

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 abgegeben 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 entgegengesetzten 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](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>