

Rekonstruktion visueller Strategien im Umgang mit Schaltplänen

Hintergrund

In der Elektrizitätslehre stellen Schaltpläne als eine typische externe Repräsentation elektrischer Stromkreise Lernende vor Herausforderungen. Bekannte Schwierigkeiten bei der Unterscheidung von Reihen- und Parallelschaltungen oder bei der Translation zwischen Schaltplan und realen Stromkreisen (McDermott & Shaffer, 1992) stehen dabei in direktem Zusammenhang mit der Repräsentation. Andere Lernendenvorstellungen wie das lokale Denken und die sequentielle Argumentation (Wilhelm & Hopf, 2018) legen gewisse Lesarten von Schaltplänen nahe, bei der die Richtung des Stromflusses eine entscheidende Rolle spielt. Eye-Tracking-Studien, zeigen Unterschiede im Vorgehen zwischen Expert*innen und Noviz*innen beim Bearbeiten von Aufgaben aus der E-Lehre (Rosengrant et al., 2009; Van Gog et al., 2005), liefern jedoch keine systematische Analyse von Strategien im Umgang mit Schaltplänen. Insbesondere bei der Untersuchung der Nutzung von externen Repräsentationen wird Eye-Tracking als Methode in der physikdidaktischen Forschung immer häufiger eingesetzt. Bei den meisten Untersuchungen handelt es sich um quantitative Studien, in denen gängige Eye-Tracking-Metriken, wie die Anzahl der Fixationen oder durchschnittliche/gesamte Fixationsdauern ausgewertet werden (Hahn & Klein, 2022). Dabei werden diese Metriken über die Dauer der Aufnahme kumuliert bzw. gemittelt, wodurch Informationen wie die Reihenfolge der Fixationen verloren gehen. Für die Rekonstruktion von Strategien zeigt sich beispielsweise in Nachbardisziplinen ein qualitativer Ansatz als gewinnbringend (Schindler & Lilienthal, 2018; Kastaun & Meier, 2022).

In unserem Vorhaben wollen wir folgenden Forschungsfragen nachgehen:

- Inwiefern können aus der visuellen Aufmerksamkeit von Lernenden beim Lösen von Aufgaben aus der E-Lehre Strategien im Umgang mit Schaltplänen rekonstruiert werden?
- Welchen Einfluss hat das Vorwissen auf die Strategien im Umgang mit Schaltplänen?

Strategien, Aufgabenlösen und Repräsentationen

Unter Strategien werden zielorientierte Verhaltens- und Verarbeitungsprozesse verstanden (Bjorklund & Harnishfeger, 1990), die auch unbewusst stattfinden können (Ashcraft, 1990). Diese Definition eröffnet zwei Analyseperspektiven für die Rekonstruktion von Strategien bei der Bearbeitung von Aufgaben mit Schaltplänen: die Perspektive der Verarbeitungsprozesse und die der Zielorientierung. Allgemeine Verarbeitungsprozesse im Umgang mit externen Repräsentationen werden in Theorien der Informationsverarbeitung wie der *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (Mayer & Moreno, 2003) oder dem *Integrierten Modell des Text- und Bildverstehens* (Schnotz & Bannert, 2003) beschrieben. Dabei hat das Vorwissen einen Einfluss auf die Wahrnehmungs- und Verarbeitungsprozesse (Gegenfurtner, 2020). Eine Strukturierung des Vorwissens im Umgang mit Repräsentation bieten die von Rau (2017) beschriebenen Repräsentationskompetenzen, bei denen zwischen konzeptuellen, perceptuellen und meta-repräsentationalen Kompetenzen unterschieden wird.

Beim Bearbeiten von Aufgaben ist die Zielorientierung durch die Aufgabenstellung gegeben, in denen die Repräsentationen eingebettet sind. Generell ist das Lösen von Aufgaben und

das Problemlösen voneinander zu unterscheiden. Beim Lösen von Aufgaben sind jedoch ähnlich zum Problemlösen verschiedenen Phasen denkbar, in denen unterschiedliche Teilziele verfolgt werden. Friege (2001) unterscheidet im Modell des wissenzentrierten Problemlösens zwischen den Phasen Problemrepräsentation, Auswahl oder Erarbeitung eines Problemschemas, Erarbeitung einer Lösung und Evaluationen.

Studiendesign und Stichprobe

Die Erhebung besteht aus drei Teilen: einem Fragebogen, einem perzeptuellen Aufgabenteil und einem konzeptuellen Aufgabenteil. Im Fragebogen wird das deklarative Wissen über Schaltsymbole, der Darstellung von Reihen- und Parallelschaltungen und den Gesetzmäßigkeiten zu Spannung, Stromstärke und Widerstand in Reihen- und Parallelschaltung erhoben. In den Aufgaben zur Erhebung der perzeptuellen Kompetenzen beurteilen die Teilnehmenden in sechs Teilaufgaben (Ja-/Nein-Fragen), ob zwei gegebene Schaltpläne physikalisch äquivalent sind. Bei den konzeptuellen Aufgaben handelt es sich um vier offene Aufgaben, in denen qualitative Aussagen über physikalische Größen (Spannung, Stromstärke) in gegebenen Stromkreisen getroffen und begründet werden müssen (eine Aufgabe in Anlehnung an Burzin (2002), eine in Anlehnung an Urban-Woldron & Hopf (2012)). Sowohl für die perzeptuellen Aufgaben als auch für die konzeptuellen Aufgaben wurden die Blickbewegungen der Teilnehmenden mit einem stationären Eye-Tracker (Tobii-X3-120) an einem LED-Bildschirm (27“, Auflösung: 1920 x 1080) mit einer Frequenz von 120 Hz aufgenommen. Insgesamt haben 59 Personen (38 männlich, 21 weiblich) an der Erhebung teilgenommen, wovon 54 ein physikbezogenes Fach studieren (35 Lehramt Physik, 10 Physik, 9 Sonstiges) und fünf Personen in physikdidaktischen Forschungsgruppen tätig sind.

Auswertung und erste Ergebnisse

Die Antworten der Teilnehmenden wurden für alle Erhebungsteile auf Korrektheit geprüft. Bei den konzeptuellen Aufgaben wurden außerdem aus den Begründungen ableitbare Lernendenvorstellungen kodiert. Für einen ersten explorativen Einblick in die Daten wurden auf Grundlage der Leistung in den konzeptuellen Aufgaben drei Performanzgruppen gebildet. Die mittlere Leistung der Gruppe *High-Performer* beträgt 72 % ($\sigma = 14\%$; $N = 17$), der *Medium-Performer* 35 % ($\sigma = 10\%$; $N = 24$) und der *Low-Performer* 8 % ($\sigma = 6\%$; $N = 18$). In Abb. 1 sind die mittleren Leistungen im Fragebogen und in den perzeptuellen Aufgaben für die Performanzgruppen aufgetragen. Die *High-Performer* erzielen höhere Leistungen in den perzeptuellen Aufgaben. Zwischen *Medium-* und *Low-Performern* ist kein Unterschied erkennbar. Der Kruskal-Wallis-Tests zeigt für die drei Gruppen Unterschiede in der Leistung bei den perzeptuellen Aufgaben ($H(2) = 10.778$, $p = .005$).

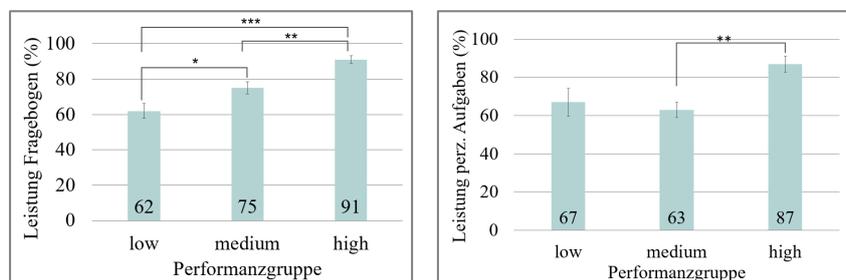


Abb. 1: Mittlere Leistung der High-, Medium und Low-Performer in den perzeptuellen Aufgaben (links) und im Fragebogen (rechts).

Der paarweise Vergleich mit Bonferroni-Korrektur zeigt signifikante Unterschiede ausschließlich zwischen der Gruppe der *High-Performer* und der *Medium-Performer* ($z = 12.856$, $p = 0.004$) mit einer Effektstärke von $r = 0.5$. Für die Leistung im Fragebogen ist eine Abstufung entsprechend der Performanzgruppen zu finden (ANOVA: $F(2) = 15.269$, $p < .001$). Der Tukey post-hoc Test zeigt signifikante Unterschiede zwischen allen Gruppen (*Low – Medium*: $\Delta MW = -12.99$, $p = .023$, 95%-CI[-24.44, -1.53]; *Medium – High*: $\Delta MW = -15.51$, $p = .006$, 95%-CI[-27.15, -3.86]; *Low – High*: $\Delta MW = -28.49$, $p < .001$, 95%-CI[-40.91, -16.07]).

Für die Rekonstruktion der Strategien werden die Eye-Tracking-Daten und Verbaldaten der konzeptuellen Aufgaben analysiert. Die Reihenfolge der Fixationen auf die festgelegten AOI wird zur besseren Übersicht in Sequenzdiagrammen dargestellt. In Abb. 2 sind die Fixationen einer Person für die Bearbeitung der nebenstehenden Aufgabe zu sehen. Beim Lesen der Beschreibung und der Aufgabe wird der Schaltplan zunächst nicht erkundet, obwohl dort entsprechende Komponenten benannt werden. Anschließend wird der gesamte Schaltplan von der Spannungsquelle aus in technischer Stromrichtung in Betracht genommen; im ersten Durchlauf mit wenigen Fixationen, im zweiten Durchlauf mit mehr Fixationen, was mit den roten Pfeilen verdeutlicht wurde. Obwohl in der Aufgabe nach einem Vergleich von L1 und L2 gefragt ist, werden bei der Bearbeitung keine gesonderten visuellen Verknüpfungen der Komponenten sichtbar. Diese visuelle Auseinandersetzung kann mit der Argumentation der Person in Zusammenhang gebracht werden. So schließt diese Person zwar richtig, dass L1 heller als L2 ist, in der Begründung findet sich jedoch eine sequentielle Argumentation („Sobald der Strom wieder in die Richtung fließt [...]“) und eine Stromverbrauchsvorstellung („[...] und da erstmal ja schon ein Teil der Stromstärke verloren geht...“). Wir finden hier also ein Vorgehen, das von Vorstellungen geleitet ist und bei dem Verknüpfungen aus dem Aufgabentext nicht einmal auf Ebene der Blickbewegungen zu finden sind, was für sehr stabile Vorstellungen spricht.

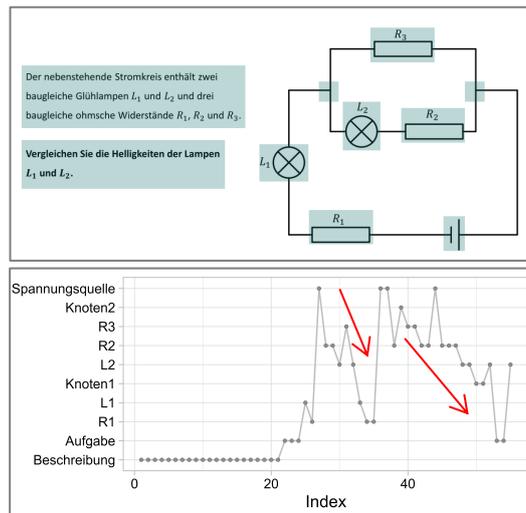


Abb. 2: Sequenzdiagramm zu einer Bearbeitung der obenstehenden Aufgabe, bei der in Grün die definierten Areas-of-Interest (AOI) markiert sind.

Fazit und Ausblick

Es zeigen sich erwartungskonforme Zusammenhänge zwischen deklarativem Vorwissen (Fragebogen) und der Performanz in den Aufgaben zum Konzeptverständnis. Für eine vollständige Betrachtung der perzeptuellen Aufgaben, wird im Weiteren neben den Leistungen auch die benötigte Zeit zur Beantwortung ausgewertet. Die Analyse der Sequenzdiagramme, welche exemplarisch beschrieben wurde, bietet einen vielversprechenden Ansatz zur Rekonstruktion der Strategien. Im Weiteren wird diese noch durch eine Analyse der Phasen der Aufgabenbearbeitung erweitert, um die Daten zu strukturieren.

Literatur

- Ashcraft, M. H. (1990). Strategic processing in children's mental arithmetic: a review and proposal. In D. F. Bjorklund (Ed.), *Children's Strategies: contemporary views of cognitive development* (pp. 185-211). Psychology Press.
- Bjorklund, D. F., & Kipp Harnishfeger, K. (1990). Children's strategies: Their definition and origins. In D. F. Bjorklund (Ed.), *Children's Strategies: contemporary views of cognitive development* (pp. 309-323). Psychology Press.
- Burzin, S. (2002). Physikaufgaben zum Nachdenken. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 67, 28-30.
- 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.
- Gegenfurtner, A. (2020). *Professional vision and visual expertise* University of Regensburg.
- Hahn, L., & Klein, P. (2022). Eye tracking in physics education research: A systematic literature review. *Physical Review Physics Education Research*, 18(1), 013102.
- Kastaun, M., & Meier, M. (2022). Eine qualitative Analyse von Blickdaten bei statischen und dynamischen Repräsentationen im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess. In *Eye-Tracking in der Mathematik- und Naturwissenschaftsdidaktik* (pp. 19-39). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-63214-7_2
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2003). Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 43-52. https://doi.org/10.1207/s15326985ep3801_6
- McDermott, L. C., & Shaffer, P. S. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding. *American Journal of Physics*, 60(11), 994-1003. <https://doi.org/10.1119/1.17003>
- Rau, M. A. (2017). Conditions for the Effectiveness of Multiple Visual Representations in Enhancing STEM Learning. *Educational Psychology Review*, 29(4), 717-761. <https://doi.org/10.1007/s10648-016-9365-3>
- Rosengrant, D., Thomson, C., Mzoughi, T., Sabella, M., Henderson, C., & Singh, C. (2009). Comparing Experts and Novices in Solving Electrical Circuit Problems with the Help of Eye-Tracking. *AIP Conference Proceedings 5 November 2009; 1179 (1)*
- Schindler, M., & Lilienthal, A. (2018). Eye-tracking for studying mathematical difficulties: also in inclusive settings. *Annual Meeting of the International Group for the Psychology of Mathematics Education (PME-42)*, Umeå, Sweden, July 3-8, 2018.
- Schnotz, W., & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13(2), 141-156.
- Urban-Woldron, H., & Hopf, M. (2012). Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis in der Elektrizitätslehre *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 201-227.
- Van Gog, T., Paas, F., & Van Merriënboer, J. J. G. (2005). Uncovering expertise-related differences in troubleshooting performance: combining eye movement and concurrent verbal protocol data. *Applied Cognitive Psychology*, 19(2), 205-221. <https://doi.org/10.1002/acp.1112>
- Wilhelm, T., & Hopf, M. (2018). Schülervorstellungen zum elektrischen Stromkreis. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf, & R. Duit (Eds.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis* (pp. 115-138). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2_6