

Differenzierender Schülervorstellungstest zur Mechanik

Eine wesentliche Leitlinie naturwissenschaftsdidaktischer Lehr-/Lernforschung ist die Bezugnahme auf das Vorwissen von Schüler*innen (S*S) sowie auf dokumentierte Schülervorstellungen (SV), da diese eine zentrale Rolle für das Lernen neuer Inhalte spielen (u. a. Hattie, 2009; Schecker et al., 2018). Insbesondere in der für den Physikunterricht zentralen Thematik der Mechanik sind SV bisher besonders umfassend untersucht und dokumentiert (z. B. Schecker & Wilhelm, 2018). Das Lernen von Konzepten der Mechanik stellt sich jedoch häufig als relativ anspruchsvoll heraus, z. B. für den Aufbau eines qualitativen Verständnisses von Bewegungsphänomenen. Dabei scheint traditioneller Unterricht nur begrenzt wirksam zu sein (z. B. Wilhelm, 2005). Typische SV lassen sich auch noch bei Studierenden identifizieren (z. B. Schecker & Wilhelm, 2018). Um diesem Problem in der Gesamtschau zu begegnen und ein angemesseneres Mechanikverständnis nach dem Unterricht zu erzielen, muss der Heterogenität im fachlichen Verständnis von S*S Rechnung getragen werden. Fachbezogene, an SV orientierte, binnendifferenzierende Maßnahmen können an dieser Stelle einen wichtigen instruktionalen Ansatz darstellen (u. a. Bruggmann Minnig, 2011; Wodzinski, 2016). Differenzierung in diesem Sinne nimmt in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung jedoch nur einen relativ kleinen Raum ein und es mangelt aktuell noch an Befunden zur Nutzung und Wirkung binnendifferenzierender Maßnahmen (u. a. Bruggmann Minnig, 2011; Gruhn, 2002; Zfg. in Wodzinski, 2015), insbesondere, wenn diese an SV anknüpfen sollen.

Forschungsanliegen

Den Ausgangspunkt für schülervorstellungsorientierte Binnendifferenzierung bildet eine differenzierte Diagnose aktuell vorliegender SV, wobei bereits eine Reihe von Testinstrumenten zur Erfassung dieser existiert (u. a. Alonzo & Steedle, 2009; Hestenes et al., 1992; Thornton & Sokoloff, 1998; Zfg. in Schecker & Wilhelm, 2018). Bei der Analyse der Instrumente fällt allerdings auf, dass SV mit diesen in den meisten Fällen nur dichotom als „richtig“ oder „falsch“ erfasst werden können. Es ist jedoch nicht zu erwarten, dass sich SV schlagartig von einem (vollkommen) unangemessenen in ein fachlich wünschenswertes Konzept verändern (z. B. Hopf & Wilhelm, 2018). Unsere Annahme ist, dass auch in unangemessenen Vorstellungen anschlussfähige Ideen unterschiedlicher Qualität stecken und sich das Verständnis in Schritten entwickelt. Empirisch gesicherte Niveaumodelle, die als Progressionsmodelle genutzt werden, um *Fortschritt im Verständnis* zu beschreiben, sind sogenannte Learning Progressions (LP; u. a. Alonzo & v. Aufschnaiter, 2018; Alonzo & Steedle, 2009; NRC, 2007). Eine Orientierung an LP kann helfen, das Verständnis niveaudifferenziert und damit präziser zu erfassen als bisherige Instrumente, die nicht auf Graduierungen im Verständnis orientiert sind. Zudem wird von aktuellen Instrumenten auch nur selten die Variabilität von Vorstellungen über Aufgaben verschiedener Merkmale (z. B. verschiedene Situationsklassen & Aufgabenformate) erfasst. Unter der Annahme, dass Vorstellungen im Lernen nicht konsistent, sondern situationsabhängig aktiviert werden (u. a. Alonzo & v. Aufschnaiter, 2018; Schecker & Wilhelm, 2018), sind Informationen über die Variabilität in der Aktivierung verschiedener Vorstellungen für die Planung binnendifferenzierender Fördermaßnahmen von Relevanz. Vor diesem Hintergrund ist ein zentrales Ziel des Projekts die Entwicklung und der Einsatz eines Testinstruments zur niveaudifferenzierenden und situationssensitiven Erfassung von SV in der Newtonschen Mechanik, um Hinweise und Implikationen für binnendifferenzierende Fördermaßnahmen zu generieren.

Die zentralen Forschungsfragen lauten:

- FF1: Inwiefern werden fachlich angemessene Vorstellungen aktiviert?
- FF2: Inwiefern existiert ein Zusammenhang zwischen aktivierten Vorstellungen (unterschiedlicher Niveaus) und verschiedenen Aufgabenmerkmalen?
- FF3: Inwiefern unterscheiden sich verschiedene Personengruppen (S*S, Studierende) hinsichtlich FF1 & FF2?

Testentwicklung

Inhaltlich fokussiert der Test auf die Newtonschen Axiome, da diese sowohl zu den Grundideen der Mechanik zählen als auch im Rahmen der (Schul-)Physik einen zentralen Inhalt darstellen (z. B. Kräfte zwischen Ladungen, Zusammenhang Druck und Kraft). Passend zu den damit verknüpften Konzepten (z. B. zum Kraftbegriff) wurden dokumentierte SV gesichtet und entlang einer etablierten LP zu Kraft und Bewegung (Alonzo & v. Aufschnaiter, 2018; Alonzo & Steedle, 2009) verschiedenen Verständnisebenen zugeordnet: 1: Kraft = Bewegung, 2: Kraft ~ Bewegung, 3: Kraft ~ Geschwindigkeit, 4: Kraft ~ Geschwindigkeitsänderung. Aus der anschließenden Analyse bestehender Testinstrumente wurden Aufgabenmerkmale ausgewählt, bei denen vermutet werden kann, dass deren Variation mit Variabilität in aktivierten SV einhergehen könnte. Bei diesen Merkmalen handelt es sich beispielsweise um das *Aufgabenformat* (offen vs. geschlossen; u. a. Hadenfeldt & Neumann, 2012; Härtig, 2014), die *Formulierungsrichtung* (von Kraft auf Bewegung schließen vs. von Bewegung auf Kraft schließen; z. B. Alonzo & v. Aufschnaiter, 2018), die *Bewegungsrichtung* (horizontal vs. vertikal; vgl. Ferreira et al., 2019) und die *Bewegungsform* (Ruhe vs. konstante Geschwindigkeit). Aus der Modifikation bereits bestehender und der Konstruktion neuer Aufgaben entstand ein relativ großer Aufgabenpool identisch aufgebaut, systematisch parallelisierter und entlang dieser Merkmale kontrastierbarer Aufgaben. Abb. 1 zeigt exemplarisch eine typische Kontrastierung zweier geschlossener Aufgaben.

Aufgabe 44	Aufgabe 29
Jonathan zieht einen Eimer, der komplett mit Wasser gefüllt ist, an einem Seil aus einem Brunnen. Während der Eimer sich nach oben bewegt, ist die nach oben gerichtete Kraft, die das Seil auf den Eimer ausübt, konstant und genauso groß wie die nach unten gerichtete und konstante Gravitationskraft.	Ein Fahrstuhl wird in einem Fahrstuhlschacht von einem Stahlschliff mit konstanter Geschwindigkeit nach oben gezogen.
	
Welche der folgenden Aussagen beschreibt die Bewegung des Eimers dabei am besten? Kreuzen Sie diese an.	Welche der folgenden Aussagen beschreibt die Kräfte, die in diesem Zeitraum auf den Fahrstuhl wirken, am besten? Kreuzen Sie diese an.
<p>Randbedingungen:</p> <p>Zu vernachlässigen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Reibung zwischen Seil und Rolle Kräfte, die durch die Luft ausgeübt werden <p> <input type="radio"/> Seine Geschwindigkeit nimmt ab, da der volle Eimer sehr schwer ist und seine Masse daher der Bewegung entgegenwirkt. <input type="radio"/> Seine Geschwindigkeit ist konstant, weil sich die Kraft, die das Seil auf den Eimer ausübt und die Gravitationskraft kompensieren. <input type="radio"/> Seine Geschwindigkeit nimmt ab, weil sich die Kraft, die das Seil auf den Eimer ausübt und die Gravitationskraft kompensieren. <input type="radio"/> Die Geschwindigkeit des Eimers ist konstant, weil sie durch die konstante Kraft, die das Seil auf den Eimer ausübt, bestimmt wird. </p>	<p>Randbedingungen:</p> <p>Zu vernachlässigen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Reibung zwischen Rolle und Seil Reibung zwischen Fahrstuhl und Schachtwänden Kräfte, die durch die Luft ausgeübt werden <p> <input type="radio"/> Auf den Fahrstuhl wirkt nur die Gravitationskraft nach unten. Er bewegt sich aber dennoch nach oben, da das Stahlschliff an der Decke mechanisch aufgerollt wird. <input type="radio"/> Auf den Fahrstuhl wirkt nur eine Kraft nach oben, die vom Seil auf den Fahrstuhl ausgeübt wird, und die dafür sorgt, dass der Fahrstuhl nach oben gezogen wird. <input type="radio"/> Auf den Fahrstuhl wirken die Gravitationskraft nach unten sowie eine größere Kraft nach oben, die vom Seil auf den Fahrstuhl ausgeübt wird. <input type="radio"/> Auf den Fahrstuhl wirken die Gravitationskraft nach unten und eine gleich große Kraft nach oben, die vom Seil auf den Fahrstuhl ausgeübt wird. </p>

Abb. 1: Kontrast „Formulierungsrichtung“ (l.: Kraft → Bewegung, r.: Bewegung → Kraft)

Zur Vorbereitung einer niveaudifferenzierenden Auswertung wurden die geschlossenen Aufgaben dabei im Ordered Multiple Choice-Format (OMC) angelegt, sodass allen auf SV basierenden Antwortmöglichkeiten je ein Verständnisebene zugeordnet werden konnte (u. a. Briggs et al., 2006; Hadenfeldt & Neumann, 2012). Die offenen Aufgaben (Kräfte einzeichnen & benennen, Freitext) wurden entsprechend parallelisiert und sind im Testheft den geschlossenen Aufgaben vorangestellt.

Um eine möglichst große Anzahl an Aufgaben zu erproben, wurde ein Booklet-Design (z. B. Frey, Hartig & Rupp, 2009) verwendet. Im Zuge dessen wurden vier Testhefte mit je 46 Aufgaben (11 offen, 35 geschlossen) erstellt, die durch Ankeraufgaben (5 offen, 13 geschlossen; identisch in allen Heften) verknüpft werden können. Die Bearbeitungszeit für ein Testheft beträgt 60 min. Dabei darf nicht zurückgeblättert werden, um Effekte der hinteren Aufgaben auf die vorderen Aufgaben (z. B. offen vor geschlossen) zu vermeiden.

Datenerhebung und Auswertung

Im Anschluss an die Testentwicklung konnte das erste Testheft in einer Rohfassung mit $N = 17$ Examenskandidaten pilotiert werden. Nach einer Überarbeitung und der daraufhin erfolgten Konstruktion der anderen drei Testhefte, wurden diese zum einen bei Studierenden ($N = 199$) am Ende zweier Mechanikvorlesungen (VL1: Physik im Hauptfach, $N = 85$; VL2: Physik im Nebenfach, $N = 114$) und zum anderen bei S*S ($N = 157$) nach dem Mechanikunterricht (E-Phase & Q1) eingesetzt. Um einen ersten Einblick in die Ergebnisse und das Potential des Testinstruments zu erhalten, wurden in einem ersten Zugang nur die geschlossenen Aufgaben ausgewertet und zunächst dichotom kodiert (1: „richtig“; 0: „falsch“) sowie erste deskriptive Analysen durchgeführt.

Erste Ergebnisse

Hinsichtlich der Reliabilität lässt sich festhalten, dass für die einzelnen Testhefte (sehr) gute Werte ($0,86 < \alpha_c < 0,93$; basierend auf den Rohdaten der Teilstichprobe „S*S & Studierende“) erzielt werden konnten. Es zeigt sich, dass die Lösungswahrscheinlichkeiten von Aufgabenmerkmalen abhängen: Bei der gemeinsamen Betrachtung von S*S und Studierenden ($N = 356$) zeigen sich insbesondere Unterschiede in den Lösungswahrscheinlichkeiten der Aufgaben zum 1. Newtonschen Axiom. Aufgaben, bei denen der betrachtete Körper ruht, weisen eine deutlich höhere Lösungswahrscheinlichkeit auf (Mdn: 72%; SD: 10%) als Aufgaben, bei denen sich der Körper mit konstanter Geschwindigkeit bewegt (Mdn: 22%; SD: 18%). Weiterhin zeigte sich, dass Aufgaben zur konstanten Geschwindigkeit in der Formulierungsrichtung „Bewegung \rightarrow Kraft“, deutlich schlechter gelöst werden (Mdn: 16%; SD: 5%) als Aufgaben in der Formulierungsrichtung „Kraft \rightarrow Bewegung“ (Mdn: 47%; SD: 12%, vgl. Abb. 2). Diese Befunde liefern exemplarisch erste Hinweise darauf, dass die Aktivierung von Vorstellungen mit verschiedenen Aufgabenmerkmalen zusammenhängen könnte und somit situationsabhängig erfolgt (FF2).

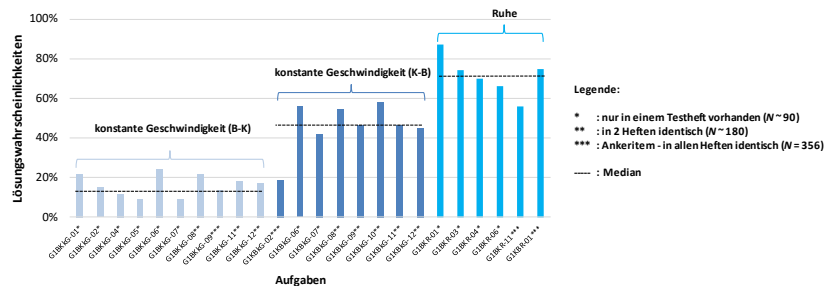


Abb. 2: Lösungswahrscheinlichkeiten 1. Newtonsches Axiom (S*S & Studierende)

Ausblick

In einem vertieften Zugang sollen die Antworten geschlossener Aufgaben jeweils mit dem zugehörigen Wert des Verständnisniveaus kodiert und polytom ausgewertet werden. Durch die Verwendung des Booklet-Designs können die Testhefte miteinander verknüpft und auf einer gemeinsamen Skala mit Hilfe der Rasch-Analyse (Winsteps) dargestellt werden. Dabei soll zusätzlich die Prüfung psychometrischer Kennwerte (z. B. Itemfit, DIF, Reliabilität, z. B. nach Boone et al., 2014) erfolgen. Verschiedene Validierungsschritte (z. B. kognitive Validierung mittels lautem Denken) sind in Planung. Auf der Rasch-Skalierung der Rohwerte basierende statistische Analysen (z. B. *t*-Tests) sowie die Verknüpfung parallelisierter Aufgaben in geschlossenen und offenen Formaten sollen u. a. Hinweise über einen möglichen Zusammenhang zwischen aktivierten Vorstellungen und Aufgabenmerkmalen liefern (FF2). Für die offenen Aufgaben wird dazu aktuell ein Kategoriensystem entwickelt.

Literatur

- Alonzo, A. C. & v. Aufschnaiter, C. (2018). Moving beyond misconceptions: Learning progressions as a lens for seeing progress in student thinking. *The Physics Teacher*, 56(7), 470-473.
- Alonzo, A. C. & Steedle, J. T. (2009). Developing and assessing a force and motion learning progression. *Science Education*, 93(3), 389-421.
- Boone, W. J., Staver, J. R. & Yale, M. S. (Hrsg.). (2014). *Rasch analysis in the human sciences*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Briggs, D., Alonzo, A., Schwab, C. & Wilson, M. (2006). Diagnostic assessment with ordered multiple-choice items. *Educational Assessment*, 11(1), 33-63.
- Bruggmann Minnig, M. (2011). *Innere Differenzierung im Physikunterricht: Eine multimethodische Analyse von Lehr-Lern-Überzeugungen und unterrichtlichem Handeln*. Basel: Universität Basel.
- Ferreira, A., Lemmer, M. & Gunstone, R. (2019). Alternative conceptions: Turning adversity into advantage. *Research in Science Education* 49(3), 657-678.
- Frey, A., Hartig, J. & Rupp, A. A. (2009). An NCME instructional module on booklet designs in large-scale assessments of student achievement: Theory and practice. *Educational Measurement: Issues and Practice* 28(3), 39-53.
- Gruehn, S. (2000). Unterricht und schulisches Lernen. Schüler als Quellen der Unterrichtsbeschreibung (Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie, Bd. 12). Münster: Waxmann.
- Hadenfeldt, J. C. & Neumann, K. (2012). Die Erfassung des Verständnisses von Materie durch Ordered Multiple Choice Aufgaben. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 18, 317-338.
- Härtig, H. (2014). Das Force Concept Inventory: Vergleich einer offenen und einer geschlossenen Version. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule* 1(13), 53-61.
- Hattie, J. (2009). *Visible learning. A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. London: Routledge.
- Hestenes, D., Wells, M. & Swackhammer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141-158.
- Hopf, M. & Wilhelm, T. (2018). Conceptual Change. In: Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M. & Duit, R. (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- National Research Council (NRC) (2007). *Taking science to school*. Washington, D.C.: National Academies Press.
- Schecker, H. & Wilhelm, T. (2018). Schülervorstellungen in der Mechanik. In: Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M. & Duit, R. (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M. & Duit, R. (Hrsg.) (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Thornton, R. K. & Sokoloff, D. R. (1998): Assessing student learning of newton's laws: The force and motion conceptual evaluation and the evaluation of active learning laboratory and lecture curricula. In: *American Journal of Physics* 66 (4), S. 338-352.
- Wilhelm, T. (2005). Verständnis der newtonschen Mechanik bei bayerischen Elftklässlern – Ergebnisse beim Test „Force Concept Inventory“ in herkömmlichen Klassen und im Würzburger Kinematik-/Dynamikunterricht. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule* 4(2), 47-56.
- Wodzinski, R. (2015). Leistungsheterogenität im naturwissenschaftlichen Unterricht – methodische Ansätze und empirische Befunde. In S. Bernholt (Hrsg.), *Heterogenität und Diversität - Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 31-42). Kiel: IPN.
- Wodzinski, R. (2016). Heterogenität im Physikunterricht. Fachdidaktische Herausforderungen. *Plus Lucis*, 2, 2-5.