

Pascal Klein<sup>1</sup>  
 Sebastian Gröber<sup>1</sup>  
 Jochen Kuhn<sup>1</sup>  
 Andreas Müller<sup>2</sup>

<sup>1</sup>TU Kaiserslautern  
<sup>2</sup>Université de Genève

## Experimentelle Aufgaben in den Übungen zur Experimentalphysik 1

Die Wirksamkeit konventioneller vorlesungsbasierter Physik-Einführungsveranstaltungen wurde in den letzten Jahrzehnten häufig in Frage gestellt: Ein adäquates Konzeptverständnis wird nur unzureichend ausgebildet, in Vorlesungen demonstrierte Experimente bleiben hinter der erwarteten Lernleistung zurück und Laborpraktika fördern kaum experimentelle Kompetenzen (z. B. Crouch et al., 2004). Vor diesem Hintergrund wurden zahlreiche Innovationen entwickelt, die das gemeinsame Ziel teilen, die Lernleistung der Studierenden vor allem durch eine erhöhte „*kognitive Aktivierung*“ zu verbessern (z. B. Peer Instruction, Interactive Engagement, s. Crouch & Mazur, 2001). Eine Meta-Analyse über 71 Interventionsstudien in der Eingangsphase Physik zeigte überwiegend positive Resultate, die mit einer mittleren Effektstärke von  $d = 0.59$  der traditionellen Lehre ( $d = 0.2$ ) überlegen sind (Ruiz-Primo et al., 2011). Der mit den Innovationen verbundene Aufwand ist jedoch teilweise enorm hoch und erfordert z. B. eine Umstrukturierung der in Deutschland weit verbreiteten dreigeteilten Studieneingangsphase (Vorlesung, Übung, Praktikum). Das Projekt „*physics.move*“ der TU Kaiserslautern setzt in den wöchentlichen vorlesungsbegleitenden Übungen an und ergänzt traditionelle Aufgabenstellungen (T) um experimentelle Anteile, die im gegenseitigen Wechselspiel stehen. Mit geringem organisatorischen Mehraufwand erhalten die Studenten einerseits eine Vorbereitung auf das anschließende Laborpraktikum und durch das Aufgreifen von Vorlesungsexperimenten andererseits eine Vertiefung der Inhalte. Darüber hinaus sollen die Studierenden durch das neue Aufgabenformat motivierter und leistungsfähiger sein. Konkret erhalten die Studierenden eine an eine traditionelle Aufgabenstellung angelehnte Videoaufzeichnung eines Realexperiments, welche sie mit Hilfe geeigneter Software analysieren und auswerten (*Videoanalyse-Aufgabe*, *VA-Aufgabe*). Außerdem führen Studierende Freihandexperimente mit Alltagsmaterialien durch, videografieren diese mit einem Tablet-PC und werten sie anschließend aus (*mobile Videoanalyse-Aufgabe*, *mVA-Aufgabe*).

### Instruktionsmaterial

Videoanalyse-Aufgaben sind als Sequenz zusammenhängender theoretischer und video-basierter experimenteller Teilaufgaben definiert (Gröber et al., 2014). Sie haben das Ziel, die Theoriebildung durch das Wechselspiel mit experimentellen Aktivitäten und durch erhöhte Anschaulichkeit physikalischer Sachverhalte zu unterstützen. Zu den experimentellen Aktivitäten gehören das Messen von Winkeln und Strecken im Video, die Aufnahme kinematischer Größen (Ort-Zeit-Daten, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen) und die Auswertung der Messungen in Form von Diagrammen, Tabellen oder Vektorbildern.

Mobile Videoanalyse-Aufgaben umfassen das eigenständige Experimentieren mit wenigen Alltagsmaterialien und fokussieren auf Hypothesenbildung und -prüfung. Der mathematische Anspruch der Aufgaben ist zugunsten experimentell-operativer und analytischer Fertigkeiten (Variablenisolation, -variation und -kontrolle) reduziert.

Die Aufgaben kontrastieren sich gegenüber bisherigen konventionellen Aufgaben durch

- qualitative, konzeptorientierte Fragestellungen, die auf Beobachtungen basieren,
- experimentelle Aufgabenanteile, die eine (Selbst)Kontrollmöglichkeit der Theorie bieten,
- das explizite Nutzen multipler Repräsentationen (z. B. Diagramme) beim Problemlösen.

### Theoretischer Hintergrund, Hypothesen und Forschungsfragen

Die *Conceptual Change Theory* (CCT) hebt die aktive Rolle im Lernprozess als notwendige Bedingung zur Wissenskonstruktion hervor. Im Sinne der CCT beschreibt diSessa die Entwicklung des konzeptionellen Verständnisses durch die Reorganisation von Wissensfragmenten („knowledge in pieces“) zu einer kohärenten, belastungsfähigen Struktur. Die skizzierten Aufgabenformate erreichen diese kognitive Aktivierung durch das eigenständige Experimentieren (Planen, Durchführen, Messen, Auswerten) und durch die stete Theorie-Experiment-Wechselwirkung (Kontrollinstanz und Antrieb zur Weiterarbeit). Daraus leitet sich folgende Hypothese ab:

**(H1)** Das Arbeiten mit einer Kombination von T-, VA- und mVA-Aufgaben führt zu größerem Lernerfolg, d. h. zu einem besseren **Konzeptverständnis (der Kinematik) (KK)** als das Arbeiten mit ausschließlich traditionellen Aufgaben.

Die Einschränkung auf das Themengebiet Kinematik ist ein erster Schritt und begründet sich aus der thematischen Nähe zwischen Inhalt und Analyseverfahren. Ganz im Sinne der Innovation zielt der Vergleich auf einen Aufgabenmix ab, denn bestehende Formate sollen nicht per se ersetzt, sondern sinnvoll ergänzt werden. In Anlehnung an eine vorangegangene Studie untersuchen wir in diesem Beitrag ferner die Entwicklung des akademischen Selbstkonzepts (Klein et al., 2013) und übernehmen die dort motivierte Hypothese:

**(H2)** Das Arbeiten mit einer Kombination von T-, VA- und mVA-Aufgaben führt zu einer größeren Motivation und zu höherem **akademischen Selbstkonzept (SK)** als das Arbeiten ausschließlich mit traditionellen Aufgaben.

Das wahrgenommene SK hat einen großen Einfluss auf das Lernverhalten und kann in schwierigen Lernsituationen entscheidender sein als die eigentliche Leistungsfähigkeit. Folgende Forschungsfragen liefern Aussagen zur Vergleichbarkeit der Aufgabenformate:

**(FF1/2)** Gibt es Unterschiede im wahrgenommenen **Cognitive Load (CL)** oder in der **Bearbeitungszeit (BZ)** bei gleichen Aufgaben unterschiedlicher Formate (T-VA-mVA)?

### Studiendesign und Testinstrumente

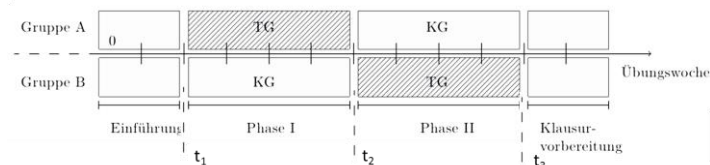


Abb. 1: Rotationsdesign. KG=Kontrollgruppe, TG=Treatmentgruppe

Diese Hypothesen und Forschungsfragen werden durch eine empirische Längsschnittstudie im KG/TG-Rotationsdesign untersucht. Die Kontrollgruppe arbeitet mit rein traditionellen Aufgaben (drei Aufgaben/Woche), während die Treatmentgruppe eine traditionelle und zwei VA/mVA -Aufgaben bearbeitet. Um den Zeitaufwand in beiden Gruppen konstant zu halten, werden die T-Aufgaben um weiterführende Rechenaufgaben ergänzt. Die Intervention dauert vier Wochen während des regulären Vorlesungsbetriebes (VL-Woche 3-6); danach tauschen die Gruppen für weitere vier Wochen ihre Rollen (VL-Woche 7-10). Die Testung der Zielvariablen findet unmittelbar vor der Instruktion (Prä, t<sub>1</sub>), zum Zeitpunkt des Gruppenwechsels (Post1, t<sub>2</sub>) und zum Ende der Intervention (Post2, t<sub>3</sub>) in den Übungen statt. Das akademische Selbstkonzept wird mit einem Fragebogen (adaptiert aus Kuhn, 2010; 11 Items, Cronbachs  $\alpha = 0.91$ ) erhoben, ebenso die kognitive Belastung (10 Items, Cronbachs  $\alpha = 0.90$ ). Das Konzeptverständnis der Kinematik wird durch eine modifizierte Subskala des FCI getestet. Als Kovariaten werden die Vorleistung in Physik und Mathematik sowie die Abiturnote zu Beginn des Semesters anonym erfragt (freiwillige Angabe). Die Erhebung der Bearbeitungszeit beruht auf Selbsteinschätzung der Studierenden.

## Ergebnisse

An dieser Stelle wird nur das Ergebnis zwischen Prä- und Post1-Test berichtet. Im Wintersemester 13/14 nahmen 42 Studenten (davon 31 männlich, 27 Hauptfach-, 3 Lehramtstudenten, 12 o. A.) an der Intervention teil, davon befanden sich 16 in der Treatmentgruppe (13 männlich). Die Daten wurden mittels einer ANCOVA mit Messwiederholung analysiert.

*Leistung:* Es zeigte sich ein signifikanter Zuwachs von KK in beiden Gruppen mit unterschiedlichen Effektgrößen:

Treatmentgruppe:  $F(1, 15) = 29.16^{***}$ , Cohen  $d = 1.50$ , Hake-Faktor  $g = 0,52$

Kontrollgruppe:  $F(1, 25) = 3.80^*$ ,  $d = 0.77$ ,  $g = 0,22$

Der Hake-Faktor  $g = (\%post - \%pre) / (100 - \%pre)$  ist ein gebräuchliches Maß des Leistungszuwachses (Coletta et al., 2007). Die erzielten Werte stimmen mit den Ergebnissen über traditionelle Lehre ( $g \approx 0.2$ ) und interaktive konzeptorientierte Methoden ( $g = 0.3-0.6$ ) überein (ebd.). Der positive Effekt der Intervention zeigt sich auch in signifikanten gruppenspezifischen Unterschieden des Leistungsverlaufes:  $F(1, 37) = 5.31^*$ ,  $d = 0.76$ .

*Motivation:* Hier konnten aufgrund identischer Instrumente Daten aus der aktuellen und der vorangegangenen Studie (Klein et al., 2014) aggregiert werden. Gruppenspezifische Unterschiede im Verlauf des SK waren signifikant:  $F(1, 48) = 8.6^{**}$ ,  $d = 0.85$ . Dies bestätigt die zuvor erzielten Ergebnisse größerer Stichprobe (ebd.). Signifikante Einflüsse der Kovariaten auf den Zeitverlauf wurden jeweils nicht festgestellt. Bezüglich FF1 und 2 ergaben sich keine sign. Unterschiede im CL und BZ.

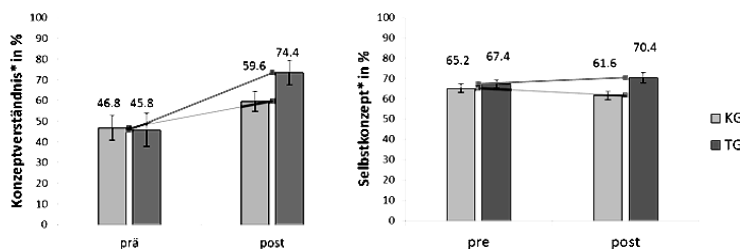


Abb. 2: Auf Kovariaten adjustierte Mittelwerte der Zielvariablen

## Danksagung

Wir danken der Wilfried-und-Ingrid-Kuhn Stiftung für Physikdidaktik für die finanzielle Förderung des Erstautors und dem Fachbereich Physik der TU Kaiserslautern für die hervorragende Kooperation.

## Literatur

- Coletta, V.P., Phillips, J.A. and Steinert, J.J. (2007). Interpreting Force Concept Inventory scores: Normalized gain and SAT scores. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 3(1).
- Crouch, C. H.; Fagen, A. P.; Callanc, J. P. & Mazurd, E. (2004). Classroom demonstrations: Learning tools or entertainment? In: *American Journal of Physics*, 72, S. 835-838.
- Crouch, C.H. & Mazur, E. (2001). Peer Instruction: Ten years of experience and results. In: *American Journal of Physics* 69, 9, S. 970-977.
- Gröber, S., Klein, P. & Kuhn, J. (2014). Video-based problems in introductory mechanics physics courses. *Eur. J. Phys.* 35 055019.
- Klein, P., Gröber, S., Kuhn, J. & Müller, A. (2013). Experimentelle Aufgaben in den Übungen zur Experimentalphysik 1. In D. Höttecke (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science- und Fachunterricht. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in München 2013* (S. 312 - 314). Kiel: IPN.
- Kuhn, J. (2010). *Authentische Aufgaben im theoretischen Rahmen von Instruktionen- und Lehr-Lern-Forschung: Effektivität und Optimierung von Ankermedien für eine neue Aufgabenkultur im Physikunterricht*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Ruiz-Primo, M. A., Briggs, D., Iverson, H., Talbot, R., & Shepard, L. A. (2011). Impact of undergraduate science course innovations on learning. In: *Science*, 331, 6022, S. 1269-1270.