

Kerstin Lindmaier¹
Lana Ivanjek¹
Martin Hopf²

¹Johannes Kepler Universität Linz
²Universität Wien

Entwicklung eines Multiple-Choice-Tests zur Newtonschen Mechanik für die Sekundarstufe I

Im Rahmen eines Design-Based Research-Projekts zur Entwicklung digitaler und analoger Unterrichtsmaterialien basierend auf dem 2DD-Mechanikkonzept wurde die Entwicklung eines Testinstruments zur Überprüfung des konzeptionellen Verständnisses von Schüler:innen der Sekundarstufe I initiiert. Eine vorhergehende Recherche hatte gezeigt, dass keines der bisher entwickelten Evaluierungswerkzeuge die Anforderungen (Altersstufe, online durchführbar, passend zum zweidimensionalen Mechanik-Konzept etc.) ganz erfüllte. Der Multiple-Choice Test umfasst 45 Items und prüft das Verständnis der Lernenden für Geschwindigkeit, Tempo, Kraft, Bewegung, Zusatzgeschwindigkeit und das 3. Newtonsche Gesetz ab. Das Testinstrument wurde, aufgeteilt in zwei Testhefte, von über 160 Schüler:innen der sechsten Klasse der Sekundarstufe I bearbeitet. Diese hatten zuvor ca. 20 Unterrichtseinheiten zum Thema Mechanik absolviert. Mit Hilfe des Raschmodells wurde anschließend überprüft, ob das neue Instrument ein stabiles Konstrukt bildet. Der Testentwicklungsprozess und erste Ergebnisse sollen im Folgenden vorgestellt werden.

Einleitung

Frühere Untersuchungen haben gezeigt, dass Lernende aller Klassenstufen weit verbreitete Schwierigkeiten mit dem Mechanikverständnis haben. Dazu gehören die mangelnde Unterscheidung zwischen Geschwindigkeit, Tempo und Beschleunigung sowie Probleme dabei, Kräfte richtig zu interpretieren und Trägheitsphänomene zu erkennen (Hestenes et al., 1992). Die Physikdidaktik hat den Lehrkräften bisher verschiedene Unterrichtskonzepte zur Verfügung gestellt, um diesen Herausforderungen zu begegnen. Ein solches Konzept für die 7. Schulstufe (das 2DD-Konzept) wurde in den letzten Jahrzehnten in Deutschland entwickelt. (Spatz et al., 2020) Es konzentriert sich auf die zweidimensionale Bewegung und verzichtet auf den Begriff „Beschleunigung“. 2023 trat ein neuer Lehrplan (*Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen*, 2023) für die Sekundarstufe I in Österreich in Kraft, der nun ebenfalls die Vermittlung zweidimensionaler Bewegungen betont und sich zusätzlich für die Digitalisierung in der Schule einsetzt, was eine Adaption des 2DD-Konzepts erforderlich macht. Um die Wirksamkeit dieses Ansatzes zu evaluieren, ist ein neues konzeptionelles Instrument erforderlich.

Bisher verfügbare Testinstrumente

Ein Literaturüberblick zeigt verschiedene Testinstrumente mit Schwerpunkt auf Mechanik, wie z. B. den Force Concept Inventory (FCI) (Hestenes et al., 1992) und seine Varianten [Half-FCI (Han et al., 2015), Animated FCI (Dancy & Beichner, 2006), Representational Variant of the FCI (Nieminen et al., 2010), Gender-FCI (McCullough, 2011)]. Diese werden eingesetzt, um Fehlvorstellungen im Bereich der Mechanik bei College- und Highschool-Schüler:innen zu ermitteln.

Der Simplified-FCI (Osborn Popp & Jackson, 2009) unterscheidet sich insofern, als seine angepasste Sprache es ermöglicht, ihn auf Schüler:innen der Mittelstufe anzuwenden. Eine inhaltliche Anpassung fand jedoch nicht statt.

Ein weiteres Instrument, der Mechanics Base Line-Test (MBT) (Hestenes & Wells, 1992), wird für Oberstufenschüler:innen und Student:innen empfohlen, die sich auf Kinematik, Energie, Kräfte und Impuls konzentrieren, ähnlich wie die Force and Motion Conceptual Evaluation (Thornton & Sokoloff, 1998), die 1998 entwickelt und seitdem mehrmals überarbeitet wurde. Weitere Testinstrumente für die Mechanik auf Hochschulebene sind der Force, Velocity and Acceleration-Test (Rosenblatt & Heckler, 2011), der Mechanics Diagnostic Test (I. A. Halloun & Hestenes, 1985) und das Inventory of Basic Conceptions-Mechanics (I. Halloun, 2007).

Im deutschsprachigen Raum lag der Fokus der Testinstrumente auf der Sekundarstufe I.

Seiter (2021) hat beispielsweise ein Testinstrument entwickelt, dass sowohl für die eindimensionale, als auch für die zweidimensionale Mechanik geeignet ist. Dieses verzichtet jedoch auf Begriffe wie „Zusatzgeschwindigkeit“ und enthält Umrechnungsaufgaben zur Geschwindigkeit, weswegen es für die Testung der neu entwickelten Unterrichtsmaterialien nicht übernommen wurde. Erwähnenswert ist an dieser Stelle auch der FWM-Test (Ludwig et al., 2021), der eigens für die Erhebung des Mechanik-Fachwissens in der Mittelstufe entwickelt wurde. Dieser deckt neben der Kraft auch die Energie, die Leistung, die Arbeit, den Druck und den Auftrieb ab, stellt aber keinen Bezug zum 2DD-Konzept her.

Häufig wird bei der Testentwicklung auch auf bereits bestehende Tools, wie z.B. den FCI (Hestenes et al., 1992), zurückgegriffen. So haben etwa Tobias et al. (Tobias, 2010) die Mehrzahl ihrer Items aus diesem Testinstrument entlehnt.

Forschungsziele

Wie ein Blick in die Literatur zeigt, gibt es zahlreiche Instrumente zur Überprüfung des Verständnisses von Mechanik für Schüler:innen der Sekundarstufe II sowie Student:innen, jedoch nur wenige für die Sekundarstufe I. Darüber hinaus sollte das neue Instrument grundlegende zweidimensionale Bewegungen abdecken und dem Ruf nach Digitalisierung des neuen Lehrplans gerecht werden. Das primäre Forschungsziel für diesen Teil der Studie war daher die Entwicklung eines digitalen Testinstruments zur Beurteilung des konzeptionellen Verständnisses von Mechanik in der Sekundarstufe I. Die zentralen Forschungsziele bestanden darin, herauszufinden, ob das neue Instrument die festgestellten Schwierigkeiten der Schüler:innen mit der Mechanik identifizieren kann und die entwickelten Fragen ein stabiles Konstrukt bilden. Darüber hinaus sollte herausgefunden werden, ob das Testinstrument als Prä-/Posttest eingesetzt werden kann.

Forschungsdesign und Methoden

Im Rahmen des Entwicklungsprozesses wurden zunächst Lernziele definiert und diskutiert. Der Fokus lag dabei auf der Newtonschen Mechanik. Darauf aufbauend und auf Grundlage früherer Studien und bestehender Testinstrumente wurde schließlich ein neues Testtool entwickelt.

Es umfasst: die Beschreibung der Bewegung, den Unterschied zwischen Tempo und Geschwindigkeit, die Zusatzgeschwindigkeit, die Newtonsche Bewegungsgleichung, die Beziehung zwischen Kraft und Bewegung und das dritte Newtonsche Gesetz. In Abbildung eins ist ein Item aus dem Fragebogen dargestellt.

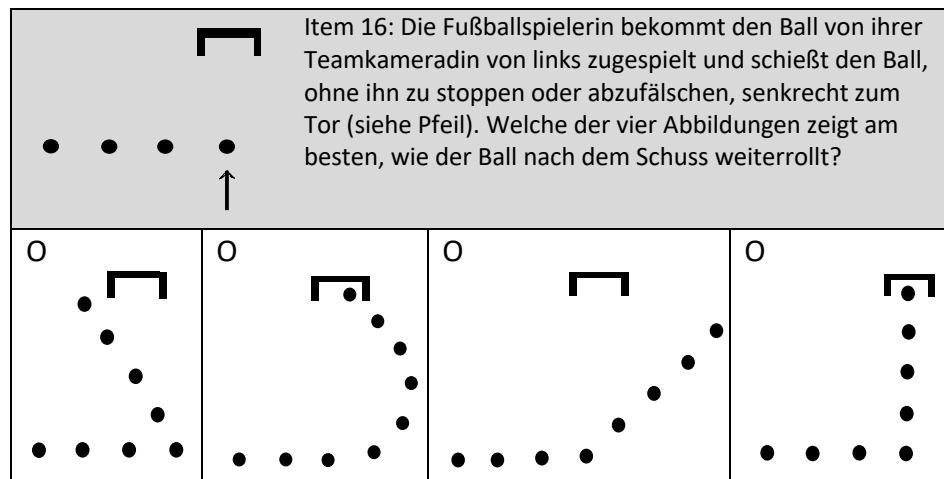


Abb. 1: Exemplarisches Item zur Zusatzgeschwindigkeit

Das Instrument wurde von ca. 160 Schüler:innen der sechsten Klasse österreichischer Mittelschulen und Gymnasien bearbeitet. Alle Schülerinnen und Schüler hatten zuvor an durchschnittlich 20 Unterrichtseinheiten zum Thema *Mechanik* teilgenommen. Die Daten wurden mit der WINSTEPS-Software (*WINSTEPS Rasch Software - Winsteps Facets*, 2024) für Rasch-Modellierung analysiert, um lineare Maße für die Itemschwierigkeiten zu erhalten und um zu überprüfen, ob das neue Instrument ein stabiles Konstrukt bildet.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen:

Eine erste Analyse ergab eine zufriedenstellende Item-Reliabilität von 0,93. Die Personen-Reliabilität lag jedoch mit 0,34 deutlich darunter. Dies könnte auf mehrere Faktoren zurückzuführen sein. Zunächst war der Testzeitpunkt mit den letzten Wochen des Semesters sehr spät angesetzt. Darüber hinaus wurden die Testungen von unterschiedlichen Lehrkräften online in ihrem Unterricht durchgeführt, ohne vorherige Einweisung durch die Studienleitung. Eine weitere Hürde stellt die Tatsache dar, dass das 2DD-Mechanikkonzept zwar in den österreichischen Lehrplan aufgenommen wurde, die Umsetzung jedoch erst stufenweise beginnt. Die befragten Schüler:innen wurden also noch nach herkömmlichen Standards unterrichtet. Das wäre eine Erklärung dafür, dass die Schwierigkeit einiger Items über der Personenfähigkeit lag. Insgesamt konnte eine Mehrheit der Items jedoch zur Zufriedenheit gelöst werden.

Im nächsten Schritt wird der Fragebogen nun adaptiert und mit einer neuen Stichprobe getestet. Die Durchführung soll zukünftig von der Studienleitung abgewickelt werden, um eine bessere Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Literatur

- Dancy, M. H. & Beichner, R. (2006). Impact of animation on assessment of conceptual understanding in physics. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 2(1). <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.2.010104>
- Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen. (2023). <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568>
- Halloun, I. (2007). *Evaluation of the Impact of the New Physics Curriculum on the Conceptual Profiles of Secondary Students*.
- Halloun, I. A. & Hestenes, D. (1985). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53(11), 1043–1055. <https://doi.org/10.1119/1.14030>
- Han, J., Bao, L., Chen, L., Cai, T., Pi, Y., Zhou, S., Tu, Y. & Koenig, K. (2015). Dividing the Force Concept Inventory into two equivalent half-length tests. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 11(1). <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.11.010112>
- Hestenes, D. & Wells, M. (1992). A mechanics baseline test. *The Physics Teacher*, 30(3), 159–166. <https://doi.org/10.1119/1.2343498>
- Hestenes, D., Wells, M. & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141–158. <https://doi.org/10.1119/1.2343497>
- McCullough, L. (2011). *Gender Differences in Student Responses to Physics Conceptual Questions Based on Question Context*. Presented at: ASQ Advancing the STEM Agenda in Education, the Workplace and Society, University of Wisconsin-Stout.
- Nieminen, P., Savinainen, A. & Viiri, J. (2010). Force Concept Inventory-based multiple-choice test for investigating students' representational consistency. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 6(2). <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.6.020109>
- Osborn Popp, S. & Jackson, J. (2009). *Can Assessment of Student Conceptions of Force be Enhanced Through Linguistic Simplification?* Presented at: American Educational Research Association, San Diego.
- Rosenblatt, R. & Heckler, A. F. (2011). Systematic study of student understanding of the relationships between the directions of force, velocity, and acceleration in one dimension. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 7(2). <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.7.020112>
- Spatz, V., Hopf, M., Wilhelm, T., Waltner, C. & Wiesner, H. (2020). Introduction to Newtonian mechanics via two-dimensional dynamics. The effects of a newly developed content structure on Bavarian Middle School Students. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 8(2), 76–91.
- 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. *American Journal of Physics*, 66(4), 338–352. <https://doi.org/10.1119/1.18863>
- Tobias, V. (2010). *Newtonsche Mechanik im Anfangsunterricht: Die Wirksamkeit einer Einführung über die zweidimensionale Dynamik auf das Lehren und Lernen* [Dissertation]. Ludwig-Maximilians-Universität München, München.
- WINSTEPS Rasch Software - Winsteps Facets. (2024, 15. Februar). <https://www.winsteps.com/winsteps.htm>