

Operationalisierung der experimentellen Kompetenz (Physik-)Studierender

Ausgangslage und Ziele

Laborpraktika naturwissenschaftlicher Studiengänge zielen darauf ab, dass Studierende das Experimentieren und hier insbesondere die wissenschaftliche Erkenntnismethodik erlernen. Allerdings besteht Konsens darüber, dass die mit dem Experimentieren verbundenen Zielsetzungen, sowohl im schulischen als auch im universitären Bereich, in den bestehenden Organisations- und Lernumgebungsstrukturen häufig nicht in zufriedenstellendem Maße erreicht werden (Welzel, 1998).

Vor diesem Hintergrund finden sich in der Literatur verschiedene theoriebasierte Neukonzeptionen von Laborpraktika. Dabei werden zum einen adressatenspezifische Ansätze realisiert, um Nebenfachstudierende bei der Bewältigung der Experimentieraufgaben zu unterstützen und das Interesse der Studierenden zu erhöhen (Theyßen, 2001; Plückers, Stummer & Heinke, 2016). Zum anderen werden Laborpraktika kompetenzorientiert neugestaltet, um die Diskrepanz zwischen den Zielen und der Praxis zu verringern (Sacher, 2015).

Die Wirkung dieser Konzepte wird meist auf struktureller Ebene mit Fragebögen (z.B. Rehfeldt & Nordmeier, 2016) evaluiert, die als Dimensionen die Zufriedenheit der Lernenden mit der Betreuung und Organisation oder selbsteingeschätzte Lernzuwächse umfassen. Außerdem werden Fachwissenstests oder -methodentests (z.B. KoWadis, Straube, 2016) genutzt. In der Chemie werden in Laborpraktika z.B. für die beobachtbaren experimentellen Fähigkeiten Lab Skills Tests bestehend aus hands-on Experimenten und ergänzenden paper-pencil-Fachwissenstests eingesetzt (Platova, 2017). Diese Testinstrumente ermöglichen allerdings keine tiefergehende Prozessevaluation, sondern testen meist einzelne Indikatoren für das erfolgreiche Bewältigen von Experimenten. An dieser Stelle setzt das hier vorgestellte Projekt an. Es sollen Instrumente für physikalische Praktika entwickelt werden, die eine valide Erhebung der Performanz der Studierenden ermöglichen, um so aus den gezeigten Experimentierhandlungen Rückschlüsse auf das Niveau der zugrundeliegenden Kompetenzen ziehen zu können. Dies würde eine differenzierte Wirkungsanalyse unterschiedlicher Praktikumskonzepte möglich, um z.B. Implikationen für Neukonzeptionierungen ableiten zu können.

Theoretische Grundlagen der Modellierung

Die Erhebung experimenteller Kompetenz Physikstudierender am Ende des Anfängerlaborpraktikums soll mit Hilfe videografiertes hands-on Experimente geschehen. Hierfür wird ein Kompetenzstrukturmodell auf universitärem Niveau benötigt. Dieses wurde zunächst ausgehend von institutionellen und empirisch motivierten Zielsetzungen sowie schulbezogenen Modellen experimenteller Kompetenz entwickelt. Die Struktur experimenteller Kompetenz ist für den Schulbereich schon breit erforscht worden (Übersicht: Emden, 2011). Diese Modelle sind strukturell adaptierbar, jedoch weisen sie innerhalb der einzelnen Facetten meist eine für universitäres Experimentieren zu geringe Differenzierung auf. Auch für die prozessorientierte Testung experimenteller Kompetenz auf Schulebene liegen schon verschiedene Instrumente, wie hands-on Experimente (Schreiber, 2012; Meier 2016), Simulationen (Schecker et. al., 2016) und paper-pencil-Tests (Wellnitz et. al., 2017), vor.

Auf Hochschulniveau wurde die experimentelle Kompetenz bisher vor allem auf struktureller Ebene untersucht. So wurde das naturwissenschaftliche Denken von Lehramtsstudierenden im Rahmen des KoWadis-Projektes (Straube, 2016) mit einem paper-pencil Test erhoben. Ziel von KoWadis ist es, Aussagen zum Fachmethodenwissen von Lehramtsstudierenden unterschiedlicher naturwissenschaftlicher Studiengänge tätigen zu können. Weiterhin wurde zum Beispiel für das Fach Chemie untersucht, welche Experimentierstrategien Studierende beim Experimentieren anwenden (Arndt, 2016).

Aussagen zur qualitativen Ausprägung der experimentellen Kompetenz wurden im Rahmen von Schulleistungsstudien näher erforscht (Gut, 2012). Die Qualität des Experimentierens auf Hochschulniveau wurde von Heidrich (2017) bei Studierenden verschiedener Fachsemester untersucht. Dort wurde ein Performanztest zum Inhaltsfeld Optik entwickelt und die Qualität des Experimentierens über die übergeordneten Gütemaße Richtigkeit, Strukturiertheit und Zielorientiertheit modelliert, die die experimentellen Facetten abbilden.

Vor diesem Hintergrund wurde, um Aussagen zur Qualität experimenteller Kompetenz von Fachstudierenden tätigen zu können, im Rahmen des Projektes durch eine qualitative Inhaltsanalyse schulischer und universitärer Experimentieranleitungen zunächst eine Abgrenzung zwischen schulischem und universitärem Experimentieren vorgenommen. Als Unterschiede konnten für das universitäre Experimentieren eine höhere fachinhaltliche und technische Komplexität gezeigt werden. Weiterhin wird von Studierenden eine höhere Differenziertheit in Argumentationen und Handlungen gefordert.

Ein Instrument, das qualitative Aussagen zu einzelnen Handlungen beim Experimentieren bzw. zur der Differenziertheit der Argumentationen innerhalb des Gesamtprozesses erlaubt, fehlt bisher noch. Zum fachlichen Argumentieren beim Experimentieren existieren nur wenige Forschungsarbeiten. Sie untersuchen neben der strukturellen Ebene (Kind, Kind, Hofstein & Wilson, 2011) auch Auswirkungen der Lernumgebungen (Katchevich, Mamlok-Naaman & Hofstein, 2014) sowie den Einfluss personaler Faktoren (Ludwig, 2017) auf die Qualität des Argumentierens mit Fokus auf schulischen Unterricht.

Entwicklung der Testaufgaben

Als erster Schritt zur Entwicklung eines solchen Instruments wurden Testaufgaben in mehreren Schritten entwickelt. Zunächst wurde eine qualitative Inhaltsanalyse universitärer Versuchsanleitungen (zehn Universitäten) durchgeführt, da in Deutschland kein einheitliches Curriculum für Laborpraktika existiert. Für die Inhaltsanalyse wurden die Aspekte Physikalisches Phänomen, Messmethode, Messgeräte, Materialien und Versuchsaufbau, Auswertungsmethode und Aufgaben zur Analyse des Vorgehens bzw. der Messergebnisse als Kategorien genutzt.

Basierend auf diesen Ergebnissen wurden die Aufgaben so konstruiert, dass die Studierenden mit allen Aspekten von Experimentieraufgaben (Kategorien der Inhaltsanalyse) schon gearbeitet haben. Mit diesem Vorgehen soll neben der curricularen Passung des Instruments auch sichergestellt werden, dass ein Vergleich zwischen Universitäten möglich ist. Weiterhin wird das für den Versuch notwendige Fachwissen in Form eines Textes vorgegeben. Dies soll zum einen mögliche Bodeneffekte bei Studierenden mit mangelndem Fachwissen verhindern und zum anderen soll damit versucht werden, das Fachwissen als Einflussfaktor auf die Experimentierqualität konstant zu halten.

Die Aufgaben sind als open-ended investigation (Glaesser et. al., 2009) konzipiert worden. Studierende können bei der Bearbeitung scheitern und erhalten keine zusätzlichen Hilfestellungen. Bei der Konstruktion der Aufgaben wurde eine einheitliche Formulierung der Aufgaben über alle Inhaltsbereiche angestrebt. Dies wurde realisiert, indem die Aufgaben entlang der Facetten des entwickelten Kompetenzstrukturmodells (Planen, Aufbauen und Testen, Durchführen, Auswerten) formuliert sind und lediglich die

Fragestellungen¹ der Experimentieraufgaben variiert werden. Als inhaltliche Schwerpunkte werden zunächst die zwei Themenfelder Thermodynamik und Elektrodynamik getestet.

Um Unterschiede in der Tiefe der Argumentation bzw. hinsichtlich der gezeigten Performanz erheben zu können, wird eine Unterscheidung bei der Operationalisierung der experimentellen Fähigkeiten und Fertigkeiten vorgenommen. Die normativ abgeleiteten Facetten können grob in drei Kategorien eingeteilt werden. Beispielsweise stellen die Mehrheit der Planungsfacetten kognitive Vorgänge dar, die sich nicht direkt in Performanz zeigen. Diese Aspekte der experimentellen Kompetenz sollen daher produktorientiert erhoben werden, während die Facetten der Durchführung als anhand der Performanz rekonstruierbar angenommen werden. Diese Performanzaspekte sollen durch konkrete Handlungsaufforderungen in der Aufgabe ausgelöst und videografiert werden. Die Studierenden werden in der Aufgabe zudem aufgefordert ihr Vorgehen schriftlich zu begründen (Sander, 2000), damit möglichst umfangreiche Argumentationszusammenhänge erhoben werden können.

Vorstudie

Das Ziel der Vorstudie im Wintersemester 2017/18 ist das deskriptive Anreichern der normativ abgeleiteten Facetten experimenteller Kompetenz, sodass neben der Aufgabenerprobung auch die Generierung von Handlungsbeschreibungen im Fokus steht. Dafür wurden mehrere Aufgaben konstruiert, die anhand Probanden unterschiedlicher Fähigkeitsniveaus (8–10 Studierende, die das Anfängerlaborpraktikum gerade beendet haben, sowie vier Experten (Doktoranden und Postdocs der Experimentalphysik)) in einer kumulativen Vorstudie erprobt und optimiert werden sollen. Während des Experimentierens werden die Probanden gefilmt und im Anschluss daran interviewt (stimulated recall), um einen tieferen Einblick in ihre Entscheidungen während des Experimentierens zu erhalten. Die kumulative Vorstudie findet in Blöcken à zwei Wochen statt. Danach werden die Videos ausgewertet, die Aufgabenstellungen optimiert und im nächsten Durchgang erneut eingesetzt bis eine Sättigung eintritt. Auf Basis des Videomaterials sollen Handlungsbeschreibungen und ein Kategoriensystem gebildet werden, mit dem die studentische Performanz kriterial analysiert werden kann.

Neben der Performanz werden Kontrollvariablen wie die Personendaten und die experimentellen Vorerfahrungen sowie das Fach- und -methodenwissen erhoben. Für die Erhebung der Personendaten, Vorerfahrungen und des Fachmethodenwissens werden selbstentwickelte Instrumente benutzt. Das Fachwissen wird mit Hilfe von concept maps erhoben. Die Instrumente sollen im Rahmen der Vorstudie getestet und ggf. überarbeitet werden. Die Auswertung soll mit Hilfe einer qualitativen Inhaltsanalyse erfolgen. Mit fortschreitender Vorstudie sollen neben den Aufgaben auch das Kategoriensystem und das Kodiermanual optimiert werden. Weiterhin soll die Auswertungsmethodik für die Gesamtdaten festgelegt werden.

In der nachfolgenden Hauptstudie werden Studierende am Ende des Anfängerpraktikums untersucht. Auf Basis der mit Hilfe des Kategoriensystems analysierten Performanz sollen durch qualitative Gruppierung der Probandenfähigkeit mit Hilfe einer typenbildenden Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2014) Niveaustufen gebildet werden. Die erhaltenen qualitativen Abstufungen sollen über ein Expertenrating abgesichert werden, damit im Anschluss eine normative Niveaubildung durchgeführt werden kann.

¹ Die Fragestellung wird bei allen Aufgaben vorgegeben, da erst auf Dissertationsniveau das Auffinden untersuchbarer Fragestellungen verlangt wird.

Literatur

- Arndt, K. (2016): Experimentierkompetenz erfassen. Analyse von Prozessen und Mustern am Beispiel von Lehramtsstudierenden der Chemie: Dissertation. Berlin: Logos Berlin (Studien zum Physik- und Chemielernen, 202).
- Emden, M. (2011): Prozessorientierte Leistungsmessung des naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens. Eine vergleichende Studie zu Diagnoseinstrumenten zu Beginn der Sekundarstufe I. Berlin: Logos Berlin (Studien zum Physik- und Chemielernen, 118).
- Glaesser, J., Gott, R., Roberts, R. & Cooper, B. (2009): The roles of substantive and procedural understanding in open-ended science investigations: Using fuzzy set qualitative comparative analysis to compare two different tasks. In: *Research in Science Education* 39 (4), S. 595–624.
- Gut, C. (2012): Modellierung und Messung experimenteller Kompetenz. Analyse eines large-scale Experimentiertests. Univ., Diss.-Basel, 2012. Berlin: Logos-Verl. (Studien zum Physik- und Chemielernen, 134).
- Heidrich, J. (2017): Erfassung von Experimentierkompetenz im universitären Kontext. Entwicklung und Validierung eines Experimentiertests zum Themenbereich Optik. Kiel. Online verf.: http://macau.uni-kiel.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dissertation_derivate_00007080/DissHeidrich.pdf.
- Katchevich, D.; Mamlok-Naaman, R.; Hofstein, A. (2014): The characteristics of open-ended inquiry-type chemistry experiments that enable argumentative discourse. In: *Journal of Educational Research* 126 (2), S. 74–99.
- Kind, P. M.; Kind, V.; Hofstein, A.; Wilson, J. (2011): Peer Argumentation in the School Science Laboratory- Exploring effects of task features. In: *International Journal of Science Education* 33 (18), S. 2527–2558.
- Kuckartz, U. (2012). *Qualitative Inhaltsanalyse Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (2. Aufl.). Weinheim Beltz Juventa.
- Ludwig, T. (2017): Argumentieren beim Experimentieren. Die Bedeutung personaler und situationaler Faktoren. Online verf.: <https://edoc.hu-berlin.de/bitstream/handle/18452/19085/ludwig.pdf?sequence=6>.
- Meier, M. (2016): Entwicklung und Prüfung eines Instrumentes zur Diagnose der Experimentierkompetenz von Schülerinnen und Schülern. Berlin: Logos Berlin (BIOLOGIE lernen und lehren, 13).
- Platova, E. (2017): Optimierung eines Laborpraktikums durch kognitive Aktivierung. Berlin: Logos-Verl. (Studien zum Physiklernen, Bd. 225).
- Plückers, K., Stummer, T. & Heinke, H. (2017). „Was treibt dich an?“ - Förderung von Interesse von Medizinstudierenden im Physikpraktikum. In: C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Zürich 2016. (S. 198ff).
- Rehfeldt, D.; Nordmeier, V. (2016): Skalen zur Messung von Praktikumsqualität: Konfirmatorische Analyse der Struktur und Konstrukte. *Didaktik der Physik: Frühjahrstagung, Hannover*.
- Sacher, M. D.; Probst, H. M.; Reinhold P. J.; Schaper, N. (2015): Entwicklung eines kompetenzorientierten physikalischen Laborpraktikums, in: Hartz, Stefanie; Marx, Sabine (Hrsg.): *Leitkonzepte der Hochschuldidaktik Theorie – Praxis – Empirie*. Reihe Blickpunkt Hochschuldidaktik, W. Bertelsmann Verlag, S. 128-136.
- Sander, F. (2000): Verbindung von Theorie und Experiment im physikalischen Praktikum. Eine empirische Untersuchung zum handlungsbezogenen Vorverständnis und dem Einsatz grafikorientierter Modellbildung im Praktikum. Univ., Diss.-Bremen, 1999. Berlin: Logos-Verl. (Studien zum Physiklernen, 13).
- Schecker, H.; Neumann, K.; Theyßen, H.; Eickhorst, B.; Dickmann, M. (2016): Stufen experimenteller Kompetenz. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 22 (1), S. 197–213
- Schreiber, N. (2012): Diagnostik experimenteller Kompetenz. Validierung technologiegestützter Testverfahren im Rahmen eines Kompetenzstrukturmodells. Berlin: Logos (Studien zum Physik- und Chemielernen, 139).
- Straube, P. (2016): Modellierung und Erfassung von Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung bei (Lehramts-) Studierenden im Fach Physik. Dissertation. Logos Verlag Berlin
- Theyßen, H., Schumacher, D. (2001): Physikpraktikum für Medizinstudierende - Entwicklung und Evaluation eines adressatenspezifischen Praktikums. Düsseldorf.
- Wellnitz, N.; Hecht, M.; Heitmann, P.; Kauertz, A.; Mayer, J.; Sumfleth, E.; Walpuski, M. (2017): Modellierung des Kompetenzteilbereichs naturwissenschaftliche Untersuchungen. In: *Z Erziehungswiss* 88 (3), S. 397ff.
- Welzel, M.; Haller, K. et al. (1998): Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden. Ergebnisse einer europäischen Umfrage. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaft* 4 (1), S. 29–44.