzahl an codierten Vorstellungen pro Text. Da die Texte der ISS-Schüler*innen jedoch kürzer sind (ø 47 Wörter/Text) als die der Gymnasiast*innen (ø 71 Wörter/Text), ist der Anteil an identifizierten Vorstellungen, die nicht der naturwissenschaftlichen Sicht entsprechen, bei ISS-Schüler*innen höher. Texte der Gymnasiast*innen enthalten also relativ mehr fachlich korrekte Passagen. Bezüglich der Adressat*innen zeigt sich dieser Effekt nicht.

[1] Da nicht alle Subkategorien vollständig aufgeführt sind, ergeben die Summen der Häufigkeiten nicht die Anzahl der jeweils übergeordneten Kategorie!

Literatur

Barke, H.-D. (2006). Chemiedidaktik: Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen. Springer

Driver, R., Squires, A., Rushworth, P, & Wood-Robinson, V. (1993). Making sense of secondary science: Research into children's ideas. Routledge

Egbers, M., & Marohn, A. (2013). Konzeptwechseltexte – eine Textart zur Veränderung von Schülervorstellungen. CHEMKON, 20(3), 119–126

Gieske, R., Streller, S., & Bolte, C. (2024a). Der Transfer von der Sprach- in die Fachdidaktik am Beispiel zweier sprachsensibler Ansätze im Chemieunterricht. In M. Hemmer, C. Angele, C. Bertsch, S. Kapelari, G. Leitner, & M. Rothgangel (Hrsg*.), Fachdidaktik im Zentrum von Forschungstransfer und Transferforschung* (Bd. 13, S. 313–328). Waxmann.

Gieske, R., Streller, S., & Bolte, C. (2024b). Vom Salz zur Ionensubstanz: Eine sprachsensible Unterrichtsreihe zur Erkundung von Salzen im Toten Meer. CHEMKON, 31(5), 160-167.

Gieske, R., Streller, S., & Bolte, C. (2022). Transferring language instruction into science education: Evaluating a novel approach to language- and subject-integrated science teaching and learning. RISTAL, 5(1), 144–162

Grüß-Niehaus, T., & Schanze, S. (2011). Eine kategoriengestützte Übersicht von Lernervorstellungen zum Löslichkeitsbegriff. CHEMKON, 18(1), 19–26

Hilbing, C., & Barke, H.-D. (2004). Ionen und Ionenbindung: Fehlvorstellungen hausgemacht! CHEMKON, 11(3), 115-120

Häußler, P. u. a. (1998). Naturwissenschaftsdidaktische Forschung. Perspektiven für die Unterrichtspraxis. IPN

Kuckartz, U. (2014). Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung. Juventa

Peetz, M. K. (2019). Evaluation von Schülervorstellungen mithilfe von Animationen: Der Löseprozess von Zucker und Salz in Wasser. Carl-von-Ossietzky Universität Oldenburg.

Pfundt, H. (1975). Ursprüngliche Erklärungen der Schüler für chemische Vorgänge. MNU-Journal, 28(3), 157–162

Streller, S., Bolte, C., Dietz, D., & Noto La Diega, R. (2019). Chemiedidaktik an Fallbeispielen. Springer Spektrum

Jakob Priebe[1]
Larissa Hahn[1]
Pascal Klein[1]

[1]Georg-August-Universität Göttingen

Eye-Tracking zur Analyse der Lern- und Problemlöseprozesse komplexer Zahlen

Das Themengebiet der komplexen Zahlen ist zentral in natur- und ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen. Empirische Studien zeigen jedoch, dass Studierende – auch in höheren Semestern – oft grundlegende Schwierigkeiten mit elementaren Operationen, insbesondere der Multiplikation (Smith, 2015), haben. Die Gaußsche Zahlenebene ermöglicht eine visuelle Darstellungsmöglichkeit komplexer Zahlen und ihrer komplex-arithmetische Operationen. Bisher lag der Schwerpunkt auf deklarativen Aspekten, wie der Interpretation arithmetischer Ergebnisse im Bereich komplexer Zahlen (Smith, 2015; Hamufari et al., 2015), während visuell-prozedurale Bearbeitungsprozesse vernachlässigt wurden. Die vorgestellte Studie schließt mittels Eye-Tracking an diesen Ansatz an und präsentiert erste Analyseergebnisse von Blickdaten mit $N = 34$ Physikstudierenden bei grundlegenden Aufgaben komplexer Zahlen in der Gaußschen Zahlenebene.

Theoretischer Hintergrund

Multiple externe Repräsentationen (meR) sind essenziell für das Verständnis und die Kommunikation naturwissenschaftlicher Konzepte, da sie kognitive Werkzeuge darstellen, die das Verstehen und Bearbeiten abstrakter Inhalte unterstützen (Krey & Schwanewedel, 2018; Opfermann et al., 2017). Forschungsergebnisse zeigen, dass der Einsatz von meR insbesondere in der Physik das Verständnis und die Problemlösungsfähigkeiten fördert (Berthold & Renkl, 2009; Susac et al., 2017). Gleichzeitig können meR jedoch auch kognitive Belastungen hervorrufen, die den Lernerfolg beeinträchtigen (Ainsworth, 2006; De Jong et al., 1998; Nguyen & Rebello, 2011; Susac et al., 2023). Um Aufgaben in der Gaußschen Zahlenebene zu bewältigen, müssen Lernende also die Informationskodierung und Beziehungen zwischen Repräsentationen verstehen. Dafür benötigen sie Repräsentationskompetenzen, definiert als "*knowledge and skills that enable them to use visual representations to reason and solve tasks*" (Rau, 2017, S. 719). Der Erwerb dieser Repräsentationskompetenzen ist nach Seufert und Brünken (2006) ein Kohärenzbildungsprozess. Er umfasst lokale Prozesse, die spezifische Darstellungsformen betreffen, und globale Prozesse zur Verknüpfung verschiedener Darstellungen, etwa in der Gaußschen Zahlenebene oder in kartesischer und exponentieller Form. In der vorliegenden Untersuchung wird Eye-Tracking als Methode eingesetzt, um die Bedeutung der visuellen Informationsverarbeitung bei Aufgaben zu komplexen Zahlen in der Gaußschen Zahlenebene zu analysieren. Diese Methode hat sich als hilfreich bei der Analyse von Prozessen mit mentalen Rechenoperationen erwiesen. Klein et al. (2021) verwendeten zum Beispiel Eye-Tracking, um durch die Analyse der Blickbewegungsrichtung Problemlösestrategien und Verhaltensweisen bei der Beurteilung eines Vektorfelddiagramms zu identifizieren und zu charakterisieren.

Forschungsziele und -fragen

Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit den Schwierigkeiten von Studierenden im Umgang mit der Multiplikation komplexer Zahlen und erweitert diesen Ansatz durch eine umfassende Analyse der Blickdaten bei multiplikativen Aufgaben in der Gaußschen Zahlenebene. Daraus ergibt sich die folgende Forschungsfrage:

Wie unterscheiden sich die Vorgehensweisen von Studierenden mit korrekten und inkorrekten Lösungen zur Multiplikation komplexer Zahlen in der Gaußschen Zahlenebene zwischen einer geometrischen und einer rechenbasierten Vorgehensweise?

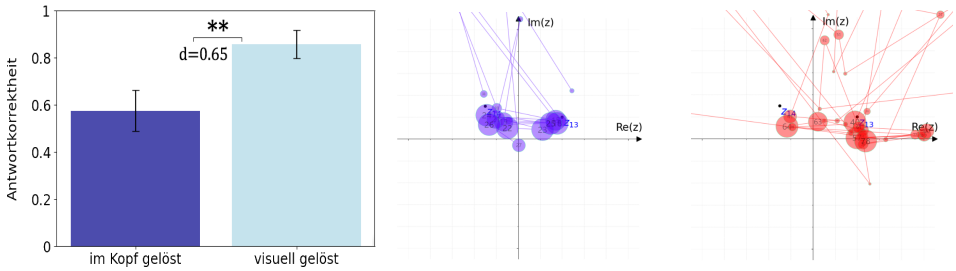
Methodik

Die Stichprobe besteht aus 34 Proband*innen davon 33 Physikstudierende (8 weiblich), 28 immatrikuliert im Bachelor- (Fachsemester 3,47 ± 2,28), 3 im Master-Studiengang, 2 im Physik-Nebenfach und einem Doktoranden der Chemie. Alle Proband*innen hatten mindestens eine abgeschlossene Lehrveranstaltung besucht, in der das Thema komplexe Zahlen behandelt wurde. Den Proband*innen wurden 14 verschiedene Aufgaben zur Bearbeitung mit der Gaußeschen Zahlenebene, darunter auch zwei Items, die die Multiplikation komplexer Zahlen umfassen, vorgelegt. Das Blickverhalten wurde mit einem stationären Eye-Tracker (Tobii Pro Fusion, 120 Hz) erfasst und der Lösungsweg anschließend verbal dokumentiert. Die Auswertung der Blickdaten umfasst eine qualitative Analyse der Blickverläufe (Gazeplot). Neben den Blickdaten wurden ergänzend auch die Verbaldaten des Lösungsprozesses aufgezeichnet und anschließend mit den Blickdaten nach qualitativer Inhaltsanalyse mit induktiver Kategorienbildung nach Mayring (2010) trianguliert, um potenzielle Vorgehensweisen bei der Bearbeitung der Aufgaben zur Multiplikation komplexer Zahlen zu identifizieren. Dazu zählt die Vorgehensweise von Probanden*innen, welche die Aufgaben bevorzugt durch visuell-geometrische Interpretation (z.B. „*der Winkel der neuen Zahl muss ja so groß sein wie die Summe der alten zwei. Wenn ich das so anschaue, dann müsste der neue Winkel im zweiten Quadranten liegen.*“) oder die Verwendung von Kopfrechenprozessen (z.B. „*Wenn ich jetzt ungefähr (2+i) mit (-1 + i) multipliziere, dann komme ich auf (-3 + i) und das ist dann im zweiten Quadranten.“*). War eine klare Zuordnung zu einer der beiden Kategorien nicht möglich, wurden diese Studierenden von der weiteren Analyse der Forschungsfrage ausgeschlossen. Von ursprünglich 68 Antworten für die beiden multiplikativen Aufgaben der 34 Proband*innen wurden insgesamt N = 47 Antworten ausgewertet.

Ausgewählte Ergebnisse

Ein unabhängiger t-Test ergab einen signifikanten Unterschied in den Mittelwerten der Aufgabenkorrektheiten zwischen den Gruppen der Studierenden, die Kopfrechenprozesse nutzten, und denen, die geometrische Interpretationen verwendeten ($p = 0.0103$) und eine mittlere Effektstärke von $d = 0.65$ (Cohen, 1988). Während im Durchschnitt 95.1% der Aufgaben korrekt beantwortet wurden, lag der Anteil für die richtige Beantwortung der multiplikativen Aufgaben lediglich bei 77.9%. Während 54.4% der Proband*innen die Aufgabe nach geometrischer Interpretation lösten, griffen 45.5% der Proband*innen auf die Methode der Kopfrechenprozesse zurück (siehe Abb. 1 links). 59.4% der Proband*innen, welche die Aufgaben der Multiplikation rechenbasiert bearbeiteten, berechneten diese richtig.

Die Wahrscheinlichkeit von 91.6 %, mit der Studierende, die auf Kopfrechenprozesse zurückgriffen, eine beliebige Aufgabe im Durchschnitt richtig beantworteten, ist damit im Verhältnis deutlich höher. Im direkten Vergleich haben Proband*innen, welche die Aufgaben nach geometrischer Interpretation gelöst haben, eine um 26.3% erhöhte Chance, auf das richtige Ergebnis zu kommen. Die meisten Fehler der rechenbasierten Vorgehensweise traten auf, weil Studierende versuchten, kartesische Zahlenwerte an den Achsen abzulesen und mit diesen weiterzurechnen, sei es durch Ausmultiplikation oder durch Umwandlung in die exponentielle Form. Dies kann durch Gazeplots zu multiplikativen Aufgaben veranschaulicht werden: Proband*innen, welche die Aufgaben nach geometrischer Interpretation lösten, schauten weniger auf die Achsen und fokussierten sich mehr auf die Bereiche, in denen das Ergebnis nach arithmetischer Durchführung liegen (Abb. 1 Mitte). Sie schauten bevorzugt in die Bereiche um den Ursprung, in welchen üblicherweise die Winkel komplexer Zahlen in exponentieller Form angegeben werden. Proband*innen, welche die Aufgaben stattdessen im Kopf berechneten, schauten verhältnismäßig öfter auf die Achsen und weniger auf die Bereiche, in denen sich das Ergebnis befindet (siehe Beispielproband Abb. 1 rechts).



*Antwortkorrektheit (1 SEM; * signifikant bei p < 0.05, Effektstärke: Cohens d, links); Gazeplots während der Bearbeitung der Multiplikation zweier komplexer Zahlen mittels geometrischer Interpretation (Mitte) und Kopfrechnung (rechts).*

Diskussion und Ausblick

Die erhöhte Fehlerquote bei multiplikativen Aufgaben zu komplexen Zahlen bestätigt frühere Ergebnisse (Smith, 2015; Hamufari et al., 2015). Dieses Ergebnis zeigt doch, dass die Lösung komplexer Multiplikation in geometrischer Form ein zielführender Ansatz ist. Das Wiederrum motiviert die Verwendung der Gaußschen Zahlenbene bei der Instruktion komplexer Zahlen und bietet damit Unterstützung für Ansätze zum multi-repräsentationalen Lernen komplexer Zahlen. Studierende, welche Aufgaben durch geometrische Interpretation lösen, könnten aufgrund der geringeren Fehlerquote ein vertieftes Verständnis der Veranschaulichung komplexer Arithmetik haben. Dafür wird der Fokus in einer weiteren Datenauswertung auf den Vergleich mit demographischen Angaben, etwa vorher besuchten Lehrveranstaltung (mit curricularen Modulinhalten komplexer Zahlen), gelegt, um zu sehen, ob Studierende mit mehr Vorwissen über komplexe Zahlen bevorzugt auf geometrische Strategien zurückgreifen. Ebenfalls soll eine Analyse verschiedener Metriken, wie Sakkadenrichtungen und Fixationsdauern in unterschiedlichen Bereichen, unterteilt nach Studierenden mit geometrischen bzw. kopfrechnerischen Lösungsansätzen, weitere Erkenntnisse ermöglichen.

Literatur

Ainsworth, S. E. (2006). : A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, S. 16(3), 183–198. doi:https : / / doi . org / 10 . 1016 / j .

Berthold, K., & Renkl, A. (2009). Instructional aids to support a conceptual understanding of multiple. *Journal of Educational Psychology*, 101(1), 70–87.

Hahn, L., & Klein, P. (2022). Eye tracking in physics education research: A systematic literature review. *Physical Review Physics Education Research, 18(1)*. doi:https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.013102

Klein, P., & Hahn, L. (2021). Coordinating vector field equations and diagrams with a serious game in introductory physics. *European Journal of Physics,, 42(4)*(045801). doi:https://doi.org/10.1088/1361-6404/abef5c

Krey, O. &. (2018). *Lernen mit externen Repräsentationen* (Bde. , Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung). (I. P. D. Krüger, Hrsg.)

Mutambara, L., Natsai, H., & Tsakeni, M. (2022). Cognitive Obstacles in the Learning of Complex Number Concepts: A Case Study of In-Service Undergraduate Physics Student-Teachers in Zimbabwe. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*.

Opfermann, M., S. A., & Fischer, H. E. (2017). Multiple representations in physics and science. Why should we use them? In D. Treagust, R. Duit, & H. Fischer (Hrsg.). Springer. Von https://doi.org/10.1007/978-3-319-58914-5_1 abgerufen

Rau, M. (2017). Conditions for the effectiveness of multiple visual representations in enhancing STEM learning. *Educational Psychology Review, 29(4)*, 717–761. doi:https://doi.org/10.1007/

Seufert, T., & Brünken, R. (2006).). Cognitive load and the format of instructional aids for coherence formation. *Applied Cognitive Psychology*, 321–331. doi:https://doi.org/10.1002/acp.1248

Smith, E., & Zwolak, J. (2015). Student difficulties with complex numbers. 311-314.

Susac, A., Bubic, A., Martinjak, P., Planinic, M., & Palmovic, M. (2017). Graphical representations of data improve student understanding of measurement and uncertainty: An eye-tracking study. *Physical Review Physics Education Research*, 13(2), 020125. doi: https://doi.org/10.1103/

Benedikt Weiss[1]
Verena Spatz[1]
Markus Gräfe[1]
Jens Küchenmeister[2]

[1] TU Darmstadt
[2]Thorlabs GmbH

Experiment für Schüler:innen zur Quantenbildgebung mit nicht-detektiertem Licht

Ausgangslage

Die Quantenphysik zählt zu den faszinierendsten und zugleich herausforderndsten Bereichen der modernen Physik und bestimmt maßgeblich unsere aktuelle wissenschaftliche Weltsicht (Stadermann, 2019). Insbesondere die Quantenverschränkung – ein Phänomen, das Albert Einstein als „spukhafte Fernwirkung" bezeichnete – stellt gängige Vorstellungen von Realität und Kausalität infrage und bietet tiefgehende Einblicke in die fundamentale Struktur der Natur. Während die theoretischen Grundlagen der Quantenmechanik oft als abstrakt und schwer zugänglich gelten, hat die jüngere Forschung, insbesondere durch Experimente wie die von Alain Aspect und Anton Zeilinger, gezeigt, dass diese Konzepte nicht nur für die Grundlagenforschung, sondern auch (perspektivisch) für technologische Innovationen wie der Quantenbildgebung, der Quantenkryptographie oder in der diagnostischen Medizin von großer Bedeutung sind (Aspect & Zeilinger, 2022; Pearce, 2023).

Angesichts der fortschreitenden Entwicklung der Quantentechnologien (LASER, PV-Anlagen, Microchips, etc.) und ihrer potenziellen Anwendungen in Bereichen wie Kommunikation, Kryptographie und Medizin ist es wichtig, dass nicht nur Schüler:innen sondern auch die Öffentlichkeit im allgemeinen mit den Grundprinzipien dieser Technologien vertraut gemacht werden (Bitzenbauer, 2021). Der Zugang zu Quantenphänomenen, wie der Superposition und der Verschränkung, ermöglicht es nicht nur, das Verständnis für die moderne Physik zu vertiefen, sondern zeigt auch auf, wie diese Phänomene praktische Anwendung in der Gesellschaft finden.

Dennoch wird in vielen Lehrplänen nach wie vor ein Schwerpunkt auf die historische Entwicklung der Quantenphysik gelegt, wobei die Energiequantisierung bei gebundenen Zuständen im Zentrum steht (Woitzik & Passon, 2023). Diese Herangehensweise geht oft mit „konzeptionellen Fallstricken" einher und erschwert es Schüler:innen, ein intuitives Verständnis für die zentralen Konzepte der Quantenmechanik zu entwickeln (Rode, 2017). Aktuelle Ansätze in der Physikdidaktik plädieren dafür, verstärkt Phänomene wie Superposition und Verschränkung in den Fokus des Unterrichts zu rücken, da diese Konzepte eine moderne Sichtweise auf die Quantenphysik vermitteln (Woitzik & Passon, 2023) und perspektivisch eine Kontextorientierung für den Quantenphysikunterricht ermöglichen (Müller, 2023). Allerdings fehlen hierzu bisher Realexperimente, um Verschränkung erfahrbar zu machen, was im Rahmen schulischen Unterrichts aufgrund enormer Kosten und aufwändiger Justage solcher Experimente kaum verwunderlich ist. Abhilfe könnten Simulationen schaffen, wie es beispielsweise Rodriguez (2020) oder Bungum (2014) vorschlagen. Simulationen und Gedankenexperimente basieren allerdings ihrerseits auf den

theoretischen Annahmen oder Einsichten und können daher Realexperimente nicht ersetzen (Beisbart, 2015). Überzeugende Realexperimente sind somit unerlässlich, zumal insbesondere die Quantenphysik von einigen Schüler:innen als abstrakt und sogar als absurd wahrgenommen wird, was zur Folge hat, dass sie beispielsweise die statistische Sichtweise nur widerwillig akzeptieren (Henriksen, 2014).

Derzeit gibt es nur wenige außerschulische Lernorte wie das QuantumLab der Universität Erlangen-Nürnberg (oder das PhotonLab am MPQ in München), das sich der Aufgabe verschrieben hat, quantenphysikalische Grundlagen durch interaktive Bildschirmexperimente über das Internet zu vermitteln und dabei gleichzeitig das Interesse der Schüler:innen an Physik oder am Experimentieren in der Physik zu erhöhen. (Bitzenbauer, 2020). Auch wenn Bitzenbauer in seiner Erhebung keinen signifikanten Anstieg beim Interesse an Physik und am Experimentieren in der Physik zeigen konnte, finden sich dennoch Indizien, dass Schüler:innen der gymnasialen Oberstufe durchaus Interesse an moderner Quantenphysik haben (Bitzenbauer, 2020; Bungum, 2014). Des Weiteren sei der Bedarf an anderen Unterrichtskonzepten weiterhin groß, um über sinnvoll geplante Vergleiche die Konzepte für sich und auch den Quantenphysikunterricht als Ganzes weiter zu verbessern (Bitzenbauer, 2020).

In diesem Beitrag wird ein aktuelles Projekt vorgestellt, welches die derzeit überschaubaren Angebote zur Vermittlung quantenphysikalischer Grundkenntnisse über Realexperimente durch einen weiteren, innovativen Ansatz bereichern soll. Ziel ist der Nachbau des Experiments zur Quantenbildgebung von Zeilinger et al. (Nobelpreis für Physik 2022) im Rahmen eines Schülerlabors, das Schüler:innen Einblick in eines der spannendsten und relevantesten Forschungsfelder der Gegenwart verschafft (Aspect & Zeilinger, 2022). Neben der experimentellen Darstellung der Quantenverschränkung wird ein medizinischer Anwendungskontext aufgezeigt, der die Relevanz der Quantenbildgebung verdeutlicht und eine Brücke zwischen theoretischem Wissen und gesellschaftlichen Anwendungen schlägt. Neben der Vermittlung der Wesenszüge der Quantenphysik wird zusätzlich aufgrund einer intensiven Auseinandersetzung mit dem Experiment ein Zuwachs im Interesse an (Quanten-) Physik und der Wahrnehmung der Bedeutung von moderner Physik für die Gesellschaft angestrebt.

Das Experiment zur Quantenbildgebung mit nicht-detektiertem Licht

Das ursprüngliche Experiment zur Quantenbildgebung mit nicht-detektierten Photonen von Anton Zeilinger hat die Form eines geschachtelten Mach-Zehnder-Interferometers (Lemos, 2014). Kompakter und günstiger gelingt das Experiment in der Form eines geschachtelten Michelson-Interferometers mit nur einem nichtlinearen Kristall (Töpfer, 2022).

Das beobachtete Phänomen bleibt jedoch das gleiche. Es werden zwei (verschränkte) Photonenpaare, jeweils bestehend aus einem idler und einem signal Photon, erzeugt und zur Interferenz gebracht. Und obwohl nur eines der beiden idler Photonen auf das Objekt trifft und nur die signal Photonen detektiert werden, kann das Objekt (nach mehrmaliger Durchführung) als Interferenzerscheinung auf der Kamera aufgenommen werden.

Fragestellungen

Es wäre illusorisch davon auszugehen, dass Schüler:innen durch einmaligen Besuch eines Schülerlabors die Wesenszüge der Quantenphysik kennenlernen und verstehen könnten. Daher stellt sich für dieses Projekt eher die Frage, was das Experiment zur Quantenbildgebung als Ergänzung des Regelunterrichts leisten kann im Hinblick auf das Verständnis der Schüler:innen zu …

- den Wesenszügen der Quantenphysik?
- Superposition und Verschränkung?

… sowie im Hinblick auf die Entwicklung von Interesse an quantenphysikalischen Inhalten und der Wahrnehmung der Bedeutung von moderner Physik für die Gesellschaft?

Darüber hinaus stellt sich auch die Frage, welchen Einfluss die zeitliche Eingliederung des Experiments zur Quantenbildgebung in den Regelunterricht auf die Lernkurve der Schüler:innen hat. Geht man davon aus, dass Schüler:innen wie geplant durch die Auseinandersetzung mit dem Experiment zur Quantenbildgebung ein erhöhtes Interesse an quantenphysikalischen Inhalten gewinnen, dann könnte ein Voranstellen des Schülerlabortags vor dem Regelunterricht die Motivation für die zu behandelnden Themen des Unterrichts erhöhen und somit den Lernerfolg positiv beeinflussen. Allerdings könnte sich dieses Vorgehen für Schüler:innen auch als tendenziell zu schwierig erweisen, da das Experiment zur Quantenbildgebung ohne Vorkenntnisse von Interferenzerscheinungen vermutlich nicht einfach zu begreifen ist. Weshalb es ebenfalls denkbar ist, dass ein höherer Lernzuwachs dann besteht, wenn die Schüler:innen zunächst den Regelunterricht durchlaufen und erst zum Abschluss der Lerneinheiten das Schülerlabor besuchen. Aus dieser Frage heraus ergibt sich auch das Studiendesign.

Studiendesign

Um die Forschungsfragen beantworten zu können sollen Schüler:innen der gymnasialen Oberstufe (Q3 in Hessen) in drei Studiengruppen eingeteilt und Gruppenweise miteinander verglichen werden. Die erste Gruppe wird vor dem Regelunterricht zur Quantenphysik das Schülerlabor besucht haben, die zweite Gruppe wird zunächst den Regelunterricht zur Quantenphysik durchlaufen und erst im Anschluss das Schülerlabor besuchen, wohingegen die dritte Gruppe als Vergleichsgruppe dient und das Schülerlabor überhaupt nicht besuchen wird. Erfasst werden in einer Prä-, Post- und Follow-Up-Erhebung die Effekte auf den Lernerfolg, das Interesse und die Wahrnehmung der Bedeutung moderner Physik auf die Gesellschaft, wobei jeweils zwischen dem Schülerlabortag und dem Regelunterricht für die Gruppen eins und zwei eine weitere Zwischenerhebung mittels Onlinefragebogen stattfindet.

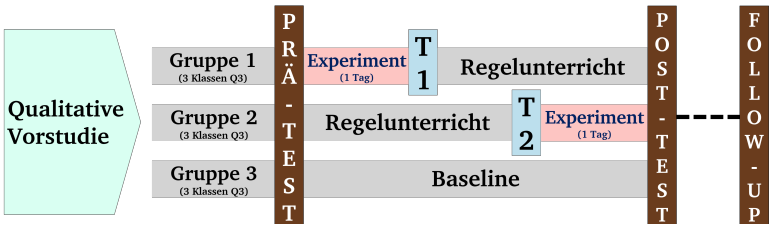


Abbildung 1: Studiendesign mit Prä-, Post-, Follow-Up-Erhebung sowie den Erhebungen bei T1 und T2.

Literatur

Aspect, A., Clauser, J. F., & Zeilinger, A. (2022). The Nobel Prize in Physics 2022. Nobel Prize Official Website

Beisbart, C. (2015). Wie viel Experiment braucht die Physik? Experiment, Gedankenexperiment und Computersimulation. Physik in unserer Zeit, 46(6), 281-287

Bitzenbauer, P. (2020). Quantenoptik an Schulen: Studie im Mixed-Methods Design zur Evaluation des Erlanger Unterrichtskonzepts zur Quantenoptik (Volume 303). Logos Verlag Berlin.

Bitzenbauer, P. (2021). Quantum physics education research over the last two decades: A bibliometric analysis. Education Sciences, 11(11), 699

Bungum, B., Henriksen, E. K., Angell, C., Tellefsen, C. W., & Bøe, M. V. (2015). ReleQuant-Improving teaching and learning in quantum physics through educational design research

Henriksen, E. K., Bungum, B., Angell, C., Tellefsen, C. W., Frågåt, T., & Bøe, M. V. (2014). Relativity, quantum physics and philosophy in the upper secondary curriculum: challenges, opportunities and proposed approaches. Physics Education, 49(6), 678

Heusler, S., & Pusch, A. (2023). Quantenoptik mit modularen Schülerexperimenten: Low-Cost-Experimente mit dem 3-D-Drucker zu Anwendungsbeispielen von Quantentechnologien. Unterricht Physik, 2023(198), 21-26

Lemos, G. B., Borish, V., Cole, G. D., Ramelow, S., Lapkiewicz, R., & Zeilinger, A. (2014). Quantum imaging with undetected photons. Nature, 512(7515), 409-412.

Müller, R. (2023). Quantentechnologien unterrichten? Schulische Zugänge mit den Wesenszügen der Quantenphysik und didaktische Potenziale. Unterricht Physik, 2023(198), 2-7

Pearce, E., Gemmell, N. R., Flórez, J., Ding, J., Oulton, R. F., Clark, A. S., & Phillips, C. C. (2023). Practical quantum imaging with undetected photons. Optics Continuum, 2(11), 2386-2397

Rode, M. (2017). Falsche Freunde. Problematische Experimente und theoretische Überlegungen zur Quantenphysik. In: NiU Physik 28, Nr. 162, 15-19

Rodriguez, L. V., van der Veen, J. T., Anjewierden, A., van den Berg, E., & de Jong, T. (2020). Designing inquiry-based learning environments for quantum physics education in secondary schools. Physics Education, 55(6), 065026

Stadermann, H. K. E., van den Berg, E., & Goedhart, M. J. (2019). Analysis of secondary school quantum physics curricula of 15 different countries: Different perspectives on a challenging topic. Physical Review Physics Education Research, 15(1), 010130

Töpfer, S., Gilaberte Basset, M., Fuenzalida, J., Steinlechner, F., Torrez, Juan P., Gräfe, M. (2022). Quantum holography with undetected light. In: Science Advances 8 (2)

Woitzik, A., Passon, O. (2023). Stolpersteine in der modernen Qunatenphysik. In: NiU Physik 34, Nr. 198, 12-15

Hendrik Fleischer[1]
Conrad Borchers[2]
Sascha Schanze[1]
Vincent Aleven[2]

[1]Leibniz Universität Hannover
[2]Carnegie Mellon University Pittsburgh

Fehlerklassifizierung beim tutor-gestützten Lösen von Stöchiometrieaufgaben

Ausgangslage

Das Lösen von stöchiometrischen Aufgaben erfordert eine Verknüpfung mathematischer und chemischer Fertigkeiten (Marais & Combrinck, 2009). Fehler-spezifisches Feedback (Van der Kleij et al., 2015) und Hinweise stellen eine Möglichkeit dar, Lernende beim Lösen von Stöchiometrieaufgaben zu unterstützen (Aleven et al., 2016; Wang et al., 2019). In dieser Studie werden zwei Intelligente Tutorsysteme (ITS) erprobt, welche unterschiedliche Strategien beim Lösen von stöchiometrischen Aufgaben akzeptieren (Flowers & Theopold, 2019; King et al., 2022; Schmidt, 1997). Ein langfristiges Ziel ist es, die ITS dazu zu befähigen, aus Logdaten, welche jegliche Interaktionen der Nutzenden im Tutorsystem protokollieren, verschiedene Arten von Lösungsfehlern zu erkennen, um Lernende adaptiv zu unterstützen. Dieser Beitrag fokussiert die Fragestellungen, welche Fehlerklassifikationen manuell aus den durch die ITS generierten Logdaten zum Lösen von stöchiometrischen Aufgaben ausfindig gemacht und automatisch klassifiziert werden können.

Intelligente Tutorsysteme

Im Folgenden werden der StoichTutor (McLaren et al., 2011) und der ORCCA Tutor (King et al., 2022) vorgestellt, die in den USA entwickelt wurden.

StoichTutor

Im StoichTutor (s. Abb. 1) besteht das Ziel, mit gegebenen Werten (Masse oder Stoffmenge) strukturiert einen gesuchten Wert (Teilchenanzahl oder Stoffmengenkonzentration) zu berechnen (McLaren et al., 2011). Unter Berücksichtigung der *factor-label* Methode (Schmidt, 1997) müssen neben der Eingabe von Werten, ebenfalls Einheiten und Substanzen durch ein Drop-Down-Menü ausgewählt werden. Hinweise für jeden Problemlöseschritt, welche den nächsten Problemlöseschritt erklären, können angefordert werden. Weiterhin gibt der StoichTutor Feedback auf die Genauigkeit einzelner Problemlöseschritte mit konzeptuellen Hinweisen bei typischen Fehlern, wie das Vertauschen von Zähler und Nenner.

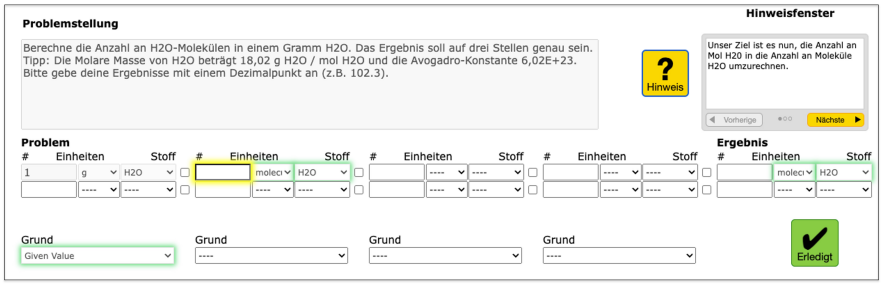


Abb. 1 Interface des StoichTutors.

ORCCA

Im ORCCA Tutor (s. Abb. 2) besteht die Möglichkeit multipler Eingabemöglichkeiten (z.B. Eingabe von Formeln), um einen gesuchten Wert zu berechnen. Der ORCCA Tutor akzeptiert mehrere Strategien, z.B. die Mol-Methode oder die Proportionalitätsmethode (Schmidt, 1997). Im Gegensatz zum StoichTutor kann die Eingabe von Substanz und Einheit im Löseprozess zusammengefasst dargestellt oder vernachlässigt werden. Lediglich das Endergebnis muss vollständig mit den Einheiten eingetragen werden. Der ORCCA Tutor erlaubt Notizen über die Tastatureingabe anzufertigen, um relevante Formeln, Zwischenwerte oder das allgemeine Vorgehen zum Lösen der Aufgaben zu notieren. Lernende erhalten generisches Feedback über die Relevanz numerischer Zwischenergebnisse sowie Hinweise auf die nächsten Problemlöseschritte.

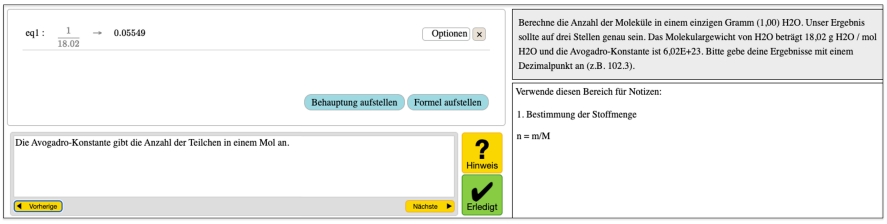


Abb. 2 Interface des ORCCA Tutors.

Methodik

Basis dieser Studie sind Logdaten von insgesamt 61 angehenden Studierenden einer Universität in Deutschland, die in beiden ITS insgesamt 14 stöchiometrische Aufgaben über drei Tagen bearbeitet haben. Zur Klassifikation der Fehlerquellen wurden s.g. Clips von Logdaten analysiert. Insgesamt wurden 478 Clips ausgewertet, welche Bereiche vom ersten inkorrekten Input bis zum ersten darauffolgenden korrekten Input umfassen. Zur Fehlerklassifikation wurde ein Kategoriensystem anhand einer expertenbasierten Auswertung der Logdaten entwickelt (s. Tab. 1). Das Kategoriensystem beruht auf den stöchiometrischen Operationen, welche zum Lösen der Stöchiometrieaufgaben notwendig sind (Gulacar et al., 2013). Aus der manuellen Kodierung wurden zwischen vier und N Entscheidungsregeln für jede Kategorie abgeleitet. Ein Beispiel für eine Entscheidungsregel für die Kategorie 4.3 Composition Stoichiometry wäre, dass wenn ein Wert um einen Multiplikator mit einer natürlichen Zahl vom Ergebnis abweicht, dann das stöchiometrische Verhältnis inkorrekt verwendet oder vernachlässigt wurde. Das Kategoriensystem fokussiert auch auf Schwierigkeiten bei der Nutzbarkeit (Usability) (Chughtai et al., 2015) sowie auf der Erkennung von Gaming the System (Paquette et al., 2014). Eine dritte Person implementierte diese Entscheidungsregeln in Python und evaluierte ihre Klassifikationsgenauigkeit anhand der kodierten Sequenzen. Zur Evaluierung der Inter-Rater Reliabilität (IRR) des Kategoriensystems haben zwei Coder die Sequenzen doppelcodiert. Die manuell doppelcodierten Sequenzen bilden nach Baker et al. (2006) die optimale Lösung (Goldstandard) zur Klassifikation von Clips und stellen folglich die Grundlage für die automatische Fehlerklassifikation dar. Bei Unstimmigkeit der beiden Coder wurde sich nach erneuter Diskussion auf eine Kategorie geeinigt.

Die Interrater-Reliabilität der manuellen Kodierung und die AUC-Werte (*area under curve*), als Gütemerkmal binärer Klassifikation individueller Fehlerkategorien sowie die Präzision der automatischen Detektion für die einzelnen Kategorien, ist Tab. 1 zu entnehmen.

Tab 1 Ausschnitt des Kategoriensystems unter Angabe der IRR sowie des AUC der automatischen Fehlerklassifizierung basierend auf N = 478 kodierten Log Daten Clips.

Kategorie	IRR	AUC	Präzision	Recall
1 Usability	0.813	0.883	0.644	0.825
2 Interface Learning	0.770	0.727	0.404	0.733
3 Gaming the system	0.746	0.812	0.323	0.741
4 Chemistry Learning				
4.1 Unit Conversion	0.754	0.673	0.310	0.466
4.2 Particle Differentiation	0.803	0.818	0.406	0.722
4.3 Composition Stoichiometry	0.679	0.796	0.278	0.712
4.4 $n \sim N_A$	0.656	0.757	0.455	0.526
4.5 n ~ c	0.835	0.883	0.463	0.787
4.6 n ~ m	1.000	0.881	0.619	0.780

Vorläufige Ergebnisse

Das Kategoriensystem weist mit einem Cohens Kappa von κ = 0.60 - 1.00 eine gute IRR auf (Bortz et al., 2006). Gleiches gilt für die AUC mit einem Bereich von 0.60 - 0.80. Allerdings zeigt sich eine geringe Präzision der automatischen Fehlererkennung bei allen Kategorien, abgesehen von 1 Usability und 4.6 n ~ m. Kategorien mit einer auffallend geringen Präzision stellen die Kategorien 4.1 Unit Conversion und 4.3 Composition Stoichiometry dar. Die automatische Fehlerklassifikation kann die vorher manuell klassifizierten Sequenzen zwar reliabel bestätigen, doch fällt die Präzision der Kategorisierung gering aus (s. Tab. 1). Zum aktuellen Zeitpunkt werden mehr falsch-positive als falsch-negative Sequenzen klassifiziert, wobei die falsch-positive Fehlerklassifikation hier eine Klassifizierung von Fehlertypen meint, die in den Sequenzen nicht vorliegen.

Diskussion und Ausblick

Aus den Ergebnissen zeigt sich, dass viele der definierten Fehlertypen beim Lösen von Stöchiometrieaufgaben anhand der Logdaten durch menschliches Kodieren reliabel codiert werden können. Eine offene Forschungsfrage ist, inwiefern weitere Entscheidungsregeln generalisiert oder tutor-spezifisch zur Verbesserung der automatischen Klassifikation beitragen können. Die hohe Rate an falsch-positiv klassifizierten Sequenzen sind möglicherweise auf alternative Problemlösestrategien zurückzuführen, die entweder vom Tutor nicht unterstützt (Eingabe von Zwischenergebnissen im StoichTutor), oder aber auf Grund von komplexen Formeleingaben im ORCCA Tutor nicht erkannt werden. Analysen qualitativer Daten aus *Think Aloud* Protokollen können die Interpretation von Fehlern bereichern. In weiteren Studien werden Prozessinformationen über den Lösevorgang und die Unterstützung durch Feedback-Formen analysiert. Diese Analysen sind notwendig, um Lernunterschiede erklären zu können und um zu verstehen, von welchen Feedback-Formen der individuelle Lernende profitieren kann. Perspektivistisch sollen die ITS so verbessert werden, dass multiple Problemlösestrategien akzeptiert und Lernende durch adaptives Feedback unterstützt werden.

Literatur

Aleven, V., McLaughlin, E. A., Glenn, R. A., & Koedinger, K. R. (2016). Instruction based on adaptive learning technologies. Handbook of research on learning and instruction, 2, 522-560.

Baker, R. S., Corbett, A. T., & Wagner, A. Z. (2006, June). Human Classification of Low-Fidelity Replays of Student Actions. Proceedings of the Educational Data Mining Workshop at the 8th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, 29-36.

Bortz, J., & Döring, N. (2006). Quantitative Methoden der Datenerhebung. Forschungsmethoden und Evaluation: für Human-und Sozialwissenschaftler.

Chughtai, R., Zhang, S., & Craig, S. D. (2015, September). Usability evaluation of intelligent tutoring system: ITS from a usability perspective. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 59 (1), 367-371.

Flowers, P. & Theopold, K. (2019). [ETextbook] Chemistry-2e. https://openstax.org/details/books/chemistry-2e.

Gulacar, O., Overton, T. L., Bowman, C. R., & Fynewever, H. (2013). A novel code system for revealing sources of students' difficulties with stoichiometry. Chemistry Education Research and Practice, 14 (4), 507-515.

King, E. C., Benson, M., Raysor, S., Holme, T. A., Sewall, J., Koedinger, K. R., ... & Yaron, D. J. (2022). The Open-Response Chemistry Cognitive Assistance Tutor System: Development and Implementation. Journal of Chemical Education 2022, 99, 546-552.

Marais, F., & Combrinck, S. (2009). An approach to dealing with the difficulties undergraduate chemistry students experience with stoichiometry. South African Journal of Chemistry, 62 (1), 88-96.

McLaren, B. M., DeLeeuw, K. E., & Mayer, R. E. (2011). Polite web-based intelligent tutors: Can they improve learning in classrooms?. Computers & Education, 56 (3), 574-584.

Paquette, L., de Carvahlo, A., Baker, R., & Ocumpaugh, J. (2014, July). Reengineering the Feature Distillation Process: A Case Study in Detection of Gaming the System. Educational Data mining 2014.

Schmidt, H. J. (1997). An alternate path to stoichiometric problem solving. Research in Science Education, 27, 237-249.

Van der Kleij, F. M., Feskens, R. C., & Eggen, T. J. (2015). Effects of feedback in a computer-based learning environment on students' learning outcomes: A meta-analysis. Review of educational research, 85 (4), 475-511.

Wang, Z., Gong, S. Y., Xu, S., & Hu, X. E. (2019). Elaborated feedback and learning: Examining cognitive and motivational influences. Computers & Education, 136, 130-140.

Kerstin Lindmaier[1]
Lana Ivanjek[1]
Martin Hopf[2]

[1]Johannes Kepler Universität Linz
[2]Universität Wien

Entwicklung eines Multiple-Choice-Tests zur Newtonschen Mechanik für die Sekundarstufe I

Im Rahmen eines Design-Based Research-Projekts zur Entwicklung digitaler und analoger Unterrichtsmaterialien basierend auf dem 2DD-Mechanikkonzept wurde die Entwicklung eines Testinstruments zur Überprüfung des konzeptionellen Verständnisses von Schüler:innen der Sekundarstufe I initiiert. Eine vorhergehende Recherche hatte gezeigt, dass keines der bisher entwickelten Evaluierungswerkzeuge die Anforderungen (Altersstufe, online durchführbar, passend zum zweidimensionalen Mechanik-Konzept etc.) ganz erfüllte. Der Multiple-Choice Test umfasst 45 Items und prüft das Verständnis der Lernenden für Geschwindigkeit, Tempo, Kraft, Bewegung, Zusatzgeschwindigkeit und das 3. Newtonsche Gesetz ab. Das Testinstrument wurde, aufgeteilt in zwei Testhefte, von über 160 Schüler:innen der sechsten Klasse der Sekundarstufe I bearbeitet. Diese hatten zuvor ca. 20 Unterrichtseinheiten zum Thema Mechanik absolviert. Mit Hilfe des Raschmodells wurde anschließend überprüft, ob das neue Instrument ein stabiles Konstrukt bildet. Der Testentwicklungsprozess und erste Ergebnisse sollen im Folgenden vorgestellt werden.

Einleitung

Frühere Untersuchungen haben gezeigt, dass Lernende aller Klassenstufen weit verbreitete Schwierigkeiten mit dem Mechanikverständnis haben. Dazu gehören die mangelnde Unterscheidung zwischen Geschwindigkeit, Tempo und Beschleunigung sowie Probleme dabei, Kräfte richtig zu interpretieren und Trägheitsphänomene zu erkennen (Hestenes et al., 1992). Die Physikdidaktik hat den Lehrerkräften bisher verschiedene Unterrichtskonzepte zur Verfügung gestellt, um diesen Herausforderungen zu begegnen. Ein solches Konzept für die 7. Schulstufe (das 2DD-Konzept) wurde in den letzten Jahrzehnten in Deutschland entwickelt. (Spatz et al., 2020) Es konzentriert sich auf die zweidimensionale Bewegung und verzichtet auf den Begriff „Beschleunigung". 2023 trat ein neuer Lehrplan (*Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen*, 2023) für die Sekundarstufe I in Österreich in Kraft, der nun ebenfalls die Vermittlung zweidimensionaler Bewegungen betont und sich zusätzlich für die Digitalisierung in der Schule einsetzt, was eine Adaption des 2DD-Konzepts erforderlich macht. Um die Wirksamkeit dieses Ansatzes zu evaluieren, ist ein neues konzeptionelles Instrument erforderlich.

Bisher verfügbare Testinstrumente

Ein Literaturüberblick zeigt verschiedene Testinstrumente mit Schwerpunkt auf Mechanik, wie z. B. den Force Concept Inventory (FCI) (Hestenes et al., 1992) und seine Varianten [Half-FCI (Han et al., 2015), Animated FCI (Dancy & Beichner, 2006), Representational Variant of the FCI (Nieminen et al., 2010), Gender-FCI (McCullough, 2011)]. Diese werden eingesetzt, um Fehlvorstellungen im Bereich der Mechanik bei College- und Highschool-Schüler:innen zu ermitteln.

Der Simplified-FCI (Osborn Popp & Jackson, 2009) unterscheidet sich insofern, als seine angepasste Sprache es ermöglicht, ihn auf Schüler:innen der Mittelstufe anzuwenden. Eine inhaltliche Anpassung fand jedoch nicht statt.
Ein weiteres Instrument, der Mechanics Base Line-Test (MBT) (Hestenes & Wells, 1992), wird für Oberstufenschüler:innen und Student:innen empfohlen, die sich auf Kinematik, Energie, Kräfte und Impuls konzentrieren, ähnlich wie die Force and Motion Conceptual Evaluation (Thornton & Sokoloff, 1998), die 1998 entwickelt und seitdem mehrmals überarbeitet wurde. Weitere Testinstrumente für die Mechanik auf Hochschulebene sind der Force, Velocity and Acceleration-Test (Rosenblatt & Heckler, 2011), der Mechanics Diagnostic Test (I. A. Halloun & Hestenes, 1985) und das Inventory of Basic Conceptions-Mechanics (I. Halloun, 2007).
Im deutschsprachigen Raum lag der Fokus der Testinstrumente auf der Sekundarstufe I.
Seiter (2021) hat beispielsweise ein Testinstrument entwickelt, dass sowohl für die eindimensionale, als auch für die zweidimensionale Mechanik geeignet ist. Dieses verzichtet jedoch auf Begriffe wie „Zusatzgeschwindigkeit“ und enthält Umrechnungsaufgaben zur Geschwindigkeit, weswegen es für die Testung der neu entwickelten Unterrichtsmaterialien nicht übernommen wurde. Erwähnenswert ist an dieser Stelle auch der FWM-Test (Ludwig et al., 2021), der eigens für die Erhebung des Mechanik-Fachwissens in der Mittelstufe entwickelt wurde. Dieser deckt neben der Kraft auch die Energie, die Leistung, die Arbeit, den Druck und den Auftrieb ab, stellt aber keinen Bezug zum 2DD-Konzept her.

Häufig wird bei der Testentwicklung auch auf bereits bestehende Tools, wie z.B. den FCI (Hestenes et al., 1992), zurückgegriffen. So haben etwa Tobias et al. (Tobias, 2010) die Mehrzahl ihrer Items aus diesem Testinstrument entlehnt.

Forschungsziele

Wie ein Blick in die Literatur zeigt, gibt es zahlreiche Instrumente zur Überprüfung des Verständnisses von Mechanik für Schüler:innen der Sekundarstufe II sowie Student:innen, jedoch nur wenige für die Sekundarstufe I. Darüber hinaus sollte das neue Instrument grundlegende zweidimensionale Bewegungen abdecken und dem Ruf nach Digitalisierung des neuen Lehrplans gerecht werden. Das primäre Forschungsziel für diesen Teil der Studie war daher die Entwicklung eines digitalen Testinstruments zur Beurteilung des konzeptionellen Verständnisses von Mechanik in der Sekundarstufe I. Die zentralen Forschungsziele bestanden darin, herauszufinden, ob das neue Instrument die festgestellten Schwierigkeiten der Schüler:innen mit der Mechanik identifizieren kann und die entwickelten Fragen ein stabiles Konstrukt bilden. Darüber hinaus sollte herausgefunden werden, ob das Testinstrument als Prä-/Posttest eingesetzt werden kann.

Forschungsdesign und Methoden

Im Rahmen des Entwicklungsprozesses wurden zunächst Lernziele definiert und diskutiert. Der Fokus lag dabei auf der Newtonschen Mechanik. Darauf aufbauend und auf Grundlage früherer Studien und bestehender Testinstrumente wurde schließlich ein neues Testtool entwickelt.

Es umfasst: die Beschreibung der Bewegung, den Unterschied zwischen Tempo und Geschwindigkeit, die Zusatzgeschwindigkeit, die Newtonsche Bewegungsgleichung, die Beziehung zwischen Kraft und Bewegung und das dritte Newtonsche Gesetz. In Abbildung eins ist ein Item aus dem Fragebogen dargestellt.

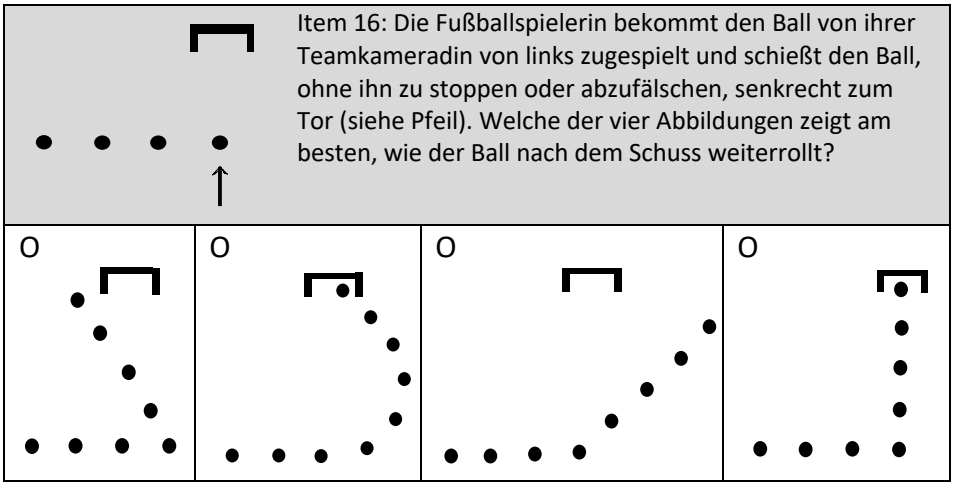


Abb. 1: Exemplarisches Item zur Zusatzgeschwindigkeit

Das Instrument wurde von ca. 160 Schüler:innen der sechsten Klasse österreichischer Mittelschulen und Gymnasien bearbeitet. Alle Schülerinnen und Schüler hatten zuvor an durchschnittlich 20 Unterrichtseinheiten zum Thema *Mechanik* teilgenommen. Die Daten wurden mit der WINSTEPS-Software (*WINSTEPS Rasch Software - Winsteps Facets*, 2024) für Rasch-Modellierung analysiert, um lineare Maße für die Itemschwierigkeiten zu erhalten und um zu überprüfen, ob das neue Instrument ein stabiles Konstrukt bildet.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen:
Eine erste Analyse ergab eine zufriedenstellende Item-Reliabilität von 0,93. Die Personen-Reliabilität lag jedoch mit 0,34 deutlich darunter. Dies könnte auf mehrere Faktoren zurückzuführen sein. Zunächst war der Testzeitpunkt mit den letzten Wochen des Semesters sehr spät angesetzt. Darüber hinaus wurden die Testungen von unterschiedlichen Lehrkräften online in ihrem Unterricht durchgeführt, ohne vorherige Einweisung durch die Studienleitung.
Eine weitere Hürde stellt die Tatsache dar, dass das 2DD-Mechanikkonzept zwar in den österreichischen Lehrplan aufgenommen wurde, die Umsetzung jedoch erst stufenweise beginnt. Die befragten Schüler:innen wurden also noch nach herkömmlichen Standards unterrichtet. Das wäre eine Erklärung dafür, dass die Schwierigkeit einiger Items über der Personenfähigkeit lag. Insgesamt konnte eine Mehrheit der Items jedoch zur Zufriedenheit gelöst werden.

Im nächsten Schritt wird der Fragebogen nun adaptiert und mit einer neuen Stichprobe getestet. Die Durchführung soll zukünftig von der Studienleitung abgewickelt werden, um eine bessere Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Literatur

Dancy, M. H. & Beichner, R. (2006). Impact of animation on assessment of conceptual understanding in physics. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, *2*(1). https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.2.010104

Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen. (2023). https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568

Halloun, I. (2007). *Evaluation of the Impact of the New Physics Curriculum on the Conceptual Profiles of Secondary Students.*

Halloun, I. A. & Hestenes, D. (1985). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics*, *53*(11), 1043–1055. https://doi.org/10.1119/1.14030

Han, J., Bao, L., Chen, L., Cai, T., Pi, Y., Zhou, S., Tu, Y. & Koenig, K. (2015). Dividing the Force Concept Inventory into two equivalent half-length tests. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, *11*(1). https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.11.010112

Hestenes, D. & Wells, M. (1992). A mechanics baseline test. *The Physics Teacher*, *30*(3), 159–166. https://doi.org/10.1119/1.2343498

Hestenes, D., Wells, M. & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, *30*(3), 141–158. https://doi.org/10.1119/1.2343497

McCullough, L. (2011). *Gender Differences in Student Responses to Physics Conceptual Questions Based on Question Context.* Presented at: ASQ Advancing the STEM Agenda in Education, the Workplace and Society, University of Wisconsin-Stout.

Nieminen, P., Savinainen, A. & Viiri, J. (2010). Force Concept Inventory-based multiple-choice test for investigating students' representational consistency. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, *6*(2). https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.6.020109

Osborn Popp, S. & Jackson, J. (2009). *Can Assessment of Student Conceptions of Force be Enhanced Through Linguistic Simplification?* Presentet at: American Educational Research Association, San Diego.

Rosenblatt, R. & Heckler, A. F. (2011). Systematic study of student understanding of the relationships between the directions of force, velocity, and acceleration in one dimension. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, *7*(2). https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.7.020112

Spatz, V., Hopf, M., Wilhelm, T., Waltner, C. & Wiesner, H. (2020). Introduction to Newtonian mechanics via two-dimensional dynamics. The effects of a newly developed content structure on Bavarian Middle School Students. *European Journal of Science and Mathematics Education*, *8*(2), 76–91.

Thornton, R. K. & Sokoloff, D. R. (1998). Assessing student learning of Newton's laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation and the Evaluation of Active Learning Laboratory and Lecture Curricula. *American Journal of Physics*, *66*(4), 338–352. https://doi.org/10.1119/1.18863

Tobias, V. (2010). *Newtonsche Mechanik im Anfangsunterricht: Die Wirksamkeit einer Einführung über die zweidimensionale Dynamik auf das Lehren und Lernen* [Dissertation]. Ludwig-Maximilians-Universität München, München.

WINSTEPS Rasch Software - Winsteps Facets. (2024, 15. Februar). https://www.winsteps.com/winsteps.htm

Julia Hofmann[1]
Josefine Neuhaus[1]
Andreas Müller[2]
Pascal Klein[1]

[1]Universität Göttingen
[2]Universität Genf

Förderung des Formelverständnisses durch physikspezifische Betrachtungsweisen

Neben dem Erwerb von experimentellen Fähigkeiten und Konzeptwissen sind der Umgang mit und insbesondere das Verständnis von Gleichungen und Formeln ein zentraler Aspekt naturwissenschaftsspezifischer Kompetenzen. Physikstudierende sollen im Verlauf ihres Studiums die Fähigkeiten entwickeln, Formeln kritisch zu hinterfragen und auf Plausibilität zu überprüfen – Kompetenzen, die zum Studienabschluss gefestigt sein sollten. In Lehrveranstaltungen werden jedoch Strategien zur Förderung von Formelverständnis bisher kaum explizit integriert und instruiert. Um Einblicke in die Entwicklung des Formelverständnisses zu erlangen, wurde daher eine Interventionsstudie im Rahmen einer Veranstaltung zu Elektromagnetismus in der Studieneingangsphase durchgeführt ($N = 116$). Ziel stellte die Förderung vier zentraler Betrachtungsweisen (Dimensions-, Spezialfall-, Grenzfall- und Kovariationsbetrachtung) dar, die unter anderem mithilfe von *Worked Examples* im vorlesungsbegleitenden Übungsbetrieb in Übungszetteln implementiert wurden.

Theoretischer Hintergrund

Beim Lösen von physikalischen Problemen ist neben dem Extrahieren relevanter Informationen, der Erarbeitung eines Lösungsweges sowie der Lösung besonders die Überprüfung des Ergebnisses von großer Bedeutung (Friege, 2001). Dieser meist abschließende Evaluationsschritt des Problemlöseprozesses wird jedoch häufig übersprungen und ausgelassen. Wilcox et al. (2013) kamen in einer Studie mit 172 Studierenden des ersten Physiksemesters in einem Kurs zu Elektromagnetismus zu dem Ergebnis, dass lediglich 8% der Teilnehmenden ihre Lösungen selbstständig reflektierten. Die Ergebnisüberprüfung, bspw. anhand von Faktenwissen, ist jedoch entscheidend, um abzuwägen, ob ein erzieltes Ergebnis physikalisch plausibel ist und die zugrundeliegende Situation adäquat beschreibt (Brandenburger, 2017). Obwohl sich die eigene Intuition erst im Verlauf der Zeit entwickelt, kann sie langfristig hierbei eine wertvolle Unterstützung bieten. Der Formel wird somit vor dem Hintergrund der physikalischen Situation eine Bedeutung im Sinne des *Sense-Makings* zugeschrieben (Odden & Russ, 2019).

Strategien, die sich bereits als nützlich erwiesen haben und zum „Werkzeugkasten" eines Physikers/einer Physikerin gehören sind bspw. die Betrachtung von Dimensionen (DI), Spezial- (SF), Grenzfällen (GF) und Kovariationen (KO) (Lenz, 2020; Olsho et al., 2023). Im Rahmen einer Mechanik-Veranstaltung haben Hahn et al. (2017) diese und noch weitere sog. *Sense-Making-Strategien* thematisiert und auf wöchentlichen Übungszetteln integriert. Es zeigte sich, dass Studierende häufig Dimensionen und Spezialfälle betrachteten, um eine Lösung zu überprüfen. In weiteren Studien zeigte sich, dass Studierende Betrachtungsweisen zur Überprüfung eines Ergebnisses nicht von selbst anwendeten, wenn sie nicht explizit dazu

aufgefordert wurden (Warren, 2009; Lenz 2018). Studierende benötigen demnach explizite Instruktionen und Übungsgelegenheiten im Umgang mit Plausibilitätsüberprüfungen.

Leitfrage

Können physikspezifische Betrachtungsweisen gezielt gefördert und besser ins Studium integriert werden? Wie schätzen Physikstudierende im ersten Studienjahr DI, SF, GF und KO im Hinblick auf deren Relevanz, ihr eigenes Selbstkonzept und die Integration in bisherige Veranstaltungen ein?

Methode

Forschungsdesign

Innerhalb des vorlesungsbegleitenden Übungsbetriebs wurden auf zwölf Übungszetteln Aufgaben implementiert, die die Betrachtung von DI, SF, GF und KO von eigenständig hergeleiteten Formeln forderte. Thematisch beschäftigte sich die Zweitsemestervorlesung mit Elektrizitätslehre und Magnetismus. In der ersten Hälfte des Semesters (Phase 1) wurden die Studierenden zwei Gruppen (G1 & G2) zugeordnet (s. Abb. 1): G1 überprüfte Formeln unter Zuhilfenahme von DI und KO, während G2 hierfür SF und GF nutzte. Zu Beginn des Semesters wurden in den regulären Tutorien anhand von *Worked Examples* (Renkl, 2014) die gruppenspezifischen Betrachtungsweisen instruiert. In der zweiten Semesterhälfte (Phase 2) wendeten alle Studierenden alle vier Betrachtungsweisen an.

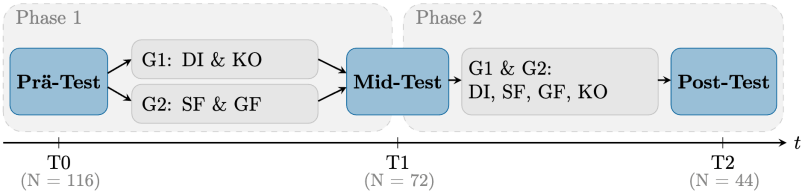


Abb. 1: Design der Interventionsstudie.

Erhebungsinstrumente

Zu Beginn (T0), in der Mitte (T1) und am Ende (T2) des Semesters bearbeiteten die Studierenden jeweils einen Test, bei dem sie DI, SF, GF und KO anwenden sollten. Als Prädiktor umfasste der Test zum Zeitpunkt T0 Mechanik-Aufgaben und zum Zeitpunkt T1 und T2 Aufgaben aus den Bereichen Elektromagnetismus (z. B.: „*Im Folgenden soll die physikalische Plausibilität der angegebenen Formel überprüft werden, ohne die Formel selbstständig herzuleiten. Untersuchen Sie einen relevanten Spezialfall der Formel.*“).

Die Studierenden beantworteten zudem zu allen drei Zeitpunkten im Hinblick auf jede der vier Betrachtungsweisen jeweils vier Fragen zur Einschätzung des Selbstkonzepts (z. B.: „*Die Anwendung der Strategie beherrsche ich gut.*“) und zur Relevanz (z. B.: „*Ich denke, dass das Beherrschen der Strategie wichtig ist.*“). Die Items wurden auf Grundlage des *Intrinsic Motivation Inventory* (Ryan et al., 1983) formuliert. Zusätzlich fragten drei Items nach der Integration in (bisherige) Lehrveranstaltungen (im Sinne eines Manipulation Checks, z. B.: „*Die Strategie war explizit Gegenstand vergangener Veranstaltungen.*“)

Stichprobe

Zum Zeitpunkt T0 nahmen 116 Personen an der Erhebung teil (s. Abb. 1). Im Mittel waren die Studierenden 20.3 Jahre alt und gaben eine Abiturnote von 1.6 an. Von den

Teilnehmenden waren 69% im Bachelor of Science Physik, 17% im 2-Fächer Bachelor Lehramt mit Fach Physik und 14% in sonstigen Studiengängen (mit Nebenfach Physik) immatrikuliert. Der Großteil studierte im zweiten Fachsemester (90%) und besuchte die Veranstaltung zum ersten Mal (95%).

Ergebnisse

Für den Zeitpunkt T0 wurden Item- und Skalenanalysen sowie eine explorative Faktorenanalyse durchgeführt. Für jede Betrachtungsweise ließen sich dieselben drei Subskalen extrahieren: Selbstkonzept, Relevanz und die Integration in Veranstaltungen. Es wurde kein Item ausgeschlossen, da übergreifend eine angemessene Trennschärfe ($0.3 < r_{it} < 0.7$) und Reliabilität ($\alpha > 0.7$) erzielt wurden.

Eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (rmANOVA) zeigte für die Einschätzung des Selbstkonzepts zum Zeitpunkt T0 einen signifikanten Innersubjekteffekt bezüglich des Faktors „Betrachtungsweisen“ ($F(3, 330) = 44.53,\ p < 0.001,\ \text{part.}\,\eta^2 = 0.29$, s. Abb. 2a). Das Selbstkonzept von GF ($M_{GF} = 2.4$) unterschied sich signifikant von allen weiteren Betrachtungsweisen ($p < 0.05$, $M_{DI} = 3.1$, $M_{SF} = 2.7$, $M_{KO} = 3.1$). Zudem konnte ein signifikanter Innersubjekteffekt (rmANOVA) sowohl im Hinblick auf die Relevanzeinschätzung (mit Huynh-Feldt Korrektur: $F(2.84, 312.38) = 5.14,\ p = 0.002,\ \text{part.}\,\eta^2 = 0.05$, s. Abb. 2b) als auch auf die Integration in bisherige Veranstaltungen ($F(3, 324) = 15.34, p < 0.001, \text{part.}\,\eta^2 = 0.12$, s. Abb. 2c) nachgewiesen werden.

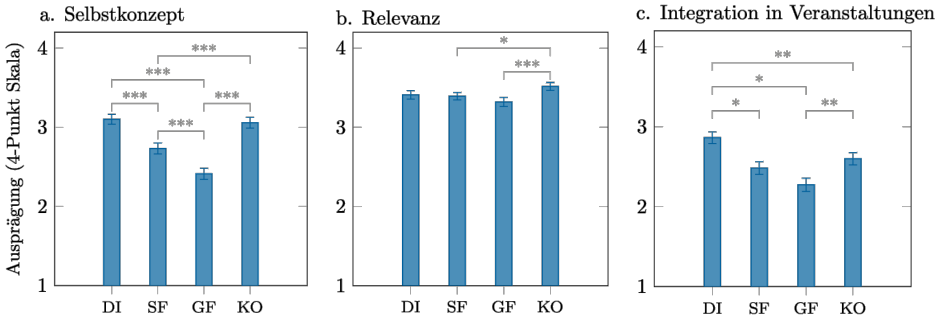


*Abb. 2: Selbstkonzept (a), Relevanz (b) und Integration in Veranstaltungen (c) von DI, SF, GF und KO zum Zeitpunkt T0 (1 SEM; *: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$).*

Diskussion & Ausblick

Im Allgemeinen zeigt sich, dass die Studierenden jede der vier Betrachtungsweisen als sinnvoll und relevant für das Physik-Studium und den Alltag eines Physikers/einer Physikerin einschätzen. Die Analysen weisen jedoch darauf hin, dass das größte Förderpotential in der Betrachtung von Grenzfällen zu liegen scheint. Sowohl das niedrige Selbstkonzept als auch der als gering wahrgenommene bisherige Einsatz dieser Betrachtungsweise in Lehrveranstaltungen legen nahe, dass besonders diese Betrachtungsweise in Veranstaltungen instruiert und geübt werden sollte. In weiterführenden Analysen wird zum einen der Verlauf der Zielvariablen über das Semester und zum anderen die Performanz der Anwendung aller Betrachtungsweisen anhand spezifischer Bewertungskriterien untersucht (Etkina et al., 2006). Darüber hinaus können weitere Einblicke aufschlussreich sein, welches Maß an Übung erforderlich ist, um die Betrachtungsweisen erfolgreich anzuwenden.

Literatur

Brandenburger, M. (2017). Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik? Eine Untersuchung mit Studierenden. Logos Verlag Berlin.

Etkina, E., Van Heuvelen, A., White-Brahmia, S., Brookes, D. T., Gentile, M., Murthy, S., ... & Warren, A. (2006). Scientific abilities and their assessment. Physical Review Special Topics – Physics Education Research, 2(2), 020103.

Friege, G. (2001). Wissen und Problemlösen: Eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleichs. Logos-Verlag Berlin.

Hahn, K. T., Emigh, P. J., Lenz, M., & Gire, E. (2017). Student sense-making on homework in a sophomore mechanics course. PERC Proceedings.

Lenz, M. (2020). Sensemaking Throughout the Physics Curriculum: Understanding Expert and Student Ideas About Sensemaking in a Physics Context.

Lenz, M., Emigh, P. J., & Gire, E. (2018). Surprise! students don't do special-case analysis when unaware of it. PERC Proceedings.

Odden, T. O. B., & Russ, R. S. (2019). Defining sensemaking: Bringing clarity to a fragmented theoretical construct. Science education, 103(1), 187-205.

Olsho, A., Zimmerman, C., & Brahmia, S. W. (2023). A framework for characterizing covariational reasoning in physics. [preprint]

Renkl, A. (2014). Toward an instructionally oriented theory of example-based learning. Cognitive science, 38(1), 1-37.

Ryan, R. M., Mims, V., & Koestner, R. (1983). Relation of reward contingency and interpersonal context to intrinsic motivation: A review and test using cognitive evaluation theory. Journal of personality and Social Psychology, 45(4), 736-750.

Warren, A. (2009). Evaluation strategies: Teaching students to assess consistency. The Physics Teacher, 47(7), 466-469.

Wilcox, B. R., Caballero, M. D., Pepper, R. E., & Pollock, S. J. (2013). Upper-division student understanding of Coulomb's law: Difficulties with continuous charge distributions. AIP Conference Proceedings, 1513(1), 418-421.

Katharina Leibfarth[1]
Ulrich Trautwein[1]
Peter Gerjets[2]
Jan-Philipp Burde[1]

[1]Universität Tübingen
[2]IWM Tübingen

Die Verständlichkeit von Modellen des einfachen Stromkreises

Hintergrund und Motivation

In der heutigen Zeit ist Elektrizität aus dem täglichen Leben nicht mehr wegzudenken. Zahlreiche bewusste und unbewusste Kontaktpunkte mit Elektrizität im Alltag machen diese zu einem integralen Bestandteil der modernen Gesellschaft. Gleichzeitig haben viele Lernende Schwierigkeiten mit den grundlegenden Konzepten der Elektrizitätslehre. Diverse Lernendenvorstellungen spiegeln diese konzeptuellen Schwierigkeiten zu einfachen Stromkreisen wider, beispielsweise die Vorstellung, dass der elektrische Strom „verbraucht" würde, die Spannung eine Eigenschaft des Stroms sei oder die Spannung an einem einzigen Punkt messbar sei (Burde, 2018; Engelhardt & Beichner, 2004; Shipstone et al., 1988; von Rhöneck, 1986). Eine potenzielle Ursache dieser Schwierigkeiten und Lernendenvorstellungen liegt in der Unanschaulichkeit der Elektrizitätslehre: Die grundlegenden Größen einfacher Stromkreise und deren Zusammenhänge sind für unsere direkte Wahrnehmung nicht zugänglich (Burde et al., 2021). Um diesem Problem zu begegnen, liegt es daher nahe zur Veranschaulichung der Größen und Vorgänge einfacher Stromkreise auf geeignete Modelle bzw. Analogien zurückzugreifen. Fachdidaktische Studien konnten beispielsweise zeigen, dass Lehrkräfte in der Unterrichtspraxis häufig Stromkreismodelle einsetzen, wobei die Modellauswahl stark variiert (Leibfarth et al., im Druck; Schubatzky, 2020). Insbesondere Höhenmodelle, das Fahrradkettenmodell sowie das Elektronengasmodell haben sich in Studien als vergleichsweise lernwirksam erwiesen (Burde, 2018; Gleixner, 1998; Hindriksen et al., 2023). Allerdings wurde bisher kaum empirisch untersucht, ob bzw. inwiefern sich die genannten Stromkreismodelle in Bezug auf die Förderung des Konzeptverständnisses bei den Schüler:innen unterscheiden bzw. mit welchen Verständnisschwierigkeiten sie verbunden sind.
Vor diesem Hintergrund soll ein systematischer Vergleich unterschiedlicher Modelle des einfachen Stromkreises im Rahmen einer qualitativen Interviewstudie mit Lernenden durchgeführt werden.

Forschungsfragen

Die Interviewstudie zielt darauf ab, die Akzeptanz der unterschiedlichen Modelle seitens der Lernenden sowie die Lernwirksamkeit der Modelle mit Blick auf zentrale physikalische Konzepte und Zusammenhänge im einfachen Stromkreis zu untersuchen. Dazu soll anhand von exemplarisch ausgewählten Modellen und Analogien den folgenden Fragen nachgegangen werden:

1. Wie werden die unterschiedlichen Stromkreismodelle von Lernenden akzeptiert?
2. Wie unterscheidet sich das Konzeptverständnis der Lernenden bezüglich…
    a. der unterschiedlichen Modelle des elektrischen Stromkreises?

   b. des elektrischen Stromkreises (nach einer Instruktion auf Basis der unterschiedlichen Stromkreismodelle)?
3. Wie unterscheiden sich die Verständnisschwierigkeiten der Lernenden bezüglich…
   a. der unterschiedlichen Modelle des elektrischen Stromkreises?
   b. des elektrischen Stromkreises (nach einer Instruktion auf Basis der unterschiedlichen Stromkreismodelle)?

Modellauswahl

In dieser Studie sollen Modelle, die sich in bisherigen fachdidaktischen Arbeiten bewährt haben, miteinander verglichen werden. Die hierfür gebildeten Modellgruppen sind in Abbildung 1 dargestellt.

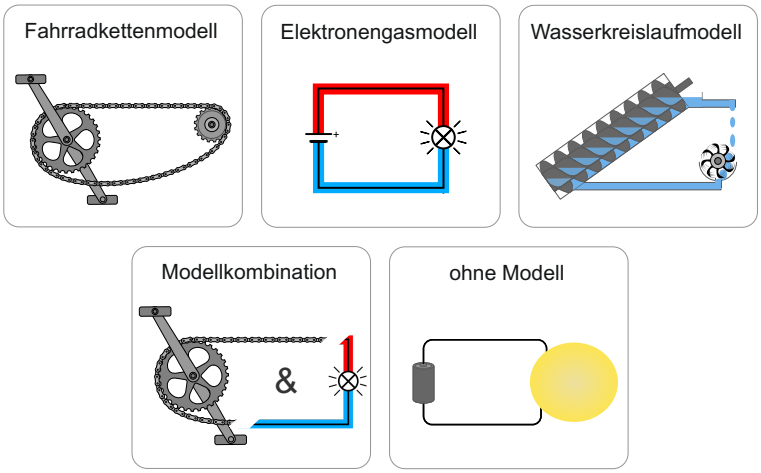


Abbildung 1: Die unterschiedlichen Modellgruppen der Interviews

Die Wahl des Fahrradkettenmodells ist darin begründet, dass es geeignet erscheint, den Systemcharakter elektrischer Stromkreise zu adressieren sowie der Lernendenvorstellung des Stromverbrauchs zu begegnen (Burde & Wilhelm, 2017; Wodzinski, 2013). Darüber hinaus sind viele Schüler:innen aus dem Alltag mit Fahrrädern vertraut, was zur erfolgreichen Modellnutzung beitragen kann (Burde & Wilhelm, 2017; Duit, 1991; Härtel, 2012). Das Elektronengasmodell hingegen erscheint besonders geeignet den Differenzcharakter der elektrischen Spannung zu veranschaulichen (Burde, 2018). Das Modell des offenen Wasserkreislaufs als Beispiel eines Höhenmodells, das von zahlreichen Lehrkräften eingesetzt wird, ergänzt die Modellauswahl (Schubatzky, 2020). Während die Stärken des Wasserkreislauf- und des Elektronengasmodells primär in der Veranschaulichung der elektrischen Spannung liegen, sind die des Fahrradkettenmodells eher bei der elektrischen Stromstärke verortet, sodass die beiden letzteren Modelle in einer weiteren Gruppe kombiniert werden (Burde & Wilhelm, 2017). Die Kombination von verschiedenen Modellen entspricht zudem der Gestaltung mancher Schulbücher (Leibfarth et al., im Druck; Wilhelm & Vario Nunes, 2020) sowie oftmals auch des Physikunterrichts (Schubatzky, 2020).

Studiendesign

Der Vergleich der Modellgruppen erfolgt anhand von leitfadengestützten Einzelinterviews in einem Umfang von ca. einer Schulstunde mit etwa 30 Schüler:innen der 7. und 8. Jahrgangsstufe, das heißt bevor diese im Physikunterricht mit dem Thema der Elektrizitätslehre in Kontakt gekommen sind. Die Interviews basieren auf der Methode der Akzeptanzbefragung (Jung, 1992; Wodzinski & Wiesner, 1996). Dabei werden die Lernenden im Anschluss an eine fachliche Erklärung eines Konzepts des einfachen Stromkreises zunächst nach ihrer Akzeptanz gefragt. Im weiteren Verlauf der Interviews sollen sie die Erklärung paraphrasieren sowie diese auf eine anschließende Transferaufgabe anwenden.

Die Interviews sind in zwei miteinander vergleichbare Abschnitte gegliedert (vgl. Abb. 2): Im ersten Teil (a) werden die Konzepte innerhalb des Modellbereichs adressiert, beispielsweise der Straffheitsunterschied der Kette im Fahrradkettenmodell bzw. der elektrische Druckunterschied im Elektronengasmodell bzw. der Höhenunterschied im Wasserkreislaufmodell. Der zweite Teil (b) behandelt analoge Konzepte im Zielbereich des elektrischen Stromkreises unter Rückbezug zum Modell, beispielsweise die elektrische Spannung als Potenzialunterschied, die dem Höhenunterschied im Wasserkreislaufmodell entspricht. Dabei sind die Transferaufgaben, die in den Interviews zum Modell sowie zum einfachen Stromkreis gestellt werden, analog gehalten.

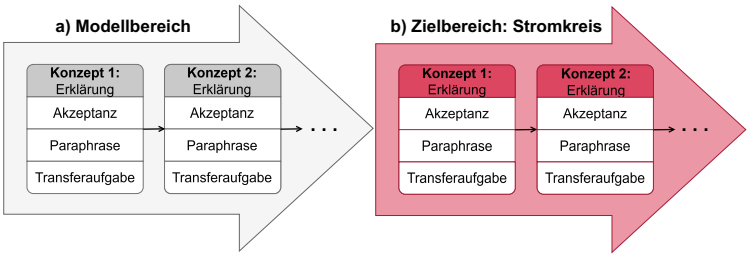


Abbildung 2: Verlaufsplan der Interviews

Im Anschluss an die Interviews werden diese transkribiert und mithilfe einer inhaltlich strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet (Kuckartz & Rädiker, 2022).

Ausblick

Die Erhebungen werden im ersten Halbjahr des Schuljahres 2024/25 durchgeführt. Die Ergebnisse der Interviews sollen Aufschluss darüber geben, inwiefern die untersuchten Modelle lernförderlich sind und von den Lernenden akzeptiert werden. Im Anschluss an die hier skizzierte qualitative Studie ist ein quantitativ-empirischer Vergleich der Lernförderlichkeit verschiedener Stromkreismodelle geplant.

Literatur

Burde, J.-P. (2018). *Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells*. Logos Verlag Berlin. https://doi.org/10.30819/4726

Burde, J.-P., Weatherby, T. S., & Kronenberger, A. (2021). An analogical simulation for teaching electric circuits: A rationale for use in lower secondary school. *Physics Education*, *56*, 055010. https://doi.org/10.1088/1361-6552/ac03fe

Burde, J.-P., & Wilhelm, T. (2017). Modelle in der Elektrizitätslehre. Ein didaktischer Vergleich verbreiteter Stromkreismodelle. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, *28*(157), 8–13.

Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, *75*(6), 649–672. https://doi.org/10.1002/sce.3730750606

Engelhardt, P. V., & Beichner, R. J. (2004). Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, *72*(1), 98–115. https://doi.org/10.1119/1.1614813

Gleixner, C. (1998). *Einleuchtende Elektrizitätslehre mit Potential: Untersuchungen zu Lernprozessen in der elementaren Elektrizitätslehre*. Ludwig-Maximilians-Universität München.

Härtel, H. (2012). Der alles andere als einfache elektrische Stromkreis. *Praxis der Naturwissenschaften Physik in der Schule*, *61*(5), 17–24.

Hindriksen, A., Kahnt, M., & Berger, R. (2023). Lernwirksamkeit von Analogiemodellen zum elektrischen Potenzial. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1340

Jung, W. (1992). Probing Acceptance, A Technique for Investigating Learning Difficulties. In R. Duit, F. Goldberg, & H. Niedderer (Hrsg.), *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies* (S. 278–295).

Kuckartz, U., & Rädiker, S. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung: Grundlagentexte Methoden* (5. Auflage). Beltz Juventa.

Leibfarth, K., Burde, J.-P., & Gottschlich, B. (im Druck). Modelle des einfachen Stromkreises in der Sekundarstufe I in Baden-Württemberg. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.

Schubatzky, T. (2020). *Das Amalgam Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht: Eine multiperspektivische Betrachtung in Deutschland und Österreich*. Logos Verlag Berlin. https://doi.org/10.30819/5159

Shipstone, D. M., von Rhöneck, C., Jung, W., Kärrqvist, C., Dupin, J.-J., Johsua, S., & Licht, P. (1988). A study of students' understanding of electricity in five European countries. *International Journal of Science Education*, *10*(3), 303–316. https://doi.org/10.1080/0950069880100306

von Rhöneck, C. (1986). Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, *34*(13), 10–14.

Wilhelm, T., & Vario Nunes, R. M. (2020). Vergleichende Schulbuchanalyse zur Einführung in die E-Lehre. In Sebastian Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen* (S. 578–581).

Wodzinski, R. (2013). Lernhilfe oder Lernhindernis?: Modelle von Leitungsvorgängen in Stromkreisen unter der Lupe. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, *23*(133), 12–16.

Wodzinski, R., & Wiesner, H. (1996). Akzeptanzbefragungen als Methode zur Untersuchung von Lernschwierigkeiten und Lernverläufen. In R. Duit & C. von Rhöneck (Hrsg.), *Lernen in den Naturwissenschaften: Beiträge zu einem Workshop an der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg* (S. 250–274).

Manuel Schleicher[1]
Olaf Krey[1]
Marietta Menner[1]
Julia Thurner-Irmler[1]

[1]Universität Augsburg

Die Vielseitigkeit von Magnetismus im Schüler*innen Labor entdecken

In vorliegendem Beitrag wird die Entwicklung des Schüler*innen-Labor-Bausteins „Der andere Magnetismus“ vorgestellt. Dieser richtet sich an Schülerinnen und Schüler der 7. und 8. Klassen an Gymnasien in Bayern. Dabei wird an das Vorwissen zum Ferromagnetismus angeknüpft, dieses vertieft und um die Magnetismus-Formen Dia-, Para- und Antiferromagnetismus erweitert. In einer experimentgestützten Lernumgebung sollen beobachtete Phänomene mit einem theoretischen Modell verknüpft werden.

Projektrahmen

Dieses Projekt ist in das überregionale Forschungsnetzwerk „ConQuMat“ (Constrained Quantum Matter) des Transregional Collaborative Research Center (TRR360) eingebunden, welches auf die Erforschung eingeschränkter Quantenmaterialien fokussiert ist. Neben den fachphysikalisch ausgerichteten Arbeitsgruppen ist das Outreach-Team ein weiterer Bestandteil. Dieses stellt sich der Herausforderung, die anspruchsvollen Forschungsinhalte in ihren Grundzügen der Öffentlichkeit zu vermitteln. Dabei besteht die Herausforderung, die Inhalte in eine reduzierte Form zu überführen, die trotzdem den Anspruch an fachliche Richtigkeit erfüllt.

Struktur der Einheit

Der Baustein „Der andere Magnetismus“ wurde als Halbtagesprogramm mit einem Umfang von 4 h konzipiert. Die Abb. 1 beschreibt die Struktur der Unterrichtseinheit in mehreren Phasen: Zunächst wird das Vorwissen der Schüler aktiviert und gefestigt, wobei der Ferromagnetismus als Ausgangsniveau dient. Das sogenannte "Pfeilmodell" wird eingeführt, mit den bisher bekannten Grundlagen verknüpft und um das Konzept „Bezirke und Kopplung“ erweitert. Eine detaillierte Beschreibung des theoretischen Modells findet sich in dem folgenden Kapitel. Der Hauptteil der Unterrichtseinheit besteht aus drei Stationen, an denen neue Magnetismus-

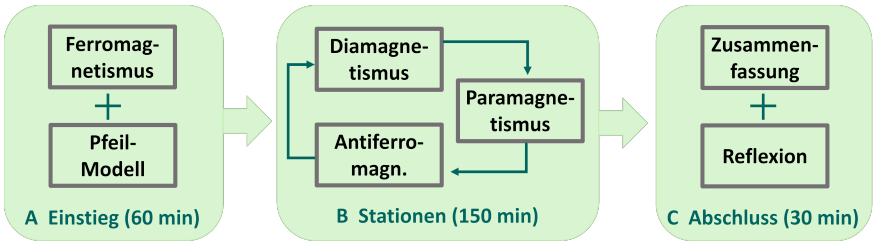


Abb. 1. Darstellung der inhaltlichen Struktur der Schülerlaboreinheit in einem Flussdiagramm.

Formen eingeführt werden. Dabei beginnen die Stationen Dia- und Paramagnetismus mit der phänomenologischen Beschreibung auf experimenteller Grundlage. Nach dem Festhalten der

Unterschiede zu den bekannten ferromagnetischen Phänomenen werden die neuen Erkenntnisse mittels Pfeilmodell skizziert. Im letzten Schritt werden die beobachteten Effekte erläutert. Die elementarisierte Erklärung knüpft an das theoretische Modell an und ist durch Lernvideos gestützt.
Die Einheit schließt mit einer Zusammenfassung der Konzepte in Form eines Rollenspiels ab, in dem die Schülerinnen und Schüler die verschiedenen Magnetismus-Formen darstellen. Sie agieren dabei als magnetische Momente, die sich entsprechend der jeweiligen Magnetismus-Formen organisieren und auf äußere magnetische Felder reagieren. Diese Herangehensweise soll die theoretischen Konzepte festigen und die Schüler dazu anregen, das Gelernte anzuwenden. Ein Fragebogen zur Evaluation und ein Abschlussquiz beenden die Einheit.

Theoretisches Modell
Die Wahl der visuellen Repräsentation spielt eine entscheidende Rolle bei der Beschreibung von Magnetismus. Ein Modell zur Verknüpfung von Phänomen und Theorie, das auf einfache Weise dargestellt und skizziert werden kann, wurde entwickelt. Die Basis des Modells stellen die magnetischen Momente dar. Ausgangspunkt ist das Bohrsche Atommodell, in dem das Atom als Kern beschrieben wird, der von Elektronen auf Bahnen umkreist wird. Zunächst wird das Elektron nicht als Teilchen auf dieser Bahn, sondern als Bahn an sich beschrieben. Der Spin wurde als Umlaufrichtung um den Kern eingeführt. Durch graphische Addition konnte die gegenseitige Auslöschung der magnetischen Wirkung von gepaarten Elektronen (entgegengesetzte Umlaufrichtung) und das resultierende magnetische Moment bei ungepaarten Elektronen auf einer Modellebene nähergebracht werden. Die Darstellungsweise ist in Abb. 2 am Beispiel eines ungepaarten Elektrons abgebildet. Die Verwendung von Pfeildarstellung zur Beschreibung von Magnetismus stellt eine oberflächliche Gemeinsamkeit mit dem Eisen-Magnet-Modell dar (Rachel, 2013).

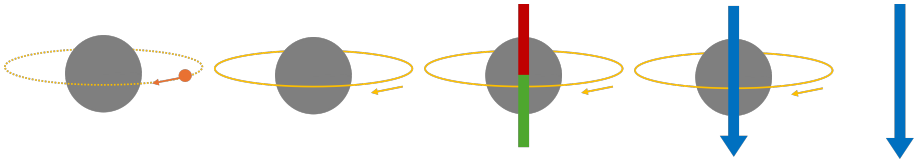


Abb. 2. Die Überführung der Darstellung eines ungepaarten Elektrons ausgehend vom Bohrschen Atommodell (l.) in kleinen Schritten bis hin zu dem verwendeten „Pfeilmodell“.

Mit Hilfe des theoretischen Modells werden die Konzepte „Magnetische Ordnung und Kopplung“, „Wärmebewegung der magnetischen Momente“ und „Magnetisierung durch äußere Magnetwirkung“ eingeführt. Diese sind relevant, um die unterschiedlichen Magnetismustypen zu verstehen.

Station Diamagnetismus
Exemplarisch wird die Station zum Thema *Diamagnetismus* detaillierter beschrieben.
Anhand eines Pendelversuchs mit diamagnetischen Materialien wie Bismut, Graphitminen und Weintrauben wird das Verhalten dieser Materialien im Magnetfeld untersucht. Die Beobachtungen werden von dem Verhalten von ferromagnetischen Stoffen kontrastiert und das Augenmerk wird auf die Phänomene gelenkt, die sich die Schüler*innen zu diesem Zeitpunkt

nicht erklären können. (Magnete stoßen Weintrauben ab und zwar unabhängig davon, welcher Pol des Magneten genähert wird.) Nach der Durchführung der Experimente erfolgt eine Erläuterung der Ursache des diamagnetischen Effektes, die durch ein Lernvideo unterstützt wird. Darin wird mit Hilfe des Pfeilmodells veranschaulicht, wie der diamagnetische Effekt auf atomarer Ebene durch die Änderung der Elektronenbewegung im Magnetfeld entsteht. In Abb. 3 ist der diamagnetische Effekt im Modell dargestellt. Bei äußerem Magnetfeld, wird je nach Umlaufrichtung (Spin) der Bahnradius größer oder kleiner. Die Auslöschung der magnetischen Wirkung von gepaarten Elektronen wird aufgehoben und es resultiert ein magnetisches Moment. Dieses ist dem äußeren Feld entgegengerichtet.

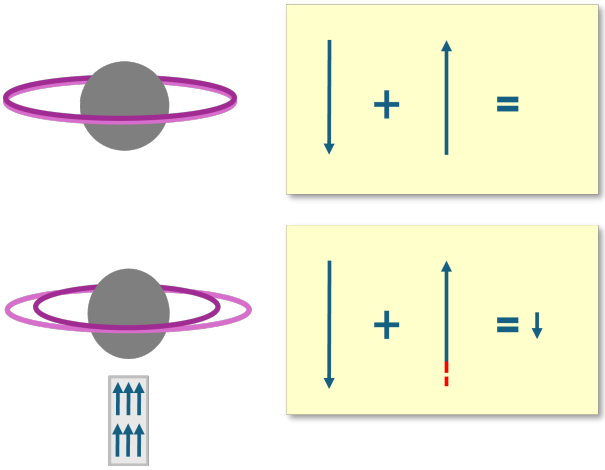


Abb. 3. Darstellung des diamagnetischen Effektes mit Hilfe des Pfeilmodells.

Evaluation und zukünftige Beforschung

Die Evaluation orientiert sich an situationalem Interesse und dem subjektiven Empfinden der Schüler*innen. Eine Pilotstudie zu der Fragestellung, ob die Gamification des Arbeitsmaterials zu einem gesteigerten situationalen Interesse und einem erhöhten Wissenszuwachs bei den Schülerinnen und Schülern führt, wurde bereits durchgeführt. Darüber hinaus soll zukünftig das Spannungsverhältnis zwischen der Zugänglichkeit von Quantenphysik durch klassische Repräsentationsformen und der fachlichen Korrektheit erörtert werden, ein zentrales Problem, das in der didaktischen Aufbereitung wissenschaftlicher Inhalte immer wieder auftritt. Um die Akzeptanz des theoretischen Modells zu untersuchen, ist im nächsten Schritt die Entwicklung und Evaluierung eines konzeptuellen Tests zu den abstrakten Themen der Lehreinheit notwendig. Dazu sollen die Vorstellungen der Lernenden erfasst werden, um eine fundierte Grundlage für die Testkonstruktion zu schaffen.

Literatur

Rachel, A. (2013). Auswirkungen instruktionaler Hilfen bei der Einführung des (Ferro-)Magnetismus. Eine Vergleichsstudie in der Primar- und Sekundarstufe. Studien zum Physik- und Chemielernen, 157. Logos Verlag Berlin

Kai Bliesmer[1]
Lucas Hofer[1]
Rieka Hausmann[1]
Diyar Sadiq[2]

[1]Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
[2]Universität Zakho

Lernlabor zur Photolumineszenz-Spektrometrie didaktisch rekonstruiert

Im Beitrag wird vorgestellt, wie die Universitäten Oldenburg und Zakho kooperieren, um gemeinsam ein Lehr-Lern-Angebot zur Photolumineszenz-Spektrometrie (PLS) zu entwickeln. Die Kooperation ist zustande gekommen, da beide Universitäten bereits seit einigen Jahren fachwissenschaftlich im Bereich Nanophotonik zusammenarbeiten, währenddessen die irakischen Kolleg:innen auf das Konzept des *Schülerlabors* gestoßen sind und nun selbst eines anbieten wollen. Um eine didaktische Strukturierung für ein entsprechendes Lehr-Lern-Angebot zu entwickeln, wurde die Didaktische Rekonstruktion eingesetzt, wobei die didaktische Strukturierung durch Leitlinien für Schülerlabor-Lernsituationen konturiert wurde, die sich in der Vergangenheit als wirksam erwiesen haben. Entstanden ist eine Lehr-Lern-Situation in der Form eines Escape-Games, das z. Zt. in Deutschland und im Irak erprobt wird.

Didaktische Rekonstruktion als Rahmung

Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Duit et al. 2012) wurde als Rahmung gewählt, um den Kooperationspartnern zu verdeutlichen, dass die Entwicklung sowie Beforschung von Angeboten systematisch erfolgt und sich das Modell bereits mehrfach bei der Zusammenarbeit mit Personen von außerschulischen Lernorten bewährt hat, um fachdidaktische Zielebenen und Arbeitsweisen pointiert und verständlich kommunizieren zu können (Bliesmer & Komorek 2023). Eine solche 'fachdidaktische Wissenschaftskommunikation' ist wichtig, damit die Kooperationspartner nachvollziehen können, wie einzelne zu durchlaufende Arbeitsschritte sich letztlich zum Gesamtbild des Angebots zusammensetzen und wie ihre diesbezügliche Rolle aussieht. Das Modell unterstreicht, dass fachdidaktische Arbeiten aus drei Teilen bestehen: einen analytischen Teil zur Klärung der fachlichen Sachstruktur des zu vermittelnden Inhalts, einen empirischen Teil zur Erfassung von diesbezüglichen Lernendenperspektiven und einen strukturierenden Teil. In Letzterem werden die beiden vorausgegangenen Teile miteinander verglichen und aufeinander bezogen, um eine didaktische Strukturierung zu entwickeln, die sowohl der fachlichen Sicht als auch der Sicht der Lernenden Rechnung trägt. Bei der Kooperation wurde vereinbart, dass mit dem Angebot zwei Zielebenen angepeilt werden. Das ist zum einen die Wissenskommunikation. Hierbei geht es darum zu vermitteln, welches physikalisches Wissen und welche physikalischen Fertigkeiten für ein Verständnis der PLS relevant sind. Zum anderen wird in Ergänzung Wissenschaftskommunikation betrieben, weil bei den Kooperationspartnern der Wunsch besteht, Lernenden einen Einblick in den Arbeitsalltag von Forscher:innen zu bieten, die im Bereich der PLS arbeiten.

Leitlinien für das zu entwickelnde Angebot

Da schon beim Start der Kooperation die Entscheidung gefallen ist, ein Lehr-Lern-Angebot im Stil eines Schülerlabors zu entwickeln, war der Rahmen für die didaktische Strukturierung

schon in gewissem Umfang bestimmt. Sie wurden entlang von drei Leitlinienausgerichtet, die sich in der Vergangenheit als wirksam bei der Gestaltung von Schülerlabor-Angeboten erwiesen haben. Die erste Leitlinie besagt, dass die Inhalte in Kontexte einzubetten sind (Nentwig & Waddington 2005): Im Angebot werden die Lernenden in eine Geschichte eingeführt, die den einzelnen Lernstationen im Angebot einen roten Faden und Relevanz verleiht. Die zweite Leitlinie wurden aus der Selbstbestimmungstheorie der Motivation (Deci & Ryan 1993) abgeleitet und bezieht sich auf eine herzustellende Problemorientierung sowie auf Autonomie: An den einzelnen Experimentierstationen im Angebot sollen die Lernenden im Idealfall keine Anleitungen abarbeiten, sondern Probleme bearbeiten oder Rätsel lösen. Sie haben hier die Freiheit, unterschiedliche Lösungen zu versuchen. Anleitungen als Hilfestellung haben weiterhin ihre Funktion als Differenzierungsinstrument für Leistungsschwächere. Die dritte Leitlinie drückt aus, dass das Angebot mobil sein soll. Im Irak besteht generell der Bedarf nach mobilen Angeboten, weil viele Schulklassen dort nicht an die Universität kommen können – das Angebot muss also zu ihnen kommen. Dieser Bedarf passt zu den Präferenzen der Oldenburger Physikdidaktik, die auf mobile, außerschulische Angebote setzt, um Zielgruppen zu erreichen, die nicht aus eigenem Antrieb die Universität aufsuchen würden.

Fachliche Sicht und Lernendensicht im Vergleich

Im Hinblick auf die zwei genannten Zielebenen galt es, zwei Didaktische Rekonstruktion zu vollführen, die beide im Lehr-Lern-Angebot verwoben wurden. Die fachliche Klärung auf der Zielebene Wissenskommunikation wurde mittels Literaturrecherche (z. B. Demtröder 2016) sowie Experteninterviews (Bogner, Littich & Menz 2005) von Fachwissenschaftler:innen vorgenommen. Es wurden Konzepte herausgearbeitet, um das Grundprinzip der PLS nachvollziehen zu können. auf der Zielebene Wissenschaftskommunikation wurden Konzepte im Bereich von Nature of Science (McComas 2020) herausgearbeitet. Die jeweilige Lernendensicht wurde zum einen durch Literaturrecherchen (Schecker et al. 2018) und zum anderen durch problemzentrierte Interviews (Witzel & Reiter 2022) erfasst. Die folgende Abbildung stellt die Ergebnisse in Kurzform da. Die Kreise sind jeweils sind jeweils hälftig in die beiden Zielbereiche des Angebots unterteilt: In der jeweils linken Kreishälfte Wissenskommunikation und in der rechten Wissenschaftskommunikation. Der Vergleich zwischen fachlicher Sicht und Lernendensicht zeigte Anknüpfungsmöglichkeiten, aber auch Klärungsbedarfe auf, der im Angebot geleistet werden muss. Der Vergleich war die wichtigste Inspirationsquelle für die Ausgestaltung der didaktischen Strukturierung.

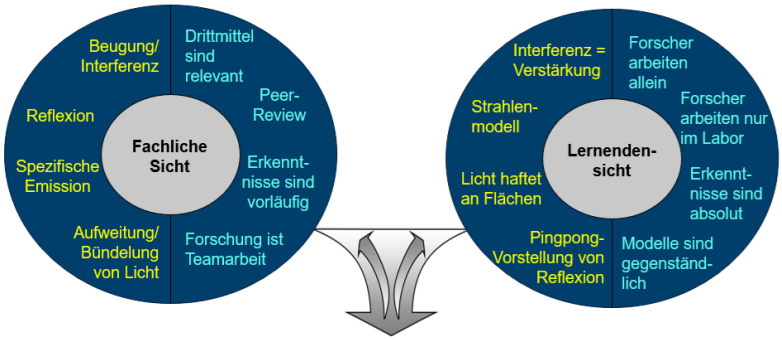


Abb. 1. Fachliche Sicht und Lernendensicht für beide Zielebenen

Didaktische Strukturierung des Angebots

Es ist als Output der beiden Didaktischen Rekonstruktion ein Angebot entstanden, das als Escape-Game strukturiert wurde. Es beginnt mit der Einführung in einen Kontext: Die Lernenden treffen auf Prof. Dr. Farid Al-Photolumina, der die Lernenden auf die Probe stellt, indem die Lernenden durch das Lösen von fünf experimentellen Optik-Rätseln unter Beweis stellen müssen, dass sie würdig sind, einen Einblick in seine Arbeitsgruppe zu erhalten. Die fünf Stationen sind dadurch entstanden, dass im Handel erhältliche, relative kostengünstige Experimentierkästen ausgeschlachtet und ergänzt wurden; die Einbindung in den Kontext wurde hierbei durch eigens entwickelte Lernmaterialien realisiert. Die Stationen umfassen Reflexion, Brennweite, Linsenabbildung, Interferenz und Wellenlängenbestimmung; also Inhalte, die für ein Verständnis der PLS nötig sind. Die Stationen werden von den Lernenden in Kleingruppen durchlaufen. Sie sind so arrangiert, dass durch das Lösen der Rätsel eine Schatztruhen geöffnet werden können, in der sich Materialien für die nächste Station befinden. Dies stellt sicher, dass die Lernenden sich linear durch die Stationen bewegen und die Lehrenden stets zügig einschätzen können, wie schnell die Lernenden durch das Escape-Game schreiten. Darüber hinaus wurden für jede der Stationen Extra-Aufgaben und Hilfekarten entwickelt, sodass die Lehrenden die Geschwindigkeit der heterogenen Kleingruppen gut managen können.

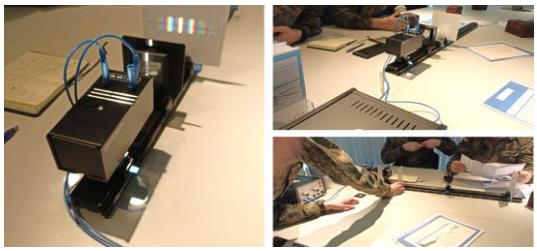


Abb. 2. Experimentierstationen im Escape-Game

Sobald die Lernenden alle Stationen erfolgreich durchlaufen haben, erhalten sie Einblick in die Forschung der Arbeitsgruppe zur Photolumineszenz-Spektrometrie. Da das Angebot mobil ist, wurde eigens für diesen Zweck ein Video gedreht. Das Video adressiert vornehmlich die zweite Zielebene des Angebots: Dort geht es darum, wie Forschende im Bereich der PLS arbeiten. Hierzu wird Doktorand Lucas durch seinen Arbeitsalltag begleitet. Die Lernenden erfahren, dass die Forschung der AG-Mitglieder vernetzt ist und daher viel im Team gearbeitet wird. Ferner wird gezeigt, dass viel Zeit im Büro verbracht wird, um die Daten für die Publikation aufzubereiten und Drittmittel einzuwerben.

Abb. 3. Videoausschnitte und Verlinkung

Aktueller Stand und Ausblick

Das Angebot wurde erstmalig fertiggestellt. Es wird es regelmäßig auf den Nanophotonik-Winterschools bzw. -Summerschools der beteiligten Fachwissenschaftler:innen vorgestellt, dort ausprobiert und mittels Feedback verbessert. Aktuell wird der Versand in den Irak arrangiert. Im Anschluss findet sowohl in Deutschland als auch im Irak eine empirische Untersuchung statt, die beantworten soll, inwiefern das Angebot in der Lage ist, die gesteckten Ziele auf den zwei angepeilten Ebenen zu erreichen.

Literatur

Bliesmer, K. & Komorek, M. (2023). Mit dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion fachdidaktische Denkweisen, Arbeitsweisen und Haltung kommunizieren. In K. Bliesmer & M. Komorek (Hrsg.), Didaktische Rekonstruktion –fachdidaktischer Ansatz für aktuelle Bildungsaufgaben (S. 25-42). BIS-Verlag.

Bogner, A., Littich, B. & Menz, W. (2005). Das *Experteninterview. Theorie, Methode, Anwendung*. VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik.

Demtröder, W. (2016). *Experimentalphysik 3. Atome, Moleküle und Festkörper*. Springer.

Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M. & Parchmann, I. (2012). The Model of Educational Reconstruction – a Framework for improving Teaching and learning Science. In D. Jorde & J. Dillon (Hrsg.), *Science Education Research and Practice in Europe. Retrospective and Prospective* (S. 13-37). Sense Publishers.

Komorek, M. & Bliesmer, K. (2022). Fachdidaktik meets Szenografie. In experimenta gGmbH (Hrsg.), *Praxis, Forschung und Innovation in interaktiven Ausstellungen* (S. 66-71). Online verfügbar unter: https://www.science-intermedia.de/wp-content/uploads/2021/12/interaktion_i_v12-21b.pdf [Zugriff: 06.02.2021].

Komorek, M., Bliesmer, K., Richter, C. & Sajons, C. (2022, im Druck). Modell adaptiv-zyklischen Forschenden Lernens für die Professionalisierung angehender Physiklehrkräfte. In H. Rautenstrauch (Hrsg.), *Forschendes Lernen in der Universität - Ein fach- und fachrichtungsbezogener Blick auf die Lehrkräftebildung*. Europa-Universität Flensburg.

McComas, W. F. (2020). Nature of Science in Science Instruction. Rationales and Strategies. Springer.

Nentwig, P. & Waddington, D. (2005). *Making it relevant. Context based learning of science*. Waxmann.

Schecker, H. Wilhelm, M., Hopf, M. & Duit, R. (2018) (Hrsg.). Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. Springer.

Witzel, A. & Reiter, H. (2022). Das problemzentrierte Interview - eine praxisorientierte Einführung. Beltz.

Ayleen Sprysch[1]
Simone Kröger[1]

[1]Universität Münster

enlightening LABels
Fluoreszenzmikroskopie im Schülerlabor

Grundidee der Schülerlaboreinheit enlightening LABels

Da Wissenschaft und Gesellschaft sich stets weiterentwickeln, sollte auch der Unterricht in der Schule modern und zeitgemäß gehalten sein und aktuelle Themen aufgreifen. Die Curriculare Innovationsforschung leistet dazu einen Beitrag: Ihr Ziel ist es, aktuelle und innovative Themen aus der wissenschaftlichen Forschung, die Anknüpfungspunkte an obligatorische Inhalte aus dem Chemieunterricht bieten, für die Lehre zu erschließen (Tausch, 2004; Parchmann et al., 2017).

Im Rahmen der curricularen Innovationsforschung wird das aktuelle Thema der Fluoreszenzmikroskopie experimentell-konzeptionell erschlossen und eine Schülerlaboreinheit mit dem Namen enlightening LABels entwickelt, erprobt und evaluiert. Fluoreszenzmikroskopische Aufnahmen werden alltäglich in den Laboren der Lebenswissenschaften angefertigt, um Informationen über den Aufbau und die Funktionsweise von biologischen Zellen zu gewinnen. Hierzu werden die zellulären Strukturen, die für den jeweiligen Forschungsschwerpunkt von Interesse sind, mit Fluoreszenzfarbstoffen, auch genannt *fluorescent dyes* oder *fluorescent labels*, markiert und die Präparate unter einem Fluoreszenzmikroskop betrachtet. Aus den erhaltenen Aufnahmen können wissenschaftliche Erkenntnisse abgeleitet werden (z. B. Kubitscheck, 2017; Lichtman & Conchello, 2005).

Die Fluoreszenzmikroskopie zeichnet sich durch eine besondere Interdisziplinarität aus. Die chemische Forschung trägt dabei vor allem zur Entwicklung und Optimierung von *fluorescent labels* bei mit dem Ziel, zelluläre Strukturen bis hin zu einzelnen Molekülen möglichst spezifisch anzufärben (Cells in Motion Interfaculty Centre, 2024).

Die Schülerlaboreinheit enlightening LABels legt den Fokus auf die üblicherweise in der Fluoreszenzmikroskopie eingesetzten *fluorescent labels* und die zugrundeliegenden Prinzipien, nach denen diese Fluoreszenzfarbstoffe zelluläre Strukturen anfärben (Kubitscheck, 2017; Schmitt, 2016). Die chemischen Grundlagen dieser Prinzipien knüpfen an obligatorische Inhalte aus dem Chemieunterricht der Sekundarstufe I und II an und können anhand dieser durch die Lernenden in Modellexperimenten erschlossen werden (KMK, 2020; Sprysch & Kröger, 2024).

Konzeption der Schülerlaboreinheit

enlightening LABels richtet sich an Schüler:innen aus Chemiekursen der Sekundarstufe II. Die Schülerlaboreinheit wird im Institut für Didaktik der Chemie der Universität Münster absolviert und umfasst ungefähr sieben Stunden.

Der Aufbau der Schülerlaboreinheit kann Abb. 1 entnommen werden. Der Schülerlabortag beginnt mit einem kurzen Impulsvortrag, der mit fluoreszenzmikroskopischen Aufnahmen faszinieren und Interesse bei den Lernenden hervorrufen soll. Den weiteren Teil des Schülerlabortages absolvieren die Lernenden in Stationen in Kleingruppen von zwei bis drei Personen.

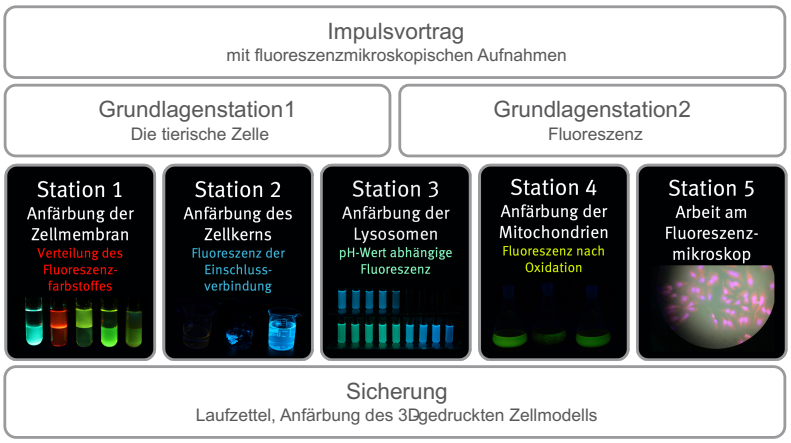


Abb. 1: Aufbau der Schülerlaboreinheit enlightening LABels.

Stationen der Schülerlaboreinheit

Zunächst werden in zwei Grundlagenstationen fachliche Inhalte als Basis für das Verständnis der Schwerpunktstationen des Schülerlabortages vermittelt. Die Lernenden wiederholen in *Grundlagenstation 1* den Aufbau der tierischen Zelle, indem sie eine Schemazeichnung einer tierischen Zelle mit Legekärtchen beschriften. Der unterschiedliche chemische Aufbau und die verschiedenen Eigenschaften und Funktionen der Zellstrukturen ermöglichen es, dass diese gezielt mit Fluoreszenzfarbstoffen angefärbt werden können (Schmitt, 2016). *Grundlagenstation 2* betrachtet das Phänomen der Fluoreszenz genauer: Die Lernenden führen ein Experiment durch, in dem die Fluoreszenz des Farbstoffes Uranin zu beobachten ist. Der fachliche Hintergrund wird anhand einer Animation zu ebendiesem Experiment auf der Vorstellungsebene anhand des Energiestufenmodells erklärt (Animation in Anlehnung an Meuter & Tausch, o. D.).

Nachdem die zwei Grundlagenstationen absolviert wurden, gehen die Lernenden zu den fünf Schwerpunktstationen des Schülerlabortages über. Diese werden in beliebiger Reihenfolge von allen Kleingruppen durchlaufen. Vier der fünf Stationen konzentrieren sich auf die chemischen Grundlagen der Prinzipien der Anfärbung zellulärer Strukturen und nutzen unter UV-Licht zu betrachtende Modellexperimente, um diese zu veranschaulichen (Sprysch & Kröger, 2024). Die Modellexperimente greifen den originalen Sachverhalt der Färbung von Zellstrukturen für die Betrachtung unter einem Fluoreszenzmikroskop in didaktisch reduzierter Form auf. Aus der großen Bandbreite an im Original eingesetzten Fluoreszenzfarbstoffen und den Möglichkeiten, wie diese bestimmte Strukturen markieren (z. B. Thermo Fisher Scientific, 2010; Xu et al., 2016), wurden bestimmte Prinzipien der Anfärbung ausgewählt. Diese werden in Experimenten im Reagenzglasmaßstab mit nicht-toxischen Modellsubstanzen, die originale *fluorescent labels* modellieren, veranschaulicht (Sprysch & Kröger, 2024). Die Prinzipien der Anfärbung werden dabei nach Tausch (2004) wissenschaftlich konsistent repräsentiert und in den Modellexperimenten didaktisch prägnante Beobachtungen erzielt. Alle Modellexperimente beinhalten zudem experimentelle Handlungen und erfüllen somit die drei Kriterien nach Sommer et al. zur Definition eines Modellexperimentes (2017).

In *Station 1* wird die Anfärbung der Zellmembran thematisiert und das Prinzip der Anfärbung fokussiert, dass lipophile Fluoreszenzfarbstoffe sich in die innere, lipophile Schicht der

Zellmembran einlagern können. Die Lernenden setzen sich hier vor allem mit den Struktur-Eigenschaftsbeziehungen verschiedener Fluoreszenzfarbstoffe auseinander. *Station 2* betrachtet die Anfärbung des Zellkerns durch den oftmals eingesetzten Farbstoff 4‘,6-Diamidin-2-phenylindol, kurz DAPI. Dieser bildet eine Einschlussverbindung mit der DNA aus, wodurch es zu einer Fluoreszenzverstärkung kommt, die im Experiment mit Modellsubstanzen veranschaulicht wird. In *Station 3* wird zur Anfärbung der vergleichsweise sauren Lysosomen die pH-Wert-abhängige Fluoreszenzfarbe bzw. Fluoreszenzintensität verschiedener Fluoreszenzindikatoren untersucht und damit an die Säure-Base-Chemie angeknüpft. *Station 4* legt den Schwerpunkt auf die Anfärbung der Mitochondrien durch Fluoreszenzfarbstoffe, die in diesen Zellstrukturen oxidiert und auf diese Weise in ihre fluoreszierende Form überführt werden. An dieser Station werden Redoxreaktionen mit organischen Molekülen aufgegriffen. (Sprysch & Kröger, 2024; Thermo Fisher Scientific, 2010; Xu et al., 2016)
Station 5 absolvieren die Lernenden im Institut für Lebensmittelchemie der Universität Münster, arbeiten dort selbst an einem Fluoreszenzmikroskop und bekommen einen Einblick in die aktuelle Forschung.
Zu Beginn der Schülerlaboreinheit erhalten alle Kleingruppen ein 3D-gedrucktes Zellmodell, das passgenau zur Schemazeichnung der tierischen Zelle entwickelt wurde. Die fluoreszierenden Lösungen, die in den Modellexperimenten zur Anfärbung der einzelnen Zellstrukturen erhalten wurden, werden zum Abschluss des Schülerlabortages in die entsprechenden Strukturen im 3D-gedruckten Zellmodell eingefüllt. Unter UV-Licht betrachtet ergibt sich das Bild einer mit Fluoreszenzfarbstoffen gefärbten Zelle (Sprysch & Kröger, 2024).

Vorerprobung
Der Schülerlabortag im Umfang von sieben Stunden wurde im Juni 2024 mit 13 Lernenden aus Chemiekursen der EF und Q1 einer Gesamtschule durchgeführt. Zur Auswertung wurden Videos der Experimentierphasen sowie der Station am Fluoreszenzmikroskop angefertigt und ein Prä-Post-Test sowie eine Evaluation mithilfe eines Fragebogens durchgeführt. Zusätzlich wurden Artefakte der Lernenden in Form von Lernmaterialien ausgewertet. Erste Ergebnisse zu den Lernmaterialien zeigen, dass diese insbesondere in Hinblick auf den biologischen Hintergrund der Stationen für einen einzelnen Schülerlabortag zu umfangreich waren. Positiv durch die Lernenden hervorgehoben wurde der Einsatz des 3D-gedruckten Zellmodells zum Zusammentragen der Ergebnisse des Schülerlabortages. Hinsichtlich der Experimente konnte festgestellt werden, dass diese anhand der Versuchsvorschriften gut von den Lernenden selbstständig durchgeführt werden konnten und die intendierten Beobachtungen bei allen Gruppen und Stationen erkennbar waren.

Ausblick
Resultierend aus der Vorerprobung werden die Materialien auf zwei Versionen angepasst: Um die Schülerlaboreinheit zielführend an einem Schülerlabortag durchführen zu können, wird eine gekürzte Version der Materialien angefertigt. Zusätzlich wird die bestehende Version angepasst, um diese ausführlichere Fassung der Materialien für eine Projektwoche oder Ferienangebote einsetzen zu können. In einer Haupterprobung wird der Schülerlabortag, an dem die gekürzte Version der Materialien eingesetzt wird, mit Lernenden der Sekundarstufe II getestet und es werden Daten erhoben, die Rückschlüsse auf den Fachwissenszuwachs und die Durchführbarkeit der Einheit ermöglichen sollen.

Literatur

Cells in Motion Interfaculty Centre (2024). Homepage der Einrichtung der Universität Münster. https://www.uni-muenster.de/Cells-in-Motion/de/ [abgerufen am 30.10.2024].

KMK – Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2020). Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.06.2020. Bonn, Berlin: KMK.

Kubitscheck, U. (Hrsg.) (2017). Fluorescence Microscopy. From Principles to Biological Applications (2. Aufl.). Weinheim: Wiley-VCH.

Lichtman, J. W. & Conchello, J.-A. (2005). Fluorescence microscopy. Nature Methods, 2 (12), 910–919.

Meuter, N. & Tausch, M. (o. D.). Fluoreszenz und Phosphoreszenz im Energiestufenmodell [Animation]. https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/de/digitale-medien/animationen/photochemie/fluoreszenz-und-phosphoreszenz-im-energiestufenmodell/ [abgerufen am 30.10.2024].

Parchmann, I., Schwarzer, S., Wilke, T., Tausch, M. & Waitz, T. (2017). Von Innovationen der Chemie zu innovativen Lernanlässen für den Chemieunterricht und darüber hinaus. CHEMKON, 24 (4), 161–164.

Schmitt, S. (2016). Funktionalisierte Fluoreszenzfarbstoffe für Biologie und Medizin. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule, 65 (1), 10–15.

Sommer, K., Toschka, C., Schröder, L., Schröder, T. P., Steff, H. & Fischer, R.A. (2017). Modellexperimente im Chemieunterricht. CHEMKON, 24 (1), 13–19.

Sprysch, A. & Kröger, S. (2024). Faszination Fluoreszenzmikroskopie – Modellexperimente für eine Schülerlaboreinheit. CHEMKON, 31 (3), 90–95.

Tausch, M. (2004). Curriculare Innovation. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule, 53 (8), 18–21.

Thermo Fisher Scientific (2010). The Molecular Probes® Handbook – A Guide to Fluorescent Probes and Labeling Technologies. https://www.thermofisher.com/handbook [abgerufen am 30.10.2024].

Xu, W., Zeng, Z., Jiang, J.-H., Chang, Y.-T. & Yuan, L. (2016). Wahrnehmung der chemischen Prozesse in einzelnen Organellen mit niedermolekularen Fluoreszenzsonden. Angewandte Chemie, 128 (44), 13858–13902.

Andrea-Katharina Schmidt[1]
Ute Brinkmann[1]
Markus Prechtl[1]

[1]Technische Universität Darmstadt

Bildung für nachhaltige Entwicklung im Merck-TU Darmstadt-Juniorlabor

Die Integration von Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) in die Wissenschafts-kommunikation fördert Umweltbewusstsein und ermöglicht es Schüler:innen, chemische Phänomene im Kontext ökologischer, ökonomischer und sozialer Aspekte zu verstehen. Das Merck-TU Darmstadt-Juniorlabor verfolgt das Ziel, passende außerschulische Angebote zu machen, die dieses Basiswissen durch praktische Erfahrungen vertiefen. Dafür entwickeln und optimieren wir Lehr- und Lerninhalte rund um nachhaltige Innovationen in der Chemie mit Schwerpunkten wie Energiespeicherung oder Biokunststoffe mit besonderem Augenmerk auf Interdisziplinarität. Indem verschiedene Perspektiven und Fachkenntnisse zusammengeführt werden, sollen die Lernenden ermutigt werden, kreativ und innovativ zu denken. Ein exemplarisches Umsetzungsbeispiel ist das Projekt *Action Lab – Science for you* im Rahmen des Landesprogramms *Löwenstark – der BildungsKICK*.

Der außerschulische Lernort

Das Merck-TU Darmstadt-Juniorlabor ist das 2008 gegründete gemeinschaftliche Schüler:innenlabor des Wissenschafts- und Technologieunternehmens Merck KGaA und der TU Darmstadt im Fachbereich Chemie. In dem mit 32 Experimentierplätzen und sechs Abzügen ausgestatteten Labor können Kinder und Jugendliche in Kleingruppen in einer authentischen Umgebung chemisch-naturwissenschaftliche Themen erkunden. Zu den Angebotsformaten gehören vor allem Experimentiertage für ganze Klassen aller Schulformen von Klasse 3 bis zum Abitur, Betriebspraktika für interessierte Jugendliche, Lehrkräfte-fortbildungen sowie zahlreiche Outreach-Aktivitäten. In enger Kooperation mit der AG Fachdidaktik Chemie und unter Einbeziehung von Lehramtsstudierenden werden innovative Themenfelder und kompetenzorientierte Versuche entwickelt, erprobt und evaluiert. Zukunftsgewandte Themen wie Digitalisierung, Bildung für nachhaltige Entwicklung, Green Chemistry etc. stehen dabei im Vordergrund.

Interdisziplinarität durch Kooperationen

Aufgrund der Multidimensionalität des Nachhaltigkeitsbegriffs (Pufé, 2017) ist es unser Anliegen, mit den Angeboten im Juniorlabor verschiedene Akteur:innen zu vernetzen und unterschiedliche Perspektiven auf Nachhaltigkeit zu berücksichtigen. Das geschieht zum einen durch verschiedene Kooperationen mit anderen Fachbereichen, der Industrie, unseren Campusschulen sowie weiteren außerschulischen Lernorten an der TU Darmstadt (Abb. 1). Zum anderen liegt der inhaltliche Fokus unserer Angebote auf Themen wie Energie-speicherung (Lithium-Ionen-Akkumulator und Eisen-Redox-Flow-Akkumulator), Photo-voltaik (Farbstoffsolarzellen) und Biokunststoffe, da diese einen fachübergreifenden Blick auf nachhaltige Technologien ermöglichen. Es lassen sich unter anderem Anknüpfungsunkte zu anderen MINT-Fächern, den Geistes-, Sozial- und Wirtschafts-wissenschaften sowie den ebenso interdisziplinären Forschungsfeldern Energy and Environment und Matter and Materials aus dem Forschungsprofil der TU Darmstadt herstellen.

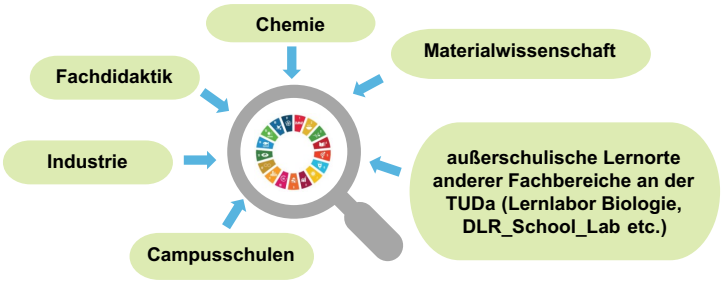


Abb. 1.: Interdisziplinäre Perspektiven auf Nachhaltigkeit

Umsetzungsbeispiel *Löwenstark – der BildungsKICK*

Nach der Corona-Pandemie kehrten viele Jugendliche mit Bildungslücken zurück in die Schule (Betthäuser, Bach-Mortensen & Engzell, 2023). Das Förderprogramm *Löwenstark – der BildungsKICK* des Landes Hessen zielte darauf ab, diese Lücken zu schließen. Von September 2022 bis April 2024 konnten wir im Rahmen dieses Programms das Projekt *Empowerment in NaWi-Settings – Förderung von Wissen, Können, Selbstwirksamkeitserwartung und Selbstausdruck in der Nach-Corona-Phase anbieten.* Dieses umfasste zwei Förderansätze für Jugendliche von Gesamtschulen und Gymnasien: individuelle NaWi-Berufsorientierungscoachings (Brinkmann, Stubbe & Prechtl, 2021; Prechtl, 2022) und das *Action Lab – Science for you*. In den 45-minütigen NaWi-Berufsorientierungscoachings für Jugendliche, ab Klasse 9, lag der Schwerpunkt auf Berufspräferenzen und Fähigkeitstests, die nach einer individuellen Auswertung ausführlich mit den Jugendlichen besprochen wurden. Zudem ermöglichten wir Schüler:innen ab Klasse 5 mit dem *Action Lab – Science for you* das Experimentieren in Kleinstgruppen in unseren Laboren bzw. in Klassenstärke direkt in der Schule. Die Experimentierangebote umfassten sowohl Feriencamps als auch Experimentiernachmittage, bei denen der Fokus auf Bildung für nachhaltige Entwicklung, der Vermittlung von Kompetenzen zur digitalen Erfassung und Interpretation von Messdaten (Data Literacy) sowie dem entdeckenden Lernen in Escape Rooms lag. Das Thema Nachhaltigkeit wurde den Jugendlichen anhand anschaulicher und altersstufengerechter Themen nähergebracht, wobei Experimente zu folgenden Themen angeboten wurden: Wasserstoff, Brennstoffzellenauto, Energie, Naturkosmetik, nachhaltige Färbeverfahren, Naturtinten, Papierschöpfen u.v.m.

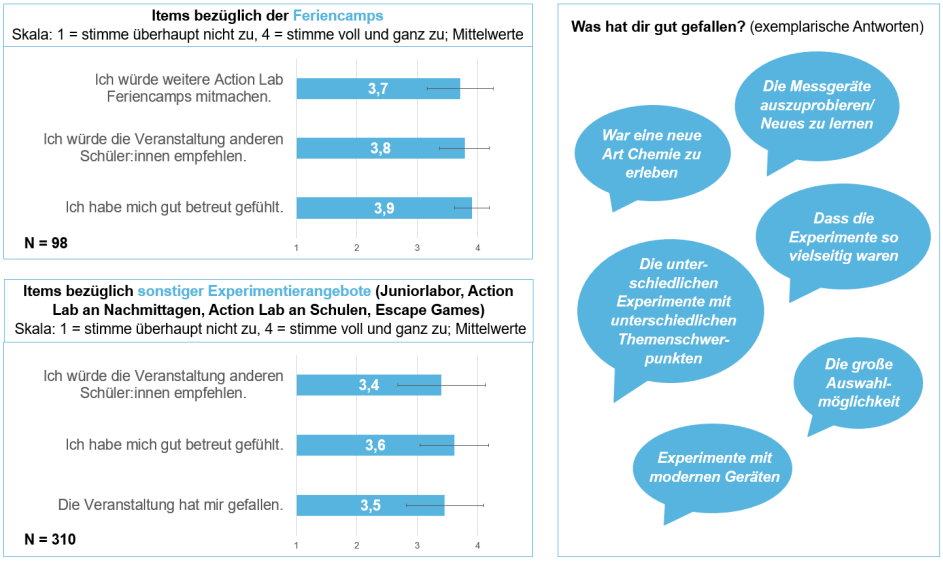


Abb. 2: Ausgewählte Evaluationsergebnisse

Das Projekt wurde evaluiert. Ein kleiner Ausschnitt aus der insgesamt positiv ausgefallenen Evaluation ist in Abb. 2 dargestellt. Insgesamt konnte von unseren Angeboten eine erfreulich große Anzahl von 1558 Jugendlichen aus 70 Schulen profitieren.

Literatur

Betthäuser, B.A., Bach-Mortensen, A.M. & Engzell, P. (2023). A systematic review and meta-analysis of the evidence on learning during the COVID-19 pandemic. Nature Human Behavior, 7, 375-385. https://doi.org/10.1038/s41562-022-01506-4.

Brinkmann, U., Stubbe, U. & Prechtl, M. (2021). Computerunterstütztes Tool zur MINT-Berufsorientierung. In N. Graulich, J. Huwer &. A. Banerji (Hrsg.), Digitalization in Chemistry Education. Digitales Lehren und Lernen an Hochschule und Schule im Fach Chemie (S. 101-107). Münster: Waxmann.

Prechtl, M. (Hrsg.) (2022). Diversitätssensible Berufsorientierung in den Naturwissenschaften. Einblicke in DiSenSu, https://doi.org/10.26083/tuprints-00020646

Pufé, I, (2017) Nachhaltigkeit. München: UVK.

Melanie Basten[1]
Matthias Wilde[1]
Nadine Großmann[2]

[1]Universität Bielefeld
[2]Universität zu Köln

Konzeption eines Schülerlabors zu Socio-scientific issues (SSIs)

Die gesellschaftlichen Herausforderungen, die in den letzten Jahren aufgetreten bzw. salient geworden sind, zeigen, dass es für die Teilhabe am politischen Diskurs, als Entscheidungsträger:in im zukünftigen Beruf und für Entscheidungen zur eigenen Lebensführung notwendig ist, allen Schüler:innen die Ausbildung einer scientific literacy (Bennett et al., 2007; Stinken-Rösner et al., 2020) zu ermöglichen. Damit wären sie auch in der Lage, sich kompetent mit Socio-scientific issues (SSIs; Sadler et al., 2007), also gesellschaftlich relevanten naturwissenschaftlichen Themen, auseinanderzusetzen. Dies beinhaltet das Bilden einer begründeten Einstellung und einer den gesellschaftlichen Problemlagen angemessenen Handlungsabsicht. Einen großen Einfluss auf die Einstellungsbildung haben auch die sozialen Medien, die neben verschiedenen Meinungen auch Informationen zu den Themen verbreiten. Die UNESCO stellte 2020 einen dringenden Handlungsbedarf für die Bildung in einer Post-Covid-Welt fest. Forschung und Wissenschaft waren und sind während der Corona-Pandemie sowie in aktuellen Diskussionen um Klimaschutzmaßnahmen mit wissenschaftsfeindlichen Einstellungen und wenig Vertrauen in der Gesellschaft konfrontiert (vgl. Kienhues et al., 2020). In den sozialen Medien, die als Plattformen der Wissenschaftskommunikation dienen, finden sich zahlreiche Beiträge, die ohne fundierte Grundlage wissenschaftlich nicht haltbare Standpunkte vertreten (Freiling et al., 2023). Dies betrifft sowohl Privatpersonen als auch Politiker:innen (Valladares et al., 2021). Ein Grund dafür ist die Wissenschaftsleugnung (Science denial) (Diethelm & McKee, 2009), deren Taktiken Verschwörungstheorien, Fake-Expertinnen, selektiver Informationseinbezug, überzogene Kritik an wissenschaftlichen Methoden sowie Fehlinterpretationen und Logikfehler umfassen und absichtlich zur Durchsetzung eigener Interessen im gesellschaftlichen Diskurs eingesetzt werden (ebd.). Gleichzeitig können wissenschaftsfeindliche Argumente von Rezipient:innen unhinterfragt übernommen werden. Eine Studie zu Wissen und Einstellungen zu gentechnisch veränderten Organismen zeigte, dass insbesondere Personen mit extremen Meinungen ihre eigene Expertise stark überschätzen (Fonseca et al., 2023). Lehrkräfte sollen Interesse und Verständnis für Wissenschaft fördern, damit alle Heranwachsenden als mündige Bürger:innen informiert am gesellschaftlichen Diskurs teilnehmen können (vgl. Höttecke & Allchin, 2020). Die Förderung und Diagnose von Bewertungskompetenz ist für Lehrkräfte allerdings herausfordernd (Basten et al., 2017, 2024; Leubecher et al., 2020). Das zu konzipierende SSI-Schülerlabor soll Angebote für Schüler:innen schaffen, sich mit SSIs auseinanderzusetzen, und die notwendigen Fähigkeiten für eine faktenbasierte Bewertung und rationale Argumentation schulen. Für die Konzeption werden die theoretischen Ansprüche, die an ein solches Labor gestellt werden können, beleuchtet, die Community der deutschen Naturwissenschaftsdidaktik um Feedback gebeten und Bedarfe der Schulpraxis erhoben.

Theoretisch abgeleitete Ansprüche an ein SSI-Schülerlabor

Aufgabe der Lehrkräfte im naturwissenschaftlichen Unterricht ist es u.a., Schüler:innen der Sek. I und Sek. II im Kompetenzbereich Bewertung, also im Umgang mit SSIs, auszubilden. SSIs stellen wichtige Entscheidungssituationen in der persönlichen Lebensführung dar, aber

auch Anlässe für gesamtgesellschaftliche Beschlussfassungen, an denen eine Partizipation aller angestrebt werden sollte (Dittmer et al., 2016). SSIs lassen sich außerdem in ethische Dilemmata (Reitschert et al., 2007) und komplexe Gestaltungsaufgaben nachhaltiger Entwicklung (Eggert & Bögeholz, 2006) unterteilen. Zusammenfassend enthält ein Bewertungsprozess zu einem SSI einige Schritte, die umfassend und rational abgearbeitet werden: 1.) das Erfassen des ethischen bzw. Gestaltungs-Problems, 2.) sich die eigene Einstellung bewusstmachen, 3.) Perspektiven kennenlernen, 4.) Argumente entwickeln, prüfen, gewichten, widerlegen, 5.) Handlungsoptionen entwickeln, 6.) Folgen abschätzen, 7.) Bewertungskriterien entwickeln, 8.) Entscheiden / Urteilen / (Handeln) und 9.) Entscheidungsprozess reflektieren (verändert nach Langlet et al., 2022). Dabei spielen auch die Kompetenzbereiche Fachwissen und Kommunikation (Ziepprecht et al., 2017) der Bildungsstandards eine große Rolle. Die epistemischen Vorstellungen dazu, wie Wissen in der Biologie gewonnen wird und wie es beschaffen ist (vorläufig, unsicher, lückenhaft), sind sowohl im Kompetenzbereich Bewertung als auch im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung abgebildet (siehe Dittmer & Zabel, 2019).

Eine Studie von Basten et al. (2017) zeigte, dass Schüler:innen der 11. Klasse nicht in der Lage sind, den umfassenden Bewertungsprozess bei einem persönlich und gesellschaftlich relevanten SSI vorzunehmen und schriftlich darzulegen. Als mögliche Gründe dafür lassen sich anführen: die mangelnde Ausbildung der Lehrkräfte sowie die damit einhergehenden unzureichenden Fähigkeiten der Schüler:innen, mit Bewertungsaufgaben umzugehen (Basten et al., 2017; Leubecher et al., 2020), der komplexe Auswertungsschlüssel, der sich aus dem existierenden Kompetenzentwicklungsmodell (Reitschert & Hößle, 2007) für bioethische Fragen ergibt (Basten et al., 2017), und die Schwierigkeit, Aufgaben mit ausreichendem Aufforderungscharakter zu formulieren (ebd.). In Studien mit Interviews zeichnete sich ein positiveres Bild der Bewertungskompetenz von Schüler:innen ab. Es finden sich in der Literatur auch zahlreiche Schemata und Modelle, wie ein Bewertungsprozess in mündlicher Gruppenarbeit gestaltet werden kann (Bögeholz et al., 2004; konkretes Beispiel bei Steube et al., 2023 und Stümmler et al., 2017).

Neben Wissen und Kompetenz spielen jedoch auch nicht rationale Faktoren eine Rolle beim Umgang mit SSIs. Die Fähigkeit zum Perspektivwechsel (Selman, 1984) ist entwicklungsabhängig, sodass nicht von jeder Person ein Hineinversetzen in einen anderen Standpunkt oder in die gesellschaftliche Perspektive erwartbar ist. Persönliche Betroffenheit und die eigene Weltsicht (religiöse und politische Überzeugungen) stehen einer rein rationalen Bewertung eines Themas im Weg (Fonseca et al., 2023). Im Sinne einer Partizipation aller sind einige Themenbereiche für Schüler:innen aus benachteiligten Gruppen nicht motivierend (Basten & Großmann, 2022). Zudem haben Menschen psychologische Grundbedürfnisse nach Autonomie, Kompetenz und sozialer Eingebundenheit und eine unterschiedliche Fähigkeit, Ambiguität (Unsicherheit, Widersprüchlichkeit) zu tolerieren, d.h. ein unterschiedliches Bedürfnis nach „kognitiver Geschlossenheit“. Dies spiegelt sich in wenig elaborierten epistemischen Überzeugungen über die Beschaffenheit naturwissenschaftlichen Wissens wider. Werden diese Bedürfnisse frustriert, können Reaktanz, also das Bestreben, seine eigene Freiheit wiederherzustellen, sowie Angst, Überforderung und Stress entstehen. Außerdem haben Menschen insgesamt das Bedürfnis nach Konsistenz, sowohl für ihr eigenes Identitätsgefühl (Vermeidung kognitiver Dissonanz), aber auch für ihre Repräsentation nach außen (Impression management). Dadurch kommt es zu selektiver Informationssuche (bspw. selective exposure-Effekt) bzw. selektivem Einbezug von Informationen (bspw. confirmation bias) in den eigenen Bewertungsprozess. Der aufwendige und rationale Bewertungsprozess ist

kognitiv aufwendig, sodass Personen sich gemäß der Annahmen des Need for Cognition voraussichtlich darin unterscheiden, wie gut sie sich auf diese Anforderung einlassen können. Dies macht es wahrscheinlich, dass kognitive Abkürzungen über die periphere Route der Informationsverarbeitung gewählt werden.

Ideen aus der naturwissenschaftsdidaktischen Community

Am Poster konnten einige praktische Anregungen aus der Sicht von Fachdidaktiker:innen gewonnen werden:

- Kursinhalte: nahe an der Lebenswelt der Schüler:innen, regionale Bezüge, persönliche Betroffenheit – gleichzeitig fächerübergreifend mit globaler Perspektive
- Forschungs- und Handlungsorientierung: eigene Forschungsfragen verfolgen, selbst recherchieren, etwas zum Mitnehmen produzieren, Verknüpfung mit ästhetischem Lernen (Kunst, Theater etc.)
- Motivieren und Interesse wecken: Wahlmöglichkeiten geben, echte Wissenschaftler:innen treffen

Ausblick: Erhebung der Bedarfe aus der Schulpraxis

Eine Online-Lehrkräftebefragung soll klären, ob in der Schulpraxis Interesse und Bedarf an einem SSI-Angebot in einem universitären Schülerlabor besteht. Bisher haben 39 Lehrkräfte (62,5% Gymnasium) teilgenommen, von denen 47,5% bis 10 Jahre und 52,5% bis 30 Jahre Berufserfahrung haben und 46% selten oder nie und 54% manchmal oder häufig SSIs in ihrem Unterricht thematisieren. 86% wünschen sich mehr Unterstützung bei der Förderung der Bewertungskompetenz ihrer Schüler:innen, die 92% für sinnvoll für deren Zukunft halten. An einem SSI-Schülerlabor-Angebot wären 81% interessiert oder sehr interessiert und 62% würden es mit hoher Wahrscheinlichkeit besuchen. Die Kombination mit dem Angebot eines klassischen Schülerlabors würde für 49% das Interesse an dem SSI-Angebot erhöhen, bei 40,5% würde dies keinen Unterschied machen. Ein mobiles Schülerlabor an der Schule würden 40,5% deutlich oder etwas bevorzugen. 35% finden beides gleich interessant und 24,5% präferieren den außerschulischen Lernort. 40,5% der Lehrkräfte halten ein SSI-Schülerlabor für alle Klassenstufen für relevant, 59,5% halten es ab Klasse 9 für passender.

Fazit

Aus der theoretischen Beleuchtung ergibt sich, dass die Bewertung von SSIs sowohl kognitiv als auch affektiv-motivational voraussetzungsreich ist. Ein Schülerlabor-Angebot muss so konzipiert sein, dass die Bereitschaft entsteht, sich vertieft mit einem SSI auseinander-zusetzen. Dazu dürfen die psychologischen Grundbedürfnisse sowie die Bedürfnisse nach kognitiver Geschlossenheit und Konsistenz nicht zu sehr frustriert werden. Die praktischen Hinweise aus der Community, bspw. an der Lebenswelt der Schüler:innen anzuknüpfen, ihnen Wahlmöglichkeiten und Raum für selbständiges Handeln zu lassen, können hierfür hilfreich sein. Die Bedarfserhebung in der Schulpraxis zeigt, dass es lohnenswert sein kann, sich den Herausforderungen zu stellen.

Literatur

Basten, M. & Großmann, N. (2022). Partizipation in den Naturwissenschaften und gesellschaftliche Teilhabe: Reflexion über für alle Lernenden zugängliche Kontexte. PFLB, 4(2), 1–16.

Basten, M., Kraft, A. & Wilde, M. (2017). Bewerten und schriftliches Argumentieren im Biologieunterricht und die Bedeutung der Kontextualisierung. Bildung und Erziehung, 70(1), 57–73.

Basten, M., Steube, M., Kröger, E.-T. & Domenech, M. (2024). Umgang mit einer gesellschaftlich relevanten naturwissenschaftlichen Fragestellung (...) - Vorstellung einer schriftlichen Übung für die Lehrkräftebildung. In N. Graulich et al. (Hrsg.), Lehrkräftebildung von morgen: (...). Münster: Waxmann.

Bennett, J., Lubben, F. & Hogarth, S. (2007). Bringing Science to Life: A Synthesis of the Research Evidence on the Effects of Context-based and STS Approaches to Science Teaching. Sc. Ed., 91, 347–370.

Bögeholz, S., Hößle C., Langlet, J. Sander, E. & Schlüter, K. (2004). Bewerten – Urteilen – Entscheiden im biologischen Kontext. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 10, 89–115.

Diethelm, P. & McKee, M. (2009). Denialism: what is it and how should scientists respond? European Journal of Public Health, 19(1), 2–4.

Dittmer, A., Gebhard, U., Höttecke, D. & Menthe, J. (2016). Ethisches Bewerten im naturwissenschaftlichen Unterricht: Theoretische Bezugspunkte. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 22(1), 97-108.

Dittmer, A., & Zabel, J. (2019). Das Wesen der Biologie verstehen: Impulse für den wissenschaftspropädeutischen Biologieunterricht. In J. Groß, M. Hammann, P. Schmiemann, & J. Zabel (Hrsg.), Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis (S. 87-105). Springer Spektrum.

Eggert, S. & Bögeholz, S. (2006): Göttinger Modell der Bewertungskompetenz – Teilkompetenz „Bewerten, Entscheiden und Reflektieren“ für Gestaltungsaufgaben Nachhaltiger Entwicklung. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 12, 199–217.

Fonseca, C. et al. (2023). People with more extreme attitudes towards science have self-confidence in their understanding of science, even if this is not justified. PLoS Biology, 21(1), e3001915.

Freiling, I., Krause, N. M., Scheufele, D. A., & Brossard, D. (2023). Believing and sharing misinformation, factchecks, and accurate information on social media: The role of anxiety during COVID-19. New Media & Society, 25(1), 141–162.

Höttecke, D. & Allchin, D. (2020). Reconceptualizing nature-of-science education in the age of social media. Science Education, 104, 641–666.

Kienhues, D., Jucks, R. & Bromme, R. (2020). Sealing the gateways for post-truthism: Reestablishing the epistemic authority of science. Educational Psychologist, 55(3), 144-154.

Langlet, J. et al. (2022). Bewertungskompetenz in den Naturwissenschaften - Denkanstöße, Empfehlungen und Hilfen für den Unterricht und für Aufgaben. Düsseldorf: MNU.

Leubecher, R., Krell, M. & Zabel, J. (2020). Bewertungskompetenz in der Lehramtsausbildung – Vorschlag zur Vermittlung von Professionswissen in der universitären Lehre. ZfDN, 24, 1–13.

Reitschert, K., Langlet, J., Hößle, C., Mittelsten Scheid, N. & Schlüter, K. (2007). Dimensionen von Bewertungskompetenz. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, 60(1), 43-51.

Sadler, T. D., Barab, S. A. & Scott, B. (2007). What do students gain by engaging in socioscientific inquiry? Research in Science Education, 37, 371–391.

Steube, M., Wilde, M. & Basten, M. (2023). Does role play manipulate students? Persuasive effects of role play on students' attitude and behavior regarding a socioscientific issue. JRST. DOI: 10.1002/tea.21910

Stinken-Rösner, L., Rott, L., Hundertmark, S., Baumann, T., Menthe, J., Hoffmann, T., Nehring, A. & Abels, S. (2020). Thinking Inclusive Science Education from two Perspectives: inclusive Pedagogy and Science Education. RISTAL, 3, 30-45.

Stümmler, A., Basten, M. & Wilde, M. (2017). Was spricht für und was spricht gegen eine Organspende? MNU-Journal, 70(6), 405–409.

UNESCO (2020). Education in a post-COVID world: nine ideas for public action.

Valladares, L. (2021). Scientific literacy and social transformation: Critical perspectives about science participation and emancipation. Science & Education, 30(4), 557-587.

Ziepprecht, K., Schwanewedel, J. et al. (2017). Modellierung naturwissenschaftlicher Kommunikations-kompetenz – ein fächerübergreifendes Modell zur Evaluation der Bildungsstandards. ZfDN, DOI 10.1007/s40573-017-0061-8.

Leon Richter[1]
Stefen Müller[1]
Nastja Riemer[2]
Claudia Gómez Tutor[1]
Johann-Nikolaus Seibert[1]

[1]RPTU Kaiserslautern-Landau
[2]Universität Potsdam

Erhebung zu mathematischen Fähigkeiten und Workload im Projekt KiWiSS

Mathematische Kompetenzen und die Workload-Wahrnehmung beeinflussen als zentrale Bestandteile des individuellen Studienprozesses den Erfolg oder Misserfolg von Chemiestudierenden (vgl. Müller, 2024; Averbeck, 2021). Im Hochschulkontext wird der Begriff „Workload“ als studentischer Arbeitsaufwand (Lernaufwand, Organisieren etc.) für eine bestimmte Leistung verstanden (Müller, 2024). Der Workload stellt somit eine Komponente der universitären Belastung der Studierenden dar, die auch aus institutioneller Sicht von Bedeutung ist, da der studentische Workload ein verbindliches Kriterium für die Akkreditierung und Planung von Studiengängen ist (Müller, 2024). Unter den Belastungen während des Chemiestudiums dominieren die kognitiv-fachlichen Belastungsquellen, sekundär sind kognitiv-organisatorische sowie physische (inkl. Krankheit) und soziale Belastungsquellen (Schwedler, 2017). Von den Fächern bzw. Teildisziplinen in der Studieneingangsphase wird vor allem Mathematik als belastend genannt, da das geforderte Leistungsniveau viele Studienanfängerinnen und -anfänger fachlich überfordert (Schwedler, 2017). Das Chemiestudium verlangt bereits zu Beginn des Studiums fachspezifisches Wissen und auch hohe mathematische Fähigkeiten und Fertigkeiten (Heublein et al., 2010). In der Chemie ist die Mathematik vor allem eine Anwendungsdisziplin, daher werden vor allem Rechenfertigkeiten benötigt. Die voruniversitären Rechenfertigkeit der Studierenden zählen auch als ein Prädiktor für den Studienerfolg im Fach Chemie (Averbeck, 2021). Aus der Literatur ergibt sich eine Diskrepanz zwischen den voruniversitären mathematischen Kenntnissen der Studierenden und den erwarteten bzw. nötigen Kenntnissen für das Studium (vgl. Klostermann, 2014; Heublein et al., 2010; Averbeck, 2021; Neumann et al., 2017). Auch wurde das Selbststudium (inkl. Übungen und Vorlesungsnachbereitung) von den Studierenden als anspruchsvollste Lernform genannt (Schwedler, 2017). In diesem Zusammenhang weisen die Ergebnisse von Obrentz (2012) darauf hin, dass Chemiestudierende zwar einige grundlegende Lernstrategien oder Ressourcen effektiv nutzen, aber möglicherweise nicht in der Lage sind, ihren eigenen Zeitplan zu verwalten, ihr Lernen zu organisieren oder diese Fähigkeiten während des Semesters regelmäßig anzuwenden.

Das KiWiSS-Projekt (**K**ontinuität **i**m **W**orkload durch **i**nhaltliche **S**trukturierung von **S**elbstlernzeiten) setzt u. a. an strukturellen Bedingungen des Chemiestudiums an, z. B Defizite im Bereich der mathematischen Vorkenntnisse zur vollumfänglichen Bearbeitung chemischer Fragestellungen sowie Selbstlernkompetenzen der Studierenden und fokussiert auf eine verbesserte Strukturierung von Selbstlernzeiten und -angeboten in Bezug auf die entsprechenden Fachinhalte. Dieses Projekt zielt darauf ab, die oben beschriebenen Elemente zu adressieren, einerseits die mathematischen Schwierigkeiten und andererseits die universitäre Belastung. Dabei sollen verschiedene Maßnahmen erarbeitet und implementiert werden, wie bspw. Selbstlernmaterialien (Erklärvideos, Übungsblätter, Podcast) und ein Peer-Tutoring- bzw. Peer-Mentoring-Programm. In diesem Beitrag liegt der Fokus auf der

Voruntersuchung zum Selbstlernmaterial für Studierende in der Studieneingangsphase. Damit geeignetes Selbstlernmaterial erstellt werden kann, ist es zuvor notwendig (mathematisches) Vorwissen und damit auch die Defizite sowie den Workload der Studierenden zu erfassen.

Methoden

Die Rechenfertigkeiten von Chemiestudierenden wurden bereits in verschiedenen Studien untersucht, da sich die Studierendenpopulationen jedoch ständig ändern, ist eine kontinuierliche Untersuchung unerlässlich (vgl. Obrentz, 2012). Die methodische Herausarbeitung der mathematischen Inhalte wurde im Rahmen von KiWiSS durch zwei Maßnahmen flankiert: Zum einen wurden die chemiespezifisch notwendigen mathematischen Inhalte der Allgemeinen und Physikalischen Chemie (PC) anhand von Lehrbüchern (z. B. Binnewies et al., 2016; Atkins und de Paula, 2020) und Skripten (zum Praktikum, PC-Vorlesung) qualitativ analysiert, zum anderen wurde eine quantitative Vorstudie zu den mathematischen Fertigkeiten von Chemiestudierenden und deren aktueller Workload durchgeführt. Zur Erfassung des Workloads wurde die sogenannte Workloadkurve von Müller (2024) verwendet. Dabei handelt es sich um ein grafisches Instrument zur Workloaderfassung, bei dem die Befragten Punkte in einem Koordinatensystem setzen, durch deren Position das Ausmaß des Workloads (y-Koordinate) zum jeweiligen Zeitpunkt (x-Koordinate) angeben wird (Müller, 2024). Die Punkte verbinden sich automatisch zu einer Kurve und können mit workloadauslösenden Ereignissen beschriftet werden (Müller, 2024). Zur Erfassung der mathematischen Fertigkeiten wurden drei Instrumente eingesetzt: der Mathematik-Fragebogen von Klostermann (2014), welcher das breite Anwenden mathematischer Prinzipien abfragt, der Math-Up Skills Test (MUST; Albaladejo et al., 2018), welcher grundlegende arithmetische Fähigkeiten abfragt und der ALSTER Mathematik-Fragebogen in der Grundversion (Müller et al., 2018). Diese drei Instrumente decken das Spektrum der erwarteten Mathematik in der Chemie ab, das durch die Analyse von Lehrbüchern und Skripten ermittelt wurde. Der gesamte Fragebogen umfasst daher 77 Items, welche sich in acht Themenbereiche unterteilen lassen, die in Abbildung 1 dargestellt sind. Der Mathematik-Fragebogen enthält überwiegend Aufgaben aus der Sekundarstufe I und II. Einige Inhalte kommen nur im Leistungskurs vor, andere gar nicht. Die drei Fragebögen weisen jeweils unterschiedliche Ausprägungen in den abgefragten mathematischen Themenbereichen auf.

An dieser Vorstudie haben insgesamt $N = 33$ Studierende teilgenommen. Darunter befinden sich $N_{RPTU} = 19$ bzw. $N_{UP} = 14$ Studierende des Bachelor Chemie Lehramtsstudiengangs an der RPTU in Kaiserslautern bzw. der Universität Potsdam (UP). Die Teilnehmenden Studierenden befanden sich ca. im vierten Fachsemester und belegten die Lehrveranstaltung Physikalische Chemie.

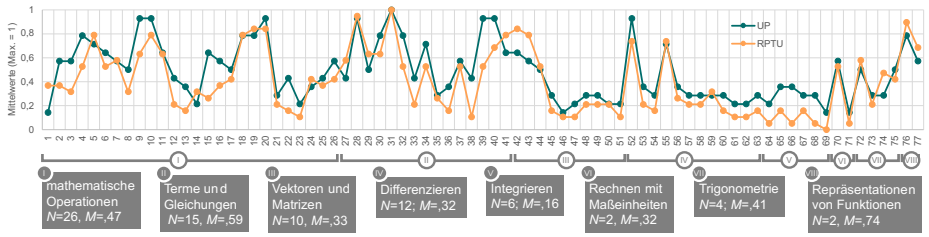


Abbildung 1: Mittelwerte Fragebogen-Items nach Universität, gruppiert nach Themenbereich (mit jeweiliger Item-Anzahl N und Lösungshäufigkeit M pro Themenbereich)

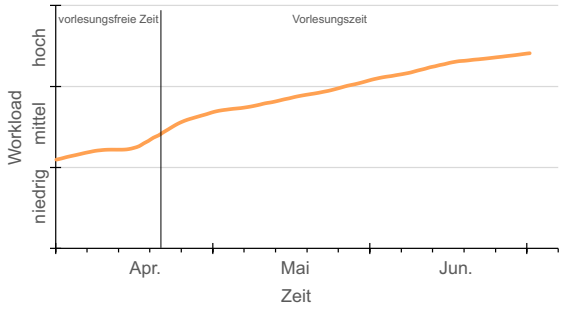


Abbildung 2: Workloadverteilung Studierende Chemie Zeitraum April–Juni 2024 (N = 31)

Ergebnisse aus der Vorstudie

In allen drei Fragebögen und bei beiden Universitäten liegt die durchschnittliche Lösungshäufigkeit mit ca. 43,6 % (SD = 24,5 %, N = 33) unter der Hälfte der zu erreichenden Punkten. Die Lösungshäufigkeiten der einzelnen Items bezogen auf die jeweilige Universität ist in der Abbildung 1 dargestellt. Einige Items waren besonders schwer für die gesamte Studierendengruppe, bspw. 45–51 (Vektoren und Matrizen) und 56–63 (Differenzieren). In dem aus drei Instrumenten zusammengefügten Fragebogen zeigen sich über einzelne Items hinweg ähnliche Muster von Erfolg und Schwierigkeiten bei beiden Universitäten (vgl. Abb. 1). Bei Studierenden der UP (M = 37,4; SD = 17,3) ist im Vergleich mit den Studierenden der RPTU (M = 30,8; SD = 13,3) kein signifikanter Unterschied beobachtbar, $t(31) = 1{,}24$; $p_{\text{einseitig}} = 0{,}113$. In der Workloadverteilung in Abbildung 2 ist ab Beginn der Vorlesungszeit ein schrittweiser Anstieg des Workloads der Studierenden zu verzeichnen.

Diskussion und Ausblick

Die Ergebnisse der Mathematik-Erhebung zeigen deutliche Schwierigkeiten der Studierenden im vierten Semester in allen Themenbereichen, was die Ergebnisse bisheriger Studien bestätigt. Konkret handelt es sich um Schwierigkeiten u. a. beim Umgang mit Logarithmen, beim Umstellen von Gleichungen, Differenzieren, Intergieren und einigen weiteren Inhalten. Diese Fertigkeiten sind insbesondere für die Physikalische Chemie wichtig. Aus der Erhebung und der Analyse von Lehrbüchern bzw. Skripten ergaben sich Themen für das zu erstellende Selbstlernmaterial, wie die oben benannten vier Themen und laborpraktische mathematische Fertigkeiten wie Ausbeute- und Verdünnungsberechnung sowie weitere Themen. Das somit zu erstellende Selbstlernmaterial im Projekt soll einerseits auf diese mathematischen Defizite eingehen und anderseits, wie Stone (2021) betont sich nicht nur auf Defizite im inhaltlichen Vorwissen beschränken. Vor diesem Hintergrund sollen, wie u. a. von Obrentz (2012) erwähnt, Lernstrategien für das Chemiestudium berücksichtigt werden. Dabei soll das erstellte Material den tatsächlichen Arbeitsaufwand für die Studierenden (workloadsensibel sein) und die Relevanz für das Studium berücksichtigen. Die retrospektive Erhebung des Workloads hat außerdem eine Limitation, da Studierende ihren Workload über mehrere Monate reflektieren müssen. Hier kann in zukünftigen Untersuchungen ein ähnlicher Ansatz einer wöchentlichen Belastungserhebung von Lahme et al. (2023) gewählt werden, um die Messungen deutlicher aufzulösen und die Belastungsquellen genauer zu analysieren.

Danksagung: Wir bedanken uns bei der *Stiftung Innovation in der Hochschullehre* für die Förderung des KiWiSS-Projekts.

Literatur

Albaladejo, J. D. P., Broadway, S., Mamiya, B., Petros, A., Powell, C. B., Shelton, G. R., … Mason, D. (2018). Confchem conference on mathematics in undergraduate chemistry instruction: Must-know pilot study—math preparation study from texas. Journal of Chemical Education, 95 (8), 1428–1429. doi: 10.1021/acs.jchemed.8b00096

Atkins, P. W., & de Paula, J. (2020). Kurzlehrbuch Physikalische Chemie. WILEY-VCH.

Averbeck, D. (2021). Zum Studienerfolg in der Studieneingangsphase des Chemiestudiums. Der Einfluss kognitiver und affektiv-motivationaler Variablen. Logos Verlag.

Binnewies, M., Finze, M., Jäckel, M., Schmidt, P., Willner, H. & Rayner-Canham, G. (2016). Allgemeine und anorganische Chemie. Springer-Verlag. doi: 10.1007/978-3-662-45067-3

Fleischer, J., Leutner, D., Brand, M., Fischer, H., Lang, M., Schmiemann, P., & Sumfleth, E. (2019). Vorhersage des Studienabbruchs in naturwissenschaftlich-technischen Studiengängen. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 22(5), 1077-1097. doi: 10.1007/s11618-019-00909-w

Heublein, U., Hutzsch, C., Schreiber, J., Sommer, D. & Besuch, G. (2010). Ursachen des Studienabbruchs in Bachelor- und in herkömmlichen Studiengängen – Ergebnisse einer bundesweiten Befragung von exmatrikulierten des Studienjahres 2007/08. HIS: Forum Hochschule.

Klostermann, M. (2014). Lehr-/Lern- Überzeugungen von Studierenden und Lehrenden im Fach Chemie im ersten Studienjahr. urn:nbn:de:gbv:8-diss-154953

Lahme, S. Z., Cirkel, J., Hahn, L., Klein, P. & Schneider, S. (2023). Belastungsquellen in der Studieneingangsphase Physik. Didaktik der Physik Frühjahrstagung – Hannover 2023. doi: 10.13140/RG.2.2.11206.86084

Müller, J., Stender, A., Fleischer, J., Borowski, A., Dammann, E., Lang, M. & Fischer, H. E. (2018). Mathematisches Wissen von Studienanfängern und Studienerfolg. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 24 (1), 183–199. doi: 10.1007/s40573-018-0082-y

Müller, S. (2024). Zur Bedeutung von Workload im Studienprozess: Workloaderhebung zur Unterstützung individueller und institutioneller Aspekte im Studium. RPTU Kaiserslautern-Landau.

Neumann, I., Pigge, C. & Heinze, A. (2017). Welche mathematischen Lernvoraussetzungen erwarten Hochschullehrende für ein MINT-Studium? IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik.

Obrentz, S. (2012). Predictors of science success: The impact of motivation and learning strategies on college chemistry performance. doi: 10.57709/2227906

Schwedler, S. (2017). Was überfordert Chemiestudierende zu Studienbeginn? Eine qualitative Analyse zur Ausprägung des Stresserlebens und Ursachen der Fehlbeanspruchung im Studium der Chemie und chemienaher Fächer. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 23 (1), 165-179. doi: 10.1007/s40573-017-0064-5

Stone, D. C. (2021). Student success and the high school-university transition: 100 years of chemistry education research. Chemistry education research and practice, 22(3), 579-601. doi: 10.1039/d1rp00085c

Michael Kunz[1]
Stefan Müller[1]

[1]Universität Koblenz

Verständnis über Naturwissenschaften (NOS) im Schülerlabor Chemie

Forschungsstand und Forschungsdesiderat

Die Förderung eines Wissenschaftsverständnisses "*im Sinne von Nature of Science [NOS]"* (KMK 2024, S.6) ist explizit Bestandteil der Bildungsstandards im Fach Chemie. Obwohl bereits vielfach erforscht wurde, wie sich ein solches Verständnis fördern lässt (Khishfe, 2023), zeigt eine Vielzahl von Studien allerdings, dass Lernende und Lehrende zu einem großen Teil über naive oder inkonsistente Vorstellungen über NOS verfügen (Deng, Chen, Tsai & Chai, 2011; Müller & Reiners, 2023) und viele NOS-Aspekte in der Schule und in Schulbüchern nur unzureichend thematisiert werden (Höttecke, 2001; Marniok & Reiners, 2016; Müller et al., 2020). Dementsprechend soll im Rahmen eines Forschungsprojektes untersucht werden, wie sich die Vorstellungen über verschiedene NOS-Aspekte im Rahmen eines Schülerlaborsettings im Fachbereich Chemie erweitern lassen. Dies wurde bislang vor allem zu ausgewählten Aspekten oder in anderen Fachbereichen untersucht (Binder et al., 2023; Birkholz & Elster, 2014; Uhlmann & Priemer, 2010). Im Folgenden werden die Ergebnisse einer Voruntersuchung zu den Vorstellungen von Lernenden über NOS im Rahmen des Schülerlabors Chemie der Universität Koblenz sowie die erste Konzeption einer Folgeuntersuchung vorgestellt.

Voruntersuchung

Im Rahmen der hier vorgestellten Voruntersuchung wurden Lernende befragt, die das Schülerlabor der Universität Koblenz im Sommersemester 2024 besucht haben.[1] Es wurden insgesamt Vorstellungen von 37 Teilnehmenden (w: 22, m: 12, k.A.: 3) unterschiedlicher Schulformen und Jahrgangsstufen erhoben. Für die Untersuchung wurde die Übersetzung ausgewählter Items (Müller, 2021) des VNOS-C (Lederman, 2002) verwendet. Dabei wurde der Fokus auf die NOS-Aspekte *Beobachtung und Schlussfolgerung*, *Kreativität*, *soziokulturelle Eingebundenheit* und *Vorläufigkeit* gelegt. Die Teilnehmenden wurden schwerpunktmäßig zu jeweils einem der NOS-Aspekte befragt.[2] Außerdem wurden alle Teilnehmenden (37) in einer zusätzlichen Frage dazu aufgefordert, Merkmale naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen zu nennen. Die Ergebnisse der Befragungen wurden mittels qualitativer Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2022) ausgewertet und induktiv kategorisiert. Anhand der Befragung zum Aspekt der *soziokulturellen Eingebundenheit* soll das Vorgehen der Kategorienbildung erläutert werden: Die Antworten der Probanden lassen sich zunächst einmal dahingehend unterscheiden, ob die Lernenden der Meinung sind, dass Naturwissenschaften in soziokulturelle Kontexte eingebunden sind (Oberkategorie: Ja) oder nicht (Oberkategorie: Nein). Darüber hinaus gab es Teilnehmende, deren Antworten keine eindeutige Zuordnung zu den Oberkategorien Ja und Nein ermöglichten (Oberkategorie: Inkonsistent). Für die Antworten, die sich den entstandenen Oberkategorien eindeutig

[1] Themen: „Alchemie", „RedOx-Reaktionen" oder „Einfache Kohlenwasserstoffe"
[2] Beobachtung und Schlussfolgerung: w: 6; m: 2; Kreativität: w: 3; m: 4; soziokulturelle Eingebundenheit: w: 4; m: 6; k.A.: 1; Vorläufigkeit: w: 8; m: 1; k.A.: 2

zuordnen ließen, wurden auf Basis der von den Befragten vorgebrachten Begründungen Unterkategorien gebildet (siehe *Abb. 1*). Auf diese Weise wurde eine Kategorisierung für alle vier genannten NOS-Aspekte durchgeführt. Eine Betrachtung der entstandenen Kategoriensysteme zeigt, dass nur ein geringer Teil der Lernenden über adäquate Vorstellungen bezüglich der untersuchten NOS-Aspekte verfügt. Insbesondere in Bezug auf die soziokulturelle Eingebundenheit. Die Lernenden, die von einer soziokulturellen Eingebundenheit naturwissenschaftlicher Erkenntnisse ausgehen, betrachteten bei ihren Begründungen zudem nur wenige Dimensionen der soziokulturellen Eingebundenheit (Müller, 2021), sodass davon ausgegangen wird, dass auch bei diesen Förderungsbedarf besteht.

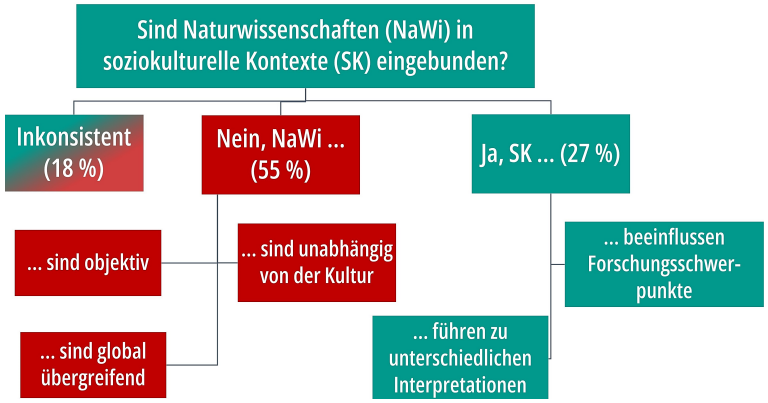


Abb. 1 Kategorisierung der Antworten (n = 11) zu einer Frage bezüglich der soziokulturellen Eingebundenheit naturwissenschaftlicher Erkenntnisse.

In Bezug auf die anderen NOS-Aspekte zeigen die Lernenden ebenfalls selten adäquate Vorstellungen, allerdings etwas häufiger als im Fall der soziokulturellen Eingebundenheit. Beispielsweise deuten die Antworten der Probanden bezüglich des Aspekts *Beobachtung und Schlussfolgerung* zunächst darauf hin, dass zumindest ein grundlegendes Verständnis über das empirische Vorgehen in den Naturwissenschaften besteht. Die Aussagen der Lernenden während der praktischen Arbeit im Schülerlabor lassen jedoch vermuten, dass es ihnen in der Praxis schwerfällt, eine scharfe Trennung zwischen Beobachtung und Schlussfolgerung zu ziehen. Die bisher verwendeten Erhebungsmethoden reichen daher möglicherweise nicht aus, um ein umfassendes Bild der Vorstellungen der Lernenden zu erhalten. Daher könnte es sich im weiteren Vorgehen als sinnvoll erweisen, zusätzlich andere Erhebungsmethoden zu verwenden. In Bezug auf die Merkmale naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen scheinen die Teilnehmenden in erster Linie großen Wert auf Experimente (9 Nennungen) als Teil der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung zu legen. Andere Aspekte werden selten (z. B. Peer-Review; 1 Nennung) oder gar nicht genannt (z. B. Modelle). Die starke Fokussierung auf Experimente deckt sich einerseits mit der Literatur (McComas, 1998) und könnte außerdem auf die hohe Präsenz von Experimenten im Schülerlaborsetting zurückzuführen sein.

Konzeption der Folgeuntersuchung

Aufbauend auf den Ergebnissen der Voruntersuchung scheint es notwendig, im Rahmen des Forschungsvorhabens einen neuen Schülerlabortag zur NOS-Förderung zu entwickeln. Im ersten Durchgang soll der Fokus auf den Aspekten *soziokulturelle Eingebundenheit* sowie

Beobachtung und Schlussfolgerung liegen, da im Rahmen der Voruntersuchung festgestellt wurde, dass hier ein besonderer Förderbedarf bezüglich der Schülervorstellungen vorzuliegen scheint. Daher sollen diese explizit und kontextualisiert (Khishfe, 2023) im Schülerlabor thematisiert werden. Als übergeordneter Kontext wurde der Klimawandel als socio-scientific issue (SSI) gewählt. Zum einen aufgrund der Aktualität der Thematik, zum anderen weil vergangene Interventionen gezeigt haben, dass sich der Kontext gut für die Vermittlung von Nature of Science eignet (Khishfe, 2023). Außerdem bietet der Kontext die Gelegenheit, Prinzipien der Naturwissenschaften wie Konsensbildung, Peer-Review-Verfahren und die Arbeit mit Modellen in das Schülerlabor zu integrieren, da diese bislang von den Teilnehmenden kaum betrachtet worden sind (siehe Voruntersuchung). Im geplanten Schülerlabortag sollen die Lernenden Expertengruppen bilden, in denen sie gemeinsam an einer übergeordneten Fragestellung arbeiten, die auf einem Teilaspekt[3] des Klimawandels aufbaut. Im Anschluss an die praktische Arbeit im Labor sollen die Lernenden innerhalb ihrer Gruppen die wichtigsten Forschungsergebnisse dokumentieren, verhandeln, auf einem wissenschaftlichen Poster darstellen und in ihrer Schule präsentieren. Das Ziel dabei ist es, den Weg naturwissenschaftlicher Aussagen von der Forschung bis zur Veröffentlichung nachvollziehbar zu machen. Die Bildung von Expertengruppen dient dazu zu verdeutlichen, dass in der Wissenschaft i. d. r. viele Experten aus unterschiedlichen Domänen notwendig sind, um Erkenntnisse zu gewinnen, dies trifft insbesondere in der Klimaforschung zu. Die NOS-Aspekte sollen vor, während und nach dem Schülerlabortag explizit thematisiert werden. Daher ist sowohl vor dem Schülerlaborbesuch als auch danach eine Lerneinheit in der Schule geplant. Als Vorbereitung sollen grundlegende NOS-Aspekte sowie das für die Durchführung der Experimente notwendige Fachwissen vermittelt werden. Während des Schülerlabortages können die Experimente von expliziten NOS-Bausteinen begleitet werden. Im Anschluss des Schülerlabortages sollen die Lernenden über ihre eigene Forschungsarbeit unter Berücksichtigung der NOS-Aspekte reflektieren. Wie sich die Vorstellungen der Lernenden bezüglich NOS im Rahmen des Schülerlabortages verändern, soll anhand eines Pre-Post-Testdesigns festgestellt werden. Dabei werden die Vorstellungen der Teilnehmenden mit verschiedenen Methoden (z. B. Interviews, offene/geschlossene Fragebögen) vor und nach dem Schülerlabortag erhoben.

Ausblick

Der Schülerlabortag wird in Kürze das erste Mal durchgeführt und in den Folgedurchgängen iterativ weiterentwickelt. Dabei könnten zukünftig folgende weitere Fragestellungen näher untersucht werden:

- Inwiefern können im Sinne der Nature of Science in Society (NOSIS)-Konzeption (Höttecke & Allchin, 2020) weitere Schritte, die eine naturwissenschaftliche Aussage von der Forschung auf dem Weg in die Gesellschaft durchläuft, in den Schülerlabortag integriert werden?
- Lässt sich das Schülerlabor im Sinne einer ganzheitlichen MINT-Bildung fächerübergreifend ausbauen?
- Inwiefern eignen sich andere Kontexte (z. B. saurer Regen oder Mikroplastik) für die Konzeption eines ähnlichen NOS-Schülerlabortages?

[3] Bei den Expertengruppen handelt es sich um: Wissenschaftliche Grundlagen des Klimawandels (z. B. Modellexperiment zum Treibhauseffekt); Folgen des Klimawandels (z. B. Versauerung der Ozeane); Innovative Technologien (z. B. Power-To-Gas)

Literatur

Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. Science Education, 95(3), 518–542.

Binder, T., Kurschildgen, S., Schmidt, E., Kremer, K. & Schwarzer, S. (2024). Spirit Teaching 2.0 – NOS-Verständnis bei Schüler:innen fördern. In H. van Vorst (Hrsg.), Frühe naturwissenschaftliche Bildung: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. 50. Jahrestagung GDCP 11. bis 14. September 2023 in Hamburg (S. 686-689). Essen: GDCP Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik.

Birkholz, J. & Elster, D. (2014). Entwicklung von Wissenschaftsverständnis durch mehrfache Besuche des basci Schülerlabors. In D. Chernyak, A. Möller, A. Dittmer & P. Schmiermann (Hrsg.) Erkenntnisweg Biologiedidaktik 13: Fachsektion Didaktik der Biologie 16. Internationale Frühjahrsschule der Fachsektion Didaktik der Biologie im Verband Biologie, Biowissenschaften und Biomedizin in Deutschland 24. bis 27. Februar 2014 in Trier (S.149-163). Gießen: FDdB Fachsektion der Didaktik der Biologie.

Deng, F., Chen, D. T., Tsai, C. C., & Chai, C. S. (2011). Students' views of the nature of science: A critical review of research. Science Education, 95(6), 961–999.

Höttecke, D. (2001). Die Vorstellungen von Schüler und Schülerinnen von der „Natur der Naturwissenschaften". Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 7, 7−23.

Höttecke, D. & Allchin, D. (2020). Reconceptualizing nature-of-science education in the age of social media. Science Education, 104, 641–666.

Khishfe, R. (2023). Improving Students Conceptions of Nature of Science A Review of the Literature. Science & Education, 32(6), 1887-1931.

Kuckartz, U. (2012). Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung. (5. Aufl.). Weinheim: Beltz Juventa.

Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L. & Schwartz, R. S. (2002). Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. Journal of Research in Science Teaching, 39(6), 497-521.

Marniok, K. & Reiners, C. S. (2016). Die Repräsentation der Natur der Naturwissenschaften in Schulbüchern. CHEMKON, 23(2), 53-102.

McComas, W. F. (Hrsg.) (1998). The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Mueller, S. & Reiners, Ch. S. (2023). Pre-service Chemistry Teachers' Views about the Tentative and Durable Nature of Scientific Knowledge. Science & Education, 32, 1813-1845.

Müller, M., Gimbel, K., Ziepprecht, K. & Wodzinski, R. (2020). Nature of Science im Unterricht und in Lehrerfortbildungen. MNU-Journal: Verband zur Förderung des MINT-Unterrichts, 73(4), 276-280.

Müller, S. (2021). Die Vorläufigkeit und soziokulturelle Eingebundenheit naturwissenschaftlicher Erkenntnisse: Kritische Reflexion, empirische Befunde und fachdidaktische Konsequenzen für die Chemielehrer*innenbildung. Berlin: Logos, 343.

Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK) (2024). Weiterentwickelte Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Chemie (MSA) (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004 i.d.F. vom 13.06.2024). Am 29.08.2024 abgerufen von: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2024/2024_06_13-WeBiS_Chemie_MSA.pdf.

Uhlmann, S., & Priemer, B. (2010). Das Experiment in Schule und Wissenschaft - ein „Nature of Science" - Aspekt explizit in einem Projekt im Schülerlabor. PhyDid B - Didaktik Der Physik - Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung 08. bis 11. März 2010. Abgerufen am 29.08.2024 von https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/182.

Eileen Reckmann[1]
Tobias Blomberg[1]
Katrin Temmen[1]

[1]Universität Paderborn

Neue Wege für das Schülerlabor – Rahmenbedingungen eines mobilen Schülerlabors

Projektvorstellung und theoretischer Rahmen

Die MINT-Bildung von Schüler*innen nimmt in unserer naturwissenschaftlich und technisch geprägten Welt, auch mit Blick auf den Fachkräftemangel, eine wichtige Rolle ein (Bünning, 2020). Besonders außerschulische Lernorte, wie Schülerlabore, tragen zu einer hohen Motivation bei den Teilnehmenden bei (Baar & Schönknecht, 2018). Im Schülerlabor coolMINT.paderborn, welches eine Kooperation der Universität Paderborn und des Heinz Nixdorf MuseumsForums ist, soll auch durch die Teilnahme von Schulklassen und Gruppen an dreistündigen Modulen, das Interesse von Schüler*innen an MINT-Themen gefördert werden. Im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes MINT 4.OWL werden die bestehenden Angebote aus dem Schülerlabor flächendeckend und wohnortnah in ländliche Regionen in Ostwestfalen-Lippe gebracht. Hierzu fahren Moderierende des Schülerlabors – i.d.R. studentische Mitarbeitende der Universität Paderborn – mit Materialien aus dem Schülerlabor zu verschiedenen öffentlichen Orten wie Bibliotheken, Museen und Jugendzentren und führen die Module durch. An diesen mobilen Angeboten können Kinder und Jugendliche in ihrer Freizeit teilnehmen. Hierdurch sollen Berührungspunkte mit dem MINT-Bereich geschaffen sowie Interesse bei den Jugendlichen und Kindern geweckt und gefördert werden. Die Wirkung dieser geschaffenen non-formalen Lernkontexte (Maschke & Stecher, 2018), in denen sich die Teilnehmenden mit Themen wie Robotik und 3D-Druck auseinandersetzen können, stellen ein Forschungsdesiderat dar. Zur Wirksamkeit non-formaler Lernkontexte liegen nur wenig empirische Ergebnisse vor, was auch auf ihre nicht immer trennscharfe Definition zurückzuführen ist. Nach Maschke und Stecher (2018) grenzen sich non-formale Lernkontexte von informellen und formalen Lernkontexten dadurch ab, dass die Teilnahme zwar freiwillig ist, gleichzeitig allerdings strukturierte Lernarrangements vorzufinden sind, welche in einer zugehörigen Organisation eingebettet sind. Daher steht der gefühlten Bildungsbedeutung von non-formalen Lernkontexten ein begrenztes empirisches Wissen gegenüber (Thole & Züchner, 2020). Durch die vorliegende explorative Untersuchung soll eine erste und zugleich vielseitige forschungsbasierte Sicht auf die mobilen Angebote ermöglicht werden. Es sollen Rahmenbedingungen erfasst werden, die für eine erfolgreiche Durchführung der Schülerlabormodule an den neu erschlossenen außerschulischen Lernorten wichtig sind. Dazu werden Interviews mit den verschiedenen im Projekt involvierten Personen geführt und qualitativ ausgewertet.

Fragestellung und Untersuchungsdesign

Zur Erfassung von Gelingensbedingungen wurden Interviews mit den Moderierenden der Schülerlabormodule sowie Mitarbeitenden der neu erschlossenen außerschulischen Lernorte (Bibliothekar*innen, Jugendzentrumsmitarbeitende etc.) geführt. Alle acht zu dem Zeitpunkt aktiven Moderierenden konnten befragt werden sowie sieben Mitarbeitende der mobilen

außerschulischen Lernorte. Die etwa einstündigen halbstrukturierten Interviews wurden im Sommer 2023 (Moderierende: $M_{Alter} = 24; SD_{Alter} = 3{,}5$) bzw. Winter 2023/24 (Mitarbeitende: $M_{Alter} = 45; SD_{Alter} = 15{,}5$) geführt. Mithilfe der inhaltlich strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2022) wurden die Interviews unter der Fragestellung „Welche Rahmenbedingungen müssen aus Sicht der Moderierenden und Mitarbeitenden für das Gelingen der mobilen Schülerlabormodule gegeben sein?“ ausgewertet. Der Interviewleitfaden wurde adressatenspezifisch angepasst. Während die Moderierenden auch Fragen zum stationären Schülerlabor gestellt bekommen haben, wurden die Mitarbeitenden stattdessen nach dem Zusammenspiel ihrer Einrichtung und dem Projekt sowie ihrer Bereitschaft, die Module in Zukunft selbst durchzuführen, befragt.

Interviewergebnisse

Für eine hinreichende Beantwortung der Forschungsfrage wird zunächst betrachtet, wann aus Sicht der Interviewten ein durchgeführtes Modul gelungen ist. Die überwiegende Mehrheit der Moderierenden und Mitarbeitenden geben an, dass eine Durchführung gelungen ist, wenn die Teilnehmenden Spaß hatten und an einem weiteren Modul teilnehmen möchten. Fast alle Moderierenden nennen zudem den Wunsch der Teilnehmenden sich mit dem Lerngegenstand weiterbeschäftigen zu wollen als Zeichen einer gelungenen Durchführung. Die Mitarbeitenden nennen zusätzlich als Merkmale „Unterhaltungen über die Kursinhalte“, „eigenständige Umsetzung der Aufgaben“ und „Kinder und Jugendlichen wurden gecatcht“. In Abb. 1 sind die aus den Interviews erfassten Rahmenbedingungen der Moderierenden und Mitarbeitenden dargestellt. In dem linken Kreis sind die von den Moderierenden genannten Bedingungen aufgeführt, in dem rechten die der Mitarbeitenden und in der Schnittmenge die von beiden Gruppen genannten.

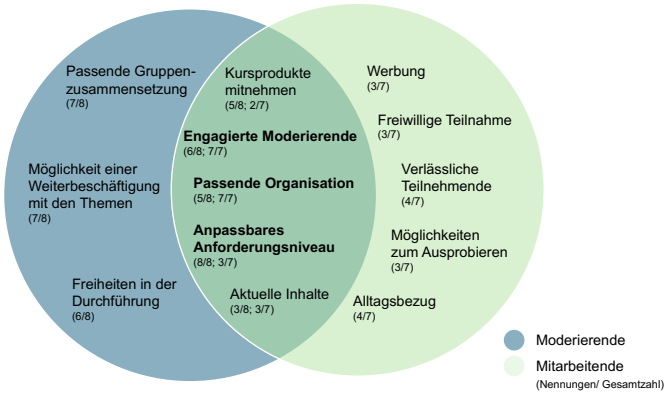


Abb. 1: Genannte Gelingensbedingungen für die mobilen Schülerlaborangebote.

Über 70% der Befragten nennen als Gelingensbedingungen „engagierte Moderierende“, eine „passende Organisation“ und ein „anpassbares Anforderungsniveau“.

Diskussion

Ziel des Projektes MINT 4.OWL ist es, Interesse für MINT-Themen bei Jugendlichen und Kindern zu wecken. Nach der Person-Gegenstand Theorie (vgl. Schiefele, 1996) setzt sich das

persönliche Interesse einer Person aus gefühlsbezogenen und wertebezogenen Valenzüberzeugungen zusammen. Als interessenstypische Gefühlszustände gelten zum Beispiel Freude, Neugier Anregung und Beteiligtsein (Schiefele & Schaffner, 2015). Merkmale, die auf diese Gefühlszustände bei den Teilnehmenden hindeuten, werden intuitiv von den Interviewten genannt („Spaß“ – Freude, „Weiterbeschäftigung“ – Neugier & Anregung, „Kursinhalte besprechen“ – Anregung & Beteiligtsein, „eigenständige Umsetzung“ – Beteiligtsein). Vermutlich haben die Befragten die von ihnen genannten Merkmale bereits bei Teilnehmenden beobachten können. Die Module können demnach interessenstypische Gefühle bei Kindern und Jugendlichen auslösen.
Durch die aus den Interviews erfassten Rahmenbedingungen wird eine adressatenabhängige Sicht auf die erforderlichen Rahmenbedingungen der mobilen Schülerlaborangebote sichtbar. Während die Moderierenden für die didaktische Planung und die Moduldurchführung zuständig sind, übernehmen die Mitarbeitenden vor allem die Organisation und Vorbereitung vor Ort. Zudem gehören die Befragten verschieden Berufs- und Altersgruppen an. Diese differenten Sichtweisen lassen eine erste Modellierung der Zusammenhänge der zentralen Einflussgrößen bei der Durchführung der Module zu:

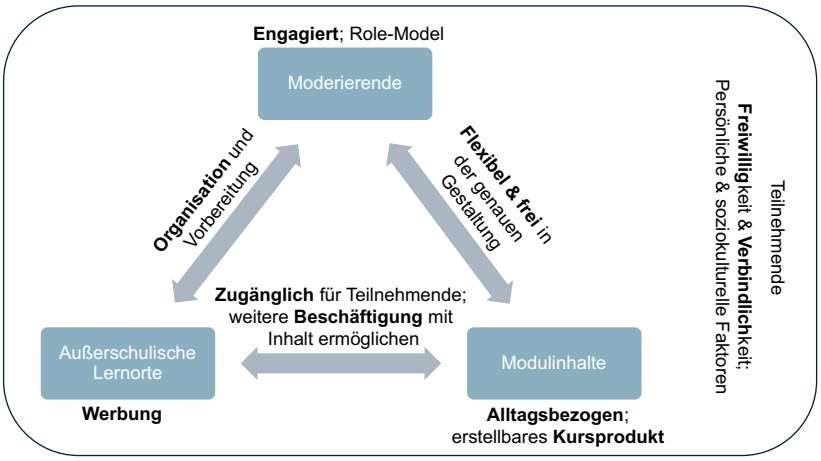


Abb. 2: Interviewbasierte Modellierung der Zusammenhänge von zentralen Einflussgrößen auf die Durchführung der mobilen Schülerlaborangebote.

Zudem weisen die genannten Rahmenbedingungen Parallelen zu den von Pawek (2019) in einer Metanalyse ermittelten wichtigen Bestandteilen eines Schülerlabors auf. Die Verständlichkeit, Herausforderung und Offenheit bei der Durchführung, der Alltagsbezug der behandelten Themen sowie eine gute Arbeitsatmosphäre wird auch von den Interviewten genannt. Den von Pawek (2019) genannte „authentischen Einblick in die Forschung“ zu bieten, ist durch die Durchführung an alltäglichen Orten, die für andere Zwecke konzipiert wurden, herausfordernd. Den Interviewergebnissen zufolge erfahren die Ermöglichung der Weiterbeschäftigung mit dem Lerngegenstand, die Werbung sowie die freiwillige Teilnahme der Kinder und Jugendlichen für die mobil durchgeführten Module eine besondere Bedeutung. Dies ist damit zu begründen, dass die Module nicht im Schulkontext eingebunden sind, sondern in der Freizeit der Kinder und Jugendlichen von diesen besucht werden. Bei der Planung neuer Module sollten die herausgearbeiteten Aspekte besondere Berücksichtigung erfahren. In einer anschließenden Untersuchung werden die Kinder und Jugendlichen befragt.

Literatur

Baar, R. & Schönknecht, G. (2018). Außerschulische Lernorte: didaktische und methodische Grundlagen. Weinheim: Beltz.

Bünning, F. (2020). Fachkräftemangel und Handlungsfelder für technische Bildung. In Dick, M., Zwischen Ingenieurpädagogik, Lehrkräftebildung und betrieblicher Praxis, Eine Festschrift für Klaus Jenewein. Hrsg.: Bünning, F., Jahn, R. W., Seltrecht, A., S. 117–126, ISBN 9783763962136, DOI 10.3278/6004727w, W. Bertelsmann Verlag: Bielefeld.

Kuckartz, U., Rädiker, S. (2022). Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung, Grundlagentexte Methoden. Grundlagentexte Methoden, 5. Aufl., 274 S., ISBN 978-3-7799-6231-1, Beltz Juventa: Weinheim, Basel.

Maschke, S. & Stecher, L. (2018). Non-formale und informelle Bildung. In A. Lange, H. Reiter, S. Schutter & C. Steiner (Hrsg.), Handbuch Kindheits- und Jugendsoziologie (S. 149–163). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-04207-3_12.

Pawek, C. (2019). 20 Jahre Schülerlabore an Hochschulen und anderen Einrichtungen, Eine wissenschaftlich fundierte Erfolgsgeschichte. In Driesen, C., Ittel, A. (Hrsg.): Der Übergang in die Hochschule, Strategien, Organisationsstrukturen und Best Practices an deutschen Hochschulen. Waxmann Verlag, S. 143–157, ISBN 9783830936459, Waxmann: Münster, New York.

Schiefele, Ulrich (1996). Motivation und Lernen mit Texten. Zugl.: München, Univ. der Bundeswehr, Habil-Schr., 1994. Göttingen, Bern: Hogrefe Verlag für Psychologie.

Schiefele, Ulrich; Schaffner, Ellen (2015). Motivation. In Elke Wild und Jens Möller (Hg.): Pädagogische Psychologie. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch), S. 153–175.

Thole, W. & Züchner, I. (2020). Kindheit und Jugend in non-formalen Bildungsräumen. In H.-H. Krüger, C. Grunert & K. Ludwig (Hrsg.), Handbuch Kindheits- und Jugendforschung (S. 1–18). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-24801-7_34-1.

Michael Komorek[1]
Kai Bliesmer[1]
Alissa Baudisch[1]
Bennet Hollwedel[1]
Lynn Ranters[1]
Mohamad Sibahi[1]

[1]Universität Oldenburg

Mobiles Schülerlabor im Museum

Non-formale MINT-Bildungsangebote für Schulklassen sind zahlreich vorhanden und werden auch vielfältig genutzt. In einem gemeinsamen Projekt des Industriemuseums Nordwolle in Delmenhorst, der IGS Delmenhorst und dem Schülerlabor physiXS der Universität Oldenburg wurde das Konzept verfolgt, zwei non-formale MINT-Bildungsangebote zu kombinieren, um ihre Potenziale komplementär zu steigern. Denn Museen bieten mit authentischen Exponaten eine historisch eingebettete Primärerfahrung (Lewalter & Greyer, 2009), während Schülerlabore Interaktivität unterstützen (Sajons, 2020).
Im Projekt haben Schüler:innen von vier 8. Klassen im Industriemuseum die Geschichte der Elektrifizierung einer Textilfabrik erkundet und an Experimentierstationen in der Generatorhalle des Museums Energieumwandlungen, industrielle Energiequellen und mechanische und elektrische Antriebe untersucht. Das Geschichtliche sollte dabei als Kontext für das Physikalische dienen (Vanderbilt, 1990) und die physikalischen Erkenntnisse sollten den Schüler:innen helfen, die Museumserfahrung zu reflektieren. Hypothese war, dass dieser komplementäre Ansatz (Tischer, Sajons & Komorek, 2023) Synergien für ein mehrperspektivisches Verständnis der Schüler:innen hervorruft (Bliesmer & Komorek, 2024).
Kombiniert mit einer Museumsführung wurde im Rahmen von drei Bachelorarbeiten (Baudisch & Hollwedel, 2024; Ranters, 2024; Sibahi, 2024) vier Experimentierstationen entwickelt und betreut. Eine Station thematisierte die Nutzung von Windenergie für industrielle Aufgaben; eine weitere Station griff den Aspekt der Energieübertragung, insbesondere über die weiten Strecken auf einem Industriegelände auf; an der dritten Station konnten die Schüler:innen das Konzept der Dampfmaschine mit historischen Bezügen erarbeiten; und an Station vier wurde die Nutzung von Wasserstoff als Energieträger experimentell untersucht.

Museumsführung und kontextualisierte Experimentierstationen
Die vier Stationen waren mit der Führung durch das Museum verknüpft, die ausgewiesene Museumsführer:innen durchführten. Zum einen thematisierte die Führung die Historie der Garn- und Textilfabrik mit Blick auf die Arbeitsbedingungen, das Leben der Betreiberfamilie, die geografische Lage und die verschiedenen imposanten Gebäudeteile. Zum anderen wurde auf die Maschinen, deren Antrieb und die Erzeugung der notwendigen Energie durch werkseigene Generatoren eingegangen. Der Antrieb der Maschinen wurde Ende des 19. Jahrhunderts vom kilometerweiten Riemenantrieb durch den lokalen Antrieb mittels Elektromotoren ersetzt. Die Dampfmaschine in der Werkshalle diente dabei zunächst dem direkten mechanischen Antrieb und trieb später einen elektrischen Generator an, bevor die Fabrik an das städtische Elektrizitätsnetz angeschlossen wurde.
Die vier Experimentierstationen griffen bestimmte Aspekte der Energieversorgung und ihres Wandel auf, sodass die Schüler:innen vertiefte experimentelle Erfahrungen im zuvor aufgemachten historischen Kontextes selbst sammeln und vertiefen konnten.

Station Dynamot. Diese Station nutzte den als Dynamot bekannten Aufbau, der aus zwei identischen Generator-Motor-Einheiten (Cornelsen) besteht. Die eine Einheit fungiert beim Dynamot als Generator, z. B. indem an ihr gekurbelt wird. In bis zu drei Metern Entfernung steht die zweite Einheit, die als Motor fungiert und z. B. ein Gewicht anheben kann. Entweder sind beide Einheiten durch einen Riemenantrieb miteinander verbunden, was modellhaft für den Riemenantrieb der Garnfabrik steht. In dem Fall müssen die Riemenscheiben an Generator und Motor fluchten. Oder die Einheiten sind durch Kabel miteinander verbunden, sodass sie beliebig zueinander platziert werden können. Dies stellt die Flexibilisierung des elektrischen gegenüber dem mechanischen Antrieb in der Fabrik nach. Ziel für die Schüler:innen war es, die Vorzüge und Nachteile der Antriebe selbst zu erproben und dies auf die in der Führung kennengernten Herausforderungen für den maschinellen Antrieb zu beziehen. Die Positionen von Generator und Motor wurden z. B. durch Pappkartons als Generator- den Maschinenhalle kenntlich gemacht, um das Herstellen von Analogiebeziehungen zu erleichtern.

Station Windenergie. Ausgehend von Experimentierkoffern zur Energiewandlung (Phywe) wurde hier eine alternative Form der Energieproduktion untersucht. In einer fiktiven Kontextualisierung gingen die Schüler:innen der Frage nach, inwiefern die Fabrik sich selbst mit Windenergie versorgen könnte, indem dort ein oder mehrere Windräder aufgestellt werden. Die Schüler:innen untersuchten mit Modellwindrädern, wie Windstärke, -richtung und -winkel die Energieausbeute beeinflussen. Und sie erkundeten die Versorgungssicherheit für den Fall, dass die Energieversorgung der Fabrik autark wäre. Welche Rolle dabei Kondensatoren für die zwischenzeitliche Energiespeicherung spielen können, untersuchten sie ebenfalls experimentell. Hierbei sollten sie einen Bezug zur historische Situation herstellen, in der sich die Fabrik lange Zeit selbst mit Antriebenergie (über Dampf) versorgte.

Station Dampfmaschine. Die Station griff das für die Nordwolle überall im Museum und auch während der Führung allgegenwärtige Thema des Dampfantriebs auf. Ziel für die Schüler:innen war es nachzuvollziehen, wie erhitztes Wasser zu einer Drehbewegung führen kann, die dann als mechanischer Antrieb genutzt wird; dies teilwiese über den Umweg eines Generators, der mechanische Energie in elektrische umwandelt und sie dann den Elektromotoren bereitstellt. An der Station erhitzten die Schüler:innen Wasser in einer an einem Faden aufgehängten Metalldose. Die Dose hatte seitlich Öffnungen, durch die entstehender Dampf mit einer tangentialen Komponente entweichen konnte und so eine Drehbewegung der Dose hervorrief. Die Schüler:innen konnten den Aufbau variieren. Daneben standen Dampfmaschinenmodelle zur Verfügung. Zudem sollten die Schüler:innen mittels bebilderter Begriffskarten den zyklischen thermodynamischen Prozess einer Dampfmaschine nachvollziehen.

Station Wasserstoff. Wie die Energieproduktion auf alternativem Weg erreicht werden kann, wurde auch an einer Station mit einem Wasserstoffauto aufgegriffen. Dieses umfasste als zentrale Einheit eine Brennstoffzelle, die gleichzeitig als Elektrolyseur fungieren konnte. Die Brennstoffzelle saß auf einem Chassis und bildete zusammen mit einem Elektromotor ein Fahrzeug. Die Schüler:innen konnten erproben, wie sich mit Hilfe von Solarzellen und dem Elektrolyseur Wasser dissoziieren, Wasserstoff speichern und später wiederum kontrolliert elektrische Energie zum Antrieb erzeugen lässt. Energieumwandlungsketten und die Nutzung von H_2 in der Industrie wurden angesprochen und von den Schüler:innen erarbeitet.

Die Station wurde im Rahmen von vier Lehramtsstudierenden der Physik (Baudisch & Hollwedel, 2024; Ranters, 2024; Sibahi, 2024) konzipiert. Experimentell nicht thematisiert (außer bei der Windstation) wurden weitere mögliche Anknüpfungspunkte zwischen Fabrik und Physik wie etwa die Herstellung von Garnen und Zwirn und die Rolle, die dabei mechanische Reibung für die Festigkeit von Garnen spielt. Hier sind Entwicklungen möglich.

Setting und Begleitforschung
Vier 8. Klassen der Integrierten Gesamtschule (insg. 105 Schüler:innen) nutzten das Angebot. Die Klassen wurden jeweils halbiert; die eine Hälfe nahm zuerst an der Führung teil und experimentierte danach; und umgekehrt. Es gab zwei Experimentiertage; dazwischen wurden die Stationen überarbeitet; insbesondere wurden mehr Freiheiten für die Schüler:innen eingeplant und es wurden Problemlöseaufgaben integriert. Führung und Experimentierteil dauerten jeweils 90 min. Die folgenden Daten wurden erhoben: Beobachtungsdaten mittels eines zuvor definierten Beobachtungsrasters; teilstrukturierte Gruppeninterviews mit den Halbklassen am Ende beider Aktionsteile; und Follow-up-Klassengespräche in der Schule14 Tage nach dem Museumsbesuch zur Rekapitulation des Erlebten.

Ergebnisse
Affektive Ebene: Grundsätzlich hatte das Angebot durch die komplementäre Vernetzung der Führung und der physikalischen Experimente ein hohes Motivationspotenzial. Da nach Angabe der Schüler:innen in der Schule weniger als gewünscht experimentiert wird, war es für sie anregend, mal ‚selbst was tun zu dürfen'. Auch wirkte die Museumumgebung grundsätzlich anregend, wenngleich alle Schüler:innen das Museum bereits kannten. Motivational problematisch war, dass die Führung generell nicht optimal auf 8-Klässler abgestimmt war, sondern für ein gemischtes Erwachsenenpublikum konzipiert war. Sie enthielten zu wenige explizite Anker, die an den Experimentierstationen aufgegriffen werden konnten. Motivational erschwerend waren bei einigen SuS sprachliche Barrieren, weshalb sie die Komplexität des Angebots kaum erfassen konnten. Als demotivierend wurde benannt, dass die Garnherstellung nicht aufgegriffen wurde. Insbesondere im Follow up wurde aber insgesamt deutlich, dass die Schüler:innen den angereicherten Museumsbesuch als eine ‚tolle Sache' wahrnahmen.
Kognitive Ebene: Mit den Gruppeninterviews wurde untersucht, inwiefern die Schüler:innen Zusammenhänge zwischen den Experimentierstationen sowie zischen Führung und Stationen wahrnehmen konnten. Bei den Stationen ‚Dampfmaschine' und ‚Dynamot/Antriebe' stellten die SuS einen engen Bezug zur Führung her. Die Stationen zu alternativen Energien wie Wind und Wasserstoff wiesen jedoch zu weit über die im Museum dargebotene Historie hinaus; die Schüler:innen konnten hier kaum Anknüpfungen herstellen. Durch die zwischenzeitliche Überarbeitungen der Stationen stellten die Schüler:innen mehr und explizitere Verknüpfungen zwischen den Angebotsteilen her. Fachliches Lernen wurde schwerpunktmäßig nicht erhoben, dennoch teilweise festgestellt. Die Museumsführung wurde von den Schüler:innen größtenteils als losgelöst oder sogar unnötig für die Stationen eingeschätzt.
Ebene Weiterentwicklung. Didaktische Überarbeitungen wurden bereits zwischen den beiden Erprobungen durchgeführt. Ein Bedarf besteht weiterhin darin, die Führung stärker auf die Themen Energieproduktion, Antriebe, aber auch auf physikalische Aspekte der Woll- und Garnverarbeitung auszurichten und die Stationen Windenergie und Wasserstoff besser zu kontextualisieren oder sie durch andere Stationen zu ersetzen.

Fazit
Die Kombination zweier non-formaler MINT-Angebote weist zunächst hohes Motivationspotenzial auf. Herausfordernd ist die Abstimmung beider Angebote, um einen echte Komplementarität statt einer wahrgenommenen Addition zu erreichen. Eine weitere Optimierung des Angebots und eine Übernahme der Experimentierangebote durch das Museum sind die nächsten Ziele. Des Weiteren soll eine unterrichtliche Einbettung des Museumsbesuchs vorgenommen werden; und empirisch soll der fachliche Lernzuwachs erhoben werden.

Literatur

Baudisch, A. & Hollwedel, B. (2024). *Untersuchung mechanischer und elektrischer Energieüber-tragung und die Erschließung von Windenergie für die industriellen Nutzung.* Bachelorarbeit. Universität Oldenburg.

Bliesmer, K. & Komorek, M. (2024). Bedeutung des non-formalen Lernens für die MINT-Bildung. Interviewstudien mit Stakeholdern und Familien. In M. Hemmer u. a. (Hrsg.). Fachdidaktik im Zentrum von Forschungstransfer und Transferforschung. Beiträge zur GFD-ÖGFD-Tagung in Wien 2022. *Reihe Fachdidaktische Forschungen, Band 16.* (S. 253-266). Waxmann.

Lewalter, D. & Greyer, C. (2009). Motivationale Aspekte von schulischen Besuchen in naturwissen-schaftlich-technischen Museen. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft 12*, 28-44.

Ranters, L. (2024). *Wasserstoff als Energieträger für den Antrieb von Fahrzeugen und Maschinen – Ein Bildungsprojekt für Schulen im Industriemuseum Nordwolle in Delmenhorst.* Bachelorarbeit. Universität Oldenburg

Sajons, C. (2020). *Kognitive und motivationale Dynamik in Schülerlaboren. Kontextualisierung, Problemorientierung und Autonomieunterstützung der didaktischen Struktur analysieren und weiterentwickeln.* Logos.

Sibahi, M. (2024). *Kontextualisierung der Dampfmaschine als Energiewandler in der Industrie.* Bachelorarbeit. Universität Oldenburg.

Tischer, J., Sajons, C. & Komorek, M. (2023). Komplementär vernetzte formale und non-formale MINT-Bildung. In H. van Vorst (Hrsg.). *Lernen, Lehren und Forschen in einer digital geprägten Welt. GDCP Jahrestagung 2022*. (S. 306-309). GDCP.

Vanderbilt, Cognition and Technology group (1990). Anchored Instruction and Its Relationship to Situated Cognition. *Educational Researcher, 19 (6)*, 2-10.

Thomas Benedikt Steinmetz[1,2]
Alexander Glössl[1,2]
Thomas Klinger[1]
Christian Kreiter[1]
Ingrid Krumphals[2]

[1]Fachhochschule Kärnten
[2]Pädagogische Hochschule Steiermark

Entwicklung und Einsatz von Remote-Laboren: Das Projekt OnLabEdu

Einleitung

Im Projekt OnLabEdu (Online-Labore für naturwissenschaftliche Aus- und Weiterbildung) (Kreiter et al. 2023) werden Remote-Labore, also reale Experimentieraufbauten, welche einen fixen Standort haben, aber von überall gesteuert werden können, zu verschiedensten Themen entwickelt. Hierbei handelt es sich um ein Kooperationsprojekt der Fachhochschule Kärnten und der Pädagogischen Hochschule Steiermark (FFG-Förderschiene: Innovationslabore für Bildung, Innovationsstiftung für Bildung). Ziel des Projektes ist, breit im Bildungsbereich einsetzbare Remote-Labore zu entwickeln und erproben.

Das Augenlabor

Der Sehprozess ist ein komplexer Vorgang, mit dem sich Lebewesen in der Welt und Natur orientieren. Für den Mensch ist diese Art der Orientierung besonders essenziell für jede fast jede Art von Aktivität. Die physikalischen Phänomene, welche sich im Bereich zwischen dem Objekt in der Realität und der Abbildung jenes Objekts auf der Netzhaut abspielen, sind von großem Interesse für die Lehre im Bildungsbereich. Reale Vorgänge, optische Täuschungen, Beleuchtung von besonderen Objekten in Museen oder sonstige multimediale Anwendungen, wo der Sehprozess die tragende Rolle spielt, sind unweigerlicher Bestandteil des Lebens von Schüler:innen. Optik und damit auch der Sehprozess wurden nun in Österreich im neuen Lehrplan in der 6. Schulstufe eingegliedert. Fokus dabei ist u.a. der phänomenologische Teil des Sehprozesses. Um die Aspekte des menschlichen Sehprozesses gut nachvollziehbar darstellen zu können, bedarf es geeigneter Modelle und Experimente. So wurde ein Remote Labor – das Augenlabor – mit dem Fokus auf den menschlichen Seeprozess entwickelt (Klinger et al., 2024) (siehe Abb. 1). Dieses Experiment im Unterricht selbst aufzubauen ist mit großem Zeitaufwand verbunden, außerdem fehlen häufig auch die monetären Ressourcen an den Schulen, für das benötigte Equipment. Hier kann der Einsatz eines Remote-Labors von großem Vorteil sein.

Öffnet man das Remote-Labor, so sieht man den Aufbau einer Optischen Bank mit verschiedenen Bauteilen, welche den Sehprozess darstellen. Grundsätzlich unterscheidet sich der Aufbau zum klassischen Aufbau in der Schule durch ein Augenmodell, welches unterschiedlichste Funktionen umfasst (Klinger et al., 2024). Grundlegende Funktionen im Labor umfassen die Abstandsveränderung von der Linse zur Netzhaut und zum Objekt, Lichtintensitätsveränderungen mittels Irisblende, Objekteinstellungen auf einem Display sowie ein Korrekturlinsenrad.

Entwicklung von Lernumgebungen zum Augenlabor

Um die Nutzung des Remote-Labors für Lehrende einfacher zu gestalten, werden im Rahmen des Projekts auch empirisch gestützte Unterrichtsmaterialien entwickelt (Krumphals et al., 2024). Unterstützende Lehr- und Lernmaterialien sind von großer Bedeutung, um eine

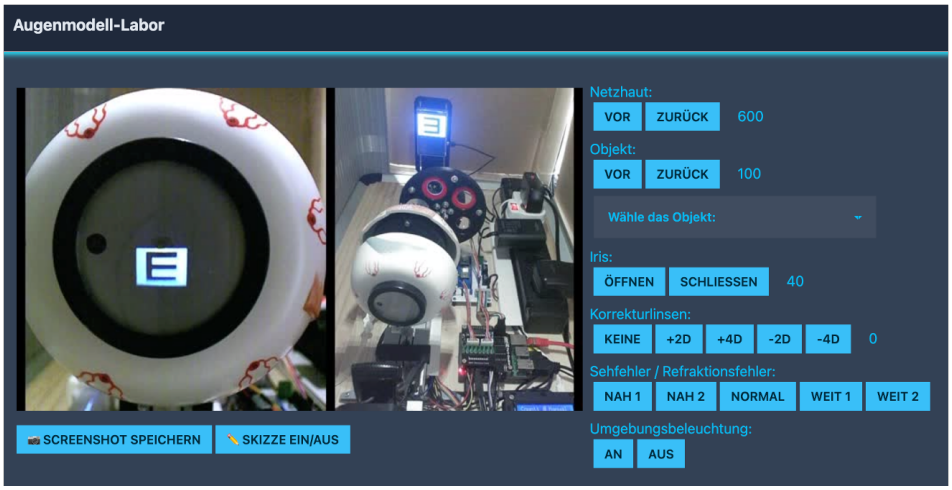


Abb. 1 Interface des Augenlabors

fachlich und fachdidaktisch fundierte Implementierung in den Unterricht zu unterstützen. Grandlage dafür bieten der Design-Based Research Ansatz (Barab & Squire, 2004; Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2020) und das Modell der didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al., 1997). Grundlegende Design-Kriterien und Lernziele, die mit dem Augenlabor verfolgt werden können, wurden vorab theoriegeleitet festgelegt (siehe Krumphals et al., 2024). Das in diesem Beitrag vorgestellte Lernarrangement verfolgt das Ziel, Lernenden einen anschaulichen Eindruck in den menschlichen Sehprozess zu geben und dabei Grundkonzepte des Sehprozesses zu verstehen. Konkret wurde dafür ein Lernarrangement zum menschlichen Sehprozess mit Gamification-Elementen (Kapp, 2012) erstellt. Konkret handelt es sich bei dem Lernarrangement um eine Art „Escape Spiel“, wo die Lernenden unterschiedliche Rätsel lösen und dafür Belohnungen erhalten und in der Geschichte weiter vorankommen (für Details siehe Krumphals et al, in Druck). Grundsätzlich hat das Lernarrangement auch das Ziel die Immersion der Lernenden durch die Gamification-Elemente (Kapp, 2012) zu steigern und über die bereitgestellten Hilfen selbstständiges Arbeiten zu ermöglichen.
Um den Umgang mit dem Labor zu erleichtern, wurde zum Einstieg in das Lernarrangement ein Video erstellt, welches die Funktionen des Remote-Labors erklärt. Zusätzlich gibt es eine Schaltfläche, womit sich eine Skizze des Experiments einblenden lässt, um die einzelnen Elemente des Remote-Labors auch in einer anderen bzw. vereinfachten Repräsentation zur Verfügung zu stellen. Ein Kern der Aufgabenstellungen, war die Erkennung der Unterschiede des Objekts und der Abbildung auf der Netzhaut (die Darstellung des Objekts im linken und rechten Bild in Abb. 1). So wurde u.a. der Sachverhalt, dass Objekte in der Realität auf der Netzhaut um 180° gedreht dargestellt werden in eine Geschichte eingebettet und die Lernenden werden aufgefordert, ihre Lösungen mittels des Remote-Labors zu überprüfen.

Erste Erprobung des Lernarrangements

Die Erprobung des Lernarrangements erfolgte in einem ersten Schritt mit sechs Lehramtsstudierenden im Master mittels Akzeptanzbefragungen (Jung, 1992; Wiener et al., 2018) und weiteren Interviewelementen, um auch zusätzlich erste Hinweise bzgl. weiterer Elemente bzw. der Einschätzung der Passung für die 6. Schulstufe von angehenden

Lehrkräften zu erhalten. In den Akzeptanzbefragungen wird vorrangig darauf geachtet, dass etwaige Lernbarrieren im Umgang mit dem Labor und der Aufgabe identifiziert werden können. Die Stichprobe für diese erste Befragung setzt sich aus jeweils drei Studierenden mit Physik als Unterrichtsfach und drei fachfremden Studierenden zusammen. In diesem ersten Erprobungszyklus liegt der Fokus darauf, wie intuitiv der Umgang mit dem Labor und der Lernumgebung ist. Dahingehend soll auch die Wirksamkeit des bereitgestellten Videos untersucht werden. Ziel des gesamten Lernarrangements ist es, die in der Geschichte vorkommenden Rätsel mit Hilfe des Augenlabors zu lösen und damit den gewünschten Lernerfolg zu erlangen. Wobei der Fokus auf der Drehung des auf der Netzhaut abgebildeten Bildes um 180° liegt, im Vergleich zum Objekt.

Ausgewählte Ergebnisse

Allgemein wurde aber bei allen Testpersonen (die jedoch auf Studierendenniveau waren) der gewünschte Lernerfolg erzielt und am Ende konnten alle die Drehung der Abbildung auf der Netzhaut um 180° in eigenen Worten beschreiben. Ob dies auch für Schüler:innen der 6. Schulstufe gilt, wird in einem nächsten Schritt untersucht. Außerdem konnte festgestellt werden, dass die identifizierten inhaltlichen Lernbarrieren nicht davon abhängig waren, ob die Testperson Physik als Unterrichtsfach studiert oder nicht. So ist davon auszugehen, dass diese Barrieren auch für Schüler:innen der 6. Schulstufe vorhanden sind. Außerdem wurde von den Proband:innen rückgemeldet, dass die Aufgaben hinsichtlich des Einsatzes in der 6. Schulstufe ein eher hohes Niveau aufzuweisen scheinen und entsprechende Scaffolding-Elemente zur Unterstützung ergänzt werden müssen.

Das vorangestellte Video zu den Funktionen des Labors schien positive Auswirkungen auf den Umgang mit dem Labor zu haben, da die Proband:innen leicht mit den Funktionen des Remote-Labs zurechtkamen. Dennoch wurde angemerkt das Video in kleinere Teile zu unterteilen und entsprechend bei den Aufgaben als Hilfestellung anzubieten. Das Interface des Augenlabors scheint allgemein sehr intuitiv und ist für das Lernarrangement geeignet. Dies ist u.a. an dem sehr selbstständigen Arbeitsverhalten der Proband:innen zu erkennen, da kaum Unterstützung hinsichtlich der Handhabung des Labors benötigt wurde. Unterstützung wurde hauptsächlich eingefordert, wenn Unklarheiten bei den Aufgabenstellungen auftraten.

Ein weiterer Punkt, welcher sich in den Befragungen zeigte bzw. angemerkt wurde war, dass Lernende der 6. Schulstufe vermutlich noch wenig mit Modellen und ihren Eigenschaften in Berührung gekommen sind. Das könnte sich als lernhinderlicher Faktor herauskristallisieren und wird in der Überarbeitung der Materialien mitbedacht. Die Gamification-Elemente wurden von den Proband:innen als positiv angemerkt und die Begeisterung wurde explizit angesprochen.

Ausblick

In einem nächsten Schritt wird die Lernumgebung hinsichtlich der Ergänzung von Scaffolding-Elementen sowohl auf sprachlichem Niveau als auch auf inhaltlichem Niveau überarbeitet. U.a. wird auch das Einführungsvideo kleinteiliger in die Lernumgebung eingebaut, um an den entsprechenden Stellen Unterstützung zu bieten. Die weiteren (fachdidaktischen) Hinweise zum Einsatz im Unterricht, die aus der bereits vorliegenden Expertise von den angehenden Lehrkräften genannt wurden, werden in der Überarbeitung berücksichtigt. Anschließend wird die Lernumgebung mit Schüler:innen der 6. Schulstufe erprobt.

Literatur

Barab, S. & Squire, K. (2004). Design-Based Research: Putting a Stake in the Ground. Journal of the Learning Sciences, 13(1), 1–14. https://doi.org/10.1207/s15327809jls1301_1

Haagen-Schützenhöfer, C. & Hopf, M. (2020). Design-based research as a model for systematic curriculum development: The example of a curriculum for introductory optics. Physical Review Physics Education Research, 16(2). https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.020152

Jung, W. (1992). Probing acceptance, a technique for investigation learning difficulties. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Hrsg.), Research in Physics Learning - Theoretical Issues and Empirical Studies, Proceedings of an International Workshop held at the University of Bremen (S. 278–295). IPN.

Kapp, K. M. (2012). The gamification of learning and instruction: game-based methods and strategies for training and education. John Wiley & Sons.

Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der didaktischen Rekonstruktion: Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 3(3), 3–18.

Klinger, T., Kreiter, C., Klinger, J., Steinmetz, T. B. & Krumphals, I. (2024). A Remote Lab for School Students that Explores the Function of the Human Eye. In M. E. Auer, U. R. Cukierman, E. Vendrell Vidal & E. Tovar Caro (Hrsg.), Lecture Notes in Networks and Systems: Bd. 899, Towards a Hybrid, Flexible and Socially Engaged Higher Education: Proceedings of the 26th International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL2023), Volume 1 (1st ed. 2024, S. 231–238). Springer Nature Switzerland; Imprint Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-51979-6_24

Kreiter, C., Krumphals, I., Klinger, T., Steinmetz, T., & Perera, M. R. T. (2023). The OnLabEdu Project — Preliminary Results and Outlook. 2023 6th Experiment@ International Conference (exp.at'23), Évora, Portugal. 207–211. doi: 10.1109/exp.at2358782.2023.10545779 Wiener, G. J., Schmeling, S. M. & Hopf, M. (2018). The technique of probing acceptance as a tool for teachers' professional development: A PCK study. Journal of Research in Science Teaching, 55(6), 849–875. https://doi.org/10.1002/tea.21442

Krumphals, I., Steinmetz, T. B., Glössl, A., Kreiter, C., Klinger, T. (in Druck). Enhancing Science Education through Remote Laboratories: Concrete Tasks and Applications. In M.E. Auer, D. May (Hrsg.), 2024 Yearbook Emerging Technologies in Learning. Springer. n.n.

Krumphals, I., Steinmetz, T. B., Kreiter, C., Klinger, J. & Klinger, T. (2024). The Development of a Learning Arrangement in a Human Eye Remote Laboratory. In IEEE EDUCON 2024 conference proceedings: IEEE EDUCON 2024 - IEEE Global Engineering Education Conference: Kos, Greece, May 8-11, 2024, Kos International Convention Centre (S. 1–6). IEEE. https://doi.org/10.1109/EDUCON60312.2024.10578591

Wiener, G. J., Schmeling, S. M. & Hopf, M. (2018). The technique of probing acceptance as a tool for teachers' professional development: A PCK study. Journal of Research in Science Teaching, 55(6), 849–875. https://doi.org/10.1002/tea.21442

Maria Hinkelmann[1]
Heidrun Heinke[1]

[1]RWTH Aachen University

Zwei Blickwinkel auf außerunterrichtliche MINT-Interessenförderung

Das Projekt Labs on Tour

Das Projekt Labs on Tour zielt auf eine MINT-Interessenförderung, indem es Schülerlaborangebote an die Schulen bringt. Dazu werden halbjährige MINT-Arbeitsgemeinschaften (AGs) eingerichtet, die nachmittags an den Schulen stattfinden. Jede AG umfasst drei verschiedene, je vierwöchige Kurse, die in 90-minütigen Einheiten nacheinander durchgeführt werden. Die Kurse stammen aus verschiedenen Schülerlaboren und werden von studentischen Hilfskräften betreut. Die Schulen koordinieren lediglich die Anmeldungen der Schüler:innen und stellen die Räume sowie eine Aufsichtsperson. Der Fokus der Kurse liegt nicht auf der Vermittlung fachlicher Inhalte, sondern darauf, Hemmschwellen abzubauen und den Schüler:innen einen niederschwelligen Einblick in verschiedene MINT-Bereiche und -Themen zu ermöglichen (vgl. Hinkelmann et al., 2023; Hinkelmann et al., 2024).
Die Resonanz auf dieses Konzept ist sehr positiv – sowohl von den Schulen, Schülerlaboren und Hilfskräften als auch von den Schüler:innen selbst. Bereits 1,5 Jahre nach Projektbeginn nehmen 12 Schulen (6 pro Halbjahr) teil, und es wurden mehrere Schulrekorde bei den Anmeldungen für AGs aufgestellt. Eine begleitende Dissertation untersucht Gelingensbedingungen für außercurriculare Angebote zur Förderung des Interesses an MINT-Themen aus verschiedenen Perspektiven.

Rahmenbedingungen der Erhebungen

In Datenerhebungen wurden die Perspektiven von Schüler:innen und Lehrkräften auf außercurriculare Angebote zur MINT-Interessenförderung beleuchtet. Schüler:innen der AGs füllten vor und nach den AGs vorwiegend offene Fragebögen aus. Der Pre-Fragebogen (N = 47) erfragte die Gründe für die Anmeldung, wie die Teilnehmer:innen von der AG erfahren hatten, welche Erwartungen sie haben, welche Themen und Tätigkeiten im MINT-Bereich sie besonders interessieren und wie hoch sie ihr Interesse an MINT-Themen einschätzen.
Der Post-Fragebogen (N = 34) klärte auf, ob die Erwartungen erfüllt wurden, und enthielt zudem eine Frage nach Verbesserungsvorschlägen. In geschlossenen Fragen sollten die Schüler:innen außerdem beantworten, ob sie die MINT-AG ihren Mitschüler:innen weiterempfehlen würden und nach der AG erneut angeben, wie sie ihr eigenes MINT-Interesse einschätzen.
Zusätzlich wurde im Rahmen einer Fortbildung von 40 Physiklehrkräften und -referendar:innen ein Fragebogen ausgefüllt. Es wurde erfragt, worauf man achten muss, um Jugendliche in der Mittelstufe mit außerschulischen MINT-Angeboten zu erreichen und zu begeistern, welche Themen besonders geeignet sind, um das Interesse von Jugendlichen an MINT zu fördern, und wie Kurse aus vier wöchentlichen Terminen à 90 Minuten gestaltet sein sollten.

Ergebnisse der Datenerhebungen und Erkenntnisse zu interesseförderlichen Themen und Tätigkeiten

Zur Beantwortung der Frage nach Gelingensbedingungen außercurricularer Angebote zur MINT-Interessenförderung wurden alle drei Fragebögen ausgewertet. Die Ergebnisse sind in

Abb. 1: Antworten der Schüler:innen im Pre-Test zu außercurricularen Angeboten zur MINT-Interessenförderung. Die Größe der Kreise ist ein Maß für die relative Häufigkeit der Nennung der Antwortkategorien. Quelle: Eigene Abbildung

Bubble-Diagrammen dargestellt, deren Blasengröße der relativen Häufigkeit der Nennungen entspricht. Wichtige Erkenntnisse aus dem Pre-Fragebogen der Schüler:innen zeigt Abb. 1. Sowohl die Antworten zur Anmeldemotivation (siehe Abb. 1) als auch die Einschätzung des persönlichen MINT-Interesses ($\bar{x} = 5{,}0 \pm 1{,}0$, Skala von 1 (sehr niedrig) bis 6 (sehr hoch)) zeigen, dass es sich bei den Teilnehmer:innen um bereits sehr MINT-interessierte Schüler:innen handelt. Diese möchten gerne Neues lernen, interessante Inhalte entdecken sowie Experimente und Projekte durchführen. Häufig wird auch erwähnt, dass sie sich von der AG erhoffen, dass sie „Spaß“ machen wird. Auffällig ist der große Einfluss der Lehrkraft, die mit Abstand der wichtigste Faktor bei der Bewerbung der AG ist.
Die Aussagen der Lehrkräfte zu Gelingensbedingungen sind im Bubble-Diagramm in Abb. 2 dargestellt. Demnach betonen die Lehrkräfte besonders die Bedeutung eines starken Lebensweltbezugs der Inhalte. Zudem sollten die Angebote abwechslungsreich gestaltet sein und den Schüler:innen ermöglichen, eigenständig und praktisch zu arbeiten. Der Einsatz von Experimenten wird von den Physiklehrkräften ebenfalls positiv hervorgehoben.
Im Post-Fragebogen wurden die Erwartungen der Schüler:innen größtenteils erfüllt. Es wurden nur wenige Verbesserungsvorschläge genannt und das Projekt wurde als interessant, spannend und abwechslungsreich beschrieben. Zudem gaben die Schüler:innen an, viel gelernt zu haben und hoben die Atmosphäre sowie die Freundlichkeit der beteiligten Personen hervor.

Abb. 2: Antworten der Lehrkräfte zu Gelingensbedingungen außercurricularer Angebote zur MINT-Interessenförderung. Die Größe der Kreise ist ein Maß für die relative Häufigkeit der Nennung der Antwortkategorien. Quelle: Eigene Abbildung

Die Schüler:innen und die Lehrkräfte wurden zu Themen befragt, die das Interesse am MINT-Bereich fördern. Die Schüler:innen nannten überwiegend Unterrichtsfächer, Lehrkräfte dagegen vermehrt Themengebiete in ihrem Unterrichtsfach Physik. Lehrkräfte erachten Umwelt- und Nachhaltigkeitsthemen als besonders interessefördernd und heben erneut die Bedeutung

von Alltagsbezügen hervor. Diese Themen wurden von den Schüler:innen jedoch kaum genannt. Sie äußerten stattdessen größeres Interesse an Informatik, Physik und Mathematik.

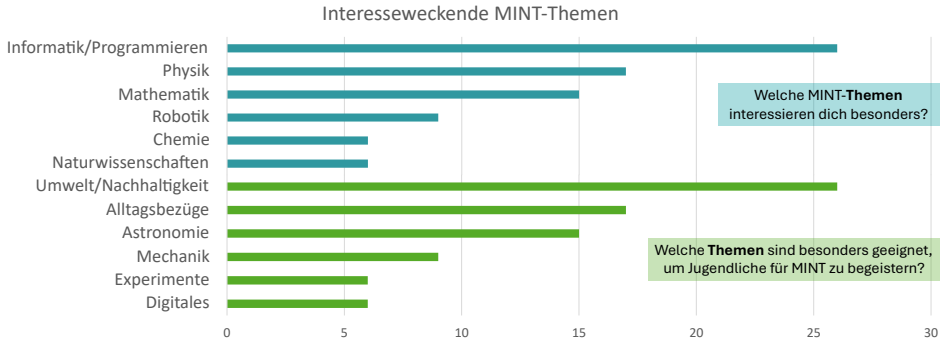


Abb. 3: Antworten der Schüler:innen (blau, N=47) und Lehrkräfte (grün, N=40) zu interesseweckenden MINT-Themen. Quelle: Eigene Abbildung

Die Schüler:innen wurden außerdem nach beliebten Tätigkeiten im MINT-Bereich gefragt. Es fiel auf, dass die Schüler:innen Schwierigkeiten hatten, diese konkret zu benennen. Häufig wurden keine Antworten oder die gleichen Antworten wie bei der Frage nach interesseförderlichen Themen gegeben. Deshalb wird der Fragebogen überarbeitet, sodass die Schüler:innen in geschlossenen Items, basierend auf etablierten Fragebögen (vgl. Hoffmann et al., 1998; Herbst et al., 2016), ihr Interesse an vorgegebenen Tätigkeiten auf einer Likert-Skala bewerten können.

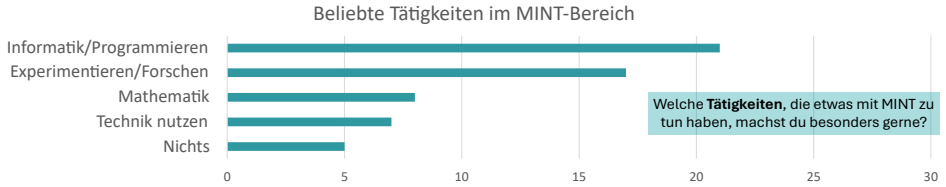


Abb. 4: Antworten der Schüler:innen (N=47) zu beliebten MINT-Tätigkeiten. Quelle: Eigene Abbildung

Fazit

Das Projekt "Labs on Tour" zielt auf die Förderung des MINT-Interesses durch außerschulische Angebote. Sowohl Schüler:innen als auch Lehrkräfte bewerten die AGs positiv, wobei von den Lehrkräften insbesondere ein Lebensweltbezug, Abwechslung und praktische Tätigkeiten als entscheidende Gelingensbedingungen hervorgehoben werden. Während die Lehrkräfte Umwelt- und Nachhaltigkeitsthemen als besonders interessefördernd bewerten, zeigen die Schüler:innen in offenen Antworten verstärkt Interesse an Fächern wie Informatik, Physik und Mathematik. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass der Einfluss der Lehrkraft eine entscheidende Rolle bei der Teilnahme an den AGs spielt. Künftige Anpassungen der Fragebögen sollen helfen, die Interessen der Schüler:innen präziser zu erfassen und weiterführende Erkenntnisse zu gewinnen.

Literatur

Herbst, M., Fürtbauer, E. M., & Strahl, A. (2016). Interesse an Physik - in Salzburg. In PhyDid B - Didaktik Der Physik - Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung. Abgerufen von https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phy-did-b/article/view/682 [26.09.2024]

Hinkelmann, M., Heinke, H., & Winkens, T. (2023). Labs on Tour: MINT-Angebote im Nachmittags- und Freizeitbereich. In PhyDid B - Didaktik Der Physik - Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung. Abgerufen von https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1394 [26.09.2024]

Hinkelmann, M. & Heinke, H. (2024). Labs on Tour – ein Konzept zur MINT-Interessenförderung. In H. van Vorst [Hrsg.], Frühe naturwissenschaftliche Bildung. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Hamburg 2023. Duisburg-Essen: Universität 2024, 670 - 673

Hoffmann, L., Häußler, P. & Lehrke, M. (1998): Die IPN-Interessensstudie Physik. Kiel.

Nicolas Wunn[1]
Daniela Becker[1]
Gabriele Hornung[1]
Johann-Nikolaus Seibert[1]

[1]RPTU Kaiserslautern-Landau

Pool-scAN: schülerorientierte chemische Analysen zum Nachweis von Wasserinhaltsstoffen im Kontext „die Chemie des Pools“

Selbstreguliertes und forschendes Lernen sind bereits intensiv untersuchte Konstrukte in der (chemie)didaktischen Forschung (Heck & Heudörfer, 2018; Brebeck, 2014; Ziegler, 2020; Seibert, 2021; Zimmermann, 2000). Häufig werden beide Aspekte separat und nicht zusammenhängend untersucht und damit das Zusammenspiel Beider nicht gewinnbringend zur Förderung von Schüler:innen sowie Studierenden eingesetzt. Auch im Kontext der Bildung nachhaltiger Entwicklung (BNE) können das forschende sowie das selbstregulierte Lernen zentrale Schlüsselkompetenzen für ein nachhaltiges Lernen im Fach Chemie liefern (Liska et al., 2023). In dieser Arbeit wird daher ein offenes experimentell-forschendes Lernsetting für Schüler:innen und Lehramtsstudierende zur Förderung des selbstregulierten und forschenden Lernens zur "Chemie des Pools“ entwickelt.

Synergie zwischen forschendem und selbstreguliertem Lernen

Forschendes und selbstreguliertes Lernen sind einander sehr ähnliche Konstrukte, welche auf einer hohen Schüler:innenaktivität basieren und auf ein schülerorientiertes und selbstgeleitetes Lernen abzielen. In der Literatur werden bereits Zusammenhänge beider Konstrukte angerissen, jedoch wenig bis gar nicht ausgeführt (Preiß & Lübcke, 2020).

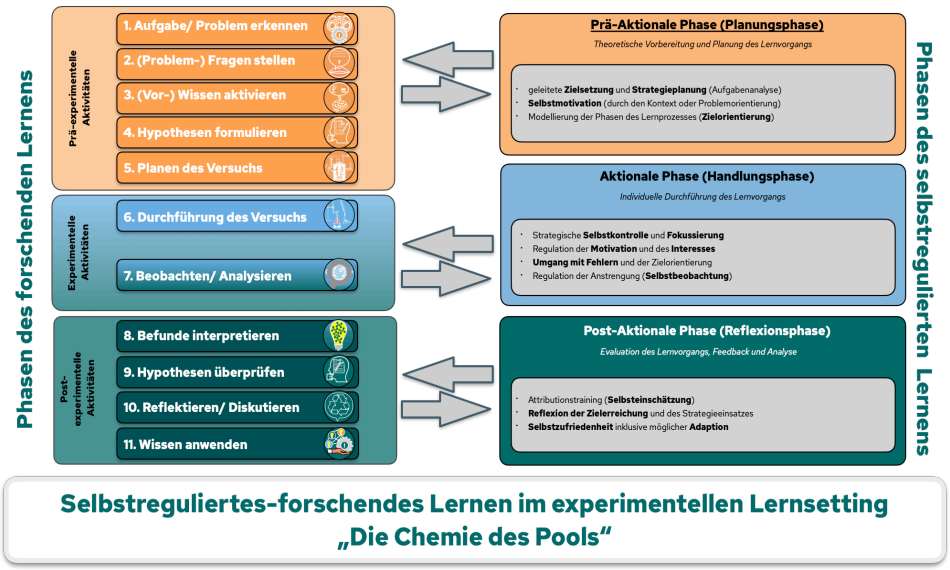


Abb. 1 Synergie zwischen forschendem und selbstreguliertem Lernen

Die in der Literatur aufgeführten Zusammenhänge verweisen darauf, dass die Selbstregulation und Kompetenzen des selbstregulierten Lernens eine Voraussetzung beziehungsweise Teilmenge von forschendem Lernen sind (Böttcher-Oschmann, Ophoff & Thiel, 2019; Preiß & Lübcke, 2020). Bei Vergleich der Phasenmodelle von forschendem Lernen (Ziegler, 2022) mit denen selbstregulierten Lernens (Schmitz & Schmidt, 2007; Boekaerts, 1999; Landmann & Schmitz, 2007) lassen sich die Zusammenhänge der Konstrukte verdeutlichen. Zur Visualisierung der Synergie zwischen forschendem und selbstreguliertem Lernen ist in Abbildung 1 das entwickelte Phasenmodell des forschenden Lernens den Phasen des selbstregulierten Lernens (Landmann & Schmitz, 2007) gegenübergestellt. Die implizite und explizite Förderung des selbstregulierte Lernens im Chemieunterricht kann gezielt dazu eingesetzt werden, um Schüler:innen beim forschenden Lernen zu unterstützen (Seibert et al., 2020; Seibert et al., 2021). Um die beste Passung sowie die Vorteile beider Konstrukte optimal in einem Lernsetting integrieren zu können, muss ein integratives Prozessmodell zum selbstregulierten forschenden Lernen konstruiert und damit auf die Bedarfe des Fachs Chemie angepasst werden.

Forschungszyklus im Experimentalsetting „Die Chemie des Pools“

Der Forschungszyklus (vgl. Abb. 2) basiert auf dem entwickelten Phasenmodell, der Methodenhilfe zur Förderung des forschenden Lernens von Eichinger und Kollegen (Eichinger et al., 2023) sowie dem Konstrukt des RMRK-W-Modells (Böttcher-Oschmann & Thiel, 2014) respektive der Forschungskompetenz, welche als Indikator für erfolgreiches forschendes Lernen herangezogen werden kann (Böttcher-Oschmann & Thiel, 2018; Thiem & Gess, 2020).

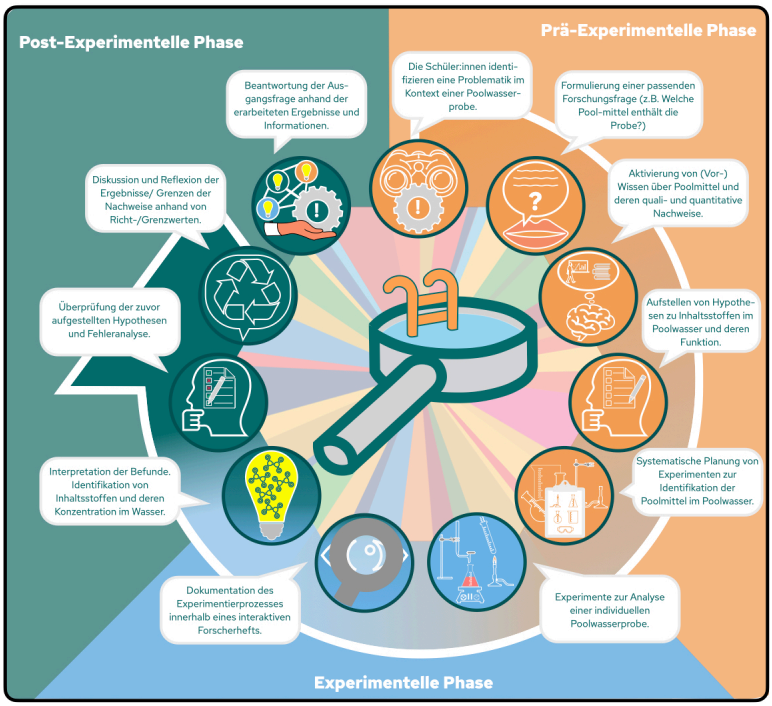


Abb. 2 Forschungszyklus zum Experimentalsetting „Die Chemie des Pools“

„Die Chemie des Pools“ - Ein authentisches forschendes Setting zum selbstregulierten Lernen

Konvenierend zu dem aufgeführten Forschungszyklus wird ein Schülerlabor zum Thema „Die Chemie des Pools“ entwickelt. Inhaltlicher Fokus ist dabei die Behandlung von Poolwasser mit Poolzusatzstoffen unterschiedlichster Anwendungsbereiche, wodurch einerseits die Authentizität des Lernsettings gewährleistet wird und andererseits die Möglichkeit der Öffnung des Lernsettings für die Adressierung aller *level of inquiry* (Banchi & Bell, 2008) besteht. Beides ist für eine erfolgreiche Förderung von forschendem Lernen notwendig (Tillmann, 2015). Experimenteller Schwerpunkt des Settings ist die nasschemische Analyse von Poolwasser zur Identifikation sowie der quantitativen Bestimmung der Gehalte funktioneller Inhaltsstoffe der in Abbildung 3 aufgeführten Poolmittel. Diese umfassen die Anwendungsbereiche der Desinfektion, der pH-Regulierung, der Algenverhütung sowie der Enttrübung des Poolwassers. Eingesetzte Analysemethoden sind die Gravimetrie, die Präzipitation, die Photometrie, die Colorimetrie, die Titration sowie die Chromatographie (vgl. Abb. 3). Aufgrund der fachlichen als auch methodischen Komplexität der Analysen wurden die Analyseverfahren didaktisch für Schüler:innen elementarisiert. Das entwickelte Lernsetting eignet sich deshalb für einen potenziellen schulischen Einsatz im verpflichtenden Themenfeld der Analytik und speziell das der nasschemischen Analyse im Rheinland-Pfälzischen Lehrplan für die Sekundarstufe II (Ministerium für Bildung Rheinland-Pfalz, 2022). Ebenso eignet sich die Thematik mit abgestuftem Elementarisierungsgrad für den Einsatz als praxis- und realitätsnahes Analytikpraktikum für Studierende des Fachs Chemie.

Poolmittel	Inhaltsstoff	Qualitative Analyse	Quantitative Analyse
Schockchlorer	Natriumdichlorisocyanurat	in Anlehnung an DIN EN ISO 7393-2 + Universität Bochum, 2015	modifiziert nach DIN EN ISO 7393-2
Langzeitchlorer	Trichlorisocyanursäure	in Anlehnung an DIN EN ISO 7393-2 + Universität Bochum, 2015	modifiziert nach DIN EN ISO 7393-2
Flockungsmittel	Dialuminumchloridpenta-hydroxid	basierend auf Wiechoczek, 2014	modifiziert nachCN103994980A
pH-Heber	Natriumcarbonat	modifiziert nach Thilmany, 2016	modifiziert nach DIN 38409-7
pH-Senker	Natriumhydrogensulfat	in Anlehnung KS M ISO 2480	modifiziert nach KS M ISO 2480
Bio pH-Senker	Citronensäure	basierend auf Harsch & Heimann, 1998	basierend auf ZSL Baden-Württemberg, 2014
chlorfreies Desinfektionsmittel	Wasserstoffperoxid (7%)	basierend auf Wiechoczek, 2008	modifiziert nachBundesinstitut für Risikobewertung, 2015
Phosphatentferner	Lanthanchlorid	basierend auf Rosenfeldt, 2011	modifiziert nach Wawrzycek & Bukowska, 1968

Abb. 3 Übersicht über die Poolmittel inklusive der quali- und quantitaiven Analysemethode

Ausblick

Mit dem Ziel der partizipativen-iterativen Überarbeitung des Settings wird die Lerneinheit und der angelegte Forschungszyklus im nächsten Schritt mit Studierenden und Schüler:innen pilotiert. Zudem sollen weitere relevante Poolzusatzstoffe und dazugehörige qualitative und quantitative Analysen identifiziert, weiterentwickelt und in das Setting implementiert werden. Darüber hinaus soll das erstellte Forscherheft digitalisiert und damit adaptiv hinsichtlich des Forschungszyklus gestaltet werden. Des Weiteren soll das Setting schrittweise offener gestaltet werden, um die Progression innerhalb der *level of inquiry* adäquat abbilden zu können. Ziel ist es sonach, dass die SuS als Forscher:innen authentische Poolproben selbstständig auf alle aufgeführten Poolzusatzstoffe untersuchen können.

Literatur

Banchi, H., Bell, R. (2008). The many levels of inquiry. *Science and children*, 46 (2), 26.

Boekaerts, M. (1999). Self-regulated learning: Where we are today – Theory, research, and practice. International Journal of Educational Research, 31(6), S. 445–457.

Böttcher-Oschmann, F., Thiel, F. (2014). Modellierung fächerübergreifender Forschungskompetenzen. Das RMKR-W-Modell als Grundlage der Planung und Evaluation von Formaten forschungsorientierter Lehre. In: Brigitte, B., Voss, H., Wildt, J. (Hrsg.) (2014). Neues Handbuch Hochschullehre.I. Evaluation. 2. Fachbereichs-, Studiengangsevaluation. Berlin: Raabe, S. 109-124.

Böttcher-Oschmann,F., Thiel, F. (2018). Evaluating research-oriented teaching: a new instrument to assess university students' research competences.

Böttcher-Oschmann,F., Ophoff, J., Thiel, F. (2019). Validierung eines Fragenbogens zur Erfassung studentischer Forschungskompetenzen über Selbsteinschätzungen – Ein Instrument zur Evaluation forschungsorientierter Lehr-Lernarrangements.

Brebeck, Ingo (2014). Selbstreguliertes Lernen in der Studieneingangsphase im Fach Chemie. Berlin: Logos, 2014 (Studien zum Physik- und Chemielernen ; 175).

Eichinger, A., Lang, V., Eckert, C., Kay, C., Seibert, J. (2023). Ansatz zur methodischen Förderung des Forschenden Lernens beim Experimentieren. GDCP-Tagungsband 2022, S.656-659.

Heck,T., Heudörfer, A. (2018). Die Offenheit der wissenschaftlichen Ausbildung: Potenziale von offenen Lehr-/Lernpraktiken für forschendes Lernen.

Landmann, M., Schmitz, B. (2007). Welche Rolle spielt - Self-Monitoring bei der Selbstregulation und wie kann man mit Hilfe von Tagebüchern die Selbstregulation fördern? In M. Gläser-Zikuda & T. Hascher (Hrsg.), Lernprozesse dokumentieren, reflektieren und beurteilen. Lerntagebuch & Portfolio in Forschung und Praxis (S. 149–169). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

Liska, A., Trypke, M., Schlüter, V., Stebner, F., Reintjes, C. (2023). Bildung für nachhaltige Entwicklung - BNE. Journal für LehrInnenbildung, 3 (2023). Klinkhardt.

Ministerium für Bildung Rheinland-Pfalz (2022). Lehrplan Chemie. Grund- und Leistungsfach in der gymnasialen Oberstufe (Mainzer Studienstufe). Ministerium für Bildung Rheinland-Pfalz.

Preiß, J., Lübcke, E. (2020). Forschendes Lernen - didaktische Antwort auf politische Forderungen.

Schmitz, B., Schmidt, M. (2007). Einführung in die Selbstregulation. In: Landmann, M., Schmitz, B. (Hrsg.), Selbstregulation erfolgreich fördern. Praxisnahe Trainingsprogramme für effektives Lernen (S. 9–18). Stuttgart: Kohlhammer.

Seibert J., Heuser, K., Perels, F., Huwer, J., Kay, C.W.M. (2021). Multitouch Experiment Instructions to Promote Self-Regulation in Inquiry-Based Learning in School Laboratories. Journal of Chemical Education. 98 (5). 1602-1609.

Seibert, J., Ollinger, F., Perels, F., Kay, C. W., Huwer, J. (2020). Multitouch Experiment Instruction and Self-Regulation. *International Journal of Physics & Chemistry Education*. *12*(4). 75-88.

Thiem, J., Gess, C. (2020). Wie kann Forschendes Lernen evaluiert werden? In: Wulf, C., Haberstroh, S., Petersen, M. (Hrsg.) (2020). Forschendes Lernen - Theorie, Empirie, Praxis. Springer VS.

Tillmann, A. (2015). Forschendes Lernen im Geographieunterricht Sinnkonstitution durch Integration von Subjekt- und Gegenstandsorientierung beim forschenden Lernen nach John Dewey: Sinn macht, was sich in der Praxis bewährt. In: Gebhard, U. (Hrsg.) (2015). Sinn im Dialog - Zur Möglichkeit sinnkonstituierender Lernprozesse im Fachunterricht. Wiesbaden: Springer VS.

Ziegler, L. (2022). Entwicklung eines außerschulischen Moduls zur methodischen Förderung des Forschenden Lernens beim Experimentieren in der Chemie. Saarbrücken: Universität des Saarlandes.

Zimmerman, B. (2000). Attaining Self-Regulation - A social cognitive perspective. In: Handbook of Self-Regulation. 13-39

Norman Rollwa
Martin Schönbeck
Gabriele Hornung

RPTU Kaiserslautern-Landau

Sciene$_4$Society

Wissenschaftstransfer ist unter der Bedeutung des gesellschaftlichen Fortschritts unabdingbar. Besonders die grundlegenden Naturwissenschaften (z.B. Chemie) sind dabei defizitär in ihrer Erreichbarkeit (vgl. Schmoch et al., 2023). Ein funktionierender Wissenschaftstransfer bis in die Gesellschaft kann auf Basis der Hochschullehre erforscht werden. In der aufgeführten Interviewstudie wurden hierzu anhand der Aussagen von Professor:innen und Studierenden notwendige Bedingungen erhoben und anschließend kategorisiert. Durch die Betrachtung der beiden Blickwinkel (Sender- und Empfängerrolle) soll der Wissenschaftstransfer durchleuchtet werden. Die nachfolgende Abbildung geht auf den Transferprozess der Wissenschaft ein und beleuchtet diesen:

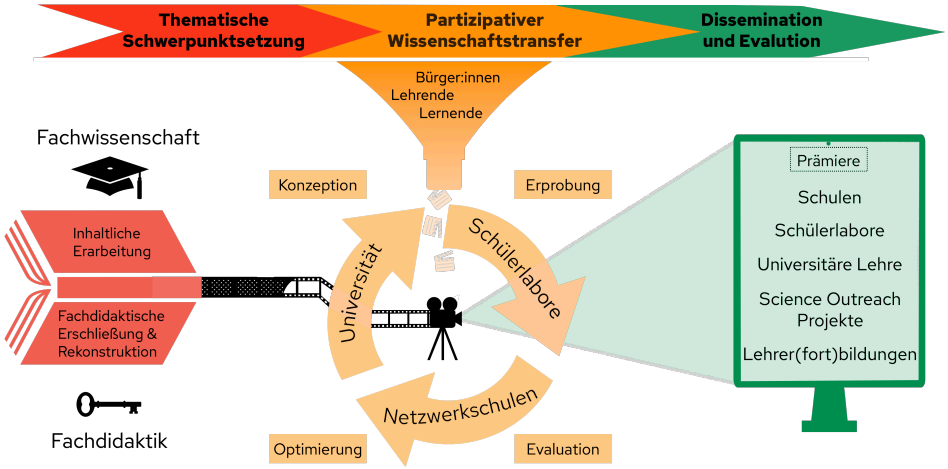


Abbildung 1.: Modell der partizipativen fachdidaktischen Transfer-Aktionsforschung (angelehnt an die partizipative Aktionsforschung und die Fachdidaktische Transferforschung), welches die Grundlage des hier beschriebenen Wissenschaftstransfer ikonografisch abbildet (abgeleitet und kombiniert aus: Eilks & Ralle, 2002; Wilke et al., 2017)

Das Modell der partizipativen fachdidaktischen Transfer-Aktionsforschung

Das Modell der partizipativen fachdidaktischen Transfer-Aktionsforschung (vgl. Abb. 1) bildet die Grundlage des vorliegenden Forschungsprozess und enthält seinerseits Elemente der partizipativen Aktionsforschung und der fachdidaktischen Transferforschung (vgl. Eilks & Ralle, 2002; Ralle & Di Fuccia, 2014; Wilke et al., 2017, Wöhrer, 2016). Innerhalb des wissenschaftlichen Transferprozesses werden die Vorzüge beider Modellkonzepte durch deren Verschmelzung genutzt, um einerseits forschungsrelevante Aspekte transferhaft zu vermitteln (vgl. Wilke et al., 2017) aber auch den Praxisbezug (hier: Studierende) zu berücksichtigen und circulär über Feedback überarbeiten zu lassen (vgl. Eils & Ralle, 2002;

Ralle & Di Fuccia,2014; Wöhrer, 2016). Die zu untersuchende Transferkette besteht dabei aus Professor:innen, Studierende, Lehrende und Schüler:innen. Der Anfang besteht dabei aus dem Transfertandem: Professor:innen / Studierende, welches hinsichtlich des Wissenschafts-verständnisses, Nachhaltigkeit, Wissenschaftskommunikation und Informationsbeschaffung befragt worden ist.

Notwendige Gelingensbedingungen für einen Wissenschaftstransfer im Kontext BNE

Durch eine qualitative Inhaltsanalyse nach Kuckartz (Rädiker & Kuckartz, 2019) wurden die Aussagen aus den leitfaden-gestützten Interviews in Kategorien mit notwendigen Bedingungen zusammengefasst. Nach der SPSS-Methode (Sammeln, Prüfen, Sortieren, Subsumieren) wurde der Interviewleitfaden konzipiert und die Interviews durchgeführt (Helfferich, 2011). Aus dem Kategoriensystem werden Gelingensbedingungen für Wissenschaftstransfer abgeleitet. Risiken, Erfahrungen und wahrgenommene systemische Vorstellungen von Wissenschaftstransfer haben im Fokus der Beteiligten gelegen. Das dazugehörige Kategoriensystem ist nachfolgend dargestellt.

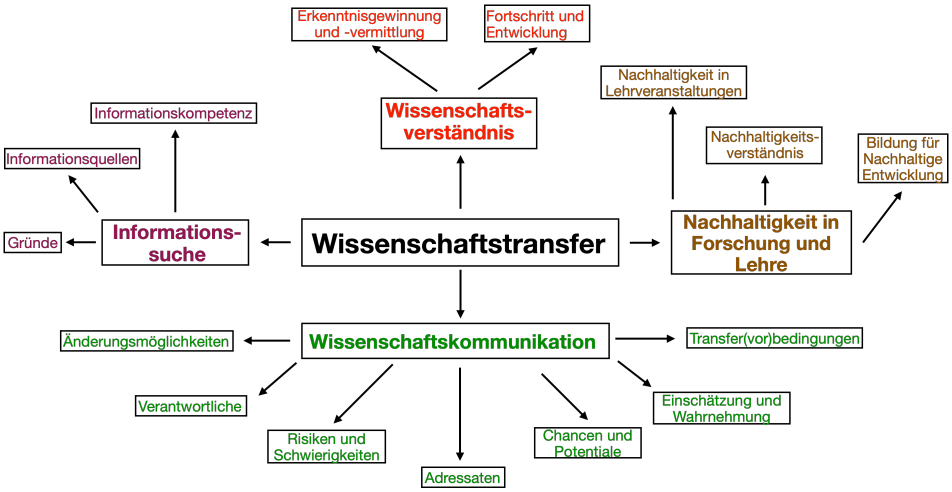


Abbildung 2.: Kategoriensystem der ersten beiden Stufen aus n = 10 Interviews (Intercodereliabilität nach Brennan & Prediger: K = .86)

Insgesamt wurde das Kategoriensystem aus fünf Professoreninterviews und fünf Studierendeninterviews erstellt und nach der qualitativ-strukturierenden Inhaltsanalyse nach Kuckartz mit MAXQDA ausgewertet und ein 3-stufiges Kategoriensystem entwickelt (vgl. Gizzi & Rädiker, 2021). Die professoralen Interviews wurden mit den Grundlagenforschenden des Fachbereichs Chemie durchgeführt, die an dem DFG finanzierten WERA-Projekt beteiligt sind. Diese bilden die Grundlage für die Ableitung von Gelingensbedingungen, welche in einem nächsten Schritt zur Entwicklung eines Seminarkonzeptes dienen. Bei den Ergebnissen fällt auf, dass eine pessimistische Grundeinstellung gegenüber des Wissenschaftstransfers steht und die Risiken und Gefahren häufiger genannt werden als die Chancen und Potentiale (vgl. Abb. 2).

Im Folgenden sind einige Auszüge aus den einzelnen Interviews dargestellt, welche u.a. die negative Haltung gegenüber Wissenschaftstransfer und deren Schwierigkeiten aber auch die allgemeine Einstellung und den Erfahrungsschatz der Betreffenden ausdrücken.

Beispielauszüge aus den ausgewerteten Interviews

- „Gut, also aktuell würde ich sagen was möglicherweise eines der Probleme ist, (..) dass diesem Aspekt in unserer aktuellen Arbeit und Forschung verhältnismäßig geringer Stellenwert zugeschrieben wird. Häufig, weil es eben eigentlich doch mehr darum geht, wissenschaftliche Publikationen für das Fachpublikum zu schreiben."
- „Aber ich glaube, über kurz oder lang muss der Fachbereich sich eine Kommunikationsstrategie überlegen und wir können es nicht. Wir können nicht erwarten, dass uns die Uni das abnimmt."
- „Es wird wenig darüber gelehrt, wie man Wissenschaft nach außen hin kommuniziert."
- „Wissenschaft ist erkenntnisgetriebenes Arbeiten zur Verbreitung der Wissensbasis. Das umfasst alle Bereiche."
- „Wissenschaft. Das ist die Art und Weise, um Wissen zu schaffen. Also es gibt geregelte Vorgänge wie zum Beispiel logische Ansätze, logisches Denken, Ausschlussverfahren oder sonst irgendwas, um auf um Wissen zu schaffen in Anführungszeichen, um uns das zu erschließen."
- „Aber es ist nicht so, dass ich eine Vorlesung halte, wo ich dezidiert wirklich ein Semester über Nachhaltigkeit spreche. Das hängt aber einfach mit dem Kanon zusammen, den wir im Bachelor- und Masterstudiengang haben."

Schwerpunktsetzung anhand von WERA (= Wertstoff Abwasser)

Der Transferinhalt richtet sich nach dem forschenden Graduiertenkolleg WERA, welches die Rückgewinnung kritischer Rohstoffe aus Abwasser thematisiert. Dabei werden verschiede Themenschwerpunkt bei WERA angesprochen:

- Phosphorrückgewinnung aus Abwasser durch Adsorption und Desorption (Entwicklung neuer Materialien)
- Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm durch Fällung und Kristallisation

Weitere Details zu WERA und deren aktuellen Forschungsschwerpunkte bzw. dessen Progression kann über die Homepage der Rheinland-Pfälzischen Technischen Universität für den Standort Kaiserslautern unter dem Suchbegriff „WERA" eingesehen werden.

Literatur

Eilks, Ingo; Ralle, Bernd (2002): Partizipative Fachdidaktische Aktionsforschung. Ein Modell für eine begründete und praxisnahe curriculare Entwicklungsforschung in der Chemiedidaktik. In: CHEMKON 9 (1), S. 13–18. DOI: 10.1002/1521-3730(200201)9:1%3C13::AID-CKON13%3E3.0.CO;2-5.

Gizzi, Michael C.; Rädiker, Stefan (Eds., 2021). The Practice of Qualitative Data Analysis. Research Examples Using MAXQDA. MAXQDA Press.

Helfferich, Cornelia. (2011). Die Qualität qualitativer Daten. DOI: 10.1007/978-3-531-92076-4.

Ralle, Bernd; Di Fuccia, David-Samuel (2014): Aktionsforschung als Teil fachdidaktischer Entwicklungsforschung. In: Dirk Krüger, Ilka Parchmann und Horst Schecker (Hg.): Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 43–55.

Rädiker, Stefan & Kuckartz, Udo. (2019). Analyse qualitativer Daten mit MAXQDA: Text, Audio und Video.

Schmoch, U.; Berghäuser, H.; Heyen, N.; unter Mitarbeit von Barkowski, F., Beyersdorf, J.; Eglin, T.; Komaromi, P.; Stephan, M. (2023): Auswertung der Umfrage unter Professorinnen und Professoren deutscher Universitäten zum Wissenstransfer.

Wilke, Timm; Dege, Janina; Waitz, Thomas (2017): Experimente zu Eigenschaften von Nanomaterialien in Chemieunterricht und Schülerlabor. In: CHEMKON 24 (4), S. 209–212. DOI: 10.1002/ckon.201790005.13

Wöhrer, Veronika (2016): Partizipative Aktionsforschung mit Kindern und Jugendlichen. Von Schulsprachen, Liebesorten und anderen Forschungsdingen. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. Online verfügbar unter: http://gbv.eblib.com/patron/FullRecord.aspx?p=4747249.

Melissa Costan[1]
Kasim Costan[1]
Anna Weißbach[1]
Christoph Kulgemeyer[1]

[1]Universität Bremen

Profilanalyse von Wissenschaftsskepsis gegenüber der Physikdidaktik

Nach dem Vorbild der Medizin besteht im Bildungsbereich der Wille zur Evidenzbasierung. Demnach sollen Lehrkräfte wissenschaftliche Erkenntnisse als Grundlage für ihre unterrichtlichen Handlungen heranziehen (KMK, 2019). Jedoch zeigt sich, dass bei der Implementation fachdidaktischer Erkenntnisse in die Schulpraxis große Schwierigkeiten bestehen und sie bisher nur unzureichend gelingt (z. B. Altrichter & Wiesinger, 2004). Beim Verständnis dieses Implementationsproblems könnten Einstellungen von Lehrkräften zur fachdidaktischen Forschung eine wichtige Rolle spielen, da neben externen Faktoren auch die Einstellungen einer Person ihr Verhalten beeinflussen (Maio et al., 2003; Triandis, 1975; Kiesler et al., 1969). Somit könnten insbesondere wissenschaftsskeptische Einstellungen von Lehrkräften gegenüber der Wissenschaft Physikdidaktik eine mögliche Ursache für die mangelnde Implementation fachdidaktischer Forschungsergebnisse in die Praxis darstellen. Eine Exploration dieser Einstellungen soll in diesem Beitrag vorgestellt werden.

Einstellungen und Wissenschaftsskepsis

Eine Einstellung stellt eine Neigung dar, positiv oder negativ auf ein Objekt, eine Person, eine Institution oder ein Ereignis zu reagieren. Obwohl unterschiedliche Definitionen von Einstellungen existieren, besteht innerhalb der Sozialpsychologie weitgehend Konsens, dass das charakteristische Merkmal der Einstellung ihr bewertender Charakter ist (Ajzen, 2005). So können beispielsweise Objekte als angenehm oder unangenehm bewertet werden (Fishbein & Ajzen, 1975). Generell handelt es sich bei einer Einstellung um ein hypothetisches Konstrukt, welches nicht direkt beobachtbar ist und aus messbaren Reaktionen abgeleitet werden kann. Diese Reaktionen spiegeln aufgrund der bewertenden Natur einer Einstellung ebenso positive oder negative Bewertungen des Einstellungsobjekts wider. Es wird angenommen, dass Einstellungen das Verhalten von Menschen beeinflussen und bei der Untersuchung von Verhalten ebenso berücksichtigt werden müssen wie externe Faktoren, wie beispielsweise bestehende Normen oder die Meinung anderer Personen (Maio et al., 2003; Triandis, 1975; Kiesler et al., 1969). In der in diesem Beitrag beschriebenen Studie wurden wissenschaftsskeptische Einstellungen von Physiklehrkräften gegenüber der Wissenschaft Physikdidaktik untersucht, da diese Einstellungen beeinflussen könnten, inwiefern physikdidaktische Forschungsergebnisse von Lehrkräften für ihren Unterricht berücksichtigt werden. Nägel et al. (2023) definieren Wissenschaftsskepsis von Lehrkräften als die Skepsis gegenüber der Relevanz wissenschaftlicher Inhalte für die Unterrichtspraxis, die mit der Wahrnehmung von mangelnder praktischer Relevanz und mangelnder Anwendbarkeit wissenschaftlichen Wissens für die Arbeit von Lehrkräften zusammenhängt. Analog dazu wird die Wissenschaftsskepsis gegenüber der physikdidaktischen Forschung definiert als die Skepsis gegenüber (1) der Relevanz der Ergebnisse und Methoden der physikdidaktischen Forschung für die Unterrichtspraxis und (2) der Relevanz der physikdidaktischen Forschung

für die Lehrkraft persönlich, sowie (3) den Absichten und Qualifikationen der Forschenden dieser Wissenschaft. In der in diesem Beitrag vorgestellten Studie wird untersucht, ob sich bestimmte Profile von Lehrkräften identifizieren lassen, die sich hinsichtlich ihrer Wissenschaftsskepsis unterscheiden, und ob sich die Profile in Bezug auf bestimmte professionelle Variablen der Lehrkräfte unterscheiden.

Methodisches Vorgehen

Die Umfragestudie wurde mit insgesamt 187 Physiklehrkräften aus Deutschland und Österreich durchgeführt. Die Stichprobe umfasst neben grundständig ausgebildeten Physiklehrkräften (*N* = 158) auch Personen mit einem Quer- oder Seiteneinstieg (*N* = 29) in den Lehrberuf, Gymnasiallehrkräfte (*N* = 123) und Lehrkräfte nicht-gymnasialer Schulformen (*N* = 64), sowie in der Physikdidaktik promovierte Lehrkräfte (*N* = 16) und Lehrkräfte mit einer Promotion in einem anderen Bereich (*N* = 22). Die Umfrage beinhaltet insgesamt 22 Items, die eine Skala zur Messung der Wissenschaftsskepsis gegenüber der physikdidaktischen Forschung bilden ($\alpha_{Cronbach} = 0{,}86$; Skala 0 bis 1 mit 0: wissenschaftsnahe Einstellung und 1: wissenschaftsskeptische Einstellung). Diese Skala setzt sich wiederum aus drei Faktoren zusammen: *Skepsis gegenüber der Relevanz physikdidaktischer Forschung für die Unterrichtspraxis* ($\alpha_{Cronbach} = 0{,}73$), *Skepsis gegenüber der Relevanz physikdidaktischer Forschung für die Lehrkraft persönlich* ($\alpha_{Cronbach} = 0{,}79$), und *Skepsis gegenüber der Zusammenarbeit zwischen physikdidaktischer Forschung und Schulpraxis* ($\alpha_{Cronbach} = 0{,}72$). Um zu überprüfen, ob sich verschiedene Profile von Lehrkräften identifizieren lassen, die sich hinsichtlich ihrer Wissenschaftsskepsis unterscheiden, wurde mit den Werten aller 22 Items eine latente Profilanalyse durchgeführt und für die drei Faktoren jeweils Mittelwerte gebildet. Weiterhin wurde mittels Chi-Quadrat-Tests geprüft, ob sich die Profile in Bezug auf den Lehramtszugang der Lehrpersonen, eine abgeschlossene Promotion oder die Schulform, an der sie unterrichten, unterscheiden; mittels ANOVAs wurde geprüft, ob Unterschiede in Abhängigkeit vom Alter und der Berufserfahrung der Lehrkräfte sowie der Häufigkeit, mit der sie bestimmte Unterrichtszeitschriften lesen, erkennbar sind.

Ergebnisse der Profilanalyse

In der Profilanalyse ergaben sich insgesamt vier Profile von Lehrkräften mit unterschiedlichen Ausprägungen von Wissenschaftsskepsis gegenüber der physikdidaktischen Forschung in den einzelnen Faktoren. Die einzelnen Profile sind in Abbildung 1 dargestellt und werden im Folgenden beschrieben. Das erste Profil (*N* = 28 (15%)) wird durch hohe Wissenschaftsskepsiswerte in allen drei Faktoren gekennzeichnet und als die *Skeptischen* bezeichnet.

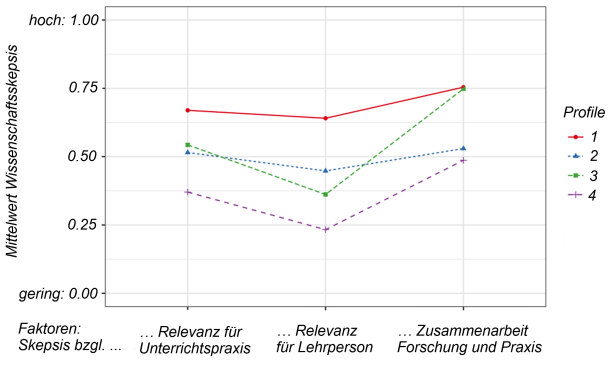


Abb. 1: Ergebnisse der Profilanalyse

Lehrkräfte in diesem Profil bezweifeln also die Relevanz der physikdidaktischen Forschung sowohl für die Unterrichtspraxis allgemein als auch für sich persönlich, und sind skeptisch gegenüber der Zusammenarbeit zwischen Forschung und Schulpraxis. Das zweite Profil (N = 43 (23%)) wird als die *Unschlüssigen* bezeichnet und ist dadurch gekennzeichnet, dass in allen Faktoren der Wissenschaftsskepsis nahezu neutrale Werte vorliegen. Es bleibt unklar, inwiefern dieses Profil konsistente Vorstellungen bezüglich der Inhalte physikdidaktischer Forschung besitzt, da aus den Mittelwerten in den einzelnen Faktoren keine eindeutigen Einstellungen dazu abgeleitet werden können, inwiefern die physikdidaktische Forschung eine Relevanz für die Unterrichtspraxis oder die Lehrkräfte persönlich besitzt und ob Forschung und Schulpraxis gut miteinander kooperieren. Im dritten Profil der *Unterversorgten* (N = 55 (29%)) zeigt sich eine skeptische Einstellung zur Zusammenarbeit zwischen Forschung und Schulpraxis, während die Einstellung zur Relevanz der Forschung für die Lehrkraft persönlich eher wenig wissenschaftsskeptisch und zur Relevanz der Forschung für die Unterrichtspraxis nahezu neutral ist. Da dieses Profil zwar die persönliche Relevanz positiv bewertet, gleichzeitig aber skeptisch gegenüber der Zusammenarbeit eingestellt ist, ist es denkbar, dass Lehrkräfte dieses Profils Forschungsergebnisse für den Unterricht womöglich eher berücksichtigen würden, wenn diese aus Sicht der Lehrkräfte besser an die Bedürfnisse der Praxis angepasst wären. Das vierte Profil (N = 61 (33%)) zeigt die geringsten und somit am wenigsten wissenschaftsskeptischen Werte in allen drei Faktoren und wird als die *Forschungsbefürwortenden* bezeichnet. Während die Einstellung dieses Profils zur Zusammenarbeit zwischen Forschung und Schulpraxis nahezu neutral ausfällt, lassen sich in Bezug auf die Relevanz der physikdidaktischen Forschung für die Unterrichtspraxis und für die Lehrkraft persönlich wenig wissenschaftsskeptische Einstellungen feststellen. Dieses Profil zeichnet sich also dadurch aus, dass es der physikdidaktischen Forschung sowohl für die allgemeine Unterrichtspraxis als auch für die einzelne Lehrkraft insgesamt eine hohe Relevanz zuschreibt. In Bezug auf professionelle Variablen lassen sich zwischen den Profilen keine Unterschiede in Abhängigkeit vom Alter der Lehrkräfte, ihrer Berufserfahrung, ihrem Zugang zum Lehrberuf, ihrer Schulform oder dem Vorliegen einer Promotion feststellen. Nur bezüglich des Lesens von Unterrichtszeitschriften wurden Unterschiede gefunden: Das Profil der *Forschungsbefürwortenden* liest häufiger Unterrichtszeitschriften als die jeweils anderen Profile.

Fazit

Während je nach Profil sowohl wenig als auch stark ausgeprägte wissenschaftsskeptische Einstellungen in Bezug auf die Relevanz physikdidaktischer Forschung vorkommen, zeigen sich in Bezug auf die Zusammenarbeit zwischen physikdidaktischer Forschung und Schulpraxis mit Ausnahme der *Forschungsbefürwortenden* insgesamt eher wissenschaftsskeptische Einstellungen. Es ist denkbar, dass die Einstellungen der Lehrkräfte weniger wissenschaftsskeptisch ausfallen könnten, wenn die Forschung aus ihrer Sicht mehr auf die Bedürfnisse in der Schulpraxis ausgerichtet wäre. Insgesamt können die unterschiedlichen wissenschaftsskeptischen Einstellungen nicht auf bestimmte professionelle Variablen der Lehrkräfte zurückgeführt werden. Bei der Interpretation der Ergebnisse sollte zusätzlich beachtet werden, dass vermutlich überwiegend Lehrkräfte mit einer gewissen Nähe zur Physikdidaktik an der Umfrage teilgenommen haben, weshalb die erhobenen Einstellungen der Lehrkräfte wahrscheinlich positiver ausfallen als in der Realität.

Literatur

Ajzen, I. (2005). Attitudes, personality and behavior (2. Auflage). Open Univ. Press.

Altrichter, H., Wiesinger, S. (2004). Der Beitrag der Innovationsforschung im Bildungssystem zum Implementierungsproblem. In G. Reinmann, H. Mandl (Hsrg.), Psychologie des Wissensmanagements. Perspektiven, Theorien und Methoden (S. 220-233). Göttingen: Hogrefe.

Fishbein, M., Ajzen, I. (1975). Belief, Attitude, Intention, and Behaviour: An Introduction to Theory and Research. Addison-Wesley.

Kiesler, C. A., Collins, B. E., & Miller, N. (1969). Attitude change: A critical analysis of theoretical approaches. Wiley.

Kultusministerkonferenz (2019). Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004 i. d. F. vom 16.05.2019)

Maio, G. R., Olson, J. M., Bernard, M. M., & Luke, M. A. (2003). Ideologies, Values, Attitudes, and Behavior. In J. Delamater (Hrsg.), Handbook of Social Psychology (S. 283–308). Kluwer Academic/Plenum Publishers.

Nägel, L., Bleck, V., & Lipowsky, F. (2023). "Research findings and daily teaching practice are worlds apart" – Predictors and consequences of scepticism toward the relevance of scientific content for teaching practice. Teaching and Teacher Education, 121, 103911.

Triandis, H. C. (1975). Einstellungen und Einstellungsänderungen. Beltz Verlag.

Yvonne Webersen[1] [1]Universität Paderborn
Josef Riese[1]

„Die Erde ist eine Scheibe und wir waren nie auf dem Mond!“? Ein Seminar zur Nature of Science und Techniken der Wissenschaftsleugnung

Motivation und Zielgruppe

Bürgerinnen und Bürger werden in ihrem Alltag mit Wissenschaftsleugnung konfrontiert (z.B. im Rahmen der Klimaleugner-Szene oder im Zusammenhang mit Alternativmedizin und den dort beworbenen „wissenschaftlichen“ Produkten). Angesichts der prominenten Rolle sozialer Medien sollten Bürger:innen und Schüler:innen folglich die Fähigkeit entwickeln, Fehlinformationen oder Pseudowissenschaften als solche zu erkennen (Höttecke & Allchin, 2020; Kresin et al., 2024). Bestandteil bzw. Kern dieser *Science Media Literacy* sind Kenntnisse über die Nature of Science (NOS) bzw. die Nature of Science in Society (NOSIS) (Höttecke & Allchin, 2020). Es zeigt sich jedoch, dass schon (angehende) Lehrkräfte Fehlvorstellungen und mangelndes Wissen im Bereich NOS aufweisen (Billion-Kramer et al., 2020). Aufgrund dessen wurde an der Universität Paderborn ein Seminarkonzept im Umfang von zwei Semesterwochenstunden entwickelt, in dessen Fokus das Lernen über NOS(IS) und Techniken der Wissenschaftsleugnung stehen. Die Zielgruppe des Seminars sind angehende Physik- und Sachunterrichtslehrkräfte im Masterstudium. Im Folgenden werden die inhaltlichen Bausteine des Konzepts vorgestellt sowie Erfahrungen aus der Erprobung innerhalb einer Pilotveranstaltung berichtet.

Baustein 1: Wissenschaftsleugnung

Als „Negativschablone“ von Wissenschaftlichkeit lernen die Studierenden verschiedene Techniken der Wissenschaftsleugnung (PLURV[1]) kennen. Das Beispiel der Leugnung des Klimawandels bietet sich hier aufgrund seiner alltäglichen Präsenz und des Vorhandenseins vieler verschiedener PLURV-Techniken besonders an (vgl. Skeptical Science-Team, 2024). Im Anschluss könnten die Studierenden dazu aufgefordert werden, diese Techniken in realen Kontexten selbst zu erkennen[2], um schließlich technikbasierte Debunking Strategien im gleichen und in anderen fachlichen Kontexten (z.B. Theorie der flachen Erde) anzuwenden (Lewandowsky et al., 2020, angelehnt an Bernsteiner et al., 2023).

Baustein 2: Aspekte der Nature of Science (in Society)

Im zweiten Baustein durchlaufen die Studierenden zunächst verschiedene kontext(un)abhängige Übungen zu unterschiedlichen NOS(IS)-Aspekten und reflektieren diese mithilfe einer digitalen Gedankenecke (Höttecke & Schecker, 2021). Eine inhaltliche Verankerung ist beispielsweise an historischen Beispielen sowie anhand der COVID-19-Pandemie möglich; wobei sich hier eine inhaltliche Differenzierung anhand der unterschiedlichen Studiengänge (Physik gegenüber Sachunterricht) anbietet. Beispielhaft thematisierte Aspekte (angelehnt an Lederman, 2006) und zugehörige Beispiele könnten sein:

[1] Pseudo-Experten, Logik-Fehler, Unerfüllbare Erwartungen, Rosinenpickerei und Verschwörungsmythen
[2] z.B. in einem Talkshowausschnitt aus „Markus Lanz“ vom 26.05.2023 mit den Gästen Prof. Mojib Latif und Steffen Kotré

- Beobachtung & Schlussfolgerung (Tricky Tracks: National Academy of Sciences, 1998; Michel, 2018)
- Theorie & Gesetz (Mystery Tube: National Academy of Sciences, 1998)
- Vorläufigkeit (Black Tube: Müller, 2023)
- Subjektivität und Theoriegebundenheit (Wolpert, 1994; McComas, 2008; Heering, 2022)
- Absicherung und soziale & kulturelle Eingebundenheit (Schirmwissenschaft: Somerville, 1941; Beispiele aus dem WDR Science Cops-Podcast; maiLab und Corona-Podcast: Pollmeier & Fechner, 2021)

Als Anwendungs- und Reflexionsaufgab ist es denkbar, dass die Studierenden ihr neu gewonnenes Wissen über NOS(IS) nutzen, um die (un)realistische Darstellung von Wissenschaftlichkeit in einigen fiktiven Beispielen zu analysieren. Dabei sind Auszüge aus Fernsehserien, Filmen und Romanen möglich, beispielsweise die Serien „3 Body Problem", „die Simpsons", „Big Bang Theorie", „In aller Freundschaft", „Bones – die Knochenjäger"; die Filme „Don't look up", „Illuminati", „Iron Man" oder die Romane „Der Astronaut" (Andy Weir), „Das Jesus Video" (Andreas Eschbach) oder „Der Schwarm" (Frank Schätzing).
Im Anschluss an diese Analyse *fiktiver* Beispiele könnten die Teilnehmenden des Seminars *reale* pseudowissenschaftliche Produkte einschätzen, die sich im Internet und Social Media auf wissenschaftliche Argumente, Studien oder Befunde berufen. Um die Analyse aspektgeleitet anhand der in Baustein eins und zwei dargestellten Inhalte durchführen zu können, ist die Nutzung einer Heuristik zur Glaubwürdigkeitseinschätzung (z.B. von Kresin et al., 2024) hilfreich und verbindet sowohl die Techniken der Wissenschaftsleugnung mit den Aspekten der Nature of Science (in Society). So ist es möglich, dass die Teilnehmenden bei der Darstellung pseudowissenschaftlicher Produkte logische Schlussfolgerungen oder Pseudoexperten (PLURV, s. oben) identifizieren oder Fragwürdigkeiten in den korrespondierenden Studien der Produkte aufdecken (dies betrifft verschiedene, konkretisierte Aspekte der NOS, z.B. schlechtes Studiendesign ohne Variablenkontrolle, Publikation in Raubjournalen, fehlender Konsens der Wissenschaftsgemeinschaft, fehlende Passung von Beobachtungen und Schlussfolgerungen).

Baustein 3: Nature of Science (in Society) und Wissenschaftsleugnung in der (Grund)schule

Im dritten Baustein rückt die Schule bzw. die Schulrelevanz der behandelten Themen in den Fokus des Seminars. Dabei ist es denkbar, dass die Studierenden zwei unterschiedliche Perspektiven einzunehmen:
A) Vermittlung von Nature of Science in Society – Leitfrage: Wie können Aspekte der NOS(IS) im Sachunterricht oder/und Physikunterricht adressiert werden?
Innerhalb dieser Perspektive werden verschiedene, mögliche Konzeptionen und Leitlinien zum Unterricht für NOS(IS) thematisiert (vgl. Höttecke & Schecker, 2021; Billion-Kramer, 2021). Im Anschluss könnten die Studierenden selbstständig (mithilfe der vorgestellten Konzeptionen) NOS(IS)-fokussiertes Unterrichtsmaterial für ihr Unterrichtsfach und ihre Schulform erarbeiten oder überarbeiten. Je nach Vorwissen der Studierenden sind kleinere Lernumgebungen oder ganze Unterrichtsplanungen denkbar. Auch ist es möglich, diesen Baustein durch ein Schulprojekt, in dem die Materialien im Unterricht getestet werden, zu erweitern.

B) Beutelsbacher Konsens für Naturwissenschaften – Leitfrage: (Wie) kann und sollte man als Lehrkraft reagieren, wenn SuS oder deren Eltern selbst pseudowissenschaftliche Ansichten vertreten? Hier diskutieren und reflektieren die Teilnehmenden, z.B. im Rahmen eines Rollenspiels, verschiedene fiktive Szenarien im Schulkontext und ihre Zuständigkeiten, Befugnisse und Rolle als angehende Lehrkräfte. Als Rahmen für diese Reflexion dient der Beutelsbacher Konsens für den Politikunterricht. Beispiele für Szenarien:

- Im Physikunterricht fragt eine Schülerin, was die Lehrkraft denn von dem „Magnetmotor" halte. Sie habe gehört, es gäbe so eine gute Möglichkeit, Energie zu erzeugen, die jedoch vom Mainstream nicht anerkannt werde.
- Eine Schülerin im Sachunterricht widerspricht vehement den Unterrichtsinhalten zur Evolution. Die Welt sei genau so entstanden, wie es im Buch Genesis aufgeschrieben ist.
- Einige Eltern setzen sich im Rahmen Ihrer Funktion als gewählte Elternvertreter dafür ein, ein Wasserbelebungsgerät zu verbauen. Sie argumentieren, dass das belebte Wasser Schülerinnen und Schüler auch beim schulischen Lernen positiv beeinflussen könnte.
- In einem Elterngespräch äußern sich Eltern Ihrer Klasse skeptisch hinsichtlich der Unterrichtsinhalte zum Klimawandel in der Grundschule: Sie seien der Auffassung, den menschengemachten Klimawandel gäbe es nicht und die Schule würde die Kinder an dieser Stelle mit Fake News indoktrinieren. Die Eltern fordern eine ausgewogene Darstellung der Ansichten zum Klimawandel.

Evaluationsergebnisse der Pilotveranstaltung

Das vorgestellte Konzept wurde innerhalb einer Pilotveranstaltung im Sommersemester 2024 erprobt. Insgesamt gab es sieben Teilnehmende (3x Grundschullehramt, 1x Physik Lehramt Gymnasium/Gesamtschule, 2x Physik Lehramt Haupt-, Real-, Sekundar- und Gesamtschulen sowie 1x Gasthörer aus den Ingenieurswissenschaften). Die Veranstaltungskritik zeigt eine hohe Zufriedenheit der Teilnehmenden (6 x Note „sehr gut", 1x Note „gut"). Außerdem gab es eine ausführliche Feedbackrunde mit Rückmeldungen der Teilnehmenden zum empfundenen Lernerfolg, zur Auswahl und Strukturierung der Inhalte, zum Differenzierungsmaterial sowie zur Weiterentwicklung des Seminars. Auch die Zusammensetzung der Seminarteilnehmer aus verschiedenen Studiengängen wurde von allen Seiten als gewinnbringend eingeschätzt, obgleich es diesbezüglich zu Beginn Vorbehalte gab. Diese Ergebnisse werden aktuell genutzt, um das Seminar zu überarbeiten.

Ausblick

Die Lehrveranstaltung wird auch im kommenden Wintersemester 2024/25 mit einer größeren Teilnehmerzahl in einer überarbeiteten Version wiederholt. Dabei ist eine qualitative Evaluation des Konzeptes geplant. Weiterhin sollen die Einstellungen der angehenden Lehrkräfte bezüglich ihrer wahrgenommenen Rolle bei der Konfrontation mit pseudowissenschaftlichen Ansichten im Schulkontext erhoben werden (vgl. Baustein 3B).

Eine Adaption in andere (naturwissenschaftliche) Fächer ist ebenso denkbar wie ein Transfer an andere Universitäten. Die meisten der Aufgaben könnten leicht an verschiedene Leistungsniveaus oder Fächer bzw. Schwerpunkte angepasst werden.

Weiterhin sollen (gut funktionierende) Teile der Lehrveranstaltung für eine Lehrkräftefortbildung adaptiert werden. Die entwickelten Unterrichtsmaterialien werden perspektivisch den Teilnehmenden und der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

Literatur

Bernsteiner, A., Schubatzky, T., & Haagen-Schützenhöfer, C. (2023). Misinformation as a Societal Problem in Times of Crisis: A Mixed-Methods Study with Future Teachers to Promote a Critical Attitude towards Information. Sustainability, 15(10), Article 10. https://doi.org/10.3390/su15108161

Billion-Kramer, T., Lohse-Bossenz, H., Dörfler, T., & Rehm, M. (2020). Professionswissen angehender Lehrkräfte zum Konstrukt Nature of Science (NOS): Entwicklung und Validierung eines Vignettentests (EKoL-NOS). Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 26(1), 53–72. https://doi.org/10.1007/s40573-020-00112-z

Billion-Kramer, T. (2021). Nature of Science: Lernen über das Wesen der Naturwissenschaften. Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-33397-3

Heering, P. (2022). Kanonische Experimente der Physik und ihre Rolle in Bildungsprozessen. In P. Heering (Hrsg.), Kanonische Experimente der Physik: Fachliche Grundlagen und historischer Kontext (S. 1–8). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-64646-5_1

Höttecke, D., & Allchin, D. (2020). Reconceptualizing nature-of-science education in the age of social media. Science Education, 104(4), 641–666. https://doi.org/10.1002/sce.21575

Höttecke, D., & Schecker, H. (2021). Unterrichtskonzeptionen für Nature of Science (NOS). In T. Wilhelm, H. Schecker, & M. Hopf (Hrsg.), Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis (S. 401–433). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-63053-2_13

Kresin, S., Kremer, K., & Büssing, A. G. (2024). Students' credibility criteria for evaluating scientific information: The case of climate change on social media. Science Education, n/a(n/a). https://doi.org/10.1002/sce.21855

Lederman, N. G. (2006). Syntax Of Nature Of Science Within Inquiry And Science Instruction. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Hrsg.), Scientific Inquiry and Nature of Science: Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education (S. 301–317). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5814-1_14

Lewandowsky, S., Cook, J., & Lombardi, D. (2020). Debunking Handbook 2020. Databrary. https://doi.org/10.17910/B7.1182

Liang, L. L., Chen, S., Chen, X., Kaya, O. N., Adams, A. D., Macklin, M., & Ebenezer, J. (2008). Assessing preservice elementary teachers' views on the nature of scientific knowledge: A dual-response instrument. Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching, 9(1).

McComas, W. F. (2008). Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. Science & Education, 17(2–3), 249–263. https://doi.org/10.1007/s11191-007-9081-y

Michel, H. (2018). Nature of Science im Fachkontext Physik. https://macau.uni-kiel.de/receive/diss_mods_00024379

Müller, S. (2023). „In die Röhre schauen", um Aspekte von Nature of Science im Chemie- und Biologieunterricht zu vermitteln. (MNU-Journal—Heft 03/2023). 76, 202–206.

National Academy of Sciences. (1998). Teaching About Evolution and the Nature of Science. The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/5787

Osborne, J., & Pimentel, D. (2022). Science, misinformation, and the role of education. Science, 378(6617), 246–248. https://doi.org/10.1126/science.abq8093

Pollmeier, P., & Fechner, S. (2021). Förderung angehender Lehrkräfte im Umgang mit Evidenzen für den naturwissenschaftlichen Unterricht. In M. Kubsch, S. Sorge, J. Arnold, & N. Graulich (Hrsg.), Lehrkräftebildung neu gedacht. Ein Praxishandbuch für die Lehre in den Naturwissenschaften und deren Didaktiken (S. 150–154).

Skeptical Science-Team (2024) Techniken der Wissenschaftsleugnung. https://skepticalscience.com/PLURV-Taxonomie-und-Definitionen.shtml

Somerville, J. (1941). Umbrellaology, or, Methodology in Social Science. Philosophy of Science, 8(4), 557–566. https://doi.org/10.1086/286734

Wolpert, L. (1994). The unnatural nature of science. Harvard University Press.

Kasim Costan[1]
Christoph Kulgemeyer[1]
David Christoph Weiler[2]
Jan-Phillip Burde[2]
Rike Große-Heilmann[3]
Josef Riese[3]
Armin Lässer[4]
Thomas Schubatzky[4]

[1]Universität Bremen
[2]Universität Tübingen
[3]Universität Paderborn
[4]Universität Innsbruck

Akzeptanz physikdidaktischer Innovationen von Physiklehrkräften

Lehrkräftefortbildungen stellen eine wichtige Möglichkeit dar, physikdidaktische Innovationen in die Unterrichtspraxis zu überführen (Breuer, 2021). Es gilt als unbestritten, dass die Einstellungen von Lehrkräften entscheidend sind für die erfolgreiche Implementation von Innovationen (Gräsel & Parchmann, 2004). Demnach könnten die Einstellungen von Lehrkräften gegenüber physikdidaktischer Forschung die Wahrnehmung der Merkmale einer Innovation beeinflussen. Lehrkräfte mit einer negativen Einstellung zur physikdidaktischen Forschung könnten somit Fortbildungsinhalte als weniger nützlich und als unvereinbar mit ihrer Alltagspraxis einschätzen (Schrader & Hasselhorn, 2020). Ziel des Promotionsprojekts ist die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Akzeptanz der Fortbildungsinhalte und der Einstellungen gegenüber physikdidaktischer Forschung von den teilnehmenden Physiklehrkräften. Dazu werden Fortbildungen im Rahmen des Verbundprojekts ComeMINT sowohl in digitaler Form als Selbstlerneinheiten, als auch für Präsenzveranstaltungen entwickelt. Es soll untersucht werden, wie die Einstellungen der Physiklehrkräfte gegenüber physikdidaktischer Forschung die Akzeptanz von Innovationen im Unterricht beeinflussen. Dieser Zusammenhang soll Aufschluss darüber geben, welche Rolle Einstellungen von Lehrkräften beim Transfer fachdidaktischer Innovationen in die Unterrichtspraxis einnehmen.

Theoretischer Hintergrund: Einstellung und Akzeptanz

Die Einstellungsforschung hat eine lange Tradition in der Sozialpsychologie und hat viele unterschiedliche Definitionen von Einstellung (attitude) hervorgebracht (Allport, 1935). In der zeitgenössischen Sozialpsychologie wird vor allem der evaluative Charakter als entscheidendes Merkmal von Einstellungen herausgestellt. Demnach sind Einstellungen Bewertungen von Objekten (Ajzen, 2005; Albarracin et al., 2005). Diese Einstellungsobjekte können konkrete materielle Dinge, wie Personen oder Gegenstände sein, aber auch abstrakte Theorien oder Ideen darstellen (Hitlin & Pinkston, 2013). „The object of an attitude can be anything that a person may think about“ (Hitlin & Pinkston, 2013, S. 320). Einstellungen als latente Konstrukte von Personen können nicht direkt beobachtet werden, sondern müssen aus verbalen Äußerungen erschlossen werden. Dabei werden die Äußerungen auf Einstellungsfragen meistens in die drei Komponenten Kognitionen, Affekte und Konationen eingeteilt (Ajzen, 2005). Die kognitive Komponente beinhaltet die Vorstellungen, die mit dem Einstellungsobjekt in Verbindung stehen. Die affektive Komponente berücksichtigt die Gefühle und Emotionen, die von einer Vorstellung begleitet werden. Zudem sind Einstellungen Prädispositionen zu Handlungen in Bezug auf das Einstellungsobjekt und haben

damit auch eine Verhaltenskomponente (Triandis, 1975). Die Kombination dieser drei Komponenten äußert sich in einer insgesamt positiven oder negativen Bewertung des Einstellungsobjekts (Hitlin & Pinkston, 2013). Die Motivation zur Untersuchung von Einstellungen ist die Annahme, dass Einstellungen das Verhalten von Menschen beeinflussen und somit neben externen Faktoren für die Vorhersage von Verhalten berücksichtigt werden müssen (Maio et al., 2003; Triandis, 1975; Kiesler et al., 1969). In der Einstellungsforschung herrscht Uneinigkeit darüber, ob der Einstellungsbegriff Handlungsintentionen (Konationen) oder tatsächlich beobachtbares Verhalten berücksichtigt. Dies hängt damit zusammen, dass Einstellungstheorien einen weiteren Einstellungsbegriff zugrunde legen als Messtheorien von Einstellungen (Triandis, 1975). Ein Begriff, der in der Innovationsforschung häufig Verwendung findet und neben den Einstellungskomponenten auch das tatsächliche Verhalten berücksichtigt, stellt ‚Akzeptanz' dar (Kollmann, 1998; Lucke, 1995). Akzeptanz einer Innovation liegt dann vor, wenn aus einer positiven Einstellung (Einstellungsakzeptanz) gegenüber einer physikdidaktischen Innovation eine tatsächliche Implementation in die Praxis (Nutzungsakzeptanz) folgt.

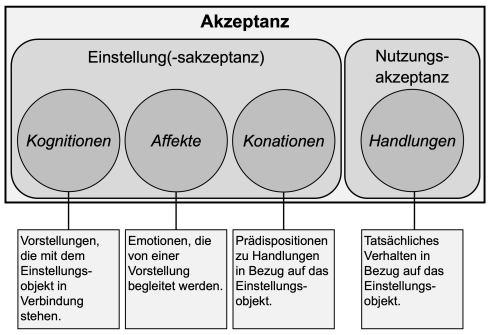


Abb. 1: Zusammenhang zwischen Einstellung und Akzeptanz

Ziel und Design der Studie

Ziel des Forschungsprojekts ist die Untersuchung, wie Einstellungen gegenüber physikdidaktischer Forschung von Physiklehrkräften die Akzeptanz von Innovationen im Unterricht beeinflussen. Dazu werden im Rahmen des Verbundprojekts ComeMINT Online-Fortbildungen sowie Präsenz-Fortbildungen entwickelt und durchgeführt. Vor der Durchführung der Fortbildung werden die Einstellungen gegenüber physikdidaktischer Forschung der teilnehmenden Physiklehrkräfte anhand eines Fragebogens erhoben. Im Anschluss wird die Präsenz-Fortbildung durchgeführt bzw. die Online-Fortbildung von den Lehrkräften durchgearbeitet. Bei Online-Fortbildungen können dabei Informationen über das Nutzungsverhalten aus den Logdateien, wie die Klickzahl, die Verweildauer auf bestimmten Seiten und weitere Daten gewonnen werden. Direkt im Anschluss an die Fortbildung wird die Einstellungsakzeptanz der Fortbildungsinhalte der teilnehmenden Physiklehrkräfte mit Hilfe eines Fragebogens untersucht. Das tatsächliche Nutzungsverhalten der in den Fortbildungen vorgestellten Innovationen werden durch Interviews mit einem Teil der Lehrkräfte einige

Wochen nach der Fortbildung erhoben. Auf diese Weise kann sowohl die Häufigkeit und die Qualität der Nutzung erfasst, als auch Gründe für die Nichtnutzung genauer exploriert werden.

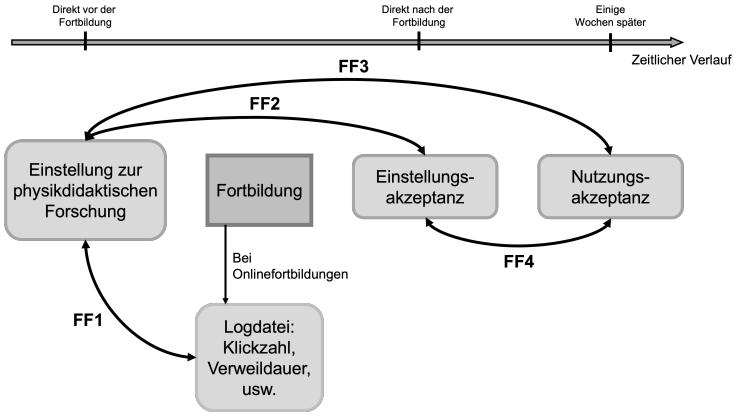


Abb. 2: Geplantes Forschungsdesign

Forschungsfragen

Das übergeordnete Forschungsinteresse liegt in der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Einstellung zur physikdidaktischen Forschung und der Akzeptanz der Fortbildungsinhalte der teilnehmenden Lehrkräfte. Aus dem dargestellten Forschungsdesign (Abb. 2) ergeben sich daraus folgende Forschungsfragen:

- FF1: Wie beeinflusst die Einstellung zur physikdidaktischen Forschung die Intensität der Auseinandersetzung mit den bereitgestellten Fortbildungsmodulen?
- FF2: Welchen Einfluss hat die Einstellung gegenüber physikdidaktischer Forschung auf die Einstellungsakzeptanz der Fortbildungen von den teilnehmenden Lehrkräften?
- FF3: Wie beeinflusst die Einstellung gegenüber physikdidaktischer Forschung von Physiklehrkräften das tatsächliche Nutzungsverhalten physikdidaktischer Innovationen?
- FF4: Inwiefern kann von der Einstellungsakzeptanz auf die Nutzungsakzeptanz geschlossen werden?

Weiteres Vorgehen und Ausblick

Aktuell werden die Fortbildungsmodule für die Online-Fortbildungen ausgestaltet und sind voraussichtlich ab dem 01.November 2024 auf iMoox.at verfügbar. Im Zuge dessen werden die Erhebungsinstrumente pilotiert und validiert. Anfang 2025 werden die Präsenz-Fortbildungen durchgeführt. Einige Wochen nach den Fortbildungen werden Interviews mit den Lehrkräften durchgeführt, um die Implementation der Fortbildungsinhalte im Unterricht der Lehrkräfte zu untersuchen. Ende 2025 werden die Fortbildungsmodule als auch die Messinstrumente überarbeitet und die Online-Fortbildungen erneut bereitgestellt. Anschließend werden die Interviews und die Umfragedaten in Hinblick auf die Forschungsfragen ausgewertet.

Literatur

Ajzen, I. (2005). Attitudes, personality and behavior (2. Auflage). Open Univ. Press.

Albarracin, D., Johnson, B. T., & Zanna, M. P. (Hrsg.). (2005). The Handbook of Attitudes (1. Aufl.). Psychology Press. https://doi.org/10.4324/9781410612823

Allport, G. W. (1935). Attitudes. In C. Murchison (Hrsg.), A Handbook of social psychology (S. 798–844). Clark University Press.

Breuer, J. (2021). Implementierung fachdidaktischer Innovationen durch das Angebot materialgestützter Unterrichtskonzeptionen: Fallanalysen zum Nutzungsverhalten von Lehrkräften am Beispiel des Münchener Lehrgangs zur Quantenmechanik. Logos Verlag.

Gräsel, C., & Parchmann, I. (2004). Implementationsforschung - oder: Der steinige Weg, Unterricht zu verändern. Unterrichtswissenschaft, 32(3), 196–214. https://doi.org/10.25656/01:5813

Hitlin, S., & Pinkston, K. (2013). Values, Attitudes, and Ideologies: Explicit and Implicit Constructs Shaping Perception and Action. In J. DeLamater & A. Ward (Hrsg.), Handbook of Social Psychology (S. 319–339). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6772-0_11

Kiesler, C. A., Collins, B. E., & Miller, N. (1969). Attitude change: A critical analysis of theoretical approaches. Wiley.

Kollmann, T. (1998). Akzeptanz innovativer Nutzungsgüter und -systeme. Gabler Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-663-09235-3

Lucke, D. (1995). Akzeptanz. VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-663-09234-6

Maio, G. R., Olson, J. M., Bernard, M. M., & Luke, M. A. (2003). Ideologies, Values, Attitudes, and Behavior. In J. Delamater (Hrsg.), Handbook of Social Psychology (S. 283–308). Kluwer Academic/Plenum Publishers. https://doi.org/10.1007/0-387-36921-X_12

Schrader, J., & Hasselhorn, M. (2020). Implementationsforschung im Bildungsbereich. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 23(1), 1–8. https://doi.org/10.1007/s11618-020-00929-x

Triandis, H. C. (1975). Einstellungen und Einstellungsänderungen. Beltz Verlag.

Paula Becker[1]
Andrea Westphal[2]
Annelie Schulze[2]
Hilke Schulz[2]
Peter Wulff[1]

[1] Pädagogische Hochschule Heidelberg
[2] Universität Greifswald

Young Scientists for Future
Mit Klimaphysik junge Frauen für Physik begeistern

Motivation

Fundierte Kompetenzen in MINT-Fächern wie Physik sind essenziell, um den großen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts effektiv zu begegnen (Pennycook et al., 2023). Diese globalen Probleme erfordern fundiertes wissenschaftliches Verständnis und innovative Lösungsansätze, die nur durch eine breite gesellschaftliche Teilhabe in den besonders innovationstreibenden MINT-Berufen gewährleistet werden können (vgl. BMBF-Förderlinie MissionMINT). Dem stehen anhaltende Disparitäten gegenüber: Mädchen und Frauen interessieren sich im Vergleich zu Männern weniger für Physik (Welberg et al., 2023) und schlagen immer noch deutlich seltener ein Studium in diesem Bereich ein (Statistisches Bundesamt, 2024). Obwohl es eine Vielzahl an Initiativen gibt, die sich diesem Problem annehmen, bleiben diese bislang hinter den Erwartungen zurück.

Die langjährige Forschung zu diesem Thema konnte verschiedene Faktoren identifizieren, die einen Einfluss auf den physikbezogenen Gender bzw. Diversity Gap haben und macht die Vielschichtigkeit der Problematik sowie der Handlungsoptionen sichtbar. *„Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Fähigkeit, mädchengerecht zu unterrichten, durch Unterrichtskonzepte und Lehrertrainings nicht vermittelt werden konnte. […] Die Effekte werden offenbar nur im Zusammenspiel verschiedener Maßnahmen deutlich“* (Wodzinski, 2010). Hier setzt unser Forschungsprojekt an: Im Rahmen der BMBF-Förderlinie „MissionMINT: Frauen gestalten Zukunft“ wurde, ausgehend von bisherigen Erkenntnissen zu gendersensiblem Physikunterricht, eine außerschulische Projektwoche als ein gezielt geplantes ‚Zusammenspiel verschiedener Maßnahmen‘ für Schülerinnen ab 17 Jahren zum Thema Klimaphysik entwickelt. Ziel der begleitenden Studie ist es, systematisch zu untersuchen, inwieweit eine solche Intervention dazu beitragen kann,

- die physikbezogene Selbstwirksamkeit und das physikbezogene Interesse zu erhöhen,
- die Studienintention für den MINT-Bereich zu stärken,
- das Zugehörigkeitsgefühl zu Physik(lern-)umgebungen zu verbessern,
- physikbezogenes Fachwissen zum Klimawandel zu fördern.

Erkenntnisse bisheriger Forschung zu Gender Disparitäten in Physik

Die Forschung zum Gender Gap in der Physik liefert Hinweise, dass dieser auf ein komplexes Gefüge aus psychologischen, sozialen und kulturellen Faktoren zurückzuführen ist. Im Folgenden sollen verschiedene Konstrukte umrissen werden, die im Zusammenhang mit einer vertieften Auseinandersetzung mit einem Fach stehen und für die Unterschiede zwischen den Geschlechtern gefunden wurden.

Fachspezifische Erfolgserwartungen und Wertüberzeugungen von Schülerinnen in der Sekundarstufe spielen eine zentrale Rolle für die Aufnahme und den Verbleib in MINT-Karrieren (Eccles & Wigfield, 2020). Dabei manifestieren sich Differenzen: Mädchen interessieren sich weniger für physikalische Themen, nehmen Physik als weniger nützlich wahr und zweifeln stärker daran, physikbezogene Anforderungen mit ihren eigenen Fähigkeiten bewältigen zu können (Marshman et al., 2018). Diese geringe Selbstwirksamkeitserwartung wird dadurch verstärkt, dass Mädchen häufiger ein *Fixed Mindset* entwickeln, also glauben, dass ihre physikbezogenen Fähigkeiten wenig veränderbar seien (Goldhorn et al., 2023). Hinzu kommt der sogenannte *stereotype threat*, d. h. die Angst, gängigen Stereotypen (z. B. Assoziationen zu Physiker:innen als unbeliebt und wenig integriert (Kessels, 2005)) zu entsprechen (Avraamidou, 2022), der bei Mädchen besonders stark ausgeprägt zu sein scheint (Rabe, 2018). Dies geht auch mit kulturell tradierten Geschlechterrollen einher, welche u. a. dazu führen, dass Jungen und Mädchen in MINT-Bereichen unterschiedlich gefördert und bestärkt werden (Oppermann et al., 2020). Aufgrund der bestehenden Disparitäten gibt es zudem weniger weibliche Vorbilder, mit denen sich Schülerinnen positiv identifizieren könnten. Auch das Zugehörigkeitsgefühl zu physikspezifischen Lern- und Arbeitsumgebungen steht im Zusammenhang damit, wie Jugendliche ihre Person (langfristig) mit dem Fach in Verbindung setzen (Hazari et al., 2020), wobei sich Mädchen tendenziell weniger mit der Fachkultur der Physik identifizieren (Heinicke, 2019).
Aus diesen Befunden lassen sich Ansatzpunkte für die Gestaltung einer Praxismaßnahme zur Förderung von Einstellungen junger Frauen zu Physik ableiten, die bei der Entwicklung der Projektwoche You-Scie-MINT berücksichtigt wurden.

Gestaltung der Praxismaßnahme You-Scie-MINT

Als Kontext der Intervention wurden die Themen Umwelt und Klimaphysik gewählt, da diese Studien zufolge von Schülerinnen als besonders sinnstiftend wahrgenommen werden (Kressdorf et al., 2022). Die Behandlung von physikalischen Inhalten im Zusammenhang aktueller Klimawandelfragen hat somit das Potenzial, erfahrbar zu machen, wie Physik im Lebenskontext der Schülerinnen relevant wird.
Die Selbstwirksamkeit kann, gemäß der sozial-kognitiven Theorie, durch eigene und stellvertretende Erfolgserlebnisse positiv beeinflusst werden (Bandura, 1997). Dies wird durch handlungsorientierte, kooperative Instruktionsformen unterstützt (Wulff et al., 2021). Zentrales Element der Projektwoche You-Scie-MINT ist aus diesem Grund, die Durchführung eines eigenen Forschungsprojekt. Dazu finden die Teilnehmerinnen in Gruppen eine eigene Forschungsfrage, planen Experimente, erheben mit Sensoren Messwerte, werten sie in Python aus und interpretieren sie im Kontext von Handlungsmöglichkeiten in der Klimakrise. Die authentische Forschungssituation, der hohe Öffnungsgrad und das selbstbestimmte Thema stärken die empfundene Sinnhaftigkeit des Tuns. Damit die Arbeit als herausfordernd und gleichzeitig erfolgreich bewältigbar erlebt wird, werden die Schülerinnen durch gezieltes *Scaffolding* und positive, fähigkeitsbezogene Rückmeldungen von möglichst authentischen Rolemodels und Peers unterstützt (Ullrich et al., 2024). Die Schülerinnen werden von Physikstudentinnen betreut und in der Durchführung stereotypischer Handlungen bestärkt und kommen zudem mit erfahrenen Wissenschaftlerinnen in Kontakt, die nahbar von ihrem Leben berichten. Diese Begegnungen sollen den Teilnehmerinnen helfen, stereotype Vorstellungen zu hinterfragen und durch die stellvertretenden Erfolgserlebnisse eine Identifikation mit der Physik zu begünstigen (Bandura, 1997). Die öffentliche Posterpräsentation am Ende der

Projektwoche bietet zudem eine Plattform, um die eigene Leistung vor (Fach-)Publikum sichtbar zu machen und dadurch das Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten weiter zu stärken.
Eine weitere zentrale Komponente liegt in der Identitätsarbeit: Durch Selbstreflexionen und soziale Interaktionen während der Projektwoche setzen sich die Teilnehmerinnen mit ihrem eigenen Selbstverständnis auseinander (Rabe, 2018). Dadurch soll eine Umgebung geschaffen werden, in der die Teilnehmerinnen ihre Selbstwirksamkeitserwartung stärken und ein höheres Zugehörigkeitsgefühl entwickeln können.

Forschungsmethoden

Die Evaluation der Praxismaßnahme erfolgt mittels Fragebögen. Um die Prozesshaftigkeit von Konstrukten, wie der Entwicklung physikbezogener Selbstwirksamkeit, Interessen und Studienintention, zu berücksichtigen, wird Fragebogen 1 an vier Zeitpunkten erhoben: Die Schülerinnen erhalten in der Projektwoche eine Befragung zur Prä- (zu Beginn der Projektwoche) und zur Postmessung (zum Ende der Projektwoche). Eine erste Follow-Up-Messung erfolgt drei Wochen nach der Prämessung. Ein Jahr nach der Intervention wird eine zweite Follow-Up-Messung durchgeführt. Es werden bereits validierte Skalen eingesetzt, die Abbildung 1 entnommen werden können. Um genauere Einblicke in die Abläufe während des Seminars zu bekommen, werden mit einem zweiten Fragebogen tagesaktuelle Befragungen an den ersten drei Projekttagen durchgeführt.
Bislang wurden zwei Projektwochen mit N = 14 Schülerinnen an der Universität Greifswald durchgeführt. Zwei weitere Interventionen in Heidelberg und Wismar sind für das Frühjahr 2025 geplant. Zum Vergleich werden zusätzlich Kontrollmessungen mit Schüler:innen aus Mecklenburg-Vorpommern erfasst.

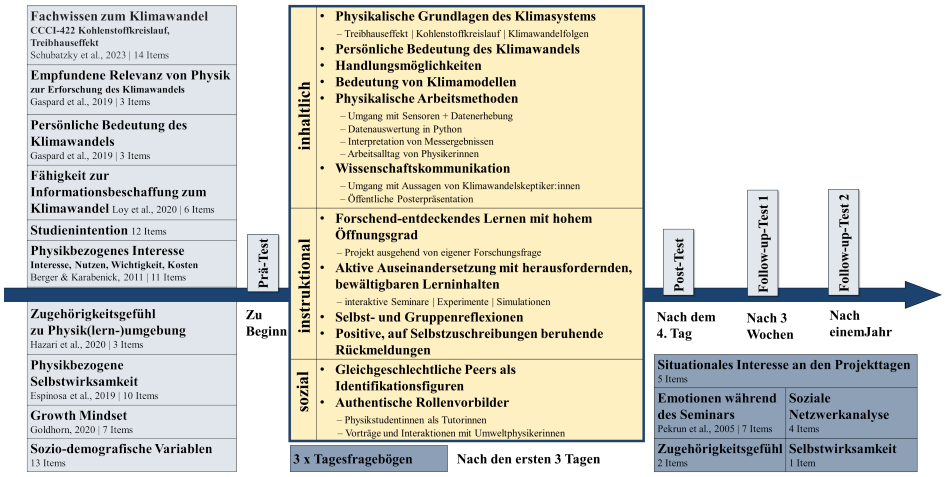


Abb. 1: Erhobene Konstrukte und Design der Studie

Literatur

Avraamidou, L. (2022). Identities in/out of physics and the politics of recognition. *Journal of Research in Science Teaching*, *59*(1), 58–94. https://doi.org/10.1002/tea.21721

Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control* (604). W.H. Freeman & Co.

Eccles, J. S., & Wigfield, A. (2020). From expectancy-value theory to situated expectancy-value theory: A developmental, social cognitive, and sociocultural perspective on motivation. *Contemporary Educational Psychology*, *61*, 101859. https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2020.101859

Goldhorn, L., Wilhelm, T., & Spatz, V. (2023). Growth Mindset In Physics: Students' Beliefs About Learning Physics in Middle School And How To Foster A Subject Specific Growth Mindset. *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, *31*(4). https://doi.org/10.30722/IJISME.31.04.002

Hazari, Z., Chari, D., Potvin, G., & Brewe, E. (2020). The context dependence of physics identity: Examining the role of performance/competence, recognition, interest, and sense of belonging for lower and upper female physics undergraduates. *Journal of Research in Science Teaching*, *57*(10), 1583–1607. https://doi.org/10.1002/tea.21644

Heinicke, S. (2019). Physikunterricht aus Perspektive von Mädchen – und Jungen. In D. Duchardt, A. B. Bossmann, & C. Denz (Hrsg.), *Vielfältige Physik: Wissenschaftlerinnen schreiben über ihre Forschung* (S. 27–40). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58035-6_3

Kessels, U. (2005). Fitting into the stereotype: How gender-stereotyped perceptions of prototypic peers relate to liking for school subjects. *European Journal of Psychology of Education*, *20*(3), 309–323. https://doi.org/10.1007/BF03173559

Marshman, E. M., Kalender, Z. Y., Nokes-Malach, T., Schunn, C., & Singh, C. (2018). Female students with A's have similar physics self-efficacy as male students with C's in introductory courses: A cause for alarm? *Physical Review Physics Education Research*, *14*(2), 020123. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.020123

Oppermann, E., Keller, L., & Anders, Y. (2020). Geschlechtsunterschiede in der kindlichen MINT-Lernmotivation: Forschungsbefunde zu bestehenden Unterschieden und Einflussfaktoren. *Diskurs Kindheits- und Jugendforschung / Discourse. Journal of Childhood and Adolescence Research*, *15*(1), Article 1. https://www.budrich-journals.de/index.php/diskurs/article/view/34933

Pennycook, G., Bago, B., & McPhetres, J. (2023). Science beliefs, political ideology, and cognitive sophistication. *Journal of Experimental Psychology. General*, *152*(1), 80–97. https://doi.org/10.1037/xge0001267

Rabe, T. (2018). Identitätsaushandlungen zu Physik als Aspekt naturwissenschaftlicher (Grund)Bildung? *Gesellschaft der Didaktik der Chemie und Physik*, *Jahrestagung in Kiel 2018*, 25–39.

Statistisches Bundesamt. (2024, August 6). https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=21311-0003&bypass=true&levelindex=0&levelid=1722932430392#abreadcrumb

Ullrich, R., Becker, M., & Scharf, J. (2024). Gender effects in education revisited: Geschlechterrollen, instrumentelle und expressive Eigenschaften sowie motivationale Faktoren für die MINT-Leistungskurswahl. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*. https://doi.org/10.1024/1010-0652/a000387

Welberg, J., Laumann, D., & Heinicke, S. (2023). Die (Ab-)Wahl von Physik und Zusammenhänge zu Fachinteresse und Brain Type der Lernenden. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1357

Wodzinski, R. (2010). Mädchen, Frauen und Physik – wie kann Unterricht Einfluss auf das Interesse von Mädchen an Physik nehmen? In D. Kröll (Hrsg.), *«Gender und MINT» Schlussfolgerungen für Unterricht, Beruf und Studium: Bd. Tagungsband*. Kassel University Press GmbH. https://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-974-0.volltext.frei.pdf

Wulff, P., Petersen, S., Keller, M., Borowski, A., & Neumann, K. (2021). Förderung von Schülerinnen in naturwissenschaftlichen Enrichmentprogrammen – Evaluation eines Förderangebotes im Rahmen der PhysikOlympiade. In R. Lazarides & D. Raufelder (Hrsg.), *Motivation in unterrichtlichen fachbezogenen Lehr-Lernkontexten: Perspektiven aus Pädagogik, Psychologie und Fachdidaktiken* (S. 389–426). Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-31064-6_14

Julia Hädrich[1]
Linus Bräumer[1]
Rita Wodzinski[1]

[1]Universität Kassel

Artikel-Memory zum Klimawandel
Ergebnisse einer Unterrichtserprobung

Motivation

Schüler:innen sind im Internet einer enormen Informationsflut ausgesetzt, die sowohl zuverlässige als auch fehlerhafte Informationen enthält. Die Aufgabe der Einschätzung von Inhalten hinsichtlich ihrer Glaubwürdigkeit fällt ohne sogenannte Gatekeeper zunehmend auf das Individuum zurück (Höttecke & Allchin, 2020). Auch wenn 56% der 12-19jährigen im Rahmen der JIM-Studie angeben, Fake News im Internet bereits begegnet zu sein (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (mpfs), 2022b), bleibt unklar, inwieweit sie in der Lage sind, Fake News als Falschinformation klar zu erkennen.
Schule kann einen Beitrag zur Sensibilisierung für Fake News und einen angemessenen Umgang mit diesen leisten. Besonderer Unterstützungsbedarf besteht dabei bei den 12- bis 13-Jährigen (mpfs, 2022a).

Theoretischer Rahmen

Zur Einschätzung der Glaubwürdigkeit von Informationen schlagen Höttecke und Allchin (2020) vor, sich am Vorgehen und den Methoden ausgewählter Expert:innengruppen wie Wissenschaftler:innen oder Journalist:innen zu orientieren (Höttecke & Allchin, 2020). Dabei lassen sich zwei grundlegende Strategien der Einschätzung identifizieren: der Bezug auf vorhandenes Hintergrundwissen oder ein Vertrauensurteil.
Die erste Strategie erlaubt eine Einschätzung der Glaubwürdigkeit von Informationen auf inhaltlicher Ebene, fordert jedoch ein hohes Maß fachlicher Kenntnisse zum Inhalt. Besonders für Lernende ist dies häufig nicht möglich, sodass es geeigneter ist, auf ein Vertrauensurteil auszuweichen (vgl. Zilz & Höttecke, 2022). Dabei werden beispielsweise die Autor:innen, das Medienformat oder die Webseite betrachtet, um die Vertrauenswürdigkeit des Inhalts zu einschätzen zu können (ebd., 2022).
Zur vereinfachten Handhabung dieses Vertrauensurteils können kriteriengeleitete Werkzeuge wie der CRAAP-Test (Blakeslee, 2004) herangezogen werden. Der Test eignet sich dabei besonders für die Einschätzung von Online-Artikeln und ähnlichen längeren textbasierten Formaten. Als relevante Kriterien sind die Aktualität, Relevanz, Autorität, Genauigkeit und Absicht festgehalten, die zusätzlich mit Impulsfragen unterstützt werden. Wurde der CRAAP-Test durchlaufen, liegt eine Vielzahl an Argumenten vor, die eine begründete Einschätzung der Glaubwürdigkeit und Vertrauenswürdigkeit des Inhaltes zulassen (vgl. ebd., 2004).
Zentrale Kompetenzen, die für eine solche Einschätzung der Glaubwürdigkeit und einen kritischen-reflexiven Medienumgang notwendig sind, werden im Dutch Media Literacy Competency Model (Netzwerk Mediawijsheid, 2021b) festgehalten. Dieses schlägt acht Kompetenzen für einen effektiveren Medienumgang vor und formuliert zehn Lebensbereiche, in denen sich über Medien informiert wird (vgl. ebd., 2021b). Das Modell strukturiert diese medienbezogenen Kompetenzen zusätzlich in fünf Niveaustufen, die eine präzisere Einschätzung dahingehend erlauben, wie stark diese Fertigkeiten individuell ausgeprägt sind (vgl. ebd., 2021a).

Das Artikel-Memory

Das Artikel-Memory beschreibt eine Unterrichtsmethode, mit der im Rahmen des Physikunterrichts ein Beitrag zur Sensibilisierung für Fake News und der Förderung der Media Literacy geleistet werden kann. Sie zeichnet sich dadurch aus, dass die Lernenden sich selbstständig mit realen Artikeln auseinandersetzen. Durch das Kontrastieren glaubwürdiger und unglaubwürdiger Inhalte identifizieren sie Kriterien, die eine begründete Einschätzung der Glaubwürdigkeit ermöglichen z. B. hinsichtlich des Autors oder der Aktualität.

Verortet in der Wärmelehre der Klasse 7/8 erweitern die Schüler:innen ihre Lesekompetenz, indem sie mit verschiedenen Internetartikeln zum Klimawandel arbeiten. Sie fördern weiterhin durch die kriteriengeleitete Beurteilung der Glaubwürdigkeit und der Arbeit mit Quellen ihre Kompetenzen im Bereich der Bewertung und der Kommunikation.

Unterrichtseinstieg

Zur Motivation der Auseinandersetzung mit Fake News können aktuelle Nachrichten oder fehlerhafte Meinungen zum Klimawandel präsentiert und diskutiert werden.

Artikel-Memory I

Die erste Hälfte des Unterrichts verfolgt das Ziel, die Lernenden für das Thema „Fake News" zu sensibilisieren. In einer ersten Problematisierungsphase wird dafür zunächst die Kontroversität des Themas Klimawandel z. B. durch widersprüchliche Aussagen von Politikern aufgezeigt. Daraus wird die Relevanz der Beurteilung der Glaubwürdigkeit von Informationen abgeleitet. In der anschließenden Erarbeitungsphase arbeiten die Lernenden in Kleingruppen mit verschiedenen Inhalten sowohl von glaubwürdigen als auch von unglaubwürdigen Webseiten, die ihnen auf Karten zur Verfügung gestellt werden. Sie erhalten die Aufgabe, diese Inhalte hinsichtlich ihrer Glaubwürdigkeit auf Grundlage ihres Hintergrundwissens begründet einzuschätzen. Die Identifikation entsprechender Einschätzungskriterien wird den Lernenden Schwierigkeiten bereiten, weshalb ihre Aufmerksamkeit auf die Webseiten, auf denen die Informationen publiziert wurden, gelenkt wird. Die Quellen werden als separate Textkarten zur Verfügung gestellt und müssen von den Schüler:innen nun den Texten passend zugeordnet werden. Es wird herausgearbeitet, dass das aktuelle Wissen noch immer nicht für eine zufriedenstellende Bewertung ausreicht.

Artikel-Memory II

Aufbauend auf den Erkenntnissen der Erarbeitungsphase liegt das Ziel der zweiten Unterrichtshälfte nun in der Identifikation von Kriterien, die eine Einschätzung ermöglichen. Die zuvor festgestellte Wissenslücke dient der Motivation der zweiten Arbeitsphase. Dort haben sie Zeit, selbstständig im Internet beispielsweise zusätzliche Informationen zu den Webseiten oder den Autor:innen zu recherchieren, die eine begründete Beurteilung der Artikel zulassen. Die gefundenen Kriterien zur Beurteilung der Glaubwürdigkeit werden an der Tafel gesammelt.

Vertiefung

Die Kriterien aus der letzten Unterrichtsphase können bereits bei der Sammlung durch die Lehrperson mit Blick auf die fünf Aspekte des CRAAP-Tests vorstrukturiert werden. Dies unterstützt die Akzeptanz der abschließend benannten CRAAP-Aspekte und des Werkzeuges.

Ergebnisse einer Unterrichtserprobung

Aufbauend auf einer qualitativen Interviewstudie mit Lehrkräften (Hädrich &Wodzinski, 2024) wurde die Unterrichtsmethode in der dargestellten Struktur im Physikunterricht einer 8.

Klasse eines hessischen Gymnasiums (N = 25; Alter: = 13,96 (SD = 0,62)) erprobt. Zur Erfassung erster Ergebnisse zur Förderung der Media Literacy wurde ein Fragebogen entwickelt, der vor und nach der Intervention von den Lernenden ausgefüllt wurde. Innerhalb des Fragebogens haben die Schüler:innen die Aufgabe, verschiedene Aussagen über zwei Artikel zum Thema CO_2-Ausgleich auf einer 5-stufigen Likert-Skala zu bewerten. Dabei wird ihnen mit Inhalten des WWF und Shell auch hier jeweils ein eher glaubwürdiger und unglaubwürdiger Artikel präsentiert. Die Lernenden geben im Fragebogen unter anderem an, für wie glaubwürdig sie den Artikel und getroffene Aussagen halten und inwiefern sie den Inhalt weiterempfehlen würden. Die Äußerungen, zu denen sie sich positionieren sollen, beziehen sich dabei auch verschiedene Kompetenzen des Dutch Media Literacy Competency Models. Im Post-Fragebogen wurden ergänzend Fragen zur Einschätzung der Unterrichtsstunde gestellt.
Aufgrund der kleinen Stichprobe bleiben signifikante Effekte in der Entwicklung der Media Literacy weitgehend aus. Es lassen sich jedoch hinsichtlich einzelner Items Veränderungen zu einem kritischeren Umgang mit den Artikeln erkennen. So ist einerseits das Vertrauen der Befragten in die Aussagen des Shell-Artikels gesunken (d_{cohens} = - 0,96). Andererseits schreiben sie dem Artikel des WWF einen höheren Wahrheitsgehalt zu (d_{cohens} = 0,82). Diese Entwicklungen deuten darauf hin, dass die Autorität, hier die dahinterstehende Webseite, sowie die Absicht des Inhalts als relevantes Kriterium identifiziert und entsprechend als glaubwürdig eingeschätzt wurde. Die Ergebnisse zeigen weiterhin, dass die Stunde insgesamt als interessant und motivierend eingeschätzt wurde.
Ergänzend zu den Daten des Fragebogens liefern Unterrichtsbeobachtungen, eine Nachbesprechung mit der Klasse und einem Interview mit der Lehrperson einen qualitativen Eindruck darüber, wie die Unterrichtsmethode von den Lernenden und der Physiklehrkraft wahrgenommen wurde. Aus dem Unterrichtsgespräch und Aussagen der Lehrperson lässt sich erkennen, dass der Begriff der Glaubwürdigkeit für die Lernenden weitegehend noch nicht fassbar ist. So haben sie Schwierigkeiten damit, die Verwendung von Fachbegriffen und Fremdwörtern in den Artikeln zu reflektieren. Sie sehen eine Vielzahl unbekannter Fachbegriffe als ein direktes Merkmal von Glaubwürdigkeit. Zudem erfolgt die Bewertung der Lernenden in der Regel intuitiv, und entsprechende Begründungen bleiben weitgehend aus. Sie erkennen jedoch die Bedeutung der Autor:innen bei der Überprüfung der Glaubwürdigkeit und legen selbstständig einen großen Wert auf solche Informationen. Im Rahmen der Unterrichtsstunde und der Nachbesprechung eine Woche später zeigte sich, dass die Schüler:innen die Aspekte des CRAAP-Tests selbstständig erfassen und in diesem zeitlichen Rahmen auch behalten konnten. Das Interview mit der Lehrkraft konnte die Ergebnisse aus der ursprünglichen Interviewstudie bestätigen. Die Lehrkraft gibt jedoch an, dass das Niveau der Artikel zum Teil zu anspruchsvoll ist und sieht im Rahmen des kritischen Medienumgangs und der Vereinfachung der Inhalte großes Potential in der Betrachtung von Diagrammen, wie Temperaturentwicklungen.

Zusammenfassung und Ausblick

Die ersten Ergebnisse deuten auf eine positive Entwicklung der Media Literacy der Lernenden hin und bestärken eine weitere Auseinandersetzung mit der Unterrichtsmethode. Unter Berücksichtigung der Komplexität der ausgewählten Artikel kann die Untersuchung mit größerer Stichprobe wiederholt werden. Auch die Untersuchung der Methode an anderen gesellschaftlichen Kontexten der Physik (z. B. Energie) erscheint gewinnbringend.

Literatur

Blakeslee, S. (2004). The CRAAP Test. LOEX Quarterly, 31(3). Verfügbar unter: https://commons.emich.edu/loexquarterly/vol31/iss3/4.

Hädrich, J. & Wodzinski, R. (2024). Kritisches Denken fördern – Artikel-Memory zum Klimawandel. In: van Vorst, H. (Hrsg.), Frühe naturwissenschaftliche Bildung. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Hamburg 2023 (Bd. 44, S. 330–333). Essen: Universität Duisburg-Essen.

Höttecke, D. & Allchin, D. (2020). Reconceptualizing nature-of-science education in the age of social media. Science Education, 104(4), 641–666. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1002/sce.21575.

Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (Hrsg.) (2022a). JIMplus 2022. Fake News und Hatespeech. Verfügbar unter: https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/JIMplus_2022/JIMplus_Charts_2022_fuer_Website_pdf.pdf.

Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (Hrsg.) (2022b). JIM-Studie 2022. Jugend, Information, Medien. Verfügbar unter: https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2022/JIM_2022_Web_final.pdf.

Netzwerk Mediawijsheid (Hrsg.). (2021a). Mediawijsheid Competentiemodel. Verfügbar über: https://netwerkmediawijsheid.nl/kennis-tools/competentiemodel/.

Netzwerk Mediawijsheid (Hrsg.). (2021b). The Dutch Media Literacy Competency Model 2021. Verfügbar über: https://netwerkmediawijsheid.nl/wp-content/uploads/2021/11/The-Dutch-Me-dia-Literacy-Competency-Model-2021.pdf.

Zilz, K. & Höttecke, D. (2022). Wer ist vertrauenswürdig? Unterricht Chemie, 2022(192), 16–21. https://doi.org/10.5555/uc-192-2022_03.

Antonio Rueda[1] [1]Universität Potsdam
Andreas Borowski[1]

Strukturierung der Lernprozesse zu kontroversen Themen der Klimaphysik

Einleitung

Die aktuellen Bildungsstandards der Sekundarstufe I im Fach Physik betonen verstärkt die gesellschaftliche Dimension des Faches. Sie legen dabei u.a. Wert auf die Förderung von Bewertungskompetenzen mit fachlichen und überfachlichen Kriterien. Die didaktische Gestaltung von Lernprozessen für kontroverse Themen, welche solche überfachlichen Kriterien benötigen, ist im Physikunterricht bislang wenig erforscht und wird in diesem Beitrag thematisiert.

Theoretischer Hintergrund

Standards und Lernziele

Besonders in den Bereichen der Bewertungskompetenz – und der Kommunikationskompetenz – zeigt sich die Notwendigkeit einer überfachlichen Urteilsbildung. Lernziele wie (i) die Überprüfung der Vertrauenswürdigkeit von Quellen, (ii) die Förderung der Argumentationsfähigkeit und (iii) die Abwägung naturwissenschaftlicher, ökonomischer und sozialer Aspekte im Kontext nachhaltiger Entscheidungen sollen künftig im Physikunterricht stärker angestrebt werden. Zudem eröffnen Themen wie der fachgerechte Umgang mit Klimamodellen und das Bewusstsein für den anthropogenen Treibhauseffekt neue Gestaltungsmöglichkeiten im Physikunterricht (KMK 2024). Diese neuen Zielsetzungen erfordern passende, zeitgemäße didaktische Ansätze.

Strukturierung von Lernprozessen im Physikunterricht

Oser und Baeriswyl (2001) schlugen 12 sogenannte Basismodelle für die Gestaltung der Tiefenstruktur unterschiedlicher Unterrichtsprozesse vor. Diese Modelle basieren auf verschiedenen Lernzielen und umfassen entsprechende Phasen des Lehrens und Lernens. Reyer (2004) zeigte auf, dass sich drei dieser Basismodelle – Konzeptbildung (KB), Lernen durch eigene Erfahrung (LdE) und Problemlösen (PL) – besonders gut für den Physikunterricht eignen. Die Lernzieltypen dieser Basismodelle konzentrieren sich auf die Erklärung von Konzepten, den Aufbau fachspezifischer Erfahrungen und den hypothesengeleiteten Umgang mit Problemstellungen. Diese innerphysikalischen Lernziele lassen sich dem Bereich der Sachkompetenz bzw. der Erkenntnisgewinnung zuordnen. Die Kompetenzbereiche der Bewertung und Kommunikation hingegen zielen auf andere Entwicklungs- und Lernprozesse ab, wie etwa die Abwägung von mehrperspektivischen, gültigen Argumenten (KMK 2024). Eine Analyse der übrigen neun Oser-Basismodelle zeigt, dass die Bewertungskompetenz durch andere Lernzieltypen sowie durch entsprechende Handlungskettenschritte gefördert werden kann. Vier dieser Modelle eignen sich besonders gut für weiterführende Untersuchungen, wie in der folgenden Tabelle anhand der Lernzieltypen und Kurzbeschreibungen deutlich wird. Die daraus resultierenden Lernhandlungen, die sich ebenfalls aus den entsprechenden Handlungskettenschritten ableiten lassen (Oser & Baeriswyl 2001), fördern u. a. die Auseinandersetzung mit Konflikten und die Nutzung von Informationen zur diskursiven Entwicklung und Reflexion von Kriterien in komplexen Zusammenhängen.

Entwicklung als Ziel der Bildung (EZB) *Lernzieltyp*: Transformation einer Tiefenstruktur z. B. ein moralisches Urteil *Kurzbeschreibung*: Das Modell erzielt eine Entwicklungsförderung nach der Konfrontation mit einem Konflikt.	**Konstruktion eines gelebten Wertesystems (W)** *Lernzieltyp*: Werteklärung, Werteentwicklung, kritische Werteanalyse *Kurzbeschreibung*: Wert- und Identifikationsaufbau durch die Nutzung von Reflexion der Wertehierarchien und von Partizipation an gesellschaftlichen Entscheidungs- und Umsetzungsprozessen.
Hypertextuelles Lernen (HL) *Lernzieltyp*: Neuordnung und Neubewertung von Informationsfragmenten *Kurzbeschreibung*: Lernen von Übersichten, indem Informationsteile recherchiert und miteinander kombiniert werden.	**Lernen durch realistische Diskurse (LrD)** *Lernzieltyp*: Konfliktlösung, Bedürfnis nach Ausgleich *Kurzbeschreibung*: Die Fähigkeit durch direkte soziale Interaktion Konflikte zu lösen.

Forschungsfrage

Aus den theoretischen Grundlagen ergibt sich die zentrale Forschungsfrage: Inwieweit decken die bereits erprobten Basismodelle (Konzeptbildung, Lernen durch eigene Erfahrung und Problemlösen) Lernprozesse im Umgang mit kontroversen überfachlichen Themen ab?

Methodisches Vorgehen

Für die empirische Untersuchung wurden (a) N = 7 beispielhafte Lernziele auf Grundlage der Standards zur Bewertung für die Sekundarstufe I zur Klimaphysik formuliert und (b) N = 13 bereits vorhandene Lernaufgaben bzw. Aktivitäten zur Klimaphysik ausgewählt. Die Lernaufgaben stammten aus Klimawandel-Schule.de (N = 8) (Klimawandel 2023), die IQB-Aufgaben zur Bewertungskompetenz (N = 3) (IQB o. J.), LehrplanPLUS Bayern (N = 1) (LehrplanPlus 2024) und der Orientierungsrahmen für den Lernbereich globale Entwicklung (N = 1) (Schreiber & Siege 2016, S. 344 ff.). Die Auswahl basierte auf der kontextualisierten Thematisierung relevanter Konzepte der Klimaphysik mithilfe strukturierter Teilaufgaben.
In der Teiluntersuchung (a) wurden die formulierten Lernziele den Lernzieltypen der Basismodelle zugeordnet. In der Teiluntersuchung (b) wurden zunächst die Lernziele der Lernaufgaben wie in (a) kodiert, anschließend wurden die Teilaufgaben der Lernaufgaben mit den Handlungsschritten der Basismodelle inhaltsanalytisch verglichen. Die Reliabilität der Kodierung wurde überprüft und es ergab sich die Notwendigkeit einer Konsenskodierung.

Ergebnisse

(a) Zur Kodierung der standardbasierten Lernziele

Lernziel	***Standard***	***Basismodelle***
1. prüfen Äußerungen zur Wärmepumpe in Politik und Medien hinsichtlich der Schlüssigkeit der verwendeten Bewertungskriterien und Argumentationen;	B 1.1	KB / W
2. bilden sich reflektiert und rational im Kontext der Energiewende ein eigenes Urteil, indem Chancen und Grenzen der Nutzung erneuerbarer Energien analysiert werden;	B 2.1	LrD / EZB
3. reflektieren den eigenen Mobilitätsverhalten in Bezug auf die damit verbundene Produktion von Treibhausgasen und der entsprechenden Klimaerwärmung, sowie bezüglich der sozialen Faktoren;	B 3.1	W / EZB

Die obenstehende Tabelle zeigt einen Ausschnitt der kodierten Lernziele zur Klimaphysik, ihre jeweiligen Standards im Kompetenzbereich der Bewertung sowie die zugeordneten Basismodelle. Die Ergebnisse zeigen, dass die Konzeptbildung (KB) zwei der Lernziele zugeordnet werden konnte. Bei allen Lernzielen wurden entweder die „Entwicklung als Ziel der Bildung“ (EZB) oder die „Konstruktion eines gelebten Wertesystems“ (W) kodiert. Das hypertextuelle Lernen (HL) und das Lernen durch realistische Diskurse (LrD) konnten bei zwei bzw. einem Lernziel zugeordnet werden.

(b) Kodierung der Lernaufgaben und Aktivitäten

Basismodell / *Portal*	**KB**	**LdE**	**PL**	**EZB**	**W**	**HL**	**LrD**
Klimawandel-Schule.de	5	1	-	1	1	-	-
IQB	-	-	-	3	-	-	-
Lernplanplus	-	-	-	-	-	1	-
Orientierungsrahmen	-	-	-	1	-	-	-

In der oben dargestellten Tabelle sind die Kodierungen der ausgewählten Lernaufgaben aus den verschiedenen Portalen zusammengefasst. Jede Aufgabe erhielt dabei eine individuelle Kodierung. Die Mehrheit der Aufgaben des Portals Klimawandel-schule.de (N = 6) wurde den herkömmlichen, bereits erprobten Basismodellen zugeordnet. Die Kodierungen der Lernaufgaben der anderen drei Portale lassen sich hingegen den vier „alternativen“ Basismodellen zuordnen.

Diskussion

Die erste Teiluntersuchung zeigt, dass alle Lernziele im Kompetenzbereich der Bewertung didaktisch mithilfe der alternativen Basismodelle strukturiert werden könnten. Dabei stechen besonders die Basismodelle „Konstruktion eines gelebten Wertesystems“ und „Entwicklung als Ziel der Bildung“ hervor. Die Kodierungen waren jedoch nicht immer eindeutig, was auf die unterschiedliche Gewichtung der Lernziele zurückgeführt werden kann. So könnte beispielsweise das „Prüfen von Kriterien“ sowohl als die Entwicklung eines Urteils als auch – fälschlicherweise – als bloße Anwendung von Konzepten in den Kriterien interpretiert werden.

In der zweiten Teiluntersuchung zeigt sich, dass die Lernziele eines der Portale eher der Sach- und Erkenntnisgewinnungskompetenz zugeordnet werden können, während die drei anderen Portale eine didaktische Struktur aufweisen, die besser zu den alternativen Basismodellen passt. Besonders das Basismodell „Entwicklung als Ziel der Bildung“ tritt hier hervor, da die entsprechenden Aufgaben die Lernenden mit unterschiedlichen Perspektiven konfrontieren, die Entwicklung von Argumentationen fördern und Reflexionsprozesse anstoßen.

Fazit und Ausblick

Die Anwendung der hier vorgestellten alternativen Basismodelle erweist sich als vielversprechend für die Erreichung der normativen Anforderungen bezüglich der Bewertungskompetenz. Lernaufgaben zur Klimaphysik könnten die Kontroversität der aktuellen gesellschaftlichen Herausforderungen aufgreifen und dabei nicht nur die Sach- und Erkenntnisgewinnungskompetenz, sondern insbesondere die Bewertungs- und Kommunikationskompetenz fördern. Solche Unterrichtseinheiten könnten zu einem abwechslungsreicheren und ansprechenderen Physikunterricht beitragen.

Literatur

IQB (o. J.). Bildungsstandards (illustrierende Aufgaben). Abgerufen am 28.09.2024. https://www.iqb.hu-berlin.de/bista/UnterrichtSekII/nawi_allg/physik/

Klimawandel (2023). Klimawandel. Verstehen und handeln. Unterrichtsmodule zu den drei Bereichen. Abgerufen am 27.09.2024. https://klimawandel-schule.de/de/unterrichtsmodule-zu-den-drei-bereichen

KMK (2024). Weiterentwickelte Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Physik (MSA). Abgerufen am 28.09.2024. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2024/2024_06_13-WeBiS_Physik_MSA.pdf

Krabbe, H., Zander, S. & Fischer, H.E. (2015). Lernprozessorientierte Gestaltung von Physikunterricht. Materialien zur Lehrerfortbildung. Münster: Waxmann.

Langlet, J, Eilks, I., Gemballa, S., Heckmann, G., Kunz, A., Lübeck, M., Meisert, A., Menthe, J., Ratzek, J., Wlotzka, P. & Wodzinski, R. (2022). Bewertungskompetenz in den Naturwissenschaften – Denkanstöße, Empfehlungen und Hilfen für den Unterricht und für Aufgaben. Abgerufen am 28.08.2024. https://www.mnu.de/images/publikationen/Bewertungskompetenzen/Bildungsstandards_Bewertungskompetenz.pdf

Leisen, J. (2010). Lernprozesse mithilfe von Lernaufgaben strukturieren. Informationen und Beispiele zu Lernaufgaben im kompetenzorientierten Unterricht. Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 21 (117/118), 9–13.

LehrplanPlus (2024). Ph9 Klima – Rückkopplungen. Abgerufen am 28.09.2024. https://www.lehrplanplus.bayern.de/serviceinformation/l326406

LMU (2023). Klimawandel verstehen und handeln. Abgerufen am 28.09.2024. https://klimawandel-schule.de/de/impressum

Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse.* Grundlagen und Techniken (12., überarbeitete Auflage). Weinheim, Basel: Beltz.

Oser, F. K. & Baeriswyl. F. J. (2001). Choreographies of Teaching: Bridging Instruction to Learning. In Richardson, V. (ed.) Handbook of Research on Teach- ing. Fourth Edition. Washington: American Educational Research Association, pp. 1031-1065.

Schreiber, J.-R. & Siege, H. (2016). Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung. Abgerufen am 28.09.2024. https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2015/2015_06_00-Orientierungsrahmen-Globale-Entwicklung.pdf

Schubatzky, T., Wackermann, R., Wöhlke, C. et al (2023). Entwicklung des Concept-Inventory CCCI-422 zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels. ZfDN 29, 10. https://doi.org/10.1007/s40573-023-00159-8

Martin Gröger[1]
Philipp Spitzer[2]
Volker Heck[1]
Jan Höper[3]

[1]Universität Siegen
[2]Universität Graz
[3]Universität Tromsø

Projekt GlacierXperience Gletscher naturwissenschaftlich erkunden

An Gletschern lassen sich die Auswirkungen des Klimawandels besonders prägnant beobachten. Forschende aus verschiedenen Disziplinen machen schon lange auf den Rückgang der Gletscher aufmerksam (Fischer, Patzelt, Achrainer, Groß, Lieb, Kellerer-Pirklbauer & Bendler, 2018). Doch Schülerinnen und Schüler wissen zumeist nur sehr wenig darüber. Um die Problematik präsenter zu machen, Lernende weiter für Fragen des Klimawandels zu sensibilisieren und ein Angebot für den naturwissenschaftlichen Unterricht zur Gletscherproblematik bereitzustellen, haben wir in dem ERASMUS+-Projekt GlacierXperience (www.glaciereducation.com) eine virtuelle Lernumgebung entwickelt, in der die Problematik Gletscherschmelze am Beispiel zweier Gletscher aus den Blickwinkeln der Chemie, Geographie und Physik beleuchtet wird.
Die frei abrufbare Lernumgebung beinhaltet Modellversuche, Inputs und virtuelle Gletschererlebnisse, die auch im naturwissenschaftlichen Unterricht eingesetzt werden können. Dabei werden auch aktuelle Forschungsbereiche, wie z.B. die durch Auftauen des Permafrostbodens und oder das Schmelzen der Gletscher verursachte Versauerung und Anreicherung von Schwermetallen in Gebirgsgewässern experimentell erschlossen.
Die Lerneinheiten wurden nach dem Ansatz der Didaktischen Rekonstruktion nach Kattmann et al. (Kattmann, Duit, Gropengießer & Komorek, 1997) entwickelt. Dazu wurden zunächst erkundende Exkursionen zu den Gletschern durchgeführt. Anschließend fanden Exkursionen mit Lernenden statt und schließlich wurden die aufbereiteten Ergebnisse auf der Lernplattform mit Schülerinnen und Schülern in der gletscherfernen Region Siegerland bei einem Exkursionstag in die Schülerlabore an der Universität Siegen erprobt.
Neben der inhaltlichen Ausarbeitung fand eine Begleituntersuchung in Form einer Fragebogenstudie statt, in deren Rahmen einige Schülerperspektiven auf den Themenbereich erfasst wurden.

Die Gletscher

Die im Projekt betrachteten Gletscher sind die Dachsteingletscher (Hallstätter Gletscher und Schladminger Gletscher) als alpine Gletscher sowie der Steindalsbreen als Vertreter eines Gletschers jenseits des nördlichen Polarkreises.
Die Dachsteingletscher sind UNESCO Welterbe und touristisch erschlossen. Mit Hilfe einer Seilbahn können Besucher direkt auf den Gletscher gelangen und erhalten so einen leichten Zugang in das Nährgebiet. Experimente sind hier auch gut auf dem Gletscher vor Ort durchführbar.
Der Steindalsbreen ist ein touristisch weniger erschlossener Gletscher. Dennoch ist er für die Lage im nördlichen Skandinavien recht gut zugänglicher. Zu ihm gelangt man über einen gut 6 km langen Wanderweg durch das u-förmige Gletschertal. Man erreicht den Gletscher an seiner Gletscherzunge und damit am Ende des Zehrgebietes. Auf der Wanderung durch das glazial überformte Relief ist es möglich, den Formenschatz mitsamt seinen räumlichen

Phänomenen und Prozesse aufzeigen. Diese bilden die Grundlage für die chemischen und physikalischen Versuche und Experimente.

Experimente

Es wurde versucht eine möglichst große Bandbreite an Versuchen aus Chemie, Physik und Geographie auszuarbeiten. Dabei konnten einige Experimente direkt auf den Gletschern durchgeführt werden, andere wurden als Modellexperimente für die Durchführung im regulären Unterricht konzipiert.

Aus Sicht der Geografie lassen sich das Erosionsgeschehen am Grund des Gletschers und das Fließverhalten von Gletschern untersuchen. Aus eher physikalischer Perspektive wurde z. B. der Zusammenhang zwischen Albedo und Gletscherschmelze untersucht. Dabei machen Aufnahmen mit der Wärmebildkamera deutlich, dass dunkle Oberflächenkörper wie Gesteinsablagerungen z. B. durch Saharastaub stärker erwärmen als helle und so stärker zur Schmelze beitragen können.

Aus chemischer Sicht wurden u. a. zwei neu entwickelte Versuche eingesetzt. Dabei geht es einerseits um Gletscher als Kohlenstoffdioxid-Senke. Hierbei wird dargestellt, wie Gletscherabflüsse Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre durch chemische Verwitterung binden können. Andererseits wird auf den Schwermetallgehalt in Gebirgsbächen eingegangen, da schmelzender Permafrost und der Rückgang von Gletschereis können zu einer Erhöhung der Schwermetallkonzentration in Gebirgsbächen und Seen führen kann. Durch *Acid Mine Drainage* (AMD) z. B. bei der Pyritoxidation wird nämlich der pH-Wert von Gebirgsbächen gesenkt. Schwermetalle werden so leichter aus Mineralien gelöst und erhöhen die Konzentration an Schwermetallionen im Wasser. Dies kann im Modellexperiment am Beispiel von Pyrit und Kupfer gut nachgestellt (Spitzer, Reichmann & Tassoti, 2024) und mit nasschemischen Untersuchungen und Einsatz eines Spektralphotometers genau untersucht werden.

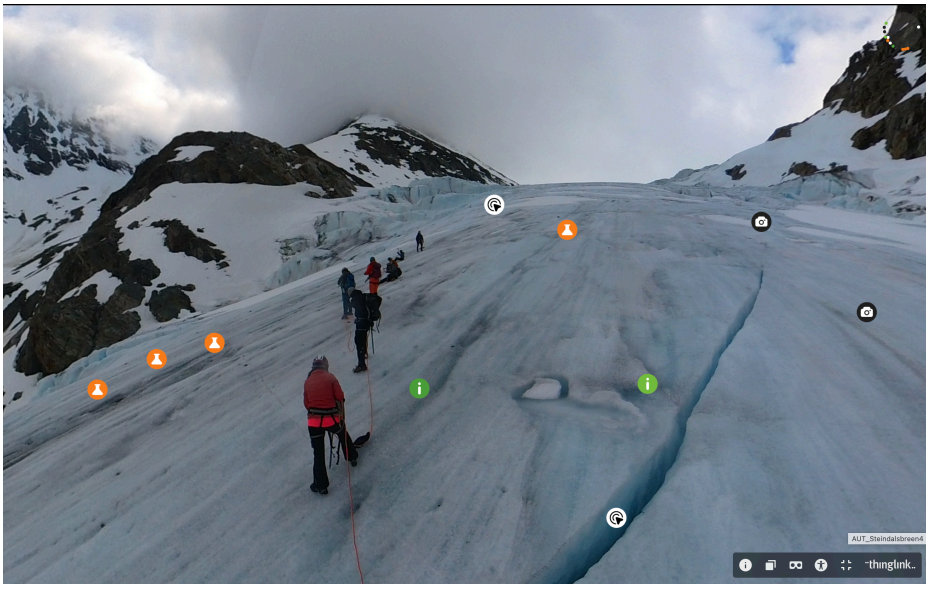


Abbildung 1: Screenshot aus der Lernumgebung

Virtuelle Lernumgebung mit Virtual-Reality-Option

Typischerweise haben Schüler:innen kaum Zugang zu Gletschern. Aus diesem Grund wurde die virtuelle Lernumgebung entwickelt. Die 360°-Lernumgebung vermittelt einen Einblick in alpine und polare Gletscherlandschaften und vermittelt Wissen über Gletscherphänomene. Über die Lernumgebung können zudem Experimente für den Klassenraum aufgerufen werden um diesen Phänomenen auch hier nachgehen zu können. Über eine optionale VR-Option kann die Gletscherumgebung zudem in einer virtuellen Realität betrachtet werden. Durch die Nutzung von WebVR kann die Lernumgebung sowohl auf günstigen VR-Brillen unter Nutzung des eigenen Smartphones als auch mit klassischen VR-Brillen genutzt werden. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit, die Besteigung des nordischen Gletschers mit einer Schülergruppe als 360°-Film in den Unterricht einzubauen.

Begleituntersuchung

Im Rahmen der Exkursionen mit den Schülerinnen und Schüler in Österreich und Norwegen sowie bei der Erprobung in der gletscherfernen Region wurden in Form einer Befragung Schülerperspektiven auf den Themenbereich erfasst. Der Fokus der kurzen Befragung lag auf sowohl allgemein in Medien und im naturwissenschaftlichen Unterricht diskutierten Problemstellungen wie dem Zusammenhang zwischen Gletschern und Klimawandel, als auch weniger sichtbaren Aspekten der Gletscherchemie und Physik. Ausgewählte Fragen wurden als Paper Pencil Befragung in Deutschland mit insgesamt 83 Schülerinnen und Schülern durchgeführt, während eine längere, vergleichende Befragung von zusätzlich mehr als 50 Schülerinnen und Schülern in Norwegen und Österreich durchgeführt und derzeit Teil von noch laufenden Masterarbeiten ist.

Ein noch vorläufiger Blick auf die Ergebnisse zeigt, dass die Lernenden im Wesentlichen nur über basales Faktenwissen zu Gletschern verfügen. Sie sind eher nicht in der Lage, tiefergehende Zusammenhänge zu erkennen. Demgemäß bewerten auch fast die Hälfte der Befragten ihre Vorkenntnisse zu Gletschern nur als *sehr gering*, ein Drittel als *gering* und ein Fünftel als *durchschnittlich* ein. Niemand beurteilte sein Vorwissen als *ziemlich gut* oder *sehr gut*.

Fazit

Es wurde erfolgreich ein Lernangebot entwickelt, das sich in der Erprobung als motivierend erwiesen hat. Die Lernenden interessieren sich trotz weniger Vorkenntnisse für die Problematik und entwickeln viele Fragestellungen. Einige dieser von den Teilnehmenden aufgebrachten Themen werden derzeit in angeschlossenen Master- und Bachelorarbeiten didaktisch vertieft. Weiterhin werden Schülerdiskussionen über die Gletscherbewegungen und Zusammenhänge mit dem Klimawandel in komparativen Studien anhand von Feldinterviews auf dem Gletscher und Tonmitschnitten Interviews zu nachgelagerten Modellversuchen im Klassenraum untersucht. Hierbei zeigt sich der Wert der authentischen Naturerlebnisse auf den Gletschern, aber auch die nachgelagerten Aktivitäten, die als Brücke zum Verständnis der theoretischen Konzepte unabdingbar sind.

Literatur

Fischer, A., Patzelt, G., Achrainer, M., Groß, G., Lieb, G. K., Kellerer-Pirklbauer, A., & Bendler, G. (2018). *Gletscher im Wandel*. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55540-8

Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion—Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *3*(3), 3–18.

Spitzer, P., Reichmann, E., & Tassoti, S. (2024). Acid mine drainage: The link between melting permafrost and heavy metals in mountain lake. *CHEMKON*, ckon.202400027. https://doi.org/10.1002/ckon.202400027

Martina Brandenburger[1]
Martin Schwichow[1]
Simon Warlo[1]

[1]Pädagogische Hochschule Freiburg

Zusammenhang von Vorstellungen und Bereitschaft zum Energiesparen

Einleitung Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE) ist ein fächerübergreifendes Leitziel schulischer Bildung und damit auch Ziel des Physikunterrichts. Ein Ziel der BNE ist es die Lernenden für umweltfreundliches Verhalten zu sensibilisieren und sie zu befähigen die Auswirkungen ihrer Handlungsentscheidungen einzuschätzen.

Theoretischer Hintergrund Umweltfreundliches Verhalten (*pro-environmental behavior*, PEB) umfasst Handlungen, die der Umwelt zugutekommen (z.B. Recyceln) und das Unterlassen von Handlungen, die der Umwelt schaden (z.B. weniger Flugreisen) (Lange & Dewitte, 2019). Hierbei sind drei Strategien für PEB unterscheidbar: 1) gesteigerte Effizienz des Energie- und Ressourcenverbrauchs, 2) Suffizienz (Verzicht), d.h. verringerter Verbrauch von Energie und Ressourcen und 3) Etablierung von Kreislaufwirtschaften (Gräsel, 2009; Kleinhansl, List & Schwichow, im Druck).

Umweltfreundliches Verhalten wird als Personenmerkmal aufgefasst, das Stabilität über verschiedene Kontexte (z.B. Energiesparen) aufweist, das tatsächlich die Umwelt beeinflusst (*impact-oriented*) und welches im privaten Rahmen (*private-sphere*) stattfindet. Hierbei wird oft nur auf Selbstauskunft (*self-report*) zurückgegriffen (für eine Übersicht zur Messung von PEB siehe Lange & Dewitte, 2019). Die hier vorgestellte Untersuchung fokussiert nicht auf der tatsächlichen Häufigkeit von PEB, sondern auf der individuellen Bereitschaft für umweltfreundliches Verhalten beim privaten Energiekonsum.

Faktoren, die beeinflussen, ob Menschen umweltfreundliches Verhalten zeigen, wurden in zahlreichen Studien thematisiert (für eine Übersicht siehe Gräsel, 2009). Es ist festzuhalten, dass eine Kluft zwischen Umweltbewusstsein (z.B. Vorstellung zur Wirksamkeit von Energiesparmaßnahmen) und der Bereitschaft zu PEB besteht. Zur Erklärung können Kosten-Nutzen-Ansätze herangezogen werden. Der subjektiv erwartete Nutzen von PEB wird den Handlungskosten (*low-cost* vs. *high-cost*) gegenübergestellt. Hierbei werden sowohl finanzielle Kosten (z.B. Neukauf) als auch Kosten für die Verhaltensänderungen berücksichtigt.

Forschungsfragen. Mit der vorliegenden Studie werden drei Forschungsfragen untersucht: (F1) Wie groß ist die Bereitschaft von Schülerinnen und Schülern energiesparende Maßnahmen durchzuführen? (F2) Welche Vorstellungen haben Schülerinnen und Schüler in Bezug auf die Wirksamkeit energiesparender Maßnahmen? (F3) Welche Zusammenhänge bestehen zwischen den Vorstellungen der Wirksamkeit sowie der Bereitschaft zum Energiesparen?

Stichprobe und Instrument. Es wurden insgesamt $N = 99$ Schülerinnen und Schülern (52.5% m, 45.5% w, 2.0% d) der Realschule (69.7%) und des Gymnasiums (30.3%) der Klassen 8 (27.3%), 9 (52.5%) und 10 (20.2%) mit Fragebogen zu ihren Vorstellungen und der Bereitschaft zum Energiesparen befragt.

Um die Bereitschaft und die Vorstellungen zu PEB zu erheben, wurden Alltagsbeispiele für PEB zu sechs lebensnahen Kontexten zum Energiesparen (Handy, TV, PC, Licht, Heizung, Wäsche & Duschen) zur Konstruktion von Items benutzt. PEB kann über unterschiedliche Strategien (Effizienz vs. Verzicht) und verschiedene Arten von Kosten (Neukauf vs. Verhaltensänderung) strukturiert werden. Hieraus ergibt sich eine 2x2 Fragenmatrix (Tab. 1). Zu jedem Feld der Matrix und jedem Kontext wurde jeweils ein Item entwickelt (insgesamt 24).

	Effizienz	Verzicht
Neukauf	Es wird ein neues Gerät gekauft, das bei gleicher Leistung die Energie effizienter nutz. (KE) „*…ein neueres Handy kaufen, welches weniger Energie benötigt.*“	Es wird ein neues Gerät gekauft, das weniger Leistung bringt, dafür aber die Energie effizienter nutzt. (KV) „*…mein aktuelles Handy durch ein langsameres ersetzen, welches aber auch weniger Energie benötigt.*“
Verhalten	Es wird der Umgang mit dem Gerät so verändert, dass die Energie effizienter genutzt wird. (VE) „*…an meinem Handy nicht benötigte Funktionen ausschalten, damit der Akku nicht so schnell leer geht.*“	Es wird der Umgang mit dem Gerät so verändert, dass durch einen Verzicht weniger Energie benötigt wird. (VV) „*…den Energiesparmodus immer aktiviert lassen, auch wenn das Display nicht immer gut zu lesen ist.*“

Tab. 1 Fragenmatrix für Beispiele von PEB

Die identischen Beispiele wurden so genutzt, dass die Schülerinnen und Schüler zum einen aufgefordert werden ihre Bereitschaft zur Umsetzung von PEB anzugeben („Um Energie zu sparen, würde ich…“, 4-stufige Skala: stimme gar nicht zu – stimme voll zu) und zum anderen eine Vorstellung zur tatsächlichen Wirksamkeit von PEB einzuschätzen („Schätze ein, wie viel Energie gespart werden kann mit…“, 3-stufige Skala: spart kaum, spart etwas, spart viel Energie). Hierdurch können für jedes Beispiel von PEB die Bereitschaft und die Vorstellungen zur Wirksamkeit zueinander in Beziehung gesetzt werden.

Ergebnisse. Die 24 Items zur Bereitschaft und den Vorstellungen der Wirksamkeit wurden sowohl nach der Fragenmatrix zu PEB als auch den Kontext unterteilt und jeweils als Skalen aufgefasst (Tab. 2). Für eine bessere Vergleichbarkeit von Bereitschaft und Vorstellungen zur Wirksamkeit wurde jeweils eine *z*-Transformation durchgeführt, sodass der Skalenmittelwert in Bezug zur mittleren Vorstellung bzw. mittleren Bereitschaft gesetzt wurde (Abb. 1).

Zu (F1) Bereitschaft: In Bezug auf die Art der Handlung ist die Bereitschaft für PEB am höchsten für „Verhalten – Effizienz“ (VE) (3.06) und am geringsten für „Neukauf – Verzicht“ (KV) (2.17) ($F(2.75, 256.02) = 3.79$, $p < .001$). In Bezug auf den Kontext ist die Bereitschaft am höchsten für „Licht“ (3.04) und am geringsten für „PC“ (2.44) ($F(4.46, 414.88) = 31.29$, $p < .001$). Die Reliabilitäten (.52 -.73) sind hinsichtlich des breiten Kontexts zufriedenstellend.

Zu (F2) Vorstellungen zur Wirksamkeit: In Bezug auf die Art der Handlung für PEB schätzen die Schülerinnen und Schüler für „Verhalten - Effizienz“ (VE) (2.22) die größte Möglichkeit zum Sparen von Energie ein und am wenigsten für „Neukauf – Verzicht“ (KV) (1.98) ($F(2.74, 243.68) = 14.22$, $p < .001$). In Bezug auf den Kontext wird die Möglichkeit zum Energiesparen am höchsten für „Licht“ (2.44) eingeschätzt und am geringsten für „Handy“ (1.84) ($F(4.14,$

368.28) = 38.63, $p < .001$). Die Reliabilitäten (.47-.72) sind hinsichtlich des breiten Kontexts zufriedenstellend.

			Bereitschaft		Vorstellungen Wirksamkeit	
		Items	*M* (*SD*)	α	*M* (*SD*)	α
Handlung	KE	6	2.45 (0.59)	.73	2.10 (0.35)	.55
	KV	6	2.17 (0.51)	.72	1.98 (0.41)	.72
	VE	6	3.06 (0.50)	.71	2.22 (0.33)	.60
	VV	6	2.64 (0.51)	.57	2.01 (0.36)	.47
Kontext	Handy	4	2.53 (0.54)	.61	1.84 (0.43)	.67
	TV	4	2.36 (0.68)	.73	1.91 (0.41)	.54
	PC	4	2.44 (0.57)	.59	1.95 (0.39)	.49
	Licht	4	3.04 (0.49)	.52	2.44 (0.42)	.59
	Heizung	4	2.65 (0.56)	.57	2.20 (0.43)	.56
	Wäsche/Duschen	4	2.46 (0.58)	.52	2.10 (0.42)	.47
	gesamt	24	2.58 (0.43)		2.07 (0.27)	

Tab. 2 Skalen Bereitschaft und Vorstellungen Wirksamkeit

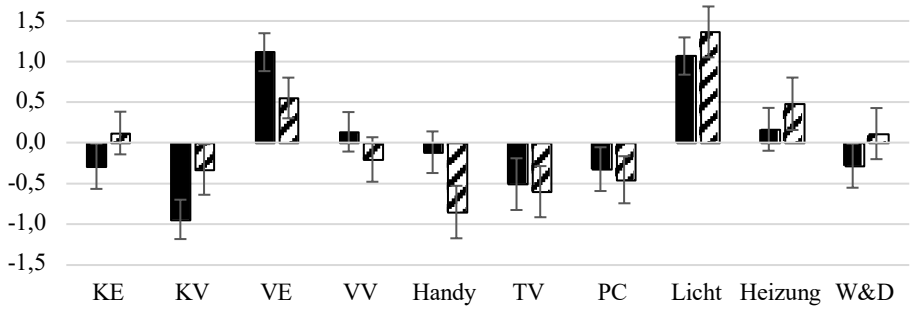


Abb. 1 z-Transformation Bereitschaft (gefüllt) und Vorstellungen Wirksamkeit (schraffiert)

Abschließend wurden die Korrelationen zwischen Bereitschaft und Vorstellungen zur Wirksamkeit berechnet (Tab. 3). Insgesamt zeigt sich eine Korrelation von .51**.

KE	KV	VE	VV	Handy	TV	PC	Licht	Heizung	W&D
.55**	.31**	.39**	.40**	.36**	.29**	.23**	.58**	.33**	.46**

Tab. 3 Korrelationen zwischen Bereitschaft und Vorstellungen zur Wirksamkeit von PEB

Diskussion und Ausblick Es zeigen sich grundsätzliche Zusammenhänge zwischen den Vorstellungen zur Wirksamkeit und der Bereitschaft zu PEB – je größer die Einschätzung der Wirksamkeit, desto größer ist die Bereitschaft zu PEB, z.B. bei „Licht"; wird die Wirksamkeit gering eingeschätzt, ist auch die Bereitschaft geringer, z.B. bei „PC" (Abb. 1, Tab. 3). Hierbei konnten Indizien für eine Kosten-Nutzen-Abwägung bei Schülerinnen und Schülern gefunden werden (höhere Bereitschaft bei *low-cost* Handlungen, wie z.B. „Verhalten – Effizienz"). Eine Bereitschaft zu „Verhalten – Verzicht" ist kontextspezifischer als andere Beispiele umweltfreundlichen Verhaltens (geringes α). Weiterführende Studien sollen den Einfluss von physikalischem Wissen auf die Bereitschaft und die Vorstellungen zur Wirksamkeit untersuchen.

Literatur

Gräsel, C. (2009). Umweltbildung. In: Tippelt, R., Schmidt, B. (Hrsg.) *Handbuch Bildungsforschung*. VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Kleinhansl, M., List, M. K., & Schwichow, M. (im Druck): Mapping the Landscape of Pro-Environmental Behaviors. *Environment & Behavior*.

Lange, F., & Dewitte, S. (2019). Measuring pro-environmental behavior: Review and recommendations. *J. of Environmental Psychology*, 63, 92-100

Laura Pletschacher[1]
Karsten Rincke[1]

[1]Universität Regensburg

Interesse und Betroffenheit der Schüler*innen an und von nachhaltiger Entwicklung als Kontext

Weshalb nachhaltige Entwicklung (NE) als Kontext?

Zentral für diese Arbeit sind zwei Problemfelder. Zum einen findet die BNE nur selten Einzug in die Schulen, obwohl ihr eine große Relevanz für das Erreichen der Nachhaltigkeitsziele zugeschrieben wird (UN, 1992; UNESCO, 2000). Häufig genannte Gründe sind der Zeitmangel, die Komplexität des Feldes und fehlende Kompetenzen auf Seiten der Lehrkräfte (Breitenmoser & Keller-Schneider, 2023; forsa, 2023; Rieß & Mischo, 2008). Zum anderen wird das Ausbleiben von Interesse und Betroffenheit der Schülerinnen und Schülern (SuS) am und vom Physikunterricht beklagt (Grebe-Ellis & Rincke, 2021; Merzyn, 2008; Muckenfuß, 2006). Mit dem Hintergrund, dass sich SuS für Themen der Nachhaltigkeit interessieren und sich von ihnen betroffen fühlen (Elster, 2007; Kress, 2021), erscheint die fehlende Implementierung von BNE in zweierlei Hinsicht als Verlust.

Als Interesse fördernde Maßnahme gilt unter Anderem das Einbetten physikalischer Inhalte in einen geeigneten Kontext (Hoffmann et al., 1998; Merzyn, 2008). Das Thema der nachhaltigen Entwicklung (NE) als Kontext zu verwenden, scheint beide anfänglich genannten Probleme gleichzeitig angreifen zu können: Mit Kontexten kann man Ideen der BNE bedienen und Interesse fördern.

Dimensionen der Kontexte

Im Rahmen meiner Forschungsarbeit wird untersucht, wie unterschiedliche Kontexte mit thematischem Bezug zur NE auf SuS wirken. Dazu wird derselbe physikalische Inhalt (Konvektion) in zwei unterschiedliche Kontexte (Golfstrom & Heizung) eingebettet.

Diese Kontexte weisen unterschiedliche Dimensionen auf: So kann der Kontext Golfstrom entweder die bedrohlichen Folgen eines abklingenden Golfstromes darstellen oder Auswegs- und Handlungsszenarien zeigen oder auch einen rein fachlich-informierenden Charakter aufweisen. Ich beschränke mich im Rahmen meiner Arbeit auf diese drei Darstellungsweisen aufgrund eigener Wahrnehmungen. Themen der Nachhaltigkeit gehen mit globalen Veränderungen und Zukunftsängsten bei jungen Menschen einher (Hickmann et al., 2021), während von der BNE verlangt wird den SuS fachliches Wissen zur Nachhaltigkeit zu vermitteln sowie die SuS langfristig zum nachhaltigen Handeln zu motivieren (Schreiber & Siege, 2016). Ein Betrachten dieser drei Darstellungsweisen erscheint zur Darstellung nachhaltiger Themen folglich als passend.

Außerdem werden nahe und ferne Dimensionen der Nachhaltigkeit verglichen: Der Kontext Heizung und dessen Bezug zur Nachhaltigkeit sind zugänglich und alltäglich, während der Kontext Golfstrom diese Eigenschaften nicht aufweist. Diese beiden Dimensionen nah und fern sind vergleichbar mit den Kontextmerkmalen alltäglich und besonders von Van Vorst et al. (2015).

Nahe und ferne Kontexte können auf die drei unterschiedlichen Weisen (s.o.) dargestellt werden. Es ergibt sich eine 3x2 Matrix der Kontext-Dimensionen. In Tabelle 1 werden die Dimensionen mit denkbaren Beispielen dargestellt. Damit treten fachlich identische Kerninhalte in unterschiedlichen kontextuellen Rahmungen auf.

	nah: Heizung (für das Individuum greifbar/ aus dem Alltag des Individuums)	**fern:** Golfstrom (das Individuum ist ohne direkte Einflussmöglichkeit)
fachlich-informierend	Über generelle Aspekte des Heizens informieren: - Auswirkungen auf das Klima - Energieproblem - Wirtschaftsketten von Heizmaterial - Nachhaltige Heizmöglichkeiten & Effizienz - Heizkosten	Über generelle Aspekte des Golfstromes informieren: - Schmelzen der Polkappen - Umwälzbewegung des Wassers - Belege für das Abklingen - Temperaturmessungen - Rolle des Salzgehaltes
optimistisch-handlungs-orientiert (Auswegs Szenarien aufzeigend)	Möglichkeiten aufzeigen, effizient und nachhaltig zu heizen: - Effizientes Auf- und Abdrehen der Heizung - Angepasstes Lüften	Möglichkeiten aufzeigen, die Polkappen zu schützen: - EU-Emissionsrechtehandel senkt CO_2-Ausstoß - Abdecken von Eisflächen - I.A. hilft jede Form der Reduktion von Treibhausgasemissionen
bedrohend (schwerwiegende Folgen nicht-nachhaltigen Handelns darstellend)	- Bedrohungen durch CO_2-Ausstoß und Ölverbrauch der Heizungen darstellen - Soziale Bedrohung der Heizkosten darstellen	Bedrohende Klimafolgen eines abklingenden Golfstromes in Deutschland/ Europa darstellen: - Veränderung von Lebensräumen - Wanderbewegungen - Nahrungsmittelknappheit

Tabelle 1: Darstellungsmöglichkeiten von Kontexten mit Bezug zur nachhaltigen Entwicklung

Studiendesign & Forschungsinteresse

Die Wirkungen der Kontextdimensionen auf das Interesse und die Betroffenheit von SuS werden mittels einer quantitativen Studie untersucht. Dazu werden sechs Texte erstellt. Diese Texte haben denselben physikalischen Inhalt (Konvektion) zur Basis, aber unterschiedliche Kontextthemen (Heizung & Golfstrom) und weisen unterschiedliche Kontextdimensionen (vgl. Tabelle 1) auf. Die Studie besteht aus zwei Erhebungen und einer Intervention (vgl. Tabelle 2).

In der Vorerhebung werden die SuS sowie die Lehrkräfte quantitativ mittels Fragebögen befragt. Bei den SuS werden Kovariablen sowie die nachhaltige Einstellung, das Interesse und die Betroffenheit vom bisherigen Physikunterricht erhoben. Es ist denkbar, dass die nachhaltige Einstellung der Lehrkraft, sowie die bisherige Umsetzung von BNE einen Einfluss auf das Antwortverhalten der SuS haben könnte, weshalb diese Variablen durch die Befragung der Lehrkräfte erhoben werden.

In der anschließenden Intervention lesen die SuS die Texte. Aus den verschiedenen Kontexten und -dimensionen (vgl. Tabelle 1) entstehen sechs Textversionen. Diese werden zufällig über die gesamte Stichprobe verteilt, um die statistische Klumpung in Klassen zu unterbinden und eine große Teilnehmer*innenzahl zu ermöglichen. Die Textgestaltung orientiert sich auf sprachlicher Ebene an den Ergebnissen von Flieser (2024): Die Wortwahl und die Satzstruktur

werden anspruchsgemindert, die Personalisierung hoch dargestellt. Auf optischer Gestaltungsebene, sowie hinsichtlich Schwierigkeitsgrades unterscheiden sich die Texte nicht. Im Anschluss der Intervention 1 folgt die Nacherhebung in welcher die SuS erneut quantitativ mittels Fragebögen befragt werden. Es werden das situative Interesse, die Betroffenheit, die nachhaltige Einstellung und der Wissenszuwachs gemessen.
Mithilfe dieses Studiendesigns (vgl. Tabelle 2) soll herausgefunden werden, inwiefern NE als Kontext das Interesse und die Betroffenheit der SuS am und vom physikalischen Inhalt der Konvektion beeinflusst und wie sich die Dimensionen der Nachhaltigkeit (vgl. Tabelle 1) auf das Interesse und die Betroffenheit der SuS auswirken.

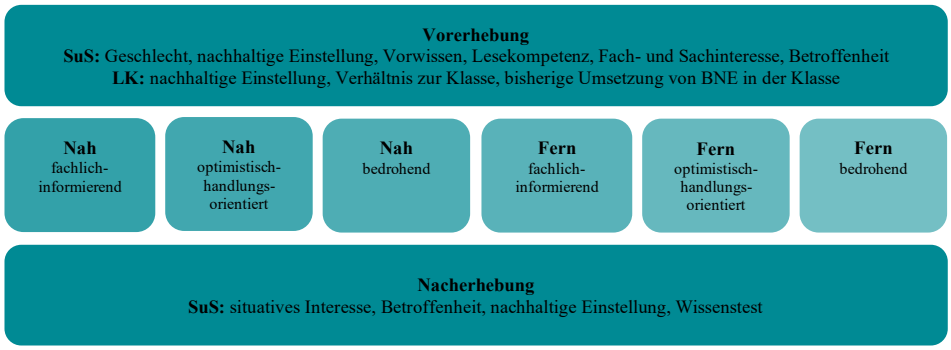


Tabelle 2: Studiendesign

Literatur

Agenda 21: Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung (Techn. Ber.). Rio de Janeiro. Verfügbar 18. Juni 2024 unter https://www.un.org/depts/german/conf/agenda21/agenda 21.pdf

Breitenmoser, P. & Keller-Schneider, M. (2023). „Ich möchte mir nicht die Finger daran verbrennen". Progress in Science Education (PriSE), 6–25. https://doi.org/10.25321/PRISE.2024.1447

Elster, D. (2007). In welchen Kontexten sind naturwissenschaftliche Inhalte für Jugendliche interessant? PLUS LUCIS, 03, 2–8.

Flieser, K. (2024). Verständlichkeit physikalischer Sachtexte. Untersuchungen zum Wirkungsgefüge zwischen sprachlicher Textgestaltung und der Behaltensleistung sowie der Textwahrnehmung im Schulfach Physik. Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 382. Berlin, Logos. https://doi.org/10.30819/5858

forsa. (2023). Die Schule aus Sicht der Schulleiterinnen und Schulleiter. Ergebnisse einer bundesweiten repräsentativen Befragung. Gesellschaft für Sozialforschung und statistische Analysen mbH (forsa.), Berlin. Verfügbar 18. Juni 2024 unter https://deutscher-schulleitungskongress. de / wp - content / uploads / 2023 / 11 / 2023 - 11 - 21 VOe - Nov Bericht Deutschland.pdf

Grebe-Ellis, J. & Rincke, K. (2021). Zur unpädagogischen Dimension der Physik. Beitragsmanuskript. Physikdidaktik – Quo vadis. Teil 1 online.

Hickman, C., Marks, E., Pihkala, P., Clayton, S., Lewandowski, R. E., Mayall, E. E., Wray, B., Mellor, C. & van Susteren, L. (2021). Climate anxiety in children and young people and their beliefs about government responses to climate change: a global survey. The Lancet Planetary Health, 5 (12), e863–e873. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00278-3

Hoffmann, L., Häussler, P. & Lehrke, M. (1998). Die IPN-Interessenstudie Physik. Kiel, IPN.

Kress, D. (2021). Greenpeace Nachhaltigkeitsbarometer 2021 – Wir sind bereit und wollen endlich eine nachhaltige Zukunft! Greenpeace e.V. Verfügbar 18. Juni 2024 unter https: / / www . greenpeace . de / sites /default/files/publications/20210915 gp nachhaltigkeitsbarometer dv.pdf

Merzyn, G. (2008). Naturwissenschaften, Mathematik, Technik - immer unbeliebter? - Die Konkurrenz von Schulfächern um das Interesse der Jugend im Spiegel vielfältiger Untersuchungen. Baltmannsweiler, Schneider Verlag Hohengehren.

Muckenfuß, H. (2006). Lernen im sinnstiftenden Kontext. Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts. Berlin, Cornelsen Verlag.

Rieß, W. & Mischo, C. (2008). Evaluationsbericht „Bildung für nachhaltige Entwicklung an weiterführenden Schulen in Baden-Württemberg". Verfügbar 11. Juni 2024 unter https://www.researchgate.net/publication/278619237. Massnahme Lfd15 im Aktionsplan Baden-Wurttemberg UN. (1992).

Schreiber, J.-R. & Siege, H. (2016). Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung im Rahmen einer Bildung für nachhalitge Entwicklung. Engagement Global gGmbH.

UNESCO. (2000). Roadmap zur Umsetzung des Weltaktionsprogramms "Bildung für nachhaltige Entwicklung". Bonn, Deutsche UNESCO-Kommission e.V. (DUK).

Van Vorst, H., Dorschu, A., Fechner, S., Kauertz, A., Krabbe, H. & Sumfleth, E. (2015). Charakterisierung und Strukturierung von Kontexten im naturwissenschaftlichen Unterricht – Vorschlag einer theoretischen Modellierung. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 21 (1), 29–39. https://doi.org/10.1007/s40573-014-0021-5

Silja Herholz[1]
Mathias Ropohl[1]

[1]Universität Duisburg-Essen

Systemkompetenz in der Chemie: Kompetenzmodellierung und Testentwicklung

Das Anthropozän wird davon geprägt, dass Menschen in natürliche komplexe Systeme eingreifen und so für das gesamte Erdsystem bedrohliche Folgen produzieren (Rieß, 2013). Chemie spielt dabei eine zentrale Rolle, da durch sie sowohl Ursachen der Probleme des Anthropozäns geklärt, aber auch Lösungen für diese Probleme entwickelt werden können (Whalen et al., 2022). Einen frühen Beitrag zur Entwicklung solcher Lösungen kann die Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) im Rahmen von Chemieunterricht leisten, indem sie Lernende dazu befähigt im Rahmen der Herausforderungen des Anthropozäns zukunftsorientiert zu denken und zu handeln (MSB NRW, 2019; UNESCO, 2017). Die dabei zugrundeliegenden Lernprozesse von BNE beruhen auf einer systemischen Denkweise, die notwendig ist, um die auftretenden Probleme und Prozesse in natürlichen komplexen Systemen zu verstehen (MSB NRW, 2019). Daher wird unter anderem Systemkompetenz als eine zentrale Kompetenz im Rahmen von BNE ausgewiesen (UNESCO, 2017). Fähigkeiten der Systemkompetenz sollten daher auch im Chemieunterricht gefördert werden (Fanta et al., 2017). Dazu bedarf es einer exakten Modellierung dieser Kompetenz für den Schulkontext und Befunde zum Erwerb von Systemkompetenz im Rahmen von Chemieunterricht (Budak & Ceyhan, 2024).

Systeme und Systemkompetenz

Unter einem komplexen System wird ein Konstrukt verstanden, das aus Systemkomponenten, deren Interaktionen und einer Struktur, geformt aus den Systemkomponenten und Interaktionen, besteht und durch das Zusammenspiel dieser Bestandteile seine Eigenschaften erhält. Diese Eigenschaften werden ausschließlich dem Gesamtsystem und nicht den einzelnen Systembestandteilen zugeschrieben (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005).
Systemkompetenz beschreibt eine Reihe von Fähigkeiten, um komplexe Systeme zu erkennen und zu verstehen, ihr Verhalten vorherzusagen und sie so zu verändern, dass sie die gewünschten Effekte erzielen (Arnold & Wade, 2015). Als Antwort auf die Frage, welche Fähigkeiten zur Systemkompetenz gehören, wird häufig das hierarchische System Thinking-Modell (STH-Modell) herangezogen (Ben-Zvi Assaraf & Orion, (2005). Darin werden acht Fähigkeiten - unterteilt in die drei Kategorien Analyse, Synthese und Implementation von Systemkomponenten - unterschieden. Das STH-Modell ist kein klassisches Kompetenzmodell, kann jedoch eine Basis für ein solches Modell bieten.

Forschung zu Systemkompetenz im Fach Chemie

In den letzten Jahren wurde die Forschung zu Systemkompetenz in den Naturwissenschaften intensiviert (Bielik et al., 2023). Als Ergebnis wurden unter anderem ein Rahmenmodell für Systemkompetenz in Geographie, das verschiedene Kompetenzniveaus und Dimensionen von Systemkompetenz sowie den Komplexitätsgrad eines Systems berücksichtigt, und ein Testinstrument zur Messung von Systemkompetenz in den Fächern Geographie und Biologie entwickelt (Mambrey et al., 2020; Mehren et al., 2016; Rempfler & Uphues, 2011). Für das

Fach Chemie entstand im Zuge dessen, basierend auf dem STH-Modell, eine Beschreibung von fachspezifischen Fähigkeiten von Systemkompetenz mit dem Fokus auf deren Umsetzbarkeit im Chemieunterricht (York & Orgill, 2020). Die Messung dieser Fähigkeiten erfolgte bisher mit Chemiestudierenden (Budak & Ceyhan, 2024).

Ziel und Forschungsfragen

Aktuell fehlen Forschungsbefunde inwieweit chemiespezifische Fähigkeiten der Systemkompetenz bereits in der Schule von Schüler:innen erworben werden. Die Forschung lässt allerdings vermuten, dass Fähigkeiten der Systemkompetenz bereits im Schulunterricht erworben werden und dass Fachwissen und kognitive Fähigkeiten mögliche Prädiktoren für den Erwerb dieser Fähigkeiten sind (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005; Budak & Ceyhan, 2024). Daher ist das Ziel dieses Vorhabens die Kompetenzmessung des Erkennens von und Handelns in komplexen chemischen Systemen mit Hilfe eines schriftlichen Testinstruments bei Lernenden der Sekundarstufe II. Folgende Forschungsfragen werden untersucht:

FF1: Inwieweit erwerben Lernende der Sekundarstufe II Fähigkeiten der Systemkompetenz auf Grundlage der fachspezifischen Kompetenzen von Systemkompetenz im Fach Chemie?

FF2: Inwieweit sind Fachwissen und kognitive Fähigkeiten Prädiktoren für den Erwerb von Fähigkeiten der Systemkompetenz im Chemieunterricht?

Methode

Zur Beantwortung der Forschungsfragen ist das Projekt in drei Meilensteine gegliedert (Abb. 1).

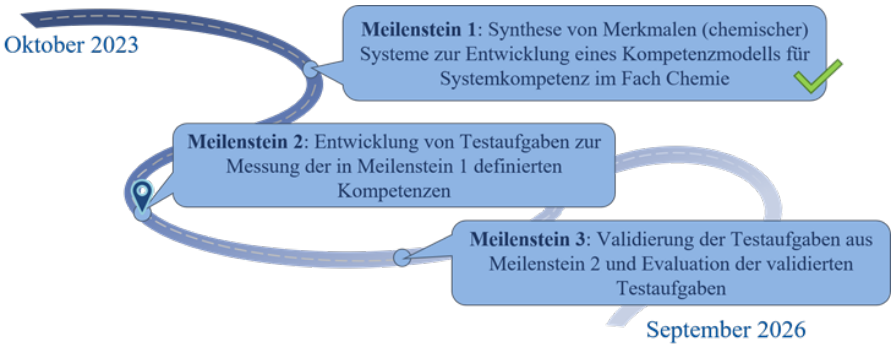


Abb. 1: Roadmap des Projekts.

Ziel des ersten Meilensteins ist die Synthese von Merkmalen chemischer Systeme und anschließende Entwicklung eines Kompetenzmodells von Systemkompetenz für das Fach Chemie. Zur Synthese der Merkmale wurde Literatur zur Systemtheorie und zu Definitionen von Systemen genutzt und mit Beispielen für chemische Systeme verglichen. Da für das Fach Chemie bisher nicht exakt definiert wurde, welche Merkmale ein chemisches System charakterisieren, aber sämtliche MINT-Fächer ein naturwissenschaftliches Systemverständnis nach Ludwig von Bertalanffy (1950) teilen, musste auf Literatur aus dem gesamten MINT-Bereich zurückgegriffen werden (Bier et al., 2023). Zusätzlich zu den auf diese Weise synthetisierten Merkmalen von chemischen Systemen werden für die Konstruktion des Kompetenzmodells das Rahmenmodell von Systemkompetenz von Rempfler und Uphues (2011) und die fachspezifischen Fähigkeiten von Systemkompetenz von York und Orgill (2020) als Basis genutzt.

Im zweiten Meilenstein werden zunächst chemische Systeme konzipiert, die anschließend für die Entwicklung von Testaufgaben zur Messung der Kompetenzen aus dem in Meilenstein 1 entwickelten Kompetenzmodell genutzt werden. Die Systeme werden in Anlehnung an sozialwissenschaftliche Systemmodelle in Form von *System Maps* konzipiert, die einzelne Systemelemente und deren Zusammenhänge visualisieren. Die *System Maps* werden anschließend durch ein Expertenrating auf Konstrukt- und Inhaltsvalidität geprüft. Für die Testaufgaben wird ein Multiple-Choice-Format basierend auf *System Maps* in Anlehnung an Mambrey et al. (2020) gewählt.
Im dritten Meilenstein werden die entwickelten Testaufgaben zunächst durch unabhängige Reviewer auf Passung zum Kompetenzmodell geprüft, um so die Inhaltsvalidität zu gewährleisten. Anschließend werden die Testaufgaben genutzt, um die Fähigkeiten von Systemkompetenz von Lernenden der Sekundarstufe II zu untersuchen. Dabei wird eine Gesamtstichprobe von *N = 500 bis 600* Lernende angestrebt, da so eine ausreichende Anzahl von Antworten pro Testaufgabe im Sinne der probabilistischen Testtheorie sichergestellt werden kann.

Erste Ergebnisse und Ausblick

Der erste Meilenstein des Projekts ist bereits abgeschlossen, sodass zu diesem bereits erste Ergebnisse vorliegen. Es konnten zunächst 16 verschiedene Merkmale von chemischen Systemen, wie z.B. vorhandene Subsysteme, Emergenz oder Dynamik, unterschieden werden. Mit Hilfe dieser Merkmale wurde ein Flussdiagramm entwickelt, mit dem basierend auf 16 Ja/ Nein-Fragen (z.B. Emergenz: Wirken sich Änderungen in bzw. Wechselwirkungen zwischen Subsystemen auf das Gesamtsystem aus? Wenn ja, dann besitzt das System emergente Eigenschaften.) existierende Systeme analysiert oder neue Systeme konstruiert werden können. Das Flussdiagramm wird nun dazu verwendet, die *System Maps* für die Entwicklung der Testaufgaben in Meilenstein 2 zu konstruieren.
Das entwickelte Kompetenzmodell unterscheidet zwischen zwei Dimensionen von Systemkompetenz: *Systemorganisation* und *Systemverhalten*. Für beide Dimensionen werden, basierend auf der Anzahl der Systemelemente, der Art ihrer Verbindungen und der daraus resultierenden Strukturkomplexität, drei Kompetenzstufe unterschieden. Um geeignete Kompetenzen für das Modell zu formulieren, wurden die Kompetenzen und die chemiespezifischen Fähigkeiten aus den Arbeiten von Rempfler und Uphues (2011) und York und Orgill (2020) kombiniert. Die Kompetenzen der Dimension *Systemorganisation* konzentrieren sich auf die Beschreibung eines gegebenen Systems, z.B. durch die Identifizierung der Systemkomponenten oder verschiedener Organisationsebenen in einem System. Die Kompetenzen der Dimension Systemverhalten befassen sich hingegen mit der Beschreibung und Analyse der Beziehungen in einem gegebenen System und dem Verhalten des Systems. Dabei werden verschiedene Arten von Beziehungen unterschieden, wie z.B. zeitabhängiges Verhalten, Stock- & Flow- Beziehungen oder Rückkopplungsschleifen.
Geplant ist im nächsten Schritt die Konstruktion der Testaufgaben, für die bereits alle *System Maps* konzipiert wurden. Die Validierung der *System Maps* steht aktuell noch aus. Nach der Konzeption der Testaufgaben und deren Validierung durch ein Expertenrating werden die Aufgaben zunächst pilotiert.

Literatur

Arnold, R. D. & Wade, J. P. (2015). A Definition of Systems Thinking: A Systems Approach. *Procedia Computer Science*, *44*(1), 669–678. https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.03.050

Ben-Zvi Assaraf, O. & Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching*, *42*(5), 518–560. https://doi.org/10.1002/tea.20061

Bielik, T., Delen, I., Krell, M. & Assaraf, O. B. Z. (2023). Characterising the Literature on the Teaching and Learning of System Thinking and Complexity in STEM Education: a Bibliometric Analysis and Research Synthesis. *Journal for STEM Education Research*, *6*(2), 199–231. https://doi.org/10.1007/s41979-023-00087-9

Bier, T., Sauer, M., Felzmann, D., Kauertz, A., Risch, B. & Nitz, S. (2023). SystemThink - Systemdenken in den naturwissenschaftlichen Fächern. In *Frühe naturwissenschaftliche Bildung. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung 2023* (Bd. 44, S. 1022–1025). (Erstveröffentlichung 2023)

Budak, U. S. & Ceyhan, G. D. (2024). Research trends on systems thinking approach in science education. *International Journal of Science Education*, *46*(5), 485–502. https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2245106

Fanta, D., Bräutigam, J., Greiff, S. & Rieß, W. (2017). Entwicklung und Validierung eines Messinstrumentes zur Erfassung von systemischem Denken bei Lehramtsstudierenden in ökologischen Kontexten. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *23*(1), 241–259. https://doi.org/10.1007/s40573-017-0067-2

Mambrey, S., Timm, J., Landskron, J. J. & Schmiemann, P. (2020). The impact of system specifics on systems thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, *57*(10), 1632–1651. https://doi.org/10.1002/tea.21649

Mehren, R., Rempfler, A., Ullrich-Riedhammer, E.-M., Buchholz, J. & Hartig, J. (2016). Systemkompetenz im Geographieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *22*(1), 147–163. https://doi.org/10.1007/s40573-016-0047-y

MSB NRW. (2019). *Leitlinie Bildung für nachhaltige Entwicklung* (Nr. 9052).

Rempfler, A. & Uphues, R. (2011). Systemkompetenz im Geographieunterricht-Die Entwicklung eines Kompetenzmodells. *Geographische Bildung. Kompetenzen in didaktischer Forschung und Schulpraxis*, 36–48.

Rieß, W. (2013). Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) und Förderung des systemischen Denkens. *Anliegen Natur*, *35*(1), 55–64.

UNESCO. (2017). *Education for sustainable development goals: Learning objectives*. UNESCO.

von Bertalanffy, L. (1950). An Outline of General System Theory. *The British Journal for the Philosophy of Science*, *1*(2), 134–165. http://www.jstor.org/stable/685808

Whalen, J. M., Matlin, S. A., Holme, T. A., Stewart, J. J. & Mahaffy, P. G. (2022). A Systems Approach to Chemistry Is Required to Achieve Sustainable Transformation of Matter: The Case of Ammonia and Reactive Nitrogen. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, *10*(39), 12933–12947. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c03159

York, S. & Orgill, M. (2020). ChEMIST Table: A Tool for Designing or Modifying Instruction for a Systems Thinking Approach in Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, *97*(8), 2114–2129. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00382

Merlin Beaujean[1]
Josia Hoppmann[1]
Cornelia Borchert[1]

[1]Universität Bielefeld

Instrument-Entwicklung zur Erhebung der *science identity* in der Studieneingangsphase Chemie

Fachidentifikation in der Studieneingangsphase der Chemie. Studienabbruch und Fachwechsel sind aktuelle Herausforderungen in vielen MINT-Studiengängen, so auch im Chemiestudium. Ein wichtiger Prädiktor für Studienerfolg ist das Vorwissen der Chemiestudierenden (Averbeck, 2021). Auch affektiv-motivationale und emotionale Merkmale, wie z.B. Stresserleben (Schwedler, 2017), Zugehörigkeitsgefühl (Feser et al., 2023; Walton et al., 2023) und Fachidentifikation (Heublein et al., 2017) werden angeführt, sind für den Studieneinstieg in Chemie bisher jedoch wenig untersucht. Fachidentifikation als naturwissenschaftliche Identität (*science identity*) ist eine neue Ausrichtung fachdidaktischer Forschung (*identity turn*, Danielsson et al., 2023), die sich aktuell auch im deutschsprachigen Raum aus der Forschung zum Interesse zu entwickeln scheint (Christ, Schmid et al., in Vorb.).

Identität und *science identity*. Neben einer stabilen Kernidentität existieren veränderliche Teilidentitäten wie z.B. Rollenidentitäten (Gee, 2000). Die Identitätskonstruktion ist situativ unterschiedlich und abhängig vom sozialen Kontext (Abels, 2017). Da man Identität nicht nicht konstruieren kann, ist sie auch in Bildungsprozessen immer implizit thematisch. Die auf die Naturwissenschaften bezogene Identität wird im Modell der *science identity* qualitativ anhand der Facetten *recognition* (Anerkennung durch sich und andere), *competence* (Kompetenzerfahrungen) und *performance* (Ausführen naturwissenschaftlicher Praktiken) beschrieben (Carlone & Johnson, 2007, S. 1191). Im für quantitative Erhebungen entwickelten Modell der *chemistry identity* (Hosbein & Barbera, 2020, S. 382) werden die Facetten um Interesse und *mindset* (d.h. die Ansicht, dass Chemie (nicht) erlernbar ist) ergänzt. Durch ihr analytisches Potential für Inklusions- und Exklusionsmechanismen (Avraamidou, 2020) bietet *science identity* einen neuen Fokus für die Studienerfolgsforschung. So ist die Entwicklung einer *science identity* beispielsweise in marginalisierten Gruppen seltener (z.B. Robinson et al., 2019). Von Interesse sind daher die Faktoren und fachkulturellen Diskurse, durch die Studierenden Identifikation mit der Chemie ermöglicht bzw. verunmöglicht wird.

Forschungsfragen. Im Projekt „SciID: science identity im Studium der Chemie“ soll untersucht werden, welche Faktoren begünstigen oder gar verhindern, dass sich Studierende mit dem Fach Chemie identifizieren und sich als *science person* (Carlone & Johnson, 2007) sehen. Dafür wurden zunächst folgende Forschungsfragen verfolgt:

(1) Wie gut eignet sich die im Projekt SciID angefertigte deutsche Übersetzung der Kurzskala von Williams et al. (2018) zur Erhebung der *science identity* (Carlone & Johnson, 2007) bzw. der *chemistry identity* (Hosbein & Barbera, 2020)?
(2) Wie gut lassen sich die Identitätskonstruktionen von Studierenden in chemiebezogenen Studiengängen mit den Modellen der *science identity* (Carlone & Johnson, 2007) bzw. der *chemistry identity* (Hosbein & Barbera, 2020) analysieren?

Methoden. Im Sommersemester 2024 wurden Studierende der Chemie, Biochemie und des Chemielehramts der Universität Bielefeld wie folgt befragt:

(1) Zur quantitativen Erfassung der *science identity* wurde eine englischsprachige Kurzskala (Williams et al., 2018) ins Deutsche übersetzt und mittels *think aloud* (Sandmann, 2014) untersucht. Die *think aloud*-Daten wurden qualitativ-inhaltsanalytisch auf Passung zu den Facetten den Modelle der *science identity* (Carlone & Johnson, 2007) und *chemistry identity* (Hosbein & Barbera, 2020) untersucht. Die Kurzskala wurde zusammen mit erprobten Skalen, die Konstrukte aus dem *chemistry identity*-Modell messen, eingesetzt.

(2) Zur qualitativen Erfassung der *science identity* und der Exklusions- und Inklusionserzählungen wurden biografisch-narrative Interviews mit grafischer Unterstützung geführt (vgl. Borchert et al., in diesem Band; Gonsalves et al., 2023). Die Interviews wurden transkribiert und zunächst die Eingangserzählungen qualitativ-inhaltsanalytisch auf Passung zu den *science* bzw. *chemistry identity*-Modellen codiert.

Erste Ergebnisse

(1) Pilotierung der übersetzten Kurzskala:

Die Assoziationen der Proband*innen des *think alouds* zu den Items der ins Deutsche übersetzten Kurzskala ließen sich auf alle Facetten des Modells der *science identity* von Carlone und Johnson (2007) und alle Facetten des Modells der *chemistry identity* von Hosbein und Barbera (2020) bis auf *mindset* beziehen. Außerdem wurden Zugehörigkeit und Berufswahl induktiv codiert, die in den o.g. Modellen nicht vorkommen. Die *think aloud*-Proband*innen aus der (Bio-)Chemie erzielten hohe Werte auf der Skala, die Proband*innen aus dem Lehramt niedrigere Werte. Am *think aloud* nahm auch eine Person aus dem Bachelor Sachunterricht teil, die einen deutlich niedrigeren Wert als die übrigen Proband*innen erzielte.

In der quantitativen Pilotierung erzielten die Studierenden der Chemie, Biochemie und des Chemielehramts Werte im oberen bis oberen mittleren Bereich auf der *science identity*-Kurzskala. Bei der Aufteilung nach Studiengängen fällt auf, dass die Werte der Lehramtsstudierenden im Bachelor stärker streuen als die der fachwissenschaftlichen Bachelorstudierenden, die bis auf wenige Ausnahmen hohe Werte aufweisen. Die Werte der Masterstudierenden im Lehramt zeigten eine ähnliche Verteilung wie die der fachwissenschaftlichen Bachelorstudierenden, allerdings ohne Ausreißer nach unten. Die in den *think alouds* erhobenen Werte lagen innerhalb der Verteilungen der zugehörigen Stichproben. Die Studierenden, die am *think aloud* teilnahmen, scheinen also repräsentativ für ihre Kommiliton*innen zu sein. Die Kurzskala korreliert signifikant bis hoch signifikant mit mittleren Effektstärken mit mehreren Konstrukten aus dem *chemistry identity*-Modell.

(2) Prüfung der Modellpassung auf biografisch-narrative Interviewdaten:

In den qualitativen Interviews zeigte sich, dass sich die grafisch unterstütze, narrative Methode eignete, um die Studierenden zu mehrminütigen Eingangserzählungen anzuregen (vgl. Borchert et al., in diesem Band). Die Eingangserzählungen ließen sich in unterschiedlichem Ausmaß auf die Facetten der o.g. Modelle beziehen. Erzählungen über Interesse und Anerkennung durch andere fanden sich bei allen Studierenden und machten zusammen in vielen Fällen den Großteil der Codierungen aus. Diese Facetten scheinen besonders wichtig für die Identitätskonstruktion der Studierenden zu sein.

Interesse: *„da hatte ich äh chemie und mathe leistungskurse hatte ich genau das ((lacht)) was mich interessiert hat hm das habe ich auch so n bisschen aufs studium halt ausgerichtet weil*

in der zehnten klasse war mir eigentlich schon klar ja ich möchte eigentlich chemie studieren" (River 04, Pos. 4).
Anerkennung: *„der dann auf mich zugekommen is und gesagt hat du gehst jetzt studieren du bist hier komplett unterfordert"* (River 03, Pos. 6).
„das chemiestudium war glaube ich auch der erste punkt in meiner karriere sozusagen wo ich mich wirklich als chemiker empfunden habe" (River 01, Pos. 2).

Dass Interesse für die Studierenden bedeutsamer ist als Kompetenz, zeigt sich auch in Erzählungen zu Fördermaßnahmen; sie werden eher auf Interessen als auf Leistung zurückgeführt:
„und bei [naturwissenschaftliches, außerschulisches Lernangebot] da werden ja schüler die n relativ großes interesse an naturwissenschaftlichen themen besonders biologie oder chemie zeigen gefördert" (River 04, Pos. 2).

Zusätzlich finden sich auch die Facetten Kompetenz, Performanz und stellvertretende Erfahrungen in mehreren Interviews mit unterschiedlich großer Bedeutung für die Identitätskonstruktion. Eigene Leistungen werden teils über Fremdbewertungen relativiert.
Kompetenz: *„beim abitur hab ich dann relativ gutes abitur gehabt und sowohl für chemie als auch für mathe die abiturpreise erhalten also das hat mir noch mal gezeigt ich kann nicht nur chemie sondern ich könnte mathe auch schaffen"* (River 04, Pos. 4).
„ich bin jetzt im zweiten semesterhabe noch vieles vor mir aber mein chemisches wissen ist bereits so viel zugewachsen" (River 01, Pos. 2).

Zugehörigkeit und Berufswahl werden auch in den Eingangserzählungen der Interviews aufgegriffen, z.B. in der Abwägung der Studienwahl:
„dann hab ich mich damit beschäftigt was man ähm alternativ studieren kann was halt doch en teil der medizin ist und das ist halt eben biochemie und die biochemie ist ja so ein modul oder ein fach welches ähm den ganzen medizinstudenten halt eben sehr schwerfällt und dann habe ich mir gedacht mache ich das einfach erst mal das was am kompliziertesten ist //hm// und hab das schon mal in der tasche und kann danach medizin studieren" (River 02, Pos. 4).

Fazit

Die Pilotierung der ins Deutsche übersetzten *science identity*-Skala deutet darauf hin, dass die Items die Proband*innen zum Nachdenken über zentrale Facetten des *science identity*-Modells sowie Zugehörigkeit und berufliche Aspirationen anregen. Zwischen unterschiedlichen Stichproben (fachwissenschaftlichen und lehramtsbezogene Studierende der Chemie) deuten sich Unterschiede an. Da bereits die Bachelorstudierenden recht hohe Werte erzielten, könnte die 4er-Skala eine zu geringe Auflösung besitzen, um weitere Entwicklungen abzubilden. Ein Vergleich mit chemiefernen Studiengängen, in denen eine geringer ausgeprägte *science identity* erwartbar ist, erscheint sinnvoll. Ein ähnlicher Vergleich wäre auch für die Facette *mindset* aus dem Modell von Hosbein und Barbera (2020) von Interesse, ließ diese sich doch weder in den *think alouds* noch in den Eingangserzählungen auffinden. Durch die qualitativ-inhaltsanalytische Auswertung sind zwar die Facetten des *science identity*-Modells und in Teilen auch die des *chemistry identity*-Modells auffindbar, darüber hinaus erscheint die Codierung jedoch wenig erkenntnisreich für die detaillierte Analyse der Konstruktion der chemiebezogenen Identitäten der Studierenden. Daher sollen die Daten künftig rekonstruktiv und mit Fokus auf die Exklusions- und Inklusionserzählungen der Studierenden ausgewertet werden.

Förderhinweis. Das Projekt SciID wurde gefördert vom Bielefelder Nachwuchsfonds.

Literatur

Abels, H. (2017). Identität. Springer VS.

Averbeck, D. (2021). Zum Studienerfolg in der Studieneingangsphase des Chemiestudiums: Der Einfluss kognitiver und affektiv-motivationaler Variablen. Logos.

Avraamidou, L. (2020). Science identity as a landscape of becoming: Rethinking recognition and emotions through an intersectionality lens. Cultural Studies of Science Education, 15(2), 323–345.

Carlone, H. B. & Johnson, A. (2007). Understanding the Science Experiences of Successful Woman of Color: Science Identity as an Analytic Lens. Journal of Research in Science Teaching, 44(8), 1187–1218.

Christ, L.-M., Schmid, A. M., Arndt, L., Borchert, C., Brovelli, D., Krey, O., Rabe, T., Rehm, M., Schultz, F., Wilde, M. & Zügge, T. (in Vorb.). Interest goes Identity? Eine Bestandsaufnahme der Relationierungen von Interesse und Identität und deren Potentiale für die fachdidaktische Forschung der Naturwissenschaften. In O. Krey, S. Bernholt, D. Laumann & T. Rabe (Hrsg.), Interesse revisited – Das Interessenskonstrukt in den Naturwissenschaften.

Danielsson, A. T., King, H., Godec, S. & Nyström, A.-S. (2023). The identity turn in science education research: a critical review of methodologies in a consolidating field. Cultural Studies of Science Education, 695–754.

Feser, M. S., Haak, I. & Rabe, T. (2023). Sense of belonging among first-year physics students in Germany: Exploring intergroup differences and correlations. EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 19(11), em2345.

Gee, J. P. (2000). Identity as an Analytic Lens for Research in Education. Review of research in education, 25(1), 99–125.

Gonsalves, A. J., Danielsson, A. T., Avraamidou, L., Nyström, A.-S. & Esquivel, R. (2023). Using story-based methodologies to explore physics identities: How do moments add up to a life in physics? Physical Review Physics Education Research, 19(2), Artikel 020106, 020106-1 - 020106-13.

Heublein, U., Ebert, J., Hutzsch, C., Isleib, S., König, R., Richter, J. & Woisch, A. (2017). Zwischen Studienerwartungen und Studienwirklichkeit: Ursachen des Studienabbruchs, beruflicher Verbleib der Studienabbrecherinnen und Studienabbrecher und Entwicklung der Studienabbruchquote an deutschen Hochschulen. DZHW.

Hosbein, K. N. & Barbera, J. (2020). Alignment of theoretically grounded constructs for the measurement of science and chemistry identity. Chemistry Education Research and Practice, 21(1), 371–386.

Robinson, K. A., Perez, T., Carmel, J. H. & Linnenbrink-Garcia, L. (2019). Science identity development trajectories in a gateway college chemistry course: Predictors and relations to achievement and STEM pursuit. Contemporary Educational Psychology, 56, 180–192.

Schwedler, S. (2017). Was überfordert Chemiestudierende zu Studienbeginn? Eine qualitative Analyse zur Ausprägung des Stresserlebens und Ursachen der Fehlbeanspruchung im Studium der Chemie und chemienaher Fächer. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 23(1), 165–179.

Sandmann, A. (2014). Lautes Denken - die Analyse von Denk-, Lern- und Problemlöseprozessen. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung (S. 179–188). Springer Spektrum.

Walton, G. M., Murphy, M. C., Logel, C., Yeager, D. S., Goyer, J. P., Brady, S. T., Emerson, K. T. U., Paunesku, D., Fotuhi, O., Blodorn, A., Boucher, K. L., Carter, E. R., Gopalan, M., Henderson, A., Kroeper, K. M., Murdock-Perriera, L. A., Reeves, S. L., Ablorh, T. T., Ansari, S., . . . Krol, N. (2023). Where and with whom does a brief social-belonging intervention promote progress in college? Science, 380(6644), 499–505.

Williams, D. R., Brule, H., Kelley, S. S. & Skinner, E. A. (2018). Science in the Learning Gardens (SciLG): A study of students' motivation, achievement, and science identity in low-income middle schools. International journal of STEM education, 5(1), 1–14.

Cornelia Borchert[1]
Francisca Schultz[1]
Merlin Beaujean[1]
Josia Hoppmann[1]
Stefanie Schwedler[1]

[1]Universität Bielefeld

Erhebung der Fachidentität bei Studierenden der Chemie und des Sachunterrichts mit der *river of life*-Methode

Studienerfolg und Professionalisierung. Studierende im fachwissenschaftlichen Studium der Chemie und im Lehramtsstudium des Sachunterrichts stellen aufgrund ihres maximalen Kontrasts methodisch gesehen interessante Gruppen für einen Vergleich ihrer professionellen Identitäten dar: Beide Gruppen befassen sich in ihrem Studium an der Universität Bielefeld mit Fachkompetenzen der Chemie, allerdings ist das Chemiestudium fast ausschließlich auf Chemie fokussiert, während Chemie im Sachunterrichtsstudium als Teil der Vielperspektivität der natur- und gesellschaftswissenschaftlichen Disziplinen vermittelt wird. Beide Studiengänge verbindet die Bedeutung der Identifikation mit dem Fach als förderlicher Prozess für Studienerfolg bzw. als Studienziel (GDSU, 2019; Heublein et al., 2017; Theune, 2021). In den naturwissenschaftlichen Fächern ist die Hochschule ein wichtiger Ort für die professionsbezogene Sozialisation (z.B. Kreitz, 2000). Eine hohe Identifikation mit den Naturwissenschaften sagt Studienerfolg in Chemie voraus, ist aber in marginalisierten Gruppen weniger häufig (z.B. Robinson et al., 2019). Die Entwicklung einer professionellen Identität zielt bei Lehramtsstudierenden auf ihre (künftige) Rolle als Lehrkraft und damit zur Stärkung ihrer Handlungsfähigkeit und der Verbesserung der Unterrichtsqualität (Hericks et al., 2019). Auch das Unterrichten naturwissenschaftlicher Themen hängt u.a. von den eigenen Erlebnissen ab (Landwehr, 2002). Die Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU, 2019) postuliert daher als Studienziel, dass Sachunterrichtsstudierende eine Fachidentität ausbilden.

Identität. Die Identität einer Person wird als eine stabile Kernidentität mit unterschiedlichen, situativ wandelbaren Teilidentitäten aufgefasst (Gee, 2000). Die Teilidentitäten konstruiert das Subjekt in sozialen Situationen auf Basis von eigenen Vorstellungen über seine Vergangenheit und Zukunft sowie anhand antizipierter Erwartungen anderer (Abels, 2017). Entsprechend können Stereotype und weitere, ggf. konkurrierende, situativ relevante Teilidentitäten (z.B. die Gender-Identität, andere fachliche Identitäten) auch zur Verunmöglichung anderer Identitätskonstruktionen beitragen. Das Konstrukt der *science identity* beschreibt die naturwissenschaftliche Teilidentität als Selbst- und Fremdanerkennung als naturwissenschaftliche Person (Carlone & Johnson, 2007; vgl. Christ, Schmid et al., in Vorb. zu Identitätstheorien in den naturwissenschaftlichen Fachdidaktiken). Zugänglich werden Identitätskonstruktionen beispielsweise über biografische Erzählungen, da Identität aktiv in Erzählungen hergestellt wird (Lucius-Hoene & Deppermann, 2002). Zur Erhebung eignen sich biografisch-narrative Interviews (ebd.), die auch mit zusätzlichen grafischen Elementen wie Zeitleisten und Klebezetteln unterstützt werden können (Gonsalves et al., 2023).

Forschungsfrage. Aus dem anglo-amerikanischen Raum sind Facetten und Aushandlungsbereiche der *science identity* von Naturwissenschaftler*innen bekannt (z.B. Carlone &

Johnson, 2007; Hosbein & Barbera, 2020); inwiefern diese auf den deutschsprachigen Kontext zutreffen, wurde bisher nicht untersucht.
Die Entwicklung einer „Fachidentität“ (GDSU, 2019, S. 26) ist Ziel in allen Ausbildungsphasen des Lehramts Sachunterricht. Der Begriff wird im Sachunterrichtsdiskurs schlagwortartig genutzt, jedoch fehlt bisher eine theoretische Fundierung, u.a. in Bezug auf die Perspektiven des Sachunterrichts (Siebach, 2022). Außerdem ist nicht bekannt, ob tatsächlich eine einzelne Fachidentität des Sachunterrichts oder mehrere, z.B. auf die studierten Fächer oder die Perspektiven bezogenen Fachidentitäten im Studium entwickelt werden (vgl. Reh, 2021). Eine Beschreibung der Identitätskonstruktionen anhand des Modells der *science identity* kann ein erster Schritt in Richtung einer Klärung sein. Zudem ist ein Vergleich der beiden Gruppen (Chemie und Sachunterricht) von Interesse, da die monofachliche Ausrichtung des Chemiestudiums einen besonders großen Kontrast gegenüber dem von Vielperspektivität und mehreren gleichberechtigt studierten Fächern (u.a. auch Chemie) geprägten Sachunterricht aufweist. Zunächst stellt sich jedoch die Frage: Wie konstruieren Studierende der Chemie bzw. des Sachunterrichts fachbezogene Identitäten in biografischen Erzählungen?

Biografisch-narrative Interviews mit grafischer Unterstützung durch den *river of life*.
Die fachbezogene Identität der Chemie- und Sachunterrichtsstudierenden wird als narrative Identität mittels biografischer Interviews erhoben. Da die erzählgenerierende Frage nach dem Gewordensein in Vorarbeiten mit (angehenden) Chemielehrkräften nur zu sehr kurzen Eingangserzählungen von durchschnittlich ein bis zwei Minuten führte, wurde eine grafisch unterstützte Erhebungsmethode gewählt. Dazu wurde die von Gonsalves et al. (2023) entwickelte Methode des *river of life* verwendet, in der die Studierenden sich im Vorfeld des Interviews anhand einer Instruktion zeichnerisch mit ihrem Weg zur Chemie bzw. zum Sachunterricht auseinandersetzen. Die englischsprachige Instruktion wurde ins Deutsche übersetzt und an das Fach Chemie angepasst (Autor*innen 1, 3 und 4). Für die Erhebung im Sachunterricht wurde die Instruktion von Autorin 2 entsprechend angepasst; ergänzt wurde, dass die Phase der Schulzeit in Grundschule und weiterführende Schule unterteilt werden kann und dass Schulpraktika und Praxisphasen im Studium einbezogen werden sollen.
Für beide Stichproben beinhaltet die Instruktion, den eigenen Weg in Form eines Flusslaufs, dem *river of life*, zu zeichnen und dabei Elemente aus dem Wortfeld Fluss zu verwenden, z.B. Stromschnellen für Schwierigkeiten. Reflexionsimpulse zu Emotionen, Selbstwahrnehmung, Anerkennung oder Entmutigung ergänzen die Zeichen-Instruktion. Im Interview erzählen die Teilnehmenden zunächst ohne Unterbrechung durch die Interviewer*innen entlang ihres *river of life*, wie sie zum Studium der Chemie bzw. des Sachunterrichts gekommen sind. Daran schließt ein Nachfrageteil zu *river* und chemie- bzw. sachunterrichtsbezogener Biografie an. Im Sommersemester 2024 wurden neun *river*-Interviews mit Studierenden einer Chemielehrveranstaltung und zwei Interviews im Sachunterricht geführt.

Erste Ergebnisse. Die Eingangserzählungen in den *river*-Interviews, in denen die Interviewees ohne Unterbrechung über ihren Weg zur Chemie erzählen, belaufen sich auf durchschnittlich 8 Minuten und bieten so eine deutlich umfangreichere Datengrundlage für die Rekonstruktion von fachbezogenen Identitäten zu Chemie bzw. Sachunterricht als ohne grafische Unterstützung. Die studentischen Zeichnungen sind größtenteils sehr detailreich angefertigt. In den Interviews verweisen die Studierenden immer wieder auf ihre Fluss-Zeichnungen und gehen auf die Details ein. Teils übernehmen sie die Metaphorik aus dem Wortfeld Fluss auch in ihre biografischen Erzählungen, vgl. unterstrichene Passagen:

„*dann begann auch meine Zeit mit dem Chemieunterricht wo ich meine ersten Zuflüsse hatte also hier der schöne Wasserfall mit den Zuflüssen von meinem Chemiewissen […] und es blüht generell alles mit dem Schilf auf [in river-Zeichnung sind Pumpenkolben abgebildet, Anm. d. Verf.] und das war eben meine Realschulzeit*“ (River01, Pos. 2, sprachlich bereinigt).

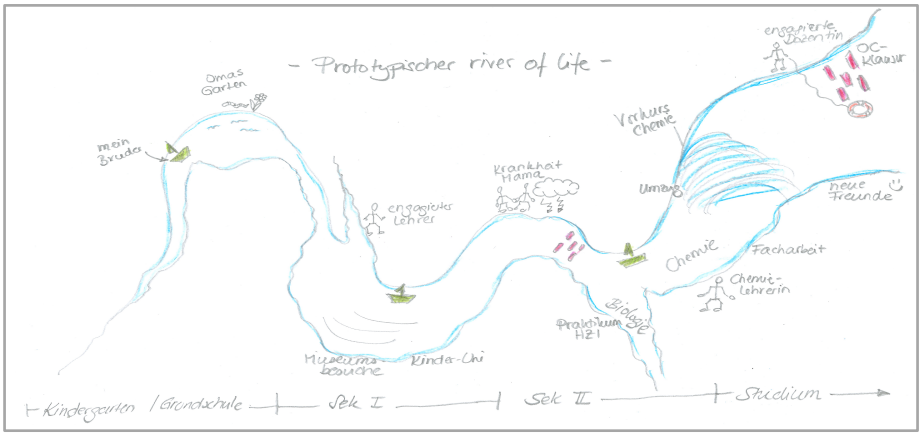


Abb. 1 Prototypischer river of life

Typisch sind in beiden Stichproben mäandrierende Verläufe eines Hauptflusses mit unterschiedlichen Breiten des Flusslaufs über die Zeit als Zeichen für die Veränderung des Bezugs zum Fach bzw. für die Veränderung des Interesses am Fach. In einigen Fällen wurde der Fluss mit Achsenbeschriftungen zum Alter der Person bzw. zu den Phasen der Biographie (frühe Kindheit, Schulzeit, Studium) versehen. Ein Chemiestudent zeichnete anstelle eines Flusses eine Art Potentialdiagramm mit einer horizontalen Zeit-Achse und einer vertikalen Interesse-Achse. Als Zeichen für kurzfristige und später nicht weiterverfolgte Wege der eigenen Biografie oder auch für geplante Anschlüsse an die aktuelle Situation zeichneten viele Studierende Zuläufe und abzweigende Seitenarme an den Hauptfluss. Hinzu kamen bei vielen Studierenden Strichmännchen und teilweise auch Boote für Personen, die sie auf dem Weg begleitet und unterstützt hatten. Die Studierenden zeichneten Stromschnellen, Baumstämme oder Steinschläge für herausfordernde Ereignisse und Hindernisse auf dem Weg.

Diskussion und Ausblick. Die Zeichnungen der *river of life* und die umfangreicheren Eingangserzählungen zeigen, dass die grafisch gestützte Methode von den Studierenden gut angenommen wurde. Es fiel den Studierenden tendenziell leicht, ihre biografische Erzählung mithilfe des *river of life* zu produzieren. Verglichen mit den von Gonsalves et al. (2023) beschriebenen Zeichnungen, die bei kanadischen Physikerinnen erhoben wurden, zeigten sich ähnliche zeichnerische Elemente (z.B. Wasserfälle, Stromschnellen, Boote) bei den Chemie- und Sachunterrichtsstudierenden. Dies legt eine Übertragbarkeit der Methode auf deutschsprachige Studierende nahe. Weitere Interviews mit den Sachunterrichtsstudierenden werden im Laufe des Wintersemesters 2024/25 geführt. Künftig sollen die Eingangserzählungen zum *river of life* hinsichtlich der o. g. Forschungsfrage rekonstruktiv ausgewertet werden. Eine vergleichende Betrachtung von Gemeinsamkeiten und Unterschieden in *river*-Verläufen und Erzählungen der Chemie- und Sachunterrichts-studierenden ist angedacht.

Förderhinweis. Das Projekt SciID, in dessen Rahmen die Teilstichprobe der Chemiestudierenden untersucht wurde, wurde gefördert vom Bielefelder Nachwuchsfonds.

Literatur

Abels, H. (2017). Identität. Springer VS.

Carlone, H. B. & Johnson, A. (2007). Understanding the Science Experiences of Successful Woman of Color: Science Identity as an Analytic Lens. Journal of Research in Science Teaching, 44(8), 1187–1218.

Christ, L.-M., Schmid, A. M., Arndt, L., Borchert, C., Brovelli, D., Krey, O., Rabe, T., Rehm, M., Schultz, F., Wilde, M. & Zügge, T. (in Vorb.). Interest goes Identity? Eine Bestandsaufnahme der Relationierungen von Interesse und Identität und deren Potentiale für die fachdidaktische Forschung der Naturwissenschaften. In O. Krey, S. Bernholt, D. Laumann & T. Rabe (Hrsg.), Interesse revisited – Das Interessenskonstrukt in den Naturwissenschaften.

Gee, J. P. (2000). Identity as an Analytic Lens for Research in Education. Review of research in education, 25(1), 99–125.

Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts. (2019). Qualitätsrahmen Lehrerbildung Sachunterricht und seine Didaktik im Kontext der universitären Ausbildungsphase.

Gonsalves, A. J., Danielsson, A. T., Avraamidou, L., Nyström, A.-S. & Esquivel, R. (2023). Using story-based methodologies to explore physics identities: How do moments add up to a life in physics? Physical Review Physics Education Research, 19(2), Artikel 020106, 020106-1 - 020106-13.

Heidenreich, M. (2013). Berufskonstruktion und Professionalisierung. In J.-P. Pahl & V. Herkner (Hrsg.), Handbuch Berufsforschung (313-327). Bertelsmann.

Hericks, U., Keller-Schneider, M. & Bonnet, A. (2019). Professionalität von Lehrerinnen und Lehrern in berufsbiografischer Perspektive. In M. Harring, C. Rohlfs & M. Gläser-Zikuda (Hrsg.), UTB Schulpädagogik: Bd. 8698. Handbuch Schulpädagogik (S. 597–607). Waxmann.

Heublein, U., Ebert, J., Hutzsch, C., Isleib, S., König, R., Richter, J. & Woisch, A. (2017). Zwischen Studienerwartungen und Studienwirklichkeit. DZHW.

Horstmann, A. (2022). Feminisierung als Statusproblem: Der Verein Deutscher Chemiker und seine Berufskonstruktion der Chemikerin. OeZG, 33(3), 101–123.

Hosbein, K. N. & Barbera, J. (2020). Alignment of theoretically grounded constructs for the measurement of science and chemistry identity. Chemistry Education Research and Practice, 21(1), 371–386.

Kreitz, R. (2000). Vom biographischen Sinn des Studierens: Die Herausbildung fachlicher Identität im Studium der Biologie. Biographie und Gesellschaft: Bd. 27. Leske + Budrich.

Landwehr, B. (2002). Distanzen von Lehrkräften und Studierenden des Sachunterrichts zur Physik. Eine qualitativ-empirische Studie zu den Ursachen. Studien zum Physiklernen: Bd. 23. Logos.

Lucius-Hoene, G. & Deppermann, A. (2002). Rekonstruktion narrativer Identität. Springer Fachmedien.

Pascher-Kirsch, U. & Jansen, K. (2014). Chemiker machen Karriere. Und Chemikerinnen? Eine Annäherung an die Karrierebilder im Fachdiskurs der Chemie. GENDER, 6(3), 61–77.

Reh, A. (2021). Rekonstruktion professioneller Wahrnehmungs- und Handlungsstrukturen im Sachunterricht. Untersuchung über die Beschaffenheit des professionellen Habitus als Teil einer sachunterrichtsdidaktischen Fachidentität [Dissertation]. Universität Bielefeld.

Robinson, K. A., Perez, T., Carmel, J. H. & Linnenbrink-Garcia, L. (2019). Science identity development trajectories in a gateway college chemistry course: Predictors and relations to achievement and STEM pursuit. Contemporary Educational Psychology, 56, 180–192.

Siebach, M. (2022). Identität als Diskursgegenstand der Didaktik des Sachunterrichts. Springer Fachmedien.

Theune, K. (2021). Determinanten und Modelle zur Prognose von Studienabbrüchen. In M. Neugebauer, H.-D. Daniel & A. Wolter (Hrsg.), Studienerfolg und Studienabbruch (S. 19–40). Springer Fachmedien.

Laura Celine Leppla[1]
Isabel Seibert[2]
Johann-Nikolaus Seibert[1]

[1]RPTU Kaiserslautern-Landau
[2]IGS Otterberg

Förderung der Bewertungskompetenz durch Ansätze des selbstregulierten Lernens

In der komplexen, digitalisierten Welt gewinnt die Fähigkeit, neues Wissen adaptiv zu erlernen und kritisch zu bewerten, an Bedeutung (Kirschner & Stoyanov, 2020). Die Bewertungskompetenz (BWK) bildet eine essenzielle Voraussetzung, die im Unterricht gezielt gefördert werden muss, um Schüler:innen zu befähigen, als partizipative Bürger:innen aktiv am gesellschaftlichen Diskurs teilzuhaben. Das WAAGE^{R}-Modell von Langlet et al. (2022) wurde als unterrichtskompatiblen Ansatz entwickelt, um Bewertungsprozesse gezielt zu strukturieren und durch die Minimierung von Komplexität sowie Zeitaufwand die Förderung der BWK zu optimieren. Zahlreiche Interventionsstrategien zur Förderung der BWK fokussieren auf Metakognition, was neben Kognition und Motivation eine der drei Komponenten der Selbstregulation und damit Voraussetzung zum Selbstregulierten Lernens (SRL) und somit auch als zentrale Voraussetzung für Entscheidungskompetenz darstellt (Byrnes et al., 1999; Miller & Byrnes, 2001; Zimmerman, 2000). Eggert et al. (2013) sowie Ku und Ho (2010) belegen, dass metakognitive Instruktionen Lernleistungen, kritisches Denken und BWK im naturwissenschaftlichen Unterricht verbessern. Da Metakognition ein wesentlicher Bestandteil des SRL ist, wird eine Korrelation zwischen BWK und SRL vermutet und eine Korrelationsanalyse nach Pearson durchgeführt.

Vorstudie: Korrelation zwischen SRL und BWK

Diese Korrelationsanalyse wurde mit einer gültigen Stichprobe von $N = 86$ Chemieschüler:innen der Sekundarstufe II umgesetzt. Als Erhebungsinstrumente dienten dabei zwei geschlossene Fragebögen, welche das SRL sowie die BWK der Teilnehmenden erfassen. Erste Ergebnisse dieser Analyse zeigen eine signifikante positive Beziehung zwischen SRL und BWK mit einem Korrelationskoeffizient von $r = 0{,}694$ ($p < 0{,}001$). Dies bedeutet, dass Lernende, die eine höhere Ausprägung von SRL zeigen, auch eine höhere BWK aufweisen, wobei keine Kausalität vorhergesagt werden kann. Dieser Zusammenhang wurde ebenfalls in den drei Komponenten des SRL untersucht, wobei die metakognitive Komponente, die Planung, Selbstbeobachtung und Reflexion umfasst, den stärksten Zusammenhang mit der BWK ($r = 0{,}657$) zeigte. Diese ersten Ergebnisse legen jedoch auch methodische Limitationen offen, die in zukünftiger Forschung berücksichtigt werden müssen. So erfassen die eingesetzten Fragebögen die komplexen und oft unbewussten metakognitiven Prozesse nur unzureichend, da sie eine retrospektive Reflexion des Bewertungs- und Lernvorgangs erfordern, was die Validität der Ergebnisse einschränkt. Dennoch verdeutlichen diese Ergebnisse die zentrale Bedeutung der Selbstregulation, insbesondere der Metakognition, für die Entwicklung der BWK und bilden die Basis für eine Interventionsstudie, die gezielt metakognitive Ansätze zur Förderung der BWK implementiert.

Sind E-Zigaretten eine nachhaltige Alternative zu herkömmlichen Zigaretten?! - Ein KI-unterstütztes experimentelles Bewertungssetting

Der Bewertungsprozess der Interventionsstudie wird in Anlehnung an das WAAGE^{R}- Modell gestaltet, wobei eine inhaltliche Anpassung der Schwerpunktsetzung innerhalb der sechs Schritte: Wahrnehmen, Analysieren, Argumentieren, Gewichten, Entscheiden und Reflektieren am konkreten Beispiel beschrieben wird. In den Phasen des Argumentierens und Reflektierens wird eine ergänzende metakognitive Unterstützung implementiert. Die Bewertungseinheit initiiert den Lernprozess durch eine konfrontative Auseinandersetzung mit dem socio-scientific issues „Vapes oder Zigaretten?!“ anhand eines provokativ gestalteten Videos, welches das kritische Denken der Schüler:innen stimuliert, indem eine bewusst euphemistische Darstellung des Konsumverhaltens authentischer Protagonisten beschrieben wird (Sadler & Zeidler, 2005). Im Anschluss wird eine metakognitive Reflexionsaufgabe gestellt, bei der die Lernenden bspw. die Problemfrage „Stellen Vapes eine nachhaltige Alternative zu Zigaretten dar?“ formulieren, um den zentralen Diskursfokus herauszuarbeiten. Die darauffolgende Auseinandersetzung mit der Problemfrage verdeutlicht die Multiperspektivität des Entscheidungsdiskurses und ermöglicht eine fundierte Argumentationsentwicklung. Hierbei entwickeln die Schüler:innen in einer kriteriengeleiteten Bewertung eigene Analysekriterien und ordnen diese ökologischen, ökonomischen und sozialen Dimensionen der Nachhaltigkeit zu, wobei eine klare Unterscheidung zwischen subjektiven und objektiven Analysekriterien bewusst mit den Lernenden thematisiert werden muss. Im weiteren Verlauf der Einheit erkennen die Lernenden, dass Ihnen spezifisches Fachwissen fehlt, um eine fundiere Entscheidung zu formulieren. Dies führt zu einer Experimentierphase, in der die Schüler:innen durch chemische Experimente Fachwissen zu den Analysekriterien erwerben sollen. Die Versuche erforschen unterschiedliche Aspekte von Zigaretten und Vapes. Zunächst werden deren Aufbau, chemische Komponenten sowie Entsorgung und Recyclingmöglichkeiten untersucht. Dabei spielt die Umweltbelastung durch schwer abbaubare Filter aus Celluloseacetat eine zentrale Rolle. Aromastoffe in Vapes werden synthetisiert und deren Einfluss auf das Konsumverhalten sowie Suchtpotenzial analysiert. Zudem wird die Nikotinkonzentration in E-Liquids gemessen und mögliche Regulierungsansätze zur Suchtentwöhnung diskutiert. Ebenso wird die Feinstaubbelastung durch Zigaretten- und Vape-Aerosol sowie deren gesundheitliche Auswirkungen analysiert und toxische Stoffe im Rauch und Dampf nachgewiesen. In weiteren Experimenten liegt der Fokus auf der Untersuchung von Lithium-Ionen-Akkus, insbesondere deren Ladeverhalten, strukturellem Aufbau und den Risiken durch unsachgemäße Entsorgung. Der Nachweis von Kupfer, Aluminium und Lithium in den Elektroden des Akkus, runden die Untersuchungen ab, wobei auch ökologische und soziale Folgen der Rohstoffgewinnung betont werden. Mithilfe der experimentell erlangten Fachwissensbasis formulieren die Schüler:innen Argumente, die sich strukturell an dem Toulmin Schema orientieren (Toulmin, 2003). Hierzu dient ein webbasiertes adaptive KI-Feedbacktool als metakognitive Unterstützung zur Förderung der Argumentationskompetenz, indem es individuelle Rückmeldungen zu formulierten Schüler:innenargumenten generiert, ohne Lösungen bzw. Verbesserungsvorschläge vorwegzunehmen. Das Tool basiert auf einer vertikalen didaktischen Reduktion des Toulmin-Schemas auf vier Strukturelemente und ordnet jedem Argument eine entsprechende Niveaustufe zu (Erduran, 2019; Toulmin, 2003; Venville &

Dawson, 2010). Dies ermöglicht eine Diagnose des aktuellen Argumentationsniveaus auf struktureller Ebene und bietet gezielte Verbesserungsvorschläge (vgl. Abb. 1), um die nächsthöhere Stufe zu erreichen. Darüber hinaus enthält das Tool metakognitive Leitfragen, die „think provoking“ (Kramarski et al., 2002) anregen und die Schüler:innen zur kritischen Selbstreflexion ihrer Argumentationsstrukturen anregen sollen. Zusätzlich wird das Konfidenzniveau des KI-Feedbacks angegeben, um die Glaubwürdigkeit der Rückmeldungen transparent zu machen und die Eigenverantwortung der Lernenden zu stärken (vgl. Abb. 1).

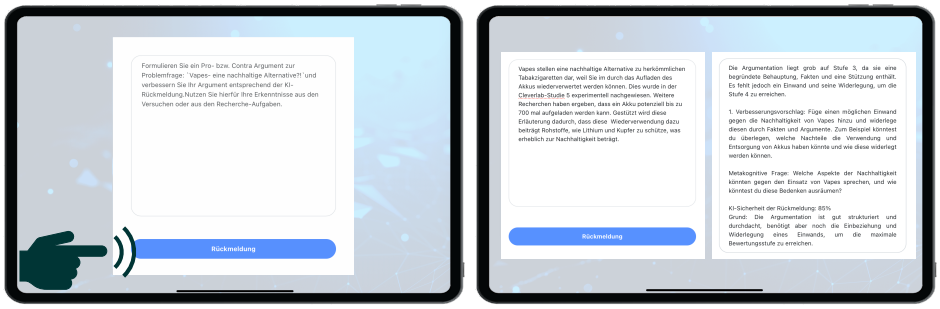


Abbildung 1: Ausschnitt des KI-Feedbacktools zur Unterstützung von Argumenten

Die vollständig formulierten Argumente werden von den Lernenden gewichtet, sodass eine Entscheidung getroffen werden kann. Anschließend werden Handlungsoptionen, welche die jeweilige Entscheidung unterstützen, abgeleitet. Die Schüler:innen reflektieren den gesamten Bewertungsprozess unter Zuhilfenahme metakognitiver Leitfragen und vergleichen ihre anfänglichen Positionen mit den finalen Entscheidungen.

Zukünftiges Interventionssetting und Forschungsansatz:

In zukünftigen Forschungen ist eine Prä-Post-Evaluation im quasi-experimentellen Design mit einer breiteren Stichprobe von Schüler:innen geplant, um die Wirksamkeit der Intervention umfassender zu untersuchen. Es wird erwartet, dass solche Experimentalgruppen, die eine Bewertungseinheit mit metakognitiven sowie KI-unterstützen Leitfragen verwenden, signifikante Leistungssteigerungen zeigen, insbesondere hinsichtlich der Förderung von SRL und BWK.

Zur weiteren Optimierung des KI-Tools können gezielte metakognitive Maßnahmen und eine zeitliche Überwachung implementiert werden. Hierbei können Ansätze von Learning Analytics und Educational Data Mining das Potential bieten, Lernprozesse tiefer zu analysieren und Bewertungsprozesse individuell gestalten. Lehrpersonen könnten auf diese Weise den individuellen Lernfortschritt der Schüler:innen gezielt im Rahmen eines Monitorings überwachen und etwaige Schwierigkeiten identifizieren. Entscheidungsstile der Lernenden, die bislang vernachlässigt wurden, sollten in zukünftigen Studien untersucht bzw. kontrolliert werden, um deren Einfluss auf die Effektivität von SRL-Interventionen zu verstehen. Darüber hinaus sind die Langzeiteffekte von SRL-Interventionen auf die Entwicklung der BWK noch weitgehend unerforscht, was die Notwendigkeit eines Follow-up-Tests unterstreicht. Abschließend stellt sich die Frage, welche Phasen des Bewertungsprozesses am stärksten von KI-gestütztem Feedback profitieren und wie viele Feedbackschleifen notwendig sind, um die höchste Argumentationsstufe zu erreichen.

Literatur

Byrnes, J. P., Miller, D. C., & Reynolds, M. (1999). Learning to Make Good Decisions: A Self-Regulation Perspective. *Child Development*, *70*(5), 1121-1140. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1467-8624.00082

Eggert, S., Ostermeyer, F., Hasselhorn, M., & Bögeholz, S. (2013). Socioscientific Decision Making in the Science Classroom: The Effect of Embedded Metacognitive Instructions on Students' Learning Outcomes. *Education Research International*, *2013*. https://doi.org/10.1155/2013/309894

Erduran, S. (2019). Argumentation in Chemistry Education: An Overview. In S. Erduran (Ed.), *Argumentation in Chemistry Education: Research, Policy and Practice* (pp. 0). The Royal Society of Chemistry. https://doi.org/10.1039/9781788012645-00001

Kirschner, P. A., & Stoyanov, S. (2020). Educating Youth for Nonexistent/Not Yet Existing Professions. *Educational Policy*, *34*(3), 477-517. https://doi.org/10.1177/0895904818802086

Kramarski, B., Mevarech, Z., & Arami, M. (2002). The effects of metacognitive instruction on solving mathematical authentic tasks. *Educational Studies in Mathematics*, *49*, 225-250. https://doi.org/10.1023/A:1016282811724

Ku, K. Y. L., & Ho, I. T. (2010). Metacognitive strategies that enhance critical thinking. *Metacognition and Learning*, *5*(3), 251-267. https://doi.org/10.1007/s11409-010-9060-6

Langlet, I. E., S. Gemballa, G. Heckmann, A. Kunz, M. Lübeck, A. Meisert, J. Menthe, J. Ratzek, P. Wlotzka & R. Wodzinski. (2022). Bewertungskompetenz in den Naturwissenschaften - Denkanstöße, Empfehlungen und Hilfen für den Unterricht und für Aufgaben. *MNU Deutscher Verein zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts e.V. Jürgen Langlet*.

Miller, D., & Byrnes, J. (2001). Adolescents' decision making in social situtions: A self-regulation perspective. *Journal of Applied Developmental Psychology*, *22*, 237-256. https://doi.org/10.1016/S0193-3973(01)00082-X

Sadler, T. D., & Zeidler, D. L. (2005). Patterns of informal reasoning in the context of socioscientific decision making. *Journal of Research in Science Teaching*, *42*(1), 112-138. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/tea.20042

Toulmin, S. E. (2003). *The Uses of Argument*. Cambridge University Press. https://books.google.de/books?id=8UYgegaB1S0C

Venville, G. J., & Dawson, V. M. (2010). The impact of a classroom intervention on grade 10 students' argumentation skills, informal reasoning, and conceptual understanding of science. *Journal of Research in Science Teaching*, *47*(8), 952-977.

Zimmerman, B. J. (2000). Chapter 2 - Attaining Self-Regulation: A Social Cognitive Perspective. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich, & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of Self-regulation* (pp. 13-39). Academic Press. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-012109890-2/50031-7

Christiane Richter[1]
Michael Komorek[1]

[1]Universität Oldenburg

Schülerlaborangebote speziell für Mädchen?!

Um Mädchen nachhaltig für MINT-Themen zu interessieren, müssen sie früh MINT-bezogene Selbstwirksamkeit erfahren. Insbesondere geht es dabei nach Cimpian et al. (2020) um die große Gruppe der durchschnittlich leistungsfähigen Mädchen. Sie entscheiden sich tendenziell nicht für ein MINT-Studium, wenn sie sich als Schüler:innen nur selten als selbstwirksam wahrgenommen haben.
Wir haben Laborangebote für Schülerinnen entwickelt, die am Erleben von Selbstwirksamkeit ansetzen; diese Angebote gehen davon aus, dass Mädchen nicht anders als Jungen lernen, aber andere Anreize benötigen, sensibel auf dargebotene Kontexte reagieren (Kircher et al., 2010) und dabei genauso gern, aber kooperativ experimentieren (Osborne & Collins, 2001). Im Beitrag stellen wir das Format „Forschen als Wissenschaftlerin“ vor, das explizit Motivationsaspekte wie Wahrnehmung von Autonomie, Selbstwirksamkeit, sozialer Eingebundenheit und thematische Relevanz des Themas in physikdidaktischer Weise umzusetzen und Mädchen damit zu fördern versuchen.

Was hindert Mädchen, Physik zu studieren?
Nach Stadler (2004, S.36) führen bestimmte Formen der Sozialisation von Mädchen in der Gesellschaft zu diesem Effekt. Die Gesellschaft vermittelt den Mädchen teils unterschwellig, dass sie im technisch-mathematischen Bereich wenig talentiert sind. Und die Orientierung durch Elternhaus und Peer-Groups verstärkt dieses physikferne Selbstkonzept. Physik wird als männlich konnotierte Aktivität wahrgenommen (Koballa 1995). Zudem fehlen Mädchen weibliche Vorbilder, so dass sie stereotype Vorstellungen entwickeln (Jörissen 2010; Baker & Leary 1995). Damit klammern Mädchen Physik schon früh als Berufswunsch aus (Häußler & Hoffmann 1995), weil diese Berufswahl keinen Prestigegewinn, sondern eher ein Außenseitertum und einen vermeintlichen Mangel an Weiblichkeit mit sich bringt. Die dadurch verursachte Einsamkeit von Frauen in typischen Männerberufen ist ein unterschätztes Problem (Tophoven, du Prel, Peter & Kretschmer 2014; Baker 1998). Besteht darüber hinaus die Überzeugung, dass Erfolg in bestimmten Fachgebieten nur durch angeborenes Talent oder Brillanz erzielt werden kann („Stereotyp der Brillanz“ (Leslie, Cimpian, Meyer & Freeland 2015; Napp & Breda 2022)) und dass Talent und Brillanz nur Männer besitzen, dann hat dies einen erheblichen Einfluss auf das Fähigkeitsselbstkonzept von Mädchen und Frauen. Hartnäckige Vorurteile verhindern eine Universitätskarriere, das Vorurteil, Mädchen seien weniger begabt als Jungen, ist verletzend.
Bedingt durch das so entwickelte Fähigkeitsselbstkonzept wählen Mädchen andere MINT-Kurse als Physik in den höheren Schulen als Jungen (Friedman-Sokuler & Justman 2016), nutzen aufgrund dort erwirtschafteter besserer Noten andere berufliche Optionen (Breda & Napp, 2019) und schlagen andere Karrierewege ein (Morgan, Gelbgiser & Weeden 2013).
Es ist nicht so, dass Mädchen kein Interesse an Physik haben, auch finden sie Physik wichtig, aber sie sehen in der Physik nur geringe Relevanz für ihr eigenes Leben (Holstermann & Bögeholz 2007; Häußler & Hoffmann 1995). Das Interesse kann aber dadurch positiv beeinflusst werden, indem Mädchen unterstützt werden, Physik im größeren und alltagsnahen

Kontexten zu sehen (Stadler, 2004; Hoffman, Häußler, Lehrke 1998). Dies kann genutzt werden, um Mädchen für Physik zu begeistern.

Brauchen Mädchen andere Zugänge?

Die Förderung naturwissenschaftlicher Interessen von Jugendlichen durch ihre Eltern und Lehrkräfte ist deutlich vom Geschlecht abhängig (Körber-Stiftung acatech 2014). Da in der Schule Jungen oft als interessierter gelten und andere Angebote und Fragestellungen bekommen als Mädchen (Günther 2015), bringen Mädchen weniger Vorwissen mit, auf das sie aufbauen können. (Angehende) Lehrkräfte müssen daher sensibilisiert werden, diesen Stereotypen entgegenzuwirken. Mädchen lernen nicht anders als Jungen, aber sie benötigen andere Anreize. Sie schätzen Diskussionen und kooperative Lernformen; sie experimentieren genauso gern wie Jungen und möchten ebenso eigenständig arbeiten und forschen (Osborne & Collins, 2001). Sie reagieren sensibel auf die Wahl der Kontexte, in die Physik eingebettet ist (Kircher et al., 2020); sind diese unpassend, wirkt dies negativ auf das situative Interesse von Mädchen. Da Interesse, Behalten und Selbstwirksamkeit hoch korrelieren (Duchardt, Bossmann & Denz, 2019), wirken manche Kontexte negativ auf Selbstwirksamkeit und Selbstkonzept von Mädchen (zur Talentzuweisung s. Napp & Breda, 2022).

Studienziele und Vorgehen

Schülerlabore können bei geeigneter didaktischer Strukturierung eine hohe Interaktivität und eine sinnstiftende Kontextualisierung bieten (Sajons, 2020). Insbesondere Mädchen können davon profitieren. Im Format „Forschen als Wissenschaftlerin“ wird mit dem Schülerlabor Zentrum Natur und Technik znt in Aurich kooperiert. Dort werden vorhandene Angebote speziell für Mädchen adaptiert und geöffnet (Poppe, 2021). Die teilnehmenden Mädchen sollen die eigenen Interessen und die eigene Sozialisation innerhalb des Laborangebots reflektieren. Die Labortätigkeit wird in eine Vor- und Nachbesprechung eingebettet. Unsere Untersuchungen sind in Form studentischer Abschlussarbeiten realisiert worden. Poppe (2021) und Pfeiffer (2022) haben das Konzept der Erprobung entwickelt und umgesetzt, indem sie vorhandene Experimentierangebote des znt (z.B. Bau einer Kurbelleuchte) an die Zielgruppe der Mädchen angepasst haben. (Einbettung in einen Kontext, Monoedukation, kooperative Arbeitsformen). Zur empirischen Begleitforschung wurden Einzelinterviews, Gruppeninterviews, kriteriengeleitete Beobachtungen sowie Akzeptanzbefragung (Albers, 2022) eingesetzt.

Ablauf des Formats:

Schritt 1: Mädchen tauschen sich über ihre Interessen und MINT-Wünsche aus

Eine Gruppe von elf Mädchen (14-15 Jahre) bespricht und reflektiert unter Anleitung in einer Vorbesprechung ihre Physik und MINT bezogenen Interessen und ihre diesbezügliche Motivationslage, ihr Selbstkonzept bzgl. MINT, die eigenen stereotypischen Vorstellungen (Napp & Breda, 2022), die Erwartungen anderer an sie sowie ihre Erwartungen an das Laborangebot am znt.

Schritt 2: Monoedukativer Experimentiertag

Die Mädchen experimentieren im znt-Labor. Sie konstruieren eine Kurbelleuchte im Sinne einer Problemlöseaufgabe, die lösbar ist und ein Erfolgserlebnis liefert. In den Einzelinterviews nach der Experimentierphase werden die Einschätzungen der Mädchen deutlich. Die handwerkliche Tätigkeit im Laborangebot hat ihre positive Selbstwahrnehmung

gefördert, auch die kooperative Situation wird als positiv wahrgenommen. Die Monoedukation wird als nicht notwendig, aber doch als positiv eingeschätzt. Gelegenheiten zu Selbsterfahrungen erscheinen den Mädchen notwendig, um ihr Selbstkonzept zu verbessen. Sie bringen zum Ausdruck, dass es eine Unterstützung sei, an ihr Selbstvertrauen zu appellieren und ihnen Mut zuzusprechen.

Schritt 3: Nachbesprechung und Entwicklungen
Die Mädchengruppe reflektiert in der Nachbesprechung im Gruppeninterview den Experimentiertag und äußert Gedanken zu ihren weitergehenden Interessen und auch zu beruflichen Orientierungen. Förderliche Aspekte mädchenorientierten Lernens (Poppe, 2021) lassen sich in den Nachbesprechungen wiederfinden (Pfeiffer, 2022): monoedukative Angebote, praktische Tätigkeiten im kooperativen Setting, aktives Anknüpfen an Vorwissen und eine gendersensible Kontextualisierung.

Schritt 4: Transfer an andere Lernorte
Eine Befragung von Lehrpersonen an Schulen und außerschulischen Lernorten (Albers, 2022) ergibt, dass großes Interesse und großer Bedarf an Mädchenförderung, dass aber auch große Unsicherheit bzgl. des konkreten Vorgehens bestehen. Hier sind spezifische Fortbildungen vonnöten, die Lehrkräften vermitteln, wie Aufmerksamkeit gegenüber Benachteiligung von Mädchen, die Förderung deren Ausdauer und die Initiierung positiver Emotionen (Oerke & Eigenstetter, 2018) erreicht werden können.

Fazit
Der Frauenanteil an den deutschen Universitäten ist in der Physik mit unter 25% auf fast allen Qualifikationsebenen sehr niedrig. Den Frauenanteil zu erhöhen, ist eine vielschichtige Aufgabe. Bedingt durch eine Sozialisation, die Frauen schon früh vermittelt, nicht zum „Stereotyp der Brillanz“ zu gehören, muss ebenfalls früh damit begonnen werden, Mädchen zu helfen, diesen Stereotypen zu reflektieren, ihnen nicht auf den Leim zu gehen und ein positives Selbstkonzept zu entwickeln. Lehrkräfte haben die besondere Aufgabe, Mädchen durch entsprechende mädchengerechte Differenzierung zu fördern, indem sie diese Stereotype erkennen und dagegen an arbeiten durch Anknüpfen an vorhandenes Vorwissen, sinnstiftende Kontexte, kooperative Lernmöglichkeiten und praktische Tätigkeiten im Unterricht, wenn möglich auch monoedukativ. Die Universitäten sind aufgerufen, angehende Lehrkräfte dahin gehend zu sensibilisieren und auszubilden. Auch wenn wir auf hundert Jahre emanzipativer Entwicklung zurückschauen, ist es noch ein langer steiniger Weg, bis Frauen in der Physik (und in vielen anderen Bereichen) wirklich gleichberechtigt gesehen und behandelt werden und sie gleichgestellt arbeiten können. Es ist nie zu spät, diesen Weg weiterzugehen.

Literatur: Acatech (Hrsg.) (2104). MINT Nachwuchsbarometer 2014. acatech und Körber Stiftung. München: acatech und Körber Stiftung. https://www.acatech.de/publikation/mint- nachwuchsbarometer-2014/download-pdf/?lang=de (Stand 2/2022)

Albers, M. (2022). Mädchenförderung an nonformalen Lernorten - Perspektive der Betreibenden und Entwicklung einer Handreichung. Masterarbeit. Universität Oldenburg.

Baker, D., Leary, R. (1995). Letting Girls Speak Out about Science. Journal of Research in Science Teaching vol. 32, Number 1, 3-28.

Baker, D. R. (1998). Equity issues in science education. In B. J. Fraser & K. G. Tobin, (Eds.), International handbook of science edu-cation, 869-895. Boston: Kluwer.

Breda, T. & Napp, C. (2019): Girls' comparative advantage in reading can largely explain the gender gap in mathrelated fields. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 116, 15435

Cimpian, J. R., Kim, T. H. & McDermott Z. T. (2020): Understanding persistent gender gaps in STEM. (Science, Technology, Engineering and Math) https://www.science.org/doi/10.1126/science.aba7377

Duchardt, D., Bossmann, A. & Denz, C. (2019). Vielfältige Physik: Wissenschaftlerinnen schreiben über ihre Forschung. Springer

Friedman-Sokuler, N. & Justman M. (2016): Gender streaming and prior achievement in high school science and mathematics, Econ. Educ. Rev. 53, 230 (2016).

Günther, B. (2015): Mädchenförderung im Physikunterricht. Online www.physikdidaktik.info/data/_uploaded/Delta_Phi_B/2015/Guenther(2015)Maedchenfoerderung_im_Physikunterricht_DeltaPhiB.pdf (Stand 2/2022)

Häußler, P. & Hoffmann, L. (1995). Physikunterricht – an den Interessen von Mädchen und Jungen orientiert. In: Unterrichtswissenschaft 23/2 (1995), 107 – 126.

Holstermann, N., & Bögeholz, S. (2007). Int-resse von Jungen und Mädchen an naturwissenschaftlichen Themen am Ende der Sekundarstufe I, Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 13,71-86.

Jörissen, B. G. H.M: Geist, Identität und Gesellschaft aus der Perspektive des Sozialbehaviorismus (2010): In Schlüsselwerke der Identitätsforschung, Jörissen & Zierfaß (Hrsg.), VS Verlag für Sozialwissenschaften, S.87 – 108

Kircher, E., Girwidz, R., Fischer, H.-E. (2020). Physikdidaktik. Springer.

Koballa, T. R. (1995): Children's attitudes toward learning science. In: S. W. Glynn & R., Duit: Learning Science in the Schools: Re-search Reforming Practice. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates. 59-84.

Leslie, S.-J., Cimpian, A., Meyer, M. & Freeland, E. (2015): Expectations of brilliance underlie gender distributions across academic dis-ciplines. Science 347, 262–265

Morgan, S. L., Gelbgiser, D. & Weeden K. A.: (2013): Feeding the pipeline: Gender, occupational plans, and college major selection Soc. Sci. Res. 42, 989 (2013).

Napp, C. & Breda, T. (2022): The stereotype that girls lack talent: A worldwide investigation. In Science Advanced Vol 8 No. 10
online: https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.abm3689 (Stand 2/2022)

Oerke, B. & Eigenstetter, M. (2018). MINTcoach: Individuelle Intervention bei Schülerinnen zur Erkennung von MINT-Begabungen - Mädchen für MINT-Interessieren. Projekt.

Osborne, J. &Collins, S. (2001). Pupil´s views of the role and value of the science curriculum: a focus-group study. International Journal of Science Education, 443 – 467.

Pfeiffer, C. (2022). Mädchen an außerschulischen Lernorten - Auswertung eines Konzepts für ein mädchengerechtes Lernlabor am Zentrum für Natur und Technik in Aurich. Bachelorarbeit. Universität Oldenburg.

Poppe, W. (2021). Förderung von Mädchen in Physik - Entwicklung eines mädchengerechten Schülerlabor-angebots für außerschulische Lernorte. Bachelorarbeit. Universität Oldenburg.

Sajons, C. (2020). Kognitive und motivationale Dynamik in Schülerlaboren. Kontextualisierung, Problem-orientierung und Autonomieunterstützung der didaktischen Struktur analysieren und weiterentwickeln. Logos.

Stadler, H. (2004): Physikunterricht unter dem Genderaspekt. Dissertation. online: https://lise.univie.ac.at/artikel/Diss_stadler.pdf

Tophoven, S.; du Prel, J-P.; Peter, R.; Kretschmer, V. (2014): Working in gender-dominated occupations and depressive symptoms: findings from the two age cohorts of the lidA study. Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung 2014. Published online 25.07.2014.
https://doku.iab.de/zaf/2015/2015_3_Tophoven_DuPrel_Peter_Kretschmer.pdf (Stand Mai 2022)

Rebecca Hostert[1]
Björn Risch[1]
Alexander Engl[1]

[1]RPTU Kaiserslautern-Landau

Förderung der Risikokompetenz von Lernenden in Kenia im Kontext von Mykotoxinvergiftungen

Kenia ist ein Hochrisikogebiet für schimmelpilzbefallenen Mais, der als häufig konsumiertes Grundnahrungsmittel zu tödlichen Vergiftungen oder Krebserkrankungen führen kann. Im Projekt SoLFOOD werden unter anderem Schüler:innen mit Hilfe von Simulationen, Modellexperimenten und Serious Games für die Belastung von Ernteprodukten sensibilisiert und zu risikominimierenden Handlungsstrategien befähigt. Im Projekt wird die Intervention zunächst in Deutschland pilotiert und anschließend nach Kenia transferiert. Dabei wird die Risikokompetenz der Lernenden vor und nach der Intervention erfasst, um deren Wirksamkeit zu analysieren. Der Beitrag stellt die Intervention sowie das Evaluationsdesign vor.

Mykotoxinvergiftungen als risk-related issue (RRI)

Mais wird in Kenia hauptsächlich von Kleinbäuer:innen angebaut. Der Befall durch Schimmelpilze beim Maisanbau und die dadurch entstehende Kontamination mit Schimmelpilzgiften, sogenannten Mykotoxinen, stellt eine große Herausforderung dar (Omara et al., 2021). Zu den Mykotoxinen gehören beispielsweise Aflatoxine, die als stark mutagen und krebserregend gelten (Henry et al., 2002). Neben Langzeitfolgen durch den Verzehr belasteter Lebensmittel, wie beispielswese die Erhöhung des Risikos an Nieren-, Lungen-, Darm- und vor allem Leberkrebs zu erkranken (Shabeer et al., 2022), stellt die akute Aflatoxinvergiftung (Aflatoxikose) einen weiteren Risikofaktor dar. Im Jahr 2004 wurden in Kenia 317 Ausbrüche akuter Aflatoxikose sowie 125 Tode durch Aflatoxinvergiftungen gemeldet (Lewis et al., 2005). Die Belastung durch Mykotoxine kann sowohl vor als auch nach der Ernte auftreten. Entscheidende Faktoren wie die Luftfeuchtigkeit, die Temperatur und Insektenbefall begünstigen das Wachstum der Schimmelpilze auf dem Feld und während der Lagerung (Shabeer et al., 2022). Belastete Ernteprodukte können somit nicht mehr als Nahrungsmittel für Menschen genutzt werden, ohne ein Gesundheitsrisiko darzustellen. Resultat sind sowohl wirtschaftliche als auch ernährungsphysiologische Verluste, die im Extremfall zu Hungerkrisen führen können. Damit stellt der Kontext von Mykotoxinvergiftungen einen risk-related issue (RRI) dar.

Das vom Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung geförderte internationale Verbundprojekt SoLFOOD hat zum Ziel, einen Beitrag zur Verbesserung der kleinbäuerlichen Maisproduktionskette in Kenia zu leisten. Vor diesem Hintergrund gilt es, die lokale Bevölkerung für Gesundheitsrisiken zu sensibilisieren und dazu zu befähigen risikomindernde und nachhaltige Strategien zu ergreifen. Neben den Kleinbäuer:innen sind auch Schüler:innen der weiterführenden Schule relevante Multiplikatoren, da diese häufig in den Familien bei der Landwirtschaft unterstützen. Konkret soll durch Weiterbildungs- und Aufklärungsmaßnahmen insbesondere die Gesundheit der lokalen Bevölkerung wirksam vor akuten Aflatoxikoseausbrüchen und Langzeitfolgen geschützt werden. Dazu werden geeignete Interventionsmaßnahmen zur Förderung der Risikokompetenz entwickelt und evaluiert.

Risikokompetenz

Die Fähigkeit Risiken zu verstehen, zu interpretieren und zu evaluieren, um auf dieser Grundlage angemessene Entscheidungen treffen zu können, wird allgemein als Risikokompetenz bezeichnet (Aven, 2024; Garcia-Retamero et al., 2019). Um Risiken evaluieren und interpretieren zu können, ist zunächst erforderlich, den Begriff des Risikos zu operationalisieren. Hansen und Hammann (2017) differenzieren das Grundkonzept von Risiko in zwei gegensätzliche Paradigmen: Das Realist- und Constructivist-Paradigma. Das Realist Paradigma basiert auf einer objektiven Definition von Risiken, die auf statistischen Daten und mathematischem Risk-Assessment basiert. Diese Definition ist die naturwissenschaftliche Sichtweise auf das Konzept des Risikos und sieht Risiken als berechenbar an. Das Constructivist-Paradigma hingegen basiert auf einer subjektiven und intuitiven Definition von Risiken und steht in Zusammenhang mit der individuellen Risikowahrnehmung, die sich von den Einschätzungen des wissenschaftlichen Risk-Assessments unterscheiden kann. Zur gezielten Förderung von Risikokompetenz empfehlen Hansen & Hammann (2017), beide Ansätze zu berücksichtigen, wobei ein Zusammenspiel subjektiver und objektiver Elemente eine ganzheitliche Betrachtung individueller Risiken ermöglicht. Dazu formulieren die Autor:innen drei Kernkomponenten von RRI, die eine Basis zur Förderung der Risikokompetenz bilden könnten (Abbildung 1).

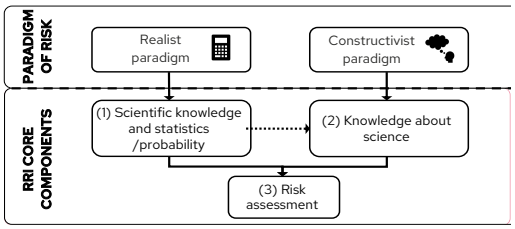


Abb. 1: Paradigmen von Risiko und die drei Kernkomponenten von risk-related issues, basierend auf dem Modell nach Hansen & Hammann (2017)

Die erste Kernkomponente *„Scientific knowledge and statistics / probability“* ist aus dem Realist-Paradigma abgeleitet und fokussiert Fachwissen über den konkreten Risikokontext sowie eine statistische Grundbildung. Die Evaluation von Risiken in der Realität erfordert jedoch mehr als bloßes Fachwissen und das Grundverständnis von Wahrscheinlichkeiten und Statistik (Aven, 2020). Dies ist in der zweiten Kernkomponente *„Knowledge about science“* berücksichtigt, welches aus dem Constructivist-Paradigma abgeleitet ist (Hansen & Hammann, 2017). Der Fokus liegt dabei nicht nur auf dem Wissen über wissenschaftliches Arbeiten, der Datenerhebung sowie den daraus resultierenden möglichen Problemen der Reliabilität und Validität von Daten, sondern auch auf der Rolle von Wissenschaft in der Gesellschaft. Die Kernkomponente thematisiert außerdem, wie die Haltung und Wahrnehmung von Wissenschaftler:innen und der potentielle Einfluss verschiedener Interessengruppen auf Studien einwirken können. Beide Paradigmen werden schließlich in der dritten Kernkomponente *„Risk Assessment“* verbunden. Im Rahmen dieser Komponente geht es um die Identifikation und Evaluation von Risiken unter der Berücksichtigung von möglichen Alternativen. Von zentraler Bedeutung sind Risiko-Nutzen-Analysen, auf deren Grundlage Risikoentscheidungen begründet werden können. Interventionsmaßnahmen, welche die Förderung der Risikokompetenz von Lernenden zum Ziel haben, sollten diese Kernkomponenten von RRI bei der Konzeption berücksichtigen.

Methodisches Vorgehen

Zunächst erfolgt die literaturbasierte Entwicklung von Lernmaterialien, die die drei Kernkomponenten von RRI gezielt und kontextbezogen adressieren. Die erste Kernkomponente fokussiert die Vermittlung von Fachwissen über den Risikokontext sowie statistische Grundbildung.

Hierzu eignet sich ein gezielter Einsatz digitaler Technologien zur Darstellung und Kommunikation des Risikos (Aven, 2024). Zur Visualisierung natürlicher Häufigkeiten sind zudem Piktogramme und icon arrays geeignet (Galesic et al., 2009; Garcia-Retamero & Cokely, 2017). Heuckmann et al. (2024) empfehlen im Rahmen der Förderung der statistischen Komponente der Risikokompetenz den Einsatz computerbasierter Simulationen, in denen durch die Variation von Einflussfaktoren eine Kovariation des Risikos dargestellt wird. Daher bietet sich die Entwicklung einer interaktiven Simulation zur Förderung der ersten Kernkomponente an. In Bezug auf die Förderung der Risikokompetenz von Lernenden wurde in mehreren Studien der Einsatz von Hands-on-Materialien untersucht (Martignon & Krauss, 2009; Till, 2014). Die direkte und eigenständige Interaktion mit dem Lerninhalt, die durch Hands-on-Materialien ermöglicht wird, kann das Lernen des Fachinhalts fördern (Kontra et al., 2015). In naturwissenschaftlichen Kontexten hat sich das Schüler:innenexperiment etabliert, das von den Vorteilen von Hands-on-Materialien profitiert. Durch eigenständiges Experimentieren erlangen Schüler:innen Kenntnisse über naturwissenschaftliche Arbeitsweisen und Methoden (Emden et al., 2019). Aus diesem Grund werden zur gezielten Förderung der zweiten Kernkomponente Hands-on Experimente entwickelt. Bergen die Originalsubstanzen in einem Experiment, wie in diesem Fall Schimmelpilze und Aflatoxine, ein zu hohes Gefahrenpotential, so eignen sich Modellexperimente, in denen eingesetzte Stoffe durch weniger gefährliche Substanzen mit analogen Verhaltensweisen substituiert werden können (Sommer et al., 2017). In Bezug auf die Ausbildung von Risikokompetenz wurden Modellexperimente bereits von Heuckmann und Hansen (2019) in der Rauchprävention eingesetzt, um die Gesundheitsrisiken von Zigaretten zu demonstrieren. Die Wirksamkeit von Schüler:innenexperimenten im Kontext der Risikokompetenz stellt aktuell jedoch eine Forschungslücke dar, weshalb die Evaluation dieser Methode von besonderem Forschungsinteresse ist. Zur Förderung der dritten Kernkomponente eignen sich sogenannte Serious Games. Dabei handelt es sich um Spiele, die nicht nur der Unterhaltung, sondern auch der Vermittlung von Lerninhalten dienen (Blötz, 2015). In Studien von Taillandier & Adam (2018) sowie Mason & Loader (2019) wurde diese Methode eingesetzt, um Risikomanagement oder Risikobewertung zu fördern. Der Einsatz von Serious Games bietet den Vorteil, dass Lernende in einer simulierten Risikosituation das Treffen von Risikoentscheidungen üben, ohne dass ein reales Risiko vorhanden ist (Blötz, 2015).

Nach der Konzeption der Simulationen, Modellexperimente und des Serious Games wird eine längsschnittlichen Interventionsstudie durchgeführt, die die Forschungsfrage beantworten soll, inwiefern Lernmaterialien, die sich an den Kernmomenten von RRIs orientieren, die Risikokompetenz von Jugendlichen fördern. Um die Risikokompetenz zu messen, wurde der Berlin Numeracy Test entwickelt (Cokely et al., 2012). Der Test fokussiert vor allem die statistische Kompetenz und bildet damit das Realist-Paradigma ab. Allerdings spiegeln die Ergebnisse nicht das gesamte Kompetenzkonstrukt wider, da die subjektiven Elemente des Constructivist-Paradigmas nicht berücksichtigt werden. Zur Datenerhebung wird der Berlin Numeracy Test deswegen mit Fragebögen zu Risikowahrnehmung kombiniert.

Die Pilotierung der Testinstrumente findet sowohl in Kenia als auch in Deutschland statt. Die Lernmaterialien hingegen werden zunächst in Deutschland erprobt und anschließend auf ihre Übertragbarkeit nach Kenia geprüft und gegebenenfalls angepasst. Die Hauptstudie findet in kenianischen weiterführenden Schulen statt. Die daraus abgeleiteten Erkenntnisse leisten einen Beitrag zur Theoriebildung und generieren unterrichtspraktische Implikationen.

Literatur

Aven, T. (2020). The Science of Risk Analysis - Foundation and Practice. Routledge. https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9780429029189

Aven, T. (2024). Risk literacy: Foundational issues and its connection to risk science. *Risk Analysis*, *44*(5), 1011–1020. https://doi.org/10.1111/risa.14223

Blötz, Ulrich. (2015). *Planspiele und Serious Games in der beruflichen Bildung Auswahl, Konzepte, Lernarrangements, Erfahrungen - aktueller Katalog für Planspiele und Serious Games 2015*. Bertelsmann.

Cokely, E. T., Galesic, M., Schulz, E., Ghazal, S., & Garcia-Retamero, R. (2012). Measuring risk literacy: The berlin numeracy test. *Judgment and Decision Making*, *7*(1), 25–47. https://doi.org/10.1017/s1930297500001819

Emden, M., Bewersdorff, A., & Baur, A. (2019). Kann Experimentieren in der Schule bilden? - Ein Beitrag zur bildungstheoretischen Legitimation eines selbstverständlichen Gegenstandes des Naturwissenschaftsunterrichts. *Zeitschrift Für Pädagogik*, *65*(5), 710–729.

Galesic, M., Garcia-Retamero, R., & Gigerenzer, G. (2009). Using Icon Arrays to Communicate Medical Risks: Overcoming Low Numeracy. *Health Psychology*, *28*(2), 210–216. https://doi.org/10.1037/a0014474

Garcia-Retamero, R., & Cokely, E. T. (2017). Designing Visual Aids That Promote Risk Literacy: A Systematic Review of Health Research and Evidence-Based Design Heuristics. In *Human Factors* (Vol. 59, Issue 4, pp. 582–627). SAGE Publications Inc. https://doi.org/10.1177/0018720817690634

Garcia-Retamero, R., Sobkow, A., Petrova, D., Garrido, D., & Traczyk, J. (2019). Numeracy and Risk Literacy: What Have We Learned so Far? *Spanish Journal of Psychology*, *22*. https://doi.org/10.1017/sjp.2019.16

Hansen, J., & Hammann, M. (2017). Risk in Science Instruction: The Realist and Constructivist Paradigms of Risk. *Science and Education*, *26*, 749–775. https://doi.org/10.1007/s11191-017-9923-1

Henry, S. H., Bosch, F. X., & Bowers, J. C. (2002). Aflatoxin, Hepatitis and worldwide liver cancer risks. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, *504*, 229–233.

Heuckmann, B., Binder, K., Eichler, A., Krüger, D., Romeike, R., & Kremer, K. (2024). Förderung von MINT-Kompetenzen mit Simulationen - Eine Standortbestimmung zu Modellierkompetenz, Risikokompetenz und zum Umgang mit Unsicherheit. In M. Hemmer (Ed.), *Fachdidaktik im Zentrum von Forschungstransfer und Transferforschung Beiträge der GFD-ÖGFD-Tagung Wien 2022* (pp. 357–370). Waxmann.

Heuckmann, B., & Hansen, J. (2019). »Risk as feeling − Risk as analysis«. Risikokompetenz in der Gesundheitsbildung der Sekundarstufe I. Ein Unterrichtsvorschlag am Beispiel der Rauchprävention. *Der Mathematische Und Naturwissenschaftliche Unterricht*, *72*(2), 153–158.

Kontra, C., Lyons, D. J., Fischer, S. M., & Beilock, S. L. (2015). Physical Experience Enhances Science Learning. *Psychological Science*, *26*(6). https://doi.org/10.1177/0956797615569355

Lewis, L., Onsongo, M., Njapau, H., Schurz-Rogers, H., Luber, G., Kieszak, S., Nyamongo, J., Backer, L., Dahiye, A. M., Misore, A., DeCock, K., Rubin, C., & Kenya Aflatoxicosis Investigation Group. (2005). Aflatoxin contamination of commercial maize products during an outbreak of acute aflatoxicosis in eastern and central Kenya. *Environmental Health Perspectives*, *113*(12), 1763–1767. https://doi.org/10.1289/ehp.7998

Martignon, L., & Krauss, S. (2009). Hands-on activities for fourth graders: A tool box for decision-making and reckoning with risk. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, *4*(3). www.iejme.com

Mason, J., & Loader, K. (2019). Using a Serious Game to Train Violence Risk Assessment and Management Skills. *Simulation and Gaming*, *50*(2), 124–135. https://doi.org/10.1177/1046878119837314

Omara, T., Kiprop, A. K., Wangila, P., Wacoo, A. P., Kagoya, S., Nteziyaremye, P., Peter Odero, M., Kiwanuka Nakiguli, C., & Baker Obakiro, S. (2021). The Scourge of Aflatoxins in Kenya: A 60-Year Review (1960 to 2020). In *Journal of Food Quality* (Vol. 2021). Hindawi Limited. https://doi.org/10.1155/2021/8899839

Shabeer, S., Asad, S., Jamal, A., & Ali, A. (2022). Aflatoxin Contamination, Its Impact and Management Strategies: An Updated Review. *Toxins*, *14*(5). https://doi.org/10.3390/toxins14050307

Sommer, K., Toschka, C., Schröder, L., Schröder, T. P., Steff, H., & Fischer, R. (2017). Modellexperimente im Chemieunterricht Ein Beitrag zur Definition des Begriffes Modellexperiment und zur Bestimmung des Modellierungsgrades. *Chemkon*, *24*, 13–19. https://doi.org/10.1002/ckon.201710288

Taillandier, F., & Adam, C. (2018). Games Ready to Use: A Serious Game for Teaching Natural Risk Management. *Simulation and Gaming*, *49*(4), 441–470. https://doi.org/10.1177/1046878118770217

Till, C. (2014). Fostering Risk Literacy in Elementary School. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, *9*(2), 83–96.

Jan-Samuel Streitberger[1]
Julia Welberg[1]
Daniel Laumann[1]
Susanne Heinicke[1]

[1]Universität Münster

Wie empathisierend ist Physikunterricht? Fragebogenentwicklung

Neigungen zu empathisierender und systematisierender Denkweise

Die Neigungen zu einer empathisierenden und systematisierenden Denkweise basierend auf der Empathizing-Systemizing-Theorie (EST; Baron-Cohen, 2009) sind neben vielen weiteren Möglichkeiten zwei Personenmerkmale zur Beschreibung von Menschen. Dabei beschreibt eine Neigung zu einer empathisierenden Denkweise, die Neigung Gefühle und Gedanken anderer Personen nachzuvollziehen und darauf angemessen zu reagieren . Diese Neigung wird als eine Form von Empathie beschrieben, die sowohl kognitive als auch affektive Merkmale aufweist (Baron-Cohen, 2009; Lindeman, 2020). Dies stimmt mit den meisten Definitionen von Empathie überein, welche Empathie in eine emotionale Komponenten (emotionale oder affektive Empathie) und eine kognitive Komponente (kognitive Empathie) teilen (Blair, 2005). Die Neigung zu einer systematisierenden Denkweise beschreibt die Neigung, Systeme auf ihre Komponenten zu untersuchen, um daraus grundlegende Prinzipien abzuleiten, die dessen Verhalten bestimme (Baron-Cohen, 2009; Lindeman, 2020). Diese Systeme folgen einer inneren Logik, basierend auf logischen „wenn X, dann Y"-Beziehungen. Studien zeigen, dass Personen beide Neigungen besitzen und nutzen, allerdings möglicherweise in unterschiedlich starken Ausprägungen (Svedholm-Häkkinen & Lindeman, 2016). Um die Ausprägungen der Neigungen quantifizieren zu können, existieren verschiedene Selbsteinschätzungsfragebögen, anhand derer jede Person einen Empathisierungs-Quotienten und einen Systematisierungs-Quotienten erhält.

Empathisierende und systematisierende Denkweise in der Naturwissenschaftsdidaktik

Studien zeigen, dass es einen positiven Zusammenhang zwischen einer Neigung zu einer systematisierenden Denkweise und der Motivation Naturwissenschaften zu lernen (Zeyer & Dillon, 2019) so wie dem Fachinteresse Physik (Welberg et al., 2024) gibt. Lernende, die eher zu einer empathisierenden Denkweise tendieren, weisen ein signifikant geringeres Fachinteresse auf (Welberg et al., 2024). In Studien mit Studierenden konnte zusätzlich gezeigt werden, dass Personen in naturwissenschaftlichen Studien eine stärkere Neigung zu einer systematisierenden Denkweise haben als Studierende in geisteswissenschaftlichen Studiengängen. Umgekehrt gilt dies für die Neigung zu einer empathisierenden Denkweise, welche in geisteswissenschaftlichen Studiengängen stärker ausgeprägt ist (Billington et al., 2007). Theoretische Überlegungen zur EST gehen davon aus, dass naturwissenschaftliche Fächer einer Neigung zu einer systematisierenden Denkweise mehr entgegenkommen als einer Neigung zu einer empathisierenden Denkweise (Baron-Cohen, 2009; Zeyer & Dillon, 2019). Daraus ergibt sich die Frage, ob naturwissenschaftliche Fächer wie Physik von Natur aus weniger empathisierend wahrgenommen werden als andere Fächer. Um möglichst alle Lernenden zu erreichen, sollte versucht werden in naturwissenschaftlichem Unterricht mehr Empathie miteinzubeziehen (Zeyer & Dillon, 2019). Laut Zeyer und Dillon (2019) können empathisierende Bildungselemente im Unterricht z.B. Themen aus den Bereichen Umwelt und

Gesundheit sein, da dies komplexe Themen sind, die sowohl Personen mit einer ausgeprägten Neigung zu einer empathisierenden Denkweise als auch zu einer systematisierenden Denkweise ansprechen könnten. Ausgehend von diesen Überlegungen entwickelten sie eine Checkliste für den Einbezug empathisierender Bildungselemente im naturwissenschaftlichen Unterricht (Zeyer, 2024; Zeyer & Dillon, 2019). Ausgehend von dieser Checkliste kann naturwissenschaftlicher Unterricht genauer untersucht werden. Dies kann einerseits anhand von Unterrichtsbeobachtungen geschehen oder andererseits in Form einer Befragung der Lernenden.

Entwicklung eines Fragebogens zur Messung empathisierende Bildungselemente

Im Folgenden soll die Wahrnehmung der empathisierenden Bildungselemente in Form eines Fragebogens erfasst werden. Dies ist dabei im Einklang mit der Person-Gegenstands-Theorie des Interesses (Krapp, 1992), nach der der Gegenstand (in diesem Fall das Fachinteresse) einer subjektiven Wahrnehmung der Person unterliegt. So kann bei Person A z.B. „Physikunterricht“ anders konnotiert sein als bei Person B. Um diese subjektive Wahrnehmung zu quantifizieren, sollte Physikunterricht anhand eines Fragebogens zu empathisierenden Bildungselementen genauer charakterisiert werden. Daher wurde theoriebasiert ein Fragebogen entwickelt, mit dem Lernende einschätzen können, inwiefern ihr Physikunterricht empathisierende Bildungselemente enthält. Zeitgleich wurde analog ein Fragebogen zur Messung empathisierender Bildungselemente im Politikunterricht erstellt, da hier erste Studien zeigen, dass ein Zusammenhang zwischen der Ausprägung einer empathisierenden Denkweise und dem Fachinteresse Politik besteht. Dabei wurden in Anlehnung an die genannte Checkliste drei Empathieformen berücksichtigt: Emotionale Empathie (4 Items), affektive Theory of Mind (3 Items) und kognitive Theory of Mind (5 Items). Diese Items wurden mit Lernenden und Lehrkräften auf Verständlichkeit getestet und angepasst. Anschließend wurden die Items mit $N = 452$ Lernenden (60 % weiblich, $M_{\text{Alter}} = 13{,}46$ Jahre, $SD_{\text{Alter}} = 1{,}20$ Jahre) an Gymnasien in Nordrhein-Westfalen getestet (siehe Abb.1).

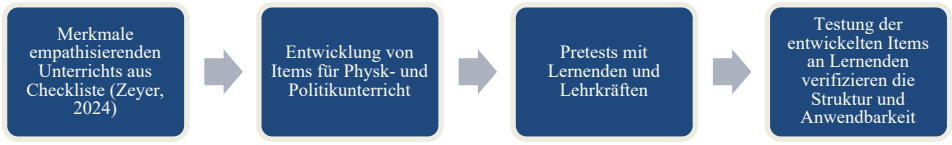


Abb. 1 Schematische Darstellung des Vorgehens zur Fragebogenentwicklung.

Ergebnisse und Diskussion

Zur Überprüfung statistischer Gütekriterien wurden die Daten mit der Software *IBM SPSS Statistics* (Version 29.0.2.0 (20)) und *R* in *RStudio* (Version 2024.04.1 (748)) ausgewertet. Durch die enge theoretische Anlehnung und eine identische Struktur der beiden Skalen sowie eine Testung der Verständlichkeit mit Lernenden und Lehrkräften aus der Zielgruppe erscheint hinreichende Inhaltsvalidität vorzuliegen (Döring & Bortz, 2016). Die Überprüfung der Reliabilität zeigte für die Analyse der Gesamtskalen eine hohe interne Konsistenz (Cronbach’s α): $\alpha_{\text{Physik}} = 0{,}79$; $\alpha_{\text{Politik}} = 0{,}83$. Die interne Konsistenz der Subskalen wurde als fragwürdig bis gut, was u.a. auf die geringe Itemanzahl der Subskalen zurückzuführen ist (Döring & Bortz, 2016). Mithilfe einer konfirmatorischen Faktoranalyse wurde zudem die Konstruktvalidität überprüft. In einem Modellvergleich zeigen die Fitindizes einen Vorteil der

3-Faktor-Lösung gegenüber einer 1-Faktor-Lösung, sodass auf hier die drei Faktoren umfassende theoretisch angenommene Struktur als empirisch naheliegend zu beurteilen ist (Fitindizes: 3-Faktor-Lösung (Physik): CFI = 0,90; RMSEA = 0,07; SRMR = 0,07; 3-Faktor-Lösung (Politik): CFI = 0,89; RMSEA = 0,08; SRMR = 0,08). Bei der Skala zur Messung empathisierender Bildungselemente im Fach Politik zeigt die Skala dabei für alle Items zufriedenstellende Faktorladungen. Für das Fach Physik ist die Ladung eines Items zu niedrig und erreicht nicht den als notwendige angenommenen Mindestwert (Stevens, 2009). Daher wurde in einer weiteren konfirmatorischen Faktoranalyse überprüft, welche Auswirkungen die Entfernung dieses Items für die beiden Skalen hätte. Bei einer Entfernung dieses Items in der Physikskala ergab sich keine nennenswerte Verbesserung des Modell-Fits, während sich für das Fach Politik eine deutliche Verschlechterung des Modell-Fits zeigte. Um eine gute Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurde daher in beiden Skalen das Item weiterhin genutzt. Dieser Umstand sollte allerdings als eine erste Limitation angesehen werden. Als eine erste Limitation kann genannt werden, dass die Substruktur keine zufriedenstellende interne Konsistenz aufweist. Es erscheint daher notwendig weitere Items zu erstellen und, vor einer Reduktion der Items mit Blick auf ein in der Praxis anwendbares Instrument, zunächst für die angenommenen Faktoren der Empathie geeignete Items zu identifizieren.

Fazit und Ausblick

Die vorliegende Arbeit liefert erste Erkenntnisse zur Entwicklung eines Erhebungsinstrumentes zur Messung empathisierender Bildungselemente im Physik- und Politikunterricht vor, die auch für weitere Unterrichtsfächer angepasst werden können. Die Befunde deuten jedoch auch bestimmte Einschränkungen an, die bei einer Weiterentwicklung des Instruments berücksichtigt werden sollten. Einerseits basiert das Instrument auf subjektiven Einschätzungen der Lernenden, sodass die Validität und Reliabilität der Ergebnisse eingeschränkt sein können. Andererseits wurde die Befragung nur an einem Messzeitpunkt im Unterricht durchgeführt und könnte daher Schwankungen unterliegen, sodass eine Erhebung mit mehreren Messzeitpunkten sinnvoll sein kann. Zusätzlich könnten auch ergänzende Beobachtungen von Unterricht durchgeführt werden, um den Anteil empathisierender Elemente im Unterricht besser analysieren zu können. Trotz dieser Limitationen zeigen erste Ergebnisse, dass das Fachinteresse von Lernenden bei einer hohen Wahrnehmung empathisierender Bildungselemente im Unterricht signifikant höher ist – sowohl für Physik- als auch für Politikunterricht (siehe dazu auch Welberg, Streitberger, Laumann und Heinicke: „Wie empathisierend ist Physikunterricht? - Empirische Befunde“ ebenfalls in diesem Tagungsband).

Literatur

Baron-Cohen, S. (2009). Autism: the empathizing-systemizing (E-S) theory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1156*, 68–80. https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04467.x

Billington, J., Baron-Cohen, S. & Wheelwright, S. (2007). Cognitive style predicts entry into physical sciences and humanities: Questionnaire and performance tests of empathy and systemizing. *Learning and Individual Differences*, *17*(3), 260–268. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2007.02.004

Blair, R. J. R. (2005). Responding to the emotions of others: dissociating forms of empathy through the study of typical and psychiatric populations. *Consciousness and cognition*, *14*(4), 698–718. https://doi.org/10.1016/j.concog.2005.06.004

Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41089-5

Krapp, A. (1992). Das Interessenkonstrukt Bestimmungsmerkmale der Interessenhandlung und des individuellen Interesses aus der Sicht einer Person-Gegenstands-Konzeption. In A. Krapp & M. Prenzel (Hrsg.), *Interesse, Lernen, Leistung.: Neuere Ansätze der pädagogisch-psychologischen Interessenforschung.* (S. 297–329). Aschendorff.

Lindeman, M. (2020). Empathizing-Systemizing Theory. In V. Zeigler-Hill & T. K. Shackelford (Hrsg.), *Springer eBook Collection. Encyclopedia of Personality and Individual Differences* (1st ed. 2020, S. 1346–1348). Springer International Publishing; Imprint Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24612-3_1129

Stevens, J. P. (2009). *Applied Multivariate Statistics for the Social Sciences*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203843130

Svedholm-Häkkinen, A. M. & Lindeman, M. (2016). Testing the Empathizing-Systemizing theory in the general population: Occupations, vocational interests, grades, hobbies, friendship quality, social intelligence, and sex role identity. *Personality and Individual Differences*, *90*, 365–370. https://doi.org/10.1016/j.paid.2015.11.044

Welberg, J., Laumann, D. & Heinicke, S. (2024). Measuring Empathizing and Systemizing in Children and Adolescents. *European Journal of Psychological Assessment*, Artikel 1015-5759/a000843. Vorab-Onlinepublikation. https://doi.org/10.1027/1015-5759/a000843

Zeyer, A. (2024). Von Dingen und Menschen im naturwissenschaftlichen Unterricht. In D. Brovelli, M. Hoesli & M. Elderton (Hrsg.), *Gendersensibilisierung in der Ausbildung von Natur- und Techniklehrpersonen: Beiträge aus Praxis und Forschung* (1. Auflage, S. 147–155). hep verlag.

Zeyer, A. & Dillon, J. (2019). The role of empathy for learning in complex Science|Environment|Health contexts. *International Journal of Science Education*, *41*(3), 297–315. https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1549371

Hermann Lidberg[1]
Roger Erb[1]

[1]Goethe-Universität Frankfurt

Gründe für das Interesse von Jugendlichen an physikalischen Themen

Forschungsstand zu Interessen

Die Interessen von Jugendlichen wurden in umfangreichen quantitativen Studien wie der IPN-Interessensstudie (Hoffmann, Häußler & Lehrke, 1998) und der internationalen ROSE-Studie (Sjøberg & Schneider, 2019) erhoben. Zu den Ergebnissen dieser Studien gehören die Abnahme des Sachinteresses an Physik mit der Klassenstufe sowie signifikante Unterschiede im Sach- und Fachinteresse zwischen weiblichen und männlichen Schüler*innen (Hoffmann, Häußler & Lehrke, 1998), abnehmendes Interesse an naturwissenschaftlichen Themen mit zunehmendem Wohlstand eines Landes und deutliche Unterschiede im Interesse in Abhängigkeit zum Kontext (Sjøberg & Schneider, 2019). Zudem konnte gezeigt werden, dass physikalische Inhalte Schüler*innenabhängig nur in bestimmten Kontexten als interessant angesehen werden. Dabei sind für die meisten Schüler*innen nur fokussierte Interessenfelder wie „Der eigene Körper“, sozialwissenschaftliche Fragestellungen (z.B. Waffenschmuggel) oder existenzielle Fragen der Menschheit (z.B. „Wo kommen wir eigentlich her?“) interessant. Weniger Schüler*innen interessieren sich an Kontexten des Alltags oder alltäglichen Beispielen wie z.B. der Digitalkamera. Nur wenige Schüler*innen zeigen ein breites Interesse an Physik und an wissenschaftlichen Kontexten wie „Atomphysik“ und technischen Kontexten wie „Rohöl“ oder „Autowerkstatt“ (Zoechling, 2023).
Dabei wurden neben Kontextmerkmalen wie Relevanz, Authentizität und Bekanntheit (van Vorst, H., Dorschu, A., Fechner, S., Kauertz, A., Krabbe, H., & Sumfleth, E., 2015) bisher wenige qualitative Erkenntnisse gefunden, aus welchen Gründen bestimmte Themen für Jugendliche interessanter und relevanter sind als andere. Es bleibt auch offen, ob Themen weiterhin als interessant angesehen werden, wenn diese im Alltag thematisiert (z.B. durch Dokumentationen im Fernsehen oder Internet) oder im Unterricht behandelt werden und welche Kriterien zur Aufrechterhaltung und Förderung des Interesses der Lernenden beitragen.

Erhebungsdesign - Interview

Um die Gründe zu ermitteln, warum bestimmte Kontexte von Jugendlichen als interessant wahrgenommen werden und welche sozialen, persönlichen und gesellschaftlichen Faktoren dabei für sie von Bedeutung sind, wurden von uns Interviews mit sieben Schüler*innen der Sekundarstufe I im Alter zwischen 12 und 15 Jahren durchgeführt.
Diese Interviews sollen den ersten Schritt zur Beantwortung folgender Forschungsfragen bilden: (1) Warum betrachten die Jugendlichen bestimmte Themen als interessant? (2) Welche Faktoren können zur Förderung eines nachhaltigen Interesses an physikalischen Themen genutzt werden? (3) Wie müssen Lerninhalte gestaltet sein, um ein nachhaltiges Interesse an physikalischen Themen zu fördern?
Dazu wurden die Jugendlichen im Interview zunächst nach Themen oder Fragestellungen gefragt, die sie zurzeit interessieren oder in der Vergangenheit interessiert haben. Anschließend sollten sie erläutern, in welchen Situationen sie zum ersten Mal auf ihr Interessensobjekt ge-

stoßen sind, ob sie das Thema im Allgemeinen oder nur spezielle Aspekte des Themas interessieren, wann sie sich mit ihrem Thema beschäftigen, welchen emotionalen Stellenwert das Thema hat, wie wichtig es den Jugendlichen ist, sich damit beschäftigen zu können, und ob sie denken, dass das Thema auch für andere interessant ist.
Diese Fragestellungen wurden innerhalb der Interviews in Bezug auf alle Themen oder Beschäftigungen besprochen, die den Jugendlichen wichtig erschienen und zu denen sie sich äußern wollten. Anschließend wurde gezielt nach einem physikalischen Thema aus Schule oder Alltag gefragt, das die Jugendlichen interessiert, und die Fragestellungen auch hier noch einmal wiederholt.

Erste Auswertung der Ergebnisse

Im Rahmen der Analyse wurden zunächst, geordnet nach den Fragen des Interviewleitfades, codiert welche Antworten auf die einzelnen Fragen gegeben wurden. In diesem Prozess ergaben sich Unterschiede zwischen den Themen, die in der Schule interessant sind, und jenen, mit denen sich die Jugendlichen in ihrer Freizeit beschäftigen. Anhand dieser Unterscheidung wurden die vorhandenen Codes neu sortiert und ergänzende Codierungen der Aussagen zu den Unterschieden zwischen Schule und privatem Umfeld vorgenommen. Die festgestellten Unterschiede resultierten dabei hauptsächlich aus dem schulischen Rahmen, der die Art der Interaktion mit den Themen in vielen Fällen vorgibt. Besonders häufig wurden Aussagen zur Einbindung im Unterricht getroffen, wie besondere Unterrichtspassagen (10 Erwähnungen), Selbstlernphasen (13 Erw.), als „langweilig“ empfundene Unterrichtseinheiten (13 Erw.) sowie die Rolle der Lehrkraft (24 Erw.), der Mitschüler*innen (11 Erw.) und in Verbindung damit das allgemeine Unterrichtsklima.
Interessen entstehen in der Schule vor allem aus Themen, die als persönlich relevant wahrgenommen werden (14 Erw.). Im Gegensatz dazu stehen im privaten Bereich Alltag und Umgebung (z.B. die zufällige Beobachtung von Phänomenen, 12 Erw.) sowie die Interessen von Freund*innen und dem sozialen Umfeld (12 Erw.) im Vordergrund der Interessenentstehung. Weniger Einfluss haben Bücher (2 Erw.) oder das Internet (1 Erw.).
Bei bestehendem Interesse beschäftigen sich Jugendliche mit ihren Interessen, indem sie etwas mit ihrem sozialen Umfeld unternehmen oder sich mit diesem austauschen (23 Erw.), durch Internetrecherche (18 Erw.), Bücher (9 Erw.), eigene Experimente (7 Erw.), sonstige Medien wie Dokumentationen oder Filme (6 Erw.) oder durch den Besuch von Veranstaltungen wie Wettbewerben oder Vorlesungen (5 Erw.).

Einfluss bedürfnisspezifischer Erlebensqualitäten auf das Interesse

Von Lewalter, D., Krapp, A., Schreyer, I. & Wild, K.-P. wurde 1998 ein Kategoriensystem zur Klassifikation bedürfnisspezifischer Erlebnisqualitäten vorgeschlagen. Demnach werden im alltäglichen Handlungsablauf ständig bedürfnisbezogene[1] (emotionale) Erfahrungen gemacht, die auf der Ebene bewusst-reflexiver Wahrnehmung als Erlebnisqualitäten wahrgenommen und auf diese Weise im Gedächtnis verarbeitet und gespeichert werden. Unterschiedliche Facetten dieser bedürfnisspezifischen Erlebnisqualitäten werden erinnert und retrospektiv als Ursachen der Interessenentstehung identifiziert.

[1] Die hier beschriebenen „Bedürfnisse“ beziehen sich auf die von Deci & Ryan (1985) formulierte Selbstbestimmungstheorie, welche Kompetenz, Autonomie und soziale Eingebundenheit unterscheidet.

Diesem System folgend, lassen sich Aussagen aus Interviews zu Interessen in sechs Kategorienbereiche einordnen: in drei Einzelbereiche Kompetenzerleben (K, z.B. „[…] ich weiß halt viel über das Thema. Und dann macht es mir immer mehr Spaß […]“), Autonomieerleben (A, z.B. „Dass wir selber ausprobieren, wie das funktioniert und was daraus passiert.“) und Erleben sozialer Eingebundenheit (S, z.B. „Hauptsächlich meine Freundinnen, die interessieren sich auch“) sowie drei Kombinationsbereiche (KS, KA und AS), wenn Aussagen auf zwei Erlebensbereiche gleichzeitig Bezug nehmen (Lewalter, D., Krapp, A., Schreyer, I. & Wild, K.-P., 1998).
In den Schüler*innen-Interviews wurde die folgende Verteilung gefunden:

*Tabelle 1: Formulierte Erlebnisqualitäten von 7 Schüler*innen in Bezug auf die Beschäftigung mit ihren Interessen.*

Anzahl Bereiche	Erlebnisqualitäten	Anzahl	%
1	K	8	22
	A	8	22
	S	12	32
2	KA	1	3
	KS	8	22
	AS	0	0

Diskussion
Zuvor in der Forschung beschriebene Kriterien wie Relevanz oder Authentizität zu Kontexten (s. van Vorst, H., Dorschu, A., Fechner, S., Kauertz, A., Krabbe, H., & Sumfleth, E., 2015) können auf die in den Interviews gefundenen Aussagen angewandt werden. Interessen entstehen im Unterricht vor allem dann, wenn ein Kontext von Schüler*in als relevant angesehen wird: „[…] weil das sind so Themen, die dann halt wichtig fürs Leben sind.“ Dies ist auch im Alltag der Schüler*innen der Fall, wobei nur ein Teil der Interessen in selbst gemachten Erlebnissen aus dem Alltag seinen Ursprung hat. Genauso viele Interessen finden ihren Ursprung im sozialen Umfeld, in Interessen von Freunden, dem Austausch mit Erwachsenen oder Darstellungen der Lehrkraft. Auch die Beschäftigung mit und die Stärkung von Interessen finden zu einem großen Teil über das soziale Umfeld statt. Dies zeigt sich auch in Tabelle 1: Kategorie A tritt in der Regel für sich und in ähnlicher Häufigkeit wie K auf, während das Erleben von S häufiger auftritt. Addiert man die Erlebnisqualitäten S und KS, so wird das Erleben von sozialer Eingebundenheit bei über der Hälfte der Aussagen in Verbindung mit den eigenen Interessen gebracht. Auch Lewalter, D., Krapp, A., Schreyer, I. & Wild, K.-P. (1998) fanden in ihrer Studie zu berufsspezifischen Interessen einen überwiegenden Anteil an der Erlebnisqualität KS, und S, dort trat K jedoch in einem ähnlichen Maß auf wie S, und A war eher selten. Krapp schreibt treffend:

„Während Überlegungen zur Optimierung des Unterrichts sich in der Regel auf die Verbesserung des Wissenserwerbs und der individuellen Leistung konzentrieren, […] wird sich ein Lernender umso eher mit einer neuen Aufgabe identifizieren oder eine bestimmte Einstellung

*übernehmen, je stärker sie von den Mitgliedern relevanter Bezugsgruppen für gutgeheißen wird.“ (*S.35-36)

Eine genauere Untersuchung des Einflusses der sozialen Interaktion auf Interessen von Schüler*innen erscheint in diesem Zusammenhang sinnvoll.

Ausblick

Anhand einer Fragebogenstudie soll der tatsächliche Einfluss des sozialen Umfeldes im Vergleich zu anderen Faktoren, die das Interesse beeinflussen, untersucht werden. Dazu wird themenabhängig erfragt, wie sehr sich das individuelle Interesse von Schüler*innen subjektiv mit dem Interesse ihres Umfelds überschneidet.

Zudem soll verglichen werden, ob sich das subjektive Erleben „interessanter Inhalte“ in der Schule von dem im privaten Umfeld unterscheidet, ob individuelle Faktoren wie die Selbstwirksamkeitserwartung oder das Alter einen Einfluss auf die Art der Interessenentwicklung haben und wie groß der Einfluss der einzelnen bedürfnisspezifischer Erlebensqualitäten auf die Entwicklung von Interessen ist.

Literatur

Beck, K. & Dubs, R. (1998). Kompetenzentwicklung in der Berufserziehung: kognitive, motivationale und moralische Dimensionen kaufmännischer Qualifizierungsprozesse. Franz Steiner Verlag.

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). Intrinsic Motivation and Self-Determination in Human Behavior. Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-2271-7

Hoffmann, Lore, Peter Häussler, und Manfred Lehrke. Die IPN-Interessenstudie Physik. IPN 158. Kiel: IPN, 1998.

Krapp, A. (2005). Psychologische Bedürfnisse und Interesse. Theoretische Überlegungen und praktische Schlussfolgerungen. In Motivationspsychologie und ihre Anwendung (1. Aufl., S. 35–36). W. Kohlhammer GmbH Stuttgart.

Lewalter, D., Krapp, A., Schreyer, I. & Wild, K.-P. (1998). Die Bedeutsamkeit des Erlebens von Kompetenz, Autonomie und sozialer Eingebundenheit für die Entwicklung berufsspezifischer Interessen. In Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW)- Beiheft 14. Kompetenzentwicklung in der Berufserziehung. (Bd. 14, S. 143–168). Franz Steiner Verlag Stuttgart.

Sjøberg, Svein & Schreiner, Camilla. (2019). ROSE (The Relevance of Science Education). The development, key findings and impacts of an international low cost comparative project. Final Report.

Van Vorst, H., Dorschu, A., Fechner, S., Kauertz, A., Krabbe, H., & Sumfleth, E. (2015). Charakterisierung und Strukturierung von Kontexten im naturwissenschaftlichen Unterricht – Vorschlag einer theoretischen Modellierung. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 21(1), 29–39. https://doi.org/10.1007/s40573-014-0021-5

Zöchling, S. M. (2023). „Students’ Types of Interest in Physics Revisited“, https://doi.org/10.25365/THESIS.74729

Verena Petermann[1]
Claudia von Aufschnaiter[1]
Kathrin Steckenmesser-Sander[1]

[1]Universität Gießen

Was ist für Schüler*innen an Physik (un)interessant? Erste Ergebnisse aus einer Pilotstudie

Interesse ist ein wichtiger Teil naturwissenschaftlicher Kompetenz (z. B. Karstoff et al., 2023), der auch naturwissenschaftsbezogenes Denken, Handeln und Lernen prägt (vgl. Fortus et al., 2022). Ausgehend von verbreiteten Definitionen kann Interesse als Neigung zu bzw. Vorliebe für inhaltsbezogene Gegenstände wie z. B. bestimmte physikalische Themen und Tätigkeiten ausgedeutet werden (z. B. Krapp, 1992). Solche physikbezogenen Interessen von Lernenden sind in verschiedenen Studien gut dokumentiert (z. B. Überblick in Krapp & Prenzel, 2011; Potvin & Hasni, 2014). Beispielsweise interessieren sich Lernende sehr für das Experimentieren, aber eher wenig für das Berechnen oder das Lesen von Physiktexten (z. B. Hoffmann et al., 1998). Bisherige Studien liefern wichtige Erkenntnisse über die vorliegenden Interessen von Lernenden, berücksichtigen dabei jedoch kaum die gesellschaftlichen und bildungspolitischen Entwicklungen der letzten Jahre (z. B. Digitalisierung, Einführung Bildungsstandards). Dabei sind aktuellere Kenntnisse wichtig, denn deren Berücksichtigung in einer schülerorientierten Unterrichtsgestaltung kann die Wahrscheinlichkeit für situationales Interesse erhöhen und darüber langfristig zu einem Entgegenwirken des typischen Interessenabfalls an Physik beitragen (vgl. Hidi & Renninger, 2006; Krapp, 1992). Daher geht die hier beschriebene Pilotstudie u. a. folgenden Forschungsfragen (FF) nach:

FF1: Für welche physikbezogenen Themen und Tätigkeiten interessieren sich Schüler*innen heutzutage (nicht)?

FF2: Inwiefern unterscheiden sich die physikbezogenen Interessen an Themen und Tätigkeiten a) zwischen den Geschlechtern und b) zwischen Mittel- und Oberstufe?

Methodisches Vorgehen

Zur Erfassung der physikbezogenen Interessen wurde ein Fragebogen aus insgesamt 61 geschlossenen und 4 offenen Fragen basierend auf bestehenden Instrumenten (insb. Hoffmann et al., 1998) entwickelt, indem Fragen übernommen, adaptiert und vor dem Hintergrund aktueller Entwicklungen ergänzt wurden. Der Fragebogen zielt auf verschiedene Arten des physikbezogenen Interesses ab; in diesem Beitrag liegt der Fokus auf dem Interesse an verschiedenen Themen und Tätigkeiten. Hierzu sollte das eigene Interesse an 17 Themen und 30 Tätigkeiten mit einer 6-stufigen Likert-Skala eingeschätzt werden (1 = sehr gering, 2 = gering, 3 = eher gering, 4 = eher groß, 5 = groß, 6 = sehr groß). Zusätzlich zum Interesse an inhaltlichen Themen (9 Items, $\alpha = .91$), welche dem Kompetenzbereich Fachwissen zugeordnet werden können (z. B. KMK, 2005), wurde auch das Interesse an methodischen Themen in Anlehnung an die Kompetenzbereiche Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung erfasst (8 Items, $\alpha = .89$). Zu den Tätigkeiten werden – neben typischerweise berücksichtigen Tätigkeiten wie Lesen und Berechnen – sowohl verschiedene Arten experimentbezogener Tätigkeiten unterschieden (Durchführung, 4 Items, $\alpha = .76$ vs. Vor- und Nachbereitung, 6 Items, $\alpha = .86$) als auch verschiedene mediale Einbettungen von Tätigkeiten abgebildet (z. B. Experimentieren mit Experimentiermaterial vs. am Computer/Tablet). Die erste Pilotierung des Fragebogens erfolgte als freiwillige Teilnahme im regulären

Physikunterricht und umfasst eine Stichprobe von $N = 330$ Schüler*innen (52 % männlich, 45 % weiblich, 3 % divers) eines Gymnasiums mit Mittel- (70 %, 6.-8. & 10. Klasse) und Oberstufe (30 %, E- & Q-Phase) in Hessen. Zur ersten Auswertung kamen neben Reliabilitätsanalysen verschiedene deskriptive und varianzanalytische Verfahren zum Einsatz.

Erste Ergebnisse: Physikbezogenes Interesse an bestimmten Themen und Tätigkeiten

Zu den Themen liegen tendenziell ähnliche Interessen wie in den 1980er Jahren vor (Hoffmann et al., 1998), denn Schüler*innen interessieren sich typischerweise etwas mehr für besondere Inhalte wie Astrophysik im Vergleich zu üblichen Inhalten wie Wärme (Abb. 1). Insgesamt geben die Schüler*innen ein eher mittleres Interesse sowohl an inhaltlichen als auch an methodischen Themen an (fast alle $M \approx 4$); das Interesse an inhaltlichen Themen ist jedoch etwas höher als das an methodischen Themen ($\Delta M = 0.27$, $t(325) = 6.460$, $p < .001$, $d = 0.36$). Im Geschlechtervergleich zeigt sich, dass Jungen sich etwas mehr als Mädchen für die Inhalte interessieren ($\Delta M = 0.46$, $t(299.124) = 3.612$, $p < .001$, $d = 0.41$), bzgl. der Methoden liegt kein statistisch bedeutsamer Geschlechterunterschied vor ($\Delta M = 0.14$, $p = .223$). Im Vergleich der Mittel- und Oberstufe geben Schüler*innen ähnliche Interessen an Inhalten ($\Delta M = 0.00$, $p = .975$) und Methoden an ($\Delta M = 0.15$, $p = .223$).

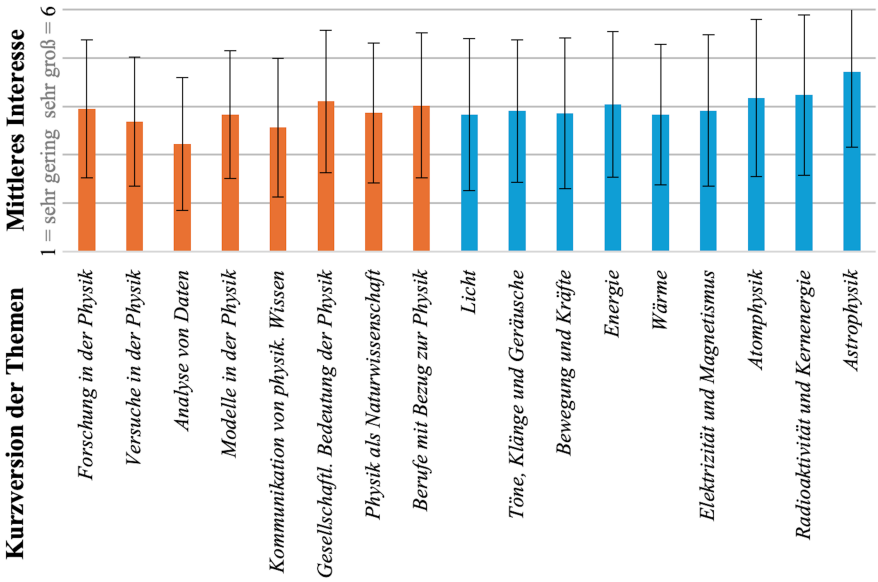


Abb. 1. Mittleres Interesse in der Gesamtstichprobe an inhaltlichen (blau) und methodischen Themen (orange). Fehlerbalken = +/- 1 SD.

Auch zu den Tätigkeiten liegen tendenziell ähnliche Interessen wie in den 1980er Jahren vor (Hoffmann et al., 1998), denn das Experimentieren stößt auf hohes Interesse (Abb. 2), während es für Lesen und Rechnen eher gering ist. Bezüglich der verschiedenen experimentbezogenen Tätigkeiten haben Schüler*innen ein deutlich größeres Interesse an der Durchführung als an der Vor- und Nachbereitung von Experimenten ($\Delta M = 1.10$, $t(327) = 19.066$, $p < .001$, $d = 1.05$). Jungen haben ein etwas höheres Interesse sowohl an der Durchführung ($\Delta M = 0.27$, $t(317) = 2.670$, $p = .008$, $d = 0.30$) als auch an der Vor- und

Nachbereitung (ΔM = 0.22, $t(317)$ = 1.975, p = .049, d = 0.22). In der Mittel- und Oberstufe geben die Schüler*innen für die experimentbezogenen Tätigkeiten ähnliche Interessen an (Durchführung: ΔM = 0.03, p = .775; Vor- und Nachbereitung: ΔM = -0.14, p = .209).

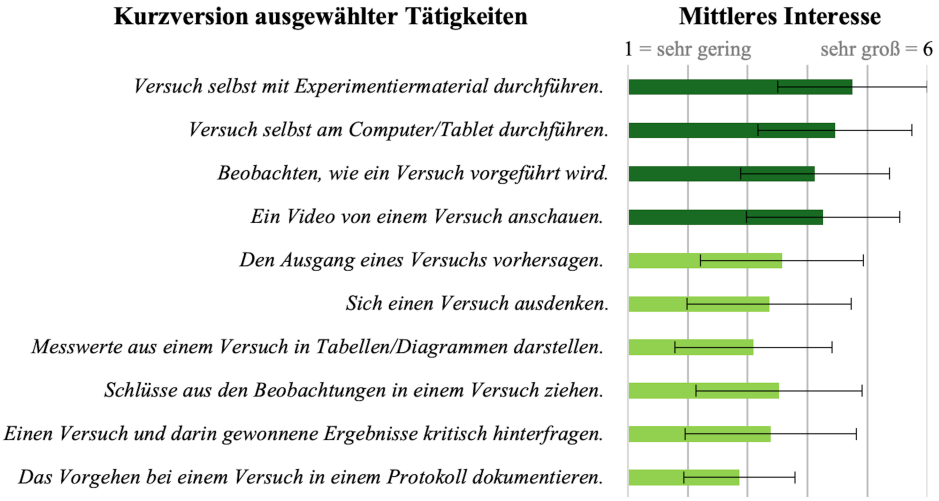


Abb. 2. Mittleres Interesse in der Gesamtstichprobe an der Durchführung (dunkelgrün) und Vor- und Nachbereitung (hellgrün) von Experimenten. Fehlerbalken = +/- 1 SD.

Ähnlich zur kontextuellen Einbettung von Themen (z. B. Hoffmann et al., 1998) scheint die mediale Einbettung von Tätigkeiten einen Einfluss auf das Interesse zu haben: Überwiegend wird eine digitale Einbettung bevorzugt, denn die Schüler*innen sind beispielsweise etwas interessierter am Schauen eines Videos im Vergleich zum Zuhören eines Vortrags über Physik (ΔM = -0.87, $t(320)$ = -9.971, p < .001, d = -0.56), am Recherchieren im Internet statt dem Lesen eines Textes zu einem Physikthema (ΔM = -0.93, $t(320)$ = -12.082, p < .001, d = -0.67) sowie am Lösen von physikalischen Aufgaben mit vs. ohne Handy (ΔM = -0.48, $t(324)$ = -4.644, p < .001, d = -0.26). Eine Ausnahme ist das eigenständige Experimentieren, bei dem die analoge Variante gegenüber der digitalen Variante am Computer bzw. Tablet auf etwas höheres Interesse stößt (Abb. 1; ΔM = 0.30, $t(325)$ = 5.025, p < .001, d = 0.28).

Kurze Einordnung der ersten Ergebnisse und nächste Schritte

Zusammenfassend konnten tendenziell ähnliche Interessen wie in den 1980er Jahren festgestellt (Hoffmann et al., 1998) und bekannte Geschlechterunterschiede (z. B. Schiepe-Tiska et al., 2016) überwiegend bestätigt werden. Überraschend sind vor dem Hintergrund mit der Schulzeit abnehmender Interessen (z. B. Hoffmann et al., 1998) die ausbleibenden Unterschiede zwischen Mittel- und Oberstufe; dies kann vermutlich z. T. dadurch erklärt werden, dass nur Lernende befragt wurden, die Physik nicht bereits abgewählt hatten. Insgesamt bietet der basierend auf bestehenden Instrumenten entwickelte Fragebogen die Möglichkeit, physikbezogene Interessen unter stärkerer Berücksichtigung aktueller gesellschaftlicher und bildungspolitischer Entwicklungen zu erfassen. Wichtige nächste Schritte sind neben der Weiterentwicklung des Fragebogens (z. B. differenziertere Analyse der Items und Skalen; stärkere Parallelisierung zu vergleichenden Items) die Erweiterung des Datenpools, um u. a. Klassen- und Lehrkrafteffekte zu kontrollieren und weitere Schulformen einzubeziehen.

Literatur

Fortus, D., Lin, J., Neumann, K., & Sadler, T. D. (2022). The role of affect in science literacy for all. International Journal of Science Education, 44 (4), 535-555. https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2036384

Hidi, S., & Renninger, K. A. (2006). The four-phase model of interest development. Educational Psychologist, 41(2), 111–127

Hoffmann, L., Häußler, P., & Lehrke, M. (1998). Die IPN-Interessenstudie Physik. IPN

Karstoff, T., Rönnebeck, S., Neumann, K., Seßler, S., Diedrich, J., & Schiepe-Tiska, A. (2023). Naturwissenschaftliche Kompetenz in PISA 2022. Entwicklungen und mögliche Herausforderungen. In D. Lewalter, J. Diedrich, F. Goldhammer, O. Köller & K. Reiss (Eds.), PISA 2022. Analyse der Bildungsergebnisse in Deutschland. Münster, New York: Waxmann, 113 - 137

KMK (2005). Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss. Luchterhand

Krapp, A. (1992). Das Interessenkonstrukt. Bestimmungsmerkmale der Interessenhandlung und des individuellen Interesses aus der Sicht einer Person-Gegenstands-Konzeption. In A. Krapp & M. Prenzel (Eds.), Interesse, Lernen, Leistung. Neuere Ansätze der Pädagogisch-Psychologischen Interessenforschung. Münster: Aschendorff, 297 - 329

Krapp, A., & Prenzel, M. (2011). Research on interest in science: Theories, methods, and findings. International Journal of Science Education, 33 (1), 27–50. https://doi.org/10.1080/09500 693.2010.518645

Potvin, P., & Hasni, A. (2014). Interest, motivation and attitude towards science and technology at K-12 levels: A systematic review of 12 years of educational research. Studies in Science Education, 50 (1), 85–129. https://doi.org/10.1080/03057267.2014.881626

Schiepe-Tiska, A., Simm, I., & Schmidtner, S. (2016). Motivationale Orientierungen, Selbstbilder und Berufserwartungen in den Naturwissenschaften in PISA 2015. In K. Reiss, C. Sälzer, A. Schiepe-Tiska, E. Klieme & O. Köller (Eds.), PISA 2015. Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation. Münster, New York: Waxmann, 99 – 132

Das berichtete Forschungsvorhaben ist an das MINT Cluster Wetzlar (MCW) angebunden. Das Cluster wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 16MCJ2083B gefördert.

Timm Fuhrmann[1]
Elisabeth Hofer[1]
Simone Abels[1]

[1]Leuphana Universität Lüneburg

Perspektiven von Schüler*innen zu Tippkarten im inklusiven NAWI-Unterricht

Einleitung

Es besteht ein zunehmender Bedarf an praxisnahen Handlungsempfehlungen für die Gestaltung inklusiven naturwissenschaftlichen Unterrichts, bei dem fachliche und inhaltliche Überlegungen (Prediger & Aufschnaiter, 2017) sowie inklusionspädagogische Ziele (Booth & Ainscow, 2016) gleichermaßen in die Planung einbezogen werden (Stinken-Rösner et al., 2020). Diese Notwendigkeit wird auch durch die zum Teil kritischen Ergebnisse internationaler und nationaler Vergleichsstudien (z.B. IQB-Bildungstrend, 2023; PISA, 2018) unterstrichen, die das Spannungsfeld zwischen fachlicher Leistung und Partizipation weiter verschärfen. Ein Lösungsansatz, der beide Perspektiven vernetzt, wird im Schema des Netzwerks inklusiver naturwissenschaftlicher Unterricht (NinU) vorgeschlagen (Stinken-Rösner et al., 2020). Die in Form eines Unterstützungsrasters aufbereiteten Reflexionsfragen bieten Fachlehrkräften eine Grundlage, um naturwissenschaftlichen Unterricht im Sinne eines weiten Inklusionsverständnisses zu planen (Ferreira-González et al., 2021). Die Sichtweisen der Schüler*innen auf diese Planungsfragen wurden bisher nicht berücksichtigt, könnten jedoch – unter der Annahme, dass sie Expert*innen ihres eigenen Lernprozesses sind – eine ergiebige Ressource sein und wertvolle Hinweise und Orientierungspunkte für die Gestaltung inklusiven naturwissenschaftlichen Unterrichts liefern. Eine lernseitige Orientierung (Agostini et al., 2018) des Planungsprozesses ermöglicht es, die Perspektiven der Schüler*innen wahrzunehmen und für die Gestaltung von Lehr- und Lernarrangements zu nutzen.

Tippkarten im NAWI-Unterricht

Tipp- oder auch Hilfekarten treten in der unterrichtlichen Praxis in vielfältiger Art und Weise auf. Sie entsprechen dabei nicht konsequent den Vorschlägen aus der Literatur für den naturwissenschaftlichen Unterricht (u.a. Affeldt, Eilks & Markic, 2020), sondern sind von Lehrkräften oft basierend auf der eigenen Praxiserfahrung ausgestaltet. Tippkarten können heuristisch (Herold-Blasius & Rott, 2018) oder in Form abgestufter Hilfen (Franke-Braun, Schmidt-Weigand, Stäudel & Wodzinski, 2008) angelegt sein. Bei abgestuften Lernhilfen handelt es sich um sequenzielle Hilfen (Affeldt, Eilks & Markic, 2020), die konkrete Handlungsaufforderungen und Teillösungen beinhalten. In Studien konnten zahlreiche positive Effekte beim Einsatz von solchen Lernhilfen gezeigt werden. Sie werden als motivierend und unterstützend wahrgenommen und können das selbstständige Lernen auf individueller sowie Gruppenebene, insbesondere in diversen Lerngruppen, fördern (Affeldt, Eilks & Markic, 2020). Auch die inhaltsbezogene Kommunikation wird bei der Nutzung solcher Hilfen als verstärkt beschrieben. Als Faktoren, die die nachweisliche Wirksamkeit noch beeinflussen könnten, werden Aufgabenschwierigkeit, fehlende Erfahrungen im Umgang mit den Tippkarten oder kooperativen Lernformen sowie mangelnde metakognitive Kompetenzen genannt (Franke-Braun, Schmidt-Weigand, Stäudel & Wodzinski, 2008).

Kontext der Studie und Forschungsfragen

Im Vorfeld dieser Studie wurde ein inklusives Lernarrangement umgesetzt, welches von ausgewählten Schüler*innen in Kleingruppen bearbeitet wurde. Die Bearbeitung wurde gefilmt und anschließend zur Entwicklung von Vignetten, die ausgewählte Lernmomente zeigen, verwendet. Diese Vignetten wurden dann in leitfadengestützten Interviews (Flick, 2007) mit unbeteiligten Schüler*innen als Erzählimpuls für eine tiefergehende Befragung eingesetzt, wodurch bereits erste Einblicke in die subjektiven Sichtweisen und Einschätzungen von Schüler*innen in Bezug auf inklusiven NAWI-Unterricht gewonnen werden konnten. Ein erster Fokus, der sich aus dieser Vorerhebung ergab, war der Einsatz von Tipp- und Hilfekarten, woraus sich folgende Forschungsfragen ergeben:

- Welche Perspektiven haben die Lernenden auf den Einsatz von Tippkarten im inklusiven NAWI-Unterricht?
- Welche Implikationen lassen sich daraus für die Planung und Gestaltung inklusiven naturwissenschaftlichen Unterrichts ableiten?

Erhebung

Zur Beantwortung der o.g. Forschungsfragen wurden N=7 leitfadengestützte Einzelinterviews mit Schüler*innen des neunten Jahrgangs (N=4 weiblich, N=3 männlich) durchgeführt. Als Erzählimpuls wurde eine der vorab entwickelten Videovignetten (1:47 min) verwendet, die eine Gruppe von Schüler*innen bei ihrer Bearbeitung einer Aufgabenstellung inklusive des Einsatzes von Tippkarten zeigt. Die Dauer der Interviews lag jeweils zwischen 25–40 Minuten, wobei folgende Fragen zur Strukturierung in Form eines Interviewleitfadens eingesetzt wurden:

- In welchen Unterrichtssituationen hast Du schon Erfahrungen mit Tippkarten oder ähnlichen Hilfen/Material gemacht/mit diesen gearbeitet?
- Wie sind deine konkreten Erfahrungen/Erwartungen im Umgang mit Tippkarten oder ähnlichen Hilfen?
- In welcher Form werden dir Tippkarten üblicherweise zur Verfügung gestellt?

Die Interviews wurden audioaufgezeichnet und anschließend vollständig semantisch-inhaltlich (Dresing & Pehl, 2018) transkribiert.

Auswertung

Die Auswertung der Daten erfolgte mittels einer inhaltlich-strukturierenden Qualitativen Inhaltsanalyse (QIA) nach Kuckartz (2018). Im Folgenden sind die einzelnen Arbeitsschritte dargestellt.

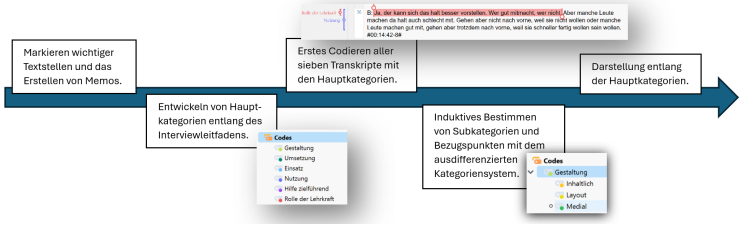
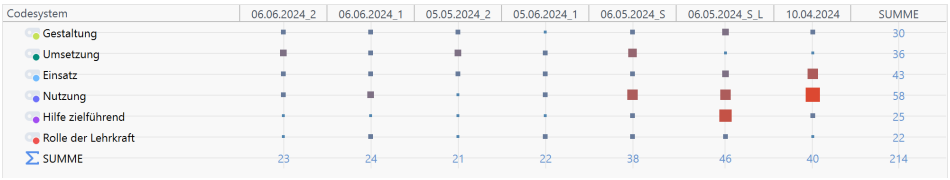


Abb.1: Darstellung der inhaltlich-strukturierenden Qualitativen Inhaltsanalyse (QIA) mit Auszügen aus MAXQDA, 1989-2004

Erste Ergebnisse & Ausblick



Codesystem	06.06.2024_2	06.06.2024_1	05.05.2024_2	05.06.2024_1	06.05.2024_S	06.05.2024_S_L	10.04.2024	SUMME
Gestaltung								30
Umsetzung								36
Einsatz								43
Nutzung								58
Hilfe zielführend								25
Rolle der Lehrkraft								22
SUMME	23	24	21	22	38	46	40	214

Abb.2: Code-Matrix für die Hauptkategorien aus MAXQDA (1989-2004) für bisher 7 Transkripte

In einem ersten Schritt erfolgte die Zuordnung der Aussagen zu den Hauptkategorien, die bereits im Vorhinein deduktiv aus dem Interviewleitfaden abgeleitet wurden. Dabei zeigt sich, dass die Schüler*innen nicht nur ihre Erfahrungswerte mitteilen, sondern auch Intentionen, Erwartungen und Befürchtungen. Vorschläge, die sich u.a. auf die Umsetzung und den Einsatz von Tippkarten beziehen, werden dabei konkret benannt. Hierbei spielt die Lehrkraft für die befragten Schüler*innen eine wichtige Rolle, die auch mit der individuellen Nutzung der Tippkarten zusammenhängt. Die Transkripte offenbaren, dass die befragten Schüler*innen nicht nur die Sorge umtreibt, dass ihnen Tippkarten einfach zugeteilt werden, sondern dass sich deren Verwendung sogar negativ auf ihre Bewertung auswirken könnte. Die Schüler*innen, die sich dazu äußern, fordern von der Lehrkraft eine gute Organisation und Steuerung, was von Alternativen zu den Tippkarten, über eine bedarfsorientierte Verteilung bis hin zu Notizen darüber, wer Tippkarten nutzt und wer ohne diese auskommt, reicht. In einigen Fällen werden sogar Belohnungen, für die Schüler*innen beschrieben, die eine Aufgabe ohne die Tippkarten lösen könnten. In einem Interview spitzt sich die Sorge um eine schlechte Bewertung derart zu, dass vorgeschlagen wird, ein Tippkartensystem auf zwei Niveaustufen zu etablieren, damit – wie in diesem Fall – auf einem höheren Niveau gearbeitet werden kann und so die Oberstufenprognose nicht gefährdet sein muss. Die Sorge um die individuelle Bewertung ist in allen Interviews präsent, was die Schüler*innen in besonders herausfordernde Situationen bringt, da zusätzlich berichtet wird, dass Tippkarten gute Hinweise bereithalten können und auch genutzt werden sollten, wenn die Lehrkraft sich die Mühe gemacht hat, diese zu erstellen. In diesem Dilemma stehend scheint aber die Lösung ohne jedes Hilfsmittel für alle Befragten immer noch der bevorzugte Weg zu sein. Trotz dieser vermeintlichen Vorbehalte konnten alle Befragten Hinweise und Erfahrungswerte in Hinblick auf den Einsatz, die Umsetzung und die Gestaltung liefern, wie der folgende Auszug aus einem Transkript zeigt – immer eng verbunden mit der Rolle der Lehrkraft.

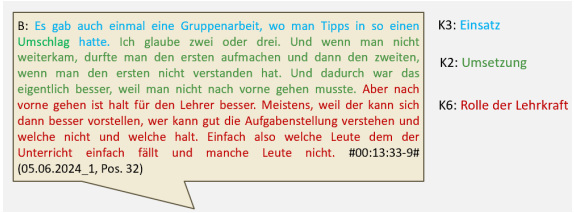


Abb.3: Auszug aus dem Transkript 05.06.2024_1, Pos. 32

Das Codieren mit dem ausdifferenziertem Kategoriensystem sowie der Einsatz weiterer Vignetten sind die nächsten Schritte im dargebotenen Promotionsprojekt.

Literatur

Abels, S. (2015). Scaffolding inquiry-based science and chemistry education in inclusive classrooms. New Developments in Science Education Research, (November), 77–95.

Affeldt, F., Markic, S. & Eilks, I. (2020). Über die Nutzung abgestufter Lernhilfen beim forschenden Lernen. *Chemie und Schule,* 34 (4), 17-21.

Agostini, E., Schratz, M. & Risse, E. (2018). Lernseits denken – erfolgreich unterrichten. Personalisiertes Lehren und Lernen in der Schule. AOL Verlag.

Aufschnaiter, C. v., & Prediger, S. (2017). Umgang mit heterogenen Lernvoraussetzungen aus fachdidaktischer Perspektive: Fachspezifische Anforderungs- und Lernstufungen berücksichtigen. In T. Bohl, J. Budde, & M. Rieger-Ladich (Hrsg.), Umgang mit Heterogenität in Schule und Unterricht (S. 291–307). Klinkhardt.

Bolte, C., & Rauch, F. (2014). Enhancing Inquiry-based Science Education and Teachers' Continuous Professional Development in Europe: Insights and Reflections on the PROFILES Project and other Projects funded by the European Commission. Freie Universität Berlin (Germany) / Klagenfurt: Alpen-Adria-Universität Klagenfurt (Austria).

Booth, T., & Ainscow, M. (2016). Index for Inclusion – Developing learning and participation. Index for Inclusion Network.

Brauns, S. & Abels, S. (2021). Validation und Revision of the Framework for Inclusive Science Education, Working Paper No. 1/2021, 1–31. Leuphana University Lüneburg, Science Education

Ferreira González, L., Fühner, L., Sührig, L., Weck, H., Weirauch, K. & Abels, S. (2021). Ein Unterstützungsraster zur Planung und Reflexion inklusiven naturwissenschaftlichen Unterrichts. In S. Hundertmark, X. Sun, S. Abels, A. Nehring, R. Schildknecht, V. Seremet & C. Lindmeier (Hrsg.), Naturwissenschaftsdidaktik und Inklusion, 4. Beiheft Sonderpädagogische Förderung heute (S. 191–215). Beltz Juventa.

Franke-Braun, G., Schmidt-Weigand, F., Stäudel, L., Wodzinski, R. (2008): Aufgaben mit gestuften Hilfen – ein besonderes Aufgabenformat zur kognitiven Aktivierung der Schülerinnen und Schüler und zur Intensivierung der sachbezogenen Kommunikation. In Kasseler Forschergruppe (Hrsg.), Lernumgebungen auf dem Prüfstand. Zwischenergebnisse aus den Forschungsprojekten, (S. 27 – 42). kassel university press GmbH.

Flick, U. (2007). Qualitative Sozialforschung. Eine Einführung. Hamburg: rororo.

Herold-Blasius, R. & Rott, E. u. B. (2018). Der Einfluss von heuristischen Hilfekarten auf das Problemlösen. Ergebnisse einer Studie. In Fachgruppe Didaktik der Mathematik der Universität Paderborn (Hrsg.), Beiträge zum Mathematikunterricht 2018 (S. 775-778). Münster: WTM

Hofer, E., Abels, S. & Lembens, A. (2018). Inquiry-based learning and secondary chemistry education – a contradiction?. RISTAL, 1, 51–65.

Kuckartz, U. (2018). Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. 4. Auflage. Beltz Juventa.

Kuckartz, U., Dresing, T., Rädiker, S., Stefer, C. (2008). Qualitative Evaluation. Der Einstieg in die Praxis. Wiesbaden: VS, Verlag f. Sozialwiss.

Rolff, H.-G. (2007). Studien zu einer Theorie der Schulentwicklung. Beltz: Weinheim.

Rott, L. (2018). Vorstellungsentwicklungen und gemeinsames Lernen im inklusiven Sachunterricht initiieren. Die Unterrichtskonzeption „choice2explore" (Bd. 4). Logos Verlag.

Rott, L., & Marohn, A. (2016). Inklusiven Unterricht entwickeln und erproben—Eine Verbindung von Theorie und Praxis im Rahmen von Design-Based Research. Zeitschrift für Inklusion, 4.

Stinken-Rösner, L., Rott, L., Hundertmark, S., Baumann, T., Menthe, J., Hoffmann, T., Nehring, A., & Abels, S. (2020). Thinking Inclusive Science Education from two Perspectives: Inclusive Pedagogy and Science Education. RISTAL, Jahrgang 3, 30–45.

Stäudel, L. (2009). Aufgaben mit gestuften Hilfen, *Unterricht Chemie*, 20, 111/112, 72-77

Villanueva, M. G., Taylor, J., Therrien, W., & Hand, B. (2012). Science education for students with special needs. Studies in Science Education, 48 (March 2015), 187–215.

Florian List[1]
Elisabeth Hofer[1]
Simone Abels[1]

[1]Leuphana Universität Lüneburg

Unterrichtliche Praxis inklusiven Nawi-Unterrichts – eine Fallstudie

Einleitung

Die Diversität von Schüler*innen stellt kein neues Phänomen dar, sondern ist fester Bestandteil im Alltag an allen Schulformen (z.B. Arnold, 2010; Robert Bosch Stiftung, 2024). Allerdings zeigen verschiedene Studien, dass sich der Umgang mit diversen Lerngruppen (Robert Bosch Stiftung, 2024) und im Speziellen eine an Binnendifferenzierung orientierte unterrichtliche Praxis für Lehrkräfte zunehmend herausfordernd darstellt (z.B. Gaitas & Alves Martins, 2017; Smets & Struyven, 2020). Dabei werden häufig Defizite oder besondere Bedarfe einzelner Personen fokussiert, was sich in der Gestaltung von Unterrichtsmaterialien auf verschiedenen Niveaustufen manifestiert. Dies bedeutet für Lehrkräfte nicht nur einen enormen Aufwand in der Materialvorbereitung (z.B. Gaitas & Alves Martins, 2017), sondern birgt die Gefahr einer Kategorisierung (Stichwort: *Etikettierungs-Ressourcen-Dilemma*; z.B. Quante & Wiedebusch, 2018). Eine Transformation von einer defizitorientierten hin zu einer potenzialorientierten, dekategorisierenden und damit inklusiveren unterrichtlichen Praxis könnte dazu beitragen, Vielfalt stärker wertzuschätzen und die fachliche sowie soziale Partizipation aller Lernenden zu ermöglichen (Abels, 2019). Ein dekategorisierender Ansatz, der nicht mehr länger gemeinsamen Unterricht für die Mehrheit und besonderen Unterricht für ausgewählte Schüler*innen (z.B. mit SPF) fokussiert, könnte den Aufwand der Materialvorbereitung und in weiterer Folge die Belastung der Lehrkräfte reduzieren. Erste theoretische Überlegungen zur Unterstützung eines solchen Perspektivwechsels legen nahe, Barrieren vor allem gegenstandsbezogen im Lerngegenstand bzw. der Lernumgebung, statt personenbezogen (d.h. den Schüler*innen innewohnend) zu verorten (Abels & Witten, 2023 in Anlehnung an Krönig, 2015; Stinken-Rösner & Abels, 2021). Untersuchungen der unterrichtlichen Praxis stehen diesbezüglich jedoch aus.

Gleichzeitig ist bekannt, dass das Handeln von Lehrkräften maßgeblich von deren impliziten Wissensbeständen (z.B. orientations, attitudes, beliefs) geleitet wird (z.B. Jones & Park, 2023). Dies trifft auch auf die Wertschätzung von Vielfalt im Unterricht und die Umsetzung von Inklusion zu (Gerosimou, & Messiou, 2023; Pantić & Florian, 2015) und muss deshalb in den Blick genommen werden, wenn Lehrkräfte als *change agents* in schulischen Entwicklungsprozessen fungieren sollen (z.B. Brown et al., 2021).

Ziel des Vorhabens ist es, zu untersuchen, welches Verständnis von Inklusion Naturwissenschaftslehrkräfte haben und wie sich dieses Verständnis in ihrer unterrichtlichen Praxis widerspiegelt. Darauf aufbauend kann dann eine Standortbestimmung bezüglich des skizzierten Transformationsprozesses und eine praktische Erprobung der theoretischen Überlegungen zur Barriereverortung erfolgen. Folgende Forschungsfragen stehen im Vordergrund:

1. Welches Verständnis von Inklusion (und Barrieren) lässt sich bei Naturwissenschaftslehrkräften rekonstruieren?
2. Wie zeigt sich dieses Verständnis in der unterrichtlichen Praxis?

Forschungsdesign

Das Inklusionsverständnis ist als ein komplexes Konstrukt anzusehen, dessen Untersuchung in der unterrichtlichen Praxis eine multiperspektivische und tiefgehende Analyse erfordert. Dazu werden verschiedene Datenquellen (Unterrichtsbeobachtungen, episodische Interviews,

ggf. schriftliche Unterrichtsplanungen, etc.) herangezogen, im Sinne der Grounded Theory Methodology (GTM; Charmaz, 2014) miteinander verknüpft und analysiert. Die GTM zeichnet sich insbesondere durch ein adaptives und iteratives Vorgehen aus, das als ständiger Wechsel zwischen Datenerhebung, -analyse und Theoriebildung zu verstehen ist und es damit ermöglicht, explorativen Forschungsfragen in komplexen Settings nachzugehen (Mey & Mruck, 2011). Im Rahmen der Analyse werden verschiedene Kodiertechniken (*initial coding* und *focussed coding*, Charmaz, 2014; Saldaña, 2013) kombiniert, um daraus Kategorien zu entwickeln, diese in Beziehung zueinander zu setzen und schließlich in Kombination mit prozessbegleitenden Memos zu einer Theorie zu verdichten (Charmaz, 2014; Mey & Mruck, 2011). Die Auswahl der dafür zu berücksichtigenden Fälle erfolgt im Sinne eines *theoretical samplings* (Charmaz, 2014) im Verlauf des Analyseprozesses, um unter Einbezug bisheriger Erkenntnisse Hinweise aus dem Datenmaterial zu kontrastieren.
Als Ausgangspunkt der Untersuchung wurden zwei Naturwissenschaftslehrkräfte aus der Sekundarstufe in ihrer unterrichtlichen Praxis begleitet. In einem ersten Zyklus wurden Unterrichtshospitationen mit anschließenden Reflexionsgesprächen (i.S. episodischer Interviews; Flick, 2011) durchgeführt, deren Analyse im Folgenden exemplarisch dargestellt wird.

Erste Einblicke in die Analyse des Datenmaterials

Das ausgewählte Material entstand im Anschluss an eine Hospitation im Naturwissenschaftsunterricht (90 Min.) in einer 8. Klasse. In der Stunde führten die Schüler*innen in Kleingruppen Experimente zur Reaktion von Metallen mit Sauerstoff durch. Nach der Hospitation wurde mit der Lehrkraft ein Reflexionsgespräch (ca. 60 Min.) im Sinne eines episodischen Interviews nach Flick (2011) geführt. In diesem Gespräch wurde die Lehrkraft u.a. gebeten, verschiedenen Situationen – wie beispielsweise die Gruppeneinteilung für das Experimentieren (siehe Abb. 1) – aus ihrer eigenen Sicht zu schildern und dahinterstehende Planungen, aber auch spontane Anpassungen zu begründen. Dieses episodische Wissen wurde durch gezielte Nachfragen nach semantischem Wissen (z.B. persönliche Begriffsdefinitionen) ergänzt (Flick, 2011). Das Reflexionsgespräch wurde audiografiert und unter Zuhilfenahme der Software f4x entsprechend der inhaltlich-semantischen Transkription (Dresing & Pehl, 2024) transkribiert. Abbildung 1 zeigt einen codierten Ausschnitt aus dem Transkript des Reflexionsgesprächs mit LK_001. Während des *initial codings* (Charmaz, 2014; Saldaña, 2013) wurden folgende thematische Abstraktionen zur Gruppeneinteilung herausgearbeitet und farblich hervorgehoben: Lehrkraft als Entscheider*in bei Gruppeneinteilung (grau); geplante Gruppeneinteilung für leistungsmäßige Durchmischung (oliv); zufällige Gruppeneinteilung für soziales Lernen (grün); Naturwissenschaftliche Leistung als Einteilungsgrundlage (rot); Geschwindigkeit als Einteilungsgrundlage (lila); Überspringen von Gedanken und Ideen als Einteilungsgrundlage (blau).

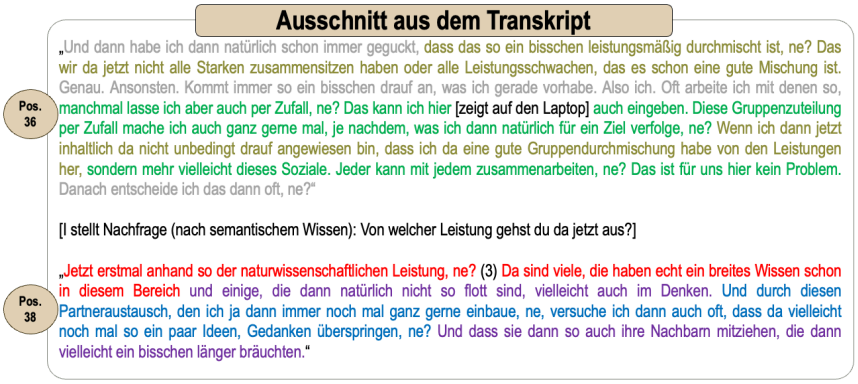


Abb. 1: Codierter Ausschnitt aus dem Transkript des Reflexionsgesprächs mit LK_001.

Abbildung 2 zeigt exemplarisch zusammengefasste Erkenntnisse aus dem *initial coding* zum Herausarbeiten theoretischer Abstraktionen (sortiert nach W-Fragen, die an das Material gestellt wurden) sowie ergänzende Memos zur Dokumentation von Entscheidungen, weiterer Gedanken und Fragen (Charmaz, 2014; Mey & Mruck, 2011; Saldaña, 2013).

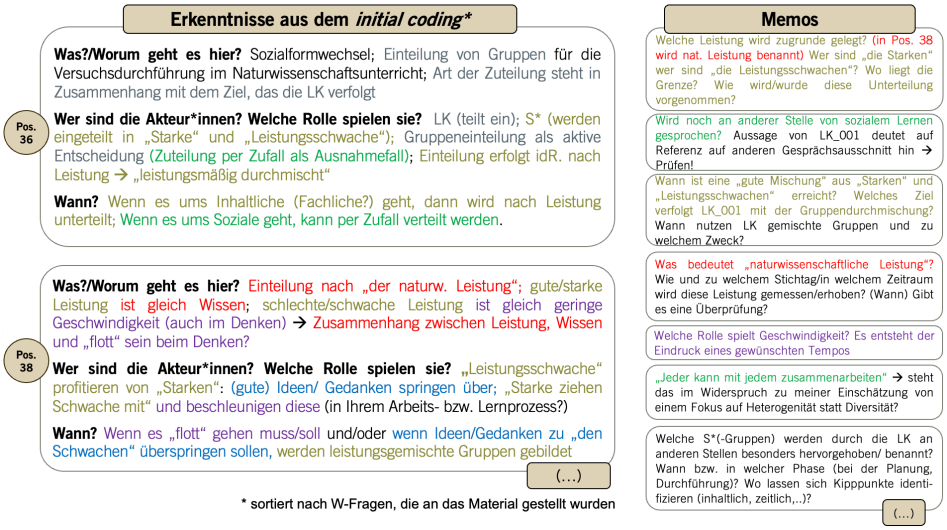


Abb. 2: Exemplarischer Einblick in die erste Datenanalyse des Reflexionsgesprächs.

Die bisher herausgearbeiteten thematischen Abstraktionen (konzeptionelle Codes; siehe oben) geben erste Hinweise darauf, dass durch „leistungsmäßig durchmischte“ Gruppen Unterschiede ausgeglichen bzw. kompensiert werden sollen, statt Vielfalt anzuerkennen und wertzuschätzen (Fokus auf Heterogenität statt auf Diversität). Zudem unterscheidet die Lehrkraft bei der Gruppeneinteilung zwischen inhaltlichen (ggf. fachlichen) und sozialen Lernzielen. Bei der Analyse ist darüber hinaus aufgefallen, dass der Fokus derzeit stärker auf inklusiven und weniger auf naturwissenschaftlichen Spezifika liegt. Dies gilt es weiter zu verfolgen, zu prüfen und zu kontrastieren.

Ausblick

In Vorbereitung auf weitere Zyklen im iterativen Forschungsprozess wird die Analyse des bisher erhobenen Materials weitergeführt, um die ersten konzeptionellen Codes weiter auszuschärfen. Dabei wird zunächst das vorliegende Datenmaterial vollständig analysiert, bevor innerhalb des Materials Kontraste und Überschneidungen herausgearbeitet werden. Anschließend werden weitere Datenquellen sowie kontrastierende Fälle entsprechend eines *theoretical samplings* (Charmaz, 2014) ergänzt. Auf Grundlage der Erkenntnisse der Analyse, werden Beobachtungsbögen und Interviewleitfäden ggf. überarbeitet, um einen stärkeren Bezug zu naturwissenschaftlichen Spezifika herzustellen. Derzeit befindet sich zudem eine Externalisierung zur Klärung des Inklusionsverständnisses mittels Lego® Serious Play® in der Erprobung, die potenziell als weitere Datenquelle in die Analyse einfließen soll.

Förderhinweis

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03IHS284A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autor*innen.

Literatur

Abels, S. (2019). Potentialorientierter Naturwissenschaftsunterricht. In M. Veber, R. Benölken & M. Pfitzner (Hrsg.), Potentialorientierte Förderung in den Fachdidaktiken. Münster: Waxmann, 61-78

Abels, S., & Witten, U. (2023). Was Naturwissenschaftsdidaktiken und Religionspädagogik voneinander über Inklusion lernen können. Zeitschrift für Inklusion, (2). https://www.inklusion-online.net/index.php/inklusion-online/article/view/716

Arnold, K.-H. (2010). Heterogenität von Schulklassen. Was ist das Neue am Altbekannten, dass es jeden Schüler nur einmal gibt? In A. Köker, B. Koch-Priewe, S. Romahn, & A. Textor (Hrsg.), Herausforderung Heterogenität: Ansätze und Weichenstellungen. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt, 11-24

Brown, C., White, R., & Kelly, A. (2021). Teachers as educational change agents: What do we currently know? Findings from a systematic review. Emerald Open Research, 1 (3), 1–19

Charmaz, K. (2014). Constructing grounded theory (2nd Ed.). Los Angeles: Sage

Dresing, T., & Pehl, T. (2024). Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse: Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende (9. Auflage). https://www.audiotranskription.de/wp-content/uploads/2024/06/Praxisbuch_09_02_Web2.pdf

Flick, U. (2011). Das Episodische Interview. In G. Oelerich & H.-U. Otto (Hrsg.), Empirische Forschung und Soziale Arbeit. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 273-280

Gaitas, S., & Alves Martins, M. (2017). Teacher perceived difficulty in implementing differentiated instructional strategies in primary school. International Journal of Inclusive Education, 21 (5), 544–556

Gerosimou, E., & Messiou, K. (2023). Thinking outside the 'deficit box': Promoting the equal valuing of all children through teacher professional development. International Journal of Inclusive Education, 1–16

Jones, M. G., & Park, S. (2023). Science Teacher Attitudes and Beliefs. Reforming Practice. In N. G. Lederman, D. L. Zeidler, & J. S. Lederman (Eds.), Handbook of Research on Science Education: Volume III. New York: Routledge, 1101-1122

Krönig, F. K. (2015). Barrieren zwischen Freiheit und Faktizität. Eine phänomenologische und differenztheoretische Annäherung an einen inklusionspädagogischen Schlüsselbegriff. In I. Schnell (Hrsg.), Herausforderung Inklusion. Theoriebildung und Praxis. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt, 40-50

Mey, G., & Mruck, K. (2011). Grounded-Theory-Methodologie: Entwicklung, Stand, Perspektiven. In G. Mey & K. Mruck (Hrsg.), Grounded Theory Reader. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 11-48

Pantić, N., & Florian, L. (2015). Developing teachers as agents of inclusion and social justice. Education Inquiry, 6 (3), 333–351

Quante, M., & Wiedebusch, S. (2018). Die Dekategorisierungsdebatte im Kontext Inklusiver Bildung. In M. Quante, S. Wiedebusch, & H. Wulfekühler (Hrsg.), Ethische Dimensionen inklusiver Bildung. Weinheim, Basel: Beltz Juventa, 119-141

Saldaña, J. (2013). The coding manual for qualitative researchers. Los Angeles: Sage

Smets, W., & Struyven, K. (2020). A teachers' professional development programme to implement differentiated instruction in secondary education: How far do teachers reach? Cogent Education, 7 (1), 1-17

Stinken-Rösner, L., & Abels, S. (2021). Digitale Medien als Mittler im Spannungsfeld zwischennaturwissenschaftlichem Unterricht und inklusiver Pädagogik. In S. Hundertmark, X. Sun, S. Abels, A. Nehring, R. Schildknecht, V. Seremet, und C. Lindmeier (Hrsg.), Naturwissenschaften und Inklusion, 4. Beiheft Sonderpädagogische Förderung heute. Weinheim, Basel; Beltz Juventa, 161-175

Leonie Jung[1]
Martin Dickmann[1]
Heike Theyßen[1]
Anita Stender[1]

[1]Universität Duisburg Essen

Umgang mit UDL basierten Lernmaterialien im Physikstudium

Ausgangslage, Ziel und Zielgruppe

Heterogenität ist nicht mehr nur an Schulen, sondern auch im Hochschulbereich Realität (Hanft, 2015). Studierende starten mit einer eigenen Bildungsbiografie, individuellen Präferenzen beim Lernen, Lebensumständen, motivationalen Orientierungen und fachspezifischer Vorbildung in das Studium. Jedoch werden die Diversität und die individuellen Lernvoraussetzungen der Studierenden oft nur wenig berücksichtigt. So können individuelle Lernpotenziale ungenutzt bleiben. Auch die HRK und KMK (2015) fordern die Hochschulen im Zuge der Umsetzung der UN-Behindertenrechtskonvention an deutschen Hochschulen auf, die Studierenden nicht nur auf Inklusion in der Schule vorzubereiten, sondern selbst Inklusionsvorbild zu sein. Um heterogenitätssensible Lernangebote zu gestalten, die dieser Aufforderung nachkommen, können Planungsansätze wie das Universal Design for Learning (UDL) genutzt werden. Das UDL soll helfen, Barrieren in Methoden und Materialien zu reduzieren, indem multiple Mittel zur Förderung von Lernengagement und -motivation, zur Repräsentation von Informationen sowie zur Verarbeitung von Informationen und Darstellung von Lernergebnissen geboten werden (Holländer et al., 2022; Cast, 2018).

Im Projekt Stu-diverS („Barrierearme, individuelle Förderung Lehramtsstudierender in der Studieneingangsphase“[1]) wird dieser Ansatz aufgegriffen, um der Heterogenität Lehramtsstudierender der Physik in der Studieneingangsphase mit UDL-basierten Lernmaterialien gerecht zu werden. Hierzu werden entsprechende Materialien entwickelt, implementiert und hinsichtlich Nutzung, Akzeptanz und durch die Studierenden eingeschätzter Lernwirksamkeit untersucht.
Der Studiengang Lehramt Physik für die Sekundarstufe I an der Universität Duisburg-Essen (Dickmann et al., eingereicht) setzt ein flipped classroom Konzept (z.B. McNally et al., 2017), ergänzt um wöchentliche Hausübungen, um. Damit die Studierenden in den Präsenzsitzungen kognitiv aktivierende Aufgaben sinnvoll bearbeiten können, sollten sie sich zuvor individuell und eigenständig mit Lernmaterialien für die Präsenzsitzungen (im Folgenden kurz: Vorbereitungsmaterialien) auseinandersetzen. Barrieren, wie geringe Motivation, Verständnis- oder Zugangsprobleme, die in diesen Selbstlernphasen auftreten können, könnten die ungleichen Voraussetzungen der Studierenden für die Präsenzsitzungen verstärken und sich insgesamt negativ auf den Lernprozess auswirken. Daher wurden die Vorbereitungsmaterialien als erster Ansatzpunkt identifiziert, um durch eine UDL-basierte Gestaltung der Heterogenität der Studierenden in der Studieneingangsphase gerecht zu werden. In diesem Beitrag werden erste Ergebnisse zu Nutzung und Akzeptanz präsentiert.

[1] Das Projekt wird gefördert im Rahmen des Graduiertenkollegs zu querschnittlichen Fragen der Lehrkräftebildung 2022 der Universität Duisburg Essen.

Entwicklung und Implementation

Mit Hilfe der Gestaltungsmerkmale des UDL wurden basierend auf bereits vorhandenem Material zwei Versionen der Vorbereitungsmaterialien entwickelt:
- Version A: Folien als vertonte Videopräsentation
- Version B: Folien zum Selbstklicken mit Wahlmöglichkeiten

In Version B sind UDL-Aspekte gezielter und zahlreicher umgesetzt, als in Version A. Wahlmöglichkeiten bestehen in Version B z.B. darin, dass man Erläuterungen über „Ton- und Textbuttons" wahlweise als Tonspur oder zusätzliche Textfelder selbstständig abrufen kann. Im Wintersemester 23/24 wurden pro Woche für zwei Präsenztermine Vorbereitungsmaterialien bereitgestellt. Zu Forschungszwecken geschah dies bis Weihnachten im wöchentlichen Wechsel der Versionen (AABBAA...), nach Weihnachten nur in Version B. Die Vorbereitungsmaterialien wurden mit der interaktiven Lehr- und Lernplattform tet.folio (Haase, Sommerer et al., 2021) umgesetzt. Dadurch konnten pseudonymisierte Navigationsdaten (Log-Daten) der Bearbeitung der Vorbereitungsmaterialien gewonnen werden. Des Weiteren wurden retrospektive Interviews zur Nutzung, Akzeptanz und (subjektiven) Wirksamkeit mit den Studierenden geführt.

Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen zur Nutzung und Akzeptanz

In Abbildung 1 ist für jede/n Studierende/n dargestellt, wie viel Prozent der Seiten des jeweiligen Materials (1-27) sie/ er, unabhängig vom Zeitpunkt, genutzt hat. So haben z. B. bis auf S7 alle Studierenden das vierte Material zu 100 % genutzt. Eine Seite galt als genutzt, wenn der/die Studierende sie für eine Mindestzeit zum Erfassen der Informationen aufgerufen hat. Dies schließt aus, dass Seiten beim reinen „Durchklicken" mitgezählt werden, berücksichtigt aber zugleich, dass Studierende abhängig vom individuellen Vorwissen den Seiteninhalt schnell erfassen können.

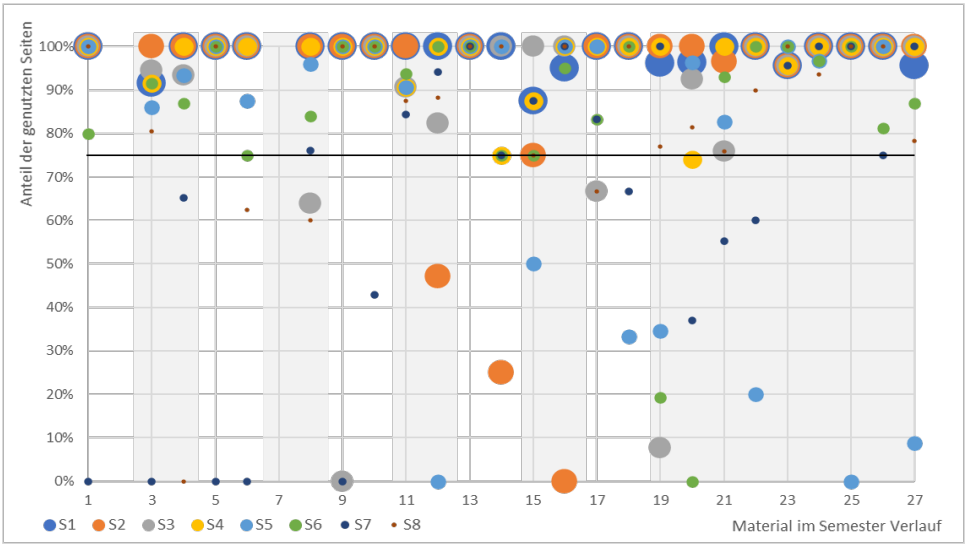


Abbildung 1: Nutzung der Vorbereitungsmaterialien im Semesterverlauf. Dargestellt sind die Anteile der genutzten Seiten pro Material (Version A: weiß, B: grau) und Student/in.

Bei 25 Materialien[2] und acht Studierenden gibt es insgesamt 200 mögliche „Fälle“ (= Nutzung eines Materials durch eine/n Studierende/n). In 84% dieser Fälle wurden mindestens 75% des Materials genutzt (d.h. 84% der Punkte liegen oberhalb der grauen Linie in Abb. 1). Die normativ gesetzte Schwelle von 75% kennzeichnet zusammen mit den oben erläuterten Mindestzeiten eine „Basisauseinandersetzung" mit dem Material. Insgesamt wird die Nutzung unterschätzt, wenn Studierende sich gemeinsam mit dem Material auseinandergesetzt haben. Es zeigen sich erhebliche individuelle Unterschiede in der Nutzung. So nutzt z.B. S1 im gesamten Semesterverlauf jedes Material fast vollständig (zwischen 88% und 100%). S5 hingegen zeigt eine große Varianz der Nutzung (zwischen 0% und 100%) mit abnehmender Tendenz in der zweiten Semesterhälfte, wobei bis zum Semesterende immer wieder hohe Prozentanteile auftreten. Insgesamt nutzen die Studierenden das Vorbereitungsmaterial umfangreich (Abb. 1) und ohne erkennbare Unterschiede zwischen den Versionen A und B.

Betrachtet man nur die Nutzungen vor der jeweiligen Präsenzveranstaltung, wurden in 57% der insgesamt 200 Fälle mindestens 75 % des Materials bearbeitet. Ein Grund für den deutlich geringeren Anteil kann darin liegen, dass die Studierenden die zugehörige Präsenzsitzung nicht besucht und sich daher auch nicht darauf vorbereitet haben. Der höhere gesamte Nutzungsgrad (Abb. 1) zeigt, dass die Studierenden Materialien auch nach der zugehörigen Präsenzsitzung noch teils intensiv genutzt haben, z.B. bei der Bearbeitung von Hausübungen, zur Vorbereitung auf nachfolgende Sitzungen oder auf die Klausur. Die im flipped classroom Konzept intendierte Nutzung zur Vorbereitung der Präsenzsitzungen sollte allerdings noch intensiviert werden.

Mit Hilfe der Log-Daten, können für jede/n Studierende/n detaillierte Bearbeitungsverläufe für jedes Material erstellt werden. Darin ist zu erkennen, zu welchen Zeitpunkten, wie lange und in welcher Reihenfolge die/der Studierende die einzelnen Seiten des Vorbereitungsmaterials aufgerufen hat und welche Interaktionen auf diesen Seiten verzeichnet wurden. Zu den Interaktionen gehören bei Version A insb. das Starten und Stoppen der Videos, bei Version B z.B. die Nutzung der Ton- und Textbuttons. In den Bearbeitungsverläufen zeigt sich zusätzlich zu den oben berichteten Unterschieden auch eine große inter- und intraindividuelle Varianz hinsichtlich der Dauer und Häufigkeit der Auseinandersetzung mit einzelnen Seiten sowie der Nutzung der Interaktionsmöglichkeiten.

Durch den wechselnden Einsatz der Versionen A und B konnten die Studierenden diese direkt miteinander vergleichen. Hierbei äußern sie individuell unterschiedliche Präferenzen, z. B. „*Am liebsten mit den Videos, weil es einfach schneller geht. Ja, aber ich glaube am besten ist es mit dem Text*“ (S1) bzw. „*dass man halt Text, Sprache und Bild hat, dass man es halt anklicken kann […], weil ich habe viel mehr behalten und kann am Ende dann auch die Aufgaben schneller bearbeiten*“ (S3). Diese und weitere Aussagen lassen darauf schließen, dass die Akzeptanz gegenüber beiden Versionen (A & B) der Vorbereitungsmaterialien vorhanden ist, jedoch die Vorlieben der Bearbeitung individuell unterschiedlich sind.

Weiterführende Analysen gelten insbesondere den Zusammenhängen zwischen dem Nutzungsverhalten und den in den Interviews retrospektiv geäußerten Einschätzungen der Studierenden.

---

[2] Für zwei der 27 Vorbereitungsmaterialien liegen aus technischen Gründen keine Log-Daten vor.

Literatur

CAST (2018). Universal design for learning guidelines version 2.2 [graphic organizer]. Wakefield, MA: Author. Abgerufen am 25. September 2023, von https://udlguidelines.cast.org/

Dickmann, M., Geller, G., Härtig, H. & Theyßen, H. (eingereicht). Theoriebasiert und praxisorientiert: Vorstellung eines Physik-Lehramtsstudiengangs für die Sekundarstufe I

Hanft, A. (2015). Heterogene Studierende – homogene Studienstrukturen. In W. B. Gierke, A Hanft & O. Zawacki-Richter (Hrsg.), Herausforderung Heterogenität beim Übergang in die Hochschule, 13-28. utb.

Haase, S., Sommerer, M., Kirstein, J., & Nordmeier, V. (2021). tet. folio: Eine Online-Plattform für die Produktion innovativer Lehr-Lern-Angebote. PhyDid B - Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung. Abgerufen am 06. Mai 2024, von https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1117

Holländer, M., Böhm, K., & Melle, I. (2022). Systematische Integration des Universal Design for Learning in den Unterricht. https://doi.org/10.17877/DE290R-22659

HRK & KMK (2015). Lehrerbildung für eine Schule der Vielfalt - Gemeinsame Empfehlung von Hochschulrektoren und Kultusministerkonferenz. Abgerufen am 28 Juni 2020, von https://www.hrk.de/uploads/media/HRK/KMKEmpfehlung_Inklusion_ in_LB_032015.pdf

McNally, B., Chipperfield, J., Dorsett, P., Del Fabbro, L., Frommolt, V., Goetz, S. et al. (2017). Flipped classroom experiences: student preferences and flip strategy in a higher education context. Higher Education, 73(2), 281-298. https://doi.org/10.1007/s10734-016-0014-z

Leonie Willmes[1]
Helena van Vorst[1]
Mathias Ropohl[1]

[1]Universität Duisburg-Essen

Gelingensbedingungen für inklusives forschendes Lernen – Eine Videostudie –

Theoretischer Hintergrund

Für den naturwissenschaftlichen Unterricht ist das forschende Lernen ein schüler:innenzentrierter Unterrichtsansatz, um der Forderung nach einem inklusiven Unterricht zu begegnen. Dieser Ansatz eignet sich durch die Möglichkeit zur Variation von Strukturierung und Offenheit gleichzeitig zur Individualisierung der Lernprozesse (u. a. Blanchard, 2010; Satilimis, 2019). Beim forschenden Lernen durchlaufen die Lernenden unterschiedliche Aktivitäten, wie das Aufstellen von Hypothesen oder das Planen und Durchführen von Untersuchungen (Rönnebeck et al., 2016). Diese können unterschiedlich stark angeleitet und strukturiert werden, je nachdem, wie selbstständig die Schüler:innen die Aktivitäten durchlaufen (Vorholzer & von Aufschnaiter, 2019). Dabei zeigen Rizzo et al. (2016), dass für Schüler:innen mit Förderbedarf das strukturierte forschende Lernen geeigneter ist als offene Formen des forschenden Lernens. Inwiefern hierbei die individuellen Lernvoraussetzungen der Lernenden und die Gestaltung der Lerngelegenheit zusammenhängend berücksichtigt werden müssen, wurde bisher jedoch wenig untersucht (Menthe & Hoffmann, 2015). Ein systematisches Literaturreview bestätigt die Eignung strukturierten forschenden Lernens und synthetisiert spezifische, oft jedoch noch oberflächliche, bspw. das Classroom Management betreffende, und nicht empirisch validierte Kriterien (z. B. Visualisierungen, grafische Organizer, Gedächtnishilfen) für verschiedene Förderbedarfe. Insbesondere Visualisierungen in Form von Bildern, Icons und Schritt-für-Schritt Videos werden als Gestaltungselemente für viele der untersuchten Förderbedarfe beschrieben und gelten als vielversprechend.

Ziel und Forschungsfrage

Ziel des Vorhabens ist vor diesem Hintergrund die Entwicklung und praktische Evaluation von Lerngelegenheiten des strukturierten forschenden Lernens für den inklusiven Chemieunterricht. Die Lerngelegenheiten beinhalten die Nutzung von aus der Theorie abgeleiteten Visualisierungen in Form von Fotos und Videos.
Es wird die Forschungsfrage beantwortet, wie Lernende mit und ohne Förderbedarf in Lerngelegenheiten arbeiten, die mit Visualisierungen angereichert werden, um allen Lernenden ein strukturiertes forschendes Lernen zu ermöglichen.

Methode und Studiendesign

Die Datenerhebung erfolgte von April bis Juli 2024 in neun Klassen der siebten und neunten Jahrgangsstufe an Förder- und Gesamtschulen in NRW. Insgesamt nahmen $N = 155$ Lernende teil (Alter $MD = 14{,}04$; $SD = 1{,}05$), von denen $n = 94$ einen ausgewiesenen Förderbedarf in den Förderbereichen *emotionale und soziale Entwicklung* oder *Lernen* hatten. Die Lernenden arbeiteten in einer Lerngelegenheit des strukturierten forschenden Lernens in insgesamt vier Unterrichtsstunden in Kleingruppen und wurden in drei Stunden bei der Bearbeitung videografiert. Die Lerngelegenheit befasst sich mit dem Thema *Wasser und seine*

Eigenschaften und ist damit im Kernlehrplan der Sekundarstufe I verankert (Ministerium für Schule und Weiterbildung NRW, 2013). Die erste Stunde (Stunde A) dient als Dummy-Stunde, um die Schüler:innen an das strukturierte forschende Lernen und die Lernumgebung heranzuführen. Die zweite Stunde (Stunde B) ist ohne besondere Visualisierungen gestaltet. Die Stunden drei und vier (Stunde C und D) beinhalten Visualisierungen zur Unterstützung der Bearbeitung des Lernmaterials. In Stunde drei wurden die Visualisierungen in Form von Fotos umgesetzt, wohingegen in Stunde vier ein visualisierendes Schritt-für-Schritt Video eingebettet ist. Es konnten insgesamt N = 140 Videos von 45 Gruppen à 2-3 Lernende aufgenommen, kodiert und analysiert werden. Ergänzt wurden die Videos zu Beginn der ersten Stunde durch Fragebögen zum Interesse am naturwissenschaftlichen Unterricht (α = .78), zum Interesse am Experimentieren (α = .73) und zum Vorwissen (α = .33). Am Ende der letzten Unterrichtsstunde wurde ein Fragebogen zur Bewertung der Unterrichtsstunden (α = .82) von den Lernenden bearbeitet (Abbildung 1).

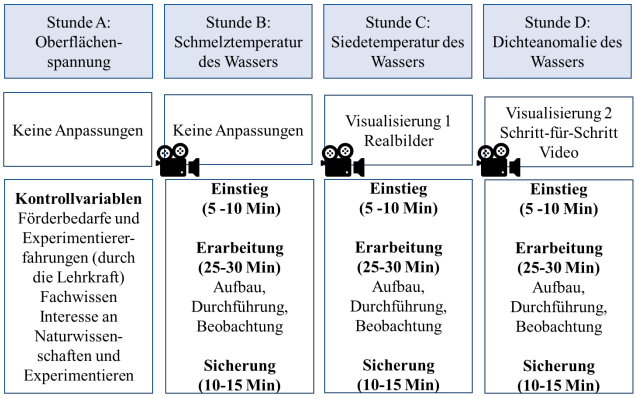


Abbildung 1. Design der Videostudie.

Ergebnisse

Momentan findet die Auswertung der Videos und Fragebögen statt, sodass erste vorläufige Ergebnisse zur Beantwortung der Forschungsfrage berichtet werden können. Eine erste Auswertung der Fragebögen zeigt eine signifikant bessere Bewertung der Unterrichtsstunden C und D mit Visualisierungen als Stunde B ohne Visualisierung (Abbildung 2).

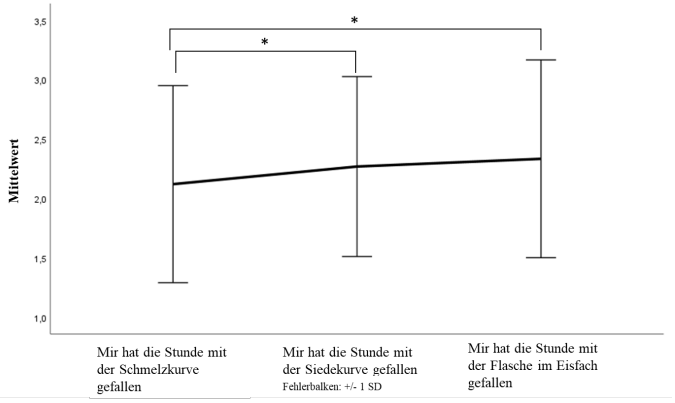


Abbildung 2. T-Test zur Bewertung der Unterrichtsstunden.

Zudem bewerteten die Lernenden die Visualisierungen (bspw. das Video in Stunde D) als optisch ansprechend (*MD* = 2,03, *SD* = .92) und eingesetzte Visualisierungen (bspw. das Video in Stunde D) halfen den Lernenden nach eigener Aussage besser zu verstehen, was zu tun ist (*MD* = 2,18, *SD* = .86).
Bei einer ersten deskriptiven Videoauswertung zeigt sich, dass die Gruppen überwiegend mit den Visualisierungen (insbesondere mit dem Video in Stunde D) arbeiten. In der Videoanalyse fällt auf, dass vor allem Lernende mit Förderbedarf stark angeleitete Unterstützung beim Experimentieren und beim Lesen benötigen, um die Aufgaben und Texte zu verstehen. Es ist erkennbar, dass sich die Schüler:innen innerhalb der Gruppe unterstützen und gegenseitig Hilfe anbieten, wenn bspw. Fachbegriffe oder die Funktionsweise eines Materials nicht verstanden wurden. Wichtige Arbeitsschritte (bspw. der Umgang mit dem analogen Thermometer) müssen vorab geübt werden.
Die Gruppen zeigen Schwierigkeiten, den vollständigen Prozess des forschenden Lernens zu durchlaufen und müssen an die jeweils nachfolgenden Schritte des forschenden Lernens erinnert werden (v. a. Vermutung notieren und Schlussfolgerungen bilden). Dies könnte auch auf die durch die Lehrkräfte in nahezu allen Klassen berichtete geringfügige Erfahrung im forschenden Lernen zurückzuführen sein.
In einem nächsten Schritt werden die Videos mit Hilfe eines Kategoriensystems hinsichtlich der Bearbeitungsverläufe der Gruppen analysiert. Das Kategoriensystem wurde deduktiv aus der Literatur abgeleitet (Pedaste et al., 2015; Rönnebeck et al., 2016) sowie induktiv ergänzt. Es bildet die Phasen des forschenden Lernens ab, um spezifische Bearbeitungsverläufe der Gruppen und auftretende Barrieren identifizieren zu können.

Diskussion und Limitationen

Bisherige Untersuchungen zeigen im Allgemeinen, dass strukturiertes forschendes Lernen für Schüler:innen mit Förderbedarf und kaum Experimentiererfahrung umgesetzt werden kann (z. B. Courtade et al., 2007; Kieferle & Markic, 2024; Rizzo et al., 2016; Therrien et al., 2014). Es bleibt jedoch unklar, welche spezifischen Maßnahmen Gelingensbedingungen für diese Settings darstellen. Die ersten Befunde des vorliegenden Vorhabens deuten nach aktuellem Analysestand darauf hin, dass Visualisierungen Lernende mit Förderbedarf bei der Umsetzung forschenden Lernens unterstützen. Dabei werden insbesondere diejenigen Visualisierungen als hilfreich bewertet, die das Vorgehen kleinschrittig in einem Video darstellen. Zusätzlich lassen die Videos erkennen, dass wichtige methodische Grundlagen vorab eingeführt und geübt werden sollten, um ein strukturierteres Vorgehen beim eigenständigen Experimentieren zu ermöglichen. Durch die systematische Variation einzelner Visualisierungen können präzise Aussagen über die Wirkweise dieser Maßnahmen getroffen werden. Dadurch stellt diese Untersuchung eine Erweiterung und Ausschärfung bisheriger Untersuchungen dar, die oft mehrere Maßnahmen gleichzeitig umsetzen.
Die Erhebung unterliegt Limitationen, die sich aus der Anlage der Untersuchung ergeben. So bildet die Lerngelegenheit nur einen thematischen Aspekt ab. Außerdem wurden lediglich Visualisierungen als Unterstützungsmöglichkeit genutzt. Denkbar wäre die Untersuchung weiterer Strukturierungsmöglichkeiten. Zudem wurden nur Schüler:innen der siebten und neunten Jahrgangsstufe betrachtet. Nicht zuletzt war die Untersuchung auf Schüler:innen der Förderschwerpunkte *Lernen* und *emotionale und soziale Entwicklung* beschränkt. Damit erlauben die Ergebnisse keine Aussagen über die Wirksamkeit von Visualisierungen auf Lernende mit anderen Förderbedarfen.

Literatur

Blanchard, M. R., Southerland, S. A., Osborne, J. W., Sampson, V. D., Annetta, L. A. & Granger, E. M. (2010). Is inquiry possible in light of accountability? A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction. Science Education, 94(4), 577–616.

Courtade, G., Spooner, F. & Browder, D. (2007). Review of studies with students with significant cognitive disabilities which link to science standards. Research & Practice for Persons with Severe Disabilities, 32(1), 43–49.

Kieferle, S. & Markic, S. (2024). Aktive Teilhabe und Forschendes Lernen ermöglichen – inklusive Lernumgebungen im SchülerInnenlabor der Sekundarstufe I. CHEMKON, 31(1), 1–42.

Menthe, J. & Hoffmann, T. (2015). Inklusiver Chemieunterricht: Chance und Herausforderung. In J. Riegert (Hrsg.), Inklusiver Fachunterricht in der Sekundarstufe (S. 131–140). Stuttgart: Kohlhammer.

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW (2013). Kernlehrplan für die Gesamtschule – Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen.

Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., Jong, T. de, van Riesen, S. A., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. Educational Research Review, 14, 47–61. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003

Rönnebeck, S., Bernholt, S. & Ropohl, M. (2016). Searching for a common ground – A literature review of empirical research on scientific inquiry activities. Studies in Science Education, 52(2), 161–197.

Rizzo, K. & Taylor, J. (2016). Effects of inquiry-based instruction on science achievement for students with disabilities: An analysis of literature. Science Education, 19(1), 1–16.

Satilimis, A. (2019). Inquiry-based learning and heterogeneity. In H. A. Mieg (Hrsg.), Inquiry-based learning – Undergraduate research (S. 383–391). Cham: Springer Open.

Spooner, F., Knight, V., Browder, D., Jimenez, B. A. & DiBiase, W. (2011). Evaluating evidence-based practices in teaching science content to students with severe developmental disabilities. Research and Practice for Persons with Severe Disabilities, 36(1/2), 62–75.

Therrien, W., Taylor, J., Watt, S. & Kaldenberg, E. (2014). Science instruction for students with emotional behavioural disorders. Remedial and Special Education, 35(1), 15–27.

Vorholzer, A. & von Aufschnaiter, C. (2019). Guidance in inquiry-based instruction – An attempt to disentangle a manifold construct. International Journal of Science Education, 41(11), 1562–1577.

Sophie Baron[1]
Oliver Tepner[1]

[1]Universität Regensburg

Entwicklung eines Testinstruments zur Messung adaptiver Erklärkompetenz

Theoretischer Hintergrund

Das Erklären von Fachinhalten ist nicht nur zentraler Bestandteil des Unterrichtens (Gage, 1968), sondern auch des Professionswissens von Lehrkräften (Baumert & Kunter, 2013). Gutes Erklären führt dazu, dass Lernende Fachinhalte verstehen (Leisen, 2007) und deren Lernerfolg steigt (Evans & Guymon, 1978). Pointierend lässt sich sagen: „Providing explanations is the bread and butter of the science teacher's existence." (Osborne & Patterson, 2011, S. 632)

Eine unterrichtliche Erklärung bezeichnet den kommunikativen Prozess des Aufbereitens und Vermittelns von Fachinhalten für bestimmte Adressat:innen, mit dem Ziel, dass diese die Inhalte verstehen (Treagust & Harrison, 2002).

Die Fähigkeit, Erklärensprozesse auf individuelle Voraussetzungen anzupassen, wird als adaptive Erklärkompetenz bezeichnet und ist dabei sowohl in der unterrichtlichen Handlung selbst als auch bereits bei ihrer Planung möglich (Beck, 2008). Adaptive Erklärkompetenz kann durch Reflexion von Unterricht gefördert werden (Anderson & Taner, 2023), wobei unter Reflexion das systematische und kriteriengeleitete Nachdenken zur Ableitung begründeter Konsequenzen für das weitere Handeln verstanden wird (Wyss, 2013).

Eine bewährte Methode zur Bewertung von Erklärkompetenz sind Performanztests wie videografierte Experten-Novizen-Dialoge (Reimer & Tepner, eingereicht), die durch Prompts erweitert werden können, bei denen Adressat:innen der Erklärung Nicht-Verstehen vorgeben (Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015). Je adaptiver die Prompts sind, d.h., je besser sie in diesem Kontext an die zuvor stattgefundene Erklärung anknüpfen, desto höher ist der Lernzuwachs und die Elaborationsrate der Lernenden (Schwonke et al., 2004).

Eine weitere Methode zur handlungsnahen Messung von adaptiver Erklärkompetenz stellen (Video-)Vignettentests mit offenem und/oder geschlossenem Antwortformat dar. Beispielsweise entwickelten Guler und Celik (2016) einen Vignettentest im Paper-Pencil-Format zur Messung der Erklärkompetenz von Mathematiklehramtsstudierenden, einen Videovignettentest zur Messung adaptiver Lehrkompetenz konzipierte Schmitz (2023). Für das Fach Physik entwickelten Bartels et al. (2019) einen zweistufigen Videovignettentest zur Messung adaptiver Erklärkompetenz von angehenden Physiklehrkräften mit folgendem Aufbau: In der Videovignette erklärt eine Lehrkraft zunächst eine physikalische Situation, anschließend zeigen die Lernenden Unverständnis oder stellen eine Frage. Aus mehreren Antworten ist die zutreffendste auszuwählen und in einem zweiten Schritt zu begründen. Für das Fach Chemie stellt solch ein Testinstrument ein Desiderat dar, lediglich ein Testinstrument zur Messung des deklarativen Wissens bzgl. adaptiver Erklärkompetenz ist bereits vorhanden (Reimer & Tepner, eingereicht).

Ziele und Forschungsfragen

Trotz der hohen Relevanz des unterrichtlichen Erklärens im Schulalltag wird es in der universitären Lehramtsausbildung bisher nicht systematisch berücksichtigt. Ziele dieses

Forschungsprojekts sind daher die Förderung und Messung der adaptiven Erklärkompetenz von Chemielehramtsstudierenden sowie die Entwicklung eines entsprechenden Testinstruments.
Daraus ergeben sich folgende Forschungsfragen:

F 1: Wie unterscheidet sich der Lernzuwachs bzgl. adaptiver Erklärkompetenz in Abhängigkeit von konstanten und variablen Prompts …
  F 1a: … in der instruktionalen Erklärung in der Planung?
  F 1b: … in der instruktionalen Erklärung in der Handlung?
  F 1c: … bei der Beantwortung von Schülerfragen in der Planung?
  F 1d: … bei der Beantwortung von Schülerfragen in der Handlung?

F 2: Lässt sich die adaptive Erklärkompetenz mithilfe des entwickelten Messinstruments reliabel und valide messen?

Studiendesign und Methode

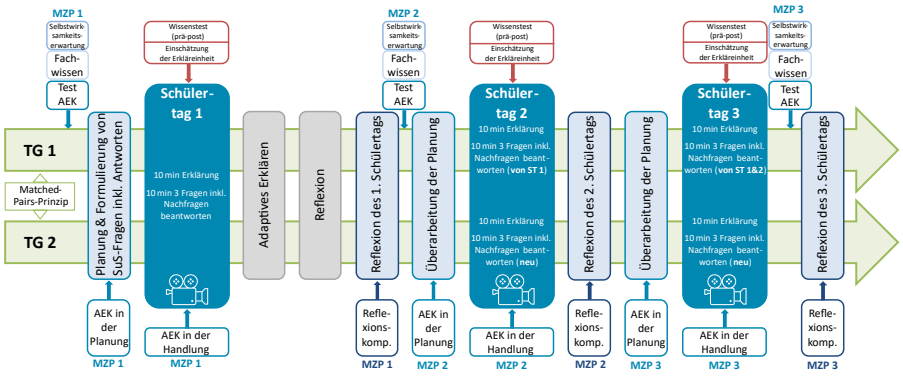


Abbildung 1: Studiendesign und Methode

Die Teilnehmenden des Seminars werden zunächst nach dem Matched-Pairs-Prinzip in zwei Treatmentgruppen aufgeteilt. Zu Beginn des Semesters planen sie eine ca. zehnminütige instruktionale Erklärung zu einem vorgegebenen, lehrplanrelevanten Thema des Bereichs Protolysereaktionen (Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung [ISB], 2024), außerdem formulieren sie, um sich bestmöglich auf eine adaptive Handlung vorbereiten zu können, zwölf mögliche Fragen, die Schüler:innen zu dieser Erklärung stellen könnten, inklusive kurzer Antworten. Am folgenden ersten Schülertag halten die Studierenden beider Treatmentgruppen ihre instruktionale Erklärung, anschließend stellen die Schüler:innen drei vom Forschungsteam ausgewählte Fragen inklusive je einer weiteren, auf die in der Planung formulierte Antwort passende Nachfrage, die die Studierenden adaptiv beantworten müssen. Nach Seminarsitzungen mit Theorie- und Praxisanteil mit fachdidaktischem Input zu adaptivem Erklären und Reflektieren müssen die Teilnehmenden ihre videografierte Erkläreinheit reflektieren und die Planung überarbeiten. Dieser gesamte Zyklus wird zwei Mal wiederholt. Zur Beantwortung der Forschungsfragen F 1c und F 1d werden der ersten Treatmentgruppe an jedem der drei Schülertage dieselben Fragen und Nachfragen gestellt, während die zweite Treatmentgruppe an jedem Schülertag neue Fragen erhält. Neben den schriftlichen Planungen sowie den Unterrichtsvideografien, die mithilfe eines Kodiermanuals

hinsichtlich adaptiver Erklärkompetenz bewertet werden, dienen die Reflexionskompetenz, ein Fragebogen zur Selbstwirksamkeitserwartung (Meinhardt et al., 2014) und ein Fachwissenstest zum Thema Protolysereaktionen als Kontrollvariablen. Zur Erfassung der adaptiven Erklärkompetenz wurde das im Folgenden dargestellte Testinstrument neu entwickelt.

Ziel war die Entwicklung eines Testinstruments, das die adaptive Erklärkompetenz im Kontext der Säure-Base-Chemie der Studierenden reliabel und valide in einem mit dem Studiendesign vergleichbaren Setting misst (vgl. Forschungsfrage F 2). Hierfür wurden vier Aufgaben mit jeweils zwei Teilaufgaben im offenen Antwortformat (erwarteter Umfang pro Teilaufgabe: ca. 3 - 5 Sätze) entwickelt, wobei in Teilaufgabe a), vergleichbar mit der instruktionalen Erklärung an einem Schülertag, ein Fachbegriff bzw. ein Phänomen erklärt werden muss und in Teilaufgabe b), vergleichbar mit den Nachfragen der Schüler:innen, eine Frage adaptiv beantwortet werden muss, die Lernende anschließend an die erste Erklärung stellen könnten und entweder Unverständnis oder typische Fehlvorstellungen beinhaltet (Barke, 2006; Schmidt, 1992). Beispielsweise sollen in einer Testaufgabe unter a) zunächst die Begriffe pH-Wert und pH-Skala erklärt werden, während unter b) auf die Nachfrage einer Schülerin, ob ein pH-Wert einer Lösung auch kleiner als 0 oder größer als 14 sein kann, reagiert werden soll. Um sicherzustellen, dass die Aufgaben in der vorgegebenen Reihenfolge beantwortet werden und nicht zurückgesprungen werden kann, wird der Test digital durchgeführt.

Auswertung der Testantworten

Die Auswertung der Testantworten findet mithilfe eines Kodiermanuals statt, das für eine möglichst hohe Validität bis auf wenige Items in der gleichen Form für die Bewertung der adaptiven Erkärkompetenz in der Handlung, d.h. zur Kodierung der Unterrichtsvideografien, verwendet wird. Insgesamt umfasst das Kodiermanual 22 Items, die deduktiv abgeleitet und um einzelne Items induktiv im Rahmen der im Sommersemester 2024 stattgefundenen Pilotierungsstudie erweitert wurden. Insgesamt werden die sechs Kategorien Strukturiertheit (fünf Items), Adressatenorientierung (drei Items), Visualisierungen (ein Item), Fach- und Alltagssprache (vier Items), Fachlichkeit (fünf Items) sowie Adaptivität (4 Items) abgebildet. Jede Antwort der acht Teilaufgaben (vier Aufgaben mit jeweils zwei Teilaufgaben, siehe „Methode“) wird in allen Items mit einer Ratingskala von 0 - 3 bzw. 0 - 2 (bei zwei Items 0 - 1) geratet, sodass für jede Antwort eine Aussage über das Gesamtkonstrukt sowie über alle einzelnen Teilkonstrukte der adaptiven Erklärkompetenz getroffen werden kann.

Ausblick

Sobald die Kodierung aller im Rahmen der Pilotierung erhobenen Daten abgeschlossen ist, wird sowohl eine Reliabilitätsanalyse als auch eine externe Validierung durch Vergleich der Test-Daten mit den erhobenen Daten der Planungen und der Videografien der Erkläreinheiten stattfinden. Anschließend wird das Kodiermanual überarbeitet, damit es im Zusammenhang mit dem Testinstrument in der Hauptstudie, deren Datenerhebung ab dem Wintersemester 2024/25 angesetzt ist, zur Beantwortung der Forschungsfragen F 1 (a-d) und F 2 eingesetzt werden kann. Des Weiteren ist eine qualitative Interviewstudie mit Teilnehmenden des Seminars zur weiteren Validierung des Testinstruments geplant.

Literatur

Anderson, J. & Taner, G. (2023). Building the expert teacher prototype: A metasummary of teacher expertise studies in primary and secondary education. *Educational Research Review*, *38*, 100485. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100485

Barke, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik: Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. *Springer-Lehrbuch*. Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-29460-0

Bartels, H., Geelan, D. & Kulgemeyer, C. (2019). Developing an approach to the performance-oriented testing of science teachers' action-related competencies. *International Journal of Science Education*, *41*(14), 2024–2048. https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1658241

Baumert, J. & Kunter, M. (2013). Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. In I. Gogolin (Hrsg.), *Stichwort* (1st ed., S. 277–337). Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH. https://doi.org/10.1007/978-3-658-00908-3_13

Beck, E. (Hrsg.). (2008). *Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie: Bd. 63*. *Adaptive Lehrkompetenz: Analyse und Struktur, Veränderbarkeit und Wirkung handlungssteuernden Lehrerwissens*. Waxmann. http://bvbr.bib-bvb.de:8991/F?func=service&doc_library=BVB01&doc_number=016280749&line_number=0001&func_code=DB_RECORDS&service_type=MEDIA

Evans, W. E. & Guymon, R. E. (1978). *Clarity of Explanation: A Powerful Indicator of Teacher Effectiveness*. https://eric.ed.gov/?id=ed151321

Gage, N. (1968). The Microcriterion of Effectiveness in Explaining. In N. Gage (Hrsg.), *Explorations of the teacher's effectiveness in explaining: Technical Report No. 4* (S. 1–8). Center for Research and Development in Teaching.

Guler, M. & Celik, D. (2016). A Research on Future Mathematics Teachers' Instructional Explanations: The case of Algebra. *Educational Research and Reviews*, *11*(16), 1500–1508. https://eric.ed.gov/?id=ej1111478

Kulgemeyer, C. & Tomczyszyn, E. (2015). Physik erklären – Messung der Erklärensfähigkeit angehender Physiklehrkräfte in einer simulierten Unterrichtssituation. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *21*(1), 111–126. https://doi.org/10.1007/s40573-015-0029-5

Leisen, J. (2007). Das Erklaren im Unterricht. *Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*(60(8), 459–461.

Meinhardt, C., Rabe, T. & Krey, O. (2014). Quantitative Validierung eines Testinstruments zu Selbstwirksamkeits- erwartungen in physikdidaktischen Handlungsfeldern – Erste Ergebnisse. In S. Bernholt (Hrsg.), *Heterogenität und Diversität–Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Bremen* (S. 283–285).

Osborne, J. F. & Patterson, A. (2011). Scientific argument and explanation: A necessary distinction? *Science Education*, *95*(4), 627–638. https://doi.org/10.1002/sce.20438

Reimer, S. & Tepner, O. (eingereicht). Förderung der adaptiven Erklärkompetenz angehender Chemielehrkräfte durch Reflexion videografierter adaptiver Erklärhandlungen.

Schmidt, H.-J. (1992). *Harte Nüsse im Chemieunterricht. Empirische Untersuchungen über Schülervorstellungen*. Verlag Moritz Diesterweg, Verlag Sauerländer.

Schmitz, L. (2023). Indizes zur Messung adaptiver Lehrkompetenz: eine Überprüfung ihrer Güte und Erkenntnisse einer Längsschnittstudie. Vorab-Onlinepublikation. https://doi.org/10.11576/DIMAWE-6445 (125-146 Seiten / Die Materialwerkstatt. Zeitschrift für Konzepte und Arbeitsmaterialien für Lehrer*innenbildung und Unterricht., Bd. 5 Nr. 3 (2023): Digitale Lehr-Lern-Bausteine zu inklusiver Didaktik, adaptiver Lehrkompetenz und Sprachbildung. Ein Blended-Learning-Konzept für die Lehrkräftebildung als Open Educational Resource).

Schwonke, R., Hauser, S., Nückles, M. & Renkl, A. (2004). *Fostering self-guided learning through adaptive prompts in a cognitive tool for the composition of learning protocols*. https://www.iwm-tuebingen.de/workshops/sim2004/pdf_files/schwonke_et_al.pdf

Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (Hrsg.). (2024). *LehrplanPLUS*. https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/gymnasium/10/chemie/ch-ntg

Treagust, D. & Harrison, A. (2002). The Genesis of Effective Scientific Explanations for the Classroom. In *Researching Teaching* (S. 36–51). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203487365-5

Wyss, C. (2013). *Unterricht und Reflexion: Eine mehrperspektivische Untersuchung der Unterrichts- und Reflexionskompetenz von Lehrkräften* (1. Aufl.). Waxmann Verlag GmbH.

Ben Osinski[1]
Lion Cornelius Glatz[1]
Roger Erb[1]

[1]Goethe-Universität Frankfurt

Eine Selbstlerneinheit für Studierende zu einfachen Stromkreisen

Das Übertragen von Schaltskizzen einfacher Stromkreise auf einen realen Aufbau stellt nicht nur Schüler*innen, sondern auch Studierende des Lehramts Physik besonders in der Anfangsphase ihres Studiums vor Herausforderungen. Das wurde während der ersten Durchführung einer Selbstlerneinheit im Blended Learning-Format für Studierende des 2. Semesters in der Vorlesung „Elektrizität und Magnetismus“ an der Goethe-Universität Frankfurt deutlich. Gerade im Hinblick auf eine fundierte Kompetenzförderung im Bereich Experimentieren ist eine genaue Untersuchung zum Verständnis dieser Konkretisierungsfähigkeit von Bedeutung.

Projekteinblick

Die Selbstlerneinheit ist als ein 3-wöchiger Projektabschnitt im Rahmen der Vorlesung „Elektrizität und Magnetismus“ geplant und richtet sich an Lehramtsstudierende der Haupt-, Real- und Förderschulen. Das Ziel ist die Entwicklung einer Schaltung, die in einem stummen H5P[2]-Erklärvideo interaktiv verwendet werden soll, um eine Schülervorstellung aufzugreifen und das physikalische Phänomen fachlich korrekt zu erklären. Begleitend dazu wird eine Erhebung zum Wissenstand sowie der Motivation der Studierenden durchgeführt. Der Projektabschnitt ersetzt dabei eine Vorlesungssitzung sowie drei klassische Übungstermine, in denen die Studierenden Übungsblätter zuhause bearbeiten, um sie anschließend in der Übung vorzurechnen.

Die Studierenden absolvierten dazu zunächst einen Pre-Test, in dem ihnen Fragen zu Schaltplänen gestellt werden, die fünf gängige Schülervorstellungen mit jeweils vier Items aufgreifen. Anschließend bekamen die Studierenden Zugriff zum Buchkapitel „Verzweigte Stromkreise“ (Erb, 2022) um sich selbstständig vorzubereiten. In der ersten Präsenzsitzung des Projekts vertieften die Studierenden in Kleingruppen die Inhalte des Buchkapitels mit konkreten Arbeitsaufträgen in iCircuit[3]. Die Anwendung wurde dann zur Planung von Schaltplänen genutzt, welche zugeteilte Schülervorstellungen aufgreifen sollten. In der Woche bis zur darauffolgenden Präsenzsitzung erhielten die Studierenden zusätzlich didaktisches Material, um sich Wissen zu Schülervorstellungen aneignen zu können. In der 2. Sitzung sollten schließlich die geplanten Schaltpläne in reale Schaltungen umgesetzt werden. Die Studierenden konnten dabei auf eine breite Materialvielfalt zurückgreifen. Abschließend videographierten die Studierenden Sequenzen aus ihren Schaltungen, die sie zur weiteren Verarbeitung auf Lumi[4] hochluden. Die Sequenzen konnten dann im Browser geschnitten, zu H5P-Erklärvideos weiterverarbeitet sowie didaktisch aufbereitet werden. In der letzten Präsenzsitzung stellten die Studierenden ihre interaktiven Videos im Plenum vor und diskutierten diese. Dabei sollte neben den verschiedenen Schülervorstellungen auch auf die unterschiedlichen Materialien

[2] Open-Source-Tool, mit dem interaktive Lerninhalte direkt in Videos eingebettet werden können.
[3] Simulations-App, mit der Schaltpläne in Echtzeit entworfen und getestet werden können.
[4] Browserbasierte Plattform, mit der Lerninhalte im H5P-Format erstellt und bearbeitet werden können.

eingegangen werden. Der Projektabschnitt schloss mit einer Post-Erhebung zum Wissensstand sowie einem generellen Feedback zum Projektabschnitt ab. In diesem Feedback wurde auch die Motivation der Studierenden erhoben. Zuletzt füllten sie drei Wochen nach dem Projektabschnitt erneut die Feedbackumfrage aus; in der Zwischenzeit folgten sie den klassischen Übungen.

Methode

Um den Wissenszuwachs beurteilen zu können, wurde ein Test im Pre-Post-Design durchgeführt. Anhand von je 4 Items zu 5 Schülervorstellungen beantworteten Studierende Fragen zu Schaltplänen, welche neben dem Fachwissen auch gängige Schülervorstellungen testen (Groß et al., 2024). Dadurch wird nicht nur der Wissenszuwachs in Bezug auf reines Fachwissen erhoben, sondern zugleich auch, ob behandelte Schülervorstellungen beim Lösen von Aufgaben erkannt werden können.

1) *Batterie als Konstantstromquelle* spiegelt dabei die Vorstellung wider, dass die Batterie keine konstante Spannung, sondern eine konstante Stromstärke liefert. 2) *Sequenzielles Denken* ist eine häufige Vorstellung, bei der Personen den Stromkreis in Richtung des Stromes ablaufen und Änderungen nur auf Abschnitte, die in Stromrichtung noch durchflossen werden, eine Auswirkung haben. 3) *Lokales Denken* legt nahe, dass nur ein einzelner Punkt oder Abschnitt betrachtet und somit auf ein lokales Verständnis reduziert wird, anstatt den Stromkreis als Ganzes zu betrachten. Ein Beispiel wäre, dass sich der Strom an Verzweigungen immer gleichmäßig aufteilt. 4) *Parallelschaltung gleich Reihenschaltung* meint, dass die Unterschiede ignoriert werden und somit Pauschalannahmen wie die, dass der Gesamtwiderstand mit der Anzahl der Widerstände zunimmt, getroffen werden. 5) *Spannung als absolute Messgröße* besagt, dass Spannung als Größe unabhängig von einem Referenzpunkt betrachtet wird. Die Spannung wird also einem bestimmten Punkt lokal zugeordnet, anstatt die Differenz zweier Punkte zu berücksichtigen.

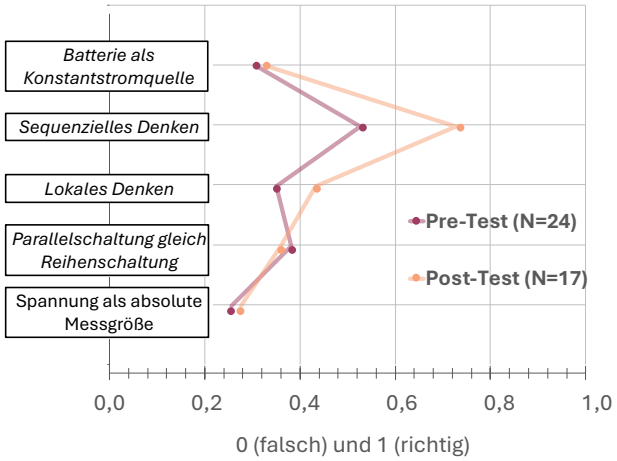


Abb. 1 Graphische Darstellung des Wissenszuwachs nach Schülervorstellungen.

Parallel zu der qualitativen Erhebung zum Wissenszuwachs wurden Studierende zu ihrer subjektiven Wahrnehmung der beiden Übungsformen, im Projekt vs. klassisch, befragt. Neben allgemeinen organisatorischen Fragen, der zur Verfügung stehenden Zeit, Materialbewertung und Umfang, wurden je vier Items aus drei Subskalen des Instrinsic Motivation Inventory Tests (Deci & Ryan, 2003) verwendet: Interest-Enjoyment, Perceived Competence und Effort-Importance.

Erkenntnis

Ein Vergleich der Mittelwerte im Pre- und Post-Test deutet auf einen Wissenszuwachs hin. Interessant wäre eine erneute quantitative Überprüfung dieses Unterschieds auf Signifikanz, wofür jedoch eine größere Stichprobe wichtig wäre.

Die Ergebnisse der Interest-Enjoyment sowie Effort-Importance-Skalen liegen im Mittel mit jeweils 3,46 und 3,24 leicht höher für das Projekt (n=17) als für die klassische Übung (n=12) mit 3,38 und 3,17. Die Ergebnisse sind dabei jedoch aufgrund der kleinen Stichprobe nicht signifikant. Ein ebenfalls nicht signifikanter, jedoch deutlicherer Unterschied ergibt sich in der Perceived Competence-Skala. Das Projekt schnitt dabei mit 3,07 ab, die klassische Übung mit 3,52 (Interpretation siehe unten).

In den Freitexten des Feedbackbogens werden als Stärken der Projektphase die Praxisnähe sowie der Praxis-Theorie-Transfer, aber auch die individuelle Vorgehensweise genannt. Verbesserungsbedarf gibt es laut Studierenden im Zeitmanagement, da das Projekt insgesamt als sehr zeitaufwendig empfunden wurde, sowie in der Vorstellung der Ergebnisse der anderen Gruppen als Vortrag im Plenum, wodurch der Lerneffekt als gering eingeschätzt wurde.

Als besonders interessant stellte sich im Verlauf des Projekts der Transfer von Schaltplänen in einen realen Aufbau heraus. Dieser Aspekt stellt auch für die Studierenden die größte Herausforderung dar. Darauf aufbauend soll in den kommenden Semestern diese Herausforderung genauer untersucht werden, um ein besseres Verständnis über die Konkretisierungsfähigkeit zu gewinnen.

Es zeigte sich, dass sich die Studierenden in der klassischen Übung kompetenter wahrgenommen haben als in der Projektphase. Es lässt sich vermuten, dass dies unter anderem auf den erhöhten Arbeitsaufwand sowie die Herausforderungen während der Projektphase zurückzuführen ist. Zudem sollte beachtet werden, dass es sich hierbei nicht um einen Kontrollgruppenvergleich handelt. Der höhere Wert der wahrgenommenen Kompetenz nach der klassischen Übung könnte also auch durch den allgemeinen Fortschritt der Studierenden in dieser Veranstaltung beeinflusst worden sein. Eine Untersuchung mit geeigneten Testinstrumenten ist notwendig, um die genauen Ursachen identifizieren und untersuchen zu können. Dies soll in den kommenden Semestern jedoch nicht das Hauptaugenmerk sein, sondern vielmehr soll der Fokus darauf liegen, die Fähigkeit der Studierenden zur Übertragung theoretischer Schaltpläne in die Praxis weiter zu untersuchen. Durch passende Interventionen sollen in den kommenden Semestern neben der Wissensaneignung auch die wahrgenommene Kompetenz gefördert werden, um Studierende nachhaltig in diesen Herausforderungen zu stärken.

Literatur

Deci, E. L. & Ryan, R. M. (2003). *Intrinsic Motivation Inventory*. Verfügbar unter: https://selfdetermination-theory.org/intrinsic-motivation-inventory/

Erb, R. (2022). *Elektrizität und Magnetismus* (Physik für Lehramtsstudierende). Berlin Boston: De Gruyter.

Groß, B., Burde, J.-P., Kelava, A., Glaesser, J., Ivanjek, L. & Flegr, S. (2024). Pilotierung eines dreistufigen Testinstruments zur Elektrizitätslehre. In H. Van Vorst (Hrsg.), *Frühe naturwissenschaftliche Bildung, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Hamburg 2023* (S. 1030–1033).

Anja Fietkau[1]
Elisabeth Hofer[1]
Simone Abels[1]

[1]Leuphana Universität Lüneburg

Barrieren der Planungsphase offenen Forschenden Lernens – ein Review

Ausgangslage & Ziel

Offenes Forschendes Lernen (oFL) eröffnet Schüler*innen individuelle Erfahrungs- und Lernwege u. a. im Bereich der Erkenntnisgewinnung (Abels, 2019; Liljeström et al., 2013) und bietet damit großes Potenzial für eine inklusive Gestaltung (NRC, 2000). Schüler*innen begegnen jedoch unterdessen Barrieren, die zur Förderung ihres Kompetenzerwerbs überwunden werden müssen (Baur, 2021; Lederman, 2007) und Unterstützung im Sinne eines Scaffoldings erfordern (Mumba et al., 2015). Unterstützungsmaterialien, wie gestufte Hilfen (z.B. Stiller & Wilde, 2021) oder Lösungsbeispiele (z.B. Emden & Baur, 2017), orientieren sich meist an vorgegebenen Wegen der Erkenntnisgewinnung und sind dadurch für das oFL nur bedingt geeignet. Besonders die Planungsphase mit ihren anspruchsvollen Aktivitäten (1. Forschungsfragen generieren, 2. Hypothesen formulieren, 3. Untersuchungen planen) ist für das Gelingen oFLs ausschlaggebend (2015) und gleichzeitig für Schüler*innen sehr herausfordernd (Baur, 2021; Chen & Klahr, 1999; Lederman, 2007). Der Einteilung von Krönig (2015) folgend, fehlt es für eine geeignete Unterstützung dieser Aktivitäten an der Berücksichtigung von im Lerngegenstand inhärenten Barrieren, was laut Abels und Witten (2023) wesentlich für die Planung von Fachunterricht im Sinne eines weiten Inklusionsverständnisses ist. Für die inklusive Gestaltung von Unterstützungsmaterialien für die Planungsphase oFLs bedeutet das, in einem ersten Schritt die Barrieren der genannten Aktivitäten zu identifizieren und zu analysieren, um darauf aufbauend inklusive Zugänge zu entwickeln. Folgende Forschungsfrage gilt es zu bearbeiten: *Welche Barrieren (An- und Herausforderungen) haben die Aktivitäten der Planungsphase beim offenen Forschenden Lernen?*

Methodische Umsetzung

Zur Bearbeitung der Forschungsfrage wurde ein zweiteiliges Scoping Review entsprechend dem Stufenprozess nach Tricco et al. (2018) und in Anlehnung an Arksey & O'Malley (2005) durchgeführt. Wie in Abb. 1 dargestellt, verläuft das Review in zwei Strängen, die in der Entwicklung eines Kategoriensystem im Rahmen einer Qualitativen Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2018) münden: Analyse der Anforderungen an die Aktivitäten der Planungsphase (Abb. 1, in lila) und Analyse der Herausforderungen (Abb. 1, in blau) bei den Aktivitäten der Planungsphase offenen Forschenden Lernens.

Identifizierung der Forschungsfrage und relevanter Literatur (Stufen 1 und 2)

Mit Fokus auf die Forschungsfrage wurde das übergreifende Ziel verfolgt, Literatur zu analysieren, die eine Kartierung der Barrieren in den Aktivitäten der Planungsphase oFLs ermöglicht. Hierzu wurde internationale Literatur (englisch und deutsch) in die Suche einbezogen, wobei auf Quellen aus akademischen Kontexten fokussiert wurde. Für die Anforderungen wurde nach einschlägigen, fundierten und qualitativ hochwertigen Lehrwerken wissenschaftlicher Verlage gesucht. Aufgrund der Diversität dieser Datenquellen und da Lehrwerke zum Teil nicht in wissenschaftlichen Datenbanken gelistet sind, wurde

Google Scholar für die Recherche herangezogen. Ziel war es, einen umfassenden theoretischen Überblick über die Anforderungen an die Aktivitäten der Planungsphase inklusive detaillierter, deskriptiver Beschreibungen dieser zu erhalten. Zur Analyse der Herausforderungen wurde in den Datenbanken FIS-Bildung und ERIC nach empirischen Studien in referierten wissenschaftlichen Zeitschriften gesucht.

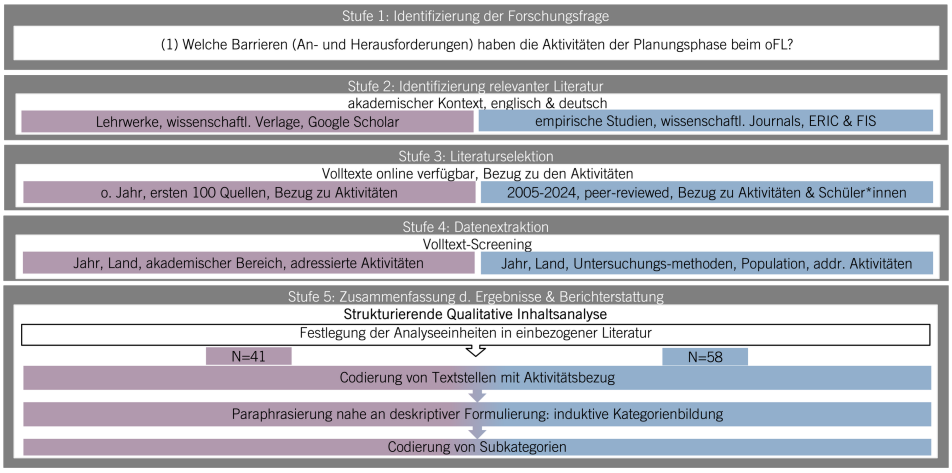


Abb. 1. Schritte des Scoping Reviews (Arksey & O'Malley, 2005; Tricco et al., 2018) mit skizziertem Verlauf der qualitativen Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2018).

Literaturselektion (Stufe 3)

In der dritten Stufe wurde die identifizierte und als Volltext verfügbare Literatur mittels Titel- und Abstract-Screening auf die inhaltliche Passung (Bezug zu den Aktivitäten der Planungsphase) geprüft. Für die deskriptive Literatur zu den Anforderungen wurden die ersten 100 Treffer pro Aktivität (unabhängig vom Erscheinungsjahr) berücksichtigt. Bei der Literatur zu den Herausforderungen wurden folgende Einschlusskriterien festgelegt: peer-reviewed, Veröffentlichung zwischen 2005 und 2024 und untersuchte Zielgruppe: Schüler*innen.

Datenextraktion (Stufe 4)

In einem Volltext-Screening wurden Informationen, wie das Erscheinungsjahr und -Land sowie die in der Literatur adressierten Aktivitäten entnommen. Wenn möglich, wurde zudem die Disziplin dokumentiert, in der die Anforderungen beschrieben wurden. Für die Literatur zu den Herausforderungen wurden Informationen zu den empirischen Studien (z.B. Untersuchungsmethoden, Stichprobe etc.) identifiziert.

Zusammenfassung der Ergebnisse & Berichterstattung (Stufe 5)

In der fünften Stufe wurden aus N=99 die Literaturquellen (N=41 für Anforderungen, N=58 für Herausforderungen) mittels strukturierender Qualitativer Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2018) ausgewertet. Dazu wurden zunächst alle Textstellen (Analyseeinheit = ganze Sätze) mit Bezug zu den drei Aktivitäten der Planungsphase als Hauptkategorien codiert und paraphrasiert. In einem zweiten Codierungsdurchlauf wurden die Subkategorien erarbeitet, die dann gemeinsam mit den Hauptkategorien in einem Kategoriensystem mündeten.

Ergebnisse & Ausblick

Abb. 2 zeigt einen Ausschnitt des im Rahmen des Scoping Reviews entwickelten Kategoriensystems zu den Anforderungen und Herausforderungen der Aktivitäten der Planungsphase oFLs. Diese erste Übersicht der Ergebnisse zeigt, dass sich für die einzelnen Aktivitäten sowohl spezifische (z.B. Relevanz, Begründung) als auch übergreifende Aspekte (z.B. Untersuchbarkeit, Struktur) identifizieren lassen (siehe Hervorhebung in Abb. 2).

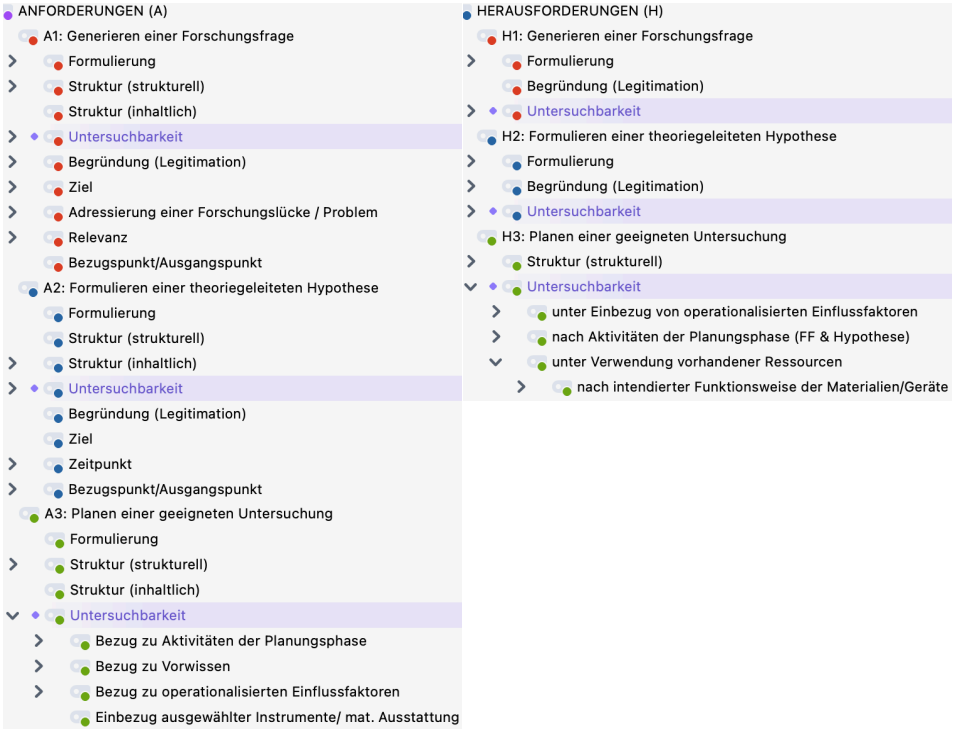


Abb. 2. Auszug aus dem entwickelten Kategoriensystem erstellt mit MAXQDA (Version 2024).

Die Überschneidungen in der Kategorienbildung liefern Hinweise darauf, dass aus den An- und Herausforderungen der Aktivitäten oFLs deren gegenstandsbezogene Barrieren abgeleitet werden können, was den nächsten Schritt im Projekt darstellt. Zuvor ist noch eine vollständige Zusammenfassung codierter Segmente in einem finalen Codierzyklus inkl. Intercoding-Verfahrens vorgesehen. Die identifizierten, gegenstandsbezogenen Barrieren sollen schließlich als Grundlage dienen, Kriterien zur inklusiven Gestaltung geeigneter Unterstützungsmaßnahmen abzuleiten.

Danksagung

Dieser Beitrag ist als Teil des von der Joachim Herz Stiftung geförderten Projekts „Auf die Planung kommt es an – Inklusiv gestaltetes Material für die Planungsphase beim offenen Forschenden Lernen“ (PlanFoL)“ entstanden.

Literatur

Abels, S. (2019). Potenzialorientierter Naturwissenschaftsunterricht. In M. Veber, R. Benölken, & M. Pfitzner (Hrsg.), Potenzialorientierte Förderung in den Fachdidaktiken. Waxmann, 61–78

Abels, S., & Koliander, B. (2017). Forschendes Lernen als Beispiel eines inklusiven Ansatzes für den Fachunterricht. In H. Svehla, B. Schörkhuber, & M. Rabl (Hrsg.), Vielfalt als Chance: Vom Kern der Sache. LIT, 53–60

Abels, S., & Witten, U. (2023). Was Naturwissenschaftsdidaktiken und Religionspädagogik voneinander über Inklusion lernen können. Zeitschrift für Inklusion, (2). https://www.inklusion-online.net/index.php/inklusion-online/article/view/716

Arksey, H., & O'Malley, L. (2005). Scoping studies: Towards a methodological framework. International Journal of Social Research Methodology, 8(1), 19–32

Baur, A. (2021). Errors made by 5th-, 6th-, and 9th-graders when planning and performing experiments: Results of video-based comparisons. Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB), 25, 45–63

Chen, Z., & Klahr, D. (1999). All Other Things Being Equal: Acquisition and Transfer of the Control of Variables Strategy. Child Development, 70(5), 1098–1120

Emden, M., & Baur, A. (2017). Effektive Lehrkräftebildung zum Experimentieren – Entwurf eines integrierten Wirkungs- und Gestaltungsmodells. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 23(1), 1–19

Hakkarainen, K., & Sintonen, M. (2002). The Interrogative Model of Inquiry and Computer-Supported Collaborative Learning. Science and Education, 11(1), 25–43

Krönig, F. K. (2015). Barrieren zwischen Freiheit und Faktizität. Eine phänomenologische und differenztheoretische Annäherung an einen inklusionspädagogischen Schlüsselbegriff. In I. Schell (Hrsg.), Herausforderung Inklusion. Theoriebildung und Praxis. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt, 40–50

Kuckartz, U. (2018). Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung (4. Auflage). Weinheim Basel: Beltz Juventa

Lederman, N. G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), Handbook of research on science education. Erlbaum, 831–879

Liljeström, A., Enkenberg, J., & Pöllänen, S. (2013). Making learning whole: An instructional approach for mediating the practices of authentic science inquiries. Cultural Studies of Science Education, 8(1), 51–86

Mumba, F., Banda, A., & Chabalengula, V. M. (2015). Chemistry Teachers' Perceived Benefits and Challenges of Inquiry-Based Instruction in Inclusive Chemistry Classrooms. Science Education International, 26(1), 180-194

NRC, (National Research Council). (2000). Inquiry and the National Science Education Standards. National Academies Press.

Stiller, C., & Wilde, M. (2021). Einfluss gestufter Lernhilfen als Unterstützungsmaßnahme beim Experimentieren auf den Lernerfolg im Biologieunterricht. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 24(3), 743–763

Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., Moher, D., Peters, M. D. J., Horsley, T., Weeks, L., Hempel, S., Akl, E. A., Chang, C., McGowan, J., Stewart, L., Hartling, L., Aldcroft, A., Wilson, M. G., Garritty, C., … Straus, S. E. (2018). PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation. Annals of Internal Medicine, 169(7), 467–473

Heiko Krabbe[1]
Marco Seiter[1]
Viktoria Konieczny[1]

[1]Ruhr-Universität Bochum

Phänomenologischer Zugang zur Quantenphysik

Motivation

Die Quantenphysik und damit verbundene Technologien haben eine große Zukunftsbedeutung und sollten daher Teil des Allgemeinwissens zukünftiger Generationen von SchülerInnen sein. Eine adäquate quantenphysikalische Bildung wird daher bereits in den Bildungsstandards und Kompetenzanforderungen der Bundesländer gefordert (z.B. MSB NRW, 2022).

In der Schule und im Alltag der Schülerinnen existieren wenig Berührungspunkte mit quantenphysikalischen Phänomenen, weshalb die SchülerInnen im Gegensatz zur klassischen Physik wenig Möglichkeiten zur Anbindung an eigene Vorerfahrungen haben. Dies kann zu Lernschwierigkeiten führen, da SchülerInnen aus der klassischen Physik z.B. Vorstellungen von Kausalität, Determinismus und Wahrscheinlichkeiten haben, die nicht mit den Prinzipien der Quantenphysik übereinstimmen. Sie erwarten beispielsweise eine genaue Vorhersagbarkeit und verbinden Wahrscheinlichkeitsaussagen mit Ungenauigkeit (Müller & Schecker, 2018).

Bisherige Ansätze zur Vermittlung quantenphysikalischer Inhalte in der Schule verfolgen meist einen konzeptionellen Zugang. So verwenden Müller und Wiesner (2000) sowie Bitzenbauer (2020) Simulationen und Experimente hauptsächlich zur Bestätigung der als Wesenszüge der Quantenphysik eingeführten Konzepte. Diese methodische Herangehensweise hat jedoch den Nachteil, dass sie den Lernenden wenig Raum für eigenständige Überlegungen und authentische experimentelle Erfahrungen lässt. Aus diesem Grund wird in diesem Beitrag ein phänomenologischer Zugang zur Quantenphysik vorgestellt.

Grundideen des Zugangs

Der phänomenologische Zugang stellt das exploratives Erfahrungslernen vor das Konzeptlernen (Krabbe, Zander & Fischer, 2015), um authentische experimentelle Erfahrungen zu ermöglichen. Die Lernenden sollen aus einem intuitiv-regelbasierten Vorgehen eigenständige Konzeptvorstellungen entwickeln, die dann zu fachlichen Konzepten weiter ausgebaut werden können (v. Aufschnaiter & Rogge, 2010).

Die Quantenoptik bietet hierzu ein breites Spektrum an möglichen Experimenten an, in denen der Frage nachgegangen werden kann, wie sich die Wellenvorstellung des Lichts mit dem Teilchencharakter von Photonen vereinbaren lässt.

Ausgangspunkt für den Lernenden bilden die Welleneigenschaften von Licht. In der klassischen Physik wird Licht als elektromagnetische Welle beschrieben, die durch ihre Wellenlänge, Frequenz und Amplitude charakterisiert wird. Mit Hilfe dieser Beschreibung lassen sich Phänomene wie Beugung, Brechung und Interferenz beschreiben und erklären. Auch sollten die Lernenden bereits über eine Vorstellung zur Polarisation von Licht als Ausprägung der Schwingungsrichtung einer elektromagnetischen Welle bekannt sein. Zusätzlich zur Welleneigenschaft benötigen die Lernenden eine Vorstellung von Licht als quantisierte Energieportionen. Diese Vorstellung kann z.B. durch den Photoeffekt motiviert werden. Die Ergebnisse aus dem Experiment zum Photoeffekt können so interpretiert werden, dass Licht Energie nur in diskreten Portionen überträgt, was sich durch die klassische Wellentheorie nicht

erklären lässt und somit einer Erweiterung darstellt. Hierbei ist zu betonen, dass der Photoeffekt kein Nachweis für die Existenz von Photonen ist, da auch eine halbklassische Erklärung ohne die Annahme von Energiequanten möglich ist (Rode, 2017). Für den phänomenologischen Zugang reicht aber eine erste Vorstellung von Licht bestehend aus einzelnen Energieportionen.

Realisierung

Die hier vorgestellten Experimente können z.B. mit dem Quantenkoffer der Firma Qutools realisiert werden. Die Erzeugung der Photonenpaare erfolgt über „Parametric Down Coversion“ an einem Beta-Bariumborat (BBO) Kristall. Durch die Anregung mit einem Pumplaser (405 nm) entstehen unter Energie- und Impulserhaltung zwei „rote“ Photonen (810 nm). Die Lichtquelle weist eine Sub-Poisson-Verteilung auf, d. h. das einzelne Photonenpaare in so großen zeitlichen Abständen ausgesendet werden, dass sich immer nur ein Photonenpaar gleichzeitig im Aufbau befindet. Eines der Photonen (Signal) kann anschließend für Experimente genutzt werden, das andere dient z.B. der Ankündigung (Idler). Verwendet man zwei BBO-Kristall in bestimmter Weise, kann das Photonenpaar sogar in der Polarisation verschränkt werden (Bitzenbauer. 2020). Abbildung 1 zeigt exemplarisch den Aufbau des Experiments zur Verschränkung. In den vorderen und hinteren Strahlengang ist jeweils ein Polarisationsfilter eingebaut. Einer der Polarisationsfilter wird auf eine feste Position (z.B. 45°) eingestellt und der andere in Rotation versetzt. Anhand der Koinzidenzzählraten kann anschließend Verschränkung beobachtet werden, da diese immer maximal wird, wenn beide Polarisationsfilter die gleiche Orientierung haben und minimal, wenn diese um 90° versetzt sind.

Neben den in diesem Beitrag vorgestellten Experimenten bietet der Koffer einen flexiblen Aufbau weiterer Versuche, da die einzelnen Bausteine auf dem Steckbrett beliebig angeordnet werden können. Somit können z.B. als Erweiterung eigene Ideen der Lernenden zur weiteren Exploration der Quantenoptik aufgebaut und untersucht werden.

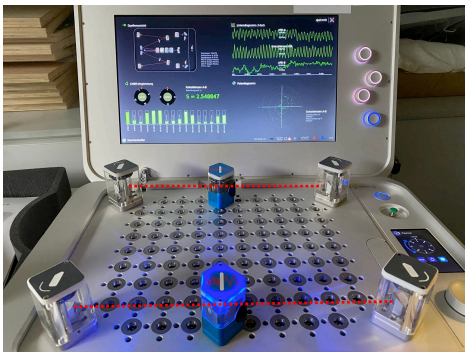


Abb. 1 Experiment zur Verschränkung am Quantenkoffer (QuTools)

Aufbau des Lehrgangs

Das übergeordnete Ziel der Experimente besteht darin, naive Vorstellungen von Photonen als einfache Teilchen, beispielsweise in Form von kugelförmigen Objekten, zu hinterfragen und weiter auszudifferenzieren. Die Experimente dienen dazu, überraschende Phänomene aufzuzeigen, die nicht mit dieser vereinfachten Vorstellung von Teilchen in Einklang stehen. Ein

zentraler Aspekt ist die Frage, wie sich bekannte Eigenschaften von Licht als Welle wie Polarisation und Interferenz mit der Vorstellung von Energieportionen als Teilchen vereinbaren lassen. Der Erkenntnisweg verfolgt eine möglichst theoriefreie Beschreibung der Befunde, zunächst auch ohne Erklärungen.

Experiment 1: Energieportionen am Strahlteiler
Im ersten Experiment trifft ein Strahl aus einzelnen Photonen (Signal) auf einen Strahlteiler. Ein Detektor misst das Licht, das am Strahlteiler transmittiert wird, indem er die eingehenden Energieportionen registriert, während ein anderer das reflektierte Licht registriert. Um sicherzustellen, dass es sich bei den detektierten Ereignissen nicht um Umgebungslicht handelt, kann zur Ankündigung das Idler-Photon detektiert werden. Die Messungen zeigen, dass Transmissionen und Reflexionen nicht gleichzeitig auftreten, die Energieportionen also offenbar nicht aufgeteilt werden.

Experiment 2: Energieportionen und Polarisation
Im zweiten Experiment wird der Photonenstrahl vor dem Strahlteiler mit einem Polarisationsfilter präpariert und dahinter mit weiteren Polarisationsfiltern analysiert. Die Messungen zeigen, dass sich die Energieportionen so verhalten, als wären sie polarisiert, aber immer noch einzeln an einem der beiden Detektoren erfasst werden. Licht zeigt somit gleichzeitig Welleneigenschaften in Form der Polarisation und Teilchencharakter bei der Unteilbarkeit der Energieportionen.

Experiment 3: Energieportionen und Interferenz
Ein Interferometer (z.B. Mach-Zehnder) wird verwendet, um das Interferenzverhalten des Lichts zu untersuchen. Der Photonenstrahl wird in zwei Wege aufgeteilt und anschließend durch Spiegel und einen weiteren Strahlteiler wieder zusammengeführt. Durch Variation der Laufzeit in einem der beiden Wege kann ein Interferenzmuster beobachtet werden. Wieder zeigt sich gleichzeitig Interferenz und die Unteilbarkeit der Energieportionen des Lichts.

Experiment 4: Interferenz und Weginformationen
Als Erweiterung des Interferometers werden Polarisationsfilter in die beiden Wege eingebaut, um diese unterscheidbar zu machen. Wenn die Polarisationsfilter um 90° versetzt sind, verschwindet das Interferenzmuster. Dies verdeutlicht den Gegensatz zwischen der Unterscheidbarkeit der Wege und der Interferenz, bekannt als Komplementarität.

Experiment 5: Verzögerte Entscheidungen im Quantenradierer
Ein zusätzlicher Polarisationsfilter mit 45° wird hinter dem Interferometer eingebaut, um die zuvor unterscheidbaren Wege wieder ununterscheidbar zu machen. Das Interferenzmuster tritt dann wieder auf. Die Möglichkeit dieser späten Entscheidung (delayed choice) zwischen Interferenz und keiner Interferenz zeigt, dass zuvor präparierte Eigenschaften nachträglich aufgehoben werden können, solange noch keine Messung stattgefunden hat.

Experiment 6: Verschränkung von Photonen
Mit einer Lichtquelle werden polarisationsverschränkte Photonenpaare erzeugt. In beide Strahlengänge des Photonenpaares werden Polarisationsfilter eingebaut. Der erste Polarisationsfilter wird auf einen festen Winkel gestellt und der zweite kontinuierlich in Rotation versetzt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Koinzidenzen maximal sind, wenn die Orientierung

der beiden Polarisationsfilter übereinstimmt, und null sind, wenn diese orthogonal zueinander stehen.

Literatur

Bitzenbauer, P. (2020). *Quantenoptik an Schulen. Studie im Mixed-Methods Design zur Evaluation des Erlanger Unterrichtskonzepts zur Quantenoptik.* Logos Verlag Berlin.

Cleve, J-N. (2023). *Die Wesenszüge der Quantenphysik qualitativ und quantitativ – Entwicklung eines Lehrgangs zu Experimenten mit dem Quantenkoffer.* Masterarbeit an der Ruhr-Universität Bochum.

Krabbe, H., Zander, S. & Fischer, H. E. (2015). *Lernprozessorientierte Gestaltung von Physikunterricht. Materialien zur Lehrerfortbildung.* Waxmann.

Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2022). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium / Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Physik.* 1. Aufl. Düsseldorf.

Müller, R. & Wiesner, H. (2000). Das Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik. *Physik in der Schule, 38(2),* 126–134.

Rode, M. (2017). *Falsche Freunde.* Unterricht Physik, 28(162), 15-19.

v. Aufschnaiter, C. & Rogge, C. (2010). Wie lassen sich Verläufe der Entwicklung von Kompetenz modellieren. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 16,* 95-114.

Laura Wellner[1]
Marco Seiter[1]
Heiko Krabbe[1]

[1]Ruhr-Universität Bochum

Funktionale Beschreibung von Gesetzmäßigkeiten im Physikunterricht

Ausgangslage

Eine themenübergreifende Kompetenz im Rahmen des Physikunterrichtes ist der Umgang und die Formulierung physikalischer Gesetzmäßigkeiten. Diese, ohne jegliche Form der Mathematisierung zu betrachten, ist im aktuellen Diskurs kaum vorstellbar, da das mathematische Modellieren ein zentraler Teil der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung ist. Dabei ist die funktionale Beschreibung von physikalischen Gesetzmäßigkeiten nicht nur relevant für die physikalische Modellierung, sie ist gleichzeitig auch eine zentrale Komponente der mathematischen Modellierung (Pospiech et al. 2019). Dementsprechend stellt sich in Bezug auf den Umgang mit physikalischen Gesetzmäßigkeiten die Frage nach der Rolle der Mathematik (und der Mathematisierung) im Physikunterricht. Obwohl in der interdisziplinären Forschung diese Fragestellung bereits aus unterschiedlichen Perspektiven beleuchtet worden ist (Krey, 2012; Pospiech et al., 2019), fehlt bislang jedoch eine einheitliche Definition der Rolle der Mathematik in der Physik. Zudem liegen unterschiedliche Vorstellungen der Schüler*innen und Erwartungen der Lehrkräfte an die Verwendung von mathematischen Konzepten im Physikunterricht vor. Diese Diskrepanz kann bei Schüler*innen zu Lernschwierigkeiten und Verständnisproblemen mit mathematischen Strukturen im physikalischen Kontext führen, wie Uhden (2016) in einer qualitativen Studie aufzeigen konnte. Es wurden 23 Verständnisprobleme in Zusammenhang mit der inhaltlichen Bedeutung mathematischer Strukturen (strukturelle Fähigkeiten) gefunden, die sich größtenteils auf den Umgang mit funktionalen Zusammenhängen im Physikunterricht beziehen. Beispielsweise haben Schüler*innen Schwierigkeiten, abgeleitete Einheiten zu bilden, mit unterschiedlichen (mathematischen) Darstellungsformen zu arbeiten oder zwischen ihnen zu wechseln. Das Beispiel der proportionalen Zusammenhänge zeigt außerdem, dass fehlende mathematische Konzepte, wie die Bedeutung von Parameter, zu Verständnisproblemen führen können. Hier ist es deshalb das Ziel, den Physikunterricht hinsichtlich der funktionalen Beschreibung von physikalischen Gesetzmäßigkeiten zu charakterisieren, um mögliche Schwierigkeiten und Herausforderungen identifizieren zu können. Basierend auf diesen Ergebnissen können dann Schlussfolgerungen und Handlungsansätze entwickelt werden, um mögliche Verständnisprobleme zu verringern und den Lernprozess der Schüler*innen zielorientiert gestalten zu können. Daraus ergibt sich folgende konkrete Fragestellung zur Spezifizierung des Forschungsanliegens:
Welche Mathematisierungsschritte und physikalischen Interpretationen lassen sich im Umgang mit (funktionalen) Gesetzmäßigkeiten im Physikunterricht wiederfinden?

Theoretischer Hintergrund

Um untersuchen zu können, welche Formen und Charakteristika von physikalischen Gesetzmäßigkeiten im Physikunterricht überhaupt auftreten, muss zunächst näher beleuchtet werden, welches Verständnis von physikalischen Gesetzmäßigkeiten in der Literatur präsentiert wird. Wie aus der obigen Darstellung bereits hervorgeht, ist eine didaktisch fundierte Beschreibung von physikalischen Gesetzmäßigkeiten hinsichtlich ihrer notwendigen Verständnisaspekte in der Forschung nicht bekannt. Auf Seiten der Mathematik ist der zu den „Gesetzmäßigkeiten“

analoge Begriff der „Funktionen“ hingegen umfassend beschrieben. Dieser lässt sich unter drei zentralen Grundvorstellungen zusammenfassen, die für das Verständnis des Funktionsbegriffs notwendig sind: die Zuordnungs-, die Kovariations- und die Objektvorstellung (Vollrath, 1989). Diese drei Vorstellungen beziehen sich jeweils auf die Art des Zusammenhangs zwischen zwei (physikalischen) Größen, weshalb die allgemeine Beschreibung des Größen- bzw. Variablenbegriffs unumgänglich ist. Die Mathematik begreift eine Variable als eine veränderliche Größe, die abhängig vom Kontext und Zusammenhang unterschiedliche Rollen einnehmen kann, wie z.B. als Parameter, Konstante oder als (un-)abhängige Größe (Zindel, 2019). Im Gegensatz dazu steht in der Physik eine Größe als Stellvertreter für eine Eigenschaft, ein Merkmal eines Objektes oder eines Vorgangs, die auf unterschiedliche Weise dargestellt werden kann (Kuchling, 2022). Die Art dieser Darstellungsformen spielen auch im Kontext der funktionalen Zusammenhänge eine wichtige Rolle, da in der Physik die Wahl der Darstellungsform oftmals kontext- oder lernprozessorientiert stattfindet. Gleichzeitig ist in der Mathematik die Wahl der Darstellungsform unter anderem von den zu fördernden Grundvorstellungen abhängig, so dass die Wahl unterschiedliche fachlichen Anforderungen an die Schüler*innen stellt und das konzeptuelle Verständnis unterschiedlich fördert (Greefrath et al., 2016). In der physikalischen Modellierung hingegen lassen sich vier Darstellungsformen von funktionalen Zusammenhängen identifizieren, durch die eine Gesetzmäßigkeit repräsentiert werden kann: qualitativ, halb-quantitativ, quantitativ sprachlich oder quantitativ mathematisch (Oy, 1977). Die quantitativ mathematischen Darstellungen umfassen nach dem physikdidaktischen Verständnis die algebraischen, tabellarischen und graphischen Formen (Pospiech et al., 2019). Diese literaturbasierte Definitionen und Beschreibungen der jeweiligen Aspekte eines funktionalen Zusammenhangs ermöglichen die Analyse konkreter Unterrichtsstunden im Hinblick auf die Verwendung von physikalischen Gesetzmäßigkeiten und eine Beschreibung physikalischer Gesetzmäßigkeiten aus einer praxisorientierten Perspektive.

Methodisches Vorgehen

Um reale Unterrichtssituationen zu analysieren und daraus mögliche Mathematisierungsschritte oder physikalische Interpretationen zuordnen und ableiten zu können, wurde ein Kategoriensystem mithilfe der qualitativ-strukturierenden Inhaltsanalyse nach Mayring (2022) entwickelt, welches die unterschiedlichen Aspekte einer physikalischen Gesetzmäßigkeit aus inhaltlicher und didaktischer Ebene erfasst. Diese ermöglicht die material-basierte Identifikation von Kategorien mithilfe derer weitere Unterrichtsstunden analysiert und inhaltlich beschrieben werden können. Es wurden zunächst drei unabhängige Transkripte videographierter Physikunterrichtsstunden der Sekundarstufe I aus der Studie von Zander (2016) ausgewählt, die sich in unterschiedlichen physikalischen Kontexten und sowohl implizit wie auch explizit mit physikalischen Gesetzmäßigkeiten auseinandergesetzt haben. Im Anschluss daran wurden diese Transkripte in Kodiereinheiten (den kleinsten einzelnen Wortbeitrag) unterteilt. Die Kategorienbildung erfolgt nach Mayring (2022) deduktiv (theoriegeleitet) anhand der oben zusammenfassend dargestellten theoretischen Grundlagen. Zudem wurden die Kategorien nominal angeordnet, da das Ziel keine ordinale Einordnung des Materials ist, sondern eine inhaltlich basierte Charakterisierung. Es ergibt sich somit ein Kategoriensystem (Abb. 1) mit drei „Hauptkategorien“ (Größe/Variable, Zuordnung, funktionaler Zusammenhang), die durch ihre jeweiligen Darstellungsformen und Charakteristika ausdifferenziert werden:

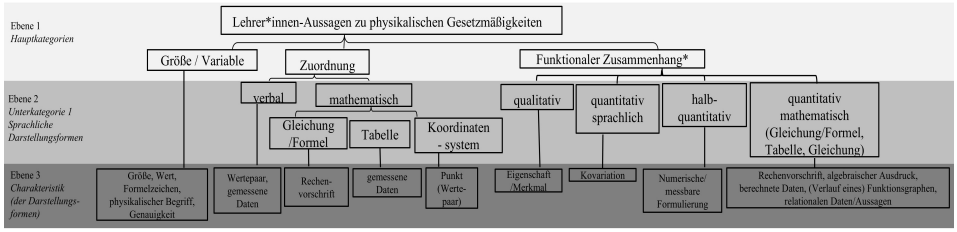


Abb. 1: Kategoriensystem zur Beschreibung funktionaler physikalischer Gesetzmäßigkeiten
**Ergänzende Kodierung naturwissenschaftliche Arbeitsweisen: vermuten/hinterfragen, herleiten, mit Theorie/Modell verknüpfen, prüfen, aufstellen, eingrenzen, anwenden/zuordnen*

Dieses Kategoriensystem wurde in einem Kodierleitfaden spezifiziert, welcher sowohl die jeweiligen Definitionen der einzelnen Kategorien beinhaltet als auch entsprechende Ankerbeispiele und Kodierregeln, wodurch eine standardisierte Analyse von Unterrichtseinheiten ermöglicht wurde. Auf dieser Grundlage wurden dann die drei vorbereiteten Transkripte kodiert und analysiert. Dabei wurde das Kategoriensystem basierend auf den Materialien induktiv ergänzt. Abschließend wurde die Intercoder-Reliabilität der Kategorisierung mit Hilfe des Kategoriensystems anhand der Cohens Kappa κ-Werte überprüft. Die drei Hauptkategorien konnten mit noch annehmbaren Werten bestätigt werden ($\kappa > .53$) und auch die Unterkategorien der Darstellungsformen und Charakteristik können angenommen werden (Größe: $\kappa > .84$, Zuordnung: $\kappa > .53$, funktionaler Zusammenhang: $\kappa > .52$). Die Ergebnisse der Analyse liefern dementsprechend erste Hinweise auf die fachdidaktische Verwendung und Einbindung von physikalischen Gesetzmäßigkeiten in den Unterrichtskontext.

Ergebnisse und Ausblick

Neben dem Kategoriensystem, welches eine Charakterisierung von Physikunterrichtsstunden ermöglicht, können auch erste übergeordnete Hypothesen in Bezug auf die Thematisierung unterschiedlicher Kategorien aus der Analyse abgeleitet werden. Es zeigt sich, dass im Physikunterricht Zuordnungen kaum thematisiert werden (13% aller kodierten Aussagen), wohingegen funktionale Zusammenhänge (42%) oder eine einzelne physikalische Größe (45%) gleichermaßen deutlich häufiger behandelt werden. Diese Beobachtung legt die Vermutung nahe, dass die reine Zuordnung von Größen zueinander im Physikunterricht (im Gegensatz zum Mathematikunterricht) keine zentrale Rolle spielt. Betrachtet man nur die Kategorie *Größe* konnte gezeigt werden, dass in diesem Bereich größtenteils über die Bedeutung oder die Begrifflichkeit einer Größe gesprochen wird (48%). Entgegen möglicher Erwartungen wird hingegen die Genauigkeit einer Größe kaum diskutiert (3%), obwohl die Diskussion von physikalischen Werten ein charakteristischer Teil der physikalischen Modellierung ist (Pospiech et al., 2019). Im Bereich der *funktionalen Zusammenhänge* werden Äußerungen größtenteils qualitativ (55%) und weniger quantitativ mathematisch (27%) formuliert, was die Vermutung nahelegt, dass für die mathematische Modellierung weniger Zeit im Unterrichtskontext eingeräumt wird als für die qualitative Auswertung von Experimenten oder die qualitative Formulierung von Hypothesen. Kovariationen (8%) und quantitativ sprachliche Aussagen (10%) lassen sich selten im Unterrichtsgespräch wiederfinden. Damit spielen im Physikunterricht Zuordnungen und Kovariationen - entgegen dem Prozess der mathematischen Begriffsbildung mithilfe der Grundvorstellungen - eine untergeordnete Rolle. Im Bereich der mathematischen Darstellungsformen von funktionalen Zusammenhängen konnte abschließend noch

festgestellt werden, dass vor allem algebraische (57%) und graphische (43%) Darstellungsformen diskutiert werden. Dies könnte damit begründet werden, dass tabellarische Darstellungsformen hauptsächlich als „Organisationsform“ für (Mess-)Werte im Unterricht genutzt werden und sie weniger unter dem Zusammenhangsaspekt betrachtet werden. Diese Ergebnisse liefern damit einen ersten Einblick in die Art und Weise, wie physikalische Gesetzmäßigkeiten im Unterrichtskontext thematisiert werden und welche Schwerpunkte im Unterrichtsgespräch gesetzt werden. Da es sich hierbei um eine explorative Analyse handelt, ist eine weiterführende Untersuchung und Analyse zur Bestätigung dieser ersten Beobachtungen unumgänglich. Gleichzeitig wird jedoch auch deutlich, dass diese Perspektive auf den Physikunterricht die Möglichkeit bieten könnte, mögliche Diskrepanzen zwischen den mathematischen und physikalischen Lernprozessen aufzudecken und für diese zu sensibilisieren, so dass für die Schüler*innen weniger Schwierigkeiten in der Vereinbarung beider Fachkompetenzen untereinander auftreten.

Literatur

Greefrath, G., Oldenburg, R., Siller, H.-S., Ulm, V. & Weigand, H.-G. (2016). *Didaktik der Analysis: Aspekte und Grundvorstellungen zentraler Begriffe. Mathematik Primarstufe und Sekundarstufe I + II.* Springer Spektrum.

Krey, O. (2012). *Mathematik in der Physik: Wissenschaftstheoretische Aspekte und Vorstellungen Physiklernender.* Logos-Verlag.

Kuchling, H. (2022). *Taschenbuch der Physik (22., aktualisierte Auflage).* Hanser. https://doi.org/10.3139/9783446473645

Mayring, P. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken (Neuausgabe).* Beltz Verlagsgruppe.

Oy, K. v. (1977). *Was ist Physik? (1. Aufl.).* Klett Studienbücher. Klett.

Pospiech, G., Michelini, M. & Eylon, B.-S. (Hrsg.). (2019). *Mathematics in Physics Education (1. Aufl.).* Springer International Publishing; Imprint Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04627-9

Uhden, O. (2016). Verständnisprobleme von Schülerinnen und Schülern beim Verbinden von Physik und Mathematik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 22,* 13-24.

Vollrath, H.-J.(1989). Funktionales Denken. *Journal für Mathematikdidaktik, 10,* 3-37.

Zander, S. M. (2016). *Lehrerfortbildung zu Basismodellen und Zusammenhänge zum Fachwissen.* Logos-Verlag.

Zindel, C. (2019). *Den Kern des Funktionsbegriffs verstehen: Eine Entwicklungsforschungsstudie zur fach- und sprachintegrierten Förderung.* Springer Spektrum.

Thomas Wilhelm[1]
Elisabeth Smetankin[1]

[1]Goethe-Universität Frankfurt am Main

Schülervorstellungen zum Mond

Ausgangslage

Es besteht Konsens darüber, dass es beim Unterrichten physikalischer Inhalte wichtig ist, die Vorstellungen der Schüler*innen, die diese zu einem Thema oder Begriff bereits aus dem Alltag mitbringen, zu kennen und in der Unterrichtsplanung zu berücksichtigen. Bei zentralen Themen und grundlegenden Konzepten sind diese Vorstellungen gut erforscht und sogar bereits in Lehrbüchern dargelegt (Schecker et al., 2018). Bei Randthemen, fortgeschrittenen Unterthemen und beim Sachunterricht der Grundschule gibt es teilweise nur wenige Erhebungen. Astronomische Themen stoßen im Sachunterricht der Grundschule auf besonders viel Interesse, wobei damit im Wesentlichen Sonne, Mond, Erde und das eigene Sonnensystem gemeint ist. Das Thema Mond wird im Sachunterricht nur als Teil einer größeren Unterrichtseinheit „Sonne, Mond und Sterne“ oder „Licht und Schatten“ unterrichtet, wobei insbesondere die Mondphasen sowie Mond- und Sonnenfinsternisse thematisiert werden (z.B. Barry et al.).

Bisher dokumentierte Vorstellungen

Rödler (1999) gibt an, dass sich bei einem Unterrichtsgespräch in der ersten Jgst. herausstellte, dass die Mehrheit der Kinder davon überzeugt war, dass Menschen in der Lage sind, zum Mond zu fliegen – mithilfe eines Flugzeugs oder mit einer Rakete. In der befragten Gruppe haben alle Kinder schon den Mond gesehen und behaupteten, dass man den Mond immer in der Nacht sehen kann und er dabei weiß erscheint. Manche Schüler*innen fügten hinzu, dass sie den Mond auch am Tag gesehen haben, er dann aber nur „ein bisschen“ zu sehen war. Eine interessante Vorstellung ist, dass sich Mond und Sonne bei dem Tagesanbruch oder Tagesende jeweils abwechseln. Die Entstehung der Mondphasen wird bei Rödler (1999) von den Schüler*innen teilweise durch Wolken erklärt.

Werden Grundschulkinder aufgefordert, den Mond zu zeichnen, wird meist ein Vollmond gezeichnet – teilweise ohne Oberflächenstruktur, aber teilweise auch mit Kratern (Hirsch, 2013). Selbst auf Mondsicheln werden teilweise die kraterähnlichen Oberflächenstrukturen gezeichnet. Hirsch (2013) gibt ferner an, dass in ihrer Erhebung 41 von 140 Kindern (30 %) davon überzeugt sind, dass der Mond nur in der Nacht leuchtet, während 70 % der Kinder wissen, dass man den Mond sowohl am Tag als auch in der Nacht sehen kann. Auf die Frage, warum manchmal nur der halbe Mond leuchtet, gaben ca. die Hälfte aller Schüler*innen an, dass sie dies nicht wissen. 24 Schüler*innen (16 %) gaben an, dass die Sonne nur einen Teil des Mondes anstrahlt; 19 Schüler*innen (24 %) antworteten, dass Wolken vor dem Mond stehen und ihn zur Hälfte verdecken. 14 Schüler*innen (7 %) argumentierten mit dem Schatten der Erde bzw. der Sonne oder meinten, dass die Erde ein Stück des Mondes verdeckt.

Zu nennen wäre noch die Schülervorstellung, dass der Mond sich wie die Sterne immer an der gleichen Position befindet, und die Vorstellung, dass der Mond selbst leuchtet (Wodzinski & Wilhelm, 2018). Weitere Schwierigkeiten sind, die Entfernung zum Mond von der Erde aus einzuschätzen. Schließlich gibt es die Vorstellung, dass im Weltraum und damit auch auf dem Mond alle Gegenstände schweben (Hopf & Schecker, 2018) bzw. dass im Weltraum eine Anziehungskraft nach unten herrscht, wobei unten für den Weltraum unten auf dem Bild bedeutet (Wodzinski & Wilhelm, 2018).

Vorgehensweise

Im Rahmen einer Staatsexamensarbeit (Smetankin, 2024) wurde mit Hilfe von halboffenen Leitfadeninterviews untersucht, welche Vorstellungen Grundschüler*innen zum Mond haben. Dabei ging es um die Beschaffenheit des Mondes, die Erscheinung des Mondes einschließlich den Mondphasen und die Bewegung des Mondes, der Erde und der Sonne im Weltall. Dazu wurden 12 Schüler*innen der 3. und 4. Jahrgangsstufe befragt. Ein Interviewleitfaden wurde nach Niebert & Gropengießer (2014) erstellt.

Als offenen Einstiegsimpuls sollten die Schüler*innen ein Bild vom Mond malen und erklären, was sie gemalt haben. Dem folgte eine Gedankenreise, in der sich die Schüler*innen vorstellten, dass sie sich auf dem Mond befinden, und beschrieben, wie sie sich die Mondlandschaft vorstellen. Am Ende sollten die die Schüler*innen Abbildungen von Sonne, Mond und Erde der Größe nach sortieren und die Bewegung der Himmelskörper im Weltall darstellen.

In Anlehnung an Gropengießer (2008) wurden die Leitfadeninterviews in drei Schritten ausgewertet: Erstens wurden alle Interviews transkribiert. Dann wurden die Interviews redigiert. Dabei wurden sinntragende Aussagen ausgewählt, Redundanzen und Füllwörter weggelassen und der Text so umgewandelt und paraphrasiert, dass es sich um eigenständige Aussagen handelt, die ohne die Beiträge des Interviewers für sich stehen können. Auch die Grammatik der Aussagen wurde geglättet. Im dritten Schritt wurden die redigierten Aussagen geordnet.

Mit Hilfe der geordneten Aussagen wurde für jeden Interviewpartner ein Fließtext erstellt, der seine Ideen erläutert, die sogenannte Explikation (Krüger & Riemeier, 2014). Außerdem wurde eine individuelle Strukturierung der entscheidenden Ideen vorgenommen (Mayring, 2012). Der letzte Schritt ist eine Verallgemeinerung der Ergebnisse.

Ergebnisse

Angelehnt an Gropengießer (2008) werden die Verallgemeinerungen der einzelnen, in den Interviews gefundenen Konzepte in tabellarischer Form dargestellt. Die rechte Seite der Tabelle bietet jeweils den Einblick in die Vorstellungen der Schüler*innen und enthält redigierte Formulierungen der Schüler*innen. Auf der linken Seite befindet sich jeweils die Verallgemeinerung des Konzeptes in je einem Satz.

Die Größe der Mondkrater ist in der Größenordnung weniger Meter.	Lena: *Die Krater sind etwa ein Meter tief und ein Meter breit und man muss aufpassen, dass man nicht hineinstolpert.* Karo: *Es geht immer ein Meter hoch und ein Meter runter; und es gibt größere und kleinere Krater.* Jessi: *Die Krater sind unterschiedlich groß. Sie sind ungefähr so groß wie ein Tisch, also etwa zwei Meter und ein Meter tief.* Leon: *Die Krater auf dem Mond haben verschiedene Größen; in einen großen Krater würde ein Zimmer hineinpassen.* Alena: *Auf dem Mond gibt es Löcher, die etwa 2 bis 3 Meter breit sind.* Paul: *Die Krater können unterschiedlich groß seien, sie sind etwa ein Meter breit. In einen großen Krater würde ein Roller hineinpassen.* Max: *Die Krater auf dem Mond sind in etwa zwei Meter tief. So würde in einen Krater z.B. ein Fahrrad oder ein Laufrad hineinpassen.*
Auf dem Mond gibt es keine Gravitation.	Karo: *Man kann auf dem Mond nicht herumlaufen, da man sonst wegfliegen würde. Die Astronautenanzüge sind so gebaut, dass man auf dem Mond laufen kann.* Jessi: *Auf dem Mond schwebt man weit weg, wenn man sich nicht an das Raumschiff bindet.*

	Karl: *Wenn man aus dem Raumschiff aussteigt, ist man schwerelos und schwebt einfach hin und her.* Max: *Man schwebt auf dem Mond, weil es dort keine Schwerkraft gibt.* Paul: *Man schwebt auf dem Mond. Es gibt dort keine Schwerkraft, weil es dort keine Erde gibt.*
Die Temperaturen auf dem Mond sind im selben Bereich wie auf der Erde.	Rosa: *Die Temperatur ist um die Null Grad, nicht im Minusbereich und auch nicht im Plusbereich.* Jessi: *Es ist dort so kalt wie bei uns im Winter, wenn richtig Schnee liegt.* Alena: *Auf dem Mond ist es so kalt wie der Winter in Deutschland.* Max: *Auf dem Mond sind es etwa fünfzehn bis minus zwanzig Grad.* Hanna: *Auf der einen Seite des Mondes sind etwa 25 bis 30 Grad, während es auf der dunklen Seite so kalt ist wie bei uns im Winter.*
Die Temperaturen auf dem Mond sind immer gleich.	Jessi: *Wenn es auf dem Mond heller wird, bleibt es trotzdem sehr kalt.* Leon: *Weil der Mond weiter von der Sonne entfernt ist als die Erde, ist es dort immer kalt.* Max: *Auf dem Mond sind es etwa 15 bis minus 20 Grad und die Temperatur verändert sich nicht.*
Auf dem Mond ist es immer dunkel.	Rosa: *Auf dem Mond ist es nur Nacht. Man sieht nur etwas Licht, was von den Sternen und der Sonne reflektiert.* Lena: *Es ist dort immer dunkel wie bei uns in der Nacht, aber man kann trotzdem ganz gut sehen.* Karo: *Man kann auf dem Mond normal sehen, aber es ist trotzdem ganz dunkel.* Karl: *Auf dem Mond ist es eher dunkel. Die Sonne ist da auch, aber es ist trotzdem dunkel wie in der Nacht.* Leon: *Die eine Seite des Mondes ist so dunkel wie bei uns in der Nacht und auf der anderen helleren Seite ist es so, als hätte man eine Taschenlampe.* Max*: Auf dem Mond ist es die ganze Zeit dunkel – aber so, dass man etwas sehen kann.*
Der Erdschatten macht die Mondphasen.	Alena: *Wenn auf der Erde Tag ist, befindet sich der Mond auf der anderen Seite der Erde. In dieser Position wird er durch die Erde von der Sonne abgeschirmt. Deswegen ist es auf dem Mond etwas dunkler.* Rosa: *Die Dunkelheit entsteht durch den Schatten von der Erde, der Erdschatten wird auf den Mond geworfen.*
Der Vollmond ist öfters im Monat zu sehen.	Leon: *Man sieht einmal die Woche den Vollmond am Himmel.* Max: *Man sieht den Vollmond einmal in zwei Wochen.* Hanna: *Man sieht den Vollmond einmal die Woche.*

*Tab. 1: Überblick über die gefundenen Konzepte der Schüler*innen (links: Verallgemeinerung der Konzepte, rechts: redigierte Schüleraussagen).*

Es ist zu sehen, dass sich einige bekannte Vorstellungen wiederfanden: „Auf dem Mond gibt es keine Gravitation." und „Der Erdschatten macht die Mondphasen." Es traten aber auch bisher nicht dokumentierte Schülervorstellungen auf: „Die Größe der Mondkrater ist in der Größenordnung weniger Meter.", „Die Temperaturen auf dem Mond sind im selben Bereich wie auf der Erde.", „Die Temperaturen auf dem Mond sind immer gleich.", „Auf dem Mond ist es immer dunkel." und „Der Vollmond ist öfters im Monat zu sehen." Kennt man diese Vorstellungen, kann man deren Inhalt bewusst ansprechen und Darstellungen vermeiden, die das unterstützen.

Literatur

Barry, V., Hermann, L. & Heran-Dörr, E. (ohne Jahr). Licht & Schatten. In T. Wilhelm & H. Wiesner (Projektleitung): SUPRA – Sachunterricht praktisch und konkret, https://www.supra-lernplattform.de/lernfeld-natur-und-technik/licht-und-schatten.

Gropengießer, H. (2008). Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. In P. Mayring & M. Gläser-Zikuda (Hrsg.), Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse, 2. Aufl., S. 172-189. Weinheim: Beltz.

Hirsch, Y. (2013). Vorstellungen von Grundschulkindern zur Entstehung der Mondphasen, Wissenschaftliche Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Grundschulen im Fach Sachunterricht, Universität Frankfurt.

Hopf, M. & Schecker, H. (2018), Schülervorstellungen zu fortgeschrittenen Themen der Schulphysik. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis, Springer, S. 225 – 242.

Krüger, D. & Riemeier, T. (2014). Die qualitative Inhaltsanalyse – eine Methode zur Auswertung von Interviews. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung (S. 133-145). Berlin: Springer Spektrum.

Mayring, P. (2010): Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken. Weinheim und Basel: Beltz Juventa.

Niebert, K. & Gropengießer, H. (2014). Leitfadengestützte Interviews. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung, Berlin: Springer Spektrum, S. 121-132.

Rödler, K. (1999). Sonne, Mond und Erde. Mit Kindern ins Gespräch kommen. Die Grundschulzeitschrift Heft 126, S. 24+41-42.

Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf M. & Duit, R. (Hrsg.). Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis, Springer.

Smetankin, E. (2024). Erhebung von Schülervorstellungen zum Mond, Wissenschaftliche Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Grundschulen im Fach Sachunterricht, Universität Frankfurt, http://www.thomas-wilhelm.net/arbeiten/Mond.htm.

Wodzinski, R. & Wilhelm, T. (2018). Schülervorstellungen im Anfangsunterricht. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis, Springer-Spektrum, S. 243 – 270.

Daniel Gysin[1]
Markus Rehm[2]
Dorothee Brovelli[1]

[1]Pädagogische Hochschule Luzern
[2]Pädagogische Hochschule Heidelberg

(Non-)Normative Ideen zum Energiekonzept in Schüler*innen-Antworten

Im Rahmen der vorgestellten Studie wurde ein Framework zur Kategorisierung und Analyse von Schüler*innen-Antworten zu einer Physikaufgabe aus dem Themenbereich Energie entwickelt. Die theoretische Grundlage für das Framework bildet die *Learning Progression* zur Energie (vgl. Neumann et al., 2013), ein Ansatz zur Beschreibung der Konzeptentwicklung innerhalb eines Themenbereichs, der zunehmend anspruchsvollere, abgestufte Argumentationsweisen, bestehend aus normativen und non-normativen Ideen, beinhaltet.

Theoretischer Hintergrund und Forschungsfrage

Ein ausgeprägtes Energiekonzept ist nach Neumann et al. (2013) zentral für ein profundes Verständnis der Naturwissenschaften. In der fachdidaktischen Forschung setzten sich in den letzten Jahren verschiedene Autor*innen mit der Entwicklung von Konzepten dieser Art auseinander und begründeten den Begriff der *Learning Progression* (u.a. Duschl et al., 2007; Duncan & Hmelo-Silver, 2009; Neumann et al., 2013; Kubsch, 2024) als Rahmung für die inhaltliche Beschreibung eines Themengebiets, für die Möglichkeiten bei der Instruktion und für die Messung eines Konzepts mit Assessments (vgl. u.a. das *Energy Concept Assessment* (ECA) nach Neumann et al., 2013). Duschl et al. (2007) beschreiben vier Merkmale einer Learning Progression: (1) Sie orientiert sich inhaltlich am aktuellen Forschungsstand, (2) sie umfasst Fähigkeiten zur Lösung realer Probleme, (3) sie ist durch einen unteren Anker (Anfangsverständnis der Lernenden) und einen oberen Anker (Zielverständnis) begrenzt und (4) sie enthält mehrere Zwischenstufen mit zunehmender Komplexität der normativen Ideen.

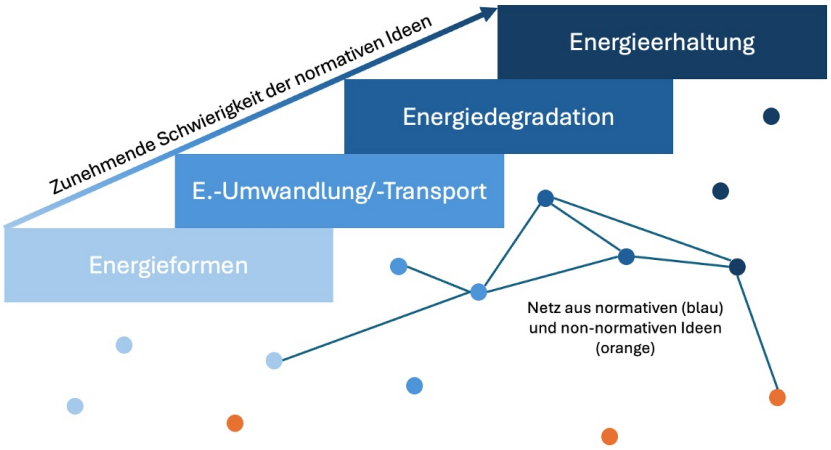


Abb. 1: Learning Progression mit vier Kernideen zur Energie (Abbildung angelehnt an Kubsch, 2024 und Neumann et al., 2013)

Angelehnt an den *knowledge-in-pieces*-Ansatz (diSessa, 1993) und basierend auf der Arbeit von Neumann et al. (2013) zeigt Kubsch (2024) vier Kernideen als Bestandteile der Learning Progression zur Energie (vgl. Abb. 1). Die Reihenfolge respektive die Schwierigkeit der vier Kernideen, *Energieformen*, *Energieumwandlung und -transport*, *Energiedegradation* und *Energieerhaltung*, ergibt sich aus der Schwierigkeit der Testaufgaben des *Energy Concept Assessment*. Dabei verläuft die Entwicklung des Verständnisses der Kernideen parallel bzw. überschneidend und es müssen z.B. nicht erst alle Energieformen bekannt sein, bevor die Kernidee der Energieumwandlung verstanden werden kann. Weiter definieren Neumann et al. (2013) vier Komplexitätslevel in der Argumentation mit Kernideen: über *Fakten* (in Form von nicht vernetzten, fragmentierten Wissenselementen (*knowledge in pieces*)), mit *Zuordnungen* (in Form von einfachen Verbindungen von Wissenselementen), mit *Relationen* (in Form von ausgereiften Verbindungen mehrerer Wissenselemente) und schließlich mit *Konzepten* (in Form von komplexen und ineinander verflochtenen Wissenselementen). Nach Kubsch (2024) spielen nicht nur normative Ideen in Form von vernetzten Wissenselementen für die Learning Progression eine Rolle, sondern auch non-normative Ideen (vgl. orange Punkte in Abb. 1), vergleichbar mit Präkonzepten oder Alltagsvorstellungen. Typische non-normative Ideen zum Energiekonzept sind z. B, dass Energie nur in bewegten Objekten vorhanden ist (Aktivitätsvorstellung), eine Art Treibstoff oder Nahrungszutat darstellt oder mit anderen Konzepten vermischt wird (z.B. mit Strom) (Watts, 1983; Harrer et al., 2013). Aus diesen theoretischen Grundlagen leitet sich folgende Fragestellung ab: Mit welchen Netzen aus (non-)normativen Ideen (Wissenselementen) argumentieren Schüler*innen der Sekundarstufe beim Lösen einer Physikaufgabe zum Thema Energie mit offenem Antwortformat? In Assessment-Tests zur Energie werden i.d.R. geschlossene oder halb-offene Aufgabenformate eingesetzt, um die Ausprägung des Energiekonzepts zu messen. In der hier beschriebenen Studie soll nun basierend auf der Learning Progression zur Energie ein Framework entwickelt werden, das die Kategorisierung und Analyse von offenen Antworten zu Physikaufgaben zulässt.

Stichprobe und Methode

Für die Studie wurde der Datensatz von Gysin (2024) verwendet. 456 Schüler*innen der Sekundarstufe I und II lösten im Rahmen der Befragung eine physikalische Transferaufgabe zum Thema Energie, die Fragen zu den vier Kernideen der Learning Progression im Kontext eines Kletterparks enthielten (für die konkrete Aufgabenstellung mit einer gezeichneten Abbildung des Kletterparks siehe Gysin et al., 2024). In einem mehrschrittigen, induktiven und deduktiven Verfahren wurden auf Basis der Learning Progression nach Neumann et al. (2013) und mit rund 5% der schriftlichen Antworten aus der Studie von Gysin et al. (2024) Kategorien mit der Methode der inhaltlich strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2018) abgeleitet. Das mit diesen Kategorien erstellte Framework (vgl. unten) wurde nach einer ersten Überarbeitung mit einem Codiermanual inklusive Ankerbeispielen versehen, um später den gesamten Datensatz codieren zu können.

Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 2 zeigt das Framework zur Analyse von Schüler*innen-Antworten aus Physikaufgaben zur Energie, das aus den theoretischen Ansätzen und den Daten aus Gysin (2024) abgeleitet wurde. Es besteht aus einer Matrix aus den vier Kernideen zur Energie und den vier Komplexitätsleveln. Die Kategorienbeschreibungen basieren auf konkreten Antworten aus den empirischen Daten. Das Framework enthält vier zusätzliche Kategorien

für non-normative Ideen, die sich an den Vorstellungen nach Watts (1983) und Harrer et al. (2013) sowie den Kategorien zu non-normativen Ideen von Kubsch (2024) orientieren.

	Komplexitätslevel 1: **Fakten**	Komplexitätslevel 2: **Zuordnungen**	Komplexitätslevel 3: **Relationen**	Komplexitätslevel 4: **Konzepte**
	Die/der Lernende...			
A: Energieformen	...nennt eine oder mehrere Energieformen in einer Aufzählung.	...nennt eine oder mehrere Energieformen und erklärt, wo bzw. bei welchem Objekt diese vorkommen.	...nennt eine oder mehrere Energieformen und erklärt, warum diese einem Objekt zugeordnet werden können.	...nennt mehrere Energieformen und erklärt, welche Energieformen wo vorkommen und warum dem so ist.
B: Energietransport und Energieumwandlung	...nennt den Begriff Energietransport und/oder den Begriff Energieumwandung.	... nennt mindestens zwei Energieformen und erklärt, dass eine Umwandlung stattfindet und/oder nennt eine Energieform und erklärt, dass Energie transportiert wird.	...nennt mindestens zwei Energieformen und erklärt, warum oder wo eine Umwandlung stattfindet und/oder nennt eine Energieform und erklärt, warum oder wohin Energie transportiert wird.	...nennt mehrere Energieformen und erklärt, warum bzw. wie Energieumwandlungsketten stattfinden und/oder nennt mehrere Energieformen und erklärt, warum oder wohin Energie in mehreren Schritten transportiert wird.
C: Energiedegradation	...nennt den Begriff der Energiedegradation bzw. Energieentwertung.	...erklärt, dass bei jeder Umwandlung oder bei jedem Transport ein Teil der Energie in thermische Energie umgewandelt wird.	...erklärt anhand eines konkreten Beispiels mit Energieformen, dass bei jeder Umwandlung oder bei jedem Transport ein Teil der Energie in thermische Energie umgewandelt wird.	...nennt mehrere Energieformen und erklärt dazu, warum bzw. wie bei Energieumwandlungsketten oder beim Energietransport ein Teil der Energie in thermische Energie umgewandelt wird.
D: Energieerhaltung	...nennt den Begriff der Energieerhaltung.	...erklärt, dass bei einer Energieumwandlung und/oder einem Energietransport die Gesamtenergie immer erhalten bleibt.	...erklärt anhand eines konkreten Beispiels einer Energieumwandlung oder eines Energietransports, dass die Gesamtenergie dabei erhalten bleibt.	...erklärt anhand eines konkreten Beispiels einer Energieumwandlung oder eines Energietransports, warum die Gesamtenergie erhalten bleibt und nimmt Bezug zur Energiedegradation.

	Idee i	**Idee ii**	**Idee iii**	**Idee iv**
N: Non-normative Ideen (Präkonzepte)	Energie als Aktivität	Energie als Treibstoff oder Zutat (Nahrung)	Energie mit anderen naturwissenschaftlichen Konzepten verwechselt	Andere non-normative Ideen

*Abb. 2: Framework zur Analyse von Schüler*innen-Antworten zum Energiekonzept*

Es seien hier zwei Beispiele von Aufgabenstellung mit den Codierungen dazu genannt:

- *Aufgabenstellung*: „Wird in dieser [auf der Abbildung des Kletterparks gezeigten] Situation Energie umgewandelt? Wenn ja, wie genau?" *Antwort der Probandin (12 Jahre alt)*: „Ja, wird es. Am Anfang ist es Lageenergie, weil er [abgebildeter Kletterer] oben steht. Dann springt er runter und es wird zur Bewegungsenergie. Wenn die Seile aneinander reiben, entsteht thermische Energie." (Codierung: B3 (Energieumwandlung, Relationen))
- *Aufgabenstellung*: „Beschreibe die Energieerhaltung in der Situation, die du ausgewählt hast." *Antwort der Probandin (13 Jahre alt)*: „ […] In dieser Zeit, wo er kletterte, verbrannte er Kalorien. Das ist dann chemische Energie." (Codierung: non-normative Idee ii (Energie als Treibstoff))

Es zeigte sich bei der Erstellung des Frameworks und der Codierung der ersten 5% der Antworten, dass sich die Kategorien den Antworten der Schüler*innen bzw. den Codiereinheiten zuordnen lassen. Beim zweiten der aufgeführten Beispiele handelt es sich um die non-normative Idee, dass Energie etwas Stoffliches darstellt, das verbrannt werden kann.

Limitationen und Ausblick

Auf Grundlage der bisher analysierten Schüler*innen-Antworten lassen sich derzeit noch keine Aussagen zur Häufigkeit der Kategorien treffen. Es ist vorgesehen, alle Daten durch mehrere Codierer*innen zu codieren, um anschließend das Framework weiterzuentwickeln und quantitative Fragestellungen dazu beantworten zu können. Weiter beschränkt sich die Gültigkeit des Frameworks auf Physikaufgaben zum Thema Energie. In zukünftigen Studien könnte eine Adaption des Frameworks auf weitere Themen- und Fachbereiche erfolgen.

Literatur

Case, R. (1977). Implications of developmental psychology for the design of effective instruction. In I.J.W. Pellegrino, E.S.D. Fokkema & R. Glaser (Eds.), Cognitive psychology and instruction. New York: Plenum, 441 - 465

Duit, R., Gropengießer, H., & Stäudel, L (2004). Naturwissenschaftliches Arbeiten: Unterricht und Material 5-10. Seelze-Velber: Friedrich-Verlag

Lederman, N.G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R.L., & Schwartz, R.S. (2002). Views of Nature of Science Questionaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. Journal of Research in Science Teaching, 39 (6), 497-521

diSessa, A. A. (1993). Toward an Epistemology of Physics. Cognition and Instruction, 10(2–3), 105–225.

Duncan, R. G., & Hmelo-Silver, C. E. (2009). Learning progressions: Aligning curriculum, instruction, and assessment. Journal of Research in Science Teaching, 46(6), 606–609.

Duschl, R. A., Schweingruber, H. A., & Shouse, A. W. (2007). Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8. Washington, DC: National Academies Press.

Gysin, D. (2024). Transfer in der Physik – Die Nutzung von Strategien beim Transfer von physikalischen Konzepten in Zusammenhang mit kontextorientiertem Unterricht. Dissertation. Pädagogische Hochschule Heidelberg.

Gysin, D.; Bollmann, S.; Brovelli, D. (2024). Die Nutzung von Transferstrategien beim Transfer von physikalischen Konzepten zum Thema Energie in Zusammenhang mit kontextorientiertem Unterricht und situationalem Interesse. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 30*(1), 1–27.

Harrer, B. W., Flood, V. J., & Wittmann, M. C. (2013). Productive resources in students' ideas about energy: An alternative analysis of Watts' original interview transcripts. Physical Review Special Topics-Physics Education Research, 9(2), 023101-1–023101-5.

Kubsch, M. (2024). What affects the continued learning about energy? Evidence from a 4-year longitudinal study. Journal of Research in Science Teaching, 1-23.

Kuckartz, U. (2018). Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. Grundlagentexte Methoden. Beltz Juventa.

Neumann, K., Viering, T., Boone, W. J., & Fischer, H. E. (2013). Towards a learning progression of energy. Journal of research in science teaching, 50(2), 162– 188.

Watts, D. M. (1983). Some alternative views of energy. Physics Education, 18(5), 213–217.

Paul Unger[1]
Karsten Rincke[1]

[1]Universität Regensburg

Konzeptaufbau hinführend oder rückführend? Wirkung unterschiedlich strukturierter Verknüpfungen des Vorwissens

Wenn eine Lehrkraft einen neuen Fachinhalte im Unterricht behandelt, dann sollte sie dabei eine Verknüpfung mit dem Vorwissen der Schüler*innen ermöglichen. Dies ist im Sinn einer konstruktivistischen Sichtweise auf Lernprozesse im naturwissenschaftlichen Unterricht lernförderlich (Duit, 1995). Lehrkräfte können diese Verknüpfung in Form einer Herleitung realisieren. Trendel, Wackermann & Fischer (2008, S.27) beschreiben eine Herleitung als kleinschrittige, forschend-entwickelnde Erarbeitung entlang Elementen des Vorwissens. Sie beobachteten 80 Unterrichtseinheiten von 18 Lehrkräften und berichten, dass in konzeptbildenden Unterrichtseinheiten 59% der Unterrichtszeit mit dieser Art Herleitung verbracht wird. Geller (2015) beobachtete im Zuge der TIMSS Studie verschiedene lernaktive Phasen[1] und deren Anteil am Physikunterricht an Schulen im deutschsprachigen Raum (Deutschland, Österreich, Schweiz). Sie verglich diese Anteile mit beobachteten Anteilen an finnischen Schulen. An den beobachteten deutschen Schulen wurden 24% aller lernaktiven Phasen mit einer Erarbeitung an Kontexten verbracht (im Vergleich Finnland: 13%). An den beobachteten finnischen Schulen bestanden 43% der lernaktiven Phasen aus aktivem Umgang mit neuen Konzepten (im Vergleich Deutschland: 17%). Geller (2015) vermutet, dass der Schwerpunkt finnischen Physikunterrichts auf Phasen der Verallgemeinerung und des Umgangs mit neuen Konzepten einen Beitrag zum besseren Abschneiden finnischer Schüler*innen in den PISA-Tests (2000-2010) leisten könnte. Auch Trendel, Wackermann & Fischer (2008) berichten von einer ernüchternd geringen Wirkung erarbeitender Herleitungen auf den Lernerfolg der Schüler*innen. Wackermann & Krabbe (2017) fordern als Konsequenz eine zeitlich straffere Strukturierung von Herleitungen bei der Konzeptbildung im Unterricht zugunsten einer ausgeprägteren Übungs- und Vernetzungsphase: *Physikalische Konzepte sollten zügig eingeführt, deduktiv bedeutsam gemacht und ausgiebig geübt werden. Sie sind die Grundlage für und nicht das Ergebnis von Problemlösungen* (Wackermann & Krabbe, 2017, S.126).

In meinem Projekt vergleiche ich zwei Möglichkeiten, Herleitungen zeitlich straffer im Unterricht zu strukturieren. Bei einer *Hinführung* wird der neue Fachinhalt zügig und knapp, aber immer noch schrittweise ausgehend vom Vorwissen aus aufgebaut. Eine *Rückführung* beginnt mit der Vorstellung des neuen Fachinhalts und schließt themenrelevante Vorwissenselemente an (Unger & Rincke, 2023). Die Rückführung kann als logische Umkehrung der Hinführung gesehen werden (Unger & Rincke, 2022). Für beide Verknüpfungsarten wurden Unterrichtseinheiten orientiert an der Basismodelltheorie nach Oser & Baeriswyl (2001) (Modell Konzeptaufbau) strukturiert. Die Basismodelltheorie kann zur Unterrichtsplanung eingesetzt werden. Die für den naturwissenschaftlichen Unterricht gängigen Basismodelle bestehen jeweils aus vier oder fünf Stufen (vgl. Reyer, 2001). Für meine Studie gestalte ich Stufe 2 (Durcharbeiten eines prototypischen Musters) für die eine Gruppe *hinführend*, für die andere *rückführend*. Die anderen Stufen werden gleich strukturiert. Es soll untersucht werden, ob sich bei den Lernenden Unterschiede im Wissensstand nach der Unterrichtseinheit, in der wahrgenommenen Zielorientierung[2] der Herleitung, in der kognitiven Ladung und im Interesse

[1] Aktivierung des Vorwissens; Erarbeitung an Kontexten; Planung / Durchführung eigener Handlungen; aktiver Umgang mit neuen Konzepten; Verallgemeinerung des Fachinhalts.
[2] Zielorientierung wird hier als Merkmal der Unterrichtsgestaltung aufgefasst und nicht als Merkmal der Motivation der Lernenden. Letzteres vgl. z.B. Schöne (2007).

zeigen. Hierzu wurden drei Fragebögen eingesetzt: Direkt zu Beginn der Unterrichtseinheit wurden Vorwissen (Unger & Rincke, 2023), individuelles Interesse (Fechner, 2009 nach Habig, 2017), Schulart und Geschlecht abgefragt. Unmittelbar nach der Hin-/ Rückführung (Stufe 2 im Basismodell) wurden die wahrgenommene Zielorientierung (Trepke, Seidel & Dalehefte, 2003 nach Maurer, 2016) und die kognitive Ladung (Leppink et al., 2013 und Klepsch, Schmitz & Seufert, 2017 nach Thees et al., 2021) erhoben. Für die Messung der kognitiven Ladung (Cognitive Load, CL) wurden Jeweils 3 Items zur intrinsischen (ICL), extrinsischen (ECL) und lernbezogenen kogn. Ladung (*germain*, GCL) verwendet[3]. Unmittelbar nach der Unterrichtseinheit wurden situationales Interesse[4] (Fechner, 2009 nach Habig, 2017) und der Wissensstand der Lernenden (Unger & Rincke, 2023) zum behandelten Thema abgefragt.

Ergebnisse und Interpretation

Über erste Ergebnisse und die Beschreibung der Stichprobe berichteten wir im vorhergehenden Tagungsband (Unger & Rincke, 2024). Unterschiede zeigten sich insbesondere erst nach weiterer Unterteilung der beiden Gruppen Hin- und Rückführung *nach Vorwissen (hoch/ niedrig)*. Lernende mit hohem Vorwissen profitierten von einer Rückführung hinsichtlich des Wissensstandes und ihrer kognitiven Ladung. Gleichzeitig zeigten sich keine Unterschiede zwischen Hin- und Rückführung für Lernende mit niedrigem Vorwissen.

Lernende mit hohem Vorwissen profitieren von einer Rückführung:
In Abb. 1 bis 3 sind Streudiagramme abgebildet. Die Datenpunkte für die Gruppe Hinführung (orange/hell) und Rückführung (blau/dunkel) werden mit Regressionsgerade und 95%-Konfidenzintervall abgebildet. In der linken Grafik von Abb. 1 erkennen wir einen Einfluss des Vorwissens[5] auf den Wissensstand der Lernenden. Die unterschiedlichen Steigungen der Regressionsgeraden in beiden Grafiken in Abb. 1 deuten wir als unterschiedlich starken Einfluss des Vorwissens auf den Wissensstand und die Zielorientierung je nach Gruppe (Hin- und Rückführung). Besonders markant zeigt sich dies in der rechten Abbildung: Die wahrgenommene Zielorientierung zeigt sich in der Gruppe Hinführung (blau/dunkel) als nahezu konstant (= keine Korrelation), während in der Gruppe Rückführung (orange/hell) eine Steigung deutlich zu erkennen ist. Der Verdacht auf einen moderierenden Effekt (Field, Miles & Field, 2012) des Vorwissens konnte statistisch

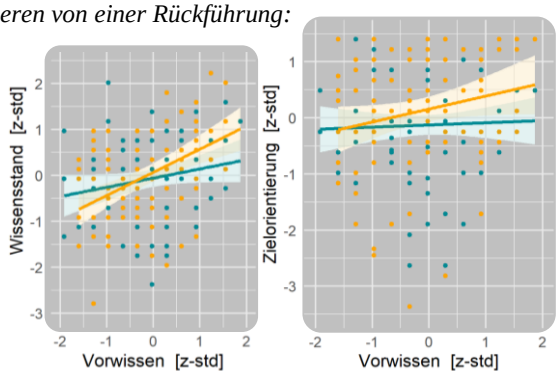


Abb. 1: Streudiagramme zu Wissensstand und Zielorientierung über Vorwissen. Z-standardisierte Werte. 95% Konfidenzintervall um die lin. Regression (heller Bereich um die Geraden). Blau: Hinführung. Orange: Rückführung.

[3] Für eine genauere Definition der ICL, ECL und GCL siehe z.B. Sweller, van Merriënboer & Paas (2019).
[4] Hierzu sei auf Berger (2000) und Hidi & Renninger (2006) verwiesen. Stichwörter: Person-Gegenstands-Konzeption; 4-Phasen-Modell; wertbezogene und emotionale Valenz.
[5] Es sei daran erinnert, dass aus den Korrelationswerten allein keine Schlussfolgerung auf Kausalität gezogen werden darf. Die getroffenen Folgerungen passen zur Ausgangssituation einer Einführungsstunde zum Fachinhalt Transformator: Dass das Vorwissen Einfluss auf den Wissensstand hat, stimmt mit einer moderat konstruktivistischen Sichtweise des Lernens überein (vgl. Duit, 1995). Das Vorwissen ist eine rel. stabile Merkmalsausprägung und wird im Zuge einer Unterrichtseinheit nicht stark verändert. Es bleibt damit schlüssig, dass in dieser Studie das Vorwissen auch auf die Zielorientierung (Abb. 1) und kognitive Ladung (Abb. 2) einwirkte und nicht andersherum.

bekräftigt werden: Ausgehend von der Gruppenzugehörigkeit (Hin- oder Rückführung) moderiert das Vorwissen der Lernenden deren Wissensstand (p = .009 hoch sign.) und andeutungsweise die Wahrnehmung der Zielorientierung des Unterrichtes (p = .09 marginal sign.).

Hinführend strukturierter Unterricht wird als ablenkender und komplexer wahrgenommen: In Abb. 2 sind Scatterplots mit Regressionsgeraden für die ECL und ICL über dem Vorwissen dargestellt. Im linken Bild sind für beide Geraden nahezu gleiche, negative Steigungen erkennbar. Im rechten Bild ähnelt die blaue/dunkle Gerade (Gruppe Hinführung) einer Konstanten (= keine Korrelation), während die orange/helle Gerade (Gruppe Rückführung) eine deutliche negative Steigung aufweist. Wir interpretieren, dass das Vorwissen der Lernenden in beiden Gruppen deren wahrgenommene ECL beeinflusst (Abb. 2 links). Interessant ist, dass das Vorwissen der Schüler*innen in der Gruppe Hinführung (blau/dunkel) kaum Einfluss auf deren wahrgenommene ICL zeigt, während solches in der Gruppe Rückführung (orange/hell) durch die negative Steigung angedeutet wird (Abb. 2 rechts). Diese Unterschiedlichkeit motivierte uns zu testen, ob das Vorwissen eine moderierende Wirkung auf den Effekt zeigt, den die Gruppenzugehörigkeit (Hin- oder Rückführung) auf die ICL hat (vgl. Unger & Rincke, 2024). Ein solcher Moderatoreffekt konnte statistisch nicht signifikant bekräftigt werden (p = .10). Es deutet sich somit lediglich eine Tendenz zur Moderation durch das Vorwissen an. In Abb. 2 liegen in beiden Graphiken die blauen/dunklen Geraden im Bereich des Mittelwerts (Nullpunkt) ± 1 Standardabweichung über den orangen/hellen Geraden. Das bedeutet: Lernende der Gruppe Hinführung schätzen ihre ECL und ICL abhängig vom Vorwissen höher ein als diejenigen der Gruppe Rückführung (vgl. t-Test-Vergleiche in Unger & Rincke, 2024).

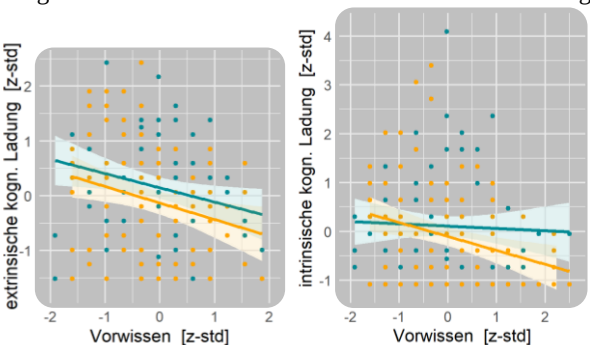


Abb. 2: Extrinsische und intrinsische kogn. Ladung über Vorwissen. Z-standardisierte Werte. 95% Konfidenzintervall um die lin. Regression (heller Bereich um die Geraden). Blau: Hinführung. Orange: Rückführung.

Hin- und Rückführung beeinflussen das Interesse nicht direkt: Der in Abb. 3 dargestellte Scatterplot stellt eine kleine Kuriosität dar, die wir im Tagungsbandformat nicht vorenthalten wollten: Einer Empfehlung von Frau Sumfleth folgend untersuchten wir einen möglichen Einfluss der ICL auf das situationale Interesse der Lernenden[6]. Wir erkennen einen deutlichen Unterschied in den Steigungen beider Regressionsgeraden und vermuten über die Richtung der Korrelation folgendes: Die wahrgenommene Komplexität beeinflusst in der Rückführung das situationale Interesse stärker als in der Hinführung. Interessant ist dabei, dass sich für sonst keine Variable Unterschiede im Zusammenhang mit dem situationalem Interesse zwischen den Gruppen Hin- und Rückführung zeigten. Wir konnten einen höchst sign. (p < .001) Moderatoreffekt der ICL bestimmen.

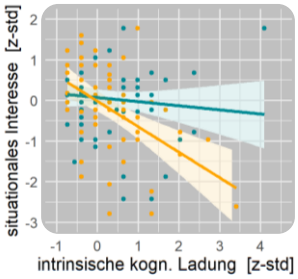


Abb. 3: Situationales Interesse über ICL. Z-standardisierte Werte. 95% Konfidenzintervall um die lin. Regression (heller Bereich um die Geraden). Blau: Hinführung. Orange: Rückführung.

[6] Kontext: GDCP Schwerpunkttagung Interesse (2024).

Literatur

Berger, R. (2000). Moderne bildgebende Verfahren der medizinischen Diagnostik. Ein Weg zu interessanterem Physikunterricht. Logos.

Duit, R. (1995). Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr- und Lernforschung. Zeitschrift für Pädagogik, 41(6), 905–923. https://doi.org/10.25656/01:10536

Fechner, S. (2009). Effects of context-oriented learning on student interest and achievement in chemistry education. Logos.

Field, A. P., Miles, J., & Field, Zoë. (2012). Discovering statistics using R. Sage.

Geller, C. (2015). Lernprozessorientierte Sequenzierung des Physikunterrichts im Zusammenhang mit Fachwissenserwerb: Eine Videostudie in Finnland, Deutschland und der Schweiz. Logos.

Habig, S. (2017). Systematisch variierte Kontextaufgaben und ihr Einfluss auf kognitive und affektive Schülerfaktoren. Logos.

Hidi, S., & Renninger, K. A. (2006). The Four-Phase Model of Interest Development. Educational Psychologist, 41(2), 111–127. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_4

Klepsch, M., Schmitz, F., & Seufert, T. (2017). Development and Validation of Two Instruments Measuring Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. Frontiers in Psychology, 8, 1997.

Leppink, J., Paas, F., Van der Vleuten, C. P. M., Van Gog, T., & Van Merriënboer, J. J. G. (2013). Development of an instrument for measuring different types of cognitive load. Behavior Research Methods, 45(4), 1058–1072. https://doi.org/10.3758/s13428-013-0334-1

Maurer, C. (2016). Strukturierung von Lehr-Lern-Sequenzen. Logos.

Oser, F., K., & Baeriswyl, F., J. (2001). Choreographies of teaching: Bridging instruction on learning. Handbook of Research on Teaching, 1031–1065.

Reyer, T. (2004). Oberflächenmerkmale und Tiefenstrukturen im Unterricht: Exemplarische Analysen im Physikunterricht der gymnasialen Sekundarstufe. Logos.

Schöne, C. (2007). Zielorientierung und Berzugsnormpräferenz in Lern- und Leistungssituationen. Justus-Liebig-Universität.

Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (2019). Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. EducationalPsychologyReview,31(2), 261–292. https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5

Thees, M., Kapp, S., Altmeyer, K., Malone, S., Brünken, R., & Kuhn, J. (2021). Comparing Two Subjective Rating Scales Assessing Cognitive Load During Technology-Enhanced STEM Laboratory Courses. Frontiers in Education, 6, 705551. https://doi.org/10.3389/feduc.2021.705551

Trendel, G., Wackermann, R., & Fischer, H. E. (2008). Lernprozessorientierte Lehrerfortbildung in Physik. Zeitschrift für Pädagogik, 54(3), 322–340.

Trepke, C., Seidel, T., & Dalehefte, I. M. (2003). Zielorientierung im Physikunterricht. In T. Seidel, M. Prenzel, R. Duit, & M. Lehrke (Hrsg.), Technischer Bericht zur Videostudie „Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht“ (S. 201–228). IPN Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.

Unger, P., & Rincke, K. (2022). Vergleich analysierender und erarbeitender Strukturierungen im Physikunterricht. Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen, 736–739.

Unger, P., & Rincke, K. (2023). Vergleich hinführender und rückführender Strukturierungen mit dem Vorwissen. GDCP Tagungsband: Lernen, Lehren und Forschen in einer digital geprägten Welt, 718–721.

Unger, P., & Rincke, K. (2024). Vergleich hinführender und rückführender Verknüpfung des Vorwissens. GDCP Tagungsband: Frühe naturwissenschaftliche Bildung, 542–545.

Wackermann, R., & Krabbe, H. (2017). Die Basismodelle des Lehrens und Lernens. Ein Analysewerkzeug zur Aus- und Fortbildung von Physiklehrkräften. MNU Journal, 70, 122–130.

Die verwendeten Abbildungen wurden in R-Statistics mit dem Packet ggplot2 selbst erstellt.

Josefin Metje[1]
Marco Seiter[1]
Heiko Krabbe[1]

[1]Ruhr-Universität Bochum

Schülerakzeptanz der Ensemble- und Kopenhagener Deutung

Motivation & Hintergrund

Im Zuge der sogenannten zweiten Quantenrevolution machen moderne Quantentechnologien bedeutende Fortschritte, wodurch die Quantenphysik über ihre grundlegende theoretische Rolle hinaus an Bedeutung gewinnt (Pospiech, 2021). Das Unterrichten der Quantenphysik stellt hierbei eines der anspruchsvollsten Bildungsprojekte dar (Scholz et al., 2020). Diese Herausforderung ergibt sich unter anderem daraus, dass quantenphysikalische Phänomene weniger intuitiv sind als klassische physikalische Phänomene und experimentelle Ergebnisse scheinbar im Widerspruch zu alltäglichen Erfahrungen stehen, was die Bedeutungszuschreibung für Lernende erschwert (Boucheé et al., 2021). Viele Studien beschäftigen sich in diesem Zusammenhang mit den Lernschwierigkeiten oder der Entwicklung von Unterrichtsmaterialien zur Verbesserung des Verständnisses, während die Einbeziehung von Deutungen bisher eher vernachlässigt wurde (Baily & Finkelstein, 2015). So werden diese in der Regel implizit verwendet (Greca & Freire, 2014). Dabei können Interpretationen einen Einfluss auf die Perspektiven von Schülerinnen und Schülern haben und sollten dementsprechend explizit bei der Unterrichtsplanung berücksichtigt werden (Krijtenburg-Lewerissa et al., 2017). Durchaus existiert zwar eine genaue mathematische Beschreibung der Quantenphysik. Bei der Deutung des Formalismus ist sich hingegen selbst die wissenschaftliche Gemeinschaft uneinig, und bis heute gibt es Diskussionen über die meist epistemische Interpretation (Schlosshauer et al., 2013). Auch die Ergebnisse von quantenphysikalischen Experimenten können über die statistische Beschreibung hinaus verschieden gedeutet werden. In Anbetracht der Präferenz von Lehrkräften für Realexperimente in ihrem Physikunterricht (Weber, 2018) stellt die Schülerperspektive auf die Deutung dieser Experimente einen essenziellen Untersuchungsgegenstand dar. Eine geeignete Deutungsgrundlage bietet ein Schlüsselexperiment, bei dem eine Koinzidenzmessung an den beiden Ausgängen eines Strahlteilers durchgeführt wird. Dieses Experiment dient als Nachweis für die Unteilbarkeit von Photonen, und vermag einen wesentlichen Beitrag zu leisten, mit Lernhindernissen umzugehen und quantenphysikalische Phänomene zu verstehen (Scholz et al., 2020). In der wissenschaftlichen Gemeinschaft gibt es tendenziell eine Zustimmung zur Kopenhagener Deutung (Schlosshauer et al., 2013). Sie wird auch in Lehrkontexten wie beispielsweise in dem Ansatz von Cleve (2023) eingesetzt. Nach dieser Deutung wird der Zustand eines Quantenobjekts erst durch die Messung bekannt (Weizsäcker, 1941). Dabei findet ein „Übergang vom Möglichen zum Faktischen“ statt, also von den Wahrscheinlichkeiten zu den tatsächlichen Messergebnissen während des „Beobachtungsaktes“ (Heisenberg, 1956, S. 298-299). Die Eigenschaften der Quantenobjekte werden erst durch die Wechselwirkung mit anderen Systemen zugänglich (Bohr, 1928). Diese Sichtweise stellt eine Abkehr von der klassischen Vorstellung einer objektiven Realität dar und führt zu scheinbar paradoxen Aussagen. Schrödinger entwickelte beispielsweise ein Gedankenexperiment, das später unter dem Namen „Schrödingers Katze“ bekannt wurde, um die Absurdität dieser Interpretation zu verdeutlichen (Baumann & Sexl, 1984). Mit der Ensemble-Deutung könnten diese Paradoxien vermieden werden. Sie wird ebenfalls bereits in Lehrkonzepten, wie beispielsweise in dem nach Bitzenbauer (2021), eingesetzt. Im Gegensatz zur Kopenhagener

Deutung werden hier keine Wahrscheinlichkeitsaussagen für das Einzelsystem abgeleitet, sondern es wird über ein Ensemble gleichartig präparierter Quantenobjekte gesprochen.

Ziel und Forschungsfrage

Da beide Deutungen in Lehrkontexten anzutreffen sind und sich grundlegend darin unterscheiden, inwiefern Aussagen über ein Einzelsystem getroffen werden, wurden sie für die Studie herangezogen. Ziel der Untersuchung ist es, die Akzeptanz der Schülerinnen und Schüler gegenüber den Deutungen zu erfassen, um Einblicke in deren Perspektive zu gewinnen und Hinweise für schülerorientierte Lehrangebote zu erhalten. Daraus ergibt sich folgende Forschungsfrage:

- Inwiefern akzeptieren Schülerinnen und Schüler die Deutung eines Strahlteilerexperiments mit Einzelphotonen nach der Ensemble- bzw. der Kopenhagener Variante, und worin bestehen Akzeptanzunterschiede?

Studiendesign

Die Akzeptanzbefragung ist in Anlehnung an Wodzinski (1996) als aufeinander aufbauende Abfolge von Befragungsphasen konzipiert. Zunächst erfolgte in 1:1-Interview-ähnlichen Konstellationen die Präsentation eines Informationsangebots, gefolgt von der Erhebung der Plausibilität. Als Informationsangebot diente das bereits genannte Strahlteilerexperiment, welches mit einem Quantenkoffer der Firma *qutools* realisiert und jeweils mit der Ensemble- oder Kopenhagener Deutung präsentiert wurde. Die Befragten wurden dazu aufgefordert, die Deutung hinsichtlich der Plausibilität und Verständlichkeit zu beurteilen. Anschließend sollten die Schülerinnen und Schüler zur Untersuchung der Verhaltensakzeptanz, also der praktischen Anwendung der entsprechenden Deutung, das Informationsangebot mit eigenen Worten wiedergeben. Der Versuch wurde daraufhin durch den Einsatz von Polarisationsfiltern vor und hinter dem Strahlteiler erweitert, und die Ergebnisse sollten durch die Lernenden gedeutet werden. Die gesamte Akzeptanzbefragung inklusive Informationsangebot orientierte sich dabei an entsprechenden Interviewleitfäden, die sich nur in deutungsspezifischen Aussagen unterschieden. Die Interviews wurden transkribiert und mittels strukturierender qualitativer Inhaltsanalysen nach Mayring (2015) ausgewertet. An der Studie nahmen 10 Schülerinnen und Schüler der Qualifikationsphase I aus je einem Leistungskurs (N=6) und einem Grundkurs (N=4) an zwei Gymnasien in Nordrhein-Westfalen teil. Die Probanden waren zwischen 16 und 19 Jahren alt. Die Interviews fanden in den Physikräumen der Schulen statt und dauerten jeweils 50 bis 70 Minuten.

Ergebnisse & Diskussion

Für die Auswertung und Interpretation der Daten wurde eine Auslegung des Akzeptanzkonstruktes verwendet, welches zwischen „Einstellungs- und Verhaltenskomponente“ trennt (Müller-Böling & Müller, 1986, S. 25). Die Einstellungsakzeptanz stellt hierbei dar, inwiefern die Lernenden die Deutung als plausibel erachtet haben. Sie wurde als Akzeptanzstufe (A) auf einer Skala (1= vollständig plausibel; 2 = teilweise plausibel, 3 = nicht plausibel) bewertet. Bei der Verhaltensakzeptanz wurde betrachtet, inwiefern die präsentierte Deutung verwendet wurde. Daraus ergeben sich, wie in Tab. 1 dargestellt, vier Benutzertypen. Alle Probanden und Probandinnen, denen das Einzelphotonen-Experiment unter Verwendung der Kopenhagener Deutung vorgestellt wurde, wurden als überzeugte Benutzer eingestuft. Diese Klassifizierung basiert auf der Bewertung der Kopenhagener Deutung als plausibel (A=1) und deren

Anwendung sowohl während der Paraphrasierung als auch in der Anwendungsphase. Kein Teilnehmer der Ensemble-Gruppe zeigte ein vergleichbares Verhalten. Drei Teilnehmer, die die Ensemble-Deutung als plausibel ansahen (A=1), wandten teilweise die Kopenhagener Deutung an und äußerten sich über ein einzelnes Photon, das im Widerspruch zur Ensemble-Deutung steht. Daher erhielten sie die Einstufung verhinderter Benutzer. Zwei weitere Teilnehmer, die die Deutung entweder teilweise oder gar nicht akzeptierten (A=2-3), wiesen keine Einstellungsakzeptanz auf. Eine geäußerte Kritik an der Ensemble-Variante betraf den fehlenden Lebensweltbezug und die unklare Bedeutungszuschreibung. Einer von ihnen tätigte keine Aussagen über ein einzelnes Photon und verwendete die Ensemble-Deutung, weshalb er als gezwungener Benutzer eingestuft wurde. Ein Proband der Ensemble-Gruppe lehnte die Ensemble-Deutung ab, machte Aussagen über ein Photon und nutzte die Kopenhagener Deutung, weshalb er als überzeugter Nichtbenutzer klassifiziert wurde. Tabelle 1 zeigt die beschriebene Zuteilung der Probanden in verschiedene Nutzentypen.

		Verhaltensakzeptanz (Verwendung der präsentierten Deutung)	
		ja	nein
Einstellungs-akzeptanz (Plausibilität)	ja A=1	*überzeugter Benutzer* 5 Kopenhagener 0 Ensemble	*verhinderter Benutzer* 0 Kopenhagener 3 Ensemble
	nein A=2-3	*gezwungener Benutzer* 0 Kopenhagener 1 Ensemble	*überzeugter Nicht-Benutzer* 0 Kopenhagener 1 Ensemble

Tab. 1: Klassifizierte Benutzertypen der Ensemble- und Kopenhagener Gruppe
Anmerkung. In Anlehnung an Müller-Böling & Müller (1986, S. 28).

Aus den Ergebnissen lässt sich ableiten, dass die Kopenhagener Deutung bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe II eine höhere Akzeptanz in der Einstellung und Anwendung findet als die Ensemble-Deutung. Ein potenzieller Erklärungsansatz könnte darin liegen, dass es für den Lernenden gewohnter ist, über eine Entität zu sprechen, wodurch eine gewisse Vertrautheit mit dem Lerngegenstand entsteht. Hierbei könnte die Betrachtung der Verwendung von Animismen Aufschluss geben. Animistische Sprechweisen wurden ausschließlich von Schülerinnen und Schülern verwendet, denen das Experiment mit der Kopenhagener Deutung präsentiert wurde. Dies legt nahe, dass die Präsentation der Kopenhagener Deutung zur Verwendung von Animismen führt, auch wenn diese nicht explizit vermittelt werden. Die höhere Akzeptanz der Kopenhagener Deutung könnte also mit einer natürlichen Neigung zu animistischen Sprechweisen bei abstrakten Dingen zusammenhängen. So zeigte Püttschneider (2005) in einer Interventionsstudie im Chemieunterricht, dass Animismen aufgrund ihrer Verständlichkeit zu einem nachhaltigen motivationalen Effekt führen. Um einen statistischen Vergleich zwischen den Gruppen zu erhalten, erscheint es ratsam, die Akzeptanz zukünftig quantitativ zu erfassen.

Literatur

Baily, C. & Finkelstein, N. D. (2015). Teaching quantum interpretations: Revisiting the goals and practices of introductory quantum physics courses. Physical Review Special Topics. *Physics Education Research, 11*(2), 020124. https://doi.org/10.1103/physrevstper.11.020124

Baumann, K., Sexl, R.U. (1984). Paradoxien tauchen auf. In K. Baumann & R. U. Sexl (Hrsg.), *Die Deutungen der Quantentheorie.* (S. 24–29). Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-663-14179-2_2

Bitzenbauer, P. (2021). Practitioners' views on new teaching material for introducing quan-tum optics in secondary schools. *Physics Education, 56*(5), 055008. https://doi.org/10.1088/1361-6552/ac0809

Bohr, N. (1928). Das Quantenpostulat und die neuere Entwicklung der Atomistik. *The Science Of Nature, 16*(15), 245–257. https://doi.org/10.1007/bf01504968

Bouchée, T., De Putter Smits, L., Thurlings, M. & Pepin, B. (2021). Towards a better under-standing of conceptual difficulties in introductory quantum physics courses. *Studies in Science Education, 58*(2), 183–202. https://doi.org/10.1080/03057267.2021.1963579

Cleve, J. N. (2023). *Die Wesenszüge der Quantenphysik qualitativ und quantitativ – Entwicklung eines Lehrgangs zu Experimenten mit dem Quantenkoffer* (Masterarbeit, Ruhr-Universität Bochum). https://dp.physik.ruhr-uni-bochum.de/wp-content/uploads/sites/7/2023/09/Masterarbeit_Jan-Niklas_Cleve.pdf

Greca, I.M. & Freire, O. (2014). *Meeting the Challenge: Quantum Physics in Introductory Physics Courses*. In M. Matthews, M. (Hrsg.), International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching (S. 183–209). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8_7

Heisenberg, W. (1956). Die Entwicklung der Deutung der Quantentheorie. *Physikalische Blätter, 12(*7), 289–304. https://doi.org/10.1002/phbl.19560120701

Krijtenburg-Lewerissa, K., Pol, H. J., Brinkman, A. & Van Joolingen, W. (2017). Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education. Physical Review. *Physics Education Research, 13*, 010109. https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.13.010109

Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken.* Beltz

Müller-Böling, D. & Müller, M. (1986). *Akzeptanzfaktoren der Bürokommunikation*. Oldenbourg.

Pospiech, G. (2021). Quantum Cryptography as an Approach for Teaching Quantum Physics. In *Challenges in physics education* (S. 19–31). https://doi.org/10.1007/978-3-030-78720-2_2

Püttschneider, M. (2005). *Die Rolle des Animismus bei der Vermittlung chemischer Sachverhalte: eine Interventionsstudie am teutolab der Universität Bielefeld.* (Dissertation, Universität Bielefeld). Cuvillier Verlag.

Qutools (o.D.). Quantenkoffer. https://qutools.com/quantenkoffer_science-kit/

Scholz, R., Wessnigk, S. & Weber, K. (2020). A classical to quantum transition via key experiments. *European Journal Of Physics, 41*(5), 055304. https://doi.org/10.1088/1361-6404/ab8e52

Schlosshauer, M., Kofler, J. & Zeilinger, A. (2013). A snapshot of foundational attitudes toward quantum mechanics. *Studies in History And Philosophy Of Science. Part B Studies in History And Philosophy Of Modern Physics, 44*(3), 222–230. https://doi.org/10.1016/j.shpsb.2013.04.004

Weber K.-A. (2018). *Quantenoptik in der Lehrerfortbildung. Ein bedarfsgeprägtes Fortbildungskonzept zum Quantenobjekt „Photon" mit Realexperimenten*. (Dissertation, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover). Logos-Verlag

Weizsäcker, C.F. (1941). Zur Deutung der Quantenmechanik. Zeitschrift für Physik 118, 489–509. https://doi.org/10.1007/BF01342929

Wodzinski, R. (1996). *Untersuchungen von Lernprozessen beim Lernen Newtonscher Dynamik im Anfangsunterricht* (Dissertation, Universität Frankfurt). LIT.

Felicia Speetzen[1]
Maria Hinkelmann[1]
Ramona Schauer-Bollig[1]
Heidrun Heinke[1]

[1]RWTH Aachen University

Modulare Bausteine eines Escape Games zum Thema Elektromagnetismus

Einleitung

Escape Games erfreuen sich wachsender Beliebtheit und finden zunehmend Anwendung im Bildungsbereich (Veldkamp et al., 2020). Bei sogenannten Educational Escape Games werden fachliche Inhalte in das Spielprinzip eingebunden. Durch die aktive Bearbeitung problemorientierter Aufgaben im Team fördern Educational Escape Games nicht nur fachliche, sondern auch soziale und kommunikative Kompetenzen sowie Problemlösefähigkeiten, was sie besonders für den Physikunterricht geeignet macht (Whitton und Mulvey, 2021).
Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen zweier Bachelorarbeiten ein modulares Escape Game entwickelt, das verschiedene Bausteine umfasst. Diese bestehen sowohl aus einfachen Papierrätseln als auch aus experimentellen und digitalen Komponenten. Die physikalischen Inhalte der Bausteine wurden speziell für den Einsatz im Physikunterricht in der gymnasialen Sekundarstufe I in NRW konzipiert. Im Folgenden werden das Konzept und erste Bausteine des Escape Games zum Thema Elektromagnetismus vorgestellt.

Ziele des Konzepts

Die Integration eines Escape Games in den Physikunterricht bietet die Chance, dem oft als trocken empfundenen Fach neue Attraktivität zu verleihen und auch wenig interessierte Schüler:innen anzusprechen. Durch Escape Games kann die Motivation gesteigert und der Lernprozess interaktiver gestaltet werden (Veldkamp et al., 2020). Dabei erweist sich jedoch oft ein hoher Vorbereitungsaufwand für Lehrkräfte als hinderlich, was die Bereitschaft zur Nutzung solcher Methoden mindert (Veldkamp et al., 2020). Um diesem Problem zu begegnen, wurde ein Konzept entwickelt, das vorbereitete Materialien umfasst. Experimentelle Bestandteile basieren auf gängigen Schulressourcen und digitale Komponenten sind frei zugänglich.
Zudem berücksichtigt das Konzept die Herausforderungen bei der Umsetzung in großen Klassen. Anders als klassische Escape Rooms, die sich meist auf kleine Gruppen beschränken, ist das Escape Game für eine umfassende Einbindung aller Schüler:innen einer typischen Klassengröße konzipiert und soll gezielt die in den Lehrplänen geforderten Inhalts- und Kompetenzbereiche abdecken. Um eine nachhaltige und flexible Nutzung zu gewährleisten, ist das Escape Game wiederverwendbar und kann aufgrund der Modularität an die spezifischen Bedürfnisse der jeweiligen Lerngruppe angepasst werden.

Aufbau des Konzepts

Zu Beginn erstellt die Lehrkraft sogenannte Module, deren Lösungen zu einem *Schatz* führen. Jedes Modul setzt sich aus verschiedenen Bausteinen zusammen, die zentrale Inhalte der Sekundarstufe I abdecken und in experimenteller, digitaler oder Papierform vorliegen. Im Rahmen von zwei Bachelorarbeiten wurden insgesamt 12 Bausteine entwickelt: sechs zur Mechanik (Pracht, 2024) und sechs zum Elektromagnetismus (Speetzen, 2024). Die Lehrkraft ist in

der Auswahl und Reihenfolge der Bausteine flexibel, sodass Spieldauer, inhaltlicher Fokus und Schwierigkeitsgrad flexibel angepasst werden können.
Jeder Baustein eines Moduls stellt ein eigenständiges Rätsel dar und kann mit Rätsel- sowie Hilfekarten gelöst werden. Die Rätselkarten formulieren die Fragestellung und verweisen auf benötigtes Material, während die Hilfekarten gestufte Hinweise bieten. Rätsel- und Hilfekarten sowie das benötigte Material sind mit Symbolen gekennzeichnet, um ihre Zuordnung zu den jeweiligen Rätseln zu erleichtern.
Das finale Ergebnis eines Bausteins ist stets ein dreistelliger Zahlencode, der mit einer Kodierungsscheibe in eine Lösungsziffer umgewandelt wird. Diese Ziffer verweist auf eine Lösungskarte, die einerseits Rückmeldung zur Richtigkeit des Codes gibt und andererseits den Weg zu den nächsten Rätselkarten weist. Bei einem falschen Code erhalten die Spieler:innen eine Lösungskarte mit der Aufforderung, es erneut zu versuchen.
Der Ablauf lässt sich gemäß Abbildung 1 wie folgt veranschaulichen: Beginnend mit den Rätselkarten des ersten Bausteins lösen die Schüler:innen das Rätsel, ermitteln den dreistelligen Code, kodieren diesen mittels der Kodierungsscheibe in eine Lösungsziffer und greifen bei Erfolg zur nächsten Rätselkarte. Dieser Ablauf wiederholt sich, bis alle Bausteine des Moduls bearbeitet sind.

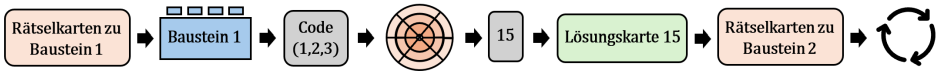


Abb. 1: Zu jedem Baustein gehören begleitende Rätselkarten. Der dreistellige Lösungscode eines Bausteins wird mittels Kodierungsscheibe in eine Lösungsziffer konvertiert, welche die entsprechende Lösungskarte identifiziert und bei korrekter Lösung auf die folgenden Rätselkarten verweist. Quelle: Eigene Darstellung in Zusammenarbeit mit Rebecca Pracht.

Für die Lehrkraft ist der Anpassungsaufwand gering, da Kodierungsscheibe und Lösungskarten die Reihenfolge der Bausteine festlegen. Lediglich die Beschriftung der Kodierungsscheibe und der Lösungskarten muss individuell angepasst werden, während das übrige Material unverändert bleibt. So können unterschiedliche Schülergruppen jeweils individuelle Kodierungsscheiben erhalten, was variable Reihenfolgen und Bausteinkombinationen ermöglicht, die das Abschauen zwischen Gruppen vermeiden.

Bausteine zum Elektromagnetismus

Im Folgenden werden die einzelnen konzipierten Bausteine zum Bereich Elektromagnetismus vorgestellt. Bei Interesse können diese gerne per E-Mail unter felicia.speetzen@rwth-aachen.de angefordert werden.

Domino: Dieser Baustein ist ein Papierrätsel, das Grundgrößen und Gesetze der Elektrizitätslehre verknüpft. Es verbindet Formelzeichen mit Einheiten und thematisiert relevante Formeln sowie das Verhalten von Strom und Spannung in Schaltungen. Die Integration von Messgeräten und die Anwendung des Ohm'schen Gesetzes werden dabei ebenso behandelt. Die Dominokarten, die an bestimmten Stellen zusammengelegt werden müssen, ergeben am Ende den dreistelligen Code.

Ersatzschaltung: Es handelt sich um ein Experimenträtsel zu Reihen- und Parallelschaltungen von Widerständen. Mit einem Elektronikbaukasten und Farbcode-Manual analysieren die Schüler:innen eine Hauptschaltung, bestimmen fehlende Widerstände und berechnen Ersatzwiderstände, um einen dreistelligen Lösungscode zu ermitteln. Alternativ können sie systematisch mit einem Multimeter Widerstandspaare testen.

Elektro-Hockey: Dieser Baustein integriert das Verständnis von elektrischen Ladungsträgern und deren Wechselwirkungen in die Simulation eines Hockey-Spiels. Schüler:innen scannen zunächst einen QR-Code, der sie zu einem digitalen Schloss mit einer Frage leitet. Bei korrekter Antwort öffnet sich eine PHET-Simulation, in der das Spielen in Analogie zu einem Hockey-Spiel mit positiven und negativen Ladungen möglich ist (PHET, o.D). Die Simulation umfasst ein Spielfeld mit Tor, in dem die Ladung des Hockeypucks sowie die Anordnung von Ladungen im Spielfeld variierbar sind. Zur Lösung des Rätsels rekonstruieren die Spieler Torszenen mit unbekannten Ladungen und identifizieren diese, sodass ein Tor erzielt wird.

Feldlinien-Detektiv: Dieser Baustein zielt auf die Visualisierung von Magnetfeldern und das Verständnis des Elementarmagnet-Konzepts ab. Mithilfe eines Kompassnadelbretts, von Punktkarten, einer Zahlenkarte und zwei Stabmagneten stellen die Schüler:innen vorgegebene Feldlinienbilder nach, indem sie die Magnete präzise an markierten Punkten platzieren. Die Kompassnadel zeigt ihnen die richtige Position an, um das vorgegebene Bild auf der Punktkarte nachzubilden. Der Lösungscode wird über die Zahlenkarte kodiert.

Sternschaltung: In diesem Baustein wird die Bestimmung unbekannter elektrischer Widerstände durch Messungen von Strom und Spannung angestrebt. Hierfür werden drei Widerstände in einer Sternschaltung angeordnet, wobei einer als bekannt angenommen wird. Den Schüler:innen stehen ein Voltmeter, ein Amperemeter, Kabel, eine Batterie und ein Taschenrechner zur Verfügung. Die Bestimmung der unbekannten Widerstände erfolgt durch Messungen in Reihenschaltungen von jeweils zwei Widerständen und die Lösung eines entsprechenden Gleichungssystems. Ungenauigkeiten können durch gezielte Auswahl von Widerstandskombinationen auf der Rätselkarte ausgeglichen werden.

Rätselhafte Spannung: Dieser Baustein behandelt die Prinzipien der elektromagnetischen Induktion. Die Schüler:innen erzeugen mit Spulen unterschiedlicher Windungszahl, einem Multimeter, Kabeln und Magneten verschiedener Stärke eine Spannung. Ziel ist es, durch gezielte Variation der Parameter eine maximale Spannung zu induzieren. Eine Rätselkarte liefert einen Schaltplan als Grundaufbau, eine weitere Karte gibt steuerbare Versuchsparameter gemäß der Variablenkontrollstrategie vor. Bei Identifizierung der richtigen Einflussgrößen ergibt sich der Lösungscode.

Ausblick

Im Rahmen der Bachelorarbeit wurden vier der sechs Bausteine zum Elektromagnetismus von einer kleinen Gruppe von Schüler:innen (N=3) getestet, was eine signifikante Einschränkung darstellt. Dennoch eröffnen diese Tests einen ersten Eindruck von der Funktionalität und Akzeptanz. Aktuell erfolgen vertiefende Tests im Rahmen von LabsOnTour (vgl. Hinkelmann, 2022) und dem Schülerlabor der RWTH, um die Bausteine weiterzuentwickeln.

Einige Bausteine erfordern Anpassungen zur Vereinfachung – beispielsweise durch die Einführung unterschiedlicher Schwierigkeitsgrade. Langfristig ist die Schaffung eines umfassenden Pools an Bausteinen zu verschiedenen Themen geplant, der Lehrkräften kostenlos zur Verfügung stehen soll. Dies zielt darauf ab, eine breite inhaltliche Abdeckung zu gewährleisten, um das Interesse am Physikunterricht zu fördern und der Unbeliebtheit des Faches entgegenzuwirken.

Literatur

Hinkelmann, M. (2022). Konzipierung und Pilotierung eines Kurses zur Förderung des Interesses von Schüler:innen an MINT-Themen im außerschulischen Rahmen. Masterarbeit. Aachen: RWTH Aachen University, I. Physikalisches Institut (IA).

PHET (o. D.). Electro Hockey Simulation. url: https://phet.colorado.edu/de/simulations/electric-hockey. (Letzter Aufruf 30.10.2024).

Pracht, R. (2024). Konzeption eines modularen Escape Games und Entwicklung variabel einsetzbarer Bausteine zum Themenbereich Mechanik. Bachelorarbeit. Aachen: RWTH Aachen University: I. Physikalisches Institut (IA)

Speetzen, F. (2024). Konzeption eines modularen Escape Games und Entwicklung variabel einsetzbarer Bausteine zum Themengebiet Elektromagnetismus. Bachelorarbeit. Aachen: RWTH Aachen University, I. Physikalisches Institut (IA).

Veldkamp, A., L. van de Grint, M.-C. Knippels und W. van Joolingen (2020). Escape education: A systematic review on escape rooms in education. In: Educational Research Review 31, S. 1-6. url: https : / / www . sciencedirect . com / science / article / pii / S1747938X20300531. (Letzter Aufruf 27.10.2024).

Whitton, N. und J. Mulvey (2021). Escape Rooms im Unterricht verwenden. url: https:// unterrichtsgestaltung-mit-medien.de/auflage-1/escape-room-als-lernspiel-imunterricht/. (Letzter Aufruf 27.10.2024).

Rebecca Pracht[1]
Maria Hinkelmann[1]
Ramona Schauer-Bollig[1]
Heidrun Heinke[1]

[1]RWTH Aachen University

Bausteine zum Thema Mechanik für ein modulares Escape Game

Einleitung

Eine neue Möglichkeit, Lernen mit Spaß zu verbinden, bieten Escape Games. Diese interaktiven Spiele entführen Schüler:innen in eine Welt voller Rätsel und Herausforderungen, die sie im Team lösen müssen. Dabei wird nicht nur Wissen auf spielerische Weise angewendet, sondern auch die Zusammenarbeit innerhalb der Gruppe gefördert (vgl. Jantschek, 2019). Escape Games sind nicht nur flexibel einsetzbar, um verschiedene Bildungsziele zu erreichen, sondern fördern auch wichtige Kompetenzen wie kritisches Denken und problemorientiertes Lösen. Darüber hinaus wird erwartet, dass sie die Motivation der Schüler:innen steigern – auch im oft als trocken empfundenen Physikunterricht. Die Schüler:innen haben im Spiel die Möglichkeit, Physik aus einer völlig neuen Perspektive zu entdecken und dabei ein Interesse für das Fach zu entwickeln. (vgl. ebd.)

Im Rahmen zweier Bachelorarbeiten wurden ein Konzept und Bausteine für ein modulares Escape Game entwickelt, wobei die erste Arbeit Bausteine zur Mechanik (vgl. Pracht, 2024) und die zweite zum Elektromagnetismus (vgl. Speetzen, 2024) thematisiert. Der folgende Beitrag fokussiert ausschließlich auf die Arbeit zu den Mechanik-Bausteinen.

Konzept des modularen Escape Games

Das Ziel des Spiels besteht darin, eine mit einem Zahlenschloss gesicherte Dose zu öffnen. In dieser Dose können beispielsweise Süßigkeiten oder Hausaufgabengutscheine enthalten sein. Das Escape Game wird in Gruppen von drei bis fünf Schüler:innen durchgeführt, wobei mehrere Gruppen gleichzeitig innerhalb einer Klasse spielen. Der Klassenraum fungiert als Spielort und wird aktiv genutzt, indem Materialien an verschiedenen Stellen versteckt werden, die von den Schüler:innen gefunden werden müssen.

Das Escape Game setzt sich aus verschiedenen Rätseln zusammen, die als Bausteine bezeichnet werden. Diese lassen sich in folgende Rätseltypen unterscheiden: Arbeitsblatträtsel, experimentelle Rätsel und digitale Rätsel. Die Arbeitsblatträtsel erfordern lediglich Papiermaterialien. Experimentelle Rätsel beinhalten ein kleines Live-Experiment, das die Schüler:innen sowohl aufbauen als auch durchführen müssen. Digitale Rätsel integrieren digitale Elemente, die von interaktiven Bildschirmexperimenten (IBEs) bis hin zu Simulationen reichen.

Für die Durchführung des Escape Games werden eine Kodierungsscheibe, verschiedene Karten sowie spezifische Materialien für die jeweiligen Bausteine benötigt. Es gibt Rätselkarten, Lösungskarten und Hilfekarten. Jeder Baustein umfasst eine bestimmte Anzahl von Rätselkarten, welche die Aufgabenstellung darstellen. Darüber hinaus stehen für jeden Baustein drei Hilfekarten zur Verfügung, die Unterstützung beim Lösungsweg bieten. Jeder

Baustein ist durch ein individuelles Symbol gekennzeichnet, das als Orientierungshilfe auf den Rätsel- und Lösungskarten sowie der Kodierungsscheibe dient.
Der Spielablauf ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Schüler:innen müssen anhand der Rätselkarten des ersten Bausteins einen dreistelligen Zahlencode ermitteln. Dieser Code wird anschließend in die Kodierungsscheibe eingegeben, die daraufhin eine einzelne Zahl anzeigt. Die Lösungskarte, die mit dieser Zahl auf der Rückseite versehen ist, wird dann betrachtet. Bei korrekter Lösung des Rätsels gibt die Lösungskarte an, welche Rätselkarten die Schüler:innen als Nächstes anschauen dürfen. Im Falle einer falschen Lösung weist die Lösungskarte mit dem Hinweis „Leider falsch! Versuche es nochmal.“ auf den Fehler hin.

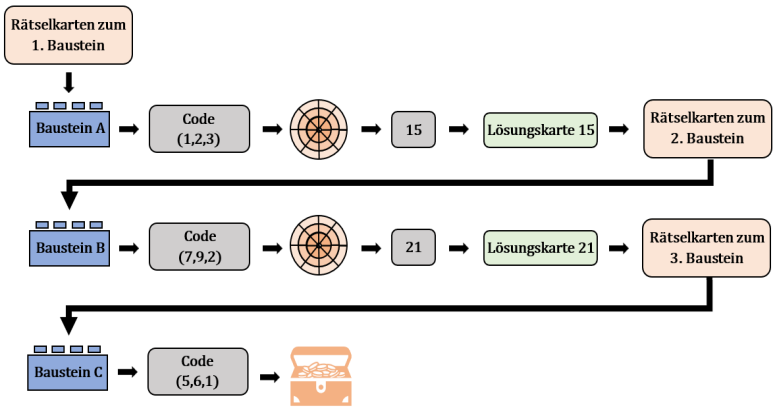


Abb. 1: Spielablauf des modularen Escape Games (Quelle: eigene Abbildung von Felicia Speetzen und Rebecca Pracht)

Die Vorteile dieses Konzepts liegen darin, dass das Escape Game einen modularen Aufbau hat und es somit individuell an die spezifischen Rahmenbedingungen einer Klasse angepasst werden kann. Die Lehrkraft hat die Möglichkeit, das Escape Game aus einer beliebigen Anzahl von Bausteinen zusammenzustellen, was den zeitlichen Aufwand entsprechend reguliert. Darüber hinaus ermöglicht der modulare Aufbau der Lehrkraft, gezielt Bausteine mit passenden Inhalten auszuwählen und somit sowohl den Inhalt als auch den Schwierigkeitsgrad zu steuern. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass der Vorbereitungsaufwand trotz der Individualisierbarkeit gering ist. Bei der Entwicklung der Bausteine wurde zudem darauf geachtet, dass für experimentelle Rätsel wenige Materialien benötigt werden. Außerdem kann das Abschauen von Lösungscodes beim parallelen Spielen von mehreren Gruppen durch eine unterschiedliche Reihenfolge der Bausteine einfach verhindert werden.

Bausteine zum Thema Mechanik

Der Baustein „v-t-Diagramm“ stellt ein Arbeitsblatträtsel dar und behandelt das Thema Geschwindigkeiten. Die Schüler:innen sind aufgefordert, anhand eines v-t-Diagramms den zurückgelegten Weg auf einer Karte einzuzeichnen. Dabei müssen sie sowohl Richtungswechsel, die durch farbige Punkte im Diagramm gekennzeichnet sind, als auch das Vorzeichen der Geschwindigkeit berücksichtigen. Der dreistellige Zahlencode wird den Schüler:innen durch die Karte verraten, da der korrekte Weg über die drei richtigen Zahlen führt.

Der Baustein „Hebel“ ist ein experimentelles Rätsel und behandelt die Themen Hebel und Goldene Regel der Mechanik. Um diesen Baustein zu lösen, sind die Schüler:innen zunächst

aufgefordert, einen Hebel aus einem Lineal und einem Stift zu konstruieren. Anschließend müssen sie die Masse von drei unterschiedlichen Muttern bestimmen. Die Masse einer vierten Mutter wird durch eine Rätselkarte bereitgestellt. Um den Lösungscode zu ermitteln, müssen die Schüler:innen schließlich eine Tabelle finden, die die Messergebnisse einschließlich Messunsicherheiten in den entsprechenden Zahlencode übersetzt.

„Tempo“ ist ein digitales Rätsel, das sich mit Geschwindigkeiten und gleichförmigen Bewegungen auseinandersetzt. Durch das Scannen eines QR-Codes auf einer Rätselkarte gelangen die Schüler:innen zu einem IBE[1]. Dort sind sie aufgefordert, die Durchschnittsgeschwindigkeit von drei Autos zu bestimmen, indem sie die Zeit messen und die zurückgelegte Strecke anhand vorgegebener Markierungen ablesen. Der Lösungscode wird von den Schüler:innen durch eine Abbildung erlangt, die die gemessenen Geschwindigkeiten und deren Messunsicherheiten in numerische Werte umwandelt.

Der Baustein „Quadrat-Puzzle“ ist ein Arbeitsblatträtsel und umfasst die Inhalte Kraft, Newton´sche Axiome, Energie, Druck, Impuls, Reibung, Arbeit und Leistung. Die Schüler:innen sind aufgefordert, ein Puzzle zu lösen, das physikalische Begriffe und Formeln als Paare enthält. Der Lösungscode wird erlangt, indem sie das vollständige Puzzle umdrehen. Bei korrekter Lösung sind dann drei Zahlen auf der Rückseite sichtbar.

Ein weiteres experimentelles Rätsel ist das „Gesetz von Hooke“, welches sich mit dem gleichnamigen physikalischen Gesetz beschäftigt. Die Schüler:innen sollen aus Stativmaterial eine Konstruktion erstellen, an der sie eine Feder aufhängen können. Danach bestimmen sie die Federkonstante von drei unterschiedlichen Federn mithilfe von Massestücken. Der Lösungscode wird aus einer Tabelle abgelesen, die die ermittelten Werte in Lösungszahlen umwandelt.

Der Baustein „Flaschenzug“ kombiniert ein Arbeitsblatträtsel mit einem digitalen Rätsel und thematisiert den Flaschenzug sowie die Goldene Regel der Mechanik. Die Schüler:innen sind zunächst aufgefordert, ein kurzes Quiz mit Fragen zum Flaschenzug zu beantworten. Anschließend gelangen sie über einen QR-Code zu einem IBE[2], in dem sie das Produkt aus Weg und Kraft für den dort dargestellten Flaschenzug berechnen müssen. Der Lösungscode setzt sich aus den Antworten des Quizzes sowie dem berechneten Wert zusammen.

In einer ersten kleinen Erprobung wurden zunächst die Bausteine einzeln von Schüler:innen der Sekundarstufe I bearbeitet. Für alle Bausteine verlief dieser Test erfolgreich, so dass in einem nächsten Schritt das gesamte Escape Game getestet werden kann.

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend wurden sechs Mechanik-Bausteine eines modularen Escape Games entwickelt, die bereits einer einmaligen Erprobung unterzogen wurden. Einige der entwickelten Rätselkonzepte, wie beispielsweise das Quadrat-Puzzle, sind einfach auf andere Themenbereiche übertragbar. Es erscheint daher sinnvoll, weitere Bausteine für andere Themengebiete zu entwickeln, um einen Pool von Rätselbausteinen zu schaffen, aus dem individuelle Escape Games zusammengestellt werden können. Die Materialien wurden als

[1] https://tetfolio.fu-berlin.de/web/1157524
[2] https://tetfolio.fu-berlin.de/web/1145222

Open Educational Resources gestaltet und können bei Interesse von der Autorin Rebecca Pracht bezogen werden (rebecca.pracht@rwth-aachen.de).

Literatur

Jantschek, O. (2019). Gemeinsam rätseln und demokratisch entscheiden: Escape Games in der politischen Bildung. URL: https://www.bpb.de/lernen/digitale-bildung/werkstatt/299699/gemeinsam-raetseln-und-demokratisch-entscheiden-escape-games-in-der-politischen-bildung/. Abgerufen am 26.10.2024

Pracht, R. C. (2024). Konzeption eines modularen Escape Games und Entwicklung variabel einsetzbarer Bausteine zum Themenbereich Mechanik. Bachelorarbeit. Aachen: RWTH Aachen, I. Physikalisches Institut (IA).

Speetzen, F. E. (2024). Konzeption eines modularen Escape Games und Entwicklung variabel einsetzbarer Bausteine zum Themengebiet Elektromagnetismus. Bachelorarbeit. Aachen: RWTH Aachen, I. Physikalisches Institut (IA).

Jenna Koenen[1]
Amina Zerouali[1]

[1]Technische Universität München

DigiProCH@ViFoNET
Digital, sprachsensibel, problembasiert unterrichten

Hintergrund

Digitale Medien bieten im Chemieunterricht zahlreiche Vorteile, indem sie z.B. komplexe naturwissenschaftliche Prozesse durch interaktive Visualisierungen und Simulationen anschaulich darstellen können (Nerdel, 2002). Trotz zahlreicher Vorteile (Wiemann et al., 2010) gilt es beim Einsatz digitaler Medien eine didaktisch sinnvolle Implementation dieser zu gewährleisten, um eine Steigerung des Lernzuwachs zu ermöglichen (Schnotz & Bannert, 2003). Auch im Umgang mit Simulationen und interaktiven dynamischen Visualisierungen können sprachliche Barrieren ein zentrales Hindernis im Chemieunterricht darstellen. Insbesondere da Fachsprache sowohl Lerngegenstand als auch Lernmedium darstellt (Norris & Philips, 2002). Auch hier können digitale Medien dabei unterstützen, diese Barrieren zu überwinden, indem sie helfen den Unterricht sprachsensibel zu gestalten und Hürden für Lernende zu reduzieren. Damit diese Medien effektiv eingesetzt werden können ist es wichtig, Lehrkräfte im Umgang mit digitalen Medien und sprachsensibler Unterrichtsgestaltung zu schulen.

Fortbildungsangebote, die auf die Förderung solcher Kompetenzen abzielen, sind daher essenziell, um die Herausforderungen der digitalen Transformation im Chemieunterricht zu meistern und gleichzeitig die Unterrichtsqualität zu steigern. Insbesondere, da lediglich ein Viertel der Lehrpersonen angeben, den Umgang mit digitalen Medien in ihrer universitären Ausbildung gelernt zu haben (ICLIS, 2018). Nicht verwunderlich erscheint daher, dass deutsche Lehrkräfte (im internationalen Vergleich) selten digitale Medien nutzen (Eikelmann & Drossel, 2020). Fortbildungen bieten Potentiale ebendort anzusetzen.

Grewe und Kollegen (2023) zeigten, dass eine Förderung der professionellen Unterrichtswahrnehmung sowie der Selbstwirksamkeitsüberzeugung von Lehrkräften im Kontext der Sprachsensibilität im naturwissenschaftlichen Sachunterricht mithilfe von Unterrichtsvideos möglich ist.

Zielsetzung

Ziel des vom BMBF geförderten Projektes DigiProCH im Kompetenzverbund ViFoNet ist daher die forschungsbasierte Erstellung, Durchführung, Evaluation und Dissemination eines videobasierten Fortbildungskonzeptes und -moduls zum digital gestützten, problembasierten Unterrichten. Im Fokus steht im Besonderen die sprachsensible Instruktion im Umgang mit digitalen interaktiven Visualisierungen und Simulationen. Zusätzliches Ziel ist die Ermittlung erfolgreicher Gelingensbedingungen, die einen Transfer der Fortbildungsinhalte in die Schulpraxis und in Strukturen der Lehrkräftebildung ermöglichen. ViFoNet ist ein bundesweiter Projektverbund aus sechs Universitäten und Forschungseinrichtungen, der im lernen:digital Kompetenzzentrum Sprache/Gesellschaft/Wirtschaft angesiedelt ist.

Methodische Grundlage

Die Konzeption der Fortbildung folgt empirisch bestätigten Richtlinien und Prinzipien (z.B. DVLfB, 2018; Lipowski & Rezjak, 2019) und orientiert sich an den fünf Gestaltungsprinzipien für Lehrkräftefortbildungen nach Emden und Baur (2017): Duration, content focus, coherence, active learning und collective participation.

Die Fortbildung ist in drei Phasen konzipiert um längere Interaktionsmöglichkeiten zu ermöglichen (duration). In einer ersten Präsenzphase werden Lehrkräfte in das Thema digitalgestütztes problembasiertes Lernen eingearbeitet. In der zweiten, asynchronen digitalen Phase steht die Implementation interaktiver Visualisierungen im eigenen Unterricht im Vordergrund (content focus). Teilnehmende erarbeiten dabei fachspezifische Inhalte selbstständig mithilfe bereitgestellter Materialien auf der Selbstlernplattform Toolbox Lehrerbildung und entwickeln eigene Unterrichtskonzepte während Fortbildende als Coaches zur Verfügung stehen (Göb, 2017). Die Inhalte der Selbstlernplattform sind abgestimmt auf aktuelle Rahmenbedingungen, orientiert am Stand der Unterrichtsforschung (Lipowski & Rezjak, 2021) und können selbstreguliert je nach Bedarf und Vorwissen bearbeitet werden (coherence). Nach Erprobung der digitalen Medien im eigenen Unterricht, werden in der dritten Phase die unterschiedlichen Ansätze in Gruppen reflektiert (collective participation).

Die Fortbildenden stehen dabei als Coaches zur Verfügung (Göb, 2017). Um ein situiertes, Theorie und Praxis verbindendes Lernen zu fördern (Kleinknecht et al., 2014) dienen während allen Phasen Unterrichtsvideos als unterstützendes Instruktions- und Reflexionsmedium.

Material

Die digitalen Ressourcen ermöglichen ein Lernen mit, über und in digitalen Medien und zielen auf die individualisierte Lernunterstützung im Rahmen kooperativer und selbstregulierter Lernformen ab.

Die Inhalte zu digitalgestützten, problembasierten Unterrichten wurden dabei thematisch in die fachwissenschaftlichen Themen „Chemie der Farben“ und „Autos und Emissionen“ eingebettet. Eine große Besonderheit stellen dabei die interaktiven Visualisierungen/ Simulationen dar, die speziell für den Einsatz im Unterricht konzipiert wurden (siehe Abbildung 1). Um eine sprachsensible Implementation dieser Visualisierungen/ Simulationen im Unterricht zu ermöglichen wird zudem ein digitaler Assistent (am Beispiel von Forster et al., 2024) bereitgestellt. Der digitale Assistent umfasst interaktive Optionen die es erlauben Sprachbarrieren zu überbrücken wie z.B. ein digitales Glossar, interaktive Formulierungshilfen, Hilfebutton.

Abb. 1: Ausgewählte digitale Lehr-Lernmaterialen zum Themenbereich Autos & Emissionen.

Um Lehrkräfte bei der Erlangung praxisorientierter Kompetenzen in diesem Kontext zu unterstützen erfolgt eine aufgabenbasierte Nutzung von gescripteten Unterrichtsvideos. Mit Hilfe dieser Videos können „Teile einer komplexen, professionellen Praxis modellhaft, exemplarisch und didaktisch aufbereitet“ in die Lehrkräftebildung transportiert werden (Gratzmeier, 2014). Die gescripteten Videos bieten aufgrund ihrer kompakten und prägnanten Darstellung wesentlicher Unterrichtsprozesse einen erheblichen didaktischen Mehrwert (Blomberg et al., 2013).

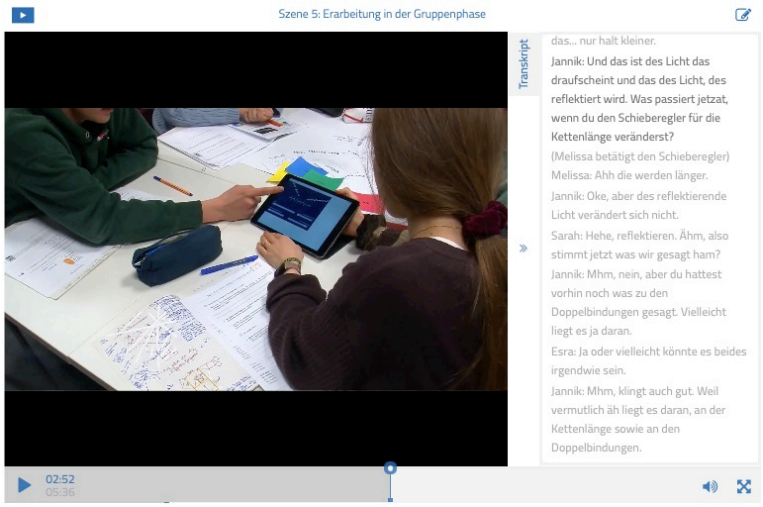


Abb. 2: Screenshot eines gescripteten Unterrichtsvideos zum Einsatz in der Fortbildung.

Ausblick

Die Fortbildungen werden über das Chemielehrkräfte Fortbildungszentrum Erlangen/Nürnberg angeboten. Zur Evaluation der Fortbildung werden drei Messzeitpunkte im Pre-Post-Follow-Up-Design zur Datenerhebung mittels Fragebogen genutzt. Dabei werden basierend auf in der Forschung bereits etablierten, standardisierten Skalen Aspekte wie Selbstwirksamkeit beim Einsatz digitaler Medien, Transferklima, digitale Kompetenzen, Nutzung digitaler Tools, problembasiertes Lernen und Fachsprache erfasst.

Danksagung

Das Projekt DigiProCH wird im Rahmen des bundesweiten Projektverbundes ViFoNet vdurch die Europäische Union – NextGenerationEU finanziert und durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert.

Literatur

Blomberg, G., Sherin, M. G., Renkl, A., Glogger, I., & Seidel, T. (2014). Understanding video as a tool for teacher education: Investigating instructional strategies to promote reflection. *Instructional Science, 42*(3), 443–463. https://doi.org/10.1007/s11251-013-9281-6

DVLfB (Deutscher Verein zur Förderung der Lehrerinnen- und Lehrerfortbildung). (2018). *Recherchen für eine Bestandsaufnahme der Lehrkräftefortbildung in Deutschland: Ergebnisse des Projektes Qualitätsentwicklung in der Lehrkräftefortbildung*. Forum Lehrerfortbildung, Bd. 47. Berlin: Deutscher Verein zur Förderung der Lehrerinnen- und Lehrerfortbildung.

Eickelmann, B., Bos, W., Gerick, J., Goldhammer, F., Schaumburg, H., Schwippert, K., Senkbeil, M., & Vahrenhold, J. (2019). *ICILS 2018 #Deutschland: Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking*. Münster: Waxmann.

Forster, K., Forster, K., Diermann, D., & Koenen, J. (2024). DEAN – Digital unterstützt Experimentieren: Eine Seminarkonzeption. In: *Frühe naturwissenschaftliche Bildung: Tagungsband GDCP Jahrestagung* (S. 802–806).

Grewe, O., Zucker, V., Todorova, M., et al. (2023). Förderung der professionellen Unterrichtswahrnehmung und der Selbstwirksamkeitsüberzeugungen von Masterstudierenden bzgl. sprachsensibler Maßnahmen im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 29*(14). https://doi.org/10.1007/s40573-023-00163-y

Kleinknecht, M., Schneider, J., & Syring, M. (2014). Varianten videobasierten Lehrens und Lernens in der Lehrpersonenaus- und -fortbildung – Empirische Befunde und didaktische Empfehlungen zum Einsatz unterschiedlicher Lehr-Lern-Konzepte und Videotypen. *BzL - Beiträge Zur Lehrerinnen- Und Lehrerbildung, 32*(2), 210–220. https://doi.org/10.36950/bzl.32.2.2014.9613

Lipowsky, F., & Rzejak, D. (2019). Was macht Fortbildungen für Lehrkräfte erfolgreich? – Ein Update. In B. Groot-Wilken & R. Koerber (Hrsg.), *Nachhaltige Professionalisierung für Lehrerinnen und Lehrer: Ideen, Entwicklungen, Konzepte. Beiträge zur Schulentwicklung* (S. 15–56). Bielefeld: wbv.

Nerdel, C. (2002). *Die Wirkung von Simulation und Animation auf das Verständnis von Stoffwechselphysiologischen Zusammenhängen* [Dissertation]. IPN Kiel.

Norris, S. P., & Phillips, L. M. (2003). How literacy in its fundamental sense is central to scientific literacy. *Science Education, 87*(2), 224–240. https://doi.org/10.1002/sce.10066

Jonas Neumayer[1]
Karsten Rincke[1]

[1]Universität Regensburg

Selbstlernphasen von Studierenden im Fach Physik virtuell unterstützen

Einleitung:
Das Projekt *SelVi@ur* verfolgt das Ziel fakultätsübergreifend die Selbstlernphasen und die soziale Eingebundenheit von Studierenden an der Universität Regensburg sowie weiteren Standorten zu verbessern. Dies soll insbesondere mit Hilfe von frei zugänglichen und leicht auf andere Vorlesungen übertragbaren Moodle-Modulen geschehen. Hierzu wurden in jeder Fakultät der Universität Regensburg individuelle Module zum Erwerb und zur Verbesserung von Kompetenzen zum selbstregulierten Lernen (insbesondere der Lernorganisation und der Verwendung von Lernstrategien) sowie zur Stärkung der sozialen Eingebundenheit erstellt. Für das Fach Physik wurden diese Module begleitend zu den Einführungsvorlesungen Physik I & II für Chemie und Lehramt mit Unterrichtsfach Physik entwickelt und erprobt. Inwiefern die Module in ihrer Gesamtheit einen Effekt auf die Selbstlernphasen und die soziale Eingebundenheit der Studierenden der Vorlesung haben, soll mit der Kontrolldatenerhebung im WS24/25 analysiert werden. Die Module sowie nennenswerte Erkenntnisse aus den bereits durchgeführten Befragungen sind im Folgenden dargestellt.

Ausgangssituation:
Im Wintersemester 21/22 wurde in der Erstsemestervorlesung Physik I zu Beginn ($n_1 = 77$) und am Ende der Vorlesungszeit ($n_1 = 32$) eine Befragung durchgeführt. Die Vorlesung wurde hybrid (analog + livestream via Zoom) gehalten und es besuchten ca. 80 Studierende die Vorlesung (analog + digital). Der Fragebogen umfasste die Messgrößen *Soziale Eingebundenheit* (nach Bastiaens et al, 2019), *Selfregulated Learning* (nach Bellhäuser et al, 2016) und *Verwendung von physikalisch-mathematischen Lernstrategien* (angelehnt an Liebendörfer et al, 2020). Die Teilnehmenden konnten hierbei die einzelnen Fragen auf einer 6-stufigen Skala von 1 =„trifft gar nicht zu“ bis 6 =„trifft voll zu“ beantworten.

	$n_1 = 77$	$n_2 = 32$[1]
Soziale Eingebundenheit (SE)	3,93	4,00
Selfregulated Learning (SL)	3,58	3,66
Lernstrategien (LSG)	4,08	4,16

Es zeigte sich, dass die Studierenden ihre Situation mittelmäßig bis gut bezüglich der drei Messgrößen betrachten. Auch parallel zum Fragebogen gehaltene Interviews ($n_I = 4$) mit Studierenden der Vorlesung bestätigten diesen Eindruck und gaben erste Hinweise auf mögliche Ansatzpunkte für Unterstützungshilfen.

Entwicklung und Optimierung der Module:

[1] Der Unterschied zwischen den beiden Teilnehmerzahlen ist darauf zurückzuführen, dass der Fragebogen während der Vorlesungszeit durchgeführt wurde und im Laufe des Semesters die Zahl der anwesenden Studierenden in der Vorlesung stark abnahm. So waren zum zweiten Erhebungszeitpunkt nur noch knapp über 32 Personen anwesend.

Zur Entwicklung und anschließender Optimierung der Module wurden über zwei Semester hinweg (WS22/23 und SoSe23) erste Module entworfen, in die Vorlesung implementiert und analysiert. Letzteres geschah insbesondere über leitfadengestützte Interviews ($n_{I,Entw.} = 7$), einem Fragebogen zur quantitativen Bewertung der Module ($n_{F,Entw.} = 33$) und der Nutzungshäufigkeit der Module (via Klickzahlen auf der Moodle-Seite zur Vorlesung).

Entwickelte Module

Als vielversprechendste Module sind die Module *Looking for learning group?*, *Worked Examples* und *Musteraufgabe – Video* zu nennen. Alle drei wurden im Mittel von den Befragten (Fragebogen und Interviews) als sehr positiv wahrgenommen.

- *Looking for learning group?*: Ein Großteil der Studierenden gab an entweder bereits Teil einer Lerngruppe zu sein oder auf der Suche nach einer zu sein. Auch aus empirischer Sicht bergen Lerngruppe durch das kooperative Lernen innerhalb dieser Gruppen das Potential den Lernprozess positiv zu unterstützen, wie auch einen positiven Einfluss auf die soziale Eingebundenheit der Studierenden zu haben (vgl. Konrad, 2014, Kapitel 8; Braungardt, 2021). Das Modul beschreibt ein Moodle-Umfrage Tool, welches dafür verwendet wurde, die Bildung von Lerngruppen unter den Studierenden zu unterstützen. Aufgrund der Unabhängigkeit des Vorlesungsinhalts und der Veranstaltungsform ist dieses Modul mit sehr geringem Aufwand auf andere Vorlesungen und Seminare übertragbar. Studierende, welche das Tool nicht verwendeten oder benötigten, empfanden es dennoch nicht als störend und würden es auch für weitere Veranstaltungen beibehalten.
- *Worked Examples* und *Musteraufgabe – Video:* Dass Worked Examples eine lernwirksame Lernmethode darstellen können, wurde in den letzten Jahrzenten empirisch belegt (Schmidt et al, 2007). Die beiden Module beschreiben semesterbegleitende Lernunterstützungen in Form von ausgearbeiteten Lösungsbeispielen, welche einmal in schriftlicher Form (Modul Worked Examples) und einmal in Form von Videos (Modul Musteraufgabe) dargestellt wurden. Obwohl die Studierenden neben einem PDF-Skript und den üblichen wöchentlichen Übungsblättern noch Altklausuren, ein kommentiertes Audio-Skript sowie ein Video-Skript seitens des Dozenten zur Verfügung gestellt bekommen hatten, wurden die vom Projekt aus entwickelten Worked Examples (sowohl PDF als auch Video) sehr positiv wahrgenommen. So wünschten sich die Studierenden mehr solcher Beispiele und gaben an diese auch an ihre Kommilitonen weiterempfehlen zu würden. Bei einer Befragung, ob sie diese lieber als PDF oder Video präsentiert bekommen wollen, zeigte sich keine Präferenz bei den Befragten. Die Antworten teilten sich gleichermaßen in *PDF*, *Video* und *egal ob PDF oder Video* auf. Der hohe Erstellungsaufwand eigener Worked Examples und der starke Inhaltsbezug schränken jedoch eine einfache Übertragung auf andere Vorlesungen stark ein.

Die Module *Advance Organizer*, *Lernen Sie Ihren Dozenten kennen* und *Literaturvideo* können als neutral verbucht werden. Sie wurden von den Studierenden in gleichermaßen positiv wie negativ (überflüssig / unnötig) wahrgenommen. Als lernhinderlich oder störend wurden die Module nur in sehr wenigen Ausnahmefällen bezeichnet.

- *Advance Organizer*: Um das Vernetzen von vorhandenem und neu hinzugekommenem Wissen zu unterstützen, ist es hilfreich den Studierenden zu Semesterbeginn die Lernziele, den Ablauf, den Inhalt, sowie die Zusammenhänge der Vorlesung transparent zu machen. Eine Möglichkeit dies zu realisieren, bietet ein Advance Organizer (Gottein, 2014). Wenngleich ca. die Hälfte der Studierenden das Angebot wahrgenommen haben, wurde dessen positiver Effekt von der großen Mehrheit der Befragte in Frage gestellt. Aufgrund des

überschaubaren Aufwands in der Erstellung und den vereinzelten positiven Rückmeldungen kann der Advance Organizer weder überwiegend positiv noch negativ bewertet werden.

- *Lernen Sie Ihren Dozenten kennen*: Ein Aspekt der sozialen Eingebundenheit der Studierenden stellt die Verbundenheit der Studierenden mit dem Dozierenden (respektive der Veranstaltung) dar. In diesem Modul sollte zu Beginn des Semesters den Studierenden die Lehrperson vorgestellt und nähergebracht werden. Durch Persönliche Eckdaten (wie dem eigenen Werdegang, Forschungsinteresse oder persönlichen Interessen) sollte der Dozent den Studierenden nahbarer erscheinen, um somit die Hemmschwelle für Fragen zu senken. Etwa die Hälfte der Vorlesungsteilnehmenden haben den Steckbrief des Dozenten durchgelesen und in gleichermaßen positiv wie negativ bewertet. Vorteil hierbei ist, dass der Zeitaufwand bei der Erstellung überschaubar ist und ein solcher Steckbrief zu großem Teil identisch in allen Lehrveranstaltungen einer Person eingesetzt werden kann.
- *Literaturvideo*: In den Interviews stellte sich heraus, dass viele Studierende unterschiedliche Herangehensweisen bei der Suche nach Informationen (beispielsweise für eine Übungsaufgabe) an den Tag legen. Während manche ausschließlich mit dem eignen handschriftlichen Skript arbeiten, greifen andere vorwiegend auf externe Quellen wie Fachbüchern, dem Internet oder Kommilitonen zurück. Mit Hilfe eines Videos soll den Studierenden deshalb zu Semesterbeginn die Möglichkeit gegeben werden, verschiedene Wege zur Literatursuche in der Physik kennen zu lernen. Es soll den Studierenden (insbesondere des ersten Semesters) zeigen, wie im (universitären) Fach Physik zeiteffizient Literaturrecherche betrieben bzw. fehlende Informationen für Übungsaufgaben gesucht werden können. Zwar haben nur knapp 10% der Lernenden das Angebot wahrgenommen, doch haben es diese als sehr hilfreich beschrieben. Die restlichen 90% gaben als Grund an, weshalb sie das Video nicht verwendeten, dass sie entweder dafür keine Zeit oder keinen Bedarf an Unterstützungen in dieser Thematik hatten. Wenngleich das Video einen hohen Zeitbedarf in der Produktion erfordert, so kann es aufgrund des Themenübergreifenden Inhalts für Erstsemesterstudierende im Fach Physik empfohlen werden.

Negativ zu bewerten sind die Module *Peer-Feedback* und *Lerntagebuch*. Auch wenn aus empirischer Sicht die Lernstrategie des (Peer-)Feedbacks ein vielversprechendes Lernpotential birgt (Hattie & Timperley, 2007; Huisman et al, 2019), hat keiner der Studierenden das Angebot der beiden Module wahrgenommen. Auch auf Nachfrage zeigte sich, dass entweder kein Unterstützungsbedarf in diesem Bereich besteht oder der vermeintliche Zeitaufwand als nicht leistbar eingeschätzt wurde. Aus diesem Grund wurden die Module aus der Vorlesung entfernt und werden demnach auch nicht weiter für die Datenerhebung im WS24/25 berücksichtigt.

Ausblick

Im Wintersemester 24/25 soll der Einfluss der Module auf die soziale Eingebundenheit und Lernstrategien der Studierenden analysiert werden. Hierzu werden die als positiv oder neutral einzuschätzenden Module in die Vorlesung Physik I für Chemie und Lehramt mit Unterrichtsfach Physik implementiert und die Fragebogen-Datenerhebung aus dem Wintersemester 21/22 erneut durchgeführt.

Alle im Rahmen des Projekts entstandenen Module werden aktuell (so weit wie möglich) auf der Virtuellen Hochschule Bayern (vhb) frei zugänglich gemacht. Die Ergebnisse werden ebenfalls in einem E-Book veröffentlicht, welches für das Jahr 2025 geplant ist.

Literatur

Bastiaens, T.J., Weidlich, J. (2019). Designing sociable online learning environments and enhancing social presence: An affordance enrichment approach, *Computers & Education, Volume 142,* ISSN 0360-1315

Bellhäuser, H., Lösch, T., Winter, C., & Schmitz, B. (2016). Applying a web-based training to foster self-regulated learning—Effects of an intervention for large numbers of participants. *The Internet and Higher Education*, *31*, 87-100

Braungardt, K., (2021). Kollaboratives Arbeiten mit digitalen Tools im Lehr-/Lerneinsatz. Zentrum für Wissenschaftsdidaktik, Ruhr-Universität Bochum. eLearning (RUBeL) (Stand: 05. Juli 2021). https://dbs-lin.ruhr-uni-bochum.de/lehreladen/e-learning-technik-in-der--lehre/kollaboratives-arbeiten/

Gottein, H. P. (2014). Dem Lernen eine (Voraus-) Struktur geben: Arbeiten mit dem Advance Organizer im (GW-) Unterricht. *GW Unterricht*, *135*, 33-41.

Hattie, J. & Timperley, H. (2007). The Power of Feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81–112

Huisman, B., Saab, N., van den Broek, P. & van Driel, J. (2019). The impact of formative peer feedback on higher education students' academic writing: a Meta-Analysis. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 44(6), 863–880

Konrad, K. (2014). *Lernen lernen-allein und mit anderen.* Springer Fachmedien Wiesbaden

Liebendörfer, M., Göller, R., Biehler, R., Hochmuth, R., Kortemeyer, J., Ostsieker, L., ... & Schaper, N. (2020). LimSt–Ein Fragebogen zur Erhebung von Lernstrategien im mathematikhaltigen Studium. *Journal für Mathematik-Didaktik 42 (2021), Nr. 1*, *42*(1), 25-59

Schmidt, H. G., Loyens, S. M., Van Gog, T., & Paas, F. (2007). Problem-based learning is compatible with human cognitive architecture: Commentary on Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational psychologist*, *42*(2), 91-97

Rebecca Grandrath[1]
Diana Zeller[1]
Soraya Cornelius[1]
Claudia Bohrmann-Linde[1]

[1]Universität Wuppertal

Fortbildungsreihe der Chemiedidaktik Wuppertal im ComeMINT-Projekt

Das Verbundprojekt Com^{e} MINT Begonnen im Frühjahr 2023 folgt das Verbundprojekt Come MINT Netzwerk dem Slogan „fortbilden durch vernetzen – vernetzen durch fortbilden“. In diesem Sinne werden fachlich fundierte und digitalisierungsbezogene Professionalisierungskonzepte für MINT-Lehrkräfte und Multiplikator:innen unter Berücksichtigung evidenzgestützter Kriterien lernwirksamer Fortbildungen (weiter-) entwickelt, erprobt und zur Nachnutzung aufbereitet. In diesen prototypischen Fortbildungsmodulen sollen auch Kriterien der Querschnittsaufgaben Inklusion und Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) berücksichtigt werden. Im Zuge der Erprobung sind eine Evaluation der Fortbildungsqualität sowie des Kompetenzzuwachses der Teilnehmenden geplant, die perspektivisch auf Verbundebene zusammengeführt und gemeinsam ausgewertet werden sollen.
Das Verbundprojekt vereint etwa 60 Wissenschaftler:innen von 14 Universitäten, die in einem äußeren administrativen Ring sowie mittleren Ring mit verbundübergreifender Informationsfunktion zu Querschnittsanliegen wie beispielsweise Inklusion und BNE sowie in strukturell untergeordneten fachbezogenen Community Nets (Com^{e}Nets) organisiert sind (*Projektwebsite ComeMINT)*. Einen Überblick gibt das Organigramm in Abbildung 1, wobei aufgrund der Ausrichtung des Beitrags das Com^{e}Net Chemie hervorgehoben ist.

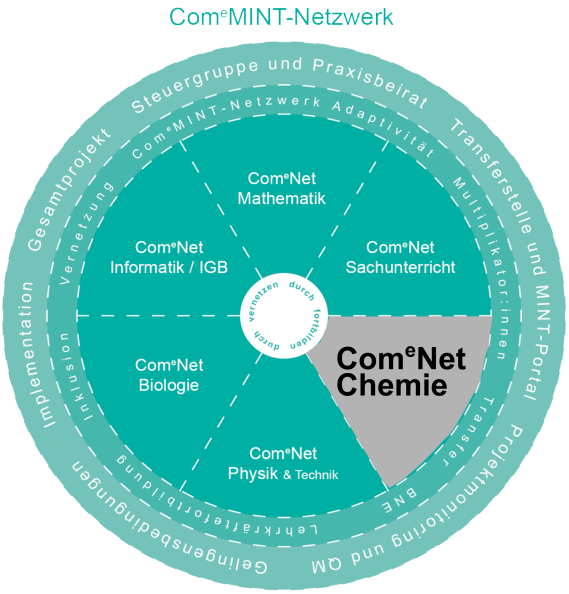


Abb. 1: Organigramm des Com^{e}MINT-Verbundprojektes (Projektwebsite ComeMINT); Com^{e}Net Chemie akzentuiert.

Das Com^{e} Net Chemie Neben den Standorten Paderborn, Weingarten und Bochum ist die Chemiedidaktik Wuppertal in leitender Funktion im Com^{e} Net Chemie vertreten. Unter Entwicklung einer gemeinsamen Handschrift entstehen an den jeweiligen Standorten prototypische, fachlich fundierte und digitalisierungsbezogene Professionalisierungskonzepte zu standortspezifischen Themenschwerpunkten für Chemie-Lehrkräfte und Multiplikator:innen, die sich derzeit in der Erprobungsphase befinden (*Projektwebsite ComeMINT)*. Im Jahr 2023 wurde federführend vom Standort Paderborn eine Bedarfsanalyse durchgeführt, in der speziell die Fortbildungsbedarfe und Desiderate von Chemielehrkräften erfasst wurden, an der 151 Lehrkräfte teilnahmen. Es wurde u.a. deutlich, dass eine Praxisnähe zum Unterricht, sowie der Einbezug von Experimenten und digitalen Tools zum Einsatz im Chemieunterricht gewünscht wird. Weiterhin scheinen singuläre Veranstaltungen gegenüber Fortbildungsserien bevorzugt zu werden (Ponath et al., 2023).

Das Com^{e}MINT Projekt in der Chemiedidaktik Wuppertal Am Standort Wuppertal stellt die Beschäftigung mit der angemessenen Gestaltung von digitalen Medien sowie ihr gewinnbringender Einsatz im schulischen Chemieunterricht beziehungsweise der universitären fachdidaktischen Lehre ein festes Tätigkeitsfeld dar (Bohrmann-Linde et al., 2020; Grandrath et al., 2021; *Homepage der Chemiedidaktik der Universität Wuppertal;* Zeller et al., 2021), sodass Expertise zu schulrelevanten Aspekten der Digitalisierung besteht. Um ein breites Interessengebiet der Lehrkräfte abzudecken, wurden fünf dreistündige Workshops gestaltet, die nicht aufeinander aufbauen, aber dennoch durch thematische Bezüge als verzahnt angesehen werden können:

- *KI-Chatbots für den Chemieunterricht*: In der Lehrkräftefortbildung liegt der Fokus auf dem Erkunden, wie KI-Chatbots das Lernen und Lehren von Chemie, aber auch die Planung und Umsetzung von Chemieunterricht verändern könnten. Gemeinsam werden mit einer Reihe beliebter KI-Chatbots verschiedene Prompts für das Fach Chemie ausgetestet, um daran Chancen, aber auch Grenzen des Einsatzes von KI im Fach auszuloten. Exemplarisch wird ein Unterrichtssetting für den Chemieunterricht vorgestellt, bei dem KI-Chatbots von Lerngruppen eingesetzt werden. Dabei wird auch auf praktische, ethische und rechtliche Herausforderungen eingegangen, die mit der Nutzung von KI-Chatbots im Bildungsbereich verbunden sind.
- *Kritischer Umgang mit Videos im naturwissenschaftlichen Unterricht* (Zeller & Bohrmann-Linde, 2024): In der Lehrkräftefortbildung begeben sich die Teilnehmenden in die Rolle der Lernenden und durchlaufen das didaktische Konzept KriViNat: Zunächst rezipieren sie ein YouTube-Video mit Falschinformationen zu einem klassischen Schulversuch und führen anschließend den gezeigten Versuch durch. Im Anschluss an die Auswertung der Beobachtung erstellen sie ein Storyboard für ein Erklärvideo zur fachlich richtigen Auswertung des Versuchs. Gleichzeitig werden Voraussetzungen für die Umsetzung von KriViNat im Unterricht vorgestellt, um dann gemeinsam über weitere thematische Anknüpfungspunkte und Einsatzmöglichkeiten zu diskutieren.
- *Interaktive Selbstlernbücher im Chemieunterricht* (Zeller & Grandrath, 2024): In der Fortbildung wird es nach einer kurzen Einführung zur Begriffsklärung die Gelegenheit geben, bestehende Selbstlernbücher des Arbeitskreises Didaktik der Chemie an der BUW zu sichten und anhand bereitgestellter Materialbausteine ein eigenes digitales Selbstlernbuch zum digital gestützten Experimentieren zu erstellen. Besonderer Wert wird auf den Austausch zu Erfahrungen mit und Ansprüchen an digitale Selbstlernbücher im (Chemie-)Unterricht gelegt.

- *Videoschnitt für den Chemieunterricht* (Grandrath, 2023): Nach einer Einführung zu Möglichkeiten und sinnhaften Einsatzgebieten von Videoschnitt im Chemieunterricht folgt eine Inputphase zur Gestaltung von Videos im kostenfreien und plattformunabhängigen Programm DaVinci Resolve. Mit diesem Wissen im Hinterkopf, probieren sich die Teilnehmenden nun in der Arbeitsphase selbst in Sachen Videoschnitt aus: Sie können bereitgestellte Filmsequenzen so schneiden, dass sie am Ende des Workshops über ein selbst geschnittenes Versuchsvideo verfügen. Optional wird eine individuelle Begleitung bei späteren Schnittprojekten angeboten.
- *Lernförderliche Videos für den MINT-Unterricht selbst produzieren (Cornelius & Bohrmann-Linde, 2023)*: In dieser Lehrkräftefortbildung werden verschiedene Arten von Lernvideos und deren Produktion besprochen. Weiterhin werden Schnittprogramme für die Videobearbeitung, Gestaltungsprinzipien für multimediales Lernen und interessante Tipps und Tricks für die eigene Videoproduktion vorgestellt. Neben dem Austausch über die Einsatzmöglichkeiten der selbst produzierten Videos im Fachunterricht wird die Möglichkeit gegeben, sich mit anderen Lehrkräften über die Einbindung in den Unterricht, z.B. durch begleitende Aufgaben, auszutauschen.

Als Bezugsrahmen zur Konzeption der Workshops wurde der Europäische Rahmen für die Digitale Kompetenz von Lehrenden (DigCompEdu) gewählt. Mit der Ausgestaltung wurden insbesondere Kompetenzen aus dem „Bereich 2 Digitale Ressourcen“, „Bereich 3 Lehren und Lernen“ sowie „Bereich 5 Lernerorientierung“ adressiert (Redecker, 2017) und somit explizit gefördert.

Die Workshops wurden im Zeitraum von April bis September 2024 erstmalig angeboten. Auf ausdrücklichen Wunsch einiger Lehrkräfte wurden diese in einem online Format umgesetzt. Aufgrund der geringen Teilnehmendenzahl ist bisher die Aussagekraft eingeschränkt, sodass voraussichtlich erst nach Zusammenführung der Evaluationsergebnisse auf Verbundebene Aussagen zur Qualität und Wirksamkeit der Fortbildungen möglich sein werden.

Weiterführung der Projektanliegen Nach Pilotierung der Fortbildungsreihe am Standort Wuppertal werden ausgewählte Workshops – zu interaktiven Selbstlernbüchern sowie Videoschnitt für den Chemieunterricht - zur Distribution und Nachnutzung aufbereitet, sodass die Konzepte unabhängig vom Standort und der durchführenden Person adaptiert und realisiert werden können. Zur Multiplikation ist eine Kooperation mit dem Lehrerfortbildungszentrum Chemie an der Universität Frankfurt am Main angebahnt, die voraussichtlich im Frühjahr 2025 umgesetzt wird. Zudem wird erwogen, die von den teilnehmenden Lehrkräften gewünschten Erweiterungen zu etablieren – etwa Angebote für Fortgeschrittene in Bezug auf die Erstellung von Selbstlernbüchern und Videos sowie ein Workshop zur Erstellung von Animationen.

Literatur

Bohrmann-Linde, C., Zeller, D. & Grandrath, R. (2020). Erstellung eigener digitaler Lehr- und Lerntools: Stärkung der Medienkompetenz bei Lehramtsstudierenden im Fach Chemie: Teil 1. *Chemie und Schule*, *35*(4), 17–21.

Cornelius, S. & Bohrmann-Linde, C. (2023). Kompetenzförderung durch Erklärvideos in einem Selbstlernbuch zum Einstieg in die Organische Chemie. *MNU Journal* (01.2023), 48–54.

Grandrath, R. (2023). Videoschnitt für Einsteiger:innen. *Naturwissenschaften im Unterricht Biologie*, *51*(490), 32–36 (Bearbeitungsschritte zum Videoschnitt lernen).

Grandrath, R., Zeller, D. & Bohrmann-Linde, C. (2021). Digitale Lehr- und Lerntools für den Chemieunterricht mithilfe von PowerPoint: Teil 2. *Chemie und Schule*, *36*(1), 13–16.

Homepage der Chemiedidaktik der Universität Wuppertal: Rubrik "Digitale Medien". https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/de/digitale-medien/

Ponath, J., Bohrmann-Linde, C., Rubner, I., Sommer, K. & Fechner, S. (2023, 11. September). *Digitalisierungsbezogene Kompetenzen (angehender) Chemielehrkräfte*. Posterbeitrag. GDCP Jahrestagung in Hamburg 2023.

Projektwebsite ComeMINT. https://comemint.uni-due.de

Redecker, C. (2017). *European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu*. EUR 28775 EN.

Zeller, D. & Bohrmann-Linde, C. (2024). Falschinformationen in Videos? Mit dem Konzept KriViNat die Kompetenz der Informationsbewertung stärken. In C. Bohrmann-Linde, D. Zeller, T. Kraska, J. Gutenberg, A. Wernicke, C. G. Strippel, T.-P. Schröder, C. Toschka & S. Cornelius (Hrsg.), *Netzwerk Digitalisierter Chemieunterricht* (S. 9–15). Didaktik der Chemie.

Zeller, D. & Grandrath, R. (2024). Eigene interaktive Selbstlernbücher gestalten: Ein Überblick für die Produktion mit Book Creator und Pages. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* (202/203), 8-13.

Zeller, D., Grandrath, R. & Bohrmann-Linde, C. (2021). Digitale Lehr- und Lerntools für den Chemieunterricht mithilfe von Prezi und E-Books: Teil 3. *Chemie und Schule*, *36*(2), 9–13.

Jasmin Moser[1]
Richard Schulte[1]
Frank Seeberger[1]
Jan-Philipp Burde[1]
Walther Paravicini[1]
Stefan Schwarzer[1]
Andreas Lachner[1]

[1]Universität Tübingen

Adaptives Unterrichten in den MINT-Fächern durch Digitalisierung

Theoretischer Hintergrund

Der Umgang mit der wachsenden Heterogenität in Regelklassen stellt Lehrkräfte seit vielen Jahren vor vielfältige Herausforderungen (Trautmann & Wischer, 2011). Ein Ansatz, mit den Herausforderungen umzugehen, ist *adaptiver Unterricht* (Bohl et al., 2017; Sibley & Lachner, 2023a), welcher das Ziel hat, alle Schüler:innen einer Klasse bestmöglich in ihrem individuellen Lernprozess zu unterstützen, wobei gleichzeitig ein gemeinsames Lernziel im Unterricht verfolgt wird (Corno, 2008). Umgesetzt wird dieses Ziel im adaptiven Unterricht durch eine möglichst passgenaue Bereitstellung unterschiedlicher Inhalte und Methoden entsprechend den Lernvoraussetzungen der Lernenden. Anders als bei individualisiertem Lernen geht es bei adaptivem Unterricht um die gezielte Nutzung von Stärken und Schwächen der Schüler:innen als Lerngelegenheit, sodass die gesamte Gruppe voneinander profitieren kann. Somit sind auch Kollaboration und die gemeinsame Arbeit in Kleingruppen ein wichtiges Prinzip adaptiven Unterrichts (Corno, 2008; Sibley et al., 2023). Um die Lernenden in Gruppen einteilen zu können, muss die Lehrperson Einblicke in die Lernvoraussetzungen der einzelnen Schüler:innen gewinnen. Dies geschieht durch regelmäßige, unterrichtsbegleitende *formative Diagnosen*, durch die die Lehrperson Informationen über die gegenwärtigen Lernprozesse erhält. Die Zuweisung der unterschiedlichen Lerninhalte und Methoden aufgrund der vorangegangenen formativen Diagnose wird als *Makroadaption* bezeichnet. Anpassungen, die spontan im Unterricht stattfinden, wie Feedback an die Lernenden, individuelle Unterstützung in Arbeitsphasen oder das Zuweisen von weiterführendem Material, werden hingegen als *Mikroadaptionen* verstanden (Sibley et al., 2023; Sibley & Lachner, 2023b). Für den MINT-Unterricht ist adaptiver Unterricht ein vielversprechender Ansatz, um die unterschiedlichen Voraussetzungen der Lernenden zu adressieren (Sibley & Lachner, 2023a). Digitale Medien bieten dabei Möglichkeiten, die Umsetzung adaptiven Unterrichts zu erleichtern, indem beispielsweise Diagnosen automatisch ausgewertet werden oder die Gestaltung unterschiedlicher Lernpfade und Bereitstellung differenzierter Materialien erleichtert werden. Im Rahmen des Projektes MINT-ProNeD wurden an der Universität Tübingen mehrere Professionalisierungsangebote für MINT-Lehrkräfte entwickelt, um diese bei der Durchführung adaptiven MINT-Unterrichts mit digitalen Medien zu unterstützen.

Anforderungen an die Professionalisierungsangebote

Die Professionalisierungsangebote zielen darauf ab, die MINT-Lehrkräfte 1.) zum didaktisch begründeten Einsatz von digitalen Medien und 2.) zur Umsetzung von adaptivem Unterricht in den MINT-Fächern zu befähigen.

Zur Umsetzung dieser Ziele werden

- zum einen Lehrkräftefortbildungen entwickelt, die den Gestaltungskriterien für wirksame Lehrkräftefortbildungen entsprechen (Lipowsky & Rzejak, 2017). Hierzu zählen bspw. der kollegiale Austausch zwischen den Teilnehmenden sowie die Auseinandersetzung mit den Fortbildungsinhalten über einen längeren Zeitraum hinweg.
- zum anderen ko-konstruktive Unterrichtsentwicklungsprozesse zwischen Lehrkräften und Forschenden im Rahmen von Professionellen Lerngemeinschaften (Bonsen & Rolff, 2006) angeregt, wobei sowohl die wissenschaftliche Perspektive als auch die praktische Perspektive bei der Entwicklung von adaptivem, digitalisierungsbezogenem Unterrichtsmaterial gleichermaßen zur Geltung kommen.

Ausgestaltung der Angebote

Im Rahmen des Projektes MINT-ProNeD entstand an der Universität Tübingen eine fächerübergreifende Onlinefortbildung zum Thema „Adaptiver MINT-Unterricht mit digitalen Medien“, die sich an Mathematik-, Physik- und Chemielehrkräfte richtet; weitere fachspezifische Fortbildungen werden derzeit entwickelt. Außerdem werden in Kooperation mit Lehrkräften für die drei MINT-Fächer jeweils digital gestützte Unterrichtsmaterialien erstellt und im Unterricht erprobt.

Fächerübergreifende Onlinefortbildung

Ziel der fächerübergreifenden Onlinefortbildung ist es, MINT-Lehrkräften in kompakten Lernabschnitten einen Überblick über adaptiven Unterricht zu vermitteln und Möglichkeiten der digitalen Anreicherung vorzustellen. Die Fortbildung wird in einem Blended-Learning-Format angeboten, wobei sich synchrone Treffen mit asynchronen Selbstlernphasen über einen Zeitraum von zwei Monaten abwechseln. Dadurch wird die mehrfache Auseinandersetzung mit den Fortbildungsinhalten über einen längeren Zeitraum hinweg als wirksames Element von Lehrkräftefortbildungen gewährleistet (Lipowsky & Rzejak, 2017). Im Anschluss an eine synchrone Einstiegssitzung, die einen Überblick zu adaptivem Unterricht gibt, erarbeiten die Lehrkräfte in drei Selbstlernphasen die Bestandteile adaptiven Unterrichts (Sibley et al, 2023): formative Diagnose, Makroadaption und Mikroadaption. Die Selbstlernphasen umfassen die Vermittlung theoretischen Hintergrundwissens zum jeweiligen Bestandteil adaptiven Unterrichts mithilfe von Lernvideos und stellen fachspezifische Beispiele bereit, die Anregungen geben, wie die Inhalte im Unterricht umgesetzt werden können. So wird der jeweilige Fachbezug hergestellt und sichergestellt, dass die Fortbildungsinhalte an konkreten Unterrichtsgegenständen vermittelt werden, was wiederum ein Kriterium wirksamer Lehrkräftefortbildungen ist (Lipowsky & Rzejak, 2017). Praxisimpulse und Aufgaben während der Selbstlernphasen regen die Lehrkräfte dazu an, die Fortbildungsinhalte bis zur Reflexionssitzung im eigenen Unterricht anzuwenden und zu erproben, wobei die Komplexität der Aufgaben in Anlehnung an das 4C/ID-Modell (Merriënboer, 1997) zum Ende einer Selbstlerneinheit zunimmt. Die Reflexionssitzungen dienen der gegenseitigen Vorstellung der im Unterricht erprobten Materialien und dem gemeinsamen Austausch über die Erfahrungen aus dem Unterricht. Dies soll den kollegialen Austausch anregen und Möglichkeiten schaffen, Feedback von der Fortbildungsleitung und von den Kolleg:innen zu erhalten, wodurch weitere Elemente wirksamer Lehrkräftefortbildungen implementiert werden (Lipowsky & Rzejak, 2017).

Unterrichtsfach Physik

Für das Unterrichtsfach Physik wurden zwei Fortbildungen zum fachdidaktisch sinnvollen Einsatz von Simulationen und zu Videoanalysen im Unterricht entwickelt.

Die Stärken von Videoanalysen im Unterricht liegen vor allem darin, abstrakte Größen der Mechanik, wie Geschwindigkeits-, Beschleunigungs- oder Kraftvektoren in alltagsbezogene Videos einblenden zu können, um so das Konzeptverständnis der Lernenden zu unterstützen (Wilhelm & Diehl, 2020). In der Fortbildung werden verschiedene Videoanalyseprogramme und didaktische Einsatzmöglichkeiten für den Unterricht vorgestellt.

Der schülerzentrierte Einsatz von Simulationen im Physikunterricht bietet das Potential, Unterrichtssettings zu schaffen, in denen die Lernenden Aktivitäten des forschenden Lernens nachgehen. Dazu wird in der Fortbildung die Methode des geleiteten forschenden Lernens nach Perkins et al, (2012) vorgeschlagen, welche empirische Befunde zum lernförderlichen Einsatz von Simulationen berücksichtigt (Perkins et al., 2012; Rutten et al., 2012; Wieman et al., 2010).

Unterrichtsfach Chemie

Für den Chemieunterricht werden Fortbildungen entwickelt, in deren Zentrum die beiden didaktisch aufbereiteten Periodensysteme „PSE³“ (Kremer, 2019) und das „Periodensystem Grundbausteine und Kräfte“ stehen (Barke, 2021; Herdt, 2015). Das PSE³ verbindet die drei Ebenen Atomart (z. B. Cl), Teilchenebene (z. B. Cl_2) und Stoffebene, die meist mit einer Abbildung des Elements repräsentiert wird.

Außerdem wird in Kooperation mit dem Leibniz-Institut für Wissensmedien Tübingen eine VR-App auf Basis des Kugelwolkenmodells entwickelt, um Schüler:innen in ihrem räumlichen Vorstellungsvermögen zu unterstützen. Räumliches Vorstellungsvermögen zählt zu den fächerunabhängigen Kompetenzen und wird auch im Unterrichtsfach Chemie häufig adressiert, z.B. durch Darstellungen von Gitterstrukturen oder Enantiomeren (Barke et al, 2011). Studien deuten darauf hin, dass sich räumliches Vorstellungsvermögen trainieren lässt und sich geschlechtsspezifische Unterschiede feststellen lassen (Prechtl, 2016).

Unterrichtsfach Mathematik

Im Mathematikunterricht können Schüler:innen insbesondere in Übungsphasen von adaptiven Unterrichtsmethoden profitieren. Da Übungsaufgaben unter anderem dem Erwerb von mathematischen Basiskompetenzen und der Automatisierung von Routinetätigkeiten dienen (s. bspw. Leuders, 2015), bilden sie somit eine wichtige Grundlage für das Lösen komplexerer mathematischer Probleme. Durch automatisches Feedback und die Möglichkeit des individuellen Übens einzelner Inhalte bieten Übungsprogramme, wie beispielsweise die kostenfreie und inzwischen weit verbreitete Software MatheBattle (mathebattle.de), das Potenzial, sowohl Lehrkräfte bei der Planung und Durchführung adaptiven Unterrichts zu entlasten als auch Schüler:innen in besonderer Art und Weise beim prozeduralen Üben zu unterstützen. Im Rahmen des Projekts wird eine Online-Fortbildung angeboten, in der Mathematiklehrkräfte Möglichkeiten zur Gestaltung adaptiver Übungsphasen durch den Einsatz verschiedener Funktionen von MatheBattle kennenlernen.

Förderhinweis

Finanziert durch die Europäische Union – NextGenerationEU und gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung. Die geäußerten Ansichten und Meinungen sind ausschließlich die der Autor:innen und spiegeln nicht unbedingt die Ansichten der Europäischen Union, Europäischen Kommission oder des Bundesministeriums für Bildung und Forschung wider.

Literatur

Barke, H.-D. (2021). Bindigkeit und Elektronenpaar – zwei Bindungsmodelle für den Chemieunterricht, Chemkon, 28(8), 336-340, https://doi.org/10.1002/ckon.202000018

Barke, H.-D. Harsch, G. (2011) *Chemiedidaktik kompakt,* DOI 10.1007/978-3-642-20220-9_11, Springer

Bohl, T., Budde, J., & Rieger, M. (2017). IV Professionalisierung, Unterricht, Didaktik. In Umgang mit Heterogenität in Schule und Unterricht (S. 224–309). Verlag Julius Klinkhardt. https://www.utb.de/doi/abs/10.36198/9783838547558-224-309

Bonsen, M., & Rolff, H.-G. (2006). Professionelle Lerngemeinschaften von Lehrerinnen und Lehrern. Zeitschrift für Pädagogik, 52(2), 167–184. https://doi.org/10.25656/01:4451

Corno, L. (2008). On Teaching Adaptively. Educational Psychologist, *43*(3), 161–173. https://doi.org/10.1080/00461520802178466

Herdt, C. (2015). Bindigkeit und Ionenladung – Eine Alternative zur stöchiometrischen Wertigkeit. Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule, 64(2), 14-19.

Kremer, M., Bee, U. (2019). Einsatzmöglichkeiten der didaktisch aufbereiteten Periodensysteme „Periodensystem der Grundbausteine und Kräfte“ und „Periodensystem der Elemente in drei Ebenen PSE³“, Chemkon, 26(7), 286-293. https://doi.org/10.1002/ckon.201900025

Leuders, T. (2015). *Aufgaben in Forschung und Praxis.* In *R. Bruder, L. Hefendehl-Hebeker, B. Schmidt-Thieme, & H.-G. Weigand (Hrsg.), Handbuch der Mathematikdidaktik* (S. 435–460). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35119-8_16

Lipowsky, F., & Rzejak, D. (2017). Fortbildungen für Lehrkräfte wirksam gestalten – erfolgsverprechende Wege und Konzepte aus Sicht der empirischen Bildungsforschung. Bildung und Erziehung, 70(4), 379–400. https://doi.org/10.7788/bue-2017-700402

Merriënboer, J. J. G. van. (1997). *Training Complex Cognitive Skills: A Four-Component Instructional Design Model for Technical Training*. Educational Technology.

Perkins, K., Moore, E., Podolefsky, N., Lancaster, K., & Denison, C. (2012). Towards research-based strategies for using PhET simulations in middle school physical science classes. *AIP Conference Proceedings*, *1413*(1), 295–298. https://doi.org/10.1063/1.3680053

Prechtl, M. (2016). Moleküle mental konstruieren, Naturwissenschaften im Unterricht Chemie (Boys & Girls Chemie gendersensibel unterrichten), 151, 24–34.

Rutten, N., van Joolingen, W. R., & van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. Computers & Education, *58*(1), 136–153. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017

Sibley, L., Fabian, A., Plicht, C., Wettke, C., Backfisch, I., Bohl, T., Lachner, A. (2023a). Gestaltung adaptiver Lernumgebungen mithilfe digitaler Medien. Ein Werkstattbericht aus dem Tübinger Entwicklungs- und Forschungsprojekt “DiA:GO”. *Lehren und Lernen*, *49*, 29–33.

Sibley, L., & Lachner, A. (2023b, Juli 28). *Adaptiver Unterricht: Wie er funktioniert und was digitale Medien leisten können*. Adaptiver Unterricht: Wie er funktioniert und was digitale Medien leisten können. https://www.campus-schulmanagement.de/magazin/adaptiver-unterricht-tipps-beispiele-digitale-medien

Sibley, L., Lachner, A., Plicht, C., Fabian, A., Backfisch, I., Scheiter, K., & Bohl, T. (2023). Feasibility of Adaptive Teaching with Technology: Which Implementation Conditions matter? Computers & Education (maj. rev.)

Trautmann, M., & Wischer, B. (2011). *Heterogenität in der Schule: Eine kritische Einführung* (1. Aufl). VS-Verl. für Sozialwiss.

Wieman, C. E., Adams, W. K., Loeblein, P., & Perkins, K. K. (2010). Teaching Physics Using PhET Simulations. The Physics Teacher, 48(4), 225–227. https://doi.org/10.1119/1.3361987

Wilhelm, T., & Diehl, S. (2020). Videoanalyse von Bewegungen. Plus Lucis, 1

Celina Kiel[1]
Maurice Karsten[1]
Stefanie Schwedler[1]

[1]Universität Bielefeld

Lehrkräfte über Simulationen fortbilden – Barrieren und Bedarfe

Ausgangslage

Angesichts des potenziellen Mehrwertes von digitalen Medien zur Unterstützung von Lehr-Lern-Prozessen (Hillmayr et al., 2020; Chiu, 2021) ist die Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen für Schüler*innen und Lehrkräfte notwendig (Vogelsang et al., 2019). Um einen sinnstiftenden Einsatz digitaler Tools im Unterricht zu gewährleisten, müssen Lehrkräfte nach dem TPACK-Modell technologisches, pädagogisches und fachinhaltliches Wissen vernetzt anwenden (Mishra & Köhler, 2006). Dies stellt somit Herausforderung und Chance (Mishra & Koehler, 2006) für eine erfolgreiche Integration digitaler Tools in den Naturwissenschaftsunterricht dar. Unter anderem sind Kompetenzen im Bereich Simulationen und Modellierungen nach DiKoLAN (Becker et al., 2020) ein wichtiger Bestandteil des digital angereicherten Chemieunterrichts und zeigt einen Bedarf an disziplinspezifischen Lehrkräftefortbildungen (Stinken-Rösner, 2021), welche durch die Komplexität der zu vermittelnden Inhalte hohen Ansprüchen genügen muss.

Simulationen im Chemieunterricht

Um das Verständnis von komplexen chemischen Prozessen und Vielteilchensystemen zu verbessern, spielt die Nutzung von Moleküldynamiksimulationen, insbesondere als Zugang zur submikroskopischen Ebene, für den Chemieunterricht eine wichtige Rolle (Orgill, 2019, Landriscina, 2013, Tinker, 2008). Entsprechend sind Simulationen im aktuellen Kernlehrplan NRW implementiert (MSB, 2022). Landriscina (2009; 2013) bezeichnet Simulationen zudem als am besten geeignete Methode für Aufgaben, welche eine progressive Veränderung der mentalen Modelle von Lernenden erfordern.

Chemielehrkräfte haben jedoch meist wenig Erfahrungen mit Simulationen (Vogelsang et al., 2019) und nutzen sie kaum in ihrem Unterricht (Eickelmann, 2019), obwohl sie auf dem Bildungsmarkt umfangreich verfügbar sind. Die Hinderungsgründe für den Einsatz digitaler Medien können zum Beispiel mangelnde Sicherheit im Umgang (Selbstwirksamkeitserwartung), oder eine mangelnde technische Ausstattung sein (Pietzner, 2009). Um die Implementationsbarrieren im Spezifischen beim Einsatz von Simulationen abbauen zu können, ist es notwendig die genauen Gründe zu kennen. Der Fokus der didaktischen Forschung lag allerdings bisher eher auf den Barrieren beim Einsatz digitaler Medien im Allgemeinen und Erkenntnisse zum Lernen mit Moleküldynamiksimulationen stehen noch aus.

Um Simulationen als wirkmächtige Lernmittel einsetzen zu können, werden spezifische didaktische Kenntnisse für die Planung und Umsetzung im Unterricht benötigt (Becker et al., 2020). Teile dieses didaktischen Wissens (TPACK) stehen den meisten Lehrkräften zur Verfügung (Krauss & Bruckmaier, 2014), jedoch wird speziell im fachspezifischen Umgang mit digitalen Medien häufig zusätzliche Hilfe benötigt (Huwer et al., 2019). Dies unterstreicht die Notwendigkeit des Ausbaus von Kompetenzen in der Gestaltung und Implementierung digitaler Lernsettings (Huber et al., 2020).

Für den Ausbau dieser Kompetenzen von Lehrkräften muss das Fortbildungsangebot der dritten Phase der Lehrkräftebildung ausgeweitet werden (Bonnes, Wahl & Lachner, 2022), sodass den Lehrkräften strukturell und inhaltlich hochwertige Angebote zur Verfügung stehen.

Transferstarke Lehrkräftefortbildungen

Um einen lernwirksamen Transfer der vermittelten Kompetenzen in die schulische Lehrpraxis zu unterstützen, müssen Lehrkräftefortbildungen hohen inhaltlich-strukturellen und didaktischen Qualitätskriterien genügen, wie die Stärkung der kollegialen Kooperation oder die Verknüpfung von Input-, Erprobungs- und Reflexionsphasen (Lipowski, 2013). Eine angemessene Fortbildungsdauer von mehr als einem kurzen Veranstaltungstag ist ebenfalls notwendig, sodass den Lehrkräften genug Zeit und Raum für ihre Aneignungsprozesse gegeben werden kann, sowie Gelegenheiten zum Umgang mit den digitalen Medien (Lipowski, 2013). Als Methode der Kompetenzvermittlung bieten sich demnach projektbasierte Lehrformate (Krajcik & Blumenfeld, 2006) an, um den Lehrkräften ein tieferes Verstehen sowie authentische, praxisnahe Exploration relevanter Lehrpraktiken zu ermöglichen. Die Teilnehmenden sollen hier kollaborativ und reflektierend arbeiten können, wobei das Lehrformat eine auf die Wünsche und Lernbedürfnisse der Teilnehmenden eingehende Teilhabe ermöglicht (ebd.).

Schüler*innenlabore bieten sich für solche Lehrkräftefortbildungen in der Naturwissenschaftsdidaktik an, da sie sich schneller den Herausforderungen der digitalen Transformation stellen können (Euler & Schüttler, 2020; Schüttler et al., 2021) und für die Vermittlung und Exploration neuer Lehrpraktiken einen authentischen Lernort bieten.

Ziele des Projekts

Das Ziel des Teilprojektes Chemie im BMBF-geförderten Projekt „LFB-labs-digital“ ist es, zum einen eine transferstarke Lehrkräftefortbildung zum Lernen mit Simulationen zu konzipieren, in der Lehrkräfte projektbasiert in multiprofessionellen Teams Lernsettings mit Simulationen für das Schüler*innenlabor teutolab-chemie entwickeln und diese mit ihren Schüler*innen erproben, reflektieren und auf den eigenen Unterricht übertragen. Zum anderen sollen die Implementationsbarrieren, wie zum Beispiel didaktisches Wissen (TPACK), Akzeptanz, Selbstwirksamkeit und Vorerfahrungen bezüglich des Lernens mit Simulationen erforscht und Wirksamkeit der projektbasierten Lehrkräftefortbildung hinsichtlich des Abbaus der Barrieren ermittelt werden.

Konzept der Lehrkräftefortbildung

Das mehrtägige Format der konzipierten Lehrkräftefortbildung umfasst 4 Phasen, welche in Abbildung 1 schematisch dargestellt werden.

Abbildung 1: Darstellung der vier Phasen des Konzeptes der Lehrkräftefortbildung.

Die Veranstaltung startet in Phase 1 mit einer Einführung in das Thema Simulationen. Die Lehrkräfte erhalten thematische Inputs und erarbeiten die Grundlagen zum Lernen mit Simulationen. Dies beinhaltet die Fragen, was eine Simulation ist, nach welchen Kriterien

Simulationen beurteilt werden können und wie sie in sinnstiftende Lernwege eingebettet werden. Die Einführung beinhaltet plenare Arbeitsphasen, individuelle Auseinandersetzungen und kollaborative Arbeit. In der folgenden Phase 2 arbeiten die Lehrkräfte mit der Methode des projektbasierten Lernens in multiprofessionellen Teams mit wissenschaftlichen Mitarbeitenden und Studierenden zusammen an der Implementation von Moleküldynamiksimulationen in Lernsettings des Schüler*innenlabors.
Nach der Entwicklung der Lernsettings werden diese in Phase 3 mit den eigenen Schüler*innen im Schüler*innenlabor erprobt, getestet und individuell reflektiert. Abschließend folgt die Reflexionsveranstaltung als Phase 4 und letzter Teil der Fortbildung. Ziel ist ein Erfahrungsaustausch mit den Lehrkräften und den Lehrkräften untereinander, sowie die allgemeine Reflexion der entwickelten Lernsettings und möglicher Veränderungen in der eigenen Haltung und Selbstwirksamkeit beim Lernen mit Simulationen.

Forschungsvorhaben

Ein Forschungsschwerpunkt im Projekt ist die Ermittlung der Implementationsbarrieren (z.B. didaktisches Wissen (TPACK), Akzeptanz, Selbstwirksamkeit und Vorerfahrungen) der Lehrkräfte zum Einsatz von Simulationen in ihrem Chemieunterricht. Ein weiterer Fokus liegt auf dem Einfluss der Lehrkräftefortbildung auf die Überwindung dieser Barrieren.
Ein erstes Konzept wurde im Sommersemester 2024 mit Lehrkräften (N=4) erprobt, anschließend optimiert und im Wintersemester 2024/25 erneut durchgeführt (N=4). Beide Interventionsiterationen wurden durch quantitative Fragebögen (Prä-Post) und begleitende Einzelfallstudien (Interviews, Arbeitsergebnisse, teilnehmende Beobachtung, Gruppeninterviews) mit Follow-Up-Erhebung begleitet.

Erste Ergebnisse und Ausblick

In einer ersten Analyse der Daten aus dem ersten Durchgang der Fortbildung konnten unterschiedliche Implementationsbarrieren ermittelt werden, wie zum Beispiel der Zeitaufwand in der Unterrichtsgestaltung bei der Nutzung von neuen Methoden und die mangelnde Verfügbarkeit von thematisch passenden Simulationen zu den Inhaltsfeldern des Kernlehrplans, beziehungsweise dass diese nicht gefunden werden, oder gegebene Simulationen nicht nach den eigenen Vorstellungen angepasst werden können. Die Chemielehrkräfte zeigten außerdem zu Beginn der Fortbildung geringe Vorerfahrungen mit Simulationen.
Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Lehrkräfte nach Abschluss der Fortbildung die Verwendung von Simulationen in ihrem eigenen Unterricht als nützlich erachten, was auf eine erhöhte Akzeptanz in Bezug zum Lernen mit Simulationen deutet.
Die Fortbildung scheint dazu geeignet zu sein einige Aspekte zu verbessern, wobei die Lehrkräfte unter anderem das projektbasierte Vorgehen als wichtigen Gelingensfaktor nennen. Eine tiefgehende Analyse der Forschungsdaten und Auswertung der im zweiten Durchgang der Fortbildung erhaltenen Daten steht noch aus. Ebenfalls ist eine erneute Durchführung der Fortbildung im Jahr 2025 in Planung.

Literatur

Becker, S., Meßinger-Koppelt, J., & Thyssen, C. (2020). Digitale Basiskompetenzen – Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften. Joachim Herz Stiftung.

Bonnes, C., Wahl, J. & Lachner, A. (2022). Herausforderungen für die Lehrkräftefortbildung vor dem Hintergrund der digitalen Transformation. ZfW, 45:133–149.

Chi, M.T.H. & Wylie, R. (2014). The ICAP Framework: Linking Cognitive Engagement to Active Learning Outcomes. Educational Psychologist, 49 (4), 219–243.

Chiu, W.-K. (2021). Pedagogy of Emerging Technologies in Chemical Education during the Era of Digitalization and Artificial Intelligence: A Systematic Review. Education Sciences, 11.

Eickelmann, B. (2019). Lehrerfortbildung im Kontext der digitalen Transformation: Herausforderungen, Befunde und Perspektiven für eine zukunftsfähige Gestaltung des Bildungssystems. In B. Priebe, W. Böttcher, U. Heinemann & C. Kubina (Hrsg.), *Steuerung und Qualitätsentwicklung im Fortbildungssystem. Probleme und Befunde – Standardbildung und Lösungsansätze* (S. 208–228). Klett Kallmeyer.

Euler, M., Schüttler, T. (2020). Schülerlabore. In: Kircher, E., Girwidz, R., Fischer, H. (eds) Physikdidaktik | Methoden und Inhalte. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.

Hillmayr, D., Ziernwald, L., Reinhold, F., Hofer, S. I., & Reiss, K. M. (2020). The potential of digital tools to enhance mathematics and science learning in secondary schools: A context-specific meta- analysis. Computers Education,153, 103897.

Huber, S.G., Günther, P.S., Schneider, N., Helm, C., Schwander, M., Schneider, J.A. & Pruitt, J. (2020). *COVID-19 – aktuelle Herausforderungen in Schule und Bildung. Erste Befunde des Schulbarometers in Deutschland, Österreich und der Schweiz*. Waxmann.

Krajcik, J.S., Blumenfeld, P.C. (2006). Project-Based Learning, In R.K. Sawyer (Hrsg.), The Cambridge Handbook of the Learning Sciences (S. 317–334). Cambridge University Press.

Landriscina, F. (2013). Simulation and Learning: A Model-Centered Approach. Springer VS.

Lipowsky, F. & Rzejak, D. (2021). Welche Art von Fortbildung wirkt? In B. Jungkamp & M. Pfafferott (Hrsg.), *Was Lehrkräfte lernen müssen. Bedarfe der Lehrkräftefortbildung in Deutschland* (S. 19–38). Netzwerk Bildung.

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2022). Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Chemie. Frechen: Ritterbach Verlag.

Mishra, P. & Köhler, M.J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Integrating Technology in Teachers' Knowledge. *Teachers College Record, 108* (6), 1017–1054.

Orgill, M.K., York, S., und Mackellar, J. (2019) Introduction to Systems Thinking for the Chemistry Education Community. J. Chem. Educ., 96 (12), 2720–2729.

Pietzner, V. (2009). Computer im naturwissenschaftlichen Unterricht – Ergebnisse einer Umfrage unter Lehrkräften. . *ZfDN – Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 15*, 47–67.

Stinken-Rösner, L. (2021). Digitale Medien in der naturwissenschaftlichen Lehrkräftebildung. Didaktik der Physik. Frühjahstagung.

Schüttler, T., Watzka, B., Girwidz, R. & Ertl, B. (2021). Die Wirkung der Authentizität von Lernort und Laborgeräten auf das situationale Interesse und die Relevanzwahrnehmung beim Besuch eines naturwissenschaftlichen Schülerlabors. ZfDN – Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 27, 109–125.

Tinker, R.F., und Xie, Q. (2008) Applying Computational Science to Education: The Molecular Workbench Paradigm. Comput. Sci. Eng., 10 (5), 24–27.

Vogelsang, C., Finger, A., Laumann, D. & Thyssen, C. (2019). Vorerfahrungen, Einstellungen und motivationale Orientierungen als mögliche Einflussfaktoren auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht. *ZfDN – Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 25*, 115–129.

Förderhinweis:

Finanziert durch die Europäische Union – NextGenerationEU und gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung. Die geäußerten Ansichten und Meinungen sind ausschließlich die des Autors/der Autorin und spiegeln nicht unbedingt die Ansichten der Europäischen Union, Europäischen Kommission oder des Bundesministeriums für Bildung und Forschung wieder. Weder Europäische Union, Europäische Kommission noch Bundesministerium für Bildung und Forschung können für sie verantwortlich gemacht werden.

Lea Herbst[1] [1]TU Darmstadt
Verena Spatz[1]

Ein SFB-Outreach-Projekt zur Entwicklung von NOS- und NOSI-Vorstellungen von Lehrkräften

Abstract
Naturwissenschaftliche Grundbildung im Sinne von Scientific Literacy umfasst neben dem fachlichen Wissen u.a. auch Wissen über „Nature of Science“ (NOS) und „Nature of Scientific Inquiry“ (NOSI), welche von Lehrkräften in der Schule gelehrt werden sollen. Jedoch zeigen Lehrkräfte in diesen Bereichen oft naive Vorstellungen. Um die Entwicklung informierter Vorstellungen zu unterstützen, werden NOS und NOSI an einigen Universitäten zunehmend in unterschiedlichen Formen im Studium integriert. Für Lehrkräfte, die bereits im Schuldienst aktiv sind, werden in einem aktuellen Projekt im Rahmen des Outreach-Programmes des SFB 1245 Handreichungen und Unterrichtsmaterialien entwickelt, welche anhand von Forschungsthemen der Kern- und Astrophysik auch übergeordnete Vorstellungen im Bereich NOSI adressieren. Die Begleitforschung hierzu untersucht, inwieweit die Arbeit mit den Materialien die Vorstellungen zu NOSI positiv beeinflusst.

Ausgangslage

Die naturwissenschaftliche Grundbildung im Sinne von „Scientific Literacy“ wird als grundlegendes Bildungsziel angesehen (OECD, 2017). Diese beinhaltet u.a. Wissen über “Nature of Science” (NOS) und “Nature of Scientific Inquiry” (NOSI). Diese Vorstellungen über Wissenschaft sollten dementsprechend im Rahmen der naturwissenschaftlichen Grundbildung im schulischen Unterricht gefördert werden. Gleichzeitig beeinflussen außerschulische Erfahrungen im Alltag, wie beispielsweise die Darstellung von Wissenschaft in Werbungen und Filmen, die Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern hierzu erheblich. Höttecke und Hopf (2018) betonen jedoch, dass diese durch die Medien vermittelten Vorstellungen nicht in der Wissenschaft selbst ihren Ursprung haben und kein realistisches Bild darstellen (Höttecke & Hopf, 2018). Forschungsergebnisse zeigen, dass die entwickelten Vorstellungen heterogen, unzureichend und inadäquat sind (Carey et al., 1989; Hofheinz, 2010; Höttecke, 2012; Prenzel, 2007).
Aus fachdidaktischer Sicht wird argumentiert, dass eine Vermittlung adäquater Vorstellungen zu NOS und NOSI in der Schule nur möglich ist, wenn Lehrkräfte selbst die hierfür notwendigen Kenntnisse auf der Metaebene von NOS bzw. NOSI haben (Kremer, 2010). Internationale Forschungen ergeben jedoch, dass das Professionswissen von Lehrkräften in diesem Gebiet oft unzureichend ist (Billion-Kramer et al., 2020) und selbst bei angemessenen Vorstellungen dies nicht zwingend die Einbindung in den Unterricht mit sich bringt (Bartos & Lederman, 2014). Als Gründe dafür, dass NOS bzw. NOSI im Unterricht nicht thematisiert wird, werden unter anderem die Komplexität und die geringe Vertrautheit mit der Thematik sowie das Fehlen der Thematik in der Ausbildung der Lehrkräfte genannt (Hößle et al., 2004). Zudem mangelt es an fachdidaktisch ausgearbeiteten Materialien dazu. Daraus folgern wir, dass Lehrkräfte durch geeignete Materialien und Handreichungen, die bereits einzelne

Aspekte herausgreifen und in den Unterricht einbinden, in der Vermittlung unterstützt werden können.
In den letzten Jahren ist eine zunehmende Thematisierung von NOS bzw. NOSI in den Lehramtstudiengängen zu beobachten, und in der Folge eine Zunahme adäquater Vorstellungen über Wissenschaft bei Lehramtsstudierenden (Oberbremer, 2023). (Fortbildungs-)Angebote für Lehrkräfte, die sich bereits im Schuldienst befinden, gibt es dagegen kaum. Diese wären wichtig sowohl für Lehrkräfte, die mit der Thematik während ihrer Ausbildung noch nicht in Kontakt kamen, wie auch für Lehrkräfte mit entsprechendem Vorwissen als Auffrischung.

Projektziele
Das Projekt, welches in diesem Beitrag vorgestellt werden soll, ist Teil des Outreach-Programmes des Sonderforschungsbereiches 1245 (SFB 1245) der TU Darmstadt (Atomkerne: Von fundamentalen Wechselwirkungen zu Struktur und Sternen) und zielt auf die ko-konstruktive Entwicklung von Unterrichtsmaterialien mit entsprechenden Handreichungen durch Lehrkräfte und Forschende für ein Schulprojekt. Diese Materialien sollen sowohl einen Einblick in die Forschung des SFB 1245 geben als auch ausgewählte NOS- und NOSI-Aspekte vermitteln. Das Material soll an die Sekundarstufe II gerichtet werden und dementsprechend auf die Inhalte der Sekundarstufe I aufbauen. Ein weiteres Projektziel ist die fundierte Formulierung von Handlungsempfehlungen (und perspektivisch eines verallgemeinernden Rahmens) für die NOS- und NOSI-Vermittlung in Outreach-Programmen größerer Forschungsverbünde.

Forschungsfragen
Die Begleitforschung hierzu untersucht dabei die Vorstellungen der beteiligten Lehrkräfte zu NOS bzw. NOSI und analysiert, inwieweit die Auseinandersetzung der Lehrkräfte mit aktueller Forschung und die Erarbeitung der Materialien ihre Vorstellungen sowie die Vorstellungen ihrer Schülerinnen und Schüler zu NOS bzw. NOSI positiv beeinflusst. Folgenden Forschungsfragen wird nachgegangen:

- Welche Vorstellungen haben Physik-Lehrkräfte im Dienst mit unterschiedlichem Ausbildungshintergrund zu NOS & NOSI?
- Inwiefern können die Vorstellungen der Physik-Lehrkräfte im Dienst zu ausgewählten NOS- & NOSI-Aspekten durch unterschiedlich intensive Auseinandersetzung mit dem entwickelten Unterrichtsmaterial und der Handreichung positiv beeinflusst werden? Welche Rolle spielt dabei die Beteiligung an der Entwicklung im Rahmen des Outreach-Programmes des SFB 1245?

Studiendesign
In das Projekt werden Lehrkräfte in drei Gruppen unterschiedlich stark eingebunden:
Die intensivste Einbindung findet in der **Entwicklungsgruppe (EG)** statt. Lehrkräfte dieser Gruppe treffen sich über mehrere Monate hinweg (insgesamt ca. 5- bis 6-mal) untereinander sowie mit den Mitarbeitenden des Outreach-Programmes. Dabei lernen sie den SFB 1245 kennen und kommen in den direkten Kontakt und Austausch mit Forschenden des SFB 1245. In dieser Entwicklungsgruppe werden die Materialien und zugehörigen Handreichungen für das Schulprojekt erstellt. Anschließend fungieren die Lehrkräfte der Entwicklungsgruppe als

Multiplikatoren an ihrer Schule, indem sie in einen Workshop (schulinterne Lehrkräftefortbildung zu NOSI) ihre Erfahrungen und Eindrücke aus der Arbeit mit dem SFB 1245 zu ausgewählten Aspekten von NOS bzw. NOSI weitergeben sowie ihre Kolleginnen und Kollegen zu den entwickelten Materialien und Handreichungen schulen. Die weiteren teilnehmenden Lehrkräfte dieses Workshops bilden die **Projektgruppe (PG)**, welche das fertiggestellte Material mit den Handreichungen im Anschluss zur Erprobung mit ihren Schulklassen (vgl. Abb. 1).
Die dritte Gruppe, die **Baseline (BL)**, bilden interessierte Lehrkräfte anderer Schulen, welche nicht am Workshop teilnehmen, sondern nur die Materialien mit den Handreichungen zur eigenverantwortlichen Erprobung mit ihren Schulklassen erhalten (vgl. Abb. 1).

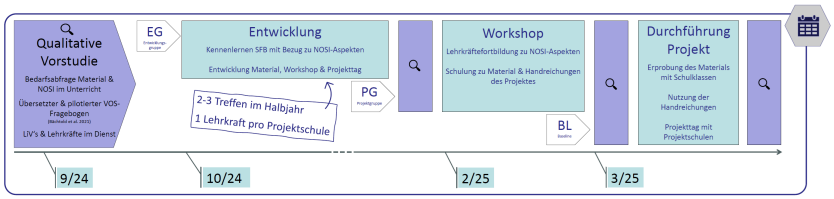


Abb. 1. Projektplanung für die unterschiedlich stark eingebundenen Lehrkräftegruppen

Zunächst wird eine (qualitative) Vorstudie durchgeführt, an welcher auch die Lehrkräfte der Entwicklungs- und Projektgruppe teilnehmen. Dabei handelt es sich neben einer Abfrage der Bedarfe und Wünsche zum geplanten Projekt auch um die Erhebung der Vorkenntnisse der Lehrkräfte zu NOS bzw. NOSI. Hierfür wurde der VOS Questionnaire (Bächtold et al., 2021) übersetzt und (anhand einer Gelegenheitsstichprobe von Studierenden) pilotiert. Dieser VOS-Fragebogen beinhaltet Items, welche inhaltlich an die „VNOS“ (Views of Nature of Science) (N. G. Lederman et al., 2002) und die „VASI“ (Views About Scientific Inquiry) (J. S. Lederman et al., 2014) Items angelehnt sind und diese beiden Fragebögen miteinander verbinden. Prozessbegleitend in der Entwicklungsgruppe sowie zu drei weiteren Messzeitpunkten (vor und nach dem Workshop sowie nach dem Schulprojekt) in der Entwicklungs- und Projektgruppe werden außerdem Concept Maps eingesetzt (Fischler & Peuckert) sowie Gruppen- und Einzelinterviews geführt. In der Baseline wird die Erhebung nur unmittelbar vor und nach der Erprobung des Materials durchgeführt.

Aktueller Stand und Ausblick

Aktuell wird die Vorstudie zu Bedarfen und Wünschen sowie zu den Vorkenntnissen der Lehrkräfte hinsichtlich NOS bzw. NOSI durchgeführt. Gleichzeitig erfolgt die Rekrutierung der Lehrkräfte für die Entwicklungsgruppe. In Vorbereitung auf das erste Treffen der Entwicklungsgruppe, welches für Mitte November 2024 geplant ist, werden Kurz-Interviews mit Forschenden des SFB 1245 geführt mit dem Ziel, diese in das Projekt einzubinden. Dabei sollen durch eine Befragung zu ihrem Arbeitsalltag auch solche NOS- und NOSI-Schwerpunkte identifiziert werden, die aus Sicht der Forschenden besonders relevant sind und in einem Outreach-Programm an Schülerinnen und Schüler betont werden sollten.

Supported by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, German Research Foundation) – Project-ID 279384907 – SFB 1245.

Literatur

Bächtold, M., Cross, D. & Munier, V. (2021). How to Assess and Categorize Teachers' Views of Science? Two Methodological Issues. Research in Science Education(51), 1423–1435.

Bartos, S. A. & Lederman, N. G. Teachers' knowledge structures for nature of science and scientific inquiry: Conceptions and classroom practice. In Journal of Research in Science Teaching (Bd. 51, S. 1150–1184). https://doi.org/10.1002/tea.21168 (Erstveröffentlichung 2014)

Billion-Kramer, T., Lohse-Bossenz, H., Dörfler, T. & Rehm, M. (2020). Professionswissen angehender Lehrkräfte zum Konstrukt Nature of Science (NOS): Entwicklung und Validierung eines Vignettentests (EKoL-NOS). Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften(26), 53–72. https://doi.org/10.1007/s40573-020-00112-z

Carey, S., Evans, R., Honda, M., Jay, E. & Unger, C. (1989). 'An experiment is when you try it and see if it works': a study of grade 7 students' understanding of the construction of scientific knowledge. International Journal of Science Education, 11(5), 514–529. https://doi.org/10.1080/0950069890110504

Fischler, H. & Peuckert, J. Concept Mapping in Forschungszusammenhängen. In Dies. (Hrsg.): Concept Mapping in fachdidaktischen Forschungsprojekten der Physik und Chemie.

Hofheinz, V. (2010). Das Wesen der Naturwissenschaften.: Was die Naturwissenschaften ausmacht. Unterricht Chemie, 21(118/119), 8–13.

Hößle, C., Höttecke, D. & Kircher, E. (Hrsg.). (2004). Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften. Schneider Verlag Hohengehren GmbH.

Höttecke, D. (2012). Die Natur der Naturwissenschaften historisch verstehen: Fachdidaktische und wissenschaftshistorische Untersuchungen. Zugl.: Oldenburg, Univ., Diss., 2000 (Zweite unveränderte Auflage). Studien zum Physiklernen: Bd. 16. Logos-Verlag.

Höttecke, D. & Hopf, M. (2018). Schülervorstellungen zur Natur der Naturwissenschaften. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf, R. Duit, H. Fischler, C. Haagen-Schützenhöfer, D. Höttecke, R. Müller & R. Wodzinski (Hrsg.), Lehrbuch. Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis (S. 271–287). Springer Spektrum. (Erstveröffentlichung 2018)

Kremer, K. H. (2010). Die Natur der Naturwissenschaften verstehen - Untersuchungen zur Struktur und Entwicklung von Kompetenzen in der Sekundarstufe I [Dissertation]. Universität Kassel, Kassel.

Lederman, J. S., Lederman, N. G., Bartos, S. A., Bartels, S. L., Atink Meyer, A. & Schwartz, R. S. (2014). Meaningful Assessment of Learners' Understandings About Scientific Inquiry—TheViews About Scientific Inquiry (VASI) Questionnaire. Journal of Research in Science Teaching, 51(1), 65–83.

Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L. & Schwartz, R. S. (2002). Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. Journal of Research in Science Teaching, 39(6), 497–521.

Oberbremer, A. E. (2023). Wissenschaftsverständnis von Lehramtsstudierenden der Fächer Chemie und Physik: Untersuchung zur Effektivität der impliziten und expliziten Vermittlung von Nature of Science [Dissertation]. Technische Universität Carolo-Wilhelmina, Braunschweig. https://leopard.tu-braunschweig.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dbbs_derivate_00052012/Diss_Oberbremer_Annika.pdf

OECD. (2017). PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic, Financial Literacy and Collaborative Problem Solving (PISA). OECD Publishing.

Prenzel, M. (2007). PISA 2006: die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie. http://www.waxmann.com/kat/1900.html

Stefan Gritsch[1] [1]Pädagogsiche Hochschule Steiermark
Ingrid Krumphals[1]

Systematic Review zu fachfremdem Physikunterricht

Einleitung

Fachfremder Unterricht, im Englischen meist „Out-of-field Teaching“ genannt, umschreibt den Einsatz von Lehrpersonen, die ein Fach oder eine Schulstufe unterrichten, in dem bzw. der sie wenig oder keine Ausbildung haben (Du Plessis & McDonagh, 2021; Ingersoll, 1999; Porsch, 2016). Je nach Land und Bildungssystem kann diese Definition jedoch abweichen.
Fachfremder Unterricht ist ein international diskutiertes Thema, wobei sich vor allem Fragen bezüglich der Qualität des Unterrichts, der Leistungen der Lernenden und der Herausforderungen für Lehrpersonen stellen. Wie sich die internationale Forschungslage jedoch detailliert abbildet und welche Erkenntnisse sich dabei für den deutschsprachigen Raum, mit Fokus auf Österreich, ergeben, ist weitgehend unklar.
Auch in Österreich betrifft fachfremder Unterricht das Bildungssystem. Laut Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung unterrichten 8,9% der Lehrpersonen der Sekundarstufe ausschließlich Fächer, für die sie nicht ausgebildet wurden und weitere 46% unterrichten mindestens ein Fach fachfremd. Vor allem die Fächer Bildnerische Erziehung, Werken, Musikerziehung, Bewegung und Sport sowie naturwissenschaftliche Fächer werden in der Sekundarstufe vermehrt fachfremd unterrichtet. (BMBWF & M. Polaschek, 2022)
Der vorliegende Beitrag fokussiert sich auf das Fach Physik beziehungsweise Naturwissenschaften in der Sekundarstufe. Das Fach Naturwissenschaften wird herangezogen, da auf internationaler Ebene das Fach Physik häufig im fächerübergreifenden Unterricht Naturwissenschaften beziehungsweise Science integriert ist.

Ziele und Forschungsfragen

Um nachvollziehen zu können, wie sich die internationale Studienlage bezüglich fachfremden Unterrichts mit Fokus auf die Fächer Physik und Naturwissenschaften genau abbildet, entsteht im Rahmen eines Dissertationsprojekt (ProQ-STEAM) in einem ersten Schritt ein Systematic Review. Die Vorgehensweise und die ersten Ergebnisse dieses Systematic Reviews werden im Folgenden dargestellt. Die Forschungsfragen, die im Zuge des Reviews beantwortet werden sollen, lauten:
FF1: Welche empirische Studienlage zu fachfremdem Unterricht in der Sekundarstufe gibt es im österreichischen/deutschsprachigen und internationalen Raum und welche Forschungsvorhaben wurden dabei verfolgt?
FF2: Welche Erkenntnisse konnten zu fachfremdem Unterricht in der Sekundarstufe mit besonderem Fokus auf die Fächer Physik und Naturwissenschaften festgehalten werden?

Demnach werden Studien beleuchtet, die sich sowohl mit fachfremdem Unterricht im Allgemeinen bzw. ohne Einschränkung auf die behandelten Unterrichtsfächer beschäftigen als auch Studien mit klarem Fokus auf die Fächer Physik und Naturwissenschaften.

Methode und Studiendesign

Methodisch orientiert sich das Systematic Review an der von Newman & Gough, 2020) beschriebenen Vorgehensweise. Nach der Festlegung der Forschungsfragen und des konzeptionellen Rahmens wurden Auswahlkriterien und Suchstrategien festgelegt. Die Literaturrecherche fand zwischen März und Mai 2024 statt. Dabei wurden die Datenbanken ERIC, EBSCOHost, Google Scholar, Scopus und Fachportal Pädagogik herangezogen. Als Searchterms wurden Begriffe wie „Out of field“, „Non-specialist teacher” oder „Fachfremder Unterricht“ ausgewählt. Dabei wurden N=1089 Publikationen identifiziert. Daraufhin wurden die Titel und Abstracts der Publikationen ein weiteres Mal nach den bereits beschriebenen Begriffen durchsucht, wobei letztendlich n=718 Publikationen für das weitere Vorhaben übrig blieben. Nachdem die Dubletten gelöscht wurden und nach Volltexten der übrig gebliebenen Publikationen gesucht wurde, wurden n=405 Publikationen zur Analyse der Volltexte herangezogen. Durch verschiedene Ausschlusskriterien, die in Abbildung 1 dargestellt sind, wurden N=167 Publikation zur Detailanalyse herangezogen, wobei n=34 Publikationen mit Fokus auf die Fächer Physik und Naturwissenschaften identifiziert wurden.

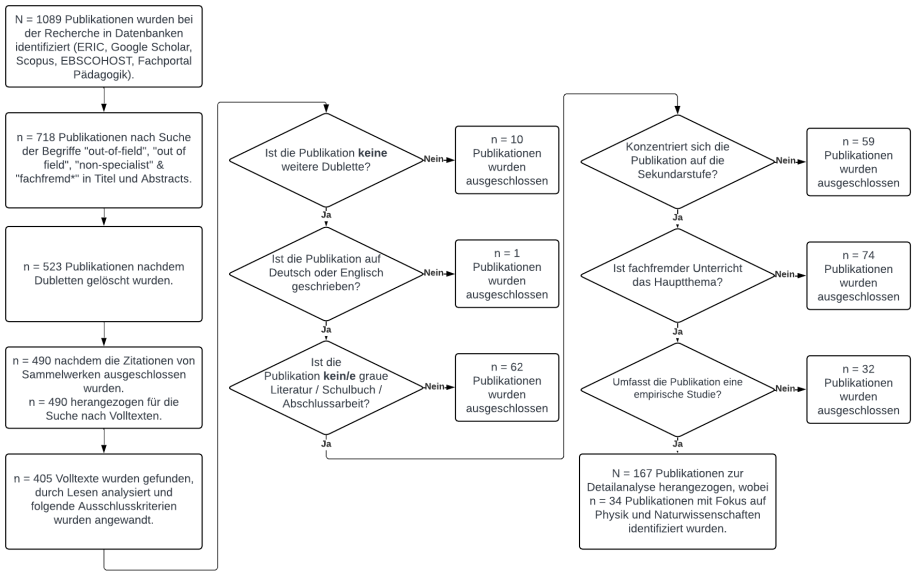


Abb. 1 Vorgehensweise bei der Literatursuche zum Systematic Review

Erste Ergebnisse

In einem ersten Schritt wurden alle N=167 Publikationen dahingehend analysiert, in welchen Ländern, sie durchgeführt wurden. Dabei zeigte sich, dass ein Großteil der Studien in den USA (n=45) und Australien (n=49) durchgeführt wurden. Bezogen auf Europa zeigte sich, dass vor allem Forscher:innen in Irland (n=12) und Deutschland (n=13) zu diesem Thema forschen. Wie bereits erwähnt, wurden n=34 Publikationen mit klarem Fokus auf die Fächer Physik und Naturwissenschaften identifiziert. Jedoch wurden nur n=4 Studien in Europa, davon n=2 in Deutschland, durchgeführt. Für Österreich konnte zu keinem Fach eine Publikation gefunden

werden. In der nachstehenden Abbildung (Abb. 2) sind die Ergebnisse anhand einer Weltkarte dargestellt.

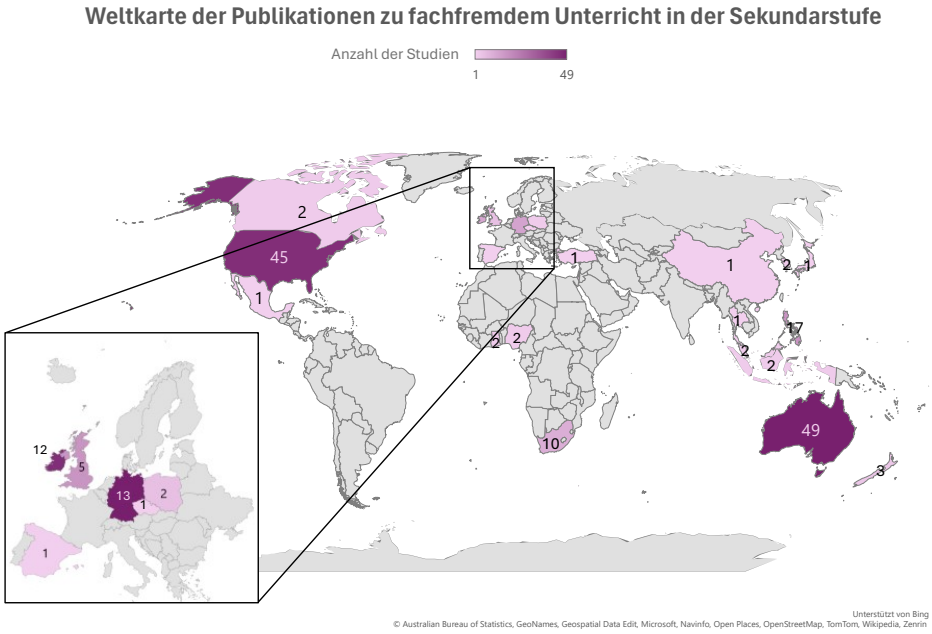


Abb. 2 Weltkarte der Publikationen zu fachfremdem Unterricht und er Sekundarstufe (Bild erstellt mit Excel).

In einem weiteren Schritt werden die Publikationen mit Fokus auf die Fächer Physik und Naturwissenschaften für eine Detailanalyse herangezogen. Dabei wurde unter anderem auf die Forschungsschwerpunkte der Studien eingegangen. Erste Ergebnisse zeigen verschiedene Themenschwerpunkte, allen voran „Konsequenzen und Wahrnehmungen" fachfremden Unterrichts auf/von Lehrpersonen und Lernende/n. Dabei zeigte sich, dass die Studien vermehrt darauf hinweisen, dass sich fehlendes Content Knowledge (n=10, z.B.: Goos et al., 2019; Sheehan & Mosse, 2013) und fehlendes Pedagogical Content Knowledge (n=9, z.B.: Hobbs, 2020; Rochette, 2022) für fachfremdes Lehrpersonal als Herausforderungen darstellen. Außerdem hat fachfremder Unterricht zur Folge, dass Lehrpersonen eine Herausforderung im Experimentieren sehen, was von n=4 Studien (z.B.: Fruböse et al., 2011) untersucht wurde.

Zusammenfassung und Ausblick

Die ersten Ergebnisse des Systematic Reviews zeigen, dass fachfremder Unterricht ein Forschungsgebiet von internationalem Interesse ist und gleichzeitig eine Vielfalt an Implikationen für die Qualität des Unterrichts aber auch für das Wohlbefinden der Lehrkräfte in der Forschung zu finden ist. Die Analyse des vorliegenden Reviews ist noch nicht abgeschlossen und detaillierte Ergebnisse zur Forschungslage werden noch herausgearbeitet. So werden weitere Auswirkungen und Herausforderungen aber auch Stärken und Chancen sowie andere Aspekte fachfremdem (Physik-) Unterrichts tiefer analysiert.

Literatur

BMBWF; Polaschek, Martin (2022): Erledigung BMBWF. Wien, 22.09.2022 an Wolfgang Sobotka

Du Plessis, A. & McDonagh, K. (2021). The out-of-field phenomenon and leadership for wellbeing: Understanding concerns for teachers, students and education partnerships. International Journal of Educational Research, 106. https://doi.org/10.1016/j.ijer.2020.101724

Fruböse, C., Illgen, J., Kohm, L. & Wollscheid, R. (2011). Unterricht im integrierten Fach Naturwissenschaften. Erfahrungen aus gymnasialer Sicht. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, 64(7), 433–439

Goos, M., O'Donoghue, J., Ní Ríordáin, M., Faulkner, F., Hall, T. & O'Meara, N. (2019). Designing a National Blended Learning Program for "Out-of-Field" Mathematics Teacher Professional Development. ZDM: The International Journal on Mathematics Education, 52(5), 893–905

Hobbs, L. (2020). Learning to Teach Science Out-of-Field: A Spatial-Temporal Experience. Journal of Science Teacher Education, 31(7), 725–745. https://doi.org/10.1080/1046560X.2020.1718315

Ingersoll, R. M. (1999). The Problem of Underqualified Teachers in American Secondary Schools. Educational Researcher, 28(2), 26–37

Newman, M. & Gough, D. (2020). Systematic Reviews in Educational Research: Methodology, Perspectives and Application. In O. Zawacki-Richter, M. Kerres, S. Bedenlier, M. Bond & K. Buntins (Hrsg.), Systematic Reviews in Educational Research (S. 3–22). Springer Fachmedien Wiesbaden

Porsch, R. (2016). Fachfremd unterrichten in Deutschland. DDS – Die Deutsche Schule, 108(1), 9–32

Rochette, E. (2022). Understanding the Complexity of Science Teachers' Lived Experience as They Navigate Two Out-of-Field Areas: Implications and Possibilities. In Out-of-Field Teaching Across Teaching Disciplines and Contexts (S. 99–116)

Sheehan, G. R. & Mosse, J. (2013). Working with Science Teachers to Transform the Opportunity Landscape for Regional and Rural Youth: A Qualitative Evaluation of the Science in Schools Program.Australian Journal of Teacher Education, 38(1)

Armin Lässer[1]
Thomas Schubatzky[1]
Christoph Kulgemeyer[2]
Josef Riese[3]

[1]Universität Innsbruck
[2]Universität Bremen
[3]Universität Paderborn

Unterschiede alternativ und regulär qualifizierter Physiklehrkräfte
(Erhebung von Wissen und Kompetenzen)

Vor allem wegen Pensionierungswellen im Lehrkörper und „rückläufiger Attraktivität des Lehrberufs, teils aufgrund der niedrigen Gehälter, des hohen Stresspegels, des zunehmenden bürokratischen Aufwands und der begrenzten Aufstiegsmöglichkeiten“ (OECD, 2024), aber teilweise auch wegen steigender Schüler:innenzahlen herrscht ein europaweiter Mangel an Lehrer:innen, insbesondere in den STEAM-Fächern (BMBWF, 2021; European Commission, 2023; KMK, 2023). Um nicht durch Erhöhung der Arbeitszeit und/oder der Schüler:innenzahlen pro Klasse die Attraktivität des Berufs weiter zu verringern, versuchen viele Staaten die Situation durch flexiblere Einstellungsvoraussetzungen zu verbessern und damit Quer- und Seiteneinsteigende anzuwerben (European Commission, 2021).
In Österreich wurde dazu etwa eine Zertifizierungskommission geschaffen, die Gewillte mit abgeschlossenem, fachlich geeignetem Studium und Berufspraxis die Qualifikation zum Unterrichten bescheinigt. Zusätzlich muss innerhalb von acht Jahren ein Lehrgang mit pädagogischen und fachdidaktischen Inhalten absolviert werden.
Neben Quer- und Seiteneinsteiger:innen werden aber auch vermehrt Lehramtsstudierende - teilweise ohne Bachelor-Abschluss - angestellt (Hesse & Krause, 2024; Huber et al., 2023; Kampa, 2023; Winter et al., 2023) oder im Dienst stehende Lehrpersonen für fachfremden Unterricht eingesetzt (Korneck, 2020). Insgesamt steigt also der Anteil an Personen, die Physik unterrichten, jedoch kein abgeschlossenes Physik-Lehramtsstudium vorweisen können. Diese fassen wir unter „alternativ qualifiziert“ zusammen.

Dabei stellt sich natürlich die Kernfrage, ob sich die Unterrichtsqualität je nach Qualifikation der Lehrperson unterscheidet. In dem von Blömeke et al. (2015) entwickelten Modell wird diesbezüglich davon ausgegangen, dass kognitive und affektive Dispositionen von Lehrpersonen über die situationsspezifischen Fähigkeiten in (qualitativ hochwertige) Unterrichtsperformanz transformiert werden, die wiederum Lernen begünstigt. Die Dispositionen wurden sowohl bei traditionell (Cauet, 2016; Enkrott, 2021; Riese, 2009; Sorge et al., 2019) als auch bei Quer- und Seiteneinsteigenden untersucht und ergaben überraschenderweise - trotz der fehlenden fachdidaktischen und pädagogischen Inhalte in den von Quer- und Seiteneinsteigenden abgeschlossenen Studien - nur geringe Unterschiede zwischen den beiden Gruppen (Korneck et al., 2021; Lucksnat et al., 2024).
Der Einfluss von Professionswissen auf die Performanz in professionsbezogenen Handlungssituationen wurde bisher nur bei traditionell ausgebildeten Lehrpersonen untersucht. Es haben sich beispielsweise signifikante Zusammenhänge von Fachwissen über fachdidaktisches Wissen hin zur Erklärfähigkeit (Kulgemeyer, 2017) ergeben.
Eine objektive und proximale Erhebung der Performanz alternativ qualifizierter Physiklehrpersonen in professionsbezogenen Handlungssituationen fehlt jedoch bisher. Um diese Lücke zu schließen, untersucht unsere Studie Zusammenhänge von und Differenzen im

professionellen Wissen (Fachwissen, Fachdidaktisches Wissen, Einstellungen zum Lernen und Lehren/zur Physikdidaktik) und ausgewählten handlungsbezogene Fähigkeiten (Erklären, Reflektieren) bei unterschiedlich qualifizierten Physiklehrkräften unterschiedlichen Dienstalters in Österreich und Deutschland.
Bei dem Projekt handelt es sich einerseits um eine Kooperation der Universitäten Innsbruck, Bremen und Paderborn und andererseits um einen Teil des vom BMBWF geförderten Doktoratsprogramms „ProQ-Steam“ (Professionalisierung im STEAM-Quereinstieg).

Forschungsfragen

- Über welche kognitiven (Fachwissen, fachdidaktisches Wissen), welche affektiven (Einstellungen zum Lernen und Lehren/zur Physikdidaktik) Ressourcen und welche Performanzausprägung in den professionsbezogenen Handlungssituationen (Erklären und Reflektieren von Unterricht) verfügen alternativ Qualifizierte, die Physik unterrichten (möchten)?
- Inwiefern unterscheiden sich kognitive und affektive Ressourcen sowie Performanzausprägung in den professionsbezogenen Handlungssituationen von alternativ und regulär qualifizierten Lehrer:innen sowie Lehramtsstudierenden?
- Inwiefern zeigen sich bisher festgestellte Zusammenhänge zwischen professionellen Kompetenzen und Performanzausprägung in den professionsbezogenen Handlungssituationen auch bei alternativ qualifizierten Lehrkräften?
- Wie kann die Entwicklung von professionellem Wissen und handlungsbezogenen Fähigkeiten von alternativ qualifizierten Lehrern unterstützt werden?

Forschungsdesign

Das Untersuchungsdesign vereint quantitative und qualitative Teile.
Für die ersten drei Fragestellungen führen wir im Wintersemester 2024/25 eine Querschnittsbefragung mit alternativ und traditionell zertifizierten Physiklehrkräften, sowie Physik-Lehramtsstudierenden in Österreich und Deutschland durch. Dabei verwenden wir bereits validierte Testinstrumente zu fachdidaktischem Wissen (Gramzow et al., 2013), Fachwissen (Riese, 2009), Erklär- (Bartels & Kulgemeyer, 2019) und Reflexionsfähigkeit (Weißbach & Kulgemeyer, 2024) sowie Einstellungen (Costan et al., 2024).
Erste Ergebnisse sind im Frühjahr 2025 zu erwarten. Auf diesen Erkenntnissen aufbauend wird die oben letztgenannte Fragestellung in einem qualitativen Ansatz bearbeitet.

Hypothesen & Vermutungen

Aufgrund der Curricula der von Quereinsteigenden abgeschlossenen Ausbildungen bzw. des Fortschritts im Studium und aufgrund von Studien über traditionell ausgebildete Lehrkräfte (s.o.) sind folgende Unterschiede und Zusammenhänge zu erwarten:

- Traditionell Ausgebildete verfügen über mehr Erklärfähigkeit als alternativ Qualifizierte.
- Traditionell Ausgebildete und Studierende mit begleiteter Praxiserfahrung verfügen über mehr Reflexionsfähigkeit.

Andererseits haben oben genannte Studien wenig Professionswissensunterschiede zwischen traditionell und alternativ qualifizierten Lehrkräften ergeben. Dieser Widerspruch könnte durch im Lehramtsstudium und/oder während begleiteter Praxiserfahrungen erworbene Erklär- und Reflexionskompetenzen aufgeklärt werden.

Studien haben zudem gezeigt, dass Studierende, die einen höheren fachlichen Anteil in Ihrem Lehramtsstudium haben, auch verstärkt auf ihr Fachwissen zurückgreifen, wenn es um ihr fachdidaktisches Wissen geht (Schiering et al., 2021). Ein ähnlicher Effekt könnte auch hier vermutet werden: Eventuell greifen Quereinsteigende vermehrt auf ihr Fachwissen zurück, wenn es um die Erklärung physikalischer Inhalte geht. Bisherige Forschung hat hier wiederum gezeigt, dass hohes fachliches Wissen allein nicht reicht, um gut erklären zu können (Kulgemeyer & Riese, 2018).

Ausblick

Basierend auf den Ergebnissen der im Wintersemester 24/25 stattfindenden Querschnittserhebung sollen je nach Ausprägung Unterstützungsmaßnahmen für Quereinsteigende entwickelt werden: Wenn sich Defizite in Dispositionen zeigen, braucht es gezielte Anlässe zur Förderung jener. Zeigen sich keine Unterscheide, jedoch Unterschiede in vermuteten Zusammenhängen, braucht es Lernanlässe, Dispositionen in Fähigkeiten umsetzen zu können. Zeigen sich Vorteile für Quereinsteigende in Dispositionen und/oder situationsspezifischen Fähigkeiten, muss vertieft über aktuelle Ausbildungsangebote in der Lehramtsausbildung reflektiert werden.

Literaturverzeichnis

Bartels, H. & Kulgemeyer, C. (2019). Explaining physics: an online test for self-assessment and instructor training. European Journal of Physics, 40(1). https://doi.org/10.1088/1361-6404/aaeb5e

Blömeke, S., Gustafsson, J.-E. & Shavelson, R. J. (2015). Beyond Dichotomies. Zeitschrift für Psychologie, 223(1), 3–13. https://doi.org/10.1027/2151-2604/a000194

BMBWF (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung). (2021). *Nationaler Bildungsbericht Österreich 2021, Teil 2 – Bildungsindikatoren.* https://doi.org/10.17888/nbb2021-2

Cauet, E. (2016). *Testen wir relevantes Wissen? Zusammenhang zwischen dem Professionswissen von Physiklehrkräften und gutem und erfolgreichem Unterrichten* [Dissertation]. Universität Duisburg-Essen, Duisburg, Essen. https://directory.doabooks.org/handle/20.500.12854/84314

Costan, K., Costan, M. & Kulgemeyer, C. (2024). „Physikdidaktische Forschung interessiert mich Null" – oder etwa doch? Einstellungen von Physiklehrkräften zu physikdidaktischer Forschung. In H. van Vorst (Vorsitz), *GDCP Jahrestagung.* Symposium im Rahmen der Tagung von Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Hamburg. https://gdcp-ev.de/wp-content/uploads/securepdfs/2024/06/D24_Costan.pdf

Enkrott, P. (2021). *Entwicklung des fachlichen Wissens angehender Physiklehrkräfte.* Universität Potsdam. https://doi.org/10.25932/PUBLISHUP-50040

European Commission/EACEA/Eurydice. (2021). *Teachers in Europe: Careers, development and well-being*. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2797/997402

European Commission/EACEA/Eurydice. (2023). *Structural indicators for monitoring education and training systems in Europe 2023 – The teaching profession*. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2797/849109

Gramzow, Y., Riese, J. & Reinhold, P. (2013). Modellierung fachdidaktischen Wissens angehender Physiklehrkräfte. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *19*, 7–30. https://archiv.leibniz-ipn.de/zfdn/pdf/19_Gramzow.pdf

Hesse, F. & Krause, J. (2024). Studierende unterrichten neben dem Studium als Vertretungslehrkräfte – ein Bericht zum Stand der empirischen Forschung. *Didaktik Deutsch*(56), 66–86. https://doi.org/10.21248/dideu.715

Huber, S. G., Helm, C. & Lusnig, L. (2023). Schulischer Personalmangel: Kurz-, mittel- und langfristige Lösungsansätze für Politik, Schulaufsicht, Hochschulen und in den Schulen selbst. *schule verantworten | führungskultur_innovation_autonomie*, *3*(1). https://doi.org/10.53349/sv.2023.i1.a308

Kampa, N. (2023). *Lehramt: Mehr als die Hälfte der im Master Studierenden unterrichtet bereits*. https://medienportal.univie.ac.at/media/aktuelle-pressemeldungen/detailansicht/artikel/lehramt-mehr-als-die-haelfte-der-im-master-studierenden-unterrichten-bereits/

Korneck, F. (2020). Sondermaßnahmen vs. nachhaltige Professionalisierung im Lehrerberuf. In R. Porsch & B. Rösken-Winter (Hrsg.), *Professionelles Handeln im fachfremd erteilten Mathematikunterricht* (S. 49–77). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-27293-7_3

Korneck, F., Oettinghaus, L. & Lamprecht, J. (2021). Physiklehrkräfte: Gewinnung -Professionalisierung - Kompetenzen. In S. Habig (Vorsitz), *Jahrestagung.* Symposium im Rahmen der Tagung von Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. https://www.gdcp-ev.de/wp-content/tb2021/TB2021_4_Korneck.pdf

Kulgemeyer, C. (2017). *Physik erklären* [Kumulative Habilitationsschrift]. Universität Bremen, Bremen. https://physikdidaktik.uni-bremen.de/pubs/kulgemeyer/Habilitationsschrift_final.pdf

Kulgemeyer, C. & Riese, J. (2018). From professional knowledge to professional performance: The impact of CK and PCK on teaching quality in explaining situations. Journal of Research in Science Teaching, 55(10), 1393–1418. https://doi.org/10.1002/tea.21457

Kulgemeyer, C., Borowski, A., Buschhüter, D., Enkrott, P., Kempin, M., Reinhold, P., Riese, J., Schecker, H., Schröder, J. & Vogelsang, C. (2020). Professional knowledge affects action-related skills: The development of preservice physics teachers' explaining skills during a field experience. *Journal of Research in Science Teaching*, *57*(10), 1554–1582. https://doi.org/10.1002/tea.21632

KMK (Kultusministerkonferenz). (2023). *Lehrkräfteeinstellungsbedarf und -angebot: in der Bundesrepublik Deutschland 2023-2035*. Dokumentation Nr. 238 – Dezember 2023. https://www.kmk.org/dokumentation-statistik/statistik/schulstatistik/lehrkraefteeinstellungsbedarf-und-angebot.html

Lucksnat, C., Richter, E., Henschel, S., Hoffmann, L., Schipolowski, S. & Richter, D. (2024). Comparing the teaching quality of alternatively certified teachers and traditionally certified teachers: findings from a large-scale study. *Educational Assessment, Evaluation and Accountability*, *36*, 75–106. https://doi.org/10.1007/s11092-023-09426-1

OECD. (2024). *Bildung auf einen Blick 2024: OECD-Indikatoren* (1. Auflage). wbv Media. https://doi.org/10.1787/e7565ada-de

Riese, J. (2009). *Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften* [Dissertation]. Universität Paderborn, Paderborn. https://www.logos-verlag.de/cgi-bin/engbuchmid?isbn=2376&lng=deu&id=

Schiering, D., Sorge, S. & Neumann, K. (2021). Hilft viel viel? Der Einfluss von Studienstrukturen auf das Professionswissen angehender Physiklehrkräfte. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *24*(3), 545–570. https://doi.org/10.1007/s11618-021-01003-w

Sorge, S., Kröger, J., Petersen, S. & Neumann, K. (2019). Structure and development of pre-service physics teachers' professional knowledge. *International Journal of Science Education*, *41*(7), 862–889. https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1346326

Weißbach, A. & Kulgemeyer, C. (2024). Reflexionsfähigkeit von Physiklehramtsstudierenden: Ein Online-Self-Assessment mit Feedback. *Unterrichtswissenschaft*, *52*(1), 135–161. https://doi.org/10.1007/s42010-024-00195-4

Winter, I., Reintjes, C. & Nonte, S. (2023). Unterrichten neben dem Studium. Eine Bestandsaufnahme hinsichtlich der studienunabhängigen Vertretungslehrkrafttätigkeit von Lehramtsstudierenden in Niedersachsen. *Lehrkräftebildung in der Bedarfskrise. Programme – Positionierungen – Empirie*, *Studien zur Professionsforschung und Lehrer:innenbildung.* https://doi.org/10.25656/01:27678

Daniel Molkenthin[1]
Christoph Kulgemeyer[1]

[1]Universität Bremen

Sind Quereinstiege in das Lehramt gesellschaftlich akzeptiert?

Bis zum Jahr 2030 werden etwa ein Drittel aller an allgemeinbildenden Schulen beschäftigten Lehrkräfte aus dem aktiven Schuldienst ausscheiden (Klemm, 2022). In den MINT-Fächern wird der Lehrkräftebedarf nur zu ca. 34% gedeckt sein. Besonders betroffen ist das Fach Physik mit einer prognostizierten Versorgungsquote von 17% (Klemm, 2020). Um dem entgegenzuwirken, bieten die Bundesländer verschiedene Programme zum Quer- und Seiteneinstieg in das Lehramt an, die sich stark unterscheiden (Klemm, 2019). Der Bedarf ist dabei unstrittig (z.B. Porsch, 2021), es fehlt aber u.a. an Forschung zur Qualität des Unterrichts von QuereinsteigerInnen. Zudem findet kaum kontroverse gesellschaftliche Diskussion über die Qualifikation von QuereinsteigerInnen statt. Es scheint sogar so zu sein, dass Quereinstiege in Berufen wie Ärzten auf keinerlei gesellschaftliche Akzeptanz stoßen – während sie im Lehramt als wohl einziger Profession teilweise sogar als Mehrwert gesehen werden könnten. In dieser Arbeit wurde das Meinungsbild zum Quereinstieg ins Lehramt untersucht, indem aus Kommentaren zu Onlinequellen Einstellungen exploriert wurden, die dann in einer quantitativen Studie untersucht wurden (s. Abb. 1).

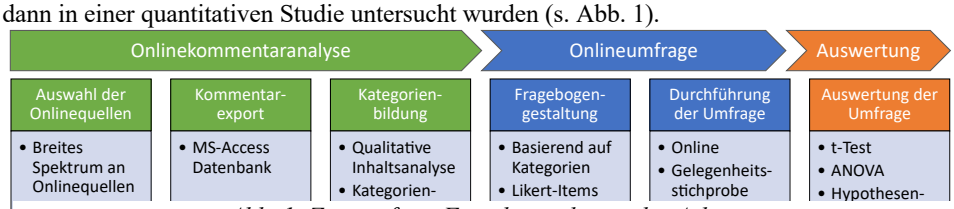


Abb. 1: Zweistufiges Forschungsdesign der Arbeit.

Gestaltung und Ergebnisse der Onlinekommentaranalyse

Um die Breite der Einstellungen zum Quereinstieg zu explorieren, wurden insgesamt 976 Kommentare von 580 AutorInnen aus neun verschiedenen Onlineartikeln und Videos analysiert und anschließend ein Kategoriensystem nach Mayring (2015) mittels qualitativer Inhaltsanalyse erstellt. Dazu wurden Quellen ausgewählt, die eine Breite des politischen Spektrums im Diskurs abbilden. Es wurden Subkategorien gebildet, die positive (z.B. neue Perspektiven, Lebenserfahrung), neutral-abgewogene (z.B. ähnliche fachliche Qualifikation von traditionellen Lehrkräften und QuereinsteigerInnen), negative (z.B. mangelnde Qualifikation) und irrelevante Kommentare inhaltlich differenzieren.

Gestaltung und Durchführung der Onlineumfrage

Basierend auf den Ergebnissen der Onlinekommentaranalyse wurde ein Fragebogen konzipiert, der in vier Abschnitten mit Likert-Items (1-5) und Multiple-Choice-Fragen die demografischen Daten der UmfrageteilnehmerInnen (1), die allgemeine Einstellung zum Quereinstieg ins Lehramt (2), die Gegenüberstellung von traditionellen Lehrkräften und QuereinsteigerInnen (3) sowie die Haltung zum Quereinstieg ins Lehramt Physik (4) erfasste. Zuletzt konnte die Robustheit des Kategoriensystems bestätigt werden, indem freie Abschlusskommentare zum Quereinstieg ebenfalls klassifiziert wurden. Die Umfrage wurde

nach einem Pretest über die Plattform LimeSurvey in den sozialen Medien (WhatsApp, Reddit und Jodel) veröffentlicht.

Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse der Onlineumfrage

Es wurden die Antworten von 532 (386 vollständige) TeilnehmerInnen statistisch mit t-Tests und ANOVAs ausgewertet. Dabei wurde das Antwortverhalten innerhalb von vier Gruppen mit post-hoc Tests differenziert: Geschlecht (1), Altersgruppe (2), Schulkontakt (3) und das positive/negative Erleben des Physikunterrichts (4). Es nahmen mehr Frauen (61 %) als Männer (39 %) an der Umfrage teil, 80 % der TeilnehmerInnen sind 21-39 Jahre alt. Insgesamt besaßen 66 % der TeilnehmerInnen einen akademischen Abschluss. Es arbeiten 14 % der TeilnehmerInnen an einer Schule, 25 % haben anderweitig Kontakt zur Schule und 61 % sind ohne momentanen Schulkontakt. 180 Personen haben den Physikunterricht (eher) negativ in Erinnerung, 137 Personen dagegen (eher) positiv.

Voraussetzungen und Form des Quereinstiegs

Es befürworteten 64 % der UmfrageteilnehmerInnen eine höhere Präsenz von QuereinsteigerInnen in Schulen. Als Hauptgründe wurden „neue Perspektiven im Unterricht (28 %)", „Berufserfahrung (36 %)" und „weniger Stundenausfälle" (26 %) genannt, die „Entlastung von Lehrkräften" (11 %) war dabei zweitrangig. Es setzten 56 % der Befragten einen akademischen Abschluss (Bachelor 35 %, Master 21 %) und 31 % lediglich eine Berufsausbildung für den Quereinstieg voraus. Die Mehrheit (40 %) bevorzugte ein Quereinstiegsprogramm mit „mehrwöchiger Qualifizierung und anschließendem Referendariat an einer Schule". Nur 8 % sprachen sich für einen Quereinstiegs-Master aus, wie ihn z.B. die Deutsche Physikalische Gesellschaft fordert (Korneck et al., 2010).

Persönliche Erfahrungen mit QuereinsteigerInnen

Es zeigte sich, dass die Einschätzung der fachlichen (z.B. umfangreiches Fachwissen, verständliches Erklären) und pädagogischen Kompetenzen (z.B. Umgang mit SchülerInnen) selbst im Unterricht erlebter QuereinsteigerInnen sich je nach betrachteter Gruppe unterscheidet. So erlebten Frauen und Personen, die den Physikunterricht negativ in Erinnerung haben, diese Kompetenzen weniger ausgeprägt als Männer bzw. Personen, die den Physikunterricht (eher) positiv in Erinnerung haben. Auch nahmen Personen ohne Schulkontakt diese Kompetenzen signifikant positiver als Personen mit Schulkontakt wahr.

Einsatz von QuereinsteigerInnen in verschiedenen Schulformen- und fächern

Die Befragung ergab, dass der Einsatz von QuereinsteigerInnen in der Grundschule eher zurückhaltend bewertet, der Einsatz in den Berufsbildenden Schulen dagegen stark begrüßt wird. Der Quereinstieg in den MINT-Fächern wurde von Männern positiver als von Frauen bewertet, Frauen bewerteten dagegen den Quereinstieg in den sprachlich-musischen Fächern positiver als Männer. Gründe hierfür können in der inhaltlichen Ausrichtung der MINT-Fächer liegen, die oftmals eher Bedürfnisse von Männern als von Frauen bedienen (Hoffmann et al., 1998). Grundsätzlich bewerteten Personen ohne Schulkontakt den Quereinstieg sowohl in den verschiedenen Schulformen als auch in den verschiedenen Schulfächern positiver als Personen mit Schulkontakt.

QuereinsteigerInnen und traditionelle Lehrkräfte im Vergleich

In der Gegenüberstellung von traditionellen Lehrkräften und QuereinsteigerInnen sollten diesen mittels Likert Items (1-5) verschiedene Kompetenzen zugeordnet werden.

Traditionellen Lehrkräften wurden vorrangig die Kompetenzen „leisten gute erzieherische Arbeit", „verständliche Wissensvermittlung" und „gehen individuell auf SchülerInnen ein" zugeordnet. Damit ist das gesellschaftliche Bild traditioneller Lehrkräfte vor allem durch pädagogische Kompetenzen geprägt, die im Rahmen ihrer Professionalisierung erworben wurden. QuereinsteigerInnen wird dagegen zugeschrieben, „zu wissen, worauf es im Leben ankommt' sowie die Fähigkeit „verschiedene Perspektiven zu vermitteln". Hier kommt das vermutete Potential von QuereinsteigerInnen aufgrund ihrer vorangegangenen beruflichen Laufbahn zu tragen. Vairo Nunes (2023) zeigte jedoch, dass nur 24 % der QuereinsteigerInnen aufgrund hoher Belastungen im Alltag Sonderinhalte in ihren Unterricht einbringen. Darüber hinaus bewerten Personen *ohne* Schulkontakt QuereinsteigerInnen signifikant kompetenter als Personen *mit* Schulkontakt. Die stärkste Differenzierung in dieser Hinsicht nahmen junge Menschen (18-20 Jahre) vor.

QuereinsteigerInnen im Fach Physik

Abschließend wurde die Sicht auf den Quereinstieg ins Fach Physik untersucht. Bestätigt werden konnte, dass Frauen den Physikunterricht negativer wahrnehmen als Männer. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass im Mittel eine Quereinstiegsquote von 42 % im Fach Physik noch akzeptiert wird. Nur 14 % der UmfrageteilnehmerInnen sahen einen maximalen Anteil von 80 % QuereinsteigerInnen ins Lehramt Physik als angemessen an. Dies steht in einem starken Missverhältnis zu der Prognose von Klemm (2022) von 83 % QuereinsteigerInnen im Jahr 2030. 71 % der UmfrageteilnehmerInnen gaben an, dass ein akademischer Abschluss (48 % Bachelor-, 23 % Masterabschluss) als Voraussetzung für den Quereinstieg in das Fach Physik notwendig sei. In beiden Studienprogrammen setzten ca. 35 % Physik als Nebenfach bzw. 57 % Physik als Hauptfach voraus. Dies steht in einem Missverhältnis zu den Ergebnissen von Lamprecht (2011), wonach 40 % der QuereinsteigerInnen keinen Studienabschluss im Fach Physik besitzen. Einigkeit besteht über alle untersuchten Gruppen hinweg, dass QuereinsteigerInnen „den Physikunterricht verbessern können".

Kontroverser ist die Bewertung, ob für Physikunterricht Fachwissen oder pädagogisches Wissen relevanter sei. Sowohl Frauen, Personen, die den Physikunterricht (eher) negativ erlebt haben und Personen mit Schulkontakt sahen das pädagogische Wissen als relevanter im Physikunterricht an. Dies ist möglicherweise auf die persönlichen Erfahrungen im eigenen Physikunterricht zurückzuführen, da sich die Inhalte des Physikunterrichts oft weniger an den Interessen dieser Gruppen orientieren (Hoffmann et al., 1998).

Die Ergebnisse zeigen, dass nach Ansicht nahezu aller untersuchten Gruppen sowohl traditionelle Lehrkräfte als auch QuereinsteigerInnen SchülerInnen im Fach Physik gleichsam „gut auf die Arbeitswelt vorbereiten". Nur Personen ohne Schulkontakt schreiben QuereinsteigerInnen eine bessere Vorbereitung auf die Arbeitswelt zu. Ebenso beurteilen Personen ohne Schulkontakt den Einsatz von QuereinsteigerInnen im Fach Physik grundsätzlich positiver als Personen, die an einer Schule arbeiten.

Fazit

Die Ergebnisse zeigen, dass QuereinsteigerInnen nicht nur als Mittel zur kurzfristigen Unterrichtsabdeckung gesehen werden, sondern als Potential. Darüber hinaus beeinflusst das persönliche Erleben von QuereinsteigerInnen deren Akzeptanz. Personen ohne aktiven Kontakt zur Schule zeigen empirisch nicht belegbare, „stereotypische Ansichten" bezüglich der Kompetenzen von QuereinsteigerInnen und traditionellen Lehrkräften und bewerten den

Quereinstieg signifikant positiver als Personen mit Schulkontakt. Ihr Bild von QuereinsteigerInnen entspricht allerdings oftmals nicht der Realität.

Literatur

Hoffmann, L., Häußler, P., und Lehrke, M. (1998). Die IPN-Interessenstudie Physik. IPN. 158. IPN, Kiel. Backup Publisher: Christian-Albrechts-Universität zu Kiel / Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.

Klemm, K. (2019). Seiten- und QuereinsteigerInnen an Schulen in den 16 Bundesländern. Berlin: Friedrich-Ebert-Stiftung.

Klemm, K. (2020). Lehrkräftemangel in den MINT-Fächern: Kein Ende in Sicht. Zur Bedarfs- und Angebotsentwicklung in den allgemeinbildenden Schulen der Sekundarstufen I und II am Beispiel Nordrhein-Westfalens Duit, R., Gropengießer, H., & Stäudel, L (2004). Naturwissenschaftliches Arbeiten: Unterricht und Material 5-10. Seelze-Velber: Friedrich-Verlag.

Klemm, K. (2022). Entwicklung von Lehrkräftebedarf und -angebot in Deutschland bis 2035. Verband Bildung und Erziehung. Berlin.

Korneck, F., Lamprecht, J., Wodzinski, R., und Schecker, H. (2010). Quereinsteiger in das Lehramt Physik. Lage und Perspektiven der Physiklehrerausbildung in Deutschland.

Lamprecht, J. (2011). Ausbildungswege und Komponenten professioneller Handlungskompetenz: Vergleich von Quereinsteigern mit Lehramtsabsolventen für Gymnasien im Fach Physik: Dissertation.

Mayring, P. (2015). Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken (Beltz Pädagogik, 12., überarb. Aufl.).

Porsch, R. (2021). Quer- und Seiteneinsteiger*innen im Lehrer*innenberuf. Thesen in der Debatte um die Einstellung nicht traditionell ausgebildeter Lehrkräfte. In Reintjes, C., Idel, T.-S., Bellenberg, G., und Thönes, K. V., Herausgeber, Schulpraktische Studien und Professionalisierung. Kohärenzambitionen und alternative Zugänge zum Lehrberuf, Schulpraktische Studien und Professionalisierung. 6, Seiten 207–222. Waxmann, Münster.

Vairo Nunes, R. M. (2023). MINT-Personal an Schulen: Eine Untersuchung der Arbeitssituation und professionellen Kompetenzen von MINT-Lehrkräften verschiedener Ausbildungswege. Publisher: Deutsche Nationalbibliothek.

Agnes Birner[1]
Florian Frank[1]
Markus Elsholz[1]
Thomas Trefzger[1]

[1]Universität Würzburg

Dynamiken von MINT-Bildungswegentscheidungen und -Berufsorientierungen

Im Projekt DynaMINT (Dynamiken MINT-bezogener Bildungs- und Berufsentscheidungen von Kindern und Jugendlichen) wird untersucht, wie sich die Selbstpositionierung von Kindern und Jugendlichen (KuJ) zur Beschäftigung mit Themen der Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik (MINT) im Verlauf des Heranwachsens (im Alter zwischen 12 und 16 Jahren) entwickelt. Dafür werden die KuJ im Rahmen von zwei Längsschnittstudien über einen Zeitraum von zwei Jahren wissenschaftlich begleitet. Zielgruppe sind Schüler*innen der Jahrgangsstufen 7 bis 9 aus Mittel-, (Werk-)Real- und Gemeinschaftsschulen sowie Gymnasien in Bayern und Baden-Württemberg (siehe hierzu Elsholz, Birner, Frank & Trefzger, angenommen). Die beiden Teilprojekte fokussieren unterschiedliche Aspekte der Positionierung zu MINT: In einer quantitativen Studie wird die Positionierung zu MINT im Kontext der Berufsorientierung und -aspirationen der KuJ in den Blick genommen, während in einer qualitativen Studie die Positionierung unter dem Blickwinkel der Identität betrachtet wird. Die in den zwei Studien gesammelten Daten werden durch Triangulation (Schründer-Lenz, 2013) miteinander verbunden, um einen umfassenden Blick von den Grundlagen der Entscheidungsprozesse über die Aushandlung ebenjener zu erhalten.

Quantitatives Teilprojekt - Zusammenfassung

Die theoretische Basis des quantitativen Teilprojekts bildet die Person-Umwelt-Theorie (Person-Environment-Fit-Theory, Kristof-Brown & Billsberrry, 2013). Diese postuliert, dass die Entscheidung für oder gegen einen Beruf auf Grundlage von Aushandlungsprozessen getroffen wird, in welche Bewertungen der Fähigkeiten und Wünsche der Person sowie der Anforderungen und Möglichkeiten des Berufs einfließen (Su, Murdock & Rounds, 2015). Cooman & Vleugels (2022) unterscheiden genauer zwischen dem „calculated fit“ und dem „perceived fit“. Zur Bewertung des „calculated fit“ werden objektive oder subjektive Einschätzungen der Person und des Berufs erhoben und ein „fit score“ gebildet, während die Person für die Ermittlung des „perceived fit“ explizit nach ihrem Gefühl der Passung zum Beruf gefragt wird.
In dem quantitativen Teilprojekt werden mittels Fragebögen auf Personenseite die Berufswerte, das Selbstkonzept in ausgewählten Fächern und die Selbsteinschätzung zu überfachlichen Fähigkeiten der KuJ sowie auf Umweltseite die von den KuJ wahrgenommenen Chancen und Anforderungen von MINT- und Nicht-MINT-Berufen erhoben. Damit kann für jedes Personen-Berufs-Paar ein „calculated fit score“ gebildet und mit einem im Rahmen der Fragebögen ebenso erhobenen „perceived fit score“ in Relation gesetzt werden. Zentrale Forschungsfrage ist, wie sich die „fit scores“ über den Erhebungszeitraum hinweg entwickeln und welchen Einfluss darauf (außer-)schulische Beschäftigungen mit Berufsinformationen und andere auf Klassen- oder Individualebene besuchte Zusatzangebote haben.

Qualitatives Teilprojekt - Theoretischer Ansatz

Die qualitative Teilstudie geht der Frage nach, wie KuJ Bildungswegentscheidungen (BWE) treffen und wie sich die MINT-Identität im Lauf des Forschungszeitraums verändert sowie auf

den Einfluss (außer-)schulischer MINT-Zusatzangebote auf Identität und BWE. BWE werden hier nicht als einmaliges, kurzes Ereignis begriffen, sondern als Prozess, dessen Anfang und Ende nicht genau bestimmt werden kann (Felbermayr, 2023). Um die Prozesshaftigkeit der Entscheidung und die damit einhergehenden Überlegungen der KuJ greifbarer zu machen, wird auf Identität als theoretisches Konstrukt zurückgegriffen, da Identität ebenfalls als nicht statisch, sondern als „unfinished and in process" (Holland et al., 1998) beschrieben wird. Dieser prozessuale Charakter von Identität wird mit weiteren Grundkonzepten von Identität, wie etwa, dass für die Formung der eigenen Identität Kompetenzen (beispielsweise Perspektivübernahme, Ambivalenztoleranz) benötigt werden, sowie, dass soziale Bezüge, Gefühle und Gedächtnis auf sie wirken, ergänzt (Zirfas, 2010). Weiterhin kann die Identität einer Person nicht als etwas Singuläres gesehen werden, vielmehr hat eine Person mehrere Identitäten, die im Austausch mit der Gesellschaft entstehen und sichtbar werden (Gee, 2000). „‚Wie bin ich geworden, wer ich bin?', ‚Wer will ich sein?', ‚Was tue ich?' und ‚Wie sehen mich die Anderen?'" (Abels, 2017) sind Fragen, die sich die KuJ hier beantworten müssen.

Da der Fokus der Studie auf den Entscheidungsprozessen in Bezug zu MINT liegt, bietet sich das seit mehreren Jahren in der englischsprachigen Literatur (Danielsson, King, Godec & Nyström, 2023) und seit einigen Jahren auch in Deutschland Beachtung findende Konstrukt der MINT-Identität (u.a. Christ, Bub, Krey & Rabe, 2023; Rabe & Krey, 2018) an. Die Grundlage bilden die Modelle der Science-Identity von Schüler*innen nach Archer, Moote, MacLeod, Francis & DeWitt (2020) sowie das Modell von Hazari, Sonnert, Sadler & Shanahan (2010). Hazari, Sonnert, Sadler & Shanahan beschreiben die Identität von Schüler*innen als dreigliedrig. Hier überschneiden sich die Persönliche, die Soziale sowie die Physikidentität (für diese Studie wird der Begriff der Physikidentität bzw. Science Identity ausgeweitet auf alle MINT-Fächer). Letztgenannte wird von vier Faktoren beeinflusst: Recognition, Performance, Interest und Competence. Archer, Moote, MacLeod, Francis & DeWitt (2020) weiten in ihrem Modell den Blick auf Faktoren, die nicht von der Person ausgehen, sondern sich aus den Rahmenbedingungen ergeben. Zu nennen sind hier u. a. die Schule, der Unterricht sowie die Lehrperson, Berufsberatung, die Wahrnehmung von MINT (z. B. männlich und schlau) oder auch das Science Capital des familiären Umfelds. Weiterhin werden strukturelle Elemente genannt, wie gender, Migrationsgeschichte oder sozioökonomischer Hintergrund.

Um den Blick zu weiten, wurde weitere Literatur herangezogen, aus der hervorgeht, dass neben den Lehrpersonen auch die Eltern und weitere Personen (im weiteren Verlauf Significant Others (Sjaastad, 2012)) sowie Critical Moments (Lykkegaard & Ulriksen, 2019) und außerschulische MINT-Angebote (Hazari, Dou, Sonnert & Sadler, 2022) einen wichtigen Beitrag zur Identitätsentwicklung leisten. „[...] we are not going to find one single factor which is universally influential; different students are persuaded by quite different factors" (Woolnough 1994, p. 672) and "many different factors contribute to children's decisions, and these factors are inter-related among themselves" making it "difficult to disentangle the effect of any one variable"(Kelly 1988, p. 18) (zit. nach Regan & DeWitt, 2015).

Qualitatives Teilprojekt - Erhebungsmethode und -design

Die Datenerhebung findet über einen Zeitraum von 2 Jahren statt und es werden pro teilnehmende Person vier leitfadengestützte Interviews (Friebertshäuser & Langer, 2012) geführt. Um auf Veränderungen zwischen den Zeitpunkten retrospektiv eingehen zu können, werden die Teilnehmenden zwischen den Interviews aufgefordert, an einer schriftlichen Kurzbefragung (Kunz, 2018) teilzunehmen. Die Interviews finden zum Schulhalbjahr und zum Ende des

Schuljahres statt. Die Fragen für den Interviewleitfaden sowie für die schriftlichen Kurzbefragung wurden deduktiv entwickelt, bei der Formulierung der Fragen wurde aber darauf geachtet, dass das Einbringen neuer Blickwinkel und Ansichten der Interviewpartner*innen zu jeder Zeit möglich und gewünscht ist.
Die Fragen beziehen sich auf die im theoretischen Ansatz genannten Aspekte: Identität der KuJ, Wahrnehmung von MINT, Wahrnehmung von MINT-Unterricht bzw. der MINT-Identität, Science Capital, Significant Others, BWE, MINT-Zusatzangebote. Die beiden letztgenannten sind auch Inhalt der schriftlichen Kurzbefragung.

Qualitatives Teilprojekt - Geplante Auswertungsmethode und Erkenntnisinteresse
Es ist geplant, die erhobenen Daten mit der qualitativen Inhaltsanalyse nach Kuckartz & Rädiker (2022) auszuwerten. Diese Methode eignet sich, da sie offen für deduktive wie induktive Kategorienbildung ist. Im Querschnitt wird die Möglichkeit der Typenbildung (Kuckartz & Rädiker, 2024) auf Grundlage von Gemeinsamkeiten und Unterschieden der KuJ angestrebt. Weiterhin sollen die Gelingensbedingungen von (außer-)schulischen Zusatzangeboten identifiziert und beschrieben werden. Im Längsschnitt sollen die Veränderungen der Wahrnehmung der KuJ von MINT sowie deren retrospektive Sinnzuschreibung (Rieker, Humm & Zahradnik, 2024) zu BWE herausgearbeitet werden.

Literatur

Archer, L., Moote, J., MacLeod, E., Francis, B., & DeWitt, J. (2020). ASPIRES 2: Young people's science and career aspirations, age 10-19. UCL Institute for Education

Butterfield, S. M. J., & Benn Marshall, K. (2022). Using Qualitative Metasynthesis to Understand the Factors That Contribute to Science Identity Development Across Contexts in Secondary and Post-Secondary Students from Underrepresented Groups. In H. T. Holmegaard & L. Archer (Hrsg.), Science Identities: Theory, method and research (Bd. 12, S. 273–298). Springer International Publishing

Calabrese Barton, A., Kang, H., Tan, E., O'Neill, T. B., Bautista-Guerra, J., & Brecklin, C. (2013). Crafting a Future in Science: Tracing Middle School Girls' Identity Work Over Time and Space. American Educational Research Journal, 50(1), 37–75

Christ, L.-M., Bub, F., Krey, O., & Rabe, T. (2023). Physik und Ich? - Identitätsaushandlungen als Forschungsperspektive

Danielsson, A. T., King, H., Godec, S., & Nyström, A.-S. (2023). The identity turn in science education research: A critical review of methodologies in a consolidating field. Cultural Studies of Science Education, 18(3), 695–754

De Cooman, R., & Vleugels, W. (2022). Person–Environment Fit: Theoretical Perspectives, Conceptualizations, and Outcomes. In R. De Cooman & W. Vleugels, Oxford Research Encyclopedia of Business and Management. Oxford University Press

Elsholz, M., Birner, A., Frank, F., & Trefzger, T. (angenommen). Zentrale Motive der MINT-Identitätsverhandlung. PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2024

Fabian, P., & McElvany, N. (2020). Bildungsprozesse, Bildungsentscheidungen und Kompetenzentwicklungen in verschiedenen Lebensphasen. Aktuelle Forschungsbefunde aus NEPS. Journal for educational research on, 12, 3–11

Felbermayr, K. (2023). Entscheidungsprozesse am inklusiven Übergang. Eine Grounded Theory Studie im Längsschnitt

Friebertshäuser, B., & Langer, A. (2013). Interviewformen und Interviewpraxis. In Handbuch Qualitative Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft (4., durchgesehene Auflage, S. 437–455). Beltz Beltz Juventa

Gee, J. P. (2000). Chapter 3: Identity as an analytic lens for research in education. Review of research in education, 25, 99–125

Hazari, Z., Dou, R., Sonnert, G., & Sadler, P. M. (2022). Examining the relationship between informal science experiences and physics identity: Unrealized possibilities. Physical Review Physics Education Research, 18(1), 010107

Hazari, Z., Sonnert, G., Sadler, P. M., & Shanahan, M. (2010). Connecting high school physics experiences, outcome expectations, physics identity, and physics career choice: A gender study. Journal of Research in Science Teaching, 47(8), 978–1003

Holland, D. C., Lachicotte Jr., W., Skinner, D., & Cain, C. (Hrsg.). (1998). Identity and agency in cultural worlds (1. Harvard Univ. Press paperback ed., 2. print). Harvard Univ. Press

Holmegaard, H. T., Ulriksen, L. M., & Madsen, L. M. (2014). The Process of Choosing What to Study: A Longitudinal Study of Upper Secondary Students' Identity Work When Choosing Higher Education. Scandinavian Journal of Educational Research, 58(1), 21–40

Kristof-Brown, A. L., & Billsberry, J. (2013). Fit for the Future. In A. L. Kristof-Brown & J. Billsberry (Hrsg.), Organizational fit: Key issues and new directions (1. Aufl., S. 1–18). Wiley

Kunz, A. M. (2018). Einführung in Diary-Verfahren: Theorie und Praxis in qualitativer Forschung (1. Auflage). Beltz Juventa

Lykkegaard, E., & Ulriksen, L. (2019). In and out of the STEM pipeline – a longitudinal study of a misleading metaphor. International Journal of Science Education, 41(12), 1600–1625

Rabe, T., & Krey, O. (2018). Identitätskonstruktionen von Kindern und Jugendlichen in Bezug auf Physik – Das Identitätskonstrukt als Analyseperspektive für die Physikdidaktik? Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 24(1), 201–216

Regan, E., & DeWitt, J. (2015). Attitudes, Interest and Factors Influencing STEM Enrolment Behaviour: An Overview of Relevant Literature. In E. K. Henriksen, J. Dillon, & J. Ryder (Hrsg.), Understanding Student Participation and Choice in Science and Technology Education (S. 63–88). Springer Netherlands

Remich, R., Naffziger-Hirsch, M. E., Gazley, J. L., & McGee, R. (2016). Scientific Growth and Identity Development during a Postbaccalaureate Program: Results from a Multisite Qualitative Study. CBE—Life Sciences Education, 15(3)

Rieker, P., Humm, J., & Zahradnik, F. (2024). Qualitative Interview-Längsschnittforschung – forschungspraktische Chancen und Herausforderungen. Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research, 25(2)

Schründer-Lenzen, A. (2013). Triangulation—Ein Konzept zur Qualitätssicherung von Forschung. In Handbuch Qualitative Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft (4., durchgesehene Auflage, S. 149–158). Beltz Beltz Juventa

Sjaastad, J. (2012). Sources of Inspiration: The role of significant persons in young people's choice of science in higher education. International Journal of Science Education, 34(10), 1615–1636

Sjøberg, S., & Schreiner, C. (2019). The ROSE project—The development, key findings and impacts of an international low cost comparative project—Final Report, Part 1

Su, R., Murdock, C., & Rounds, J. (2015). Person-environment fit. In P. J. Hartung, M. L. Savickas, & W. B. Walsh (Hrsg.), APA handbook of career intervention, Volume 1: Foundations. (S. 81–98). American Psychological Association

Zirfas, J. (2010). Identität in der Moderne. Eine Einführung. In B. Jörissen & J. Zirfas (Hrsg.), Schlüsselwerke der Identitätsforschung (1. Aufl, S. 9–18). VS Verlag für Sozialwissenschaften

Förderhinweis

Die Studie wird im Rahmen des Projekts DynaMINT (Dynamiken MINT-bezogener Bildungs- und Berufsentscheidungen von Kindern und Jugendlichen) durch die Wittenstein-Stiftung gefördert.

Christoph Vogelsang[1] [1]Universität Paderborn
Josef Riese[1]

Prüfung von Unterrichtsplanungsfähigkeit im Physiklehramtsstudium

Das Planen von Unterricht ist eine zentrale berufliche Anforderung von Lehrkräften (König & Rothland, 2022). Daher sollen angehende Lehrkräfte auch schon im Studium Fähigkeiten zur Unterrichtsplanung erwerben und über „erste reflektierte Erfahrungen im Planen und Gestalten“ (KMK, 2024, 50) von Unterrichtseinheiten verfügen. Unterrichtsplanung wird daher auch curricular in Prüfungsordnungen von Lehramtsstudiengängen abgebildet und der Erwerb von Unterrichtsplanungsfähigkeit ist dementsprechend Gegenstand von Prüfungen (benotet oder unbenotet).

Unterrichtsplanung

Unterrichtsplanung ist ein komplexer, kreativer Designprozess, in dem Lehrkräfte einen Handlungsplan entwickeln müssen, der offene und eventuell widersprüchliche Zielanforderungen für den Unterricht vereint (z.B. Erwerb von Fachwissen und Interesse) (Aprea, 2014). Der Prozess der Unterrichtsplanung selbst verläuft zirkulär (Shavelson & Stern, 1981), wobei in einem ersten Schritt Vorbedingungen analysiert (z.B. Lernvoraussetzungen der Schüler*innen) und daran anschließend Unterrichtsaktivitäten festgelegt und durchgeführt werden. Im letzten Schritt wird die Durchführung reflektiert und bildet einen Teil der Analyse für nachfolgende Unterrichtseinheiten. Aber auch diese Abfolge beschreibt den Prozess eher grob. Während der Unterrichtsplanung müssen Lehrkräften viele interdependente Entscheidungen treffen und wechselseitig Bezüge zwischen unterschiedlichsten Planungsaspekten herstellen (z.B. Lernvoraussetzungen, Methoden, Medien) (Scholl et al., 2022), die nicht zwingend einem bestimmten Muster folgen. Unterrichtsplanung verfolgt dabei zwei unterschiedliche, aber aufeinander bezogene Ziele (Vogelsang & Riese, 2017). Zum einen muss eine Abfolge von Handlungen entwickelt werden (*Kreation*), die das Handeln von Lehrkräften in der eigentlichen Unterrichtsdurchführung vorstrukturiert und damit auch mental entlastet (vgl. Stender et al., 2017). Zum anderen müssen Lehrkräfte als professionell Agierende die geplante Handlungsstruktur begründen können (*Legitimation*), bspw. mit Bezug zu Aspekten ihres professionellen Wissens oder zumindest Erfahrungswissens.

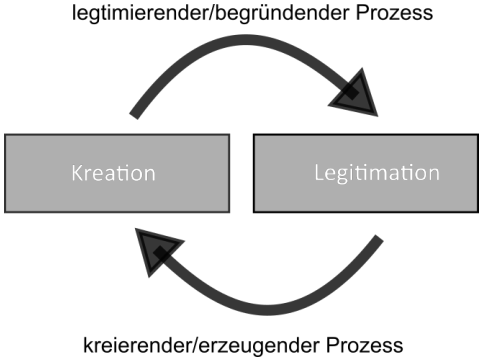


Abb. 1 Zielklassen der Unterrichtsplanung (Vogelsang & Riese, 2017)

Unterrichtsplanung als Prüfungsgegenstand

Gemäß des Modells des *Constructive Alignments* sollten in hochschulischen Lehr-Lern-Arrangements die angestrebten Kompetenzen, die angestrebten Lernprozesse und vor allem auch die genutzten Prüfungsformen aufeinander abgestimmt werden (Wildt & Wildt, 2011). Zur Prüfung von Unterrichtsplanungsfähigkeiten werden häufig schriftliche Unterrichtsentwürfe herangezogen. Dabei handelt es sich meist um relativ umfangreiche Texte, in denen Studierende eine Unterrichtsplanung ausführlich schriftlich darlegen und getroffene Planungsentscheidungen mit Hilfe fachdidaktischer und bildungswissenschaftlicher Theorien begründen müssen (vgl. König et al., 2015). Studierende haben häufig viel Zeit zur Erstellung dieser Planungsdokumente und der Fokus liegt stark auf der Zielklasse *Legitimation*. Solche ausführlichen Unterrichtsentwürfe bilden die Unterrichtsplanung unter den Anforderungen der späteren Berufspraxis nur wenig ab. Diese erfolgt häufig unter Zeitdruck und Lehrkräfte wenden im Durchschnitt nur 20 bis 30 Minuten zur Planung einer Unterrichtsstunde auf (Hübner & Werle, 1997). Auch folgen Lehrkräfte kaum theoretischen Planungsmodellen von Unterricht (vgl. Kang, 2017) und Unterrichtsplanungen werden in der Schulpraxis selten in ausführlicher schriftlicher Form vorgenommen. Sie werden daher auch als Ausbildungsartefakte (Seel, 2011) bezeichnet. Bei schriftlichen Unterrichtsentwürfen besteht also ein Passungsproblem zu den eigentlich angestrebten Kompetenzen. Eine mögliche Alternative bieten performanzorientierte *Assessment*-Verfahren.

Prüfungsszenario

Um Unterrichtsplanungsfähigkeit stärker orientiert an den Erfordernissen der späteren Berufspraxis zu prüfen, entwickelten Schröder et al. (2020) einen Performanztest, in dem Studierende des Lehramts Physik aufgefordert werden, eine Unterrichtsstunde zur Einführung des 3. Newtonschen Axioms für die zehnte Klasse einer Gesamtschule zu planen. Für eine standardisierte Bewertbarkeit wurden die zu erreichenden Lernziele ebenso wie eine Vignette zur Beschreibung der Lernvoraussetzungen der Klasse vorgegeben. Zusätzlich erhalten die Studierenden standardisierte Hilfsmittel (Auszüge aus drei gängigen Lehrwerken). Die Planung wird auf Arbeitsblättern dokumentiert, die kurze Planungsprompts enthalten (z.B. zur Anfertigung eines Tafelbilds, dass auch als Sicherung fungieren könnte), sowie in einem tabellarischen Verlaufsplan. Gemäß des zirkulären, interdependenten Planungsprozesses gibt es keine vorgegebene Bearbeitungsreihenfolge. Für die Bearbeitung haben die Studierenden 60 Minuten Zeit. Zur Bewertung können die validierten Kategorien von Schröder et al. (2020) herangezogen werden. Der Schwerpunkt liegt auf der Zielkasse der *Kreation*.

Erprobung

Dieser Performanztest wurde im Wintersemester 23/24 als Prüfungsformat in der Masterveranstaltung *Planung von Physikunterricht* an der Universität Paderborn erprobt. Hierfür wurde die Möglichkeit einer performanzorientierten Prüfung im Vorfeld in der Prüfungsordnung ergänzt. Die Studierenden hatten die Wahl, entweder mit dem Performanztest oder in einer mündlichen Prüfung geprüft zu werden (jeweils benotet). Im sonst unveränderten Seminarverlauf haben die Studierenden vorher zusätzlich eine Probeprüfung (zu einem anderen Inhalt der Mechanik) absolviert und die Bewertungskategorien erhalten. Alle fünf Studierenden des Seminars nahmen an der Performanzprüfung teil.

Evaluation
Um die Perspektive der Studierenden auf dieses für sie neue Prüfungsformat zu untersuchen wurden sie im Anschluss mit Hilfe eines semi-strukturierten Leitfadens interviewt. Diese Interviews fanden im zeitlichen Abstand von zwei bis fünf Monaten nach der Prüfung statt (alle hatten ihre Noten erhalten) und hatten einen Umfang von 20 bis 30 Minuten. Die Auswertung erfolgte mittels strukturierender qualitativer Inhaltsanalyse (Kuckartz & Rädiker, 2016).

Auswahl von Ergebnissen
Aus Sicht aller Studierenden wies das Prüfungsformat einen hohen Grad an *Authentizität* (Gulikers et al., 2008) und Relevanz bzgl. des späteren Lehrkräfteberufs auf.

„Das fand ich auch gut an dieser Übung oder an dieser Prüfungsform, weil ich find', das ist genau das, was man später machen muss. Und von daher fand ich das tatsächlich super."

An *Herausforderung* wurde vor allem der hohe Zeitdruck genannt, der aber zugleich als authentisch empfunden wurde.

„Andererseits in der Schule erlebt man es auch, dann ja: ‚Du musst jetzt doch morgen irgendwie die Unterrichtsstunde machen.' Ja, ich habe aber jetzt gar keine Zeit mehr, [...]. Das ist halt auch realitätsnah darum."

Eine weitere Herausforderung bestand für die Studierenden insbesondere darin, den ersten Schritt zur eigentlichen Planung zu beginnen, in dem eine erste Ausgangsidee festgelegt werden muss. Hier wird der Bezug zur Zielanforderung *Kreation* deutlich.

„Ich würde sagen, dass dieser Einstieg mir einfach sehr schwer fiel. Also, mich irgendwie auf was zu fokussieren, was ich tatsächlich in dieser Unterrichtsstunde dann machen will, weil ich mich nicht so richtig auf eine Idee einigen konnte [...]."

Auch wenn die meisten Studierenden die Performanzprüfung positiv bewerten, wurde teilweise auch *Nachteile* angemerkt. Insbesondere die im Vergleich zur mündlichen Prüfung geringere Möglichkeit, die eigene Planung weiterführend zur erläutern und so evtl. zu korrigieren, wurde negativ eingeschätzt. Der geringe Fokus auf die Zielanforderung *Legitimation* bei der Planung wurde also teilweise auch von den Studierenden wahrgenommen.

„Ich glaube, das Größte, was mich gestört hat, ist, dass ich halt keine Möglichkeit hatte, mich zu rechtfertigen."

Diskussion
Die performanzorientierte Planungsprüfung wurde von den Studierenden als positiv eingeschätzt, insbesondere aufgrund der authentischen Anforderung. Damit das Prüfungsformats Effekte auf das Lernen Seminar ausüben kann (*assessment drives learning*), sollte es im Seminarverlauf noch früher implementiert werden. Grundsätzlich zeigt sich aber,

das Studierende offen für performanzorientierte Prüfungsverfahren sind, wenn für dieses für sie neue Format ausreichend Übungsmöglichkeiten vorhanden sind.

Literatur

Aprea, C. (2014). Unterrichtsplanung als Designaufgabe. *Journal für LehrerInnenbildung, 2014*(4), 47–50.

Gassmann, C. (2013). *Erlebte Aufgabenschwierigkeit bei der Unterrichtsplanung – Eine qualitativ-inhaltsanalytische Studie zu den Praktikumsphasen der universitären Lehrerbildung*. Springer.

Gulikers, J. T., Kester, L., Kirschner, P. A., & Bastiaens, T. J. (2008). The effect of practical experience on perceptions of assessment authenticity, study approach, and learning outcomes. *Learning and Instruction, 18*(2), 172–186.

Hübner, R., & Werle, M. (1997). Arbeitszeit und Arbeitsbelastung Berliner Lehrerinnen und Lehrer. In S. Buchen (Hrsg.), *Jahrbuch der Lehrerforschung* (S. 203–226). Juventa.

Kang, H. (2017). Preservice teachers' learning to plan intellectually challenging tasks. *Journal of Teacher Education, 68*(1), 55-68.

Kuckartz, U., & Rädiker, S. (2016). *Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (3., Auflage). Beltz Juventa.

KMK (2024). *Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.10.2008 i.d. F. vom 08.02.2024*.

König, J., Buchholtz, C., & Dohmen, D. (2015). Analyse von schriftlichen Unterrichtsplanungen: Empirische Befunde zur didaktischen Adaptivität als Aspekt der Planungskompetenz angehender Lehrkräfte. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 18*, 375–404.

König, J., & Rothland, M. (2022). Stichwort: Unterrichtsplanungskompetenz. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 25*(4), 771-813.

Schröder, J., Riese, J., Vogelsang, C., Borowski, A., Buschhüter, D., Enkrott, P., ... & Schecker, H. (2020). Die Messung der Fähigkeit zur Unterrichtsplanung im Fach Physik mit Hilfe eines standardisierten Performanztests. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 26*(1), 103-122.

Scholl, D., Küth, S., & Schüle, C. (2022). Interdependentes Entscheiden in der Unterrichtsplanung – Entwicklung eines generischen Rahmenmodells und eines vignettenbasierten Fähigkeitstests. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 25*(4), 895-916.

Seel, A. (2011). Wie angehende Lehrer/innen das Planen lernen – Empirische Befunde zur ausbildungsbezogenen Unterrichtsplanung. In K. Zierer, et al. (Hrsg.), *Jahrbuch für Allgemeine Didaktik 2011* (S. 304–318). Schneider Hohengehren.

Shavelson, R.J., & Stern, P. (1981). Research on teachers' pedagogical thoughts, judgements, decisions and behavior. *Review of Educational Research, 51*(4), 455–498.

Stender, A., Brückmann, M., & Neumann, K. (2017). Transformation of topic-specific professional knowledge into personal pedagogical content knowledge through lesson planning. *International Journal of Science Education, 39*(12), 1690–1714.

Vogelsang, C. & Riese, J. (2017). Wann ist eine Unterrichtsplanung „gut"? Planungsperformanz in Praxisratgebern zur Unterrichtsplanung. In S. Wernke & K. Zierer (Hrsg.), *Die Unterrichtsplanung - Ein in Vergessenheit geratener Kompetenzbereich?!* (S. 47–61). Klinkhardt.

Wildt, J., & Wildt, B. (2011). Lernprozessorientiertes Prüfen im „Constructive Alignment". Ein Beitrag zur Förderung der Qualität von Hochschulbildung durch eine Weiterentwicklung des Prüfungssystems. In B. Berendt, A. Fleischmann, G. Salmhofer, N. Schaper, B. Szczyrba, M. Wiemer, & J. Wildt (Hrsg.), *Neues Handbuch Hochschullehre. Lehren und Lernen effizient gestalten*, 2 50 11 11. https://www.nhhl-bibliothek.de/de/handbuch/gliederung/#/Beitragsdetailansicht/290/1026/Lernprozessorientiertes-Pruefen-in-%2522Constructive-Alignment%2522---Ein-Beitrag-zur-Foerderung-der-Qualitaet-von-Hochschulbildung-durch-eine-Weiterentwicklung-des-Pruefungssystems

Julian Schmidt[1]
Marc Rodemer[1]

[1]Universität Duisburg-Essen

Fehler im Blick: Entwicklung von Diagnosekompetenz im Lehramtsstudium

Diagnosekompetenz angehender Lehrkräfte

Eine der zentralen Kompetenzen einer Lehrkraft ist die Diagnose von Fehlern und den dazugehörigen Lernendenvorstellungen (Kultusministerkonferenz, 2004; Baumert & Kunter, 2011). Typischerweise ist Diagnosekompetenz dabei als aufgabenbezogene Leistungsbeurteilung definiert (Schrader, 2013). Einen Fehler zu identifizieren ist dabei eng mit der Fähigkeit verknüpft, die Antwort Lernender auf ein Problem oder eine Aufgabenstellung zu antizipieren (Alonzo & Kim, 2016). Allerdings stellt gerade diese Antizipation angehende Lehrkräfte vor große Herausforderungen (Yang et al., 2014). Dennoch lässt sich die Antizipation von Lernendenantworten gezielt fördern. Insbesondere Schulpraktika, in denen angehende Lehrkräfte mit Lernendenfehlern konfrontiert werden, können Reflexionprozesse anstoßen und einen Ausbau diagnostischer Kompetenzen bewirken (Tolsdorf & Markic, 2018). Neben Fachwissen ist diagnostische Kompetenz von den individuellen Ansichten zu Heterogenität und Diagnostik abhängig, wobei diese mit zunehmender Professionalisierung positiver werden (Tolsdorf & Markic, 2017). Hierbei stellt sich die Frage, wie präzise angehende Lehrkräfte typische Lernendenfehler bereits in der universitären Ausbildung diagnostizieren. Neben dem diagnostischen Urteil als Produktindikator, sind Prozessindikatoren von Relevanz, die die kognitiven Prozesse der Diagnose beschreiben. Sowohl Blickbewegungen als auch verbalisierte Informationen des Arbeitsgedächtnisses stellen Prozessindikatoren des diagnostischen Prozesses dar. (Loibl et al., 2020). Zusätzlich zu den Prozessmerkmalen zeigt ein von Wagner (2024) durchgeführtes, systematisches Literaturreview Hinweise auf den Einfluss von Personenmerkmalen auf die Präzision des diagnostischen Urteils. Auf Prozessebene sind insbesondere die adäquate Beschreibung und Analyse eines Fehlers relevant für eine hohe Präzision des diagnostischen Urteils (Radkowitsch et al., 2023).

Forschungsfragen

Ziel des Projektes ist die Analyse von Einflussfaktoren auf den diagnostischen Prozess angehender Chemielehrkräfte. Hierfür sind Produkt-, Prozess- und Personenmerkmale zentral. Das Projekt orientiert sich dabei an drei zentralen Forschungsfragen:

- **FF1** Inwiefern richten angehende Chemielehrkräfte ihre visuelle Aufmerksamkeit auf verschiedene Fehler beim Diagnostizieren?
- **FF2** Welchen Einfluss hat das Fachwissen auf die Urteilsgenauigkeit von angehenden Chemielehrkräften?
- **FF3** In welchem Zusammenhang stehen Fachwissen, Aufmerksamkeit, Urteilsgenauigkeit und Gewissenhaftigkeit?

Die erste Forschungsfrage zielt dabei auf die Beschreibung des diagnostischen Prozesses angehender Chemielehrkräfte über die Prozessindikatoren Blickbewegungen und Gedanken-

gänge ab. Über Forschungsfrage zwei sollen mögliche personenbezogene Merkmale identifiziert werden, die einen Einfluss auf den diagnostischen Prozess angehender Chemielehrkräfte haben. Forschungsfrage drei soll Zusammenhänge zwischen Personen-, Prozess- und Produktindikatoren aufzeigen.

Stichprobe

Eine erste Erhebung wurde im Wintersemester 2023/ 2024 an der Universität Duisburg-Essen mit $N = 6$ Probanden durchgeführt. Die Probanden befanden sich im fünften Fachsemester des Bachelorstudiengangs Chemie für Gymnasien und Gesamtschulen. Alle Probanden waren Teilnehmende eines fachdidaktischen Moduls an der Universität und wurden im Rahmen des Moduls eingeladen, am Projekt teilzunehmen. Eine Studienteilnahme erfolgte auf freiwilliger Basis mit Auszahlung einer Aufwandsentschädigung.

Methoden

Im Fokus des Projekts steht die schriftliche Bearbeitung fiktiver Lernprodukte durch angehende Chemielehrkräfte. Hierbei war die Korrektur der fiktiven Lernprodukte wie in einer Korrektursituation in der Schule zentral. Während der Bearbeitung der fiktiven Lernprodukte wurde das Blickverhalten mit dem mobilen Eye-Tracker Tobii Pro Glasses 2 aufgezeichnet. Ergänzend sollte über lautes Denken ein identifizierter Fehler benannt, beschrieben und auf Ursachen analysiert werden. Die Sprachaufnahme erfolgte dabei parallel zur Aufzeichnung des Blickverhaltens. Im Vorfeld wurden die Personenmerkmale der Probanden über einen digitalen Fragebogen in Limesurvey erhoben.

Material

Zur Erfassung der Urteilsgenauigkeit wurden zwei schriftliche Vignetten mit den fachlichen Themen *Säuren und Basen* sowie *chemisches Gleichgewicht und Katalysatoren* entwickelt, die typische Fehler von Lernenden in diesen Themengebieten (Garnett et al., 1995; Hameed et al., 1993; Schmidt, 1997) enthalten. Ein typischer Fehler ist beispielsweise die Annahme, ein Katalysator beschleunige in einem chemischen Gleichgewicht selektiv die Hin- oder Rückreaktion. Der Fokus dieses Beitrags liegt auf der Vignette zum Thema *chemisches Gleichgewicht und Katalysatoren.* Um das Fachwissen erfassen zu können, wurde ein Fachwissenstest zu mehreren, allgemeinen chemischen Teilgebieten (34 Items, $\alpha = .62$) genutzt. Um das Personenmerkmal Gewissenhaftigkeit zu erfassen, wurde eine sechsstufige Likert-Skala (12 Items, $\alpha = .73$) aus dem Big Five Inventory-2 (Soto & John, 2017) genutzt.

Variablen

Die mittels Vignetten erhobene *Urteilsgenauigkeit* wurde als die Anzahl der von den Probanden durch Markierung identifizierten Fehler operationalisiert. Als Variable *Fachwissen* wurde der prozentuelle Anteil an korrekt beantworten Fragen des Fachwissenstest genutzt. Die *Gewissenhaftigkeit* wurde als Mittelwert aller Items der verwendeten Likert-Skala bestimmt. Um die Blickbewegungen zu untersuchen, wurden die kumulierte Fixationsanzahl für alle in der Vignette enthaltenen Fehler über entsprechende Areas of Interst (AOI) als *visuelle Aufmerksamkeit* bestimmt. Die AOI entsprachen dabei den in den Vignetten enthaltenen Fehlern.

Auswertung

Die statistische Analyse der Daten wurde mit R (Version 4.3.1) durchgeführt. Für die Aufbereitung der Blickdaten wurde zusätzlich Tobii Pro Lab (Version 1.217) genutzt. Zunächst wurden die AOI den in der Vignette enthaltenen Fehler entsprechend definiert und die Blickdaten auf die Vignetten transformiert. Die reinen Blickdaten wurden aus Tobii Pro Lab als AOI-basierte Metriken exportiert und mit R weitergehend analysiert. Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage wurden die visuelle Aufmerksamkeit und Urteilsgenauigkeit verglichen. Um die zweite und dritte Forschungsfrage beantworten zu können, wurden Korrelationsanalysen gerechnet, um Zusammenhänge zwischen Personenmerkmalen, visueller Aufmerksamkeit und Urteilsgenauigkeiten identifizieren zu können.

Erste Ergebnisse

Bezüglich der visuellen Aufmerksamkeit ist ein verstärkter Fokus auf den Bereichen der Vignette zu beobachten, die explizite Fachinformationen enthalten, wie beispielsweise Gleichungen. Dem entgegen steht weniger visuelle Aufmerksamkeit auf Textpassagen, die Lernendenvorstellungen in Textform repräsentieren. Dieser Trend setzt sich bei der Betrachtung der Urteilsgenauigkeit fort. Fehler, die spezifisches Fachwissen erfordern, werden weniger wahrscheinlich identifiziert. Allerdings werden Fehler, die mit allgemeinem Fachwissen überprüfbar sind, mit einer Wahrscheinlichkeit von 60 – 80% identifiziert. Bei einer Gegenüberstellung von Urteilsgenauigkeit und mittlerer Fixationsanzahl pro Fehler fällt auf, dass die Wahrscheinlichkeit einen Fehler zu finden, mit der mittleren Fixationsanzahl ansteigt, während sich die Fixationsanzahlen für Fehler mit geringen Lösungswahrscheinlichkeiten in einem niedrigeren Bereich manifestieren. Die Urteilsgenauigkeit korreliert dabei schwach positiv mit der visuellen Aufmerksamkeit ($r = .26$) und stark positiv mit dem Fachwissen ($r = .77$). Ein negativer Zusammenhang besteht hingegen bei Urteilsgenauigkeit und Gewissenhaftigkeit ($r = -.76$).

Diskussion und Implikationen

Die ersten Ergebnisse zeigen einen Zusammenhang von Fachwissen und Urteilsgenauigkeit. Hohes Fachwissen erleichtert also die Identifikation von Fehlern. Der höhere Fokus auf Gleichungen vor Textpassagen deutet hingegen darauf hin, dass zunächst Fehler gesucht werden, die mit Fachwissen überprüfbar oder optisch salient sind. Ursächlich hierfür könnten Korrekturstrategien oder eigenes, fehlendes Fachwissen sein. Infolgedessen bedarf es einer näheren Betrachtung der anderen eingesetzten Vignette zum Inhaltsfeld *Säuren und Basen*. Hierbei ist von Interesse, ob sich die beobachteten Trends bestätigen lassen und ob es einen Einfluss des Fachinhaltes auf die Urteilsgenauigkeit gibt. Ferner bedarf es einer genaueren Betrachtung der Denkprozesse der Probanden durch Analyse des lauten Denkens. Hierbei stehen insbesondere die Faktoren *eigene Fehlvorstellungen*, *Korrektheit von Fachaussagen*, sowie *Wissenslücken* im Mittelpunkt. Auch hier sind die Einflüsse auf die Urteilsgenauigkeit sowie die Art und Qualität der getroffenen Aussagen von Relevanz.

Literatur

Alonzo, A. C. & Kim, J. (2016). Declarative and dynamic pedagogical content knowledge as elicited through two video-based interview methods. *Journal of Research in Science Teaching*, *53*(8), 1259–1286. https://doi.org/10.1002/tea.21271

Baumert, J. & Kunter, M. (2011). Das Kompetenzmodell von COACTIV. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften: Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 29–54). Waxmann.

Garnett, P. J [Patrick J.], Garnett, P. J [Pamela J.] & Hackling, M. W. (1995). Students' Alternative Conceptions in Chemistry: A Review of Research and Implications for Teaching and Learning. *Studies in Science Education*, *25*(1), 69–96. https://doi.org/10.1080/03057269508560050

Hameed, H., Hackling, M. W. & Garnett, P. J. (1993). Facilitating conceptual change in chemical equilibrium using a CAI strategy. *International Journal of Science Education*, *15*(2), 221–230. https://doi.org/10.1080/0950069930150209

Kultusministerkonferenz (Hrsg.). (2004). Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Standards-Lehrerbildung-Bildungswissenschaften.pdf

Loibl, K., Leuders, T. & Dörfler, T. (2020). A Framework for Explaining Teachers' Diagnostic Judgements by Cognitive Modeling (DiaCoM). *Teaching and Teacher Education*, *91*, 103059. https://doi.org/10.1016/j.tate.2020.103059

Radkowitsch, A., Sommerhoff, D., Nickl, M., Codreanu, E., Ufer, S. & Seidel, T. (2023). Exploring the diagnostic process of pre-service teachers using a simulation – A latent profile approach. *Teaching and Teacher Education*, 130, 104172. https://doi.org/10.1016/j.tate.2023.104172

Schmidt, H.-J. (1997). Students' misconceptions?Looking for a pattern. *Science Education*, *81*(2), 123–135. https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199704)81:2<123::AID-SCE1>3.0.CO;2-H

Schrader, F.-W. (2013). Diagnostische Kompetenz von Lehrpersonen. *Beiträge zur Lehrerbildung*, *31*(2), 154–165. https://doi.org/10.25656/01:13843

Soto, C. J. & John, O. P. (2017). The next Big Five Inventory (BFI-2): Developing and assessing a hierarchical model with 15 facets to enhance bandwidth, fidelity, and predictive power. *Journal of personality and social psychology*, *113*(1), 117–143. https://doi.org/10.1037/pspp0000096

Tolsdorf, Y. & Markic, S. (2017). Exploring Chemistry Student Teachers' Diagnostic Competence—A Qualitative Cross-Level Study. *Education Sciences*, 7(4), 86. https://doi.org/10.3390/educsci7040086

Tolsdorf, Y. & Markic, S. (2018). Development and Changes in Student Teachers´ Knowledge Concerning Diagnostic in Chemistry Teaching - A Longitudinal Case Study. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *14*(12). https://doi.org/10.29333/ejmste/94232

Wagner, L. (2024). Einflussfaktoren auf die Diagnosekompetenz (angehender) Lehrkräfte – ein systematisches Literaturreview. *Unterrichtswissenschaft.* Vorab-Onlinepublikation. https://doi.org/10.1007/s42010-024-00215-3

Yang, C., Noh, T., Scharmann, L. C. & Kang, S. (2014). A Study on the Elementary School Teachers' Awareness of Students' Alternative Conceptions about Change of States and Dissolution. *The Asia-Pacific Education Researcher*, *23*(3), 683–698. https://doi.org/10.1007/s40299-013-0140-7

Mathias Lutz[1]
Hendrik Lohse-Bossenz[2]
Markus Rehm[1]

[1]Pädagogische Hochschule Heidelberg
[2]Universität Greifswald

Professionswissen und diagnostische Urteile von angehenden Chemielehrkräften

Ausgangslage und theoretischer Hintergrund

Ob man die allgemeine Bewertung einer Lehr-Lern-Situation betrachtet, die Bewertung einer Schüler:innenleistung, die Durchführung von adaptivem Unterricht oder die Auswahl von Lehrmaterial für eine Unterrichtsstunde: Die Situationen, in welchen im Kontext des Unterrichts diagnostische Urteile gefällt werden müssen, sind vielzählig und können angehende wie erfahrene Lehrkräfte vor eine Herausforderung stellen (Bolte et al., 2024; Loibl et al., 2020; Praetorius et al., 2010). Die dafür benötigte *diagnostische Kompetenz* lässt sich beschreibend zusammenfassen als „die Fähigkeit, Schüler- und Aufgabenmerkmale korrekt zu beurteilen“ (Südkamp & Praetorius, 2017) und wird als Grundstein für professionelles Handeln angesehen. Das Diagnostizieren wird hierbei als Informationsverarbeitungsprozess verstanden, um bildungsbezogene diagnostische Urteile zu fällen. Aktuelle Forschungsbemühungen fokussieren auf interindividuelle Unterschiede im Prozess der Urteilsbildung und nehmen darauf wirkende Einflüsse in den Blick (Becker et al., 2020; Heeg et al., 2021; Hoppe et al., 2020; Loibl et al., 2020; Rieu et al., 2024; Rieu et al., 2020; Volkmer, 2024). Leuders et al. (2021) kommen auf der Grundlage aktueller Befunde zum Schluss: der Diagnoseprozess bzw. die darauf bezogene Informationsverarbeitung von (angehenden) Lehrkräften wird durch den Kontext sowie durch bestimmte Personencharakteristika (PC) beeinflusst. Ein solches Charakteristikum stellt das Professionswissen mit den Wissensbereichen *fachdidaktisches Wissen (PCK)* und *Fachwissen (CK)* dar. Mittlerweile besteht auch Konsens über den Einfluss des Professionswissens auf das Denken und Handeln von (angehenden) Lehrkräften (Blömeke et al., 2014; Brunner et al., 2006; Kulgemeyer & Riese, 2018) und damit auch auf den Informationsverarbeitungsprozess, der den diagnostischen Urteilen zu Grunde liegt: Eine Unterrichtssituation bietet eine Fülle an Informationen (Reizen) an, das entsprechende (Fach)Wissen einer Lehrkraft hilft dabei, die relevanten Informationen wahrzunehmen und zu verarbeiten (Loibl et al., 2020). Insbesondere das PCK und das CK einer Lehrkraft scheinen dementsprechend einen wichtigen Einfluss auf die Qualität des diagnostischen Urteils zu haben (Blömeke et al., 2014; Dreher & Leuders, 2021; Schreiter et al., 2021, 2022).

Für den Chemieunterricht schließt das Diagnostizieren und die damit verbundene Informationsverarbeitung u.a. die Fähigkeit ein, Lernendenvorstellungen als Lernvoraussetzungen von Schüler:innen wahrnehmen und ihren Einfluss auf den Unterrichtserfolg einschätzen zu können. Dies trägt im hohen Maße zur Qualität eines adaptiven Chemieunterrichts bei. Explizit beim Diagnostizieren von Lernendenvorstellungen konnten empirische Studien bereits einen Zusammenhang zwischen den diagnostischen Urteilen und Wissensfacetten des PCK und CK aufzeigen (Hoppe et al., 2020; Lembens et al., 2024; Rath, 2017). Ob dieser Zusammenhang auch bei (angehenden) Chemielehrkräften besteht, gilt es noch zu untersuchen. Dieses Desiderat wird im Rahmen des Forschungsprojektes „Diagnostische Kompetenzen angehender Chemielehrkräfte“

aufgegriffen: Mithilfe zweier Wissens- und eines Vignettentests wird dem Einfluss des Professionswissens auf die diagnostischen Urteile und dem Umgang mit Lernendenvorstellungen in unterrichtsnahen Situationen nachgegangen.

Ziel der Studie und Forschungsfrage

Da Bedunde bisheriger Studien das Ergebnis diagnostischer Prozesse fokussieren, knüpft das vorliegende Projekt hier an und untersucht zuerst die diagnostischen Urteile von angehenden Chemielehrkräften, um Rückschlüsse auf die Informationsverarbeitungsprozesse ziehen zu können. Konkret geht es um die Wahrnehmung von und den Umgang mit Lernendenvorstellungen im Schulfach Chemie: Welchen Einfluss haben das chemische CK und PCK auf die diagnostischen Urteile in unterrichtsnahen Situationen? Das übergeordnete Ziel des Forschungsvorhabens ist dabei das Generieren von Erklärungswissen über die Genese diagnostischer Urteile von (angehenden) Lehrkräften. Der Fokus dieses Beitrages liegt auf dem Fachbereich der Chemie und setzt sich zum Ziel, die diagnostischen Urteile von angehenden Chemielehrkräften im Umgang mit Lernendenvorstellungen im Themengebiet „Stoffe und ihre Eigenschaften“ zu untersuchen.

Methode und Design

Mithilfe von quantitativen Analysen wird der Einfluss von Fachwissen und fachdidaktischem Wissen auf diagnostische Urteile beim Umgang mit Lernendenvorstellungen in unterrichtsnahen Situationen anhand von Vignetten untersucht (n=140 angehende Chemielehrkräfte aus der ersten und zweiten Phase der Lehrer:innenbildung in Baden-Württemberg). Es wird eine einmalige Online-Fragebogenerhebung mit drei Erhebungsinstrumenten durchgeführt. Die Wissensbereiche chemisches Fachwissen und fachdidaktisches Wissen werden über adaptierte bestehende Wissenstests (Dollny, 2011; Tempel, 2017; Witner & Tepner, 2011) erhoben, anschließend werden die Probanden gebeten, aufgrund von in Vignetten dargestellten Situationen Lernendenvorstellungen zu identifizieren und Handlungsalternativen auszuwählen (adaptierter Vignettentest nach Feige (2021)). Aufgrund der Genauigkeit der Auswahl werden Rückschlüsse auf das diagnostische Handeln in Unterrichtssituationen gezogen.

Im Rahmen einer anschließenden quasiexperimentellen Prä-Post-Interventionsstudie werden angehende Chemielehrkräfte (n=170) in einzelnen Bereichen ihres Professionswissens geschult und die Einflüsse der Schulung auf deren diagnostische Urteile beim Umgang mit Lernendenvorstellungen betrachtet. Hierzu werden drei Interventionsgruppen I1, I2 und I3 mit unterschiedlichen Interventionsinhalten gebildet (I1: Training CK, I2: Training PCK und I3: Training CK+PCK) und mit einer Wartekontrollgruppe verglichen. Die Erhebung erfolgt mit adaptierten Erhebungsinstrumenten aus der vorangegangenen quantitativen Erhebung. Abschließend wird der Fokus auf den diagnostischen Prozess gelegt. Daher werden nach der Bearbeitung der Vignetten stimulierte Erinnerungsinterviews (n=20) durchgeführt, in denen die Teilnehmenden ihre diagnostischen Urteile begründen sowie ihre Wissensanwendung erläutern sollen (Messmer, 2014). Die Auswertung der Interviews erfolgt mittels qualitativer Inhaltsanalyse (Mayring & Fenzl, 2014).

Erwartete Ergebnisse / Ausblick

Das Projekt steht noch am Anfang, die Datenerhebung zum ersten Teilprojekt ist gestartet. Entsprechend den Untersuchungen in anderen Forschungsbereichen wird erwartet, dass das chemische CK und PCK mit der Güte der diagnostischen Urteile beim Erkennen und dem

Umgang mit Lernendenvorstellungen im Bereich „Stoffe und ihre Eigenschaften“ korreliert. Es lässt sich vermuten, dass Studierende mit höher ausgeprägtem CK und PCK akkuratere diagnostische Urteile beim Umgang mit Lernendenvorstellungen als Studierende mit vergleichbar geringer ausgeprägtem CK und PCK treffen. Aufgrund der Annahmen wird eine Implementierung der Ergebnisse in die Lehrerbildung angestrebt und in fachdidaktischen Seminaren zur Lehrerbildung umgesetzt. Die diagnostische Kompetenz von Lehrkräften, insbesondere Aspekte wie das Erkennen von Lernendenvorstellungen und die Auswahl geeigneter Handlungsalternativen, scheint bereits in der Lehrerbildung vermittelt und eingeübt werden zu können, was ähnliche Befunde von Wirth et al. (2023) stützen könnte.

Literatur

Becker, S., Spinath, B., Ditzen, B. & Dörfler, T. (2020). Der Einfluss von Stress auf Prozesse beim diagnostischen Urteilen – eine Eye Tracking-Studie mit mathematischen Textaufgaben. *Unterrichtswissenschaft*, *48*(4), 531–550. https://doi.org/10.1007/s42010-020-00078-4

Blömeke, S., König, J., Busse, A., Suhl, U., Benthien, J., Döhrmann, M. & Kaiser, G. (2014). Von der Lehrerausbildung in den Beruf – Fachbezogenes Wissen als Voraussetzung für Wahrnehmung, Interpretation und Handeln im Unterricht. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *17*(3), 509–542. https://doi.org/10.1007/s11618-014-0564-8

Bolte, C., Machts, N., Möller, J. & Wittchen, S. (2024). Analyse diagnostischer Kompetenzen angehender Grundschullehrer*innen mit Studienfach Sachunterricht / Naturwissenschaften. In *In Alternativen denken - Kritik, Reflexion und Transformation im Sachunterricht* (S. 15–26). Verlag Julius Klinkhardt GmbH & Co. KG. https://doi.org/10.35468/6077-02

Brunner, M., Kunter, M., Krauss, S., Klusmann, U., Baumert, J., Blum, W., Neubrand, M., Dubberke, T., Jordan, A., Löwen, K. & Tsai, Y.-M. Die professionelle Kompetenz von Mathematiklehrkräften: Konzeptualisierung, Erfassung und Bedeutung für den Unterricht ; eine Zwischenbilanz des COACTIV-Projekts. In *Untersuchungen zur Bildungsqualität von Schule* (S. 54–62). Waxmann; Waxmann, 2006. (Erstveröffentlichung 2006)

Dollny, S. (2011). *Entwicklung und Evaluation Eines Testinstruments Zur Erfassung des Fachspezifischen Professionswissens Von Chemielehrkräften*. *Studien Zum Physik- und Chemielernen Ser: v. 127*. Logos Verlag Berlin.

Dreher, A. & Leuders, T. (2021). Fachspezifität von Unterrichtsqualität – aus der Perspektive der Mathematikdidaktik. *Unterrichtswissenschaft*, *49*(2), 285–292. https://doi.org/10.1007/s42010-021-00116-9

Feige, E.-M. (2021). *Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zur Erfassung des chemiedidaktischen Wissens von angehenden Lehrkräften zu Schülervorstellungen*. Opus online.

Heeg, J., Bittorf, R. M. & Schanze, S. (2021). Erforschung potenzieller Entwicklungsverläufe diagnostischer Fähigkeiten angehender Chemielehrkräfte hinsichtlich Lernendenvorstellungen – Die Bedeutung individueller Vorstellungen über Lernendenvorstellungen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *27*(1), 17–44. https://doi.org/10.1007/s40573-021-00124-3

Hoppe, T., Renkl, A. & Rieß, W. (2020). Förderung von unterrichtsbegleitendem Diagnostizieren von Schülervorstellungen durch Video- und Textvignetten. *Unterrichtswissenschaft*, *48*(4), 573–597. https://doi.org/10.1007/s42010-020-00075-7

Kulgemeyer, C. & Riese, J. (2018). From professional knowledge to professional performance: The impact of CK and PCK on teaching quality in explaining situations. *Journal of Research in Science Teaching*, *55*(10), 1393–1418. https://doi.org/10.1002/tea.21457

Lembens, A., Meier, M. & Rost, M. (2024). Förderung Professioneller Unterrichtswahrnehmung zum Umgang mit Lernendenvorstellungen durch Videovignetten. In H. van Vorst (Hrsg.), *Frühe naturwissenschaftliche Bildung: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in*

Hamburg 2023 (Bd. 44, S. 558–561). https://gdcp-ev.de/wp-content/uploads/securepdfs/2024/06/j02_lembens.pdf

Leuders, T., Loibl, K., Sommerhoff, D., Herppich, S. & Praetorius, A.-K. (2021). Toward an Overarching Framework for Systematizing Research Perspectives on Diagnostic Thinking and Practice. *Journal für Mathematik-Didaktik*, *43*(1), 13–38. https://doi.org/10.1007/s13138-022-00199-6

Loibl, K., Leuders, T. & Dörfler, T. (2020). A Framework for Explaining Teachers' Diagnostic Judgements by Cognitive Modeling (DiaCoM). *Teaching and Teacher Education*, *91*, 103059. https://doi.org/10.1016/j.tate.2020.103059

Mayring, P. & Fenzl, T. (2014). Qualitative Inhaltsanalyse. In *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung.* Springer VS, 2014.

Messmer, R. (2014). Stimulated Recall als fokussierter Zugang zu Handlungs- und Denkprozessen von Lehrpersonen. Vorab-Onlinepublikation. https://doi.org/10.17169/fqs-16.1.2051 (Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research, Vol 16, No 1 (2015).

Praetorius, A.-K., Greb, K., Lipowsky, F. & Gollwitzer, M. (2010). Lehrkräfte als Diagnostiker.: Welche Rolle spielt die Schülerleistung bei der Einschätzung von mathematischen Selbstkonzepten? *Journal for educational research online 2*, S. 121-144. https://doi.org/10.25656/01:4570

Rath, V. (2017). *Diagnostische Kompetenz von angehenden Physiklehrkräften: Modellierung, Testinstrumentenentwicklung und Erhebung der Performanz bei der Diagnose von Schülervorstellungen in der Mechanik*. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 220*. Logos Verlag Berlin GmbH.

Rieu, A., Leuders, T. & Loibl, K. (2024). Urteilsverzerrungen beim Diagnostizieren von Fehlkonzepten bei Dezimalbrüchen. *Journal für Mathematik-Didaktik*, *45*(1). https://doi.org/10.1007/s13138-024-00231-x

Rieu, A., Loibl, K., Leuders, T. & Herppich, S. (2020). Diagnostisches Urteilen als informationsverarbeitender Prozess – Wie nutzen Lehrkräfte ihr Wissen bei der Identifizierung und Gewichtung von Anforderungen in Aufgaben? *Unterrichtswissenschaft*, *48*(4), 503–529. https://doi.org/10.1007/s42010-020-00071-x

Schreiter, S., Vogel, M., Rehm, M. & Dörfler, T. (2021). Teachers' diagnostic judgment regarding the difficulty of fraction tasks: A reconstruction of perceived and processed task characteristics. *RISTAL*(4), 126–145.

Schreiter, S., Vogel, M., Rehm, M. & Dörfler, T. (2022). Die Rolle des Wissens angehender Mathematiklehrkräfte beim Diagnostizieren schwierigkeitsgenerierender Aufgabenmerkmale. Erkenntnisse aus Eye-Tracking Stimulated Recall Interviews. *Journal für Mathematik-Didaktik*, *43*(1), 101–133. https://doi.org/10.1007/s13138-022-00203-z

Südkamp, A. & Praetorius, A.-K. (Hrsg.). (2017). *Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie: Bd. 94*. *Diagnostische Kompetenz von Lehrkräften: Theoretische und methodische Weiterentwicklungen*. Waxmann.

Tempel, B. (2017). *Vermittlung von Modellkompetenz in den Unterrichtsfächern Biologie und Chemie: Modellierung, Validierung und Messung Professioneller Unterrichtswahrnehmung zukünftiger Lehrkräfte mithilfe eines Vignettentests*. Opus online.

Volkmer, J. P. (2024). Forschung zur diagnostischen Kompetenz. In J. P. Volkmer (Hrsg.), *Mathematikdidaktik im Fokus. Förderung diagnostischer Kompetenz angehender Grundschullehrkräfte* (1. Auflage 2024, S. 41–51). Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH; Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-658-44327-6_4

Wirth, S., Friesen, M., Philipp, K. & Streit, C. (2023). Wie kann die diagnostische Kompetenz von Lehrkräften mit Text-Bild-Vignetten gefördert werden? Vorab-Onlinepublikation. https://doi.org/10.11576/HLZ-6245 (Herausforderung Lehrer*innenbildung - Zeitschrift zur Konzeption, Gestaltung und Diskussion, Vol. 6 No. 1 (2023): Herausforderung Lehrer*innenbildung - Ausgabe 6).

Witner, S. & Tepner, O. (2011). ProwiN-Test zum Fachwissen von Chemielehrkräften. In Borowski, H. E. Fischer, M. Jüttner, S. Kirschner, B. J. Neuhaus, E. Sumfleth et al. (Hrsg.), *ProwiN-Testinstrumente.*

Teresa Tewordt[1] [1]Universität Bielefeld
Lisa Stinken-Rösner[1]

Entwicklung eines Kompetenzsrahmens experimenteller Fähigkeiten

Einleitung

Das Experiment spielt im Physikunterricht eine zentrale Rolle (Stinken-Rösner, 2020; Tesch & Duit, 2004) und dient unter anderem der Förderung von Kompetenzen in den Bereichen Erkenntnisgewinnung und Fachwissen. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, ist der Erwerb professioneller Kompetenzen zur Gestaltung von Experimentierphasen im Unterricht im Rahmen des Studiums angehender Physiklehrkräfte von entscheidender Bedeutung. Derzeit existiert jedoch keine einheitliche Definition diesbezüglicher Kompetenzen für Physiklehrkräfte; die Beschreibungen der erforderlichen Fähigkeiten sind oftmals undifferenziert und nicht trennscharf (von Aufschnaiter & Blömeke, 2010). Dabei sollte gerade das Wissen über jene Kompetenzen und Fähigkeiten den Ausgangspunkt zur Gestaltung und Evaluation der Wirksamkeit von Laborpraktika für angehende Physiklehrkräfte auf universitärer Ebene darstellen.
In dem vorliegenden Beitrag wird dargestellt, wie mittels eines AI-gestützten Systematic Literature Reviews Kompetenzen, die (angehende) Physiklehrkräfte zur Gestaltung von Experimentierphasen benötigen, identifiziert werden. Darauf aufbauend sollen entsprechende Erhebungsinstrumente adaptiert bzw. entwickelt werden.

Systematic Literature Review

Mittels eines Systematic Literature Reviews (im Folgenden als SLR abgekürzt; Moher et al., 2009) soll eine einheitliche Definition professioneller Kompetenzen von (angehenden) Physiklehrkräften zur Gestaltung von Experimentierphasen literaturbasiert abgeleitet, in Teilbereiche geclustert und in überprüfbare Teilkompetenzen konkretisiert und operationalisiert werden. Für das SLR wurde eine englischsprachige und eine deutschsprachige Suchanfrage entwickelt, welche Synonyme für die folgenden vier relevanten Aspekte kombiniert: Experiment, Kompetenzen, (angehende) Lehrkräfte und Physik (vgl. Abb. 1) Die Grundlage für das SLR bilden die Bibliotheken ERIC, Scopus, Fachportal Pädagogik (FIS Bildung) und die Universitätsbibliothek Bielefeld.
Die Suche ergab N = 4492 Treffer (Stand: 20.06.2024), diese verteilen sich auf FIS Bildung (334 Treffer), ERIC (2014 Treffer), Scopus (1588 Treffer) und die Datenbank der Universitätsbibliothek Bielefeld (556 Treffer). Alle Beiträge wurden in das Literaturverwaltungsprogramm *Zotero* (Zotero 6.0.36; https://www.zotero.org/) eingepflegt. Anschließend wurde der Datensatz mit dem *Zotero*-Algorithmus zur Duplikatsuche auf Dubletten überprüft. Nach Ausschluss der Duplikate ergab sich eine reduzierte Stichprobe von N = 4147 Beiträgen.
Der Review-Prozess wurde durch das als Open-Source-Software verfügbare Tool ASReview unterstützt (van de Schoot et al., 2021). ASReview ist eine AI, die auf Grundlage ihres Prompts die vorhandene Stichprobe von Beiträgen so sortiert, dass die wahrscheinlich relevanten Beiträge zuerst im Reviewprozess angezeigt werden.

hat gelöscht: Abb. 1
hat formatiert: Schriftart: Kursiv
hat formatiert: Schriftart: Nicht Kursiv

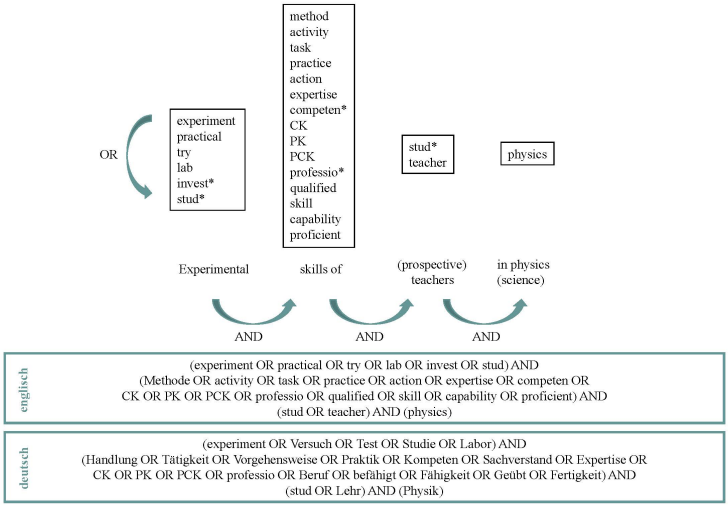


Abb. 1: Suchanfrage(n) des SLRs

Zum Anlernen der AI wurden dieselben Artikel verwendet, welche bereits bei der Entwicklung der Suchanfrage als relevant beurteilt und herangezogen wurden. Von dem Trainings-Datensatz ausgehend identifiziert die AI thematisch passende Artikel aus der Stichprobe und sortiert diese nach Priorität. Somit muss nicht mehr der gesamte Datensatz der Suchanfrage im *Abstract-Screening* gesichtet werden, sondern die wahrscheinlich relevanten Artikel „liegen oben“ in der Stichprobe, wodurch eine frühere Sättigung zu erwarten ist als bei zufälliger Sortierung der Artikel.

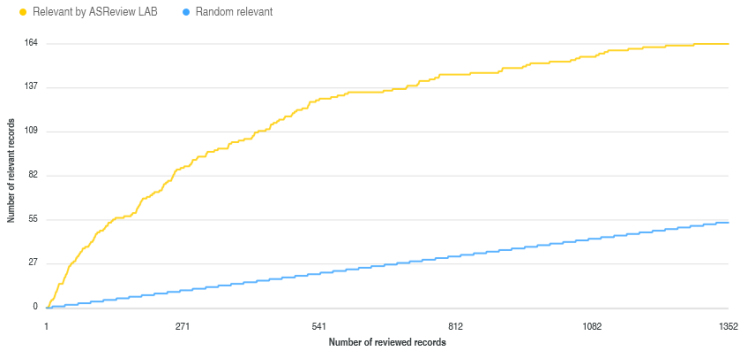


Abb. 2: Sättigungskurve der relevanten Beiträge in der Stichprobe pro gereviewter Beiträge

Basierend auf der Sättigungskurve (vgl. Abb. 2) wurde der Zeitpunkt des Stopps für das *Abstract-Screening* optisch bestimmt und mit der theoretisch zu erwartenden Anzahl an relevanten Beiträgen in der Stichprobe (van Haastrecht et al., 2021) abgeglichen. Im vorliegenden Fall wurde die Sättigung nach einer Durchsicht von 33,33 % (N = 1380) der Stichprobe mit 165 identifizierten relevanten Beiträgen erreicht. Dies überschreitet den berechneten zu erwartenden Wert relevanter Beiträge der Stichprobe von N = 152, wodurch der Stopp an dieser Stelle des Reviews gerechtfertigt erscheint. Insgesamt wurden im *Abstract-Screening* 3982 Beiträge ausgeschlossen. Hauptgründe hierfür sind, dass diese nicht explizit Kompetenzen zum Gestalten von Experimentierphasen ansprachen oder sich nicht auf Physiklehramtsstudierende oder Lehrkräfte bezogen.

Im nächsten Schritt wurde geprüft, ob die Volltexte der verbleibenden potenziell relevanten Beiträge verfügbar sind. Hierfür wurden sowohl digitale als auch analoge Quellen herangezogen. Bibliotheken verschiedener Universitäten ergänzten die Volltextrecherche durch ihre unterschiedlichen Zugriffsmöglichkeiten. Letztendlich wurden 30 weitere Beiträge ausgeschlossen, da die Volltexte entweder nicht in deutscher oder englischer Sprache oder gar nicht verfügbar waren. Die endgültige Stichprobe für das *Volltextscreening* belief sich somit auf 135 Beiträge. Durch das Volltextscreening wurden die 135 Beiträge auf 35 Beiträge reduziert. Dies resultierte aus der mangelnden Passung von Beiträgen, die zwar von Titel und Abstract her anschlussfähig erschienen, aber nicht die gesuchten Bedürfnisse im Studiendesign oder in der Stichprobe adressierten.

Das Kompetenzmodell wird basierend auf der finalen Stichprobe von N = 35 Beiträgen entwickelt. Weitere Beiträge stehen zur Prüfung aus, ob sie manuell in die finale Stichprobe aufgenommen werden. Zur anschließenden Entwicklung des Kompetenzmodells werden alle verbleibenden Beiträge gesichtet und verglichen, um Überschneidungen und bereits bestehenden Konsens zwischen verschiedenen Autor*innen herauszuarbeiten. Bei Diskrepanzen oder unklaren Formulierungen wird anschließend versucht eine Trennschärfe herzustellen.

Ausblick

Im Rahmen einer Längsschnittstudie soll entlang des abgeleiteten Kompetenzmodells die Entwicklung professioneller Kompetenzen von Masterstudierenden über zwei Semester, während der Teilnahme am Vorbereitungsseminar „Schulorientiertes Experimentieren“ sowie im daran anschließenden Praxissemester, erhoben und analysiert werden. Die Erhebung soll mittels Prä-, In-between- und Posttests erfolgen. Dabei werden verschiedene Methoden zur Datenerhebung kombiniert. Angedacht ist z.B. die Adaption eines Performanztests (Bauer, 2023), in dem die Studierenden für ausgewählte Experimente Materialien auswählen, für den Unterricht aufbauen, die Durchführung demonstrieren und ihr Vorgehen, im Rahmen von Interviews, begründen sollen. Dabei werden die Studierenden video- bzw. audiographiert und die Tonspuren und Videos anschließend analysiert. Zusätzlich werden Fragebögen zur Erfassung der personenbezogenen Daten sowie zur Erhebung der selbsteingeschätzten Selbstwirksamkeitserwartung in dem Handlungsfeld Experimentieren (Meinhardt, Rabe & Krey, 2018) eingesetzt.

hat gelöscht: Abb. 2

Literatur

Aufschnaiter, C. V. & Blömeke, S. (2010). Professionelle Kompetenz von (angehenden) Lehrkräften erfassen–Desiderata. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 16, 361–367.

Bauer, A. B. (2023). Experimentelle Kompetenz Physikstudierender: Entwicklung und erste Erprobung eines performanzorientierten Kompetenzstrukturmodells unter Nutzung qualitativer Methoden (Dissertation, Paderborn, Universität Paderborn, 2023).

Bitzenbauer, P. & Meyn, J. (2021). Fostering experimental competences of prospective physics teachers. Physics Education, 56, 045020. https://doi.org/10.1088/1361-6552/abfd3f

Meinhardt, C., Rabe, T. & Krey, O. (2018). Formulierung eines evidenzbasierten Validitätsarguments am Beispiel der Erfassung physikdidaktischer Selbstwirksamkeitserwartungen mit einem neu entwickelten Instrument. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (ZfDN) 24, 131–150. https://doi.org/10.1007/s40573-018-0079-6

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J. & Altman, D. G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. PLoS Medicine,6(7), e1000097. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097

Stinken-Rösner, L. (2020). Simulations in science education – status quo. Progress in Science Education (PriSE), 3(1), 26-34.

Tesch, M. & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht–Ergebnisse einer Videostudie. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (ZfDN), 10(10), 51–69.

van De Schoot, R., De Bruin, J., Schram, R., Zahedi, P., De Boer, J., Weijdema, F., ... & Oberski, D. L. (2021). An open source machine learning framework for efficient and transparent systematic reviews. Nature machine intelligence, 3(2), 125–133. https://doi.org/10.1038/s42256-020-00287-7

van Haastrecht, M., Sarhan, I., Yigit Ozkan, B., Brinkhuis, M. & Spruit, M. (2021). SYMBALS: A systematic review methodology blending active learning and snowballing. Frontiers in research metrics and analytics, 6, 685591. https://doi.org/10.3389/frma.2021.685591

Victoria Telser[1]
Benjamin Münch[1]
Oliver Tepner[1]

[1]Universität Regensburg

Entwicklung eines Kodiermanuals zur PISA-Ceco-Erhebung Chemie 2022

Theoretischer Hintergrund

Ein wichtiger Prädiktor für guten Unterricht ist das fachdidaktische Wissen von Lehrkräften (Anderson & Taner, 2023). Fachdidaktisches Wissen (engl. pedagogical content knowledge, PCK) ist damit ein wichtiger Forschungsgegenstand, der allerdings oft isoliert beforscht wird (Gramzow, 2015). Dabei wird allgemein angenommen, dass fachdidaktisches Wissen domänenspezifisch ist (Depaepe et al., 2013; Klieme & Leutner, 2006).

Die in PISA-Ceco anvisierten Facetten *Wissen über Schülervorstellungen*, *Wissen über Erklären und Repräsentieren* und *Wissen über die Gestaltung von forschend-entdeckendem Lernen* sind vielen Jahren wesentliche Aspekte gängiger PCK-Konzeptualisierungen (Depaepe et al., 2013; Krauss et al., 2017; Shulman, 1986).

Zur Erhebung fachdidaktischen Wissens sind sowohl geschlossene (Tepner & Dollny, 2013) als auch offene Aufgabenformate (Gramzow, 2015; Jüttner et al., 2013) erprobt worden. Es gibt erste empirische Hinweise auf Zusammenhänge von fachdidaktischem Wissen und der Qualität von Unterricht(-sentwürfen) bzw. der Schülerleistung (Großmann & Krüger, 2022; Lange et al., 2012; Strübe, 2021). Eine umfassendere Untersuchung ist aber noch ein Forschungsdesiderat.

Zielsetzung

PISA-Ceco (Classroom experience, characteristics and outcome: multidimensional educational goals and the views of students and teachers) untersucht Zusammenhänge von professioneller Kompetenz von Lehrkräften, der Durchführung kompetenzorientierten Unterrichts und dem Erreichen von Bildungszielen im Fach Mathematik und den Naturwissenschaften.

Dafür wurde u. a. ein Kompetenztest zum fachdidaktischen Wissen von Chemielehrkräften konzipiert, dessen Auswertung in diesem Artikel fokussiert wird. Ziel ist eine objektive, reliable (und valide) Messung des fachdidaktischen Wissens mit Hilfe offener Aufgabenstellungen.

Testkonzeption und Ablauf

Der Test umfasst je drei offene Aufgaben aus den Bereichen Atombau und Säuren bzw. saure Lösungen, die jeweils die Facetten *Wissen über Schülervorstellungen*, *Wissen über Erklären und Repräsentieren* und *Wissen über die Gestaltung von forschend-entdeckendem Lernen* abdecken. Hier wurde teilweise auf geschlossene Aufgaben aus dem ProwiN-Projekt zurückgegriffen (Tepner & Dollny, 2013). Da in PISA-Ceco unterrichtliche Handlungen bzw. Entscheidungsprozesse im Vordergrund stehen, wurde ein offenes Antwortformat gewählt.

Im Februar 2022 fanden zwei Pilotierungsdurchgänge mit 11 Fachdidaktiker:innen bzw. Lehrkräften statt. Von Dezember 2022 bis März 2023 wurden die Kategorien anhand von Literatur und Pilotierungsdaten entwickelt. Im April 2023 fand die finale Adaption des Kodiermanuals an Daten der Hauptstudie statt. Die Daten der Hauptstudie ($N = 49$) wurden

von Mai bis Dezember 2023 von zwei Personen kodiert, darunter eine in Chemiedidaktik promovierende und eine hier promovierte Person.

Allgemeine Methodik

Es wurden 20 % der Antworten doppelt kodiert. Nach der getrennten Kodierung und der Berechnung der Intercoder-Übereinstimmung wurde das weitere Material von einer Person kodiert (diese Ergebnisse wurden final noch einmal von der anderen Person überprüft). Es gab nur wenige offene Fragen bzw. Unstimmigkeiten, welche konsensual gelöst wurden. Es konnte in jedem Fall eine Einigung gefunden werden.

Die Facette zum Wissen über die Gestaltung von forschend-entdeckendem Lernen wurde anders kodiert als die anderen beiden Facetten, so dass die Auswertung im Folgenden getrennt beschrieben wird. Erstere wurde anhand typischer Erkenntnisgewinnungsprozesse und letztere anhand genannter Möglichkeiten kodiert. Insgesamt werden in dem Kodiermanual für die sechs Aufgaben 52 Oberkategorien und ca. 140 Subkategorien (= Codes) berücksichtigt, s. u.

Kodierung der Facetten *Wissen über Schülervorstellungen* und *Wissen über Erklären und Repräsentieren*

Literaturbasiert und unter Verwendung der Pilotierungsdaten wurde das Kodiermanual erstellt. Hierfür wurden inhaltsanalytisch zunächst die Antworten kategorisiert. Dabei wurde klar, dass zwei Ebenen betrachtet werden müssen:

Inhaltlich verschiedene, disjunkte Argumente und mögliche Beispiele.

Pro Argument (Oberkategorie) kann es mehrere Beispiele (Subkategorien) geben. Die Kodierung der Hauptstudie erfolgte dann mit Hilfe dreistelliger Zahlencodes. Die führende Ziffer ist dabei das Argument und die beiden nachfolgenden spezifizieren das genannte Beispiel. Das Argument kann auch ohne Beispiel genannt werden und erhält dann die Kodierung mit führender Ziffer und zwei Nullen.

An der folgenden verkürzten und vereinfachten Beispielaufgabe soll dies genauer erläutert werden:

„Zählen Sie möglichst viele Gründe für die Vorstellung auf, dass Säure/saure Lösungen ätzend sind."

Mögliche Antworten:

„Kalk wird zersetzt" → Code 101
- 1xx: inhaltliches Argument: Ätzwirkung von Säuren/sauren Lösungen im Alltag
- x01: Beispiel: (Auf-)Lösen von Kalk

„Säuren denaturieren Eiweiß" → Code 104
- 1xx: inhaltliches Argument: Ätzwirkung von Säuren/sauren Lösungen im Alltag
- x04: Beispiel: Denaturierung von Proteinen

„Geruch der Essigessenz ist unangenehm" → Code 304
- 3xx: inhaltliches Argument: Sinneseindruck
- x04: Beispiel: stechender Geruch (von Essig(reiniger))

Jeder Code kann pro Lehrkraft nur einmal vergeben werden. Wenn ein Code mit Beispiel vergeben wird, kann die Lehrkraft den gleichen Code ohne Beispiel (x00) nicht mehr zusätzlich erreichen, um eine Doppelbepunktung zu vermeiden.

Score: Einerseits werden die erreichten Codes quantitativ gewertet. Hier werden die insgesamt genannten Aspekte gezählt, sodass jeder Code mit Beispiel mit einem Punkt, Codes ohne

Beispiel (x00) mit einem halben Punkt gewertet werden. Der Score ergibt sind dann aus der Summe der Punkte.
Unterschiedliche Kategorien: Andererseits werden in einer zweiten Auswertung die Codes nach qualitativen Kriterien unterschiedlich gewichtet. Es wird dabei die Anzahl inhaltlich unterschiedlicher Argumente erfasst (Anzahl vergebener Codes mit unterschiedlicher führender Ziffer ergeben 1 BE (auch bei x00-Codes)). Die oben genannten Antworten würde zu einem Score von 3 und einer Kategorienanzahl von 2 führen. Diese Differenzierung soll sowohl einen eher quantitativen als auch einen eher qualitativen Blick ermöglichen.

Kodierung der Facette *Wissen über die Gestaltung von forschend-entdeckendem Lernen*
Das Kodiermanual für die beiden Aufgaben zum forschend-entdeckenden Lernen wurde gemeinsam mit den Projektpartnern erarbeitet, um fächervergleichende Auswertungen der drei Naturwissenschaften zu erlauben. Neben gemeinsamen Kategorien werden fachspezifische Aspekte anhand einer konkreten Aufgabe getestet und extra kodiert. Die Chemieaufgaben fokussieren dabei auf das schülerorientierte Erarbeiten von Experimenten und Modellgrenzen.
Die Kategorien werden nicht in Subkategorien unterteilt, sodass nicht zwischen Scores und Kategorie-Punkten unterschieden wird. Allerdings erzielen direkt fokussierte Aspekte einen Punkt, weitere Aspekte einen halben Punkt. Genauere Angaben können in den weiteren Publikationen eingesehen werden (Hohenleitner et al., im Druck).

Intercoder-Übereinstimmung
Die durchschnittliche Intercoder-Übereinstimmung hinsichtlich der Codes bei 20 % Doppelkodierung beträgt $\kappa = 0{,}77$. Die Werte können in allen Fällen als zufriedenstellend betrachtet werden.

Tabelle 1: Übereinstimmungswerte pro Aufgabe (κ für die Übereinstimmung bei den vergebenen Codes, ρ für die vergebenen Scores pro Person, Hohenleitner et al. (im Druck))

Wissen über Schülervorstellungen				Wissen über Erklären und Repräsentieren				Wissen über die Gestaltung von Erkenntnisgewinnungsprozessen			
Säuren		Atombau		saure Lösungen		Stoffeigenschaft		pH-Wert (Experiment)		Atommodelle (Modell)	
κ $N = 44$	ρ $N = 27$	κ $N = 126$	ρ $N = 7$	κ $N = 38$	ρ $N = 27$	κ $N = 116$	ρ $N = 7$	κ $N = 11$	ρ $N = 44$	κ $N = 80$	ρ $N = 10$
0,72	0,79	0,90	0,84	0,71	0,86	0,81	0,86	0,72	0,86	0,76	0,94

Zusammenfassung und Ausblick
Das Kodiermanual ermöglicht die handlungsnahe Erfassung dreier PCK-Facetten im Fach Chemie, sodass u. a. der Einfluss von PCK auf das Erreichen mehrdimensionaler Bildungsziele wie Lernmotivation und Einstellungen auf Schülerseite beforscht werden kann. In weiteren Teilen des Projekts sollen auch Bezüge zur kompetenzorientierten Unterrichtsgestaltung gezogen werden. Darüber hinaus wird ein Fächervergleich mit Mathematik, Biologie und Physik angestrebt.

Literatur

Anderson, J. & Taner, G. (2023). Building the expert teacher prototype: A metasummary of teacher expertise studies in primary and secondary education. *Educational Research Review*, *38*, 100485. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100485

Depaepe, F., Verschaffel, L. & Kelchtermans, G. (2013). Pedagogical content knowledge: A systematic review of the way in which the concept has pervaded mathematics educational research. *Teaching and Teacher Education*, *34*, 12–25. https://doi.org/10.1016/j.tate.2013.03.001

Gramzow, Y. (2015). *Fachdidaktisches Wissen von Lehramtsstudierenden im Fach Physik: Modellierung und Testkonstruktion*. Zugl.: Paderborn, Univ., Diss., 2014. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 181*. Logos Verlag.

Großmann, L. & Krüger, D. (2022). Welche Rolle spielt das fachdidaktische Wissen von Biologie-Referendar*innen für die Qualität ihrer Unterrichtsentwürfe? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *28*(1). https://doi.org/10.1007/s40573-022-00141-w

Hohenleitner, S., Krauss, S., Stegmüller, N., Dittmer, A., Ehras, C., Neumann, K., Sorge, S., Tepner, O., Telser, V. & Münch, B. (im Druck). Dokumentation der Erhebung des fachdidaktischen Wissens von Lehrkräften. In A. Schiepe-Tiska, S. Krauss, K. Reiss & D. Lewalter (Hrsg.), *Dokumentation der Erhebungsinstrumente aus PISA-Ceco 2022.*

Jüttner, M., Boone, W., Park, S. & Neuhaus, B. (2013). Development and use of a test instrument to measure biology teachers' content knowledge (CK) and pedagogical content knowledge (PCK). *Educational Assessment, Evaluation and Accountability*, *25*(1), 45–67. https://doi.org/10.1007/s11092-013-9157-y

Klieme, E. & Leutner, D. (2006). Kompetenzmodelle zur Erfassung individueller Lernergebnisse und zur Bilanzierung von Bildungsprozessen. Beschreibung eines neu eingerichteten Schwerpunktprogramms der DFG. *Zeitschrift für Pädagogik*, *52.* https://doi.org/10.25656/01:4493 (Zeitschrift für Pädagogik 52 (2006) 6, S. 876-903).

Krauss, S., Lindl, A., Schilcher, A., Fricke, M., Göhring, A., Hofmann, B., Kirchhoff, P., Mulder, R. H. & Baumert, J. (Hrsg.). (2017). *Waxmann-E-Books Lehrerbildung*. *FALKO: fachspezifische Lehrerkompetenzen: Konzeption von Professionswissenstests in den Fächern Deutsch, Englisch, Latein, Physik, Musik, Evangelische Religion und Pädagogik : mit neuen Daten aus der COACTIV-Studie*. Waxmann Verlag. https://elibrary.utb.de/doi/book/10.31244/9783830984450

Lange, K., Kleickmann, T., Tröbst, S. & Möller, K. (2012). Fachdidaktisches Wissen von Lehrkräften und multiple Ziele im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *15*(1), 55–75. https://doi.org/10.1007/s11618-012-0258-z

Shulman, L. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, *15*(2), 4–14.

Strübe, M. (2021). *Modelle und Experimente im Chemieunterricht: Eine Videostudie zum fachspezifischen Lehrerwissen und -handeln* [Dissertation, Universität Duisburg-Essen; Logos Verlag Berlin]. GBV Gemeinsamer Bibliotheksverbund.

Tepner, O. & Dollny, S. (2013). Entwicklung eines Testverfahrens zur Analyse fachdidaktischen Wissens. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 311–323). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-37827-0_25

Kevin Schmitt[1] [1]Technische Universität Darmstadt
Verena Spatz[1]

Analyse verschiedener Aspekte des Vorwissens in Physik von Physik-(Nebenfach)Studierenden

Motivation

Ein wesentlicher Grund, weshalb nach wie vor viele Studierende der Natur- und Ingenieurswissenschaften ihr Studium abbrechen (Heublein et al., 2022), sind die aus studentischer Sicht hohen inhaltlichen Anforderungen (Albrecht et al., 2011). Besonders in Physik-Nebenfachveranstaltungen, die oft in den ersten Fachsemestern angesiedelt sind, zeigen sich in der Praxis niedrige Bestehensquoten. Dies könnte u.a. damit zusammenhängen, dass das Vorwissen der Nebenfachstudierenden bezüglich der physikalischen Inhalte (im Vergleich zu Physikstudierenden im Hauptfach) besonders heterogen ist (Sternal & Walliser, 2020). Vor diesem Hintergrund wurde für diese Zielgruppe der Nebenfachstudierenden an der TU Darmstadt ein Vorwissenstest entwickelt und in zwei Iterationsschleifen überarbeitet (Schmitt & Spatz, 2023). Basierend auf der Item-Response-Theorie (IRT) konnte die Testreliabilität und die Funktionsweise der Items überprüft werden. Der Test beinhaltet zum einen drei Wissensarten nach Hailikari et al. (2007): Das Faktenwissen, welches mittels Multiple-Choice-Aufgaben erhoben wird, das Konzeptwissen, das Freitext-Antworten von den Studierenden fordert und das Anwendungswissen, bei dem die Teilnehmenden Lösungsansätze für Rechenaufgaben identifizieren müssen. Im Unterschied zu anderen Vorwissensstest wie z. B. von Binder et al. (2019), sind in dem Test die drei Inhaltsfelder der Mechanik, Elektrizitätslehre und Optik abgedeckt. Insgesamt unfasst der Test so 42 Aufgaben. Er erweist sich sowohl für eine Auswertung aufgeteilt nach den drei Wissensarten, als auch nach den Inhaltsfelder als statistisch reliabel.

In diesem Beitrag werden die Ergebnisse einer Studie zum physikalischen Vorwissen von Studierenden an der TU Darmstadt dargestellt, bei der das entwickelte Testinstrument zum Einsatz kam. Das Ziel war hierbei, das inhaltsspezifische, physikalische Vorwissen von Physik-Nebenfachstudierenden in unterschiedlichen Studiengängen mit dem Vorwissen von Studierenden im Eingangssemester des Bachelorstudiengangs Physik zu vergleichen.

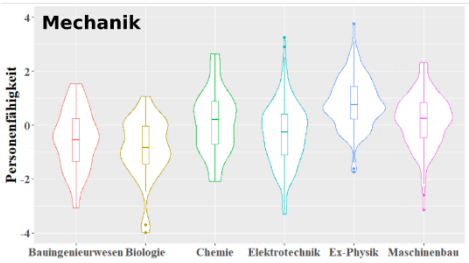
Stichprobe und Datenerhebung

Insgesamt wurde die Erhebung in drei aufeinanderfolgenden Semestern, beginnend ab dem Wintersemester 2022/2023, durchgeführt (Physik-Hauptfachstudierende wurden nachträglich der Stichprobe hinzugefügt). Die Erhebung fand rein digital über die Plattform „SoSci-Survey“ statt (Leiner, 2024). In jeder der Veranstaltungen wurde das Vorwissen nur einmal innerhalb der jeweils ersten beiden Wochen zu Vorlesungsbeginn erhoben. Die Teilnahme am Vorwissenstest war unterschiedlich stark in die Veranstaltungen bzw. den zugehörigen Übungsbetrieb integriert. In einigen der Veranstaltungen konnten dadurch höhere Stichprobenzahlen erreicht werden, dass die Studierenden für die Teilnahme Bonuspunkte im Rahmen der Hausübungen erhielten. In anderen Veranstaltungen wurde die Teilnahme nicht durch Übungspunkte honoriert. Die Nebenfachveranstaltungen „Physik“ in den Studiengängen Biologie (N=52), Bau- und Umweltingenieurwesen (N=23), Chemie (N=24),

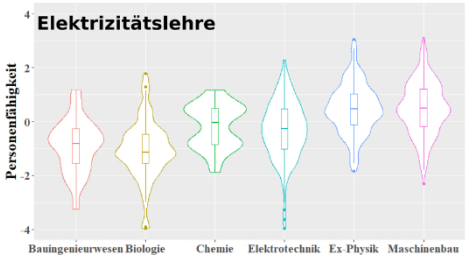
Elektrotechnik (N=234) und Maschinenbau (N=171), in denen erhoben wurde, unterscheiden sich durch die unterschiedliche Ansiedlung in den Verlaufsplänen (zwischen dem ersten und dritten Fachsemester) der jeweiligen Studiengänge. Die Erhebung mit Hauptfachstudierenden im Bachelorstudiengang Physik (N=125) erfolgte in der Lehrveranstaltung „Experimentalphysik I“, die im ersten Fachsemester angesetzt ist.

Auswertung und Ergebnisse

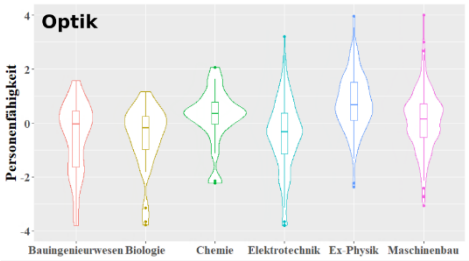
Die Grundlage der Datenauswertung wurde durch die IRT (Graded-Response-Modell nach Samejima, 1969) gesetzt, um die Rohdaten der Testergebnisse in Personenfähigkeiten innerhalb der verschiedenen Testteile zu transformieren. Als Maß für die Testreliabilität wurde daher die Personenreliabilität bestimmt (Liu, 2010). Es zeigte sich dabei sehr hohe innere Konsistenz für die Bereiche Mechanik (0.83) und Elektrizitätslehre (0.83) und eine hohe innere Konsistenz für den Bereich Optik (0.76) (vgl. Streiner, 2003).



	Bauing.	Biologie	Chemie	E-technik	Ex-physik
Biologie	0.00	-	-	-	-
Chemie	0.00	0.24*	-	-	-
E-technik	0.00	0.11**	0.00	-	-
Ex-physik	0.37***	0.59***	0.18***	0.46***	-
Masch-bau	0.14*	0.36***	0.00	0.21***	0.29***



Biologie	0.00	-	-	-	-
Chemie	0.12	0.30***	-	-	-
E-technik	0.10	0.23***	0.00	-	-
Ex-physik	0.40***	0.54***	0.17*	0.32***	-
Masch-bau	0.35***	0.50***	0.16*	0.33***	0.00



Biologie	0.00	-	-	-	-
Chemie	0.09	0.25*	-	-	-
E-technik	0.00	0.00	0.15*	-	-
Ex-physik	0.29***	0.45***	0.00	0.44***	-
Masch-bau	0.00	0.14*	0.00	0.17***	0.29***

Abb. 1 (links): Violin-Plots der Personenfähigkeiten der Studierendengruppen. (rechts): Effektstärken (Cohen's d) der paarweisen t-Tests zwischen den Studierendengruppen (: p<0.05, **: p<0.01, ***: p<0.001).*

Die Ergebnisse der Erhebung, aufgeteilt nach den drei Inhaltsfeldern sind in Abbildung 1 (links) dargestellt. Es werden dabei Violin-Plots (Box-Plots mit Verteilungsfunktionen) der

einzelnen Gruppen für die berechneten Personenfähigkeiten aufgezeigt. Deskriptiv zeigen die Personenfähigkeiten der Gruppen bereits deutliche Unterschiede im Vorwissen. Die Studierenden der Biologie und des Bau- und Umweltingenieurwesens weisen die niedrigsten Personenfähigkeiten in allen Testteilen auf. In den Bereichen Mechanik und Elektrizitätslehre sind die Chemiestudierenden gleichauf mit den Studierenden der Elektrotechnik und des Maschinenbaus. Im Bereich Optik zeigen sich allerdings bessere Kenntnisse der Chemiestudierenden im Vergleich zu den Studierenden der Elektrotechnik und ähnliche Kenntnisse im Vergleich zu den Studierenden des Maschinenbaus. Im Vergleich der Nebenfächer schneiden insgesamt die Maschinenbaustudierenden in allen Inhaltsfeldern am besten ab. Die Studierenden des Hauptfachs Physik haben insbesondere in der Mechanik und Optik höhere Vorwissensstände als die Nebenfachstudierenden.

Die statistische Untersuchung der Gruppenunterschiede anhand paarweiser t-Tests und deren Effektstärken (Cohen's d) sind in Abbildung 1 (rechts) dargestellt. In den Bereichen Mechanik und Elektrizitätslehre zeigen sich höhere Effektstärken als im Bereich Optik. Dies gilt hauptsächlich für die Vergleiche unter den Nebenfachstudierenden, die in der Optik erheblich geringere Unterschiede mit Effektstärken zwischen 0.00 und 0.25* im Vorwissen aufzeigen als in den andere Bereichen, wie z. B. in der Mechanik, mit Effektstärken bis zu 0.50*** (Vgl. zwischen Maschinenbau und Biologie). Zwischen den Hauptfachstudierenden und allen Gruppen der Nebenfachstudierenden sind die Unterschiede im Vorwissen aller Bereiche signifikant und zeigen schwache bis mittlere Effektstärken von 0.17* (Elektrizitätslehre im Vgl. zu Chemie) bis 0.59*** (Mechanik im Vgl. zu Biologie).
Bezüglich der deskriptiven Ergebnisse, die auf Grundlage der Violin-Plots aufgezeigt wurden, bestätigen die Signifikanztests den Vorwissens-Gradienten zwischen den Nebenfachstudierenden. Die Studierenden der Biologie zeigen hoch signifikante Unterschiede mit kleinen bis mittleren Effektstärken zu den Studierenden in anderen Nebenfachveranstaltungen. Die Effektstärken für die Studierenden des Bau- und Umweltingenieurwesens sind gering (0.10 bis 0.35***), was jedoch auf die kleine Stichprobenzahl zurückzuführen sein kann. Studierende des Maschinenbaus besitzen signifikant höhere Personenfähigkeiten in fast allen Bereichen, gefolgt von den Chemiestudierenden mit vergleichbaren Fähigkeiten in Mechanik und Optik. Die Studierenden der Elektrotechnik zeigen leicht geringer ausgeprägte Personenfähigkeiten in Mechanik und Optik auf als Studierende der Chemie, haben allerdings ein besseres Vowissen in der Elektrizitätslehre (0.23***).

Diskussion

Durch die Studie konnten Unterschiede im physikalischen Vorwissen zwischen verschiedenen Gruppen von Physik-Nebenfachstudierenden sowie auch zu Physik-Hauptfachstudierenden gezeigt werden. Obwohl einige der Stichprobengrößen nicht ausreichend sind um statistisch verlässliche Aussagen treffen zu können (v.a. in den Studiengängen Chemie sowie Bau- und Umweltingenieurwesen), ergaben sich klare Tendenzen.
Hinsichtlich der Relevanz des Vorwissens für den Studien- bzw. Klausurerfolg, die in der Mathematik, Physik, Biologie und Chemie im Hauptfach bereits untersucht wurde (vgl. Binder et al., 2017; Buschhüter et al., 2017; Freyer, 2013; Müller, 2018), ist zu vermuten, dass dieser Zusammenhang auch für die hier im Fokus stehende Gruppe von

Nebenfachstudierenden gilt. Folglich sollten die hier vorgestellten ersten Ergebnisse weiter untersucht werden und persektivisch bei der Konzeption von Unterstützungsmaßnahmen Berücksichtigung finden. Zum Beispiel könnten Vor- und Brückenkurse für die Physik angeboten werden, die auf das Vorwissen angepasste Lernangebote darstellen. Des Weiteren bieten die Ergebnisse der Studie den Verantwortlichen der jeweiligen Lehrveranstaltungen erste Anhaltspunkte, diese an die Stärken und Schwächen der addressierten Studierendengruppe anzupassen.

Literatur

Albrecht, André, Nordmeier & Volkhard (2011). Ursachen des Studienabbruchs in Physik. Eine explorative Studie. *Die Hochschule: Journal für WIssenschaft und BIldung*(20, 2), 131–145.

Binder, T., Sandmann, A., Sures, B., Friege, G., Theyssen, H. & Schmiemann, P. (2019). Assessing prior knowledge types as predictors of academic achievement in the introductory phase of biology and physics study programmes using logistic regression. *International Journal of STEM Education*, *6*(1). https://doi.org/10.1186/s40594-019-0189-9

Binder, T., Theyßen, H., Sures, B., Sandmann, A. & Schmiemann, P. (2017). Prädiktion von Klausurerfolg in Biologie und Physik. In C. Maurer (Vorsitz), *Jahrestagung.* Symposium im Rahmen der Tagung von Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDCP), Zürich.

Buschhüter, D., Spoden, C. & Borowski, A. (2017). Studienerfolg im Physikstudium: Inkrementelle Validität physikalischen Fachwissens und physikalischer Kompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *23*(1), 127–141. https://doi.org/10.1007/s40573-017-0062-7

Freyer, K. (2013). *Zum Einfluss Von Studieneingangsvoraussetzungen Auf Den Studienerfolg Erstsemesterstudierender Im Fach Chemie*. *Studien Zum Physik- und Chemielernen Ser: v. 156*. Logos Verlag Berlin. https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=5223914

Hailikari, T., Nevgi, A. & Lindblom-Ylänne, S. (2007). EXPLORING ALTERNATIVE WAYS OF ASSESSING PRIOR KNOWLEDGE, ITS COMPONENTS AND THEIR RELATION TO STUDENT ACHIEVEMENT: A MATHEMATICS BASED CASE STUDY. *Studies in Educational Evaluation*, *33*(3-4), 320–337. https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2007.07.007

Heublein, U., Hutzsch, C. & Schmelzer, R. (2022). *Die Entwicklung der Studienabbruchquoten in Deutschland.* https://doi.org/10.34878/2022.05.DZHW_BRIEF

Leiner, D. J. (2024). *SoSci Survey (Version 3.5.01) [Computer software]*. https://www.soscisurvey.de

Liu, X. (2010). *Using and developing measurement instruments in science education: A Rasch modeling approach*. *Science and engineering education sources*. Information Age Pub.

Müller, J. (2018). *Studienerfolg im Fach Physik: Zusammenhang zwischen Modellierungskompetenz und Studienerfolg* [Dissertation]. Universität Duisburg-Essen.

Samejima, F. (1969). *Estimation of Latent Ability using a response Pattern of graded Scores*. *Psychometric Monograph: Bd. 17*. The William Byrd Press. https://www.psychometricsociety.org/sites/main/files/file-attachments/mn17.pdf

Schmitt, K. & Spatz, V. (2023). Skalierung eines physikalischen Vorwissenstests für Physik-Nebenfachstudierende mittels Item-Response Theory. In H. van Vorst (Vorsitz), *Jahrestagung in Aachen 2022.* Symposium im Rahmen der Tagung von Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, RWTH Aachen.

Sternal, O. & Walliser, N.-O. (2020). Physik-Vorkenntnisse von Studienanfängerinnen und –anfängern in MINT-Fächern. *die hochschullehre*(6), 103–118.

Streiner, D. L. (2003). Starting at the beginning: an introduction to coefficient alpha and internal consistency. *Journal of personality assessment*, *80*(1), 99–103. https://doi.org/10.1207/S15327752JPA8001_18

Abels, Simone B17, P131, P132, P138, W2
Leuphana Universität Lüneburg

Abumezied, Mosab P049
RWTH Aachen University

Albrecht, Luc B. H18
Universität zu Köln

Aleven, Vincent P072
Carnegie Mellon University

Amacker, Valerie G17
Pädagogische Hochschule Luzern

Arnold, Julia W6
Fachhochschule Nordwestschweiz

Aygül, Pervin P014
Technische Universität München

Baierl, Fabian P061
Universität Halle-Wittenberg

Banerji, Amitabh P022, P025
Universität Potsdam

Baron, Sophie P136
Universität Regensburg

Basten, Melanie P088
Universität Bielefeld

Baudisch, Alissa P094
Universität Oldenburg

Beaujean, Merlin P119, P120
Universität Bielefeld

Becker, Paula P106
Pädagogische Hochschule Heidelberg

Becker-Genschow, Sebastian A10, P038
Universität zu Köln

Belova, Nadja I14, W6
Universität Bremen

Berber, Sandra A08
Universität Konstanz

Bergander, Nils P046
TU Dortmund

Bernholt, Sascha P020, P022, P023, P024, P025
IPN - Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik

Bernstein, Fabian G18
Goethe-Universität Frankfurt

Bernsteiner, Angelika B11
Universität Graz

Birner, Agnes P163
Universität Würzburg

Bley, Christoph C12
Friedrich-Schiller-Universität Jena

Bliesmer, Kai P084
Universität Oldenburg

Boegel, Svenja G06
Universität Duisburg-Essen

Böhmer, Jule F12
Universität Hamburg

Bohrmann-Linde, Claudia P030, P154
Bergische Universität Wuppertal

Bolte, Claus C18, F05
Freie Universität Berlin

Borchert, Cornelia P119, P120
Universität Bielefeld

Borowski, Andreas Einführung, G08, H02, P015
Universität Potsdam

Bosch, Chiara E17
Universität Tübingen

Brandenburger, Martina P112
Pädagogische Hochschule Freiburg

Brandt, Hanne F12
Universität Hamburg

Brauer, Ann-Kathrin P018
IPN - Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik

Braun, Irina H11
Justus-Liebig-Universität Gießen

Brott, Michele A03
Universität Jena

Brovelli, Dorothee G17, P143
Pädagogische Hochschule Luzern

Bruckermann, Till A08, W6
Leibniz Universität Hannover

Brückner, Lea P026
IPN - Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik

Brückner, Mathea A08
Universität Konstanz

Bub, Frederik H12, H13
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Bühler, Eva F18
PH Heidelberg

Bullock, Martin A13
Pädagogische Hochschule Thurgau und Universität Konstanz

Burde, Jan-Philipp P037, P079, P103, P155
Universität Tübingen

Burkhardt, Lea Mareike H07
Goethe-Universität Frankfurt am Main

Burlingham, Benjamin T. E14
Indiana University Bloomington

Bußkamp, Sophie D15
Universität Duisburg-Essen

Christ, Lisa-Marie H12, H13
Universität Augsburg

Cornelius, Soraya P154
Universität Wuppertal

Costan, Kasim C20, P103
Universität Bremen

Costan, Melissa P101
Universität Bremen

Damköhler, Jens A01
Universität Würzburg

Däullary, Leonie Ostschweizer Fachhochschule	A13
Diermann, Dominik Technische Universität München	P020, P021, P023, P024
Dietel, Elisabeth Carl von Ossietzky Universität Oldenburg	B19, W4
Dietz, Dennis Freie Universität Berlin	C18
Egerer, Constantin Universität Potsdam	D09, P020, P021, P022, P025
Eidner, Sascha Universität Potsdam	P043
Elsholz, Markus Universität Würzburg	P163
Engl, Alexander RPTU Kaiserslautern-Landau	B13, P125
Engstler, Valentin Universität Münster	I12-15, I13
Erb, Roger Goethe-Universität Frankfurt	P137
Fasching, Matthias Universität Wien	B04
Fechner, Sabine Universität Paderborn	B20, Laudation, P047
Fehlinger, Paula Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg	E09
Feser, Markus Sebastian Universität Hamburg	F12
Fichtner, Beate Universität zu Köln	E10
Fietkau, Anja Leuphana Universität Lüneburg	P138
Fischer, Matthias Pädagogische Hochschule Heidelberg	I04

Fleischer, Hendrik P072
Leibniz Universität Hannover

Flerlage, Carolin P020, P024, P025
IPN - Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik

Forster, Katharina P011
Technische Universität München

Frank, Florian C03
Universität Würzburg

Fuhrmann, Timm P131
Leuphana Universität Lüneburg

Gaffron, Julia P056
Universität Siegen

Gahrmann, Dennys G08
Universität Potsdam

Gerjets, Peter P079
Leibniz-Institut für Wissensmedien Tübingen

Gieske, Robert F14, P068
Freie Universität Berlin

Gogolin, Ingrid F12
Universität Hamburg

Gómez Tutor, Claudia P089
RPTU Kaiserslautern-Landau

Gräfe, Markus P071
TU Darmstadt

Graichen, Martina D13, P004
Pädagogische Hochschule Freiburg

Grandrath, Rebecca P154
Universität Wuppertal

Graulich, Nicole E14, H11
Justus-Liebig-Universität Gießen

Gresens, Kerstin H10
Universität Duisburg-Essen

Gritsch, Stefan P159
Pädagogische Hochschule Steiermark

Gröger, Martin P111
Universität Siegen

Groß, Janne B17
Leuphana Universität Lüneburg

Groß, Katharina I12-15
Universität zu Köln

Große, Cornelia Susanne H05
Johannes Kepler Universität Linz

Große-Heilmann, Rike C19, C20, P103
Universität Paderborn

Großmann, Nadine P088
Universität zu Köln

Grotegut, Lea I07
Universität Paderborn

Gruber, Melissa I12-15
Pädagogische Hochschule Karlsruhe

Gysin, Daniel P143
Pädagogische Hochschule Luzern

Haab, Anna B16
Universität Tübingen

Haak, Inka H15
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Habig, Sebastian H08
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Hädrich, Julia P107
Universität Kassel

Hagen-Schützenhöfer, Claudia P012.1
Universität Graz

Hahn, Larissa E02, E08, P057
Universität Göttingen

Hahn, Lotte F04
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Härtig, Hendrik F17
Universität Duisburg-Essen

Hausmann, Rieka P084
Universität Oldenburg

Heck, Volker P111
Universität Siegen

Heinicke, Susanne D14, P126
Universität Münster

Heinitz, Benjamin I02
Universität Münster

Heinke, Heidrun P049, P050, P062, P148, P149
RWTH Aachen University

Heinrich, Elias D16
Justus-Liebig-Universität Gießen

Henze, Jannik A10
Universität zu Köln

Herbst, Lea P158
TU Darmstadt

Herdt, Marija P042
RWTH Aachen University

Herholz, Silja P118
Universität Duisburg-Essen

Hesse, Brian E06
Universität zu Köln

Hinkelmann, Maria P097
RWTH Aachen University

Hofer, Elisabeth C07, W2
Leuphana Universität Lüneburg

Hofmann, Julia P038, P075
Universität Göttingen

Hollweck, Sezen B10
Universität Bayreuth

Hollwedel, Bennet P094
Universität Oldenburg

Holzapfel, Marisa Alena H05
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

Höper, Jan P111
Universität Tromso

Hopf, Martin B04, P073
Universität Wien

Hoppmann, Josia P120
Universität Bielefeld

Hörnlein, Madeleine F01
Universität Paderborn

Hornung, Gabriele P098, P099
RPTU Kaiserslautern-Landau

Hostert, Rebecca P125
RPTU Kaiserslautern-Landau

Höttecke, Dietmar F12
Universität Hamburg

Huwer, Johannes A08, A13
Universität Konstanz und Pädagogische Hochschule Thurgau

Hwang, Jiwoo P029
Technische Universität München

Ibraj, Krenare E07
Technische Universität Darmstadt

Jordans, Melanie H03
Universität Paderborn

Jung, Leonie P133
Universität Duisburg-Essen

Jungbluth, Tom C08
Pädagogische Hochschule Freiburg

Kaldewey, Marvin H17
Universität Bielefeld

Kärcher, Kevin E04
Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd

Kasper, Lutz F16
PH Schwäbisch Gmünd

Katzenbach, Dieter H07
Goethe-Universität Frankfurt am Main

Keller, David C15
Universität Potsdam

Kiel, Celina P157
Universität Bielefeld

Kirchhoff, Antonia D10
Universität Bielefeld

Klaric, Elena P063
Leibniz Universität Hannover

Klein, Pascal E08, G09, P038, P057, P070, P075
Universität Göttingen

Klinger, Thomas P095
Fachhochschule Kärnten

Klumpp, Stefan P057
Universität Göttingen

Knapp, Iris A16
Pädagogische Hochschule Steiermark

Knebloch, Jakub G01
Universität Frankfurt am Main

Kneuper, Jasmin P007
TU Dortmund

Koenen, Jenna P011, P020, P021, P023, P024, P025, P029,
Technische Universität München P150

Kohne, Theresa C05
Universität Münster

Kok, Karel P017
Humboldt-Universität zu Berlin

Kolbe, André P006
Universität Duisburg-Essen

Komorek, Michael P094
Universität Oldenburg

Konieczny, Viktoria F15, P140
Ruhr-Universität Bochum

Konrad, Joana H19
Universität Münster

Krabbe, Heiko P140, P141, P147
Ruhr-Universität Bochum

Kraus, Stefan C16
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Kreiter, Christian P095
Fachhochschule Kärnten

Krey, Olaf H13
Universität Augsburg

Krumphals, Ingrid P095
Pädagogische Hochschule Steiermark

Kubsch, Marcus P055
Freie Universität Berlin

Kühne, Patricia A09
Leibniz Universität Hannover

Kulgemeyer, Christoph C20, F01, P101, P160
Universität Bremen

Künsting, Josef C08
Pädagogische Hochschule Freiburg

Kunz, Michael P090
Universität Koblenz

Lachner, Andreas P037, P155
Universität Tübingen

Lademann, Julia A12
Universität zu Köln

Lahme, Simon Zacharias G09
Universität Göttingen

Lässer, Armin C20, P103, P160
Universität Innsbruck

Lathwesen, Chantal I14
Universität Bremen

Lauer, Luisa P035
Universität des Saarlandes

Laumann, Daniel C02, D14, P126
Universität Münster

Legscha, Yannick L. B08
Technische Universität Darmstadt

Leibfarth, Katharina P079
Universität Tübingen

Lenzer, Stefanie IPN - Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik	P012-P027, P012, P020, P022, P023, P025
Leppla, Laura Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau (RPTU)	P123
Lidberg, Hermann Goethe-Universität Frankfurt	P127
Liedtke, Pascal Universität Potsdam	P043
Lindmaier, Kerstin Johannes Kepler Universität (JKU)	P073
Liskes, Anna Universität Duisburg-Essen	C09
List, Florian Leuphana Universität Lüneburg	P132
Loch, Frieder Ostschweizer Fachhochschule	A13
Lorke, Julia RWTH Aachen University	PV03
Lossjew, Jannik IPN - Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik	P024
Lötzsch-Sandoval, Sebastian Universität Göttingen	G09
Ludwig, Tobias Pädagogische Hochschule Karlsruhe	P055
Lühken, Arnim Goethe-Universität Frankfurt am Main	H07
Lutz, Leo Pädagogische Hochschule Heidelberg	D18
Lutz, Mathias Pädagogische Hochschule Heidelberg	P167
Lutz, Wolfgang Universität Würzburg	A02
Mack, Nils Bergische Universität Wuppertal	P030

Maier, Jessica P026
Universität Hamburg

Maisenhölder, Patrick W7
PH Ludwigsburg

Martin, Paul E14
Justus-Liebig-Universität Gießen

Maurer, Nikolai A08
Universität Konstanz

Maut, Christoph I10
Humboldt-Universität zu Berlin

Meiertoberend, Leonard P033
Universität Hildesheim

Melle, Insa P007
Technische Universität Dortmund

Memmen, Jannis D05
Ludwig-Maximilians-Universität München

Menner, Marietta P083
Universität Augsburg

Menthe, Jürgen W2
Universität Hildesheim

Metje, Josefin P147
Ruhr-Universität Bochum

Meyer, Pascal E16
Universität Münster

Mientus, Lukas H02, P015
Universität Potsdam

Mikelskis-Seifert, Silke D13, P004
Pädagogische Hochschule Freiburg

Molkenthin, Daniel P162
Universität Bremen

Möller, Rebecca F13, W4
Universität Hamburg

Moser, Jasmin P155
Universität Tübingen

Müller, Andreas E08, P075
Universität Genf

Münch, Benjamin P039
Universität Regensburg

Naumann, Laura C06
Ludwig-Maximilians-Universität München

Nehring, Andreas I02, P063, W2
Leibniz Universität Hannover

Nerdel, Claudia P026
Technische Universität München

Neuhaus, Josefine E08
Georg-August-Universität Göttingen

Neumann, Knut P013, P016, P018
IPN - Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik

Neumayer, Jonas P152
Universität Regensburg

Nickel, Sebastian H08
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Obczovsky, Markus B02, G19
Universität Graz

Oltmanns, Stefan A19
Universität Bremen

Oruc, Büsra B14
Universität Hamburg

Osinski, Ben P137
Goethe-Universität Frankfurt

Pack, Kevin F17
Universität Duisburg-Essen

Pannullo, Laura G20
Universität Bielefeld

Pantiri, Giulia H07
Goethe-Universität Frankfurt

Paravicini, Walther P037, P155
Universität Tübingen

Parchmann, Ilka P020, P023, P024, P025, P026
IPN - Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik

Paul, Jürgen B10
Universität Bayreuth

Pauly, Annabel B12
Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Pawlak, Felix B09
Universität Tübingen

Peter, Stefanie E11
Universität Augsburg

Petermann, Verena P130
Justus-Liebig-Universität Gießen

Peukert, Sophia W7
TU Chemnitz

Pletschacher, Laura P114
Universität Regensburg

Pölloth, Benjamin E17, W4
Freie Universität Berlin

Ponath, Jonas P047
Universität Paderborn

Pracht, Rebecca P149
RWTH Aachen University

Prause, Hendrik P040
Freie Universität Berlin

Prechtl, Markus P087
TU Darmstadt

Prestel, Thomas G02
TU Dresden

Prewitz, Niklas I08
Universität zu Köln

Priebe, Jakob P070
Georg-August-Universität Göttingen

Priemer, Burkhard I10, P017
Humboldt-Universität zu Berlin

Purandare, Mitra A13
Ostschweizer Fachhochschule

Rabe, Thorid H12, H15
MLU Halle-Wittenberg

Ranters, Lynn P094
Universität Oldenburg

Rau-Patschke, Sarah D15
Universität Duisburg-Essen

Rautenstrauch, Hanne P058
Europa-Universität Flensburg

Reckmann, Eileen P093
Universität Paderborn

Rehm, Markus D17, F18, P167
Pädagogische Hochschule Heidelberg

Rhiner, Meredith A13
Pädagogische Hochschule Thurgau

Richter, Christiane P124
Universität Oldenburg

Richter, Leon P089
Rheinland-Pfälzische Technische Universität
Kaiserslautern-Landau (RPTU)

Richter-Bonin, Frederic W7
ehemals Universität Bielefeld

Riemer, Nastja H16, P089
Universität Potsdam

Riese, Josef C19, C20, P103, P160
Universität Paderborn

Ripsam, Melanie P026
Technische Universität München

Risch, Björn B13
RPTU Kaiserslautern-Landau

Rollwa, Norman P099
Rheinland-Pfälzische Technische Universiät
Kaiserslautern-Landau (RPTU)

Römer, Daniel H20
Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd

Ropohl, Mathias P135
Universität Duisburg-Essen

Rost, Marvin A14, W7
Universität Wien

Rothlin, Tobias A13
Ostschweizer Fachhochschule

Rueda, Antonio P110
Universität Potsdam

Rumann, Stefan F19
Universität Duisburg-Essen

Runge, Lea P016
IPN - Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik

Rüschenpöhler, Lilith C07
NTNU - Norwegian University of Science and Technology

Sadiq, Diyar P084
Universität Zakho

Schanze, Sascha P048, P072
Leibniz Universität Hannover

Schauer, Regina F12
Universität Hamburg

Schauer-Bollig, Ramona P062, P148, P149
RWTH Aachen University

Scheiger, Philipp B05
Universität Stuttgart

Schlaf, Johannes P050
RWTH Aachen University

Schleicher, Manuel P083
Universität Augsburg

Schlünz, Dane-Vincent C02
Universität Münster

Schmidt, Andrea-Katharina P087
Technische Universität Darmstadt

Schmidt, Julian P166
Universität Duisburg-Essen

Schmitt, Kevin
TU Darmstadt
P172

Schrader, Claudia
Bergische Universität Wuppertal
P030

Schubatzky, Thomas
Universität Innsbruck
B02, B11, C19, C20, G19, P103, W6

Schuck, Patrick
Universität Hamburg
G13

Schulz, Hilke
Universität Greifswald
P106

Schulze, Annelie
Universität Greifswald
P106

Schüßler, Katrin
Universität Duisburg-Essen
E15, P006, W4

Schüßler, Marie
Universität Paderborn
P002

Schwanke, Hagen
Universität Würzburg
F10

Schwarzer, Stefan
Universität Tübingen
B09, B16, E17, P155

Schwedler, Stefanie
Universität Bielefeld
P120, P157

Seeberger, Frank
Universität Tübingen
P155

Seibert, Johann-Nikolaus
RPTU Kaiserslautern-Landau
P089, P098, P123

Semmler, Luzie
TU Braunschweig
I12, I12-15

Sibahi, Mohamad
Universität Oldenburg
P094

Siebers, Laura
Universität Duisburg-Essen
F19

Sigot, Martin
Universität Graz
A15

Sorge, Stefan P055, W6
IPN - Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik

Speetzen, Felicia P148
RWTH Aachen University

Sprysch, Ayleen P085
Universität Münster

Staacks, Sebastian P049, P050
RWTH Aachen University

Stampfer, Christoph P050
RWTH Aachen University

Steckenmesser-Sander, Kathrin P130
Justus-Liebig-Universität

Steffensky, Mirjam P026
Universität Hamburg

Steinmetz, Thomas Benedikt P095
Fachhochschule Kärnten

Steinmetz, Tilmann P037
Universität Tübingen

Stender, Anita P133
Universität Duisburg-Essen

Streitberger, Jan-Samuel P126
Universität Münster

Streller, Sabine P068
Freie Universität Berlin

Strippel, Christian I12-15
Ruhr-Universität Bochum

Stuppan, Sebastian D17
Pädagogische Hochschule Luzern

Syskowski, Sabrina A08
Universität Konstanz

Telser, Victoria P169
Universität Regensburg

Temmen, Katrin P093
Universität Paderborn

Tenberge, Claudia P002
Universität Paderborn

Teplá, Alexandra W4
Universität Wien

Tepner, Oliver P169
Universität Regensburg

Tewordt, Teresa P168
Universität Bielefeld

Theyßen, Heike P133
Universität Duisburg-Essen

Thoms, Lars-Jochen A13
Pädagogische Hochschule Thurgau und Universität Konstanz

Tischer, Jonas D07
Universität Oldenburg

Trauten, Florian B06
Universität Duisburg-Essen

Trefzger, Thomas A01, A02, C03, F10, P163
Universität Würzburg

Turner-Irmler, Julia P083
Universität Augsburg

Unger, Paul P145
Universität Regensburg

van Vorst, Helena Vorwort
Universität Duisburg-Essen

Vogel, Valerie P064
Ruhr-Universität Bochum

Vogelsang, Christoph P165, W6
Universität Paderborn

von Kotzebue, Lena A08
Paris Lodron Universität Salzburg

Vorholzer, Andreas P013, P014
Technische Universität München

Wallrath, Simeon P031
RPTU Kaiserslautern-Landau

Walpuski, Maik B06, E15, P006
Universität Duisburg-Essen

Warlo, Simon P112
Pädagogische Hochschule Freiburg

Wartig, Bianka D12
Universität Bielefeld

Watzka, Bianca E09
RWTH Aachen University

Webersen, Yvonne P102
Universität Paderborn

Wedekind, Lisa B20
Universität Paderborn

Weiler, David C19, C20, P103
Universität Tübingen

Weirauch, Katja W4
Universität Würzburg

Weiß, Niklas P057
Georg-August-Universität Göttingen

Weiss, Benedikt P071
TU Darmstadt

Weißbach, Anna H04, P101
Universität Bremen

Welberg, Julia D14
Universität Münster

Wellner, Laura P141
Ruhr-Universität Bochum

Wenzel, Volker H07
Goethe-Universität Frankfurt am Main

Westhoff, Peter Michael P066
Universität Münster

Wichmann, Meike P067
Universität Potsdam

Wildbichler, Sarah B02
Universität Innsbruck

Wilhelm, Markus F18
Pädagogische Hochschule Luzern

Wilhelm, Thomas P142
Goethe-Universität Frankfurt

Willmes, Leonie P135
Universität Duisburg-Essen

Winkens, Tobias P054
RWTH Aachen University

Wodzinski, Rita P107
Universität Kassel

Wulff, Peter H02, P106, W6
Pädagogische Hochschule Heidelberg

Wunn, Nicolas P098
Rheinland-Pfälzische Technische Universität
Kaiserslautern-Landau (RPTU)

Wyrobek, Sebastian P055
Pädagogische Hochschule Karlsruhe

Yik, Brandon J. E14
University of Georgia

Zeller, Diana P030
Bergische Universität Wuppertal

Zeller, Jannis G15
Universität Paderborn

Zerouali, Amina P029
Technische Universität München

Ziegler, Mathias P051
Universität Bielefeld

Zilz, Kendra D20, W4
Universität Hamburg

Die 51. Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDCP) wurde im September 2024 an der Ruhr-Universität Bochum ausgerichtet.

Zum Tagungsthema „Entdecken, lehren und forschen im Schülerlabor“ diskutierten neben den Plenarreferent*innen eine große Anzahl an Tagungsgästen.

Der vorliegende Band umfasst die ausgearbeiteten Beiträge der Teilnehmenden.

GDCP

www.gdcp-ev.de