

Pilotierung einer digitalen Erklärungsumgebung in der Optik

Ausgangslage

Im naturwissenschaftlichen Unterricht nimmt der Umgang mit Präkonzepten und „Fehl-“Vorstellungen von Lernenden eine zentrale Rolle ein (Schecker & Duit, 2018). In der geometrischen Optik haben Lernende häufig Schwierigkeiten bei der adäquaten Vorhersage von Bildentstehungsprozessen. Eine Ursache dafür kann sein, dass im Physikunterricht häufig mit der strahlengeometrischen Bildkonstruktion (mit außerordentlichen Lichtwegen) gearbeitet wird, ohne dabei näher auf den Modellcharakter einzugehen (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018). Es ist dabei essenziell, die Bedeutung, Funktion und Grenzen der zugrunde liegenden Idealisierungen zu kennen, um mit den Modellen in der geometrischen Optik sinnvoll umgehen zu können. Die Vermutung liegt nahe, dass missverstandene Idealisierungen zur Ausbildung alternativer Vorstellungen beitragen können (Winkelmann & Römer, 2023).

Eine wirksame Methode, Denk- und Arbeitsweisen in den Naturwissenschaften adäquat zu vermitteln, ist die Explikation der entsprechenden Aspekte. In anderen Kontexten ist dies bereits eine bewährte Methode (Petermann & Vorholzer, 2023; Vorholzer et al., 2020) und soll im Kontext der Idealisierungen nun näher untersucht werden. Die übergeordnete Fragestellung lautet hierfür: „Fördert die explizite Auseinandersetzung mit Idealisierungen in physikalischen Erklärungen am Beispiel der geometrischen Optik die Ausbildung adäquater Konzepte?“. Im Folgenden wird die Pilotierung einer diesbezüglichen Interventionsstudie vorgestellt.

Design und Methode

Die mangelnde empirische Datenlage in diesem Feld legt ein exploratives und labornahes Setting nahe, um wichtige Einfluss- und Störvariablen im Rahmen der Intervention kontrollieren zu können, und damit den Effekt begründet auf eine explizite Auseinandersetzung mit Idealisieren zurückführen zu können. Aus diesem Grund wurde für die Interventionsstudie ein quasi-experimentelles Design mit vollständiger Randomisierung gewählt. Die Intervention erfolgt in einer digitalen Erklärungsumgebung, die selbstständig von den Lernenden bearbeitet wird. Damit wird der Einfluss der Lehrkraft auf den Lernprozess minimiert. Um die fehlende Interaktion mit der Lehrkraft weitgehend zu kompensieren, wurden die Erklärungen durch interaktive Simulationen und ein digitales Textmarker-Tool ergänzt. Die Randomisierung innerhalb des Klassenverbundes ist durch die individuelle Arbeit an den Erklärungen möglich. Die Struktur der Intervention und die zusätzlich erhobenen Variablen mit den entsprechenden Instrumenten sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Ablauf und Messinstrumente		Dauer
Leseverständnis (LGVT 5-12)	Schneider et al. (2017)	6 Minuten
Pre: Konzeptionelles Verständnis (Optiktest)	Römer & Winkelmann (2023)	9 Minuten
Treatment		15 Minuten
Post: Konzeptionelles Verständnis (Optiktest)	Römer & Winkelmann (2023)	9 Minuten
Epist. Überzeugungen zu Idealisierungen	Adaption nach Winkelmann (2021)	2 Minuten
Vertrauen in Naturwissenschaften	Römer & Winkelmann (2024)	5 Minuten
Interesse	nach Schiepe-Tiska et al. (2016)	1 Minute
Selbstkonzept	Gaspard et al. (2016)	1 Minute
Demografische Variablen		1 Minute

Tabelle 1: Schematische Struktur der Studie (Verlauf von oben nach unten) mit eingesetzten Messinstrumenten und (mittleren) Bearbeitungszeiten.

Als Treatment wurden drei verschiedene Erklärungen zur Bildentstehung an einer teilweise verdeckten Sammellinse entworfen. Ausgehend von der Präsentation des Phänomens, dass auch bei einer teilweise verdeckten Linse ein vollständiges Bild auf einem Schirm entsteht, nutzen alle unsere Erklärungen das Modell der „dünnen Linse“. Die Unterschiede liegen in der sprachlichen Ausgestaltung und Schwerpunktsetzung in den Erklärungstexten. Sie unterscheiden sich nicht in der Auswahl der Fachinhalte sowie deren Strukturierung. Auch die Art und Anzahl der Abbildungen und Simulationen sind identisch. Für die Ausgestaltung der Umgebungen wurden die Gütekriterien nach Kulgemeyer und Tomczyszyn (2015) sowie die theoretische Beschreibung von Modellkompetenz nach Upmeyer zu Belzen und Krüger (2010) herangezogen.

Treatment 1 setzt sich in der Erklärung explizit mit den zugrunde liegenden, inhaltlich relevanten Idealisierungen auseinander. Zusätzlich betonen Prompts in der Erklärungsumgebung die Art und Bedeutung der entsprechenden Idealisierungen (Hüttemann, 2012). Damit adressiert Treatment 1 den Kompetenzbereich „Eigenschaften eines Modells“ (Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010). Die Erklärung in Treatment 2 nutzt Idealisierungen implizit. Um in der ansonsten gleich gehaltenen Erklärung nicht lediglich die explizite Erwähnung von Idealisierungen zu streichen und damit eine kürzere Lerngelegenheit zu erzeugen, adressiert Treatment 2 den Kompetenzbereich „Zweck von Modellen“ (ebd.). Die ähnliche Bearbeitung des expliziten und impliziten Treatments wurde in einer Eye-Tracking-Studie nachgewiesen (Pelzer et al., 2024). Treatment 3 stellt die Kontrollgruppe der Studie dar und setzt sich weder verstärkt mit den Eigenschaften, noch mit dem Zweck der zugrundeliegenden Modelle auseinander. Die inhaltlichen Schwerpunkte wurden aus fünf Interviews mit Physiklehrkräften konstruiert. In den Interviews wurde deutlich, dass Modelle, im Einklang mit der Forschungslage, im Rahmen der geometrischen Optik beim Erklären nur verwendet und nicht weiter diskutiert werden.

Stichprobe

Im Rahmen der Pilotierung wurden insgesamt 66 Pretests bearbeitet. Aus diesen Sets stehen 30 vollständige Datensätze für die Auswertung zur Verfügung. Die Kriterien für den Einschluss von Datensätzen waren die Vollständigkeit der Pre- und Posttests sowie eine Mindest-Bearbeitungszeit für die Erklärung, um ein bloßes Durchklicken zu vermeiden ($t > 2$ Min.).

Die Stichprobe teilt sich ähnlich in männlich und weiblich auf (divers: $n=1$, k/A: $n=9$). Sie teilt sich außerdem ähnlich auf die Klassenstufe 7 ($n=12$) und 8 ($n=14$) auf (k/A: $n=4$). Die Klassen wurden von zwei verschiedenen Lehrkräften unterrichtet. Die Treatment-Gruppen teilen sich auf in: Explizit ($N=12$), Implizit ($N=11$) und Kontrollgruppe ($N=7$). Mit einer durchschnittlichen Punktzahl von 7,08 Punkten (Kl. 7, $SD=3,53$ Pkt.) bzw. 11,85 Punkten (Kl. 8, $SD=3,26$ Pkt.) im LGVT (5-12) liegt die Stichprobe beider Klassenstufen im unteren Normbereich für das Leseverständnis (vgl. Schneider et al., 2017).

Ergebnisse

Im Pretest weisen die verschiedenen Treatment-Gruppen Unterschiede auf. Die Kontrollgruppe zeigt mit einer mittleren Punktzahl von 5,57 Punkten ($SD=0,98$ Pkt.) die beste Leistung im Vergleich zu den Gruppen Explizit ($MW=4,67$; $SD=1,92$) und Implizit ($MW=4,00$; $SD=1,55$). Nur eine Person erreichte bei dem Pretest 0 Punkte, keine der Personen erreichte die volle Punktzahl von 11 Punkten (11 Items, 1 Punkt pro richtige Antwort). Somit zeigt das eingesetzte Messinstrument keine Boden- oder Deckeneffekte. In Bezug auf die weiteren erhobenen Zusatzvariablen zeigen sich keine Unterschiede zwischen den Treatment-Gruppen. Die Erhebungszeit liegt im Durchschnitt bei 33,8 Minuten ($SD=9,7$ Min.). Davon benötigte die Bearbeitung der Erklärungen durchschnittlich 12,3 Minuten ($SD=6,2$ Min.). Alle Treatment-Gruppen zeigten im Posttest einen höheren Durchschnittsscore als im Pretest. Die größte Verbesserung zum Posttest zeigte mit 2,08 Punkten ($SD=1,28$ Pkt.) die Gruppe mit explizitem Treatment – diese Verbesserung ist statistisch signifikant (Wilcoxon-Test: $z=-2,821$, $p<.01$, $r=0,81$). Eine ähnliche Verbesserung von 2,00 Punkten ($SD=1,83$ Pkt.) zeigt die Kontrollgruppe. Diese Verbesserung ist auch statistisch signifikant, jedoch auf einem geringem Signifikanzniveau ($z=-2,032$, $p<.05$, $r=0,77$). Die Verbesserung der Gruppe Implizit war auffällig niedrig (0,73 Punkte, $SD=2,94$), jedoch statistisch nicht signifikant. Generell zeigt sich, dass die Verbesserung im Posttest nur in den Items stattgefunden hat, die inhaltlich auch durch die präsentierte Erklärung adressiert wurden ($MW=1,77$ Pkt.; $SD=1,73$ Pkt.). Die restlichen Items zeigten kaum eine Veränderung im Pre-Post-Vergleich ($MW=-0,2$ Pkt.; $SD=1,27$ Pkt.). Im Allgemeinen konnten keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den erhobenen Kontrollvariablen und der Pre-Post-Verbesserung festgestellt werden.

Unter Kontrolle des Leseverständnisses zeigt sich im paarweisen Pre-Post-Vergleich die Tendenz, dass Lernende vom expliziten Treatment am stärksten zu profitieren scheinen, während die Kontrollgruppe und die implizite Gruppe eine geringere und zueinander ähnliche Verbesserung aufzeigen. Diese Tendenz soll mit zusätzlichen Daten und durch Einbezug von Kovariaten näher untersucht werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Die in diesem Beitrag pilotierte Interventionsstudie erscheint praktisch und technisch umsetzbar. Das eingesetzte Messinstrument stellt sich als sinnvoll heraus. Es zeigt keine Boden- oder Deckeneffekte und ist außerdem stabil im Test-Retest-Vergleich hinsichtlich der Items, die nicht von der Intervention adressiert werden. Die Erhebungszeit ist in einem Bereich, der für die Klassenstufen zumutbar und gut umzusetzen ist. Die Haupterhebung mit einer umfangreichen Stichprobe ist für das Frühjahr 2025 vorgesehen. Dabei können zusätzlich noch die Nutzung der interaktiven Tools sowie die Ausprägungen in den Kontrollvariablen in Gruppenvergleichen nähere Erkenntnisse über die Wirksamkeit der Intervention bringen.

Literatur

- Gaspard, H., Dicke, A.-L., Flunger, B., Häfner, I., Brisson, B. M., Trautwein, U., & Nagengast, B. (2016). Side effects of motivational interventions? Effects of an intervention in math classrooms on motivation in verbal domains. *AERA Open*, 2(2), 1–14.
- Haagen-Schützenhöfer, C., & Hopf, M. (2018). Schülervorstellungen zur geometrischen Optik. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf, & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht*. 89–114. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2_5
- Hüttemann, A. (2012). *Idealisierungen und das Ziel der Physik: Eine Untersuchung zum Realismus, Empirismus und Konstruktivismus in der Wissenschaftstheorie*. Berlin, Boston: De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110811896>
- Kulgemeyer, C., & Tomczyszyn, E. (2015). Physik erklären – Messung der Erklärfähigkeit angehender Physiklehrkräfte in einer simulierten Unterrichtssituation. *ZfDN* 21, 111–126. <https://doi.org/10.1007/s40573-015-0029-5>
- Peltzer, N., Römer, D., & Winkelmann, J. (2024). Wahrnehmung physikalischer Erklärungen - Eine Eye-Tracking Studie. H. v. Vorst (Hrsg.), *Frühe naturwissenschaftliche Bildung. GDGP-Jahrestagung 2023 in Hamburg*. 1051-1054.
- Petermann, V., & Vorholzer, A. (2023). Teachers' Use of Explicit Instruction When Planning Lessons to Foster Students' Scientific Inquiry Competencies. In: G.S. Carvalho, A.S. Afonso, & Z. Anastácio (Hrsg.), *Fostering Scientific Citizenship in an Uncertain World. Contributions from Science Education Research*, vol 13. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-32225-9_14
- Römer, D., & Winkelmann, J. (2023). Zweistufiges Messinstrument zum konzeptionellen Verständnis von Abbildungsvorgängen an der Sammellinse. *PhyDid B – Didaktik der Physik*, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der Physik in Hannover 2023. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1360/1575>
- Römer, D., & Winkelmann, J. (2024). Das Vertrauen von Lehramtsstudierenden in die Naturwissenschaften. H. v. Vorst (Hrsg.), *Frühe naturwissenschaftliche Bildung. GDGP-Jahrestagung 2023 in Hamburg*. 438-441.
- Schecker, H., & Duit, R. (2018). Schülervorstellungen und Physiklernen. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf, & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht*. 1–21. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2_1
- Schiepe-Tiska, A., Roczen, N., Müller, K., Prenzel, M. & Osborne, J. (2016). Science-Related Outcomes: Attitudes, Motivation, Value Beliefs, Strategies. In: Kuger, S., Klieme, E., Jude, N., Kaplan, D. (Hrsg.) *Assessing Contexts of Learning. Methodology of Educational Measurement and Assessment*. 301–329. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45357-6_12
- Schneider, W., Schlagmüller, M., & Ennemoser, M. (2017). *LGVT 5-12: Lesegeschwindigkeits- und -verständnis für die Klassen 5–12*. Göttingen: Hogrefe.
- Upmeyer zu Belzen, A., & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. *ZfDN*, 16, 41–57.
- Vorholzer, A., von Aufschnaiter, C., & Boone, W.J. (2020). Fostering Upper Secondary Students' Ability to Engage in Practices of Scientific Investigation: a Comparative Analysis of an Explicit and an Implicit Instructional Approach. *Res Sci Educ* 50, 333–359. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9691-1>
- Winkelmann, J., & Römer, D. (2023). The 'thin lens' in the light of idealisations. *Physics Education*, 58(6), 065024. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/acf828>