

Ansätze zur Diagnose und Förderung von Problemlösefähigkeiten in der Studieneingangsphase Physik

Simon Lahme*, Anna B. Bauer*, Peter Reinhold*

*Universität Paderborn, Didaktik der Physik, Warburger Str. 100, 33098 Paderborn
slahme@mail.upb.de; anna.bauer@uni-paderborn.de

Kurzfassung

Fast die Hälfte aller Studierenden bricht ihr Physikstudium in der Studieneingangsphase ab. Eine der häufigsten Ursachen stellt die unzureichende Bewältigung fachlicher Anforderungen dar. Im ersten Semester wird besonders die Bearbeitung der Übungsaufgaben zur Vorbereitung auf die Modulklausuren als herausfordernd wahrgenommen. Hierzu werden vor allem fachspezifische Problemlösefähigkeiten benötigt, die die Studierenden noch nicht auf nötigem Niveau beherrschen. Resultierende Fehler und Schwierigkeiten können zu Motivationsverlust und Studienabbruch führen. Die Analyse von Problemlösefähigkeiten und das Ableiten passgenauer Unterstützungsangebote stehen daher im Fokus der Begleitforschung zum Lernzentrum *Physiktreff* der Universität Paderborn. Aus Aufgabebearbeitungen im Themenfeld Mechanik werden Fehler und Schwierigkeiten rekonstruiert und Bearbeitungstypiken identifiziert. Diese Typiken erlauben eine passgenaue Diagnostik sowie individuelle Förderung fachspezifischer Problemlösefähigkeiten.

1. Ausgangslage

Die Studieneingangsphase Physik stellt Studierende vor große Herausforderungen, was sich in der hohen und in den letzten Jahren gestiegenen Studienabbruchquote von 49% der Studienanfänger:innen in der Fächergruppe Physik/Geowissenschaften an deutschen Universitäten zeigt (Heublein et al., 2020). Dabei erfolgt der Abbruch in der Fächergruppe Mathematik und Naturwissenschaften in 45% der Fälle bereits im ersten Studienjahr, der Studieneingangsphase (Heublein et al., 2017). Als häufigste Ursache nennen Abbrechende fächerübergreifend Leistungsprobleme, also das Scheitern an inhaltlichen Anforderungen (Heublein et al., 2017), zu denen im Physikstudium vor allem die physikalische Problemlösefähigkeit beim Lösen typischer fachlicher Übungs- und Klausuraufgaben zählt (Woitkowski, 2019).

Die Lehrenden stellen die hohen Abbruchquoten vor Herausforderungen. Es stellt sich die Frage, wie Lehre in all ihren Facetten (Vermittlung sowie Unterstützungs- und Feedbackstrukturen) gestaltet werden muss, um möglichst viele Lernende beim Erwerb fachlicher Kompetenzen zu unterstützen. Dieser Frage widmet sich an der Universität Paderborn das Projekt *Paderborner Studieneingangsphase Physik PSΦ* (Bauer et al., 2019). Das Projekt stellt einen Zusammenschluss des Lehr-Lernzentrums *Physiktreff* mit mehreren Forschungsprojekten (*Physiktreff*, *KEMΦ* (Woitkowski, 2019), *Profile P+* (Vogelsang et al., 2019) und *3P* (Sacher & Bauer, 2021)) dar. Ziel ist die evidenzbasierte Weiterentwicklung zu einer abgestimmten Studieneingangsphase „aus einem Guss“. Der *Physiktreff* fungiert in dem Projekt auf mehreren Ebenen als Katalysator für die

Weiterentwicklung: Auf Basis der Evidenzen der Forschungsprojekte werden Lehr-Lernumgebungen unterschiedlicher Ausprägung (von punktuellen Angeboten über die Überarbeitung ganzer Lehrveranstaltungen bis hin zur Neuentwicklung von Veranstaltungen und Unterstützungsmaterialien) unter Mitwirkung der Lehrenden und Lernenden bei der Überarbeitung, Implementation und Evaluation realisiert. Bisher wurde durch die flächendeckende Einführung von Präsenzübungen, durch komplexitätsgestaffelte Aufgaben (Woitkowski, 2020) sowie die Implementation einer umfangreichen Beratungsstruktur erfolgreich die grundlegende Struktur des ersten Semesters (Vorkurs, Orientierungswoche, Experimentalphysik A) weiterentwickelt. Die Evaluation zeigt, dass diese Änderungen zu einer Motivationssteigerung, jedoch zu keinem messbaren Anstieg der fachlichen Fähigkeiten geführt haben (Bauer et al., 2021).

Im nächsten Schritt sollen passgenaue Unterstützungsmaßnahmen für den systematisch begleiteten Erwerb physikalischer Problemlösefähigkeiten entwickelt werden. Dazu werden zum einen *Unterstützungsmaterialien für Lernende* (Erklärvideos, Worked-out-Examples, ...) entwickelt, die einen schrittweisen Erwerb der Fähigkeiten ermöglichen. Zum anderen werden die *Lehrenden bei der Diagnose und Förderung* studentischer Lernschwierigkeiten unterstützt.

In diesem Beitrag wird das Fundament für die Entwicklung dieser Unterstützungsmaßnahmen vorgestellt: Basierend auf durch Studierende bearbeitete Aufgaben ist ein Kategoriensystem für typische Fehler und Schwierigkeiten beim physikalischen Problemlösen entwickelt worden. Das Kategoriensystem

ermöglicht die Operationalisierung der Fehler und Schwierigkeiten in Form eines Beobachtungsbogens, der die Lehrenden beim Einschätzen der Qualität der Lösungen und Geben differenzierten Feedbacks in Übungen unterstützt. Weiterhin können auf Basis der kategorisierten Fehler und Schwierigkeiten studentische Aufgabenbearbeitungstypiken abgeleitet werden, die die Entwicklung passgenauer Unterstützungsmaßnahmen für die Lernenden ermöglichen.

2. Erwerb physikalischer Problemlösefähigkeiten in der Studieneingangsphase

Der Erwerb *physikalischer Problemlösefähigkeiten* ist ein zentrales Ziel des Bachelorstudiums Physik. So formuliert die Konferenz der Fachbereiche Physik KFP (2010) unter anderem als Studienziele, dass die Studierenden bis zum Studienende „wichtige, in der Physik eingesetzte mathematische Methoden [kennen] und [...] diese zur Lösung physikalischer Probleme einsetzen“ können und „ihr Wissen exemplarisch auf physikalische Aufgabenstellungen angewandt und teilweise vertieft und damit einen Grundstein für eine Problemlösekompetenz erworben“ (S.3) haben sollen. Die Zielerreichung ist aus didaktischer Sicht gemäß KFP besonders im Übungsbetrieb zu erfolgen.

An der Universität Paderborn wird dieses Ziel im ersten Semester im Modul „Experimentalphysik A“ adressiert. Gemäß Modulhandbuch (Präsidium der Universität Paderborn, 2017) haben die Studierenden nach der Teilnahme an Vorlesung und Übung „erste Fähigkeit erworben, physikalische Probleme mathematisch zu formulieren und quantitative Ergebnisse zu erzielen“ und „können die Gesetzmäßigkeiten aus den Bereichen Mechanik und Thermodynamik auf einfache Problemstellungen anwenden und quantitative Vorhersagen machen“ (S.28).

Die hierfür in der Lehre genutzten *Problemlöseaufgaben* kennzeichnet, dass keine einfache Wissensreproduktion stattfindet, sondern Analysen und Schlussfolgerungen auf Basis domänenspezifischen Wissens vollzogen werden müssen (Smith, 1991). Dieses *wissenszentrierte Problemlösen* ist typischerweise in vier Prozessschritte strukturiert: 1. die Repräsentation eines physikalischen Problems etwa durch Skizzen und Idealisierungen, 2. die Auswahl bzw. Erarbeitung eines Problemschemas/Lösungswegs, 3. die Erarbeitung einer Lösung oftmals durch mathematisches Operieren sowie 4. die Evaluation der Lösung auf Richtigkeit (Friege, 2001).

Evidenzen (s. u. a. Woitkowski, 2019) zeigen, dass Studierende am Ende des ersten Semesters noch nicht über physikalische Problemlösefähigkeiten auf gefordertem Niveau verfügen. Ursächlich hierfür sind tradierte Formen der Wissensvermittlung, bei denen der Fokus auf dem Erwerb von Fachwissen liegt und eine eher implizite Vermittlung physikalischer Problemlösefähigkeiten durch das Bearbeiten von Problemlöseaufgaben im Übungsbetrieb erfolgt. Durch die implizite Vermittlung der Problemlösefähigkeiten stehen

vor allem leistungsschwächere Studierende vor zwei Herausforderungen (Chi et al., 1982): Zum einen fällt es ihnen als Anfänger:innen schwer, die grundsätzliche Vorgehensweise beim Lösen physikalischer Problemstellungen in verschiedenen Themengebieten zu abstrahieren, was einen elaborierten Erwerb physikalischer Problemlösefähigkeiten behindert. Zum anderen sind im klassischen Vorlesungs-Übungsbetrieb kaum systematische Feedbackstrukturen angelegt, die es den Studierenden erlauben würden, Lücken zielgerichtet und selbstständig nachzubereiten. Das derzeitige Feedback endet oftmals bei der Einschätzung der Aufgabenbearbeitung als richtig oder falsch, teilweise ergänzt durch Hinweise dazu, ob es Fehler beim Ansatz oder der mathematischen Ausführung gab. Diese Hinweise reichen oftmals nicht aus, damit die Studierenden die Ursachen ihrer Fehler sowie die korrekte Lösung verstehen und wissen, wie sie sich konkret weiterentwickeln können. Für die Bewältigung dieser Herausforderungen bedarf es der Entwicklung geeigneter Instrumente für die Diagnose und Förderung physikalischer Problemlösefähigkeiten.

3. Untersuchungsdesign

In diesem Projekt werden differenzierte Unterstützungsmaßnahmen für Lehrende und Lernende im Bereich des physikalischen Problemlösens in der Studieneingangsphase entwickelt. Die Strukturierung sowie konkrete Maßnahmen werden auf Basis der Analyse studentischer Bearbeitungen von Problemlöseaufgaben realisiert.

3.1. Methodisches Vorgehen

Eine Möglichkeit sich studentischen Problemlösefähigkeiten zu nähern, stellt die qualitative Analyse (Mayring, 2016) bearbeiteter Problemlöseaufgaben in Form einer Produktanalyse dar. Hierbei können zwar kaum Aussagen zum Handeln der Studierenden während des Lösungsprozesses getätigt werden, jedoch können anhand der Qualität der Aufgabenbearbeitungen Hinweise zu schwierigen Stellen im Problemlöseprozess abgeleitet werden. Dies ist in diesem Projekt für die Entwicklung passgenauer Unterstützungsmaßnahmen für Lehrende von Bedeutung, da diese in Leistungssituationen lediglich die Produkte, d. h. fertige Aufgabenbearbeitungen hinsichtlich der Qualität einschätzen.

Die unzureichende Ausprägung fachspezifischer Problemlösefähigkeiten äußert sich bei dieser Produktanalyse in Fehlern und Schwierigkeiten in der Aufgabenbearbeitung. Unter einem *Fehler* wird nach Oser et al. (1999) eine fälschliche Abweichung von einer Norm oder Regel verstanden, wie sie beispielsweise für das algebraische Umformen von Gleichungen gelten. *Schwierigkeiten* bezeichnen dagegen das übergeordnete Scheitern an jener Barriere, die nach Dörner (1976) zwischen dem unerwünschten Anfangs- und dem erwünschten Endzustand eines Problems liegt und sich zum Beispiel im Scheitern daran äußert, einen zielführenden Lösungsansatz zu finden.

In der Literatur finden sich hierzu diverse Arbeiten: Einige beschäftigen sich mit sehr spezifischen Aufgaben- und Fehlerarten, etwa López und Pintó (2017) mit Schwierigkeiten beim Lesen visueller Repräsentationen in physikalischen Simulationen oder Forster (2004) mit Fehlern beim Zeichnen von Graphen im Physikunterricht. Andere Arbeiten betrachten den gesamten Lösungsprozess von Physikaufgaben, entweder aus eher mathematikdidaktischer Perspektive der mathematischen Modellierung physikalischer Situationen (Pospiech, 2019; Uhden, 2016), aus physikdidaktischer Perspektive des wissenszentrierten Problemlösens (Brandenburger, 2016; Niss, 2012) oder durch den Transfer aus Disziplinen wie der Ingenieur-/Computerpsychologie (Müller, 2003).

Es besteht jedoch besonders im universitären Bereich noch Forschungsbedarf sowohl hinsichtlich der „Untersuchung auftretender Fehlertypen als eine sinnvolle qualitative Ergänzung zur Analyse des Erfolgs beim Problemlösen“ (Brandenburger, 2016, S. 281) als auch hinsichtlich der zielführenden Förderung erfolgreichen Problemlösens (Brandenburger, 2016).

An dieser Stelle setzt das hier vorgestellte Projekt an, das aus physikdidaktischer Perspektive des wissenszentrierten Problemlösens die ausdifferenzierte Kategorisierung auftretender Fehler und Schwierigkeiten zur Diagnose und Förderung physikalischer Problemlösefähigkeiten zum Ziel hat. Die Kategorisierung studentischer Fehler und Schwierigkeiten beim physikalischen Problemlösen wird mittels *qualitativer Inhaltsanalyse* (Mayring, 2016) basierend auf Bearbeitungen der Probeklausur zur Experimentalphysik A im ersten Semester realisiert. In zyklischen Materialdurchgängen ist *induktiv* ein hierarchisches Kategoriensystem mit elf Hauptkategorien (siehe Abb. 2) und 28 Subkategorien, die durch Indikatoren präzisiert werden, entstanden.

Die mit diesem Kategoriensystem kodierten Aufgabenbearbeitungen werden auf zweierlei Weise ausgewertet: Eine aufgabenweise Auszählung der Kodierungen gibt Auskunft über den Zusammenhang zwischen der unter Nutzung von Bernholt et al. (2009) eingeschätzten *Aufgabenkomplexität* und den *Auftretenshäufigkeiten* der Fehler/Schwierigkeiten. Eine probandenweise Auszählung der Kodierungen ermöglicht die Identifizierung von *Bearbeitungstypiken* anhand von *Bearbeitungsraten*, *Fehlerhäufigkeiten* und *charakteristischen Fehlern/Schwierigkeiten*. Diese Typiken erlauben eine praxisnahe Diagnostik und individuelle Förderung der Studierenden beim Erwerb physikalischer Problemlösefähigkeiten.

Für die Generierung der Datengrundlage ist bewusst auf die *Methode des lauten Denkens* verzichtet worden. Lautes Denken soll Zugriff auf die kognitiven Prozesse bei der Bewältigung einer Aufgabe ermöglichen. Es hat sich jedoch gezeigt, dass vor allem Novizen von der Bearbeitung der Aufgaben kognitiv so belastet sind, dass der Einsatz der Methode zu

geringerem Problemlöseerfolg führen kann (Sandmann, 2014).

3.2. Datengrundlage

Die Datenbasis für die Typikenbildung muss eine realistische Einschätzung der Problemlösefähigkeiten der Erstsemesterstudierenden erlauben. Dieses Kriterium wird in der angebotenen Probeklausur im Rahmen der Vorlesung zur Experimentalphysik A in der Mitte des ersten Semesters erfüllt. Die Datengrundlage umfasst die Probeklausuren des WiSe 19/20 und WiSe 20/21. Die beiden Jahrgänge sind vergleichbar auswertbar, da die Probeklausur nicht verändert wurde. Im WiSe 19/20 nahmen insgesamt 33 Studierende an der Probeklausur teil, die diese unter Klausurbedingungen in Präsenz im Rahmen der regulären Vorlesungszeit bearbeiteten. Im Dezember 2020 erfolgte die Bearbeitung der Probeklausur aufgrund der Covid-19-Pandemie innerhalb eines Zeitraums von wenigen Tagen von zuhause. Von diesem Angebot machten 14 Studierende Gebrauch.

Die Probeklausur enthält vier Aufgaben (13 Teilaufgaben), die zumeist vollständige Problemlöseprozesse erfordern und auf Klausurniveau anzusiedeln sind. Die Aufgaben adressieren die Inhalte der ersten Vorlesungshälfte (lineare/zweidimensionale Bewegungen, Kreisbewegungen, Dreh- und Trägheitsmomente) und weisen eine zunehmende *Komplexität* (Terminologie nach Bernholt et al., 2009) auf: Die erste Aufgabe fragt lediglich reines *Faktenwissen* zu Reibungskoeffizienten, relativistischen Bewegungen, Trägheitsmomenten und dem Dopplereffekt bzw. der Kräftesuperposition in Form von vier Single-Choice-Fragen ab. Die zweite Aufgabe erfordert das *Herstellen linearer Kausalitäten*, indem aus gegebenen Größen Geschwindigkeiten und Beschleunigungen bei linearen Bewegungen zu bestimmen sind. In der dritten Aufgabe sind Anfangsgeschwindigkeiten bei schrägen Wurfbewegungen zu berechnen, weshalb diese Aufgabe bereits durch eine *multivariate Interdependenz* auf niedrigem Niveau zu charakterisieren ist. Auf hohem Niveau ist dies dann in der vierten Aufgabe zu finden, bei der in einem komplexen System aus einem Hebel sowie zwei Zahnrädern unter Berücksichtigung von Drehmomenten, Trägheitsmomenten und Drehimpulsen Winkelbeschleunigungen/-geschwindigkeiten und Energien zu betrachten sind.

Weiterhin haben Studierende des Vorkurses (N = 24) zu Beginn des WiSe 20/21 einen Fragebogen ausgefüllt. Dessen Ziel ist, einen differenzierteren Einblick in die vorhandenen Wissensbestände der Studierenden zu Beginn ihres Studiums bezüglich des strategischen Metawissens für das Lösen physikalischer Problemlöseaufgaben zu erhalten. Die Probanden sollen aus zehn aufgeführten Kriterien, unter denen allgemeinverständlich formuliert auch die vier Prozessschritte des Problemlösens nach Friege (2001) aufgeführt sind, vier Kriterien auswählen, die ihrer

Meinung nach eine gute Aufgabenbearbeitung auszeichnen.

4. Ergebnisse & Diskussion – Aufgabenspezifische Kodierungen und Typikenbildung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der verschiedenen methodischen Schritte dargestellt und diskutiert. Im Unterkapitel 4.1 wird zunächst analysiert, inwieweit die Studierenden zu Studienbeginn bereits über das strategische Metawissen zum physikalischen Problemlösen verfügen. In Kapitel 4.2 steht die Auftretenshäufigkeit der einzelnen Fehler und Schwierigkeiten im Vordergrund, die von der Aufgabenkomplexität mediiert werden. Die Beschreibung der identifizierbaren Bearbeitungstypiken in Vorbereitung auf die Diagnose und Förderung fachspezifischer Problemlösefähigkeiten erfolgt in Kapitel 4.3.

4.1. Metawissen zum physikalischen Problemlösen

Erfolgreiches Problemlösen erfordert Metawissen über die Schritte des Problemlöseprozesses und damit verbundene Problemlösestrategien. Abb. 1 zeigt die Ergebnisse aus dem entsprechenden Fragebogen, der zu Beginn des ersten Semesters eingesetzt wurde. 16 von 24 Studierenden identifizierten nur ein bis zwei der vier nach Friege (2001) relevanten Problemlöse-schritte korrekt; alle vier relevanten Schritte identifizierte niemand. Stattdessen dominieren aus der Schule bekannte Oberflächenmerkmale wie das Notieren der gegebenen und gesuchten Größen (14 von 24), das Durchführen einer korrekten Einheitenrechnung (13 von 24) und das Notieren allgemeiner Formeln (10 von 24). Die Studierenden verfügen zu Studienbeginn also nicht in ausreichendem Maße über notwendiges Metawissen. Für Lehrende bedeutet dies, dass auch das für das erfolgreiche Problemlösen benötigte Metawissen explizit gelehrt werden muss.

4.2. Fehler/Schwierigkeiten in Abhängigkeit von der Aufgabenkomplexität

Nach der Entwicklung des Kategoriensystems werden die Fehler und Schwierigkeiten in den

bearbeiteten Aufgaben jeweils einer Kategorie zugewiesen und im Anschluss die Kodierungen ausgewertet. Ziel ist, einen Einblick in die Verteilung der Fehler und Schwierigkeiten pro Aufgabe zu erhalten, um darauf aufbauend im Anschluss die Typikenbildung durchführen zu können. Da es über alle Aufgaben betrachtet zwischen den beiden untersuchten Jahrgängen trotz des unterschiedlichen Settings (Präsenz vs. digital) keine signifikanten Unterschiede in den Häufigkeiten der Kodierungen mit den einzelnen Hauptkategorien gibt, werden diese gemeinsam betrachtet.

Abb. 2 zeigt für die vier Aufgaben (mit jeweils zwei bis vier Teilaufgaben) den Anteil an Teilaufgaben, der mindestens einmal mit einer zur jeweiligen Hauptkategorie gehörenden Subkategorie kodiert wurde. Es zeigt sich, dass bei den unterschiedlich komplexen Aufgaben die Auftretenshäufigkeiten der Kategorien variieren. So gehen die Single-Choice-Fragen in Aufgabe 1 (A1), welche lediglich reines Faktenwissen erfordern, vor allem mit Fehlern im Bereich *physikalisches Fachwissen* oder *unklare Schwierigkeiten/Fehler* einher, falls aus falschen bzw. fehlenden Antworten keine zugrundeliegenden Schwierigkeiten/Fehler rekonstruiert werden können. Aufgabe 2 (A2), die das Denken in linearen Kausalitäten erfordert, zeichnet sich dagegen besonders durch formale Fehler im *Einhalten von Konventionen*, *mathematische Fehler* und *unzureichende Evaluationen der Ergebnisse* aus. Bei Aufgabe 3 (A3), bei der *multivariate Interdependenzen auf geringem Niveau* zu berücksichtigen sind, nimmt hingegen die Häufigkeit von Fehlern in den Bereichen *physikalisches Fachwissen*, *Erstellen von Skizzen* und *Aufstellen von zielführenden Lösungsansätzen* zu, wobei *mathematische Fehler* ebenfalls sehr häufig auftreten. Aufgabe 4 (A4), bei der *multivariate Interdependenzen auf hohem Niveau* zu beachten sind, zeichnet sich durch häufige *Nichtbearbeitung* der Aufgaben und Fehler im Bereich *physikalisches Fachwissen* aus,

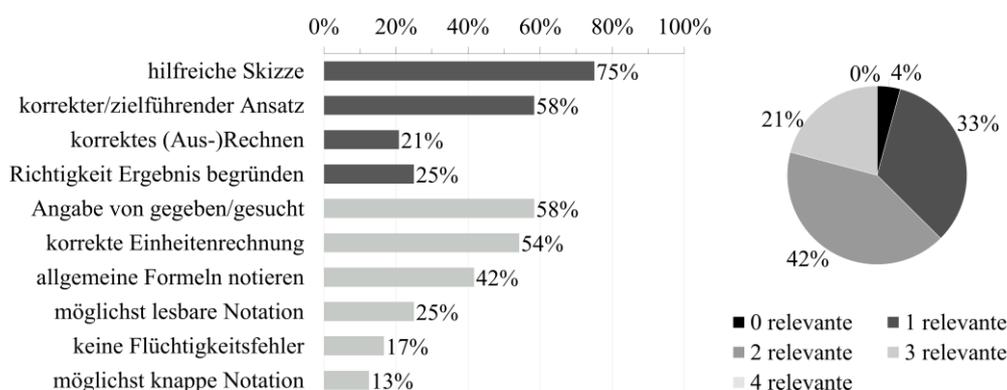


Abb. 1: Darstellung der Ergebnisse der Fragebogenerhebung zum Metawissen: Das Balkendiagramm zeigt die anteiligen Einschätzungen der Studierenden (N=24), welche Kriterien eine gute Aufgabenbearbeitung ausmachen (dunkel=relevant; hell=weniger relevant). Das Kreisdiagramm zeigt, von wie vielen Probanden die jeweils angegebene Anzahl relevanter Kriterien identifiziert wurden.

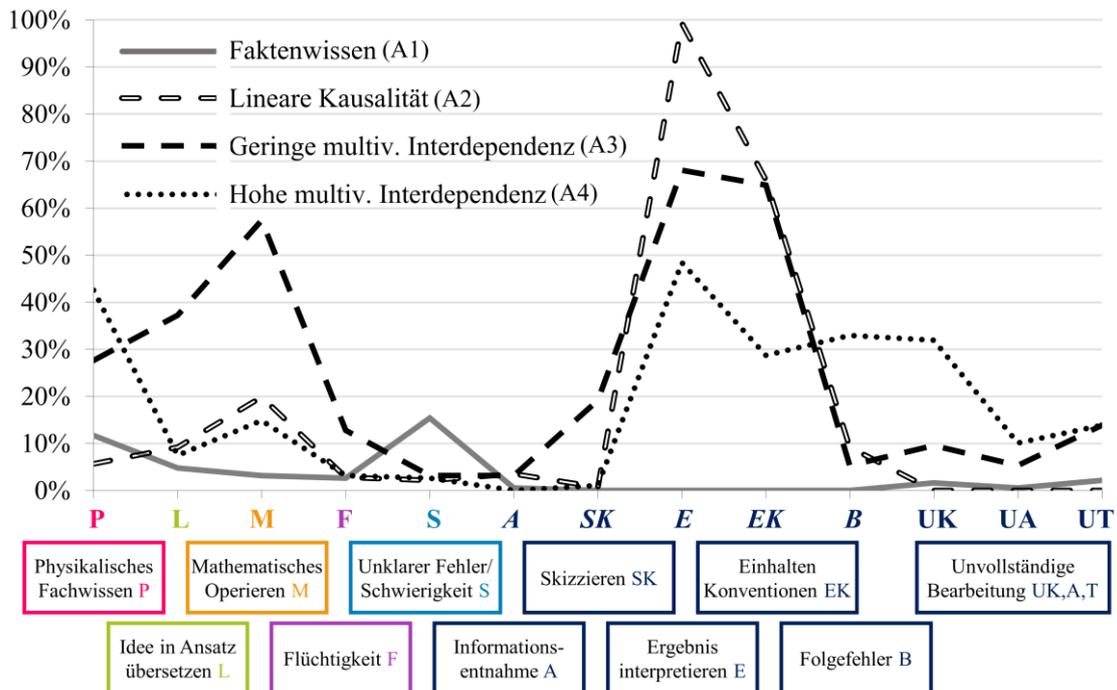


Abb. 2: Im Diagramm ist abhängig von der Aufgabenkomplexität (Aufgabe 1-4) die Häufigkeit aufgetretener Fehler und Schwierigkeiten (Hauptkategorien des Kategoriensystems) bei der Bearbeitung der Probeklausur zur Experimentalphysik A dargestellt.

weil die Studierenden bereits an der korrekten Problemrepräsentation scheitern und in den nachfolgenden Prozessschritten kaum weitere Fehler zeigen können. Insgesamt kann also mit Hilfe des Kategoriensystems die erwartete Fehler- und Schwierigkeitsverteilung abhängig von der Aufgabenkomplexität plausibel abgebildet werden.

4.3. Typikenbildung

Ziel der Typikenbildung ist die Beschreibung unterscheidbarer studentischer Bearbeitungstypiken, die eine Diagnose physikalischer Problemlösefähigkeiten und eine darauf aufbauende Förderung ermöglichen. Hierzu wird ein gestapeltes Balkendiagramm erstellt, in dem je Probanden ein Balken die Anzahl der insgesamt 13 Teilaufgaben angibt, die mit den jeweiligen Subkategorien mindestens einmal kodiert wurden. Für den Bearbeitungserfolg irrelevante Subkategorien, wie das *Einhalten von Konventionen*, werden dabei nicht berücksichtigt. Auch die Kategorie zur *Interpretation des Ergebnisses* wird nicht berücksichtigt, da dieser Problemlöseschritt im Studium nicht explizit vermittelt wurde und somit kein Proband eine angemessene Evaluation vornahm.

Die Probanden werden gemäß den Kodierungen anhand dreier Kriterien gruppiert: die *Bearbeitungsrate* als Maß für die Zahl der unvollständig/nicht bearbeiteten Aufgaben (Kodierungen mit UK, UA oder UT), die *globale Fehlerhäufigkeit* als Summe aller übrigen Kodierungen und die *charakteristische Häufung kodierter Kategorien*. Auf diese Weise lassen sich sechs Bearbeitungstypiken identifizieren, die in Abb. 3: In der Abbildung und Tab. 1 gegenübergestellt werden.

Typik A bearbeitet alle Aufgaben vollständig, macht dabei kaum Fehler, die dann sehr vereinzelt Flüchtigkeitsfehler oder ein Fehler im physikalischen Fachwissen sind. *Typik B* zeichnet sich durch Fehler besonders in den Bereichen physikalisches Fachwissen und Mathematik (s. Problemlöseschritte 1 und 3) aus. *Subtypik B.1* hat zwar im Vergleich zu *Subtypik B.2* eine geringere Fehlerrate, bearbeitet dafür jedoch nicht alle Aufgaben, besitzt also eine geringere Bearbeitungsrate. *Typik C* zeichnet sich im Gegensatz zu *Typik B* durch zusätzliche Fehler auch im Bereich des Aufstellens von Lösungsansätzen (s. Problemlöseschritte 1-3) aus. Auch hier unterscheiden sich die Subtypiken darin, dass *Subtypik C.1* zwar eine höhere Fehlerrate als *Subtypik C.2* aufweist, dafür jedoch einen höheren Anteil an Aufgaben bearbeitet. *Typik D* unterscheidet sich vom *Typik C* durch eine im Allgemeinen deutlich geringere Bearbeitungs- und/oder höhere Fehlerrate, wenngleich Bearbeitungs- und Fehlerraten auf individueller Ebene sehr unterschiedlich sind. Insbesondere zählen auch jene Probanden zu dieser *Typik*, die zwar (fast) alle Teilaufgaben vollständig bearbeiten, jedoch mit 19 und mehr Fehlern auf 13 Teilaufgaben hohe Fehlerraten aufweisen.

Eine anhand der Kodierungen vorgenommene Bewertung der Probeklausur zeigt außerdem, dass zwischen der Zuordnung eines Probanden zu einem der sechs Typiken (kodiert mit 1 für *Typik A*, 2 für *Typik B.1*, ..., 6 für *Typik D*) und der erreichten Gesamtpunktzahl eine hoch signifikante Korrelation (Pearson-Korrelation von $-0,789$; $p < 0,000$) besteht. Unabhängig von den Kodierungen kommt auch ein Team

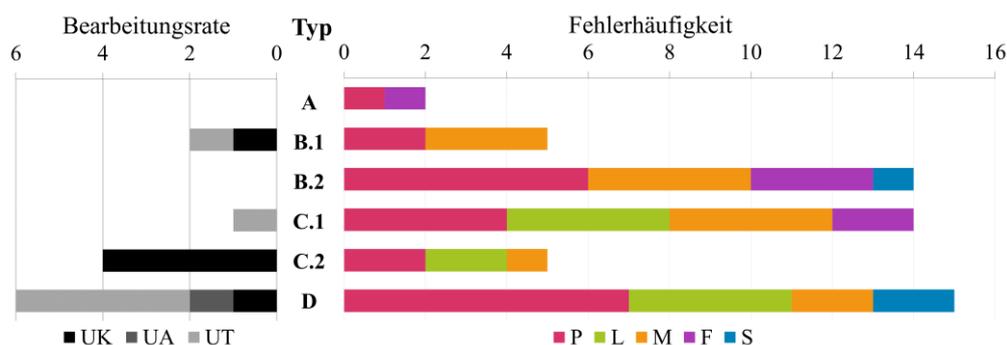


Abb. 3: In der Abbildung sind die sechs anhand der Bearbeitungsrate, globalen Fehlerhäufigkeit und charakteristischen Häufung von Kodierungen identifizierten Bearbeitungstypiken anhand beispielhafter Kodierungen dargestellt.

Typ	Bearbeitungsrate	Fehlerhäufigkeit	Charakteristische Fehlerbereiche	%-Punkte MW (SD)	Häufigkeit des Typs
A	Vollständig	Sehr gering	Flüchtigkeit oder physikalisches Fachwissen (sehr vereinzelt)	90% (±0%)	1 von 47 bzw. 2%
B.1	Weitgehend vollständig	Gering	physikalisches Fachwissen & Mathematik	66% (±10%)	7 von 47 bzw. 15%
B.2	Vollständig	Mittel	physikalisches Fachwissen & Mathematik	61% (±8%)	8 von 47 bzw. 17%
C.1	Weitgehend vollständig	Mittel	physikalisches Fachwissen, Lösungsansätze aufstellen & Mathematik	47% (±5%)	8 von 47 bzw. 17%
C.2	Gering	Gering	physikalisches Fachwissen & Lösungsansätze aufstellen (u. a.)	46% (±11%)	12 von 47 bzw. 26%
D	i. A. gering	Mittel bis hoch	physikalisches Fachwissen, Aufstellen Lösungsansätze & Mathematik	32% (±12%)	11 von 47 bzw. 23%

Tab. 1: Aufschlüsselung der Charakteristika der sechs identifizierten Bearbeitungstypiken.

aus vier bzw. acht Korrektoren (studentische Hilfskräfte, Doktoranden) im Mittel über alle Probanden und die einzelnen Typiken zu gleichen Bepunktungen (maximale Abweichung um zwei Prozentpunkte). Daher erlauben die auf den Kodierungen basierende Typikenzuordnung und Bepunktung eine realistische Einschätzung der allgemeinen Problemlösefähigkeiten: Die Typiken A und B sind als (eher) erfolgreiche Problemlöser zu bezeichnen, während die Typiken C und D (eher) geringe Problemlösefähigkeiten besitzen. Das Erreichen von im Mittel weniger als 50% der Punkte bei den Typiken C und D ist dabei als Hinweis dafür anzusehen, dass diese Studierenden die Modulabschlussprüfung nicht bestehen könnten. Mit 31 von 47 Studierenden zählen etwa 66% der Studierenden zum Zeitpunkt der Probeklausur zu dieser Risikogruppe.

Bemerkenswert ist, dass sich die sechs identifizierten Typiken nicht nur anhand der eher normativen Kriterien Bearbeitungsrate und Fehlerhäufigkeit differenzieren lassen, sondern auch mit charakteristischen Fehler- und Schwierigkeitsbereichen sowie einer korrelierenden Gesamtpunktzahl einhergehen. Dies spricht für die Zweckmäßigkeit der Typikenzuordnung, da eine Zuordnung der Studierenden zu den sechs Typiken diagnostisches Potenzial besitzt, die Risikogruppe (Typiken C und D) zu identifizieren, um mit

passgenauen Fördermaßnahmen den erfolgreichen Modulabschluss und somit Studierfolg in der Studiengangphase zu sichern.

4.4. Implikationen für die Lehre

Basierend auf dem Kategoriensystem und den gefundenen Typiken können unterschiedliche Unterstützungsmaßnahmen für Lehrende und Lernende abgeleitet werden. Zur *Unterstützung der Lehrenden* in den Bereichen Diagnose studentischer Fähigkeiten, Geben differenzierten und lernförderlichen Feedbacks sowie Empfehlen passgenauer Unterstützungsmaßnahmen soll ein Beobachtungsbogen für die Diagnose individueller Problemlösefähigkeiten entwickelt werden. Hierfür können die Haupt- und Subkategorien des Kategoriensystems sowie die jeweils zugeordneten Indikatoren verwendet werden. Abhängig vom so diagnostizierten, individuellen Fähigkeitsstands können die Lehrenden basierend auf den gebildeten Typiken den Studierenden passgenaue Unterstützungsmaterialien für das Selbststudium empfehlen. Für die Implementation und korrekte Verwendung des Beobachtungsbogens sowohl als Diagnose-Tool für Aufgabenlösungen als auch für die Diagnose der studentischen Fähigkeiten während des Lösens von Aufgaben in den Übungen soll eine Kurzschulung für Übungsleiter:innen entwickelt werden.

Die geplanten *Unterstützungsmaterialien für die Lernenden* sollen unterschiedliche Herausforderungen beim Lösen physikalischer Problemaufgaben adressieren. Für die inhaltliche und strukturelle Gestaltung der Materialien kann das Kategoriensystem zu den Fehlern und Schwierigkeiten beim physikalischen Problemlösen genutzt werden. Methodisch soll bei der Materialentwicklung eine Kombination aus Erklärvideos, unterschiedlich komplexer Worked-Out-Examples, handlungsorientierter Leitfäden und Selbstlernkurse (z. B. OMB+; Seiler & Kreft, o. J.) genutzt werden. Für die Unterstützung der Studierenden beim Erlernen des Erstellens physikalischer Problemrepräsentationen sollen Erklärvideos entwickelt werden. Diese würden neben dem Metawissen für das Problemlösen anhand diverser, unterschiedlich komplexer Beispiele der klassischen physikalischen Themengebiete auch die Herangehensweisen an physikalische Problemstellungen vermitteln. Studierende, die eher Schwierigkeiten bei der Mathematisierung der Lösungsidee haben, sollen mit Hilfe von Erklärvideos in Kombination mit Worked-Out-Examples unterstützt werden.

5. Implementations- und Evaluationsstrategie

Die unterschiedlichen Ansätze zur Diagnose und Förderung physikalischer Problemlösefähigkeiten werden schrittweise in die Lehrveranstaltungen der ersten zwei Semester implementiert und evaluiert. Im WiSe 21/22 werden der Beobachtungsbogen und die Übungsleiterkurzschiulung eingeführt. Die Schuilung wird zu Beginn des Semesters stattfinden. Der Beobachtungsbogen wird in den Präsenzübungen und in der Probeklausur eingesetzt. Die Übungsleiter:innen werden dabei eng begleitet. Die Evaluation erfolgt auf Basis direkter Beobachtung der Übungsleiter:innen beim Einsatz sowie durch Befragungen dieser und der Studierenden zum wahrgenommenen Nutzen. Weiterhin werden im Verlauf des Semesters die weiteren Unterstützungsmaßnahmen entwickelt und falls möglich mit Studierenden erprobt und überarbeitet. Im Verlauf des Sommersemesters 2022 sollen alle Unterstützungsmaterialien entwickelt, erprobt und evaluiert werden, sodass sie ab dem Wintersemester 2022/23 im Regelbetrieb eingesetzt werden können.

6. Fazit und Ausblick

In diesem Beitrag wurde die Entwicklung von Ansätzen zur Diagnose und Förderung physikalischer Problemlösefähigkeiten für Studierende der Studieneingangsphase dargestellt. Ziel des Projektes ist die Reduzierung der Abbruchquoten im Fachbereich Physik der Universität Paderborn sowie die passgenaue Unterstützung Lehrender und Lernender. Die hier vorgestellte Entwicklung eines Kategoriensystems sowie der Ableitung unterschiedlicher Bearbeitungstypiken ist nun Ausgangspunkt für eine umfangreiche Lehr-Lernmaterialentwicklung und -evaluation mittels eines validen Fachwissenstests (Woitkowski, 2015) sowie studentischer Gruppendiskussionen (Bauer et al.,

2019). Basierend auf den Ergebnissen sollen Gelingenbedingungen für die Entwicklung und Implementation umfassender Unterstützungsmaßnahmen in der Studieneingangsphase im Fach Physik abgeleitet werden.

Ausgehend von den Erkenntnissen aus der Implementation und Evaluation im ersten Semester soll künftig einerseits mit einem ähnlichen Vorgehen eine Unterstützungsstruktur für die von den Studierenden als besonders herausfordernd empfundene Theoretische Physik entwickelt werden. Hierzu soll auf Basis der Evaluation für eine Anreicherung der Gelingenbedingungen der Materialentwicklung analysiert werden, welche Aspekte bei der Lehr-Lernmaterialentwicklung inhaltsabhängig und welche inhaltsunabhängig sind. Hiernach wäre dann ein logischer weiterer Schritt die Implementation der Materialien in einen Studiengang einer anderen Universität, um die Gelingenbedingungen auch hinsichtlich der Standortabhängigkeit anzureichern. Andererseits steht hinsichtlich der didaktischen Gesamtstruktur der klassischen Vorlesungs-Übungs-Veranstaltungen in der Physik der Universität Paderborn die Einführung von Konzeptverständnis fördernden Aufgaben aus.

7. Literatur

- Bauer, A. B., Lahme, S., Woitkowski, D., Vogelsang, C. & Reinhold, P. (2019). PSΦ: Forschungsprogramm zur Studieneingangsphase im Physikstudium. In V. Nordmeier & H. Grötzebauch (Hg.), *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Aachen 2019* (S. 53–60). <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/934/1061>
- Bauer, A. B., Woitkowski, D., Reuter, D. & Reinhold, P. (2021). Fachliche und überfachliche Herausforderungen in der Studieneingangsphase Physik: Das Forschungs- und Entwicklungsprogramm PSΦ. In U. Fahr, R. Zacherl, H. Angenent, A. Eßer, D. Kergel & B. Kergel-Heidkamp (Hg.), *Hochschullehre erforschen!*. Springer.
- Bernholt, S., Parchmann, I. & Commons, M. L. (2009). Kompetenzmodellierung zwischen Forschung und Unterrichtspraxis. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, 219–245.
- Brandenburger, M. (2016). Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik? Eine Untersuchung mit Studierenden. Dissertation. Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 218. Logos.
- Chi, M., Glaser, R. & Rees, E. (1982). Expertise in Problem Solving. In R. J. Sternberg (Hg.), *Advances in the psychology of human intelligence: Volume 1* (S. 7–75). Lawrence Erlbaum Associates.
- Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung* (1. Aufl.). Kohlhammer.
- Forster, P. A. (2004). Graphing in Physics: Processes and Sources of Error in Tertiary Entrance Examinations in Western Australia. *Research in Science Education*, 34, 239–265.

- Friege, G. (2001). Wissen und Problemlösen: Eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleichs. *Studien zum Physiklernen: Bd. 19*. Logos.
- Heublein, U., Ebert, J., Hutzsch, C., Isleib, S., König, R., Richter, J. & Woisch, A. (2017). Zwischen Studiererwartungen und Studienwirklichkeit: Ursachen des Studienabbruchs, beruflicher Verbleib der Studienabbrecherinnen und Studienabbrecher und Entwicklung der Studienabbruchquote an deutschen Hochschulen. Hannover. https://www.dzhw.eu/pdf/pub_fh/fh-201701.pdf
- Heublein, U., Richter, J. & Schmelzer, R. (2020). Die Entwicklung der Studienabbruchquoten in Deutschland. *DZHW Brief 3|2020*. Hannover. DZHW.
- Konferenz der Fachbereiche Physik (Hg.). (2010). Zur Konzeption von Bachelor- und Master-Studiengängen in der Physik: Handreichung der Konferenz der Fachbereiche Physik (KFP). Berlin. https://www.kfp-physik.de/dokument/KFP_Handreichung_Konzeption-Studiengaenge-Physik-101108.pdf
- López, V. & Pintó, R. (2017). Identifying secondary school students' difficulties when reading visual representations displayed in physics simulations. *International Journal of Science Education*, 39(10), 1353–1380.
- Mayring, P. (2016). Einführung in die qualitative Sozialforschung: Eine Anleitung zu qualitativem Denken (6., überarbeitete Auflage). Beltz.
- Müller, A. (2003). Fehlertypen und Fehlerquellen beim Physiklernen: Was weiß die Denkpsychologie? *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 52(1), 11–17.
- Niss, M. (2012). Towards a conceptual framework for identifying student difficulties with solving Real-World Problems in Physics. *Latin-American Journal of Physics Education*, 6(1), 3–13.
- Oser, F., Hascher, T. & Spychiger, M. (1999). Lernen aus Fehlern: Zur Psychologie des "negativen Wissens". In W. Althof (Hg.), *Fehlerwelten: Vom Fehlermachen und Lernen aus Fehlern. Beiträge und Nachträge zu einem interdisziplinären Symposium aus Anlaß des 60. Geburtstags von Fritz Oser* (S. 11–41). Springer Fachmedien.
- Pospiech, G. (2019). Framework of Mathematization in Physics from a Teaching Perspective. In G. Pospiech, M. Michelini & B.-S. Eylon (Hg.), *Mathematics in Physics Education*, 1–33. Springer Nature Switzerland.
- Präsidium der Universität Paderborn (Hg.). (2017). Prüfungsordnung für den Bachelorstudiengang Physik der Fakultät für Naturwissenschaften an der Universität Paderborn: Vom 16.06.2017. Paderborn. <https://digital.ub.uni-paderborn.de/hs/download/pdf/2471141?originalFilename=true>
- Sacher, M. D. & Bauer, A. B. (2021). Kompetenzförderung im Laborpraktikum. In C. Terkowsky, D. May, S. Frye, T. Haertel, T. R. Ortelt, S. Heix & K. Lensing (Hg.), *Labore in der Hochschullehre: Didaktik, Digitalisierung, Organisation*. Hochschule und Wissenschaft, 51–66. wbv Media.
- Sandmann, A. (2014). Lautes Denken - die Analyse von Denk-, Lern- und Problemlöseprozessen. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 179–188). Springer Verlag.
- Seiler, R. & Kreft, C. (o. J.). Online Mathematik Brückenkurs OMB+. integral-learning GmbH Berlin. <https://www.ombplus.de/ombplus/public/index.html>
- Smith, M. U. (1991). A view from biology. In M. U. Smith (Hg.), *Toward a Unified Theory of Problem Solving: Views From the Content Domains* (S. 1–19). Lawrence Erlbaum Associates.
- Uhden, O. (2016). Verständnisprobleme von Schülerinnen und Schülern beim Verbinden von Physik und Mathematik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22(1), 13–24.
- Vogelsang, C., Riese, J., Borowski, A. & Kulgemeyer, C. (2019). Profile-P+: Kompetenzmessung und Performanztests im Lehramtsstudium Physik. In C. Maurer (Hg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2018*, 345–348.
- Woitkowski, D. (2015). Fachliches Wissen Physik in der Hochschulausbildung: Konzeptualisierung, Messung, Niveaubildung. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 185*. Logos-Verl.
- 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.
- Woitkowski, D. (2020). Komplexitätsgestaffelte Übungsaufgaben zur Unterstützung im ersten Semester Physik. In V. Nordmeier & H. Grötzebauch (Hg.), *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Bonn 2020*, 85–90. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/1037>