

Expertenblickbewegungen beim multi-repräsentationalen Lernen: eine Eye-Tracking-Studie

In der universitären Lehre werden Konzepte wie die Divergenz von Vektorfeldern häufig formal-mathematisch eingeführt, deren physikalische Anwendung erfordert allerdings ein visuell-konzeptionelles Verständnis. Insbesondere die visuelle Interpretation von Vektorfelddiagrammen stellt für Studierende eine erhebliche Herausforderung dar. Frühere Eye-Tracking-Untersuchungen belegen, dass die Performanz bei der Beurteilung der Divergenz von Vektorfelddiagrammen mit einem systematischen Blickverhalten entlang der Koordinatenrichtungen assoziiert ist. In der vorliegenden Pilotstudie ($N = 42$) wurde dieses Blickverhalten gezielt als Lerngelegenheit genutzt: Eine multi-repräsentationale Instruktion zur Divergenz wurde mit Blickbewegungen von Expert:innen angereichert, die als kognitive Unterstützung beim Lernen über Vektorfelddiagramme dienen sollen. Gegenüber einer Kontrollgruppe, die ohne Blickbewegungen lernte, zeigte sich jedoch kein Unterschied in der Lernwirksamkeit beider Instruktionen. Um das Potential von Expertenblickbewegungen für das Lernen prozeduraler Strategien im Umgang mit Vektorfelddiagrammen weiter zu untersuchen, werden verschiedene Adaptionen des Lernmaterials diskutiert.

Forschungsstand

Die visuelle Beurteilung von Vektorfelddiagrammen bereitet Studierenden häufig Probleme – diese ist jedoch entscheidend für physikalische Anwendungen (z. B. Bollen et al., 2015; Singh & Maries, 2013). Daher befürworten Forschende zunehmend den Einsatz (digitalgestützter) visueller Repräsentationen, um das Lernen in der Vektoranalysis zu unterstützen (z. B. Bollen et al., 2016; Klein et al., 2018; Singh & Maries, 2013).

Bei der Beurteilung der Divergenz von Vektorfelddiagrammen spielt die Informationsentnahme eine zentrale Rolle. Eine effektive Vorgehensweise besteht in der mentalen Zerlegung einzelner Vektoren in ihre Komponenten und der Beurteilung der Veränderung dieser Komponenten entlang der Koordinatenrichtungen (Hahn, 2024). Text-Bild-basierte Lehr-Lern-Materialien, die visuelle Hilfen im Diagramm sowie repräsentationsspezifische Zeichenaktivitäten enthalten und so die Ausführung dieser Strategie unterstützen, erzielen eine hohe Lernwirksamkeit (Hahn & Klein, 2023; Klein et al., 2019). Die Anwendung der Strategie spiegelt sich zudem im Blickverhalten erfolgreicher Studierender wider: Eye-Tracking-Studien zeigten, dass Blickmuster von Expert:innen durch horizontale und vertikale Sakkaden auf dem Vektorfelddiagramm, d. h. Blickpfade entlang der x - und y -Richtung der Koordinatenachsen, charakterisiert sind (Hahn & Klein, 2023; Klein et al., 2018, 2019, 2021).

Expertenblickbewegungen als Instruktion im Umgang mit Vektorfelddiagrammen

Im Anschluss an das stetig wachsende Forschungsfeld zum Lernen anhand von Expertenblickbewegungen (Eye Movement Modeling Examples; Jarodzka et al., 2013; Tunga & Cagiltay, 2023) wurde eine Instruktion entwickelt, die die charakteristischen Blickmuster auf Vektorfelddiagrammen als Lernwerkzeug integriert (Abb. 1). Die Blickpfade dienen dabei als kognitive Unterstützung bei der Erschließung der Strategie zur Beurteilung der Divergenz:

- Interventionsphase 1 (Abb. 1, links): In der ersten Phase sehen die Lernenden ein Video, das den charakteristischen Blickpfad einer: Expert:in auf einem Vektorfelddiagramm zeigt. Zudem ist die Formel der Divergenz eingeblendet. Aufgabe der Lernenden ist es, anhand dessen eine Strategie zur visuellen Beurteilung der Divergenz zu entwickeln.
- Interventionsphase 2 (Abb. 1, rechts): Die zweite Phase umfasst eine Text-Bild-basierte Instruktion, bei der statische Visualisierungen der Expertenblickpfade in das Vektorfelddiagramm integriert sind (Weiterentwicklung bestehender Instruktionen; Hahn & Klein, 2023; Klein et al., 2019). Im begleitenden Text wird gezielt auf diese Visualisierungen Bezug genommen.

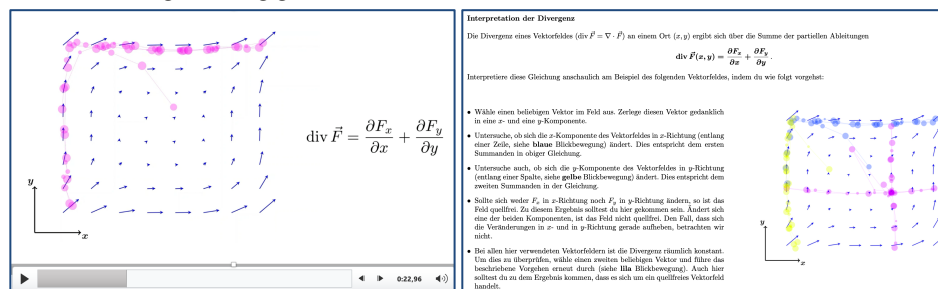


Abb. 1: Instruktion mit Expertenblickbewegungen zur Divergenz von Vektorfelddiagrammen. Links: Dynamisches Blickpfad-Video mit der Aufgabe „Erschließe dir eine Strategie zur Bestimmung der Divergenz aus der Expertenblickbewegung und der angegebenen Formel.“ (Interventionsphase 1); Rechts: Text-Bild-basierte Instruktion mit statischer Blickpfad-Visualisierung (Interventionsphase 2).

Forschungsfrage

Welchen Einfluss hat die Unterstützung des multi-repräsentationalen Lernens durch dynamische und statische Expertenblickbewegungen auf die Fähigkeit von Studierenden, die Divergenz von Vektorfelddiagrammen visuell zu beurteilen?

Wirksamkeitsanalyse

Die Wirksamkeitsanalyse erfolgte im Vergleich einer Interventionsgruppe (IG), die mit Expertenblickbewegungen instruiert wurde, und einer Kontrollgruppe (KG) ohne dynamische und statische Blickdatenunterstützung. Die Stichprobe umfasst 42 Physikstudierende (B.Sc. und B.A. Lehramt) im zweiten Fachsemester an der Universität Göttingen ($N_{IG} = N_{KG} = 21$). Die Studierenden beurteilten vor der Intervention (Prätest), nach der ersten Interventionsphase (Midtest) und nach der zweiten Interventionsphase (Posttest) je zwei Vektorfelddiagramme hinsichtlich ihrer Divergenz (Ankerfelder, Abb. 2, rechts). Die Gruppen weisen keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich ihres Vorwissens (Abb. 2 Prätest) sowie verschiedener soziodemographischer Variablen auf. Die Analyse adressiert die Lernwirksamkeit beider Gruppen für die gesamte Intervention sowie beide Interventionsphasen separat mittels nicht-parametrischer, statistischer Tests und der Interpretation der Effektstärke nach Cohen (1988).

Ergebnisse

Sowohl in der Interventions- als auch in der Kontrollgruppe zeigte sich ein signifikanter Leistungszuwachs bezüglich der visuellen Beurteilung der Ankerfelder im Zuge der Intervention (Abb. 2). Ein Vergleich der drei Messzeitpunkte ergab in der Interventionsgruppe einen Zuwachs der Antwortkorrektheit von $MW_{Prä,IG} = 0.43$ im Prätest auf $MW_{Mid,IG} = 0.57$ nach der Video-Instruktion und schließlich $MW_{Post,IG} = 0.81$ nach der zweiten

Interventionsphase ($\chi^2(2) = 10.11, p = 0.006$, Kendall's $W = 0.24$). Dabei unterscheiden sich nur Prä- und Posttest signifikant und mit großer Effektstärke ($z = 2.47, p = 0.04$).

In der Kontrollgruppe zeigten sich ganz ähnliche Ergebnisse. So erfolgte ein Zuwachs der Antwortkorrektheit von $MW_{Prä,KG} = 0.45$ auf $MW_{Mid,KG} = 0.55$ und anschließend auf $MW_{Post,KG} = 0.88$ mit signifikantem Unterschied zwischen Prä- und Posttest ($z = 2.85, p = 0.01$, große Effektstärke). Die Entwicklung der drei Messzeitpunkte ergibt einen signifikanten Lerneffekt infolge der Lehr-Lern-Materialien ($\chi^2(2) = 14.31, p < 0.001$, Kendall's $W = 0.36$). Die Gruppen unterscheiden sich weder im Mid- noch im Posttest.

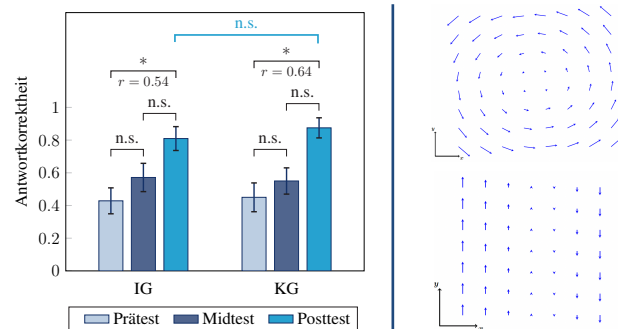


Abb. 2: Performanz der Divergenzbeurteilung der Ankerfelder zu drei Messzeitpunkten für IG und KG. Die paarweisen Vergleiche der Messzeitpunkte erfolgten durch Wilcoxon-Tests mit Bonferroni-Korrektur (schwarz), der Gruppenvergleich im Posttest erfolgte durch einen Mann-Whitney-U-Test (hellblau; 1 SEM; n.s. nicht signifikant; *signifikant $p < 0.05$, Effektstärke r).

Diskussion

Eye Movement Modeling Examples, d. h. Expertenblickbewegungen als Lernwerkzeug (Tunga & Cagiltay, 2023), haben sich vor allem für kognitive Aufgaben, die eine zielgerichtete Aufmerksamkeitsfokussierung erfordern (z. B. Lesen von Ultraschallbildern; Darici et al., 2023), als lernwirksam erwiesen. Dieser Beitrag berichtet erste Ergebnisse einer Pilotstudie im Kontext der Vektoranalyse, bei der Blickbewegungen einer: s Expert:in die Vermittlung einer prozeduralen Strategie unterstützen sollen. Gegenüber einer Kontrollgruppe ohne Blickdatenunterstützung zeigte die Integration dynamischer und statischer Expertenblickbewegungen dabei keinen zusätzlichen Effekt auf die Fähigkeit der Lernenden, die Divergenz von Vektorfelddiagrammen zu beurteilen. Ähnliche Ergebnisse wurden auch bei der Bearbeitung geometrischer Aufgaben berichtet (van Marlen et al., 2016). In beiden Gruppen erzeugte eine Text-Bild-basierte Instruktion einen höheren Lernzuwachs als ein Auftrag zur selbstständigen Strategiebildung anhand von Vektorfelddiagramm und Formel. Neben der von van Marlen et al. (2016) vorgeschlagenen Interpretation, dass Expertenblickbewegungen für prozedurales Lernen möglicherweise ungeeignet sind, lassen sich weitere Ursachen für den fehlenden Gruppenunterschied diskutieren. So ist die Darstellung von Blickbewegungen als Blickpfad für Lernende in der Regel ungewohnt; eine Strategiebildung anhand von Blickvideo und Formel kann daher kognitiv überfordernd sein. Auch die Integration der Informationen aus Blickpfad und Formel kann sich als zu abstrakt erweisen. Eine Einführung in die Visualisierung von Blickdaten, verbale Erläuterungen der: s Expert:in sowie visuelle Hilfestellungen, z. B. dynamische Markierungen, deiktische Hinweise oder Gesten, könnten den Lernprozess unterstützen. Inwiefern diese Adaptionen das Potential von Expertenblickbewegungen zur Instruktion visueller Strategien im Umgang mit Vektorfelddiagrammen entfalten können, gilt es in nachfolgenden Studien zu untersuchen.

Literatur

- Bollen, L., van Kampen, P. & De Cock, M. (2015). Students' difficulties with vector calculus in electrodynamics. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 11(2), 020129.
- Bollen, L., van Kampen, P., Baily, C. & De Cock, M. (2016). Qualitative investigation into students' use of divergence and curl in electromagnetism. *Physical Review Physics Education Research*, 12(2), 020134.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Darici, D., Masthoff, M., Rischen, R., Schmitz, M., Ohlenburg, H. & Missler, M. (2023). Medical imaging training with eye movement modeling examples: A randomized controlled study. *Medical Teacher*, 45(8), 918-924.
- Hahn, L. & Klein, P. (2023). Analysis of eye movements to study drawing in the context of vector fields. *Frontiers in Education*, 8, 1162281.
- Hahn, L. (2024). *Vektorfeldkonzepte in der Studieneingangsphase Physik. Über die Wirkung multi-repräsentationaler Lehr-Lern-Materialien und die Rolle der visuellen Aufmerksamkeit*. [Dissertation, Universität Göttingen].
- Jarodzka, H., Van Gog, T., Dorr, M., Scheiter, K. & Gerjets, P. (2013). Learning to see: Guiding students' attention via a model's eye movements fosters learning. *Learning and Instruction*, 25, 62-70.
- Klein, P., Hahn, L. & Kuhn, J. (2021). Einfluss visueller Hilfen und räumlicher Fähigkeiten auf die graphische Interpretation von Vektorfeldern: Eine Eye-Tracking-Untersuchung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 27(1), 181-201.
- Klein, P., Viiri, J., Mozaffari, S., Dengel, A. & Kuhn, J. (2018). Instruction-based clinical eye-tracking study on the visual interpretation of divergence: How do students look at vector field plots? *Physical Review Physics Education Research*, 14(1), 010116.
- Klein, P., Viiri, J. & Kuhn, J. (2019). Visual cues improve students' understanding of divergence and curl: Evidence from eye movements during reading and problem solving. *Physical Review Physics Education Research*, 15(1), 010126.
- Singh, C. & Maries, A. (2013). Core graduate courses: A missed learning opportunity? *AIP Conference Proceedings*, 1513, 382-385.
- Tunga, Y. & Cagiltay, K. (2023). Looking through the model's eye: A systematic review of eye movement modeling example studies. *Education and Information Technologies*, 28(8), 9607-9633.
- van Marlen, T., van Wermeskerken, M., Jarodzka, H. & van Gog, T. (2016). Showing a model's eye movements in examples does not improve learning of problem-solving tasks. *Computers in Human Behavior*, 65, 448-459.