

Strategien im Umgang mit Schaltplänen – Analyse von Blickpfaden

Hintergrund

Physikalische Konzepte werden mithilfe einer Vielzahl verschiedener Repräsentationen vermittelt und erlernt. Dazu gehören domänenübergreifende Darstellungen wie Liniendiagramme sowie domänenspezifische Darstellungen wie Schaltpläne, welche die gängigste Form sind, elektrische Stromkreise darzustellen. Im Umgang mit Schaltplänen haben Lernende Schwierigkeiten, Reihen- und Parallelschaltungen zu erkennen und zwischen grafischen Repräsentationen und realen Schaltungen zu übersetzen (McDermott & Shaffer, 1992). Zudem fällt es ihnen schwer die systemische Natur von elektrischen Stromkreisen zu erkennen, was zu Lernendenvorstellungen wie dem lokalen Denken oder der sequentiellen Argumentation führt (Closset, 1984; Rhöneck, 1986; Shipstone et al., 1988). Diese Fehlvorstellungen deuten auf eine bestimmte Lesart von Schaltplänen hin; die Art und Weise, wie Lernende Informationen aus Schaltplänen entnehmen und damit Aufgaben lösen ist jedoch nicht umfassend untersucht.

Bei der Verarbeitung externer Repräsentationen wie Schaltplänen werden visuelle Informationen selektiert, in das Arbeitsgedächtnis übertragen, dort organisiert und in ein mehr oder weniger kohärentes mentales Modell integriert (Mayer & Moreno, 2003; Schnotz & Bannert, 2003). Diese Prozesse können bottom-up, z.B. durch visuelle Hinweise im Material (Grant & Spivey, 2003; Klein et al., 2019; Madsen et al., 2013) oder top-down, z.B. durch das Vorwissen beeinflusst werden (Gegenfurtner, 2020; Gegenfurtner et al., 2011). Ist die Repräsentation in eine Aufgabe eingebettet, finden die Prozesse der Informationsverarbeitung zielgerichtet statt und können (daher) als Strategien bezeichnet werden (Ashcraft, 1990; Bjorklund & Kipp Harnishfeger, 1990). Da während der Bearbeitung einer Aufgabe verschiedene Teilziele verfolgt werden, liegt es nahe, dass auch die verwendeten Strategien entsprechend variieren und eine Betrachtung verschiedener Phasen der Aufgabenbearbeitung notwendig ist. Für das Lösen von Problemen liegen verschiedene Phasenmodelle vor (z.B. (Friege, 2001; Polya, 1945), die eine Unterscheidung in vier Phasen nahelegen: Problemrepräsentation, Planung oder Auswahl einer Lösungsmethode, Ausführen der Lösungsmethode und die Evaluation der Lösung. Beim Lösen von Routineaufgaben, bei denen die Lösungsmethoden bekannt sind, sind jedoch die Auswahl der Methode und das Anwenden nicht mehr eindeutig trennbar und es liegt auch nicht unbedingt eine Evaluation der Lösung vor (Rott et al., 2021).

Die Prozesse (insbesondere die unbewussten), die während der Verarbeitung von visuellen Repräsentationen stattfinden, entziehen sich einer direkten Beobachtung. Eye-Tracking ist eine weit verbreitete Methode, um zu untersuchen, wie Lernende mit visuellen Darstellungen umgehen. Die während der Auseinandersetzung mit einem Stimulus aufgezeichneten Blickpfade werden beeinflusst von in früheren Auseinandersetzungen entstandenen kognitiven Strukturen (Noton & Stark, 1971a, 1971b) und lassen Rückschlüsse auf kognitive Verarbeitungsprozesse zu (Just & Carpenter, 1976; Just & Carpenter, 1980). Dennoch können

auch mittels Eye-Tracking die Prozesse nicht direkt beobachtet werden, sondern müssen aus den Blickbewegungen rekonstruiert werden. Während es umfangreiche Forschungen zum Verständnis von Grafiken in der Kinematik unter Verwendung von Eye-Tracking gibt, liegen nur wenige Untersuchungen im Bereich der E-Lehre, insbesondere im Zusammenhang mit Schaltplänen, vor (Hahn & Klein, 2022). Außerdem beschränkt sich die Analyse von Eye-Tracking-Daten häufig auf aggregierte Metriken wie Fixationsdauern, in denen beispielsweise Informationen über die Reihenfolge der Betrachtung verloren gehen. Mit dem hier beschriebenen Vorhaben soll untersucht werden,

- inwiefern Strategien zum Umgang mit Schaltplänen beim Lösen von Aufgaben zu elektrischen Stromkreisen aus den visuellen Blickpfaden von Lernenden rekonstruiert werden können,
- inwiefern diese Strategien auch durch quantitative Methoden identifiziert werden können.

Studiendesign

Die Studie besteht aus drei Komponenten. Die Teilnehmenden füllen zunächst einen Fragebogen aus, in dem deklaratives Wissen über Schaltpläne und einfache elektrische Schaltungen (Ohmsches Gesetz, Kirchhoffsche Gesetze) erhoben wird. In sechs perzeptuellen Aufgaben identifizieren die Teilnehmenden physikalisch äquivalente Schaltpläne, die sich in ihrer räumlichen Anordnung unterscheiden. In vier konzeptuellen Aufgaben treffen die Teilnehmenden qualitative Vorhersagen über physikalische Größen in verschiedenen Stromkreisen. Dabei werden die Teilnehmenden gebeten, ihre Antwortsicherheit auf einer vierstufigen Likert-Skala zu einzuschätzen, bevor sie ihre Antworten so ausführlich wie möglich begründen. Während der Bearbeitung der perzeptuellen und konzeptuellen Aufgaben werden die Augenbewegungen mit dem stationären Eye-Tracking-System Tobii X3-120 (Abtastfrequenz: 120 Hz) aufgezeichnet und die verbalen Antworten autographiert. An der Studie nahmen 59 Personen (21 weiblich, 38 männlich), die Physik oder eine Physik assoziierte Disziplin studieren (54) oder das Studium bereits abgeschlossen haben (5).

Auswertung und Ergebnisse

In der Erhebung wurden sowohl Performanzdaten bezüglich der verschiedenen Aufgaben als auch Prozessdaten in Form von Eye-Tracking-Daten aufgenommen. Zur Analyse der Performanz wurden die Antworten aus allen drei Erhebungsteilen auf Korrektheit geprüft und mittels qualitativer Inhaltsanalyse die Antworten in den konzeptuellen Aufgaben auf gängige Lernendenvorstellungen untersucht. Zur Analyse der Eye-Tracking-Daten wurden Areas of Interest (AOI) definiert und die Blickpfade in Sequenzdiagrammen dargestellt, um den gesamten Bearbeitungsprozess sichtbar zu machen (siehe hierzu auch Peter & Krey, 2024). Die Strategien wurden auf Basis der Sequenzdiagramme mittels qualitativer Analysen rekonstruiert. Das Ergebnis stellt das in Tabelle 1 zusammengefasste Kategoriensystem dar, welches sowohl deduktive als induktive Kategorien beinhaltet, für das eine Interkoderreliabilität von $\kappa = .78$ erreicht wird (Cohen, 1960). Ein Beispiel für eine repräsentationsspezifische Strategie ist das fokussierende Verknüpfen, bei dem eine bestimmte Komponente des Stromkreises im Fokus steht und nacheinander visuelle Verknüpfungen zu den anderen Komponenten vorgenommen werden.

Für die Beantwortung der zweiten Forschungsfrage wurden Möglichkeiten gesucht, Ähnlichkeiten zwischen Blickpfaden zu finden, um diese für quantitative Ähnlichkeitsanalysen zugänglich zu machen. Hier wird auf die die Pattern-Analyse fokussiert.

Tab. 1: Kategoriensystem der qualitativen Analyse der Blickpfade.

Allgemein		Repräsentationsspezifisch	
Phasen		Material-bedingte Strategien	Vorwissens-bedingte Strategien
Orientierung		Beschriftung	Stromrichtung
Sequentiell	Verknüpfend	Aufgabenverknüpfung	Fokussierendes Verknüpfen
Elaboration			Wege über Knoten
Text-geleitet	Abbildungs-geleitet		Parallelkomponenten
Evaluation			Reihenkomponenten
Abbruch	Vergleichend		

Bei der Pattern-Analyse wurde mit den reduzierten Sequenzen der Fixationen, in denen es keine Wiederholungen von AOI gibt, ein Pattern-Mining mithilfe eines SPADE-Algorithmus, bei dem alle sich wiederholenden Muster, die mindestens 20 % der Personen aufweisen, durchgeführt. Es wurden $N = 148$ Pattern identifiziert. Auf Grundlage dieses Ergebnisses wurde eine Hierarchische Cluster-Analyse bezüglich der Häufigkeit der Muster durchgeführt (euklidische Distanzen, Ward.D2-Verknüpfung in R). Auf diese Weisen können zwei Hauptcluster bestimmt werden ($N_1 = 32$; $N_2 = 26$), für welche die Leistung in den perzeptuellen und in den konzeptuellen Aufgaben verglichen wurden. Hierbei finden wir signifikante Unterschiede in den Leistungen beider Aufgabentypen (Tab. 2).

Tab. 2: Vergleich der Leistung in den perzeptuellen und konzeptuellen Aufgaben ($M \pm SD$) zwischen den Hauptclustern (Mann-Whitney-U-Test).

Cluster	Perzeptuelle Aufgaben	Konzeptuelle Aufgaben
1 ($N_1 = 32$)	66,2 % $\pm$ 23,8 %	31,6 % $\pm$ 26,6 %
2 ($N_2 = 26$)	78,2 % $\pm$ 25,7 %	46,2 % $\pm$ 26,4 %
Statistik	$p = .043$; $U = 289.5$; $Z = -2.025$	$p = .036$; $U = 283.5$; $Z = -2.095$

Diskussion und Ausblick

Die bisherigen Analysen geben erste Antworten auf die oben genannten Forschungsfragen. Die qualitative Analyse der Eye-Tracking-Daten liefert Einblicke in verschiedene Strategien im Umgang mit Schaltplänen, von denen einige mit Bottom-Up-Faktoren in Zusammenhang stehen und andere mit Top-Down-Faktoren, wie das sequentielle Durchgehen des Stromkreises in Stromrichtung, was mit Lernendenvorstellungen in Zusammenhang gebracht werden kann. In weiteren Analysen sollen die rekonstruierten Strategien nun in Verbindung mit den Verbaldaten betrachtet werden. Für die quantitative Analyse der Eye-Tracking-Daten wurde mit der Pattern-Analyse eine Möglichkeit vorgestellt, Ähnlichkeiten zwischen Blickpfaden zu bestimmen, die Reihenfolgenaspekte der Blickpfade in kleinen Abschnitten (Pattern) berücksichtigt. Auch hier gilt es weitere Fragen zu klären (z.B. wie stabil sind bestimmte Pattern über weitere Aufgaben?) und andere Maße (bspw. Entropie-Maße) hinzuzuziehen, die Ähnlichkeiten zwischen Blickpfaden bestimmen, um eine genauere Beschreibung der verschiedenen Gruppen der Clusteranalyse zu ermöglichen.

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.

- Closset, J. (1984). Woher stammen bestimmte „Fehler“ von Schülern und Studenten aus dem Bereich der Elektrizitätslehre? Kann man sie beheben. *Der Physikunterricht*, 18(2), 21-31.
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37-46. <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>
- 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.
- Gegenfurtner, A., Lehtinen, E. & Säljö, R. (2011). Expertise differences in the comprehension of visualizations: A meta-analysis of eye-tracking research in professional domains. *Educational Psychology Review*, 23(4), 523-552. <https://doi.org/10.1007/s10648-011-9174-7>
- Grant, E. R. & Spivey, M. J. (2003). Eye movements and problem solving: Guiding attention guides thought. *Psychological Science*, 14(5), 462-466. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.02454>
- Hahn, L. & Klein, P. (2022). Eye tracking in physics education research: A systematic literature review. *Physical Review Physics Education Research*, 18(1), 013102.
- Just, M. A. & Carpenter, P. A. (1976). Eye fixations and cognitive processes. *Cognitive Psychology*, 8(4), 441-480. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(76\)90015-3](https://doi.org/10.1016/0010-0285(76)90015-3)
- Just, M. A. & Carpenter, P. A. (1980). A theory of reading: from eye fixations to comprehension. *Psychological review*, 87(4), 329.
- 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). <https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.15.010126>
- Madsen, A., Rouinfar, A., Larson, A. M., Loschky, L. C. & Rebello, N. S. (2013). Can short duration visual cues influence students' reasoning and eye movements in physics problems? *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 9(2), 020104.
- 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>
- Noton, D. & Stark, L. (1971a). Scanpaths in eye movements during pattern perception. *Science*, 171(3968), 308-311.
- Noton, D. & Stark, L. (1971b). Scanpaths in saccadic eye movements while viewing and recognizing patterns. *Vision research*, 11(9), 929-928.
- Peter, S. & Krey, O. (2024). Eye-Tracking-Studie zur Untersuchung von Strategien im Umgang mit Schaltplänen. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 1(1).
- Polya, G. (1945). *How to solve it: A new aspect of mathematical method*. Princeton university press.
- Rhöneck, C. v. (1986). Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis und zu den Begriffen Strom, Spannung und Widerstand. *Naturwissenschaften im Unterricht-Physik*, 34(13), 10-14.
- Rott, B., Specht, B. & Knipping, C. (2021). A descriptive phase model of problem-solving processes. *ZDM – Mathematics Education*, 53(4), 737-752. <https://doi.org/10.1007/s11858-021-01244-3>
- Schnotz, W. & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13(2), 141-156.
- Shipstone, D. M., Rhöneck, C. V., Jung, W., Kärrqvist, C., Dupin, J. J., Johsua, S. & Licht, P. (1988). A study of students' understanding of electricity in five European countries. *International Journal of Science Education*, 10(3), 303-316. <https://doi.org/10.1080/0950069880100306>