

Julia Hofmann¹
Josefine Neuhaus¹
Andreas Müller²
Pascal Klein¹

¹Universität Göttingen
²Universität Genf

Förderung des Formelverständnisses durch physikspezifische Betrachtungsweisen

Neben dem Erwerb von experimentellen Fähigkeiten und Konzeptwissen sind der Umgang mit und insbesondere das Verständnis von Gleichungen und Formeln ein zentraler Aspekt naturwissenschaftsspezifischer Kompetenzen. Physikstudierende sollen im Verlauf ihres Studiums die Fähigkeiten entwickeln, Formeln kritisch zu hinterfragen und auf Plausibilität zu überprüfen – Kompetenzen, die zum Studienabschluss gefestigt sein sollten. In Lehrveranstaltungen werden jedoch Strategien zur Förderung von Formelverständnis bisher kaum explizit integriert und instruiert. Um Einblicke in die Entwicklung des Formelverständnisses zu erlangen, wurde daher eine Interventionsstudie im Rahmen einer Veranstaltung zu Elektromagnetismus in der Studieneingangsphase durchgeführt ($N = 116$). Ziel stellte die Förderung vier zentraler Betrachtungsweisen (Dimensions-, Spezialfall-, Grenzfall- und Kovariationsbetrachtung) dar, die unter anderem mithilfe von *Worked Examples* im vorlesungsbegleitenden Übungsbetrieb in Übungszetteln implementiert wurden.

Theoretischer Hintergrund

Beim Lösen von physikalischen Problemen ist neben dem Extrahieren relevanter Informationen, der Erarbeitung eines Lösungsweges sowie der Lösung besonders die Überprüfung des Ergebnisses von großer Bedeutung (Friege, 2001). Dieser meist abschließende Evaluationsschritt des Problemlöseprozesses wird jedoch häufig übersprungen und ausgelassen. Wilcox et al. (2013) kamen in einer Studie mit 172 Studierenden des ersten Physiksemesters in einem Kurs zu Elektromagnetismus zu dem Ergebnis, dass lediglich 8% der Teilnehmenden ihre Lösungen selbstständig reflektierten. Die Ergebnisüberprüfung, bspw. anhand von Faktenwissen, ist jedoch entscheidend, um abzuwägen, ob ein erzielttes Ergebnis physikalisch plausibel ist und die zugrundeliegende Situation adäquat beschreibt (Brandenburger, 2017). Obwohl sich die eigene Intuition erst im Verlauf der Zeit entwickelt, kann sie langfristig hierbei eine wertvolle Unterstützung bieten. Der Formel wird somit vor dem Hintergrund der physikalischen Situation eine Bedeutung im Sinne des *Sense-Makings* zugeschrieben (Odden & Russ, 2019).

Strategien, die sich bereits als nützlich erwiesen haben und zum „Werkzeugkasten“ eines Physikers/einer Physikerin gehören sind bspw. die Betrachtung von Dimensionen (DI), Spezial- (SF), Grenzfällen (GF) und Kovariationen (KO) (Lenz, 2020; Olsho et al., 2023). Im Rahmen einer Mechanik-Veranstaltung haben Hahn et al. (2017) diese und noch weitere sog. *Sense-Making-Strategien* thematisiert und auf wöchentlichen Übungszetteln integriert. Es zeigte sich, dass Studierende häufig Dimensionen und Spezialfälle betrachteten, um eine Lösung zu überprüfen. In weiteren Studien zeigte sich, dass Studierende Betrachtungsweisen zur Überprüfung eines Ergebnisses nicht von selbst anwendeten, wenn sie nicht explizit dazu

aufgefordert wurden (Warren, 2009; Lenz 2018). Studierende benötigen demnach explizite Instruktionen und Übungsgelegenheiten im Umgang mit Plausibilitätsüberprüfungen.

Leitfrage

Können physikspezifische Betrachtungsweisen gezielt gefördert und besser ins Studium integriert werden? Wie schätzen Physikstudierende im ersten Studienjahr DI, SF, GF und KO im Hinblick auf deren Relevanz, ihr eigenes Selbstkonzept und die Integration in bisherige Veranstaltungen ein?

Methode

Forschungsdesign

Innerhalb des vorlesungsbegleitenden Übungsbetriebs wurden auf zwölf Übungszetteln Aufgaben implementiert, die die Betrachtung von DI, SF, GF und KO von eigenständig hergeleiteten Formeln forderte. Thematisch beschäftigte sich die Zweitsemestervorlesung mit Elektrizitätslehre und Magnetismus. In der ersten Hälfte des Semesters (Phase 1) wurden die Studierenden zwei Gruppen (G1 & G2) zugeordnet (s. Abb. 1): G1 überprüfte Formeln unter Zuhilfenahme von DI und KO, während G2 hierfür SF und GF nutzte. Zu Beginn des Semesters wurden in den regulären Tutorien anhand von *Worked Examples* (Renkl, 2014) die gruppenspezifischen Betrachtungsweisen instruiert. In der zweiten Semesterhälfte (Phase 2) wendeten alle Studierenden alle vier Betrachtungsweisen an.

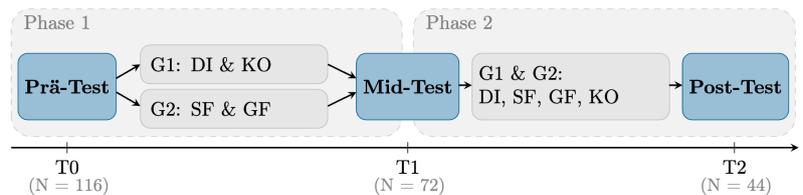


Abb. 1: Design der Interventionsstudie.

Erhebungsinstrumente

Zu Beginn (T_0), in der Mitte (T_1) und am Ende (T_2) des Semesters bearbeiteten die Studierenden jeweils einen Test, bei dem sie DI, SF, GF und KO anwenden sollten. Als Prädiktor umfasste der Test zum Zeitpunkt T_0 Mechanik-Aufgaben und zum Zeitpunkt T_1 und T_2 Aufgaben aus den Bereichen Elektromagnetismus (z. B.: „Im Folgenden soll die physikalische Plausibilität der angegebenen Formel überprüft werden, ohne die Formel selbstständig herzuleiten. Untersuchen Sie einen relevanten Spezialfall der Formel.“).

Die Studierenden beantworteten zudem zu allen drei Zeitpunkten im Hinblick auf jede der vier Betrachtungsweisen jeweils vier Fragen zur Einschätzung des Selbstkonzepts (z. B.: „Die Anwendung der Strategie beherrsche ich gut.“) und zur Relevanz (z. B.: „Ich denke, dass das Beherrschen der Strategie wichtig ist.“). Die Items wurden auf Grundlage des *Intrinsic Motivation Inventory* (Ryan et al., 1983) formuliert. Zusätzlich fragten drei Items nach der Integration in (bisherige) Lehrveranstaltungen (im Sinne eines Manipulation Checks, z. B.: „Die Strategie war explizit Gegenstand vergangener Veranstaltungen.“)

Stichprobe

Zum Zeitpunkt T_0 nahmen 116 Personen an der Erhebung teil (s. Abb. 1). Im Mittel waren die Studierenden 20.3 Jahre alt und gaben eine Abiturnote von 1.6 an. Von den

Teilnehmenden waren 69% im Bachelor of Science Physik, 17% im 2-Fächer Bachelor Lehramt mit Fach Physik und 14% in sonstigen Studiengängen (mit Nebenfach Physik) immatrikuliert. Der Großteil studierte im zweiten Fachsemester (90%) und besuchte die Veranstaltung zum ersten Mal (95%).

Ergebnisse

Für den Zeitpunkt T0 wurden Item- und Skalenanalysen sowie eine explorative Faktorenanalyse durchgeführt. Für jede Betrachtungsweise ließen sich dieselben drei Subskalen extrahieren: Selbstkonzept, Relevanz und die Integration in Veranstaltungen. Es wurde kein Item ausgeschlossen, da übergreifend eine angemessene Trennschärfe ($0.3 < r_{it} < 0.7$) und Reliabilität ($\alpha > 0.7$) erzielt wurden.

Eine einfaktorielles Varianzanalyse mit Messwiederholung (rmANOVA) zeigte für die Einschätzung des Selbstkonzepts zum Zeitpunkt T0 einen signifikanten Innersubjekteffekt bezüglich des Faktors „Betrachtungsweisen“ ($F(3, 330) = 44.53, p < 0.001, \text{part. } \eta^2 = 0.29$, s. Abb. 2a). Das Selbstkonzept von GF ($M_{GF} = 2.4$) unterschied sich signifikant von allen weiteren Betrachtungsweisen ($p < 0.05, M_{DI} = 3.1, M_{SF} = 2.7, M_{KO} = 3.1$). Zudem konnte ein signifikanter Innersubjekteffekt (rmANOVA) sowohl im Hinblick auf die Relevanzeinschätzung (mit Huynh-Feldt Korrektur: $F(2.84, 312.38) = 5.14, p = 0.002, \text{part. } \eta^2 = 0.05$, s. Abb. 2b) als auch auf die Integration in bisherige Veranstaltungen ($F(3, 324) = 15.34, p < 0.001, \text{part. } \eta^2 = 0.12$, s. Abb. 2c) nachgewiesen werden.

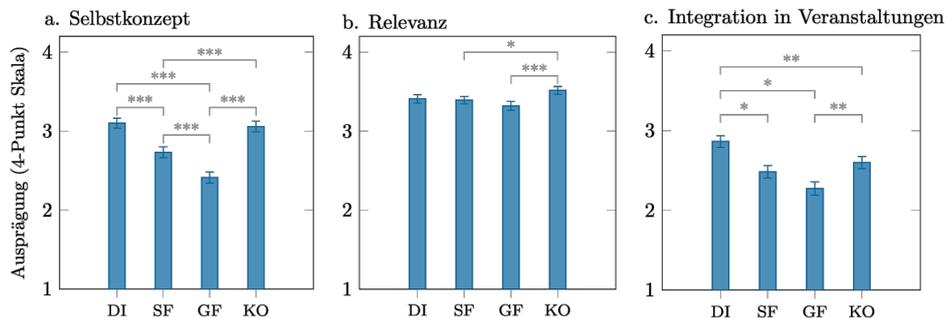


Abb. 2: Selbstkonzept (a), Relevanz (b) und Integration in Veranstaltungen (c) von DI, SF, GF und KO zum Zeitpunkt T0 (1 SEM; *: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$).

Diskussion & Ausblick

Im Allgemeinen zeigt sich, dass die Studierenden jede der vier Betrachtungsweisen als sinnvoll und relevant für das Physik-Studium und den Alltag eines Physikers/einer Physikerin einschätzen. Die Analysen weisen jedoch darauf hin, dass das größte Förderpotential in der Betrachtung von Grenzfällen zu liegen scheint. Sowohl das niedrige Selbstkonzept als auch der als gering wahrgenommene bisherige Einsatz dieser Betrachtungsweise in Lehrveranstaltungen legen nahe, dass besonders diese Betrachtungsweise in Veranstaltungen instruiert und geübt werden sollte. In weiterführenden Analysen wird zum einen der Verlauf der Zielvariablen über das Semester und zum anderen die Performanz der Anwendung aller Betrachtungsweisen anhand spezifischer Bewertungskriterien untersucht (Etkina et al., 2006). Darüber hinaus können weitere Einblicke aufschlussreich sein, welches Maß an Übung erforderlich ist, um die Betrachtungsweisen erfolgreich anzuwenden.

Literatur

- Brandenburger, M. (2017). Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik? Eine Untersuchung mit Studierenden. Logos Verlag Berlin.
- Etkina, E., Van Heuvelen, A., White-Brahmia, S., Brookes, D. T., Gentile, M., Murthy, S., ... & Warren, A. (2006). Scientific abilities and their assessment. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 2(2), 020103.
- Friege, G. (2001). Wissen und Problemlösen: Eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleichs. Logos-Verlag Berlin.
- Hahn, K. T., Emigh, P. J., Lenz, M., & Gire, E. (2017). Student sense-making on homework in a sophomore mechanics course. *PERC Proceedings*.
- Lenz, M. (2020). Sensemaking Throughout the Physics Curriculum: Understanding Expert and Student Ideas About Sensemaking in a Physics Context.
- Lenz, M., Emigh, P. J., & Gire, E. (2018). Surprise! students don't do special-case analysis when unaware of it. *PERC Proceedings*.
- Odden, T. O. B., & Russ, R. S. (2019). Defining sensemaking: Bringing clarity to a fragmented theoretical construct. *Science education*, 103(1), 187-205.
- Olsho, A., Zimmerman, C., & Brahmia, S. W. (2023). A framework for characterizing covariational reasoning in physics. [preprint]
- Renkl, A. (2014). Toward an instructionally oriented theory of example-based learning. *Cognitive science*, 38(1), 1-37.
- Ryan, R. M., Mims, V., & Koestner, R. (1983). Relation of reward contingency and interpersonal context to intrinsic motivation: A review and test using cognitive evaluation theory. *Journal of personality and Social Psychology*, 45(4), 736-750.
- Warren, A. (2009). Evaluation strategies: Teaching students to assess consistency. *The Physics Teacher*, 47(7), 466-469.
- Wilcox, B. R., Caballero, M. D., Pepper, R. E., & Pollock, S. J. (2013). Upper-division student understanding of Coulomb's law: Difficulties with continuous charge distributions. *AIP Conference Proceedings*, 1513(1), 418-421.