

Nilab Abbas¹
 Anna B. Bauer¹
 Peter Reinhold¹

¹Universität Paderborn

PSΦ: Entwicklung von Unterstützungsmaßnahmen für Theoretische Physik

Ausgangslage und Ziele

Das Physikstudium weist, wie andere MINT-Studiengänge auch, eine überdurchschnittlich hohe Abbruchquote von ca. 50 % auf (Heublein et al., 2020). Ein Studienabbruch findet vor allem in der Studieneingangsphase statt (Heublein et al., 2017). Als häufigste Abbruchursache werden von Studienanfänger:innen inhaltliche Anforderungen genannt (Albrecht, 2011; Heublein et al. 2017). Die Schwierigkeiten mit den Anforderungen zeigen sich vor allem beim Bearbeiten von Übungsaufgaben und beim Bestehen von Klausuren. Studien zeigen, dass die hierzu nötigen fachspezifischen Problemlösefähigkeiten im Laufe der Studieneingangsphase nicht auf einem ausreichenden Niveau entwickelt werden (Woitkowski, 2019).

Um die Studierenden beim Bewältigen dieser Anforderungen zu unterstützen, wurde das Projekt „Paderborner Studieneingangsphase Physik PSΦ“ (Bauer et al., 2022) initiiert. Mit dem Ziel, eine lernwirksame Studieneingangsphase zu gestalten, werden Unterstützungsmaßnahmen auf der fachlichen, der Metakognitions- und Sozialisationsebene entwickelt, evaluiert und kontinuierlich weiterentwickelt (Bauer et al., 2022). Auf fachlicher Ebene stellt die Theoretische Physik eine besondere Herausforderung dar. Diese Veranstaltung geht u. a. mit einem hohen Grad an mathematischer Abstraktion einher und wird von Studierenden als ausgesprochen schwer empfunden (Lui & Sun, 2010). Die Anforderungen in Theoretischer Physik werden in einer Untersuchung von Albrecht (2011) von 37% der Exmatrikulierten als entscheidender Abbruchgrund genannt. Trotz der Herausforderungen, die durch die Theoretische Physik an die Studierenden gestellt werden, findet man im Gegensatz zu anderen Einführungsveranstaltungen der Physik, wie z. B. der Experimentalphysik, die in Paderborn durch Einführung von Präsenzübungen und komplexitätsgestaffelter Übungsaufgaben (Bauer et al., 2022) überarbeitet wurde, nur vereinzelt einen Einsatz neuer Lehrkonzepte (Scheiger et al., 2020). Auch die Problemlöseforschung hat sich bisher auf die Schul- und Experimentalphysik beschränkt.

Im Teilprojekt „PSΦ: Theoretische Physik“ werden theoriegeleitet passgenaue (digitale) Selbstlernmaterialien, die den Student:innen und Dozent:innen zur Verfügung gestellt werden, zur Vermittlung von Problemlösefähigkeiten in der Theoretischen Physik entwickelt. Ihre Lernwirksamkeit wird evaluiert und daraus werden Konstruktions- und Gelingensbedingungen für die Gestaltung von Unterstützungsmaterialien in der Studieneingangsphase abgeleitet. Dieser Beitrag berichtet, wie in einem ersten Schritt typische Herausforderungen und Schwierigkeiten beim Problemlösen identifiziert werden.

Untersuchungsdesign

Das hier vorgestellte Projekt folgt einem Design-Based Research Ansatz (Wilhelm & Hopf, 2014). In einem ersten Schritt wird zur Identifikation von Herausforderungen und Schwierigkeiten in der Theoretischen Physik eine multiperspektivische Analyse auf den Ebenen Problemlösen, mathematische Methoden und Wissenschaftsverständnis durchgeführt.

An der Universität Paderborn wird im Bachelorstudium die erste Veranstaltung zur Theoretischen Physik in der Regel im zweiten Semester besucht (Theoretische Physik A: Klassische Mechanik). Für jede Ebene wurden auf das inhaltliche Niveau der Veranstaltung abgestimmte Erhebungsinstrumente entwickelt (Problemlösetest, Mathematiktest & Fragebogen Wissenschaftsverständnis). In diesem Mehrebenenansatz werden qualitative und quantitative Daten erhoben und miteinander trianguliert (Mayring, 2001). Diese breite Analyse soll zunächst den Status Quo erfassen und so eine Grundlage für die Entwicklung von Unterstützungsmaßnahmen bilden. Aus den Daten des Problemlöse- und des Mathematiktests wird basierend auf dem Modell des wissenzentrierten Problemlösens nach Friege (2001) mittels einer induktiv-deduktiven qualitativen Inhaltsanalyse (Mayring & Fenzel, 2019) ein Kategoriensystem zur Beschreibung typischer Herausforderungen bei der Aufgabenbearbeitung entwickelt.

Der Problemlöse- und Mathematiktest werden auch für die spätere Evaluation der Lernwirksamkeit der Unterstützungsmaßnahmen verwendet. Zusätzlich werden zur Evaluation die Nutzungs- und Zufriedenheitswerte mittels Fragebogen erfasst.

Im Folgenden werden die einzelnen Ebenen und die jeweiligen Erhebungsinstrumente vorgestellt.

Ebene Problemlösen

Zahlreiche Untersuchungen zu Problemlöseprozessen (z. B. Chi et al. 1982; Friege, 2001) analysieren die Fähigkeiten und Strategien zur Lösung typischer Aufgaben der Schul- oder Experimentalphysik. Die bisherigen in der Hochschule eingesetzten Instrumente zur Untersuchung von Problemlösefähigkeiten (z. B. Brandenburger, 2016) fokussieren jedoch nicht die Theoretische Physik. Es wurde daher ein eigener Problemlösetest zur theoretischen Mechanik entwickelt. Die Inhaltswahl erfolgte aufgrund der Relevanz und der Strukturiertheit des Problemlöseprozesses auf den Lagrange- und Hamiltonformalismus. Hierzu wurden drei Aufgaben mit gestufter Komplexität entwickelt und pilotiert. Die Problemlösefähigkeiten wurden hiermit produktorientiert (Lösungswege, N=31) erhoben.

Ebene Mathematik

Der Übergang von der Schul- zur Hochschulmathematik stellt sich für MINT-Studienanfänger:innen als herausfordernd dar (Grünwald et al., 2004). Erschwerend kommt in Paderborn hinzu, dass die für die Theoretische Physik benötigten mathematischen Methoden (Koordinatentransformation, Differentialoperatoren, DGL, etc.) von den Studierenden nicht beherrscht werden. In einer Voruntersuchung, in der Interviews mit Tutor:innen und Student:innen geführt wurden (N=7), werden die fehlenden mathematischen Kenntnisse als erste große Hürde beim Lösen von Problemlöseaufgaben identifiziert. Dies ist konsistent mit einer Untersuchung zur Experimentalphysik, in welcher Studierende zum Ende des ersten Semesters ausnahmslos von Problemen mathematischer Art beim Problemlösen berichten (Woitkowski & Reinhold 2018). Die Schwierigkeiten auf physikalischer Ebene scheinen von denen auf mathematischer Ebene verdeckt zu werden. Auch hier liegen keine geeigneten Testinstrumente vor, da die bisherigen an Hochschulen eingesetzten Instrumente keine höhere Mathematik beinhalten. Zur Untersuchung der mathematischen Herausforderungen wurde deshalb durch Analyse der Skripte und Modulbeschreibungen ein auf die Theoretische Physik abgestimmter Mathematiktest entwickelt und pilotiert. Die

mathematischen Fähigkeiten wurden hiermit produktorientiert (Lösungswege, N=21) erhoben.

Ebene Wissenschaftsverständnis

Es ist zu vermuten, dass ein adäquates Wissenschaftsverständnis lernförderlich (Einordnung von Fachinhalten in größeren Gesamtzusammenhang, Förderung von Bereitschaft und Motivation) ist. Auf der Ebene des Wissenschaftsverständnisses finden sich neben Studien, die ein allgemeines Naturwissenschaftsverständnis erfassen, erste Untersuchungen zur studentischen Sichtweise auf die Experimentalphysik und die Theoretische Physik (Heine, 2018). Zur Untersuchung des Wissenschaftsverständnisses wurde ein auf den Erkenntnissen von Heine (2018) basierender Fragebogen mit 28 Items (Likert-Skalen) entwickelt. Inhaltliche Skalen sind das Verhältnis zur Experimentalphysik, die Rolle der Mathematik und die Arbeitsweisen in der Theoretischen Physik. Es wurde ein Quasi-Längsschnitt im Bachelorstudium erhoben (N=47).

Einblick in das Vorgehen bei der Entwicklung des Kategoriensystems

Das Kategoriensystem soll typische Fehler beim Problemlösen in der Theoretischen Physik systematisieren. Eine erste Sichtung ergab, dass vermehrt Schwierigkeiten bei der Mathematisierung und der Anwendung von Fachwissen auftreten. In Abbildung 1 ist beispielhaft das Vorgehen bei der Analyse der Aufgabenlösungen illustriert.

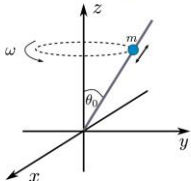
Aufgabe	Auszug Problemlösetest	Lösung und Schwierigkeiten
<p>Ein Teilchen der Masse m wird durch eine Zwangskraft auf einer Stange gehalten (siehe Abbildung), auf der es sich reibungsfrei bewegen kann. Die Stange ist an einem Ende befestigt und rotiert mit einem festen Winkel θ_0 zur z-Achse mit konstanter Winkelgeschwindigkeit ω. Es wirken keine weiteren Kräfte.¹</p>	<p>Zwangskräfte:</p> $r \sin \theta_0 - \kappa = 0$ $r \cos \theta_0 - y = 0$ $\theta_0 = \text{const}$	<p>Inkorrekte Mathematisierung Fehlendes physikalisches Fachwissen</p>
	$T = \frac{1}{2} m [\dot{r}^2 + r^2 (\dot{\theta}^2 + \dot{\varphi}^2 \sin^2 \theta)] = \frac{1}{2} m [\dot{r}^2 + r^2 \sin^2 \theta_0 \dot{\varphi}^2]$ $V = mgy = mgr \cos \theta_0$ $L = T - V = \frac{1}{2} m [\dot{r}^2 + r^2 \sin^2 \theta_0 \dot{\varphi}^2] - mgr \cos \theta_0$	
<p>Bestimmen Sie die Lagrange-Funktion für das System.</p>		

Abb. 1: Auszug aus dem Problemlösetest und die Lösung einer Studierenden

Anhand der Lösung lässt sich erkennen, dass für diese Problemklasse die notwendigen Lösungsschritte bekannt sind. Es gelingt dem Probanden jedoch für die obige Aufgabe nicht, die physikalische Situation mathematisch korrekt zu beschreiben (Aufstellen der Zwangsbedingungen). Des Weiteren machen sich Defizite im Fachwissen bemerkbar (Zusammenhang zwischen Kraft und potentieller Energie).

Ausblick

Nach Abschluss der Analyse werden basierend auf den identifizierten Schwierigkeiten Unterstützungsmaterialien entwickelt und implementiert, sowie deren Lernwirksamkeit mit den anfangs vorgestellten Instrumenten überprüft.

Literatur

- Albrecht, A. (2011). Längsschnittstudie zur Identifikation von Risikofaktoren für einen erfolgreichen Studieneinstieg in das Fach Physik (Dissertation). Freie Universität Berlin, Berlin.
- Bauer, A., Woitkowski, D., Reuter, D., & Reinhold, P. (2022). Fachliche und überfachliche Herausforderungen in der Studieneingangsphase Physik. In U. Fahr, A. Kenner, H. Angenent, & A. Eßer-Lüghausen (Eds.), *Hochschullehre erforschen*. (pp. 339–362). Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-34185-5_19
- Brandenburger, M. (2016). Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik? Eine Untersuchung mit Studierenden. Zugel.: Dissertation an der Pädagogischen Hochschule Freiburg. *Studien zum Physik- und Chemielernen*: Bd. 218. Berlin: Logos.
- Chi, M. T. H., Glaser, R., & Rees, E. (1982). Expertise in problem solving. In R. J. Sternberg (Ed.), *Advances in the Psychology of Human Intelligence*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Friege, G. (2001). Wissen und Problemlösen: Eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleichs, Band 19 von *Studien zum Physiklernen*. Logos-Verlag, Berlin.
- Grünwald, N., Kossow, A., Sauerbier, G., & Klymchuk, S. (2004). Der Übergang von der Schul- zur Hochschulmathematik: Erfahrungen aus internationaler und deutscher Sicht. *Global J. of Engng. Educ.*, 8(3), 12.
- Heine, A. J. (2018). Was ist Theoretische Physik?: Eine wissenschaftstheoretische Betrachtung und Rekonstruktion von Vorstellungen von Studierenden und Dozenten über das Wesen der Theoretischen Physik (Vol. 255). Logos Verlag Berlin GmbH.
- Heublein, U., Richter, J. & Schmelzer, R. (2020). Die Entwicklung der Studienabbruchquoten in Deutschland. *DZHW Brief 3|2020*. Hannover. DZHW.
- Heublein, U., Ebert, J., Hutzsch, C., Isleib, S., König, R., Richter, J., & Woisch, A. (2017). Studierenerwartungen und Studienwirklichkeit, Ursachen des Studienabbruchs, beruflicher Verbleib der Studienabbrecherinnen und Studienabbrecher und Entwicklung der Studienabbruchquote an deutschen Hochschulen. *Hannover: DZHW*.
- Liu, T., & Sun, H. (2010). Strategies of Theoretical Physics Instruction Reform. *Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 4, 113.
- Mayring, P. (2001). Combination and integration of qualitative and quantitative analysis. In *Forum Qualitative Sozialforschung/Forum: Qualitative Social Research* (Vol. 2, No. 1).
- Mayring, P., & Fenzl, T. (2019). Qualitative Inhaltsanalyse. In *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (pp. 633-648). Springer VS, Wiesbaden.
- Scheiger, P., Nawrodt, R., & Cartarius, H. (2020). Interaktive und aktivierende Lehrkonzepte in der Theoretischen Physik. *PhyDid B - Didaktik Der Physik - Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung, 1*. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1066>
- Wilhelm, T., & Hopf, M. (2014). Design-Forschung. In *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (pp. 31-42). Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.
- Woitkowski, D., & Reinhold, P. (2018). Strategien und Probleme im Umgang mit Übungsaufgaben: Pilotergebnisse einer Interviewstudie im ersten Semester Physik. *Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht - normative und empirische Dimensionen*. Regensburg: Universität Regensburg, 726-729.
- Woitkowski, D. (2019). Erhebung der Problemlösefähigkeit im Physikstudium – Vorstellung eines Erhebungsverfahrens –. In C. Maurer (Hg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2018*, 492–495.