

Fachwissen und Problemlösen im Physikstudium - Abschlussbericht des Forschungsprojektes KEMΦ -

David Woitkowski*

*Universität Paderborn, Didaktik der Physik, Warburger Straße 100, 33098 Paderborn
david.woitkowski@gmail.com

Kurzfassung

Die Studieneingangsphase im Fach Physik fordert von den Studienanfängern den Aufbau vielfältiger Fertigkeiten und Fähigkeiten. Zwei wichtige standen im Fokus des Projektes KEMΦ (Kompetenzentwicklung Physik in der Studieneingangsphase): Das physikalische Fachwissen, welches in Vorlesungen gelehrt wird und in Übungen (und z. T. auch in Praktika) angewandt werden muss, sowie die physikbezogene Problemlösefähigkeit, ohne die ein erfolgreiches Bearbeiten von Übungszetteln oder Klausuraufgaben kaum möglich ist.

Diese beiden Fähigkeiten wurden bei Physik-Fach- und -Lehramts-Studierenden in den Jahren 2015–2020 zu je drei Testzeitpunkten im ersten Studienjahr längsschnittlich erhoben. Zur Erhebung des Fachwissens wurden ein etabliertes Testinstrument und ein komplexitätsbasiertes Niveaumodell verwendet. Für die Erhebung von Problemlösefähigkeiten wurde ein neues Testverfahren entwickelt, welches sich nah an typischen Übungszettel-Aufgaben als einer wichtigen Problemlösesituation des Physikstudiums orientiert.

Auf Basis dieser Daten können z. B. Aussagen über typische Entwicklungsverläufe im Fachwissenwerb und Charakterisierungen von Hoch- und Niedrigperformern angegeben werden. Ebenso können differenzierte Analysen der Schwierigkeiten Studierender beim Lösen häufiger Problemstellungen angestellt werden.

1. Ausgangsfragen und Zielsetzung

Um mit fachlichen Anforderungen wie Übungsaufgaben und Klausuren in der Studieneingangsphase Physik erfolgreich umgehen zu können, benötigen Studierende Fachwissen und Problemschemata. Zentrale Zielvorstellung ist die Aufklärung von typischen Verläufen des Erwerbs dieser beiden Ressourcen im ersten Studienjahr sowie deren Determinanten. Dies kann zu empiriebasierten Gestaltungsvorschlägen in der Hochschullehre führen.

Diese Ressourcen wurden in zwei parallel angelegten Arbeitsmodulen erhoben: Im Modul FW wurde die Komplexität des Fachwissens der Studierenden erfasst; im Modul PL die Problemschemata, die die Studierenden in fachlichen Anforderungssituationen nutzen können. Die beiden Module sehen je drei Testzeitpunkte im ersten Studienjahr vor [1].

Hypothetisch kann ein Entwicklungsverlauf angenommen werden, bei dem die Entwicklung von komplexem Fachwissen und Problemschemata sich gegenseitig beeinflussen und die Entwicklung des einen auf dem Vorhandensein des anderen aufbaut.

2. Grundlagen

2.1. Modul FW: Komplexes Fachwissen

Anhand der Testergebnisse eines vorhandenen Fachwissenstest (basierend auf [3]) sollten ein Modell und Determinanten einer längsschnittlich erfassten Fachwissensentwicklung generiert werden.

Zentrale Merkmale des getesteten Fachwissens sind dessen Komplexität (vgl. [4]) sowie die Wissensfa-

cette (vgl. Abb. 1). Dabei stellt die Komplexität das zentrale schwierigkeiterzeugende Aufgabenmerkmal dar. Die drei Wissensfacetten können als verknüpfte, aber (einigermaßen) unabhängig voneinander aufbaubare Wissensbestände aufgefasst werden. Inhaltlich enthält der Test Aufgaben zur Mechanik, die ab dem ersten Semester einsetzbar sind. Dazu kommen als Determinanten mehrere Begleitskalen zur Demographie, Mathematik (16 Items aus [5]), wahrgenommenen Studienbedingungen [6,7], Effort und Importance [8], Academic Buoyancy [9] sowie Motivation und Lernverhalten [3].

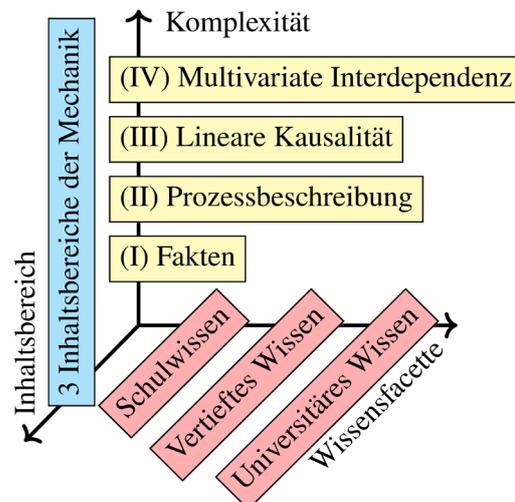


Abb. 1: Überblick über das Strukturmodell des getesteten Wissens [2,3].

Mittels einer Rasch-Analyse können Studierende post-hoc Niveaus zugeordnet werden, die jeweils dadurch gekennzeichnet sind, dass Studierende auf einem Niveau k die Aufgaben der Komplexität k und darunter hinreichend sicher lösen können, Aufgaben höherer Komplexität aber nicht [3, 10]. Auf dieser Basis kann die Entwicklung des physikalischen Fachwissens kriterial beschrieben und analysiert werden.

2.2. Modul PL: Problemlösen

Typische Übungsaufgaben (aber auch andere fachliche Anforderungen) im Physikstudium genügen der Problemdefinition von Smith: „Ein Problem ist jede Aufgabe, die das Analysieren und Schlussfolgern auf ein Ziel (oder eine ‚Lösung‘) hin benötigt. Dieses Analysieren und Schlussfolgern muss auf einem Verständnis der Domäne, aus der die Aufgabe stammt, beruhen. Ein Problem kann nicht durch Erinnern oder Reproduzieren gelöst werden [...]. Ob es sich bei einer Aufgabe um ein Problem handelt oder nicht, ist nicht davon abhängig, wie schwierig oder verwirrend es für den vorgesehenen Löser ist.“ [14] (Übersetzung [15; S. 44]). Typische Schritte zur Lösung solcher „wissenszentrierter“ Probleme beschreibt das Modell des wissenszentrierten Problemlösens von Friege (Abb. 2) [13].

Als zentrale Ressource können dabei neben dem Fachwissen die Problemschemata gelten. Damit wird nach [16] (vgl. auch [13, 15]) diejenige Ressource des Expertenwissens bezeichnet, welche die Erfahrung oder Expertise in einer gegebenen Domäne bezeichnen. Dabei handelt es sich um verknüpftes und zur routinierten und prozeduralisierten Anwendung aufbereitetes Wissen, welches bei bestimmten Aufgabentypen oder -gruppen eingesetzt werden kann. Sie enthalten überdies die aus der Analyse von Beispielproblemen [17] stammende heuristische

Information, bei welchen Aufgabenstellungen welches Problemschema eine schnelle und gezielte Lösung ermöglicht [18].

Es ist zu vermuten, dass sich die in Modul FW nach Niveau unterschiedenen Gruppen auch im Grad der Ausprägung der vorhandenen Problemschemata unterscheiden, welche sich jedoch nicht ohne weiteres distal erfassen lassen. Diese Unterschiede sollten im Modul PL aufgeklärt werden. Dazu wurde ein Performanztest entwickelt, der sich an der Studienrealität des Übungszettels als häufiger Problemlösesituation orientiert. Eine Interview-Vorstudie (in Kohorte 2) hatte bereits ergeben, dass ein Großteil der Studierenden Lösungen zu Übungsaufgaben von Kommilitonen oder aus dem Internet abschreibt [19]. Dies und auch das sonstige Arbeitsverhalten, das fachbezogene Selbstkonzept und die allgemeine Wahrnehmung der Studieneingangsphase scheinen hier deutlich mit dem Fachwissenserwerb zusammen zu hängen [20].

3. Überblick über die Ergebnisse des Projekts

3.1. Stichprobe und Erhebungszeitpunkte

Die Tests der Module FW und PL wurden in fünf bzw. drei Kohorten längsschnittlich eingesetzt (Tabelle 1). Die Testzeitpunkte verteilen sich wie in Abbildung 3. In Kohorte 2 wurde eine Interviewstudie (IW) zur Vorbereitung des Moduls PL durchgeführt, dessen Testinstrumente im weiteren Verlauf der Kohorte erprobt wurden. Aufgrund einer weltweiten Pandemie konnte der dritte Testzeitpunkt in Kohorte 5 in Ermangelung eines geordneten Lehrbetriebs an den meisten deutschen Universitäten nicht durchgeführt werden.

Alle erhobenen Daten und alle eingesetzten und entwickelten Testinstrumente wurden inklusive Begleitmaterial in anonymisierter Form allgemein zugänglich gemacht [21].

3.2. Modul FW: Fachwissensentwicklung

Bereits aus vorangegangenen Studien mit demselben Testinstrument war bekannt, dass Studierende in Fach- und Lehramtsstudiengängen mit durchweg geringem Fachwissen ins Studium starten, was sich im Erreichen niedriger Komplexitäts-Niveaus ausdrückt. Dabei sind die Fähigkeiten im Schulwissen erwartungsgemäß besser als im universitären Wissen [22]. Auch im weiteren Studienverlauf weist etwa ein Drittel der Studierenden lediglich sehr niedrige Niveaus auf [10].

Die erhobenen Daten wurden längsschnittlich ausgewertet – was das wesentliche Novum dieses Datensatzes gegenüber früheren Studien darstellt – und laufend Teilergebnisse veröffentlicht:

3.2.1. Entwicklung der Wissensfacetten

Auf Basis eines Teildatensatzes von 122 Probanden (Kohorten 1–3) zu den Testzeitpunkten 1 und 2 wurde die Korrespondenz der erreichten Niveaus zwischen der schulischen und universitären Wis-

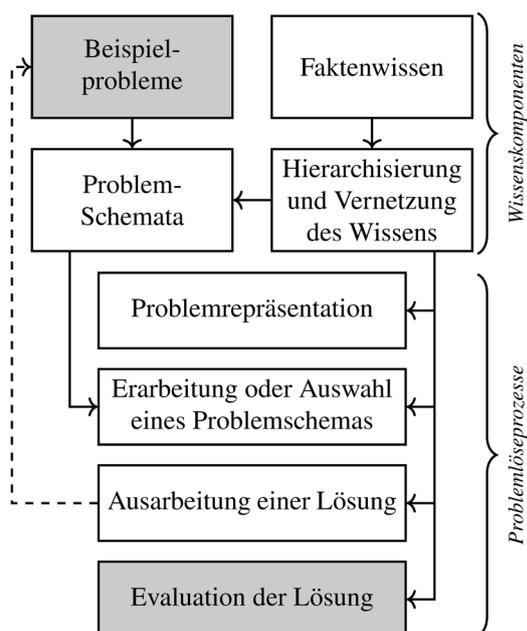


Abb. 2: Modell des wissenszentrierten Problemlösens [13].

Kohorte	Zeitraum	Modul	Standorte	N (insgesamt)	N (längsschnitt)
1	2015–2016	FW	A (2x)	120	59
2	2016–2017	FW	A, B, C	72	39
		IW	A	8	6
3	2017–2018	FW	A, D, E, F	151	45
		PL	A	8	6
4	2018–2019	FW	A, F, G, H	283	85
		PL	A, F, G	18	8
5	2019–2020	FW	A, H (2x)	131	–
		PL	A, H (2x)	10	–
Summe:	5 Kohorten	FW	8 Standorte	757	228
	3 Kohorten	PL	4 Standorte	36	14

Tab. 1: Kohortenüberblick. Zu jeder Kohorte ist jeweils der Erhebungszeitraum, die durchgeführten Module, die Gesamtzahl der Proband/innen sowie die Zahl der Proband/innen, für die ein vollständiger Längsschnitt vorliegt, angegeben. Die teilnehmenden Standorte sind anonymisiert.

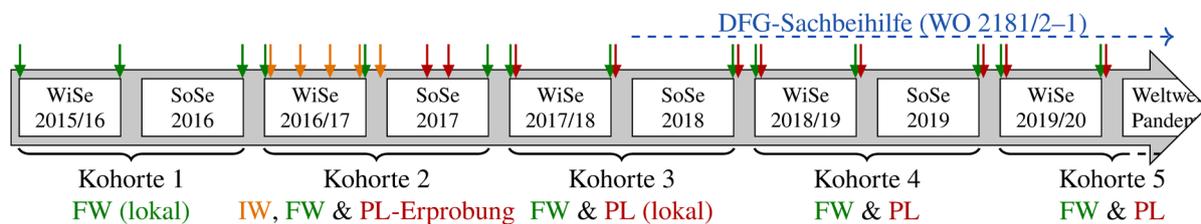


Abb. 3: Übersicht über die Kohorten und Testzeitpunkte (TZP). Die PL-Tests fanden jeweils zwei bis drei Wochen nach den entsprechenden FW-Tests statt.

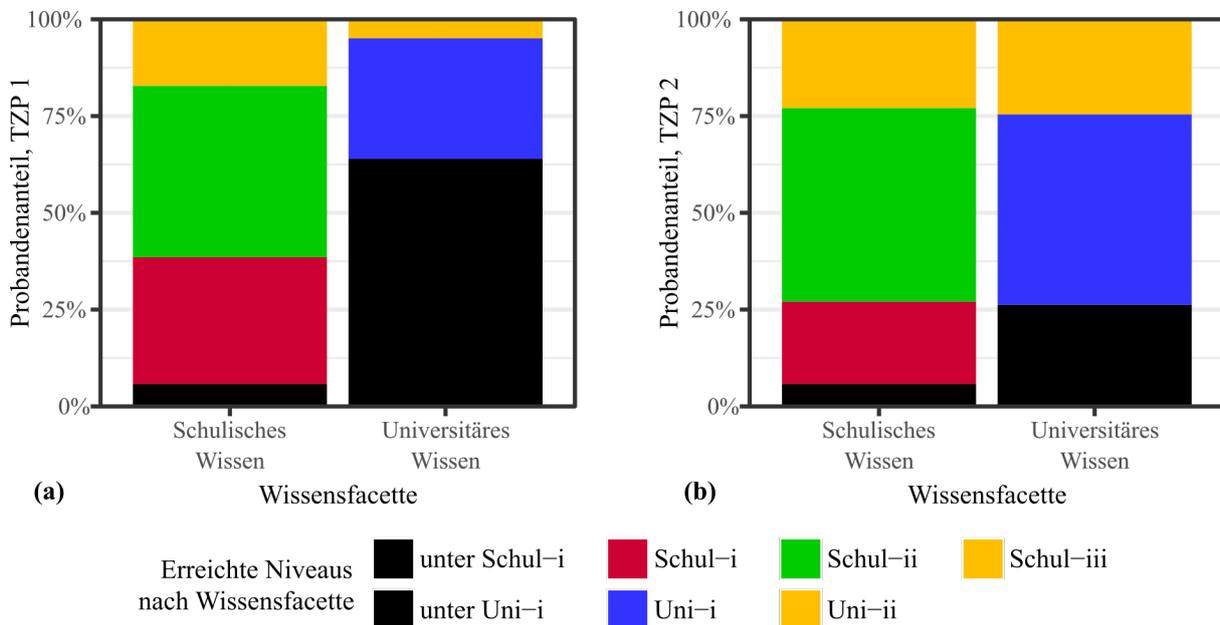


Abb. 4: Häufigkeit der erreichten Niveaus zu TZP 1 (a) und TZP 2 (b) in eine Datensatz aus 122 Probanden aus Kohorten 1 bis 3 [2; S. 106].

sensfacette überprüft [2]. Es zeigt sich hier erwartungsgemäß ein großer Probandenanteil, der zu TZP 1 selbst die einfachsten Aufgaben im universitären Wissen nicht lösen kann. Zum zweiten Testzeitpunkt steigen über drei Viertel der Probanden

zumindest auf das erste Niveau auf. Im Schulwissen befinden sich hingegen bereits zu Beginn viele Probanden auf höheren Niveaus, es zeigt sich aber kein substantieller Anstieg zu TZP 2 (Abb. 4). Wie hypothetisch erwartet zeigt das Schulwissen zu TZP 1

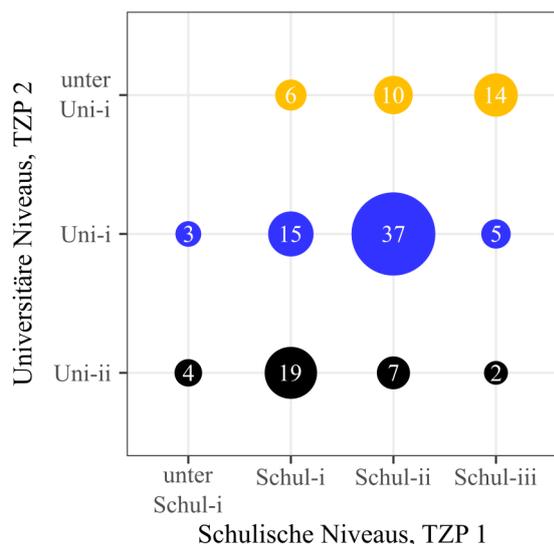


Abb. 5: Erreichtes universitäres Niveau zu TZP 2 in Abhängigkeit des schulischen Niveaus zu TZP 1 bei 122 Probanden aus Kohorten 1 bis 3 [2; S. 108].

eine signifikante Prädiktionskraft für das universitäre Wissen zu TZP 2, die über den schlichten Effekt der Korrelation der beiden Facetten signifikant hinausgeht (Abb. 5, [2]).

In diesem Datensatz zeigt sich, dass eine Trennung nach Wissensfacetten aufgrund eines Prä-Test-Effektes vor allem im universitären Wissen zu sehr schlechten Skalen-Reliabilitäten führt. Dieser Effekt kann wahrscheinlich auch durch eine größere Stichprobe kaum ausgeglichen werden, sondern resultiert aus den geringen Vorkenntnissen der Studierenden. Aus diesem Grunde wurde in späteren Analysen nur noch die Fachwissens-Gesamtskala betrachtet.

3.2.2. Determinanten der Entwicklung

Auf Basis eines Teildatensatzes von 228 vollständigen Längsschnitten aus den Kohorten 1–4 konnten weitergehende Analysen des Entwicklungsverlaufes

angegeben werden [23]. Abbildung 6 zeigt den Verlauf über die drei Testzeitpunkte. Es kann eine typische Zunahme an erreichter Komplexität als $M=0.91$ ($SD=0.87$) – also etwa 1 Niveau pro Jahr – angegeben werden. Dies entspricht der hypothetisch angenommenen Lerngeschwindigkeit.

Personen, die 2 oder mehr Niveaus aufsteigen, können somit als *high performer*, solche, die keinen Aufstieg oder gar einen Niveauabstieg zeigen, als *low performer* identifiziert werden. Diese beiden Extremgruppen unterscheiden sich in mehreren deskriptiven Eigenschaften: Neben einer allgemeinen Geschlechterdisparität zugunsten männlicher Probanden zeigen *high performer* eine signifikant bessere Abiturnote sowie bessere Mathematikkenntnisse zu TZP 1. Dagegen zeichnen sich *low performer* neben dem Geschlecht besonders durch eine geringere soziale Integration aus. Im analysierten Datensatz wurden 32 % der Probanden als *low* und 23 % als *high performer* identifiziert.

3.3. Modul PL: Problemschemata und Lösungsschwierigkeiten

3.3.1. Entwicklung des Testinstruments

Anders als im Modul FW stellt die Erarbeitung und Validierung des Testinstruments im Modul PL eine wesentliche Herausforderung dar.

Aus testökonomischen Gründen wurden drei Schemata ausgewählt, von denen jeweils eines zu jedem Testzeitpunkt mit einem Übungszettel und einem anschließenden Interview erhoben wurde [24, 25].

Die Aufgabenstellungen kamen dabei aus einer Reanalyse vorhandener Übungsaufgaben (Abb. 7). Sie sind so strukturiert, dass alle Aufgaben auf einem Zettel mit demselben Problemschema lösbar sind (Tab. 2). Da eine gezielte Variation der Komplexität mit dem gewünschten Realitätsgrad der Aufgaben nicht vereinbar war, wurden stattdessen andere Aufgabencharakteristika, wie die Angabe

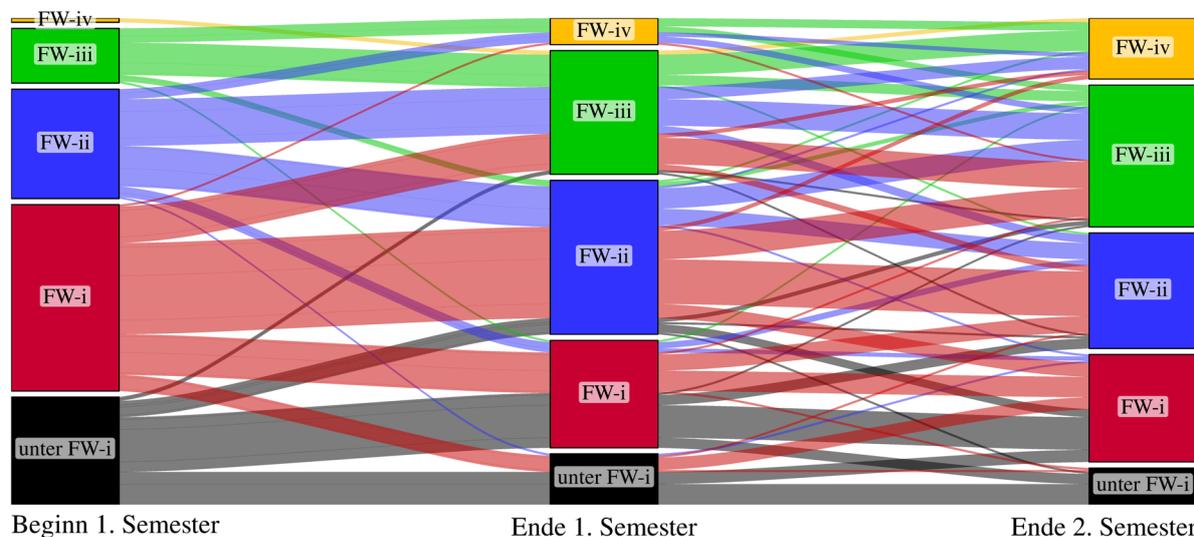


Abb. 6: Alluvial-Diagramm mit der Wissensentwicklung von 228 Studierenden aus den Kohorten 1–4 [23].

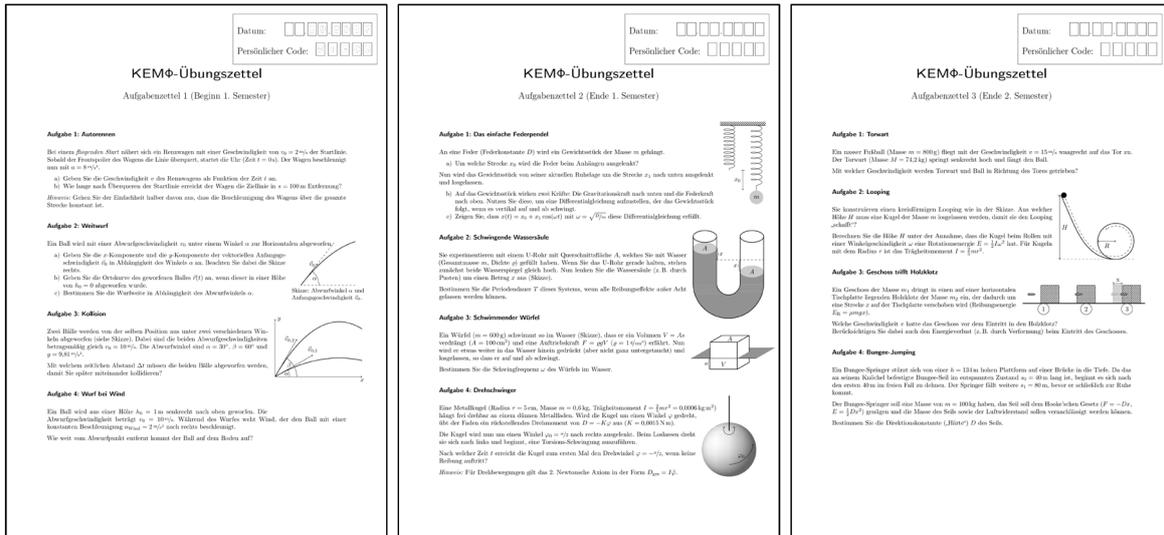


Abb. 7: Aufgabenzettel zu den drei Testzeitpunkten.

TZP	Allg. Schema	Inhaltsbereich	Aufgabentyp
1	Überlagerung von Bewegungen	Beschleunigte Bewegungen Bewegungsgleichungen	Bewegungsgleichung aufstellen und nach gefragter Größe (Zeiten, Orte) lösen
2	Kraftansatz	Kraftanalyse, Harmonische Schwingung	Kräftegleichgewicht führt zu DGL, nach Parametern der Schwingung (Frequenz, Schwingungsdauer) ist gefragt
3	Energie-/ Impulsansatz	Energie-/Impulserhaltung, Stöße	Analyse des Zustandes zu 2 oder 3 verschiedenen Zeitpunkten, Aufstellung von Energie-/Impulstermen, lösen nach Geschwindigkeit, Energie oder Impuls zu einem der Zeitpunkte

Tab. 2: Verteilung von allg. Problemschemata [15; 98ff], Inhaltsbereiche und Aufgabentypen auf die Testzeitpunkte.

Teil 0	<i>Aufgaben und Lösungen nicht vorliegend</i> Worum ging es in den Aufgaben insgesamt? Möglichst spezifische Beschreibung. (Repräsentation) Gab es Gemeinsamkeiten zwischen den Aufgaben? (Oberflächen/Merkmale, Problemschema)
Teil 1	<i>Lösungen nicht vorliegend</i> Vorgehen bei der Bearbeitung (Reihenfolge, Übereinstimmung mit realem Übungszettel) Angenommener Lösungserfolg (Selbsteinschätzung, Erkennen richtiger/falscher Lösungen) Aufgaben nach Schwierigkeit sortieren (Schwierigkeitserzeugende Merkmale, Reflexion eigener Fähigkeiten)
Teil 2	<i>Aufgaben werden in der Reihenfolge der Lösung durchgegangen</i> Verständlichkeit der Aufgabe (Probleme bei der Repräsentation oder beim Fachwissen) Vorgehen bei der Lösung (Wie Ansatz gefunden? Indizien für Schemata) Probleme bei der weiteren Lösung (Faktoren, die evtl. zum Aufgeben führen, fehlendes Wissen)
Teil 3	Vergleich mit realen Übungszetteln (Validität bzgl. Schwierigkeit der Aufgaben/des Vorgehens)

Tab. 3: Überblick über den Interviewablauf. In Klammern ist jeweils die Frageintention angedeutet.

konkreter Zahlenwerte, systematisch variiert [25].

Die Probanden durften zur Lösung beliebige (externe) Ressourcen nutzen, so dass das Vorgehen bei der Lösung echter Übungsaufgaben möglichst realitätsnah abgebildet wurde. Während der Lösung sollten sie laut denken [vgl. 26]. Bei der Analyse wurde dann berücksichtigt, inwiefern die Aufgaben selbst oder nur mit Hilfe gelöst wurden [24, 25].

Zu jedem Zettel existiert eine Musterlösung inklusive einer Explikation des nutzbaren Problemschemas [18]. Eine Befragung von Lehrenden an den Erhebungsstandorten ergab eine valide Zuordnung der Aufgaben zu den Testzeitpunkten [25].

Im Anschluss an die Bearbeitung der Aufgaben nahmen die Probanden jeweils an einem etwa 25-minütigen leitfadengestützten Interview teil (Tab. 3). Hier sollten sie ihre Vorgehensweise, Ideen und Probleme bei der Problemlösung erklären. Außerdem wurden Fragen gestellt, die eher auf die Lösungsententionen, Problemrepräsentation und Schemata abzielten, welche im Lauten Denken nur schwer nachvollziehbar sind.

3.3.2. Allgemeiner Lösungserfolg

Der allgemeine Lösungserfolg wurde entlang des Modells des wissenszentrierten Problemlösens (Abb. 2) kodiert [24, 25]. Einen Überblick zeigt Abbildung 8. Ein nennenswerter Teil der Probanden kann dabei entweder für *alle* Aufgaben einen (einigermaßen) korrekten Ansatz vorweisen (grün oder gelb) oder für *keine* der Aufgaben (rot oder violett). Dies kann als Validitätshinweis gesehen werden, da die Zettel so konstruiert sind, dass sie mit demselben Problemschema bearbeitbar sind, welches entweder für alle Aufgaben erfolgreich eingesetzt werden kann oder für keine.

3.3.3. Spezifische Schwierigkeiten bei der Lösung

Aus der Literatur wurden bekannte Schwierigkeiten bei der Problemlösung zusammengestellt [13, 16, 29–39]. Wie Abbildung 8 zeigt, treten vor allem die Herausforderungen häufig auf, die mit der Problemrepräsentation und mit dem Finden eines Ansatzes zusammenhängen. Auch erfolgreiche Probanden hatten häufig Schwierigkeiten mit einzelnen physikalischen Begriffen oder mit der Mathematik [27, 28].

3.3.4. Problemschemata

Die valide und reliable Identifikation von Problemschemata über die bisherigen Ergebnisse hinaus hat sich als außerordentlich schwierig herausgestellt. Zur Verbesserung der Situation wurde im Interviewleitfaden (Tab. 3) ein Teil 0 ergänzt, in dem gezielt nach Indikatoren für das Vorhandensein von Sche-

mata gefragt wird. Zur Analyse wurden der Literatur wiederum Kriterien für das Vorhandensein von Problemschemata entnommen [16, 29, 31–33], ebenso für deren Entwicklung während der Arbeit am Aufgabenzettel [17] oder für das Nicht-Vorhandensein [33, 34].

In ersten Analysen zeigt etwa die Hälfte der Probanden keine Anzeichen für die Verfügbarkeit von Problemschemata [18, 24]. Anzeichen für ein sicheres Beherrschen der jeweils geforderten Problemschemata zeigen jeweils nur einzelne Personen.

3.3.5. Längsschnittliche Untersuchung

Bisher liegen nur wenige längsschnittliche Analysen vor. Die Zuordnung zu zwei Gruppen mit hohem bzw. niedrigem Lösungserfolg erscheint in der Teilstichprobe aus Kohorte 3 relativ stabil. Personen, die ihr Studium abbrechen zeigen zu TZP 1 eher einen schwächeren Lösungserfolg [24]. Ein Lerneffekt wurde nur bei einzelnen Studierenden sichtbar [25].

Eine Analyse der gegenseitigen Abhängigkeit der Entwicklungen von Fachwissen und Problemschemata steht ebenfalls noch aus.

4. Diskussion und Ausblick

4.1. Forschungsstand

In Modul FW wurde zum ersten Mal eine längsschnittliche Analyse des physikalischen Fachwissenenserwerbs in der Studieneingangsphase vorgelegt. Die generelle Tendenz der Entwicklung und ihrer

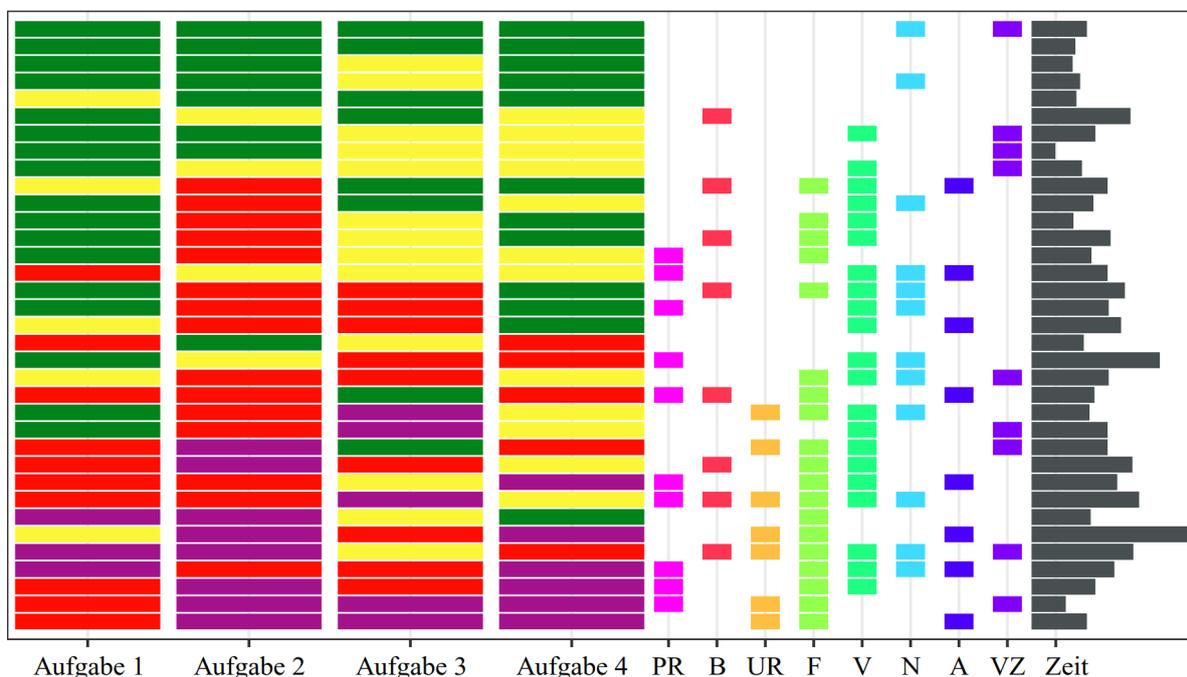


Abb. 8: Überblick über die Ergebnisse der Probanden zu TZP 1 anhand von 35 Probanden der Kohorten 3–5 [27]. Der Allgemeine Lösungserfolg ist links eingetragen (violett = kein oder falscher Lösungsansatz; rot = unvollständiger Lösungsansatz; gelb = richtiger Ansatz aber Fehler in der Ausarbeitung; grün = vollständig korrekte Lösung; [24, 25]), die spezifischen Schwierigkeiten rechts (PR = Problemrepräsentation; PT = Physikalische Begriffe; UR Unstrukturierte Recherche; MF = Formel fehlt oder nicht bekannt; FP = Weiteres Vorgehen unklar; NO = Fehlerhafte mathematische Notation; AL = Algebraisch falsch; QN = Numerisch falsche Lösung; [28]). Ganz rechts findet sich die Gesamt-Bearbeitungsdauer.

Prädiktoren und Geschwindigkeit entspricht den theoretischen Erwartungen. Die differenzierte Abhängigkeit der Wissensfacetten untereinander hat sich als weniger eindeutig herausgestellt als hypothetisch angenommen. Parallel haben andere Forschungsprojekte grundsätzlich ähnliche Ergebnisse geliefert [40, 41].

In Modul PL konnte erstmalig ein Test und ein validiertes Auswerteverfahren vorgelegt werden, welches den ganzen Problemlöseprozess für typische Aufgabenstellungen auf universitärem Niveau in einem realitätsnahen Setting abbildet. Frühere Projekte hatten vor allem Teilfähigkeiten oder proximale Merkmale (z. B. mit Sortieraufgaben) getestet [13, 15, 42].

4.2. Anwendungsperspektiven

Bereits parallel zu Kohorte 2 wurden Implikationen der theoretischen Grundlagen für das Modul PL (Abb. 2) in einer Lehrveranstaltung implementiert, die das Problemlösen in der Hochschulphysik gezielt fördern soll [43]. Basierend auf der Komplexitätstheorie und den Ergebnissen aus Modul FW wurden komplexitätsgestaffelte Übungsaufgaben zum gezielten Fachwissensaufbau vorgeschlagen [44].

In Kooperation mit dem Lernzentrum *Physiktreff* an der Universität Paderborn wurden die Ergebnisse mehrerer Forschungsprojekte sowie die Erfahrungen aus den Unterstützungsangeboten des Lernzentrums zum Projekt $PS\Phi$ zusammengeführt [45]. Hier wurden die Instrumente aus dem vorliegenden Projekt zur Evaluation der Wirksamkeit der Studieneingangsphase eingesetzt. Auf Basis dieser Ergebnisse konnten Veränderungen an bestehenden curricularen und extracurricularen Lehrangeboten (u. a. Präsenzübungen, komplexitätsgestaffelte Übungsaufgaben in den Grundlagenvorlesungen) abgeleitet werden, die als Best-Practice-Beispiele für andere Projekte zur Studiengangsentwicklung dienen können [46].

5. Literatur

- [1] Woitkowski, D. (2018): Fachwissen und Problemlösen im Physikstudium: Vorstellung des Forschungsprojektes KEM Φ . In: *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Würzburg*, S. 125–131.
- [2] Woitkowski, D. (2019): Erfolgreicher Wissenserwerb im ersten Semester Physik: Analyse mithilfe eines Niveaumodells. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 25, Nr. 1, S. 97–114
- [3] Woitkowski, D. (2015): *Fachliches Wissen Physik in der Hochschulausbildung: Konzeptualisierung, Messung, Niveaubildung*. Dissertation. Berlin: Logos
- [4] Bernholt, S.; Parchmann, I. (2011): Assessing the complexity of students' knowledge in chemistry. In: *Chemistry Education Research and Practice* 12, Nr. 2, S. 167
- [5] Krause, F.; Reiners-Logothetidou, A. (1981): *Kenntnisse und Fähigkeiten naturwissenschaftlich orientierter Studienanfänger in Physik und Mathematik: Die Ergebnisse des bundesweiten Studieneingangstests Physik 1978*. Bonn: Universität Bonn
- [6] Albrecht, A.: *Längsschnittstudie zur Identifikation von Risikofaktoren für einen erfolgreichen Studieneinstieg in das Fach Physik*. Berlin, Freie Universität Berlin, Fachbereich Physik. Dissertation. 2011.
- [7] Burger, R.; Groß, M. (2016): Gerechtigkeit und Studienabbruch. Die Rolle der wahrgenommenen Fairness von Benutzungsverfahren bei der Entstehung von Abbruchsintentionen. In: *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* 19, Nr. 3, S. 625–647
- [8] Sundre, D. L. (2007): *The Student Opinion Scale (SOS), A measure of examinee motivation: Test Manual*. Harrisonburg: Center for Assessment and Research Studies, James Madison University
- [9] Neumann, I.; Sorge, S.; Jeschke, C; Heinze, A.; Neumann, K. (2016): Zur Academic Buoyancy von Physikstudierenden. In: Maurer, C. (Hrsg.): *Authentizität und Lernen - das Fach in der Fachdidaktik*. Regensburg: Universität Regensburg, S. 86–88
- [10] Woitkowski, D.; Riese, Josef (2017): Kriterienorientierte Konstruktion eines Kompetenzniveau-modells im physikalischen Fachwissen. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 23, Nr. 1, S. 39–52
- [11] Dawson-Tunik, T. L. (2006): Stage-Like Patterns in the Development of Conceptions of Energy. In: Liu, X.; Boone, W. J. (Hrsg.): *Applications of Rasch Measurement in Science Education*. Maple Grove: JAM Press, S. 111–136
- [12] Armon, C.; Dawson, T. L. (1997): Developmental Trajectories in moral reasoning across the life span. In: *Journal of Moral Education* 26, Nr. 4, S. 433–453
- [13] Friege, G. (2001): *Wissen und Problemlösen: Eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleichs*. Berlin: Logos
- [14] Smith, M. U. (1991): A View from Biology. In: Smith, M. U. (Hrsg.): *Toward a unified Theory of Problem Solving: Views from the Content Domains*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, S. 1–19
- [15] Brandenburger, M. (2016): Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik?: Eine Untersuchung mit Studierenden. Berlin: Logos
- [16] Reinhold, P.; Lind, G.; Friege, G. (1999): Wissenszentriertes Problemlösen in Physik. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*

- ten 5, Nr. 1, S. 41–62 – Überprüfungsdatum 2013-10-17
- [17] Kolodner, J. L. (1983): Toward an understanding of the role of experience in the evolution from novice to expert. In: *International Journal of Man-Machine Studies* 19, S. 497–518
- [18] Woitkowski, D. (2020): Ressourcen zur Problemlösung: Problemschemata. In: Habig, S. (Hrsg.): *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen*. Duisburg-Essen: Universität Duisburg-Essen, S. 373–376
- [19] Woitkowski, D.; Reinhold, P. (2018): Strategien und Probleme im Umgang mit Übungsaufgaben : Piloterergebnisse einer Interviewstudie im ersten Semester Physik. In: Maurer, C. (Hrsg.): *Qualitätvoller Chemie- und Physikunterricht: Normative und empirische Dimensionen*. Regensburg: Universität Regensburg, S. 726–729
- [20] Woitkowski, D.; Breitkopf, S. (2019): Fähigkeitsselbstkonzept und Lernerfolg im ersten Fachsemester Physik. In: *die Hochschullehre* 5, S. 855–876
- [21] Woitkowski, D. (2021). Datensatz zum Projekt Kompetenzentwicklung Physik in der Studieneingangsphase (KEMΦ). <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.16967398>
- [22] Woitkowski, D. (2017): Studieneingangsprofile in Fach- und Lehramts-Studiengängen Physik: Eine kontrastierende Analyse auf Basis eines Kompetenzstrukturmodells für Fach-Physiker. In: *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule* 16, Nr. 1, S. 43–56.
- [23] Woitkowski, D. (2020): Tracing Physics Content Knowledge Gains Using Content Complexity Levels. In: *International Journal of Science Education* 42, Nr. 10, S. 1585–1608
- [24] Woitkowski, D. (2020): Surveying University Students' Problem Solving Skills in Realistic Settings, Strand 17. In: Levrini, O.; Tasquier, G. (Hrsg.): *Electronic Proceedings of the ESERA 2019 Conference.: The Beauty and Pleasure of Understanding: Engaging With Contemporary Challenges Through Science Education*. Bologna: University of Bologna, S. 2008–2014
- [25] Woitkowski, D. (2019): Erhebung der Problemlösefähigkeit im Physikstudium : Vorstellung eines Erhebungsverfahrens. In: Maurer, C. (Hrsg.): *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe*. Regensburg: Universität Regensburg, S. 492–495
- [26] Sandmann, A. (2014): Lautes Denken : Die Analyse von Denk-, Lern- und Problemlöseprozessen. In: Krüger, D.; Parchmann, I.; Schecker, H. (Hrsg.): *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin: Springer, S. 179–188
- [27] Woitkowski, D. (eingereicht): Problem solving abilities in first year university physics. In: *International Journal of Science Education*
- [28] Woitkowski, D. (2021): Problemlösefähigkeiten zu Studienbeginn. In: Habig, S. (Hrsg.): *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch?* Duisburg-Essen: Universität Duisburg-Essen.
- [29] Larkin, J. H. (1983): The Role of Problem Representation in Physics. In: Gentner, D.; Stevens, A. L. (Hrsg.): *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, S. 75–98
- [30] Savelsbergh, E. (1998): *Improving Mental Representations in Physics Problem Solving*. Enschede: Twente University
- [31] Simon, D. P.; Simon, Herbert Alexander (1978): Individual differences in solving physics problems. In: Siegler, R. (Hrsg.): *Children's thinking: What develops?* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, S. 325–348
- [32] VanLehn, K. (1989): *Problem Solving and Cognitive Skill Acquisition*. In: Posner, M. L. (Hrsg.): *Foundation of Cognitive Science*. Cambridge, MA: MIT Press, S. 527–579
- [33] Chi, Michelene T. H.; Glaser, R.; Rees, E. (1982): Expertise in problem solving. In: Sternberg, R. J. (Hrsg.): *Advances in the Psychology of Human Intelligence*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- [34] Schultz, K.; Lochhead, J. (1991): A View from Physics. In: Smith, M. U. (Hrsg.): *Toward a unified Theory of Problem Solving: Views from the Content Domains*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, S. 99–114
- [35] Larkin, J. H.; McDermott, J.; Simon, D. P.; Simon, H. A. (1980): Expert and novice performance in solving physics problems. In: *Science* 208, Nr. 4450, S. 1335–1342
- [36] Larkin, J. H.; McDermott, J.; Simon, D. P.; Simon, H. A. (1980): Models of Competence in Solving Physics Problems. In: *Cognitive Science* 4, S. 317–345
- [37] Redish, E. F. (2006): Problem Solving and the Use of Math in Physics Courses. In: arXiv preprint arXiv:physics/0608268
- [38] Bing, T.; Redish, E. F. (2009): Analyzing problem solving using math in physics: Epistemological framing via warrants. In: *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* 5, Nr. 2
- [39] Wilcox, B. R.; Caballero, M. D.; Rehn, D. A.; Pollock, S. J. (2013): Analytic framework for students' use of mathematics in upper-division physics. In: *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* 9, Nr. 2
- [40] Müller, J. (2019): *Studienerfolg in der Physik: Zusammenhang zwischen Modellierungskompetenz und Studienerfolg*. Berlin: Logos
- [41] Buschhüter, D.; Spoden, C.; Borowski, A. (2017): *Studienerfolg im Physikstudium: Inkrementelle Validität physikalischen Fachwis-*

- sens und physikalischer Kompetenz. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 23, Nr. 1, S. 127–141
- [42] Binder, T.; Schmiemann, P.; Theyßen, H. (2019): Erfassung von fachspezifischen Problemlöseprozessen mit Sortieraufgaben in Biologie und Physik. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 27, Nr. 1, S. 101
- [43] Woitkowski, D. (2018): Physikalische Denk- und Arbeitsweisen erlernen: Ein Vorlesungs-/Übungskonzept entlang des ACER-Modells. In: Herausforderung Lehrer_innenbildung - Zeitschrift zur Konzeption, Gestaltung und Diskussion 1, Nr. 1, S. 1–16.
- [44] Woitkowski, D. (2020): Komplexitätsgestaffelte Übungsaufgaben zur Unterstützung im ersten Semester Physik. In: PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Bonn, S. 85–90
- [45] Bauer, A. B.; Lahme, S.; Woitkowski, D.; Vogelsang, C.; Reinhold, P. (2019): PSΦ: Forschungsprogramm zur Studieneingangsphase im Physikstudium. In: PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Aachen, S. 53–60.
- [46] Bauer, A. B.; Woitkowski, D.; Reuter, D.; Reinhold, P. (2021): Fachliche und überfachliche Herausforderungen in der Studieneingangsphase Physik : Das Forschungs- und Entwicklungsprogramm PSΦ. In: Fahr, U.; Zacherl, R.; Angenent, H.; Eßer, A.; Kergel, D.; Kergel-Heidkamp, B. (Hrsg.): Hochschullehre erforschen! Berlin: Springer.

Förderung

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – WO 2181/2-1.