

Simon Z. Lahme¹
 Andreas Müller²
 Pascal Klein¹

¹Universität Göttingen
²Universität Genf

Lehrveranstaltungsverbindende Experimentieraufgaben im Physikstudium

Motivation

Das Physikstudium ist traditionell in unterschiedliche Lehrveranstaltungen (u. a. Experimentalphysik und Mathematik) und Lehrformate (Vorlesung, Übung und Praktikum) gegliedert. Durch verschiedene, über die Semester oft variierende Zuständigkeiten und spezifische Normen neigt diese Struktur zu geringer Vernetzung der Lehre (Darling-Hammond, 2006). Hohe Kohärenz ist jedoch für die Effektivität von Lern- und Ausbildungsprozessen zentral (vgl. ebd. für Lehrkräftebildung), was für die Ausschöpfung des Potenzials inhaltlicher, methodischer und didaktischer Bezüge zwischen Lehrveranstaltungen und Ausbildungsphasen spricht. Kohärenz kann dabei im Physik(-lehramts-)studium auf unterschiedlichen Ebenen erreicht werden, z. B. durch einheitliches Pacing und gestaffelte Schwierigkeitsniveaus auf den Übungszetteln (Woitkowski, 2020), durch die tiefe Integration unterschiedlicher Unterstützungsmaßnahmen etwa zum selbstregulierten Lernen in die einzelnen Lehrveranstaltungen (Bauer et al., 2022) oder die Integration fachwissenschaftlicher und fachdidaktischer Inhalte innerhalb der Module im Physiklehramtsstudium (Universität Kassel, 2010). Da derartige Innovationen immer im Kontext örtlicher, struktureller und kultureller Rahmenbedingungen (z. B. Studienfächer, Curricula, Lehrformate) erfolgen, muss bei der Implementation neben einer kontinuierlichen Qualitätsentwicklung besonders auf eine integrative Gestaltung der Maßnahme und eine Gestaltung von Veränderungen zur Steigerung der Passung zwischen Maßnahme und Kontext geachtet werden (Euler & Seufert, 2004).

Programmübersicht

An der Universität Göttingen ist daher im Wintersemester 2022/23 ein Programm geplant, das sich in die bestehende Struktur des ersten Studiensemesters mit den Vorlesungen *Experimentalphysik I* (Mechanik) und *Rechenmethoden der Physik* sowie dem physikalischen Grundpraktikum einschmiegt, aber auf eine stärkere Vernetzung abzielt: Im Projekt *Digitalgestütztes vernetztes Lernen in der Studieneingangsphase Physik*, gefördert in der Linie *InnovationPlus* des Niedersächsischen Ministeriums für Wissenschaft und Kultur, bearbeiten die Studierenden in Kleingruppen über das erste Semester hinweg je eine Projektaufgabe. Hierbei handelt es sich um Experimentieraufgaben, die den Einsatz digitaler Technologien erfordern und Inhalte und Methoden der drei Lehrveranstaltungen kombinieren:

- *Experimentalphysik I*: Die Projektaufgaben adressieren Inhalte der Physikfachvorlesung, u. a. Translations-/Rotationsbewegungen, Energie-/Impulserhaltung, Reibung und mechanische Schwingungen. Neben den theoretischen Grundlagen der Experimente lehrt die Vorlesung auch die Prinzipien des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses.
- *Rechenmethoden der Physik*: Für das Verständnis der theoretischen Grundlagen der Projektaufgaben und die Modellierung der Messdaten sind Inhalte der begleitenden Rechenmethoden-Vorlesung erforderlich, z. B. mehrdimensionale Integrale, Lösen von Differentialgleichungen, Vektorrechnung oder komplexe Zahlen und Summen.

- *Praktikum*: Die Projektaufgaben bedienen sich der im Praktikum gelehrt Methoden zur Messdatenerfassung und -auswertung.

Neben der Vernetzung der Lehrveranstaltungen sollen in diesem Programm auch besonders affektive und soziale Faktoren (z. B. Motivation, Neugier, Kollaboration) und adäquate Vorstellungen (z. B. zur Forschung in der Experimentalphysik) gefördert werden.

Theoretische Fundierung

Im Programm werden Experimentierprojektaufgaben hohen Offenheitsgrads implementiert. Solche *undergraduate research projects* haben sich in einer Metastudie als wirksam fürs MINT-Studium erwiesen (Ruiz-Primo et al., 2011) und auch die Forschung zu Physiklaborpraktika zeigt, dass offene, kompetenzorientierte, dem Prinzip des forschungsbasierten Lernens folgende Praktika wirksamer als kochrezeptartige Experimentieraufgaben sind (z. B. Holmes & Wieman, 2018; Etkina, 2015). Die Verwendung digitaler Technologien wie das Smartphone ermöglicht dabei nicht nur eine eigenständige Messdatenerfassung außerhalb universitärer Labore (Klein et al., 2021), sondern fördert z. B. auch Motivation (Hochberg, 2016) und Konzeptverständnis (Becker et al., 2020).

Programmablauf

Das Programm (s. Abb. 1) beginnt im November 2022 mit einer Auftaktveranstaltung, in der die Studierenden über den Ablauf informiert und die Projektaufgaben verteilt werden. Es folgt die selbstständige Projektarbeit in Kleingruppen an je einer Aufgabe, die mit der Präsentation der Ergebnisse auf einem wissenschaftlichen Poster im Januar 2023 endet. Abschließend verfassen die Studierenden individuell Reflexionsportfolios, in denen Sie Projektarbeit und Lernprozess reflektieren. Die Studierenden erhalten über die Projektlaufzeit bedarfsabhängig Support und Zwischenberatungen und nehmen im Dezember 2022 an einem Workshop zur kollaborativen Gestaltung von Experimentierprozessen und wissenschaftlichen Postern teil. Zur Auswahl stehen für die Studierenden insgesamt sieben verschiedene Projektaufgaben, die eine Adaption von Aufgaben aus dem EU-Projekt *DigiPhysLab* (Lahme et al., 2022a, im Druck; Website: www.jyu.fi/digiphyslab) sind. Die Aufgabendokumente enthalten neben einer kurzen Motivation eine Aufgabenstellung mit hohem Offenheitsgrad, den Experimentierprozess strukturierende Leitfragen, ausformulierte Lernziele, Zielformulierungen für das Poster, Hinweise zur Durchführung und zu Vertiefungsmöglichkeiten des Experiments sowie Literaturhinweise und weitere Hilfsmaterialien. Alle Projektaufgaben erfordern die selbstständige Einarbeitung in ein studienrelevantes Thema der Mechanik (z. B.



Abb. 1: Übersicht über den zeitlichen Programmablauf im Wintersemester 2022/23.

Rotationsbewegungen), die Messdatenerfassung mittels Smartphones sowie die (statistische) Datenanalyse und -visualisierung mit entsprechender Software (z. B. Origin oder Python).

Programmevaluation

Das Programm soll mit Blick auf drei Ziele umfassend evaluiert werden: *Erstens* sollen die Experimentierprojektaufgaben basierend auf gesammelten Erfahrungen und Rückmeldungen der Studierenden evidenzbasiert weiterentwickelt werden. *Zweitens* soll mit Blick auf die Kontextbedingungen im Sinne einer Machbarkeitsstudie geprüft werden, inwieweit typische Übungsaufgaben (rechenintensive Problemlöseaufgaben) in der Studieneingangsphase Physik durch eine experimentelle Projektaufgabe ersetzt und dadurch die Lehrveranstaltungen besser vernetzt werden können. *Drittens* soll untersucht werden, inwieweit sich im zeitlichen Verlauf des Projektes aus Sicht der Studierenden Veränderungen bezüglich affektiver und metakognitiver Faktoren und der Sichtweise auf Forschung in der Experimentalphysik ergeben.

Zur Erreichung dieser Evaluationsziele werden Daten aus mehreren Quellen erhoben (vgl. Abb. 2). Hierzu zählen auf qualitativer Ebene neben Beobachtungen und mündlichem Feedback eine Analyse der Projektprodukte (Poster und Portfolio) sowie Interviews mit einzelnen Gruppen. Auf quantitativer Ebene wird auf Instrumente zur Erfassung affektiver und metakognitiver Konstrukte, z. B. dem physikalischen Selbstkonzept (nach Dickhäuser et al., 2002), Neugier und Interesse/Engagement (nach Klein, 2016) oder Einstellungen zu digitalen Medien (nach Schmechting et al., 2020) zurückgegriffen. Zusätzlich werden die Vorstellungen zur Forschung in der Experimentalphysik (nach Teichmann., Lewandowski & Alemani, 2022), die wahrgenommene Qualität (nach Lahme et al., 2022a, im Druck) und Authentizität (nach Klein, 2016) der Aufgaben sowie die Vernetzung der Lehrveranstaltung (eigene Items nach Rehfeldt, 2017) teils mehrfach zu Beginn, Interim und gegen Ende des Programms erhoben. Parallel erfolgt in der Kohorte ein wöchentliches Monitoring (vgl. Lahme et al., 2022b, im Druck), etwa zum Belastungserleben (Fliege et al., 2001), dem Workload sowie dem Zugehörigkeitsgefühl zur physikalischen Community (nach Feser & Plotz, in Vorber.).

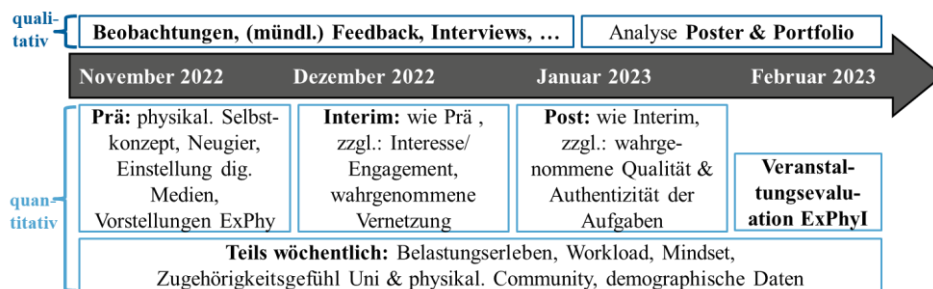


Abb. 2: Übersicht über das Design der Programmevaluation und die dabei betrachteten Konstrukte bzw. qualitativen und quantitativen Datenquellen.

Ausblick

Perspektivisch ergeben sich aus dem Evaluationsforschungsvorhaben zwei Outputs: Einerseits werden die Experimentierprojektaufgaben als *Open Educational Resources* (OERs) auf dem niedersächsischen OER-Portal *twillo* (Website: <https://www.twillo.de/oer/web/>) veröffentlicht. Andererseits ergeben sich Erkenntnisse zur Implementierung und evidenzbasierten Weiterentwicklung digitaler Experimentierprojektaufgabe in der Studieneingangsphase Physik.

Literatur

- Bauer, A. B., Woitkowski, D., Reuter, D. & Reinhold, P. (2022). Fachliche und überfachliche Herausforderungen in der Studieneingangsphase Physik. In U. Fahr, K. Alessandra, H. Angenent & A. Eßer-Lüghausen (Hrsg.), *Hochschullehre erforschen* (S. 339–361). Springer Fachmedien.
- Becker, S., Klein, P., Gößling, A. & Kuhn, J. (2020a). Using mobile devices to enhance inquiry-based learning processes. *Learning and Instruction*, 69, 101350.
- Darling-Hammond, L. (2006). Constructing 21st-Century Teacher Education. *Journal of Teacher Education*, 57(3), 300–314.
- Dickhäuser, O., Schöne, C., Spinath, B. & Stiensmeier-Pelster, J. (2002). Die Skalen zum akademischen Selbstkonzept. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 23(4), 393–405.
- Etkina, E. (2015). Millikan award lecture: Students of physics - Listeners, observers or collaborative participants in physics scientific practices? *American Journal of Physics*, 83(8), 669-679.
- Euler, D. & Seufert, S. (2004). Von der Pionierphase zur nachhaltigen Implementierung - Facetten und Zusammenhänge einer pädagogischen Innovation. In D. Euler & S. Seufert (Hrsg.), *E-Learning in Hochschulen und Bildungszentren* (S. 1–24). DE GRUYTER.
- Feser, M. S., & Plotz, T. (in Vorbereitung). *Development of a single-item instrument for assessing pre-service primary school teachers' Sense of Belonging to Science*.
- 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.
- Hochberg, K. (2016). *iMechanics: Smartphones als Experimentiermittel im Physikunterricht der Sekundarstufe II. Wirkung auf Lernerfolg, Motivation und Neugier in der Mechanik* [Dissertation]. Technische Universität Kaiserslautern https://kluedo.ub.uni-kl.de/frontdoor/deliver/index/docId/4445/file/160331_Diss_genehmigt.pdf
- Holmes, N. G. & Wieman, C. E. (2018). Introductory physics labs: We can do better. *Physics Today*, 71(1), 38–45.
- Klein, P. (2016). *Konzeption und Untersuchung videobasierter Aufgaben im Rahmen vorlesungsbegleitender Übungen zur Experimentalphysik (Mechanik)* [Dissertation]. Technische Universität Kaiserslautern. <https://www.uni-goettingen.de/de/document/download/8f76f0f86ffc48a34292baaaddbaead8.pdf/Dissertation%20KLEIN%20Pascal.pdf>
- Klein, P., Ivanjek, L., Dahlkemper, M. N., Jeličić, K., Geyer, M.-A., Küchemann, S. & Sušac, A. (2021). Studying physics during the COVID-19 pandemic: Student assessments of learning achievement, perceived effectiveness of online recitations, and online laboratories. *Physical Review Physics Education Research*, 17(1), Artikel 010117.
- Lahme, S. Z., Klein, P., Lehtinen, A., Müller, A., Pirinen, P., Sušac, A. & Tomrlin, B. (2022a, im Druck). DigiPhysLab: Digital Physics Laboratory Work for Distance Learning. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.
- Lahme, S. Z., Cirkel, J. O., Hahn, L., Klein, P., Langendorf, R. & Schneider, S. (2022b, im Druck). Belastungstrajektorie in der Studieneingangsphase Physik. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.
- Rehfeldt, D. (2017). *Erfassung der Lehrqualität naturwissenschaftlicher Experimentalpraktika*. Logos.
- Ruiz-Primo, M. A., Briggs, D., Iverson, H., Talbot, R. & Shepard, L. A. (2011). Impact of undergraduate science course innovations on learning. *Science*, 331(6022), 1269–1270.
- Schmechting, N., Puderbach, R., Schellhammer, S. & Gehrmann, A. (2020). *Einsatz von und Umgang mit digitalen Medien und Inhalten in Unterricht und Schule: Befunde einer Lehrkräftebefragung zu beruflichen Erfahrungen und Überzeugungen von Lehrerinnen und Lehrern in Sachsen 2019*. TU Dresden, Zentrum für Lehrerbildung, Schul- und Berufsbildung. https://tu-dresden.de/zlsb/ressourcen/dateien/tud-sylber/Lehrkraeftebefragung_Digitalisierung_Broschuere_2020.pdf?lang=de
- Teichmann, E., Lewandowski, H. J. & Alemani, M. (2022). Investigating students' views of experimental physics in German laboratory classes. *Physical Review Physics Education Research*, 18(1), Artikel 010135.
- Universität Kassel. (2010). *Modulprüfungsordnung der Universität Kassel für den Teilstudiengang Physik für das Lehramt an Gymnasien vom 16.06.2010*. Kassel. <https://www.uni-kassel.de/uni/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=1974&token=44a5de1064284cecf8a8fb8857b1cd7956d935e0>
- Woitkowski, D. (2020). Komplexitätsgestaffelte Übungsaufgaben zur Unterstützung im ersten Semester Physik. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 85–90.