

Simon Z. Lahme¹
Pascal Klein¹
Andreas Müller²

¹Universität Göttingen
²Universität Genf

Offene Experimentierprojektaufgaben in der Studieneingangsphase Physik

Motivation Mit Experimentieren im Physikstudium sind vielfältige (Lern-)Ziele verbunden (Welzel et al., 1998), die neben Experimentierkompetenz z. B. auch die Ebenen des Fachwissens, der Metakognition und der Sozialisation (in die Fachkultur, in kollaborativen Settings auch in die Universität und Peergroup) umfassen. Damit können typischen Anforderungsebenen akademischer Identitätsbildung in der Studieneingangsphase Physik adressiert werden (vgl. Bauer et al., 2019). Gerade offene, dem Prinzip forschungsbasierten Lernens folgende Experimentiersettings, in denen Studierenden eigene Fragestellungen verfolgen und selbst Experimente designen, haben sich als lernwirksam erwiesen (Holmes & Wieman, 2018). Insbesondere können mit *undergraduate research projects* (URPs), in denen Kleingruppen von Lernenden selbstgesteuert für längere Zeit an einer Experimentieraufgabe oder Fragestellung arbeiten, *higher-order thinking skills* (HOTS) wie Autonomie, Neugier oder Kreativität auf der Metakognitionsebene fördern (Russell et al., 2007; Mieg et al., 2022). Smartphones zur Messdatenerfassung fördern dabei u. a. die Motivation der Lernenden (Hochberg, 2016) und ermöglichen eine eigenständige, flexible Datenerhebung auch außerhalb von Labor-/Praktikumsräumen z. B. im Alltag (Klein et al., 2021). Dem Potential dieser Ansätze folgend wurden in einem Lehrprojekt an der Universität Göttingen im Wintersemester 22/23 Smartphone-Experimente als URPs in die Studieneingangsphase Physik implementiert und evaluiert.

Projektüberblick In dem Lehrprojekt „Digitalgestütztes vernetztes Lernen in der Studieneingangsphase Physik“ (Lahme et al., 2023e) bearbeiteten Gruppen von drei bis fünf Erstsemesterstudierenden (i. W. Physik Hauptfach und gymnasiales Lehramt) eine von sechs Experimentieraufgaben. Als URP erforderten diese eine offene, selbstgesteuerte Planung, Durchführung und Auswertung eines Experiments mit Vorlesungsbezug. Die Nutzung von Alltagsgegenständen und Smartphones zur Datenaufnahme ermöglichte den Studierenden hohe zeitliche und räumliche Flexibilität. Die Ergebnisse wurden den Kommiliton:innen auf wissenschaftlichen Postern in einer Postersession präsentiert. Die Bearbeitungszeit für die URPs betrug zehn Vorlesungswochen exkl. zwei Wochen Weihnachtsferien. Sie wurden in die Veranstaltung *Experimentalphysik I (Mechanik)* integriert, indem die wöchentlichen Übungsblätter in einem Umfang äquivalent zu 25 h Workload reduziert und in der zweiwöchentlichen Saalübung Unterstützungen angeboten wurden (u. a. ein Workshop zur Postergestaltung). Vorlesung, Übungsbetrieb und parallele Lehrveranstaltungen wie das Grundpraktikum wurden nicht beeinflusst. Die URPs wurden durch offene Aufgabenmaterialien strukturiert, die den Studierenden eine Denkrichtung inkl. Ziel und i. d. R. eine Forschungsfrage vorgaben und auch Leitfragen, Literaturhinweise, einen Zeitplan und sonstige Hinweise umfassten. Die Aufgabenideen orientieren sich an Originalpaper, die auch die Studierenden erhielten, sowie an Aufgaben aus dem Erasmus+ Projekt DigiPhysLab (Lahme et al., 2022, www.jyu.fi/digiphyslab), die für die Nutzung als URPs signifikant weiterentwickelt wurden. Die Aufgabendokumente und Materialien finden sich als OERs unter <https://doi.org/10.57961/49zr-w490>. Detaillierte Ausführungen zur Aufgabenentwicklung finden sich bei Lahme et al. (2023a), zu den Aufgaben selbst sowie deren Implementation bei Lahme et al. (2023d).

Evaluationsdesign Ziele des Projektes waren die Gestaltung von Möglichkeiten des selbstgesteuerten, vernetzenden, forschungsbasierten Lernens, die Förderung affektiver Faktoren wie Interesse an Physik und das Zugehörigkeitsgefühl zur Physik-Community sowie von HOTs wie Autonomie und Neugier. Der Fokus lag somit nicht auf dem konzeptionellen Verständnis oder dem Erwerb experimenteller Fähigkeiten. Das Projekt wurde durch eine umfassende Evaluation begleitet, um einerseits im Sinne eines *proof of concept* die Implementierbarkeit derartiger URPs in die Studieneingangsphase Physik zu untersuchen und andererseits die Aufgabendokumente zu evaluieren. Als Datenbasis für die Evaluation dienen die 39 Poster der Kleingruppen, 110 Beantwortungen von acht abschließenden Reflexionsfragen zu den URPs und Antworten aus sechs Online-Umfragen. Eine Übersicht über diese Online-Umfragen und die dabei erhobenen Variablen ist in Tab. 1 dargestellt.

Tab. 1: Variablenplan der Online-Umfragen in den Semesterwochen (SW) 2 bis 14. In SW2 (N = 125) erfolgte die Erhebung vor, in SW4 (N = 63) kurz nach Aufgabenbereitstellung, in SW6 (N = 65) während der URP-Arbeitsphase, in SW10 (N = 112) nach der Posterpräsentation, in SW12 (N = 34) nach Beantwortung der Reflexionsfragen und in SW14 (N = 19) nach Projektabschluss. X bzw. (X) markiert, wann die Variablen (teilweise) erhoben wurden.

| Referenz | Variable | SW2 | 4 | 6 | 10 | 12 | 14 |
|----------------------------|-------------------------------|-----|-----|-----|----|-----|-----|
| Klein (2016) | Interesse & Neugier State | | | X | | X | |
| | Neugier Trait | X | | | | | |
| | Autonomie | | | | | X | |
| | Aufgabenauthentizität | | | | X | | |
| Feser & Plotz (2023) | Zugehörigk. Physik-Comm. | X | | | | | X |
| Baumert et al. (2008) | Zugehörigk. Uni Göttingen | | | X | | | X |
| Teichmann et al. (2022) | Sicht auf Experimentalphy. | X | | | | | X |
| Lahme et al. (2023c) | Einstellung digitale Medien | X | | | | | X |
| Dickhäuser et al. (2002) | Akadem. Selbstkonzept | (X) | | | | X | |
| Rehfeldt (2017) | Vernetzung Lehrveranstaltung. | | | X | | X | |
| Lahme et al. (2023b) | Aufgabenqualität der URPs | | (X) | (X) | X | (X) | (X) |
| Rauschenbach et al. (2018) | Workload & Kollaboration | | | (X) | | (X) | |

Einblick in erste Evaluationsergebnisse In einer ersten Analyse wurden die Freitextantworten der Online-Umfragen SW 4, 6, 10, 12 und 14 sowie die Antworten auf eine entsprechende Reflexionsfrage einer strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse unterzogen. Die Antworten wurden deduktiv danach sortiert, ob sie Lob oder Kritik an den Aufgaben oder der Projektarbeit i. A. enthalten und dann nach inhaltlich ähnlichen Aspekten kategorisiert. Dabei konnte eine Aussage auch in mehrere Teilaussagen zerlegt werden, jede Teilaussage wurde aber nur einmal kodiert. Da die Studierenden jeweils an allen Online-Fragebögen teilnehmen konnten, war hier auch eine mehrfache Kodierung mit der gleichen Kategorie je Person möglich. In den 300 Freitextantworten wurden 166 lobende und 198 kritisierende (Teil-)Aussagen identifiziert, in den 109 Antworten auf die Reflexionsfrage 272 lobende und 160 kritisierende (Teil-)Aussagen. Die Antworten wurden in 31 Kategorien (14 positiv, 17 negativ) systematisiert und kodiert. Das Kategoriensystem wird derzeit validiert und dann später entsprechend mit einer vollständigen Auswertung der Kodierungen publiziert. Im Folgenden werden erste Erkenntnisse berichtet.

Die Freitextantworten in den Fragebögen bilden primär die Eindrücke der Studierenden während der Projektarbeit ab, die Antworten auf die Reflexionsfrage dagegen den Eindruck

nach deren Abschluss. Während der Projektarbeitsphase wurden in den Online-Fragebögen vor allem die Autonomie und Kreativität (vgl. HOTs) und das Arbeiten in Kleingruppen gelobt, beides immanent mit URPs verbunden. Die Studierenden berichteten außerdem vom Spaß am Experimentieren und ihnen gefiel, dass sie mithilfe von Alltagsgegenständen und Smartphones Alltagsphänomene erkunden konnten (vgl. Neugier, Interesse). Zudem konnten sie aus ihrer Sicht ein vertieftes Verständnis der Inhalte erwerben und (spezifische) Kompetenzen entwickeln bzw. Kompetenz erleben (vgl. akademisches Selbstkonzept). Neben diesen Aspekten wurden in den Antworten auf die Reflexionsfrage zusätzlich das Erstellen und Präsentieren der Poster und die vorhandenen Unterstützungsangebote gelobt.

Während der Projektarbeitsphase kritisierten die Studierenden dagegen besonders den hohen Zeitaufwand, damit verbundene Herausforderungen im Zeitmanagement angesichts der Anforderungen in den anderen Lehrveranstaltungen und den als hoch bzw. zusätzlich empfundenen Aufwand. Weitere Analysen zeigen hier jedoch, dass die Studierenden im Durchschnitt ($24,6 \pm 2,2$) h für die URPs aufwandten, was dem kalkulierten Workload von 25 h entspricht. Zudem waren die Aufgaben nicht für alle Studierenden gleichermaßen interessant. Einige merkten einen unklaren Nutzen, einen hohen Offenheitsgrad und eine hohe Komplexität der Aufgaben an oder nannten Schwierigkeiten in der Zusammenarbeit mit ihren Gruppenmitgliedern. In den Antworten auf die Reflexionsfrage wurden zusätzlich noch die Bewertungsmodalitäten und der Zeitraum der Projektarbeit im Semester bzw. Studium kritisiert.

Fazit und Ausblick In diesem Beitrag wurde das Evaluationsdesign eines Lehrprojektes vorgestellt, in dem Physik(-lehramts-)studierende im ersten Semester selbstständig über einen längeren Zeitraum an einem Smartphone-Experiment im Stil eines URPs arbeiteten. Die Evaluation adressiert die mit den URPs verbundenen affektiven Faktoren und HOTs und dient neben einer *proof of concept* auch der Weiterentwicklung der Aufgaben und des Programms. Erste Analysen der Freitextantworten zeigen, dass den Studierenden u. a. die Autonomie und Kreativität, das kollaborative Arbeiten in Kleingruppen, sowie das Erkunden von Alltagsphänomenen mit simplen Experimentiermaterialien und Smartphones gefiel. Einige Studierende kritisierten den (Zeit-)Aufwand, der im Mittel aber dem erwarteten Workload von 25 h entsprach. Zudem wurden die Aufgaben teils als uninteressant und zu anspruchsvoll eingeschätzt. In einem nächsten Schritt werden die erhobenen quantitativen Daten und die Lernprodukte der Studierenden (Poster und beantwortete Reflexionsfragen) auch mithilfe des Kategoriensystems weiter analysiert, um ein umfassenderes Bild von den implementierten URPs zu erhalten. Perspektivisch kann so im Vergleich mit Klein (2016), Kaps und Stallmach (2022) und einer analogen Evaluation wöchentlicher Experimentier-/Programmieraufgaben im Wintersemester 23/24 an der RWTH Aachen diskutiert werden, wie (Smartphone-)Experimentieraufgaben in den Vorlesungs- und Übungsbetrieb der Studieneingangsphase Physik integriert werden können.

Funding Das Niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur förderte dieses Projekt in der Linie „Innovative Lehr- und Lernkonzepte: InnovationPlus“.

Author contributions P. K.: conceptualization (supporting), funding acquisition, project administration, supervision (equal), writing–review & editing (equal). S. Z. L.: conceptualization (lead), data curation, formal analysis, investigation, methodology, resources, writing–original draft, writing–review & editing (equal). A. M.: supervision (equal).

Literatur

- Bauer, A., Lahme, S., Woitkowski, D., Vogelsang, C. & Reinhold, P. (2019). PSΦ: Forschungsprogramm zur Studieneingangsphase im Physikstudium. *PhyDid B*, 53-60.
- Baumert, J., Blum, W., Brunner, M., Dubberke, T., Jordan, A., Klusmann, U., Krauss, S., Kunter, M., Löwen, K., Neubrand, M. & Tsai, Y.-M. (2008). *Professionswissen von Lehrkräften, kognitiv aktivierender Mathematikunterricht und die Entwicklung von mathematischer Kompetenz (COACTIV): Dokumentation der Erhebungsinstrumente*. https://pure.mpg.de/rest/items/item_2100057_8/component/file_2197666/content
- 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.
- Feser, M. S. & Plotz, T. (2023). Exploring the validity of a single-item instrument for assessing pre-service primary school teachers' sense of belonging to science. *Open Educ. Stud.*, 5(1), 20220191.
- Hochberg, K., Kuhn, J. & Müller, A. (2018). Using smartphones as experimental tools: Effects on interest, curiosity, and learning in physics education. *J. Sci. Educ. Technol.*, 27(5), 385-403.
- Holmes, N. G. & Wieman, C. E. (2018). Introductory physics labs: We can do better. *Physics Today*, 71(1), 38–45.
- Kaps, A & Stallmach, F (2022). Development and didactic analysis of smartphone-based experimental exercises for the smart physics lab. *Phys. Educ.*, 57, 045038.
- Klein, P. (2016). *Konzeption und Untersuchung videobasierter Aufgaben im Rahmen vorlesungsbegleitender Übungen zur Experimentalphysik (Mechanik)*. Dissertation, TU Kaiserslautern. <https://s.gwdg.de/nk9dX8>
- 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. *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.*, 17(1), 10117.
- Lahme, S. Z., Fipp, M., Klein, P. & Müller, A. (2023a). Offene Projektaufgaben mit Smartphone-Experimenten für die Studieneingangsphase Physik. Preprint, DOI 10.13140/RG.2.2.23370.34248.
- Lahme, S. Z., Klein, P., Lehtinen, A., Müller, A., Pirinen, P., Rončević, L. & Sušac, A. (2023b). Evaluating digital experimental tasks for physics laboratory courses. Preprint, DOI: 10.13140/RG.2.2.26818.35526.
- Lahme, S. Z., Klein, P., Lehtinen, A., Müller, A., Pirinen, P., Rončević, L. & Sušac, A. (2023c). Physics lab courses under digital transformation: A trinational survey among university lab instructors about the role of new digital technologies and learning objectives. Preprint, DOI 10.48550/arXiv.2305.08515.
- Lahme, S. Z., Klein, P., Lehtinen, A., Müller, A., Pirinen, P., Sušac, A. & Tomrlin, B. (2022). DigiPhysLab: Digital Physics Laboratory Work for Distance Learning. *PhyDid B*, 383-390.
- Lahme, S. Z., Klein, P. & Müller, A. (2023d). *Smartphone-based undergraduate research projects in an introductory mechanics course*. Eingereicht für den Tagungsband zum 26. MPL-Workshop 2023 in Prag.
- Lahme, S. Z., Müller, A. & Klein, P. (2023e). Lehrveranstaltungsverbindende Experimentieraufgaben im Physikstudium. In v. Vorst, H. (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen in einer digital geprägten Welt, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Aachen 2022*, Band 43, 667-670.
- Mieg, H. A., Ambos, E., Brew, A., Galli, D. & Lehmann, J. (Hrsg.) (2022). *The Cambridge handbook of undergraduate research*. University Press.
- Rauschenbach, I., Keddiss, R. & Davis, D. (2018). Poster development and presentation to improve scientific inquiry and broaden effective scientific communication skills. *J. Microbiol. Biol. Educ.*, 19(1).
- Rehfeldt, D. (2017). *Erfassung der Lehrqualität naturwissenschaftlicher Experimentalpraktika*. Logos.
- Russell, S. H., Hancock, M. P. & McCullough, J. (2007). Benefits of undergraduate research experiences. *Science*, 316(5824), 548–549.
- Teichmann, E., Lewandowski, H. J. & Alemani, M. (2022). Investigating students' views of experimental physics in German laboratory classes. *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.*, 18(1), 10135.
- Welzel, M., Haller, K., Bandiera, M., Hammelev, D., Koumaras, P., Niedderer, H., Paulsen, A., Robinault, K. & Aufschnaiter, S. von (1998). Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden: Ergebnisse einer europäischen Umfrage. *ZfDN*, 4(1), 29–44.