

Argumentationen in Real- und Simulationsexperimenten: Ergebnisse einer experimentellen Laborstudie

Hintergrund

Das Experiment spielt eine tragende Rolle im Physikunterricht. Seit einigen Jahren werden jedoch vermehrt Computersimulationen sowohl im Physikunterricht als auch in der Forschung (z. B. Künsting et al., 2008; de Jong & van Joolingen, 1998) eingesetzt, hier insb. als effiziente Methode zur Erfassung von Schülertätigkeiten beim Experimentieren. Die experimentellen Vorgehensweisen und epistemologischen Voraussetzungen können in beiden Medien jedoch sehr unterschiedlich sein, z. B. hinsichtlich der Datengenerierung vs. -reproduktion, des Zeitaufwands, der Dimensionalität des Aufbaus, der Vereinfachung bzw. Komplexität des Handlings und der Manipulation sowie hinsichtlich des Umgangs mit Fehlern (z. B. Olympiou & Zacharia, 2012). Bisherige Ergebnisse bzgl. der Unterschiede beim Arbeiten mit realen und virtuellen Experimenten zeigen divergierende Befunde (z. B. Smetana & Bell, 2012). Bei der Analyse bisheriger Vergleichsstudien zum Thema zeigt sich eine auffällige Auswahl der untersuchten abhängigen Variablen. Der überwiegende Teil dieser Arbeiten fokussiert eher auf output-orientierte Variablen (z. B. Fachwissen, Effizienz) als auf zugrunde liegende kognitive Prozesse beim Experimentieren. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher, den Einfluss des Mediums auf Argumentationen beim Experimentieren zu klären.

Vorarbeiten

Wie aber argumentieren Schülerinnen und Schüler beim physikalischen Experimentieren? In Vorarbeiten wurde eine Experimentiersituation entwickelt, dessen zugrunde liegender Inhalt bei vielen Lernenden fachlich falsche Präkonzepte hervorruft. Das Experiment konfrontiert die Lernenden daher mit nicht-hypothesenkonformen Ergebnissen und bietet somit einen Anlass, für oder gegen eine zuvor aufgestellte Hypothese zu argumentieren. In einer Interviewstudie konnten die von Lernenden gegebenen Argumentationen in zehn Argumentkategorien sortiert (Ludwig & Priemer, 2013) und entsprechend des *Elaboration-Likelihood-Model of Persuasion* (ELM, Petty & Cacioppo, 1986) klassifiziert werden: Dabei unterscheiden wir zwischen peripheren Argumentkategorien, d. h. solche, die auf eine eher non-rationale sowie an Heuristiken und Cues orientierte Verarbeitung schließen lassen, und zentralen Argumentkategorien. Diese sind von einer intensiven sachlogisch-rationalen Verarbeitung der Information geprägt. Das ELM modelliert die Verarbeitung persuasiver Nachrichten (hier: Experiment mit nicht-hypothesenkonformen Ergebnissen) und nennt auf die Zentralität bzw. Peripherität einflussnehmende persönliche Faktoren (hier: Fachwissen Mechanik, Kognitionsbedürfnis, situationales Interesse und Wertschätzung der Naturwissenschaften). Auf der Basis dieser Interviewstudie wurde ein fragebogenbasiertes Instrument zur Erfassung der Argumentationen beim Experimentieren entwickelt (Ludwig & Priemer, 2014).

Fragestellungen (Auszug)

- (1) Welchen Einfluss hat der Typ der Experimentierumgebung – real vs. virtuell – auf die Stärke der Verwendung bestimmter Argumente
- (2) Lassen sich die aus dem ELM vorhergesagten Einflüssen persönlicher Merkmale auf die Stärke der Verwendung verschiedener Argumente nachweisen?
- (3) Welchen Einfluss hat die Verwendung der Argumentkategorien auf die Entscheidung zum Wechseln bzw. Beibehalten einer Hypothese?

Method

Die aufgeführten Forschungsfragen wurden in einem randomisiert-experimentellen Design mit 934 Probanden (\bar{X} Alter 14.3 Jahre) untersucht. Nach der Erhebung der persönlichen Merkmale (Kognitionsbedürfnis: Bless et al., 1994; Werteinschätzung der Naturwissenschaften: Siegel & Ranney, 2003; situationales Interesse verändert nach Lewalter & Willems, 2009) und dem Fachwissen (verändert nach Zander, in Druck) wurden die Probanden aufgefordert, zunächst eine Hypothese zu einem physikalischen Zusammenhang aufzustellen, um diese im Anschluss im realen bzw. virtuellen Experiment zu testen. Danach wurden die angeführten Argumentationen zum Beibehalten bzw. Verwerfen der eingangs aufgestellten Hypothese fragebogenbasiert erfasst. Dieser Test erfasst die folgenden vier Argumentkategorien: Intuition, Expertenwissen, Messunsicherheiten und Evidenz (Ludwig & Priemer, 2014).

Ergebnisse

Von 934 Probanden haben 815 Probanden vor dem Experiment eine falsche Hypothese aufgestellt. Nur diese Fälle werden in den weiteren Analysen berücksichtigt. Die Unterschiedshypothesen wurden mit Hilfe eines Multigruppen-Strukturgleichungsmodells getestet ($\chi^2(1220) = 1961.1$, CFI = .91, RMSEA = .04), dabei wurde der Einfluss der Prädiktoren kontrolliert. Im Hinblick auf Forschungsfrage 1 zeigt sich, dass der Typ der Experimentierumgebung Einfluss auf zwei Argumentkategorien nimmt: Probanden, die mit dem virtuellen Experiment arbeiten, argumentieren weniger mit den Kategorien Intuition ($d = -0.27$, $p < .05$) sowie Messunsicherheiten ($d = -1.08$, $p < .05$). In den Kategorien Expertenwissen und Evidenz zeigen sich keine Unterschiede zwischen den Gruppen. Im Hinblick auf Forschungsfrage 2 konnte ein Strukturmodell etabliert werden ($\chi^2(579) = 1232.4$, CFI = .92, RMSEA = .04), in dem sich das Fachwissen als signifikanter Prädiktor für die Argumentkategorien Evidenz ($\beta = .26$, $p < .05$, $R^2 = .07$) und Intuition ($\beta = -.39$, $p < .05$, $R^2 = .15$) zeigt sowie die persönliche Werteinschätzung der Naturwissenschaften als Prädiktor für die Argumentkategorien Messunsicherheiten ($\beta = .26$, $p < .05$, $R^2 = .14$) und Expertenwissen ($\beta = .12$, $p < .05$, $R^2 = .01$). Das situationale Interesse ist kein signifikanter Prädiktor für die Verwendung der Argumente. Zur Beantwortung von Forschungsfrage 3 wurde ein multiples logistisches Regressionsmodell geschätzt. Die Argumentkategorien stellen hier die unabhängige Variable dar, die Entscheidung zum Beibehalten bzw. Wechseln der (falschen) Hypothese die dichotome abhängige Variable. Signifikant ist der Einfluss der Kategorie Evidenz (Odds Ratio = 3.6) und Messunsicherheiten (OR = 0.5) auf den Hypothesenwechsel, d. h. pro Einheit auf der Likert-Skala steigt die Chance auf einen Hypothesenwechsel um den Faktor 3.6 bzw. sinkt um den Faktor 0.5; hierbei handelt es sich um große Effekte.

Diskussion

Bezüglich der Gruppenunterschiede in der Verwendung bestimmter Argumente zeigt sich lediglich ein bedeutsamer Effekt: Die deutlich geringere Ausprägung der Kategorie Messunsicherheiten bei den Probanden, die mit dem virtuellen Experiment gearbeitet haben, ist erwartungsgemäß, da Messunsicherheiten in Simulationen nicht implementiert sind. In den drei anderen Argumentkategorien zeigten sich hingegen keine bedeutsamen Unterschiede. Dies ist aus der Sicht von Studien, die Computersimulationen zur Beobachtung Lernender beim Experimentieren einsetzen, ein dienliches Ergebnis, da dadurch ein Hinweis für die Legitimität der Übertragbarkeit dieser Ergebnisse auf reale Experimentiersituationen gegeben ist. Aus didaktischer Sicht ist dieses Ergebnis allerdings problematisch, da Schüler den im virtuellen Experiment erhobenen Daten und Beobachtungen offenbar die gleiche Aussagekraft zuschreiben wie Realexperimenten, obwohl Simulationen u. E. nur ein unzutreffendes Bild des Experimentierens zeigen: Die Manipulation einer Programmoberfläche zum Entdecken einer bereits integrierten analytischen Modellierung eines physikalischen Prob-

lems lässt eine Beobachtung des eigentlichen Naturphänomens nicht zu. Der Einfluss personaler Merkmale auf die Argumentationen konnte gezeigt werden, wobei die erklärte Varianz in den Argumentkategorien stark variiert. Auffällig ist, dass das situationale Interesse in diesem Zusammenhang kein bedeutsamer Prädiktor für die Verwendung bestimmter Argumentkategorien ist, obwohl dieses sowohl oft bei der Analyse von Lernprozessen als auch im ELM als einflussnehmende Größe genannt wird. Das Fachwissen zeigt sich als stärkster Prädiktor, der insbesondere die Verwendung der Argumentkategorien Evidenz und Intuition erklären kann. Die Richtung der Zusammenhänge ist dabei im Sinne des ELMs: Je höher das Fachwissen, desto zentraler die Argumentation, desto eher findet eine sachlogische, rationale Analyse der experimentellen Ergebnisse statt. Ein aus physikdidaktischer Perspektive erstrebenswerter Prozess. Bemerkenswert ist ferner der starke Einfluss der Argumentkategorien Evidenz und Messunsicherheiten auf den Hypothesenwechsel (FF3), der hier im Sinne eines Lernzuwachses interpretiert werden kann. Schüler, die stark anhand von Daten und Beobachtungen argumentieren, wechseln eher auf eine fachlich richtige Hypothese, während Schüler eine fachlich falsche Hypothese eher beibehalten, wenn sie die Unsicherheit ihrer Messung bei der Entscheidung berücksichtigen. Aus diesen Befunden lassen sich weitreichende Implikationen für den Physikunterricht ableiten: Die gezielte fachliche Vorbereitung im Hinblick auf den Umgang mit experimentellen Beobachtungen und Messdaten sowie hinsichtlich ihrer Behaftung mit Unsicherheiten im Vorfeld eines im Unterricht durchgeführten Experiments führt zu einer rationaleren bzw. physikalisch adäquateren Verarbeitung der aus dem Experiment gewonnenen Informationen und eher zu einem Lernzuwachs durch das Experiment! In künftigen Arbeiten könnte dieses Desiderat z. B. in Interventionsstudien auf Möglichkeiten der Implementierung in den Physikunterricht überprüft werden.

Literatur

- Bless, H., Wänke, M., Bohner, G., Fellhauer, R. F., & Schwarz, N. (1994). Need for Cognition: Eine Skala zur Erfassung von Engagement und Freude bei Denkaufgaben. *Zeitschrift für Sozialpsychologie*, 25(2), 147–154.
- de Jong, T., & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific Discovery Learning with Computer Simulations of Conceptual Domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179–201.
- Künsting, J., Thillmann, H., Wirth, J., Fischer, H. E., & Leutner, D. (2008). Strategisches Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 55, 1–15.
- Lewalter, D., & Willems, A. S. (2009). Die Bedeutung des motivationsrelevanten Erlebens und des individuellen Fachinteresses für das situationale Interesse im Mathematikunterricht. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 56, 234–257.
- Ludwig, T., & Priemer, B. (2013). Argumentationen bei nicht-hypothesenkonformen Ergebnissen in Real- und Simulationsexperimenten. In S. Bernholt (Hrsg.), *Inquiry-based Learning - Forschendes Lernen* (Bd. 33, S. 731–733). Kiel: IPN.
- Ludwig, T., & Priemer, B. (2014). Ein Instrument zur Erfassung von Argumentationen beim Experimentieren. In S. Bernholt (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science- und Fachunterricht* (Bd. 34, S. 273–275). Kiel: IPN.
- Olympiou, G., & Zacharia, Z. C. (2012). Blending physical and virtual manipulatives: An effort to improve students' conceptual understanding through science laboratory experimentation. *Science Education*, 96(1), 21–47.
- Petty, R. E., & Cacioppo, J. T. (1986). The Elaboration Likelihood Model of Persuasion. In L. Berkowitz (Hrsg.), *Advances in Experimental Social Psychology* (Bd. 19, S. 123–205). Orlando, Florida: Academic Press.
- Siegel, M. A., & Ranney, M. A. (2003). Developing the changes in attitude about the relevance of science (CARS) questionnaire and assessing two high school science classes. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(8), 757–775.
- Smetana, L. K., & Bell, R. L. (2012). Computer Simulations to Support Science Instruction and Learning: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 34(9), 1337–1370.
- Zander, S. (in Druck). Fachwissenstest Mechanik - Sekundarstufe I. In H. E. Fischer (Hrsg.), *Instrumente fachdidaktischer Unterrichtsforschung* (Bd. 1). Essen: Universität Duisburg-Essen.