

Untersuchung visueller Strategien beim Umgang mit Repräsentationen elektrischer Stromkreise

Stefanie Peter, Olaf Krey

Didaktik der Physik, Universität Augsburg, Universitätsstraße 1, 86159 Augsburg
stefanie.peter@physik.uni-augsburg.de
olaf.krey@physik.uni-augsburg.de

Kurzfassung

Beim Erlernen physikalischer Konzepte spielen externe Repräsentationen eine wichtige Rolle. In der Elektrizitätslehre können verschiedene Arten von visuellen Repräsentationen elektrischer Stromkreise anhand ihrer Abstraktheit unterschieden werden. Das Spektrum reicht von standardisierten Schaltplänen bis hin zu Fotografien von real aufgebauten Schaltungen. Der Umgang mit diesen Repräsentationen bereitet Lernenden Schwierigkeiten, was sich beispielsweise darin äußert, dass die Translation zwischen den Repräsentationen nicht gelingt oder fälschlicherweise Symmetrie als Kriterium zur Beurteilung der Funktionsfähigkeit herangezogen wird. In unserem Forschungsvorhaben soll in den Blick genommen werden, auf welche Weise Lernende Repräsentationen elektrischer Stromkreise beim Lösen von Aufgaben aus der Elektrizitätslehre nutzen. Hierfür werden Aufgaben für eine Eye-Tracking-Studie entwickelt, in der die visuelle Aufmerksamkeit beim Lösen von Aufgaben mit Schaltplänen untersucht wird. Damit wollen wir uns der Frage widmen, welche visuellen Strategien im Umgang mit Schaltplänen beim Bearbeiten von Aufgaben zu elektrischen Stromkreisen identifiziert werden können.

1. Einleitung und theoretischer Hintergrund

1.1. Schaltpläne als Repräsentationsform in der E-Lehre

Elektrizität ist aus unserem von Technik geprägten Alltag nicht weg zu denken. Nicht nur für eine selbstbestimmte gesellschaftliche Teilhabe, sondern auch um eine „Orientierung für naturwissenschaftlich-technische Berufsfelder“ zu schaffen (KMK, 2004), ist ein Verständnis von grundlegenden Konzepten der Elektrizitätslehre notwendig. Die Vermittlung dieser Konzepte stellt sich jedoch als Herausforderung dar. Selbst bei Einsatz von aktuellen forschungsbasierten Unterrichtskonzeptionen, die im Vergleich zum traditionellen Unterricht effektiver sind, ist der Lernerfolg nicht zufriedenstellend (Burde & Wilhelm, 2020).

Insbesondere das Verstehen des Systemcharakters von Stromkreisen stellt eine Schwierigkeit dar. Lernende neigen dazu bei der Analyse von Verzweigungen lokal zu denken (Wilhelm & Hopf, 2018). Dies äußert sich beispielweise darin, dass an Verzweigungen im Stromkreis eine gleichmäßige Aufteilung des Stroms erwartet wird, unabhängig von den nachgeschalteten Widerständen, da der Strom an der Verzweigung noch nicht „weiß“, welche Widerstände folgen. Ein weiteres Denkmuster, das häufig vertreten ist, ist die sequenzielle Argumentation (ebd.). Auch hier fehlt das Bewusstsein für den Stromkreis als System. Lernende mit diesem Denkmuster nehmen an, dass sich Veränderungen eines Widerstandes in einer Reihenschaltung nur auf die Stromstärke des

bezüglich der Stromrichtung dahinter liegenden Teils des Stromkreises auswirkt, nicht aber auf den davor liegenden Abschnitt (ebd.). Diese beiden Denkmuster wirken bei Betrachtung eines Schaltplans erst einmal intuitiv, insbesondere wenn die Stromrichtung als Leserichtung wahrgenommen wird.

Bei Schaltplänen handelt es sich um eine gängige visuelle Repräsentation elektrischer Stromkreise, die dazu genutzt werden, physikalische Situationen darzustellen. Ein wesentliches Merkmal von Schaltplänen ist die topologische Äquivalenz. Nicht die absolute Position der Komponenten in einem Schaltplan ist für die physikalischen Eigenschaften des Stromkreises entscheidend, sondern die Verbindungen der Komponenten. So kann ein konkreter Schaltplan für eine ganze Klasse realer elektrischer Stromkreise stehen. Dies scheint für Lernende ein Problem darzustellen: Sie haben Schwierigkeiten bei der Translation zwischen einem Schaltplan und einem realen Stromkreis, wenn diese sich in ihrem räumlichen Erscheinungsbild unterscheiden, jedoch physikalisch identisch sind (McDermott & Shaffer, 1992). Außerdem fällt es ihnen schwer zwischen Reihen- und Parallelschaltungen zu unterscheiden, wenn in einem Stromkreis mehr als zwei Widerstände vorhanden sind (ebd.).

Es lässt sich also feststellen, dass Lernende sowohl Denkmuster aufweisen, die sich auf die Interpretation eines Schaltplans auswirken oder eventuell sogar durch diese Darstellungsform begünstigt werden, als auch konkrete Schwierigkeiten mit der

Darstellungsform an sich haben, wie das Heranziehen des räumlichen Erscheinungsbildes einer Schaltplans anstelle der Topologie zur Bewertung des Stromkreises.

1.2 Kognitionspsychologischer Hintergrund

Wenn Informationen aus Repräsentationen wie Schaltplänen verarbeitet werden, spricht man vom Bildverstehen. Bildverstehen geht über die reine Wahrnehmung hinaus und liegt erst dann vor, wenn das mentale Modell der Lernenden hinsichtlich der Konsistenz mit dem Wahrgenommenen evaluiert und auf interne Kohärenz mit dem Vorwissen überprüft wird (Weidenmann, 1988). Dabei hebt Weidenmann hervor, dass es sich hierbei um eine psychologische Definition handelt und die genannte Konsistenz und interne Kohärenz unabhängig davon sind, ob die Bildung des mentalen Modells gemessen an fachlichen Vorstellungen korrekt ist. Im Integrierten Modell des Text- und Bildverstehens (ITPC) beschreiben Schnotz und Bannert die kognitiven Prozesse, die beim Bildverstehen ablaufen (Schnotz & Bannert, 2003): Dabei werden zunächst durch Wahrnehmungsprozesse interne Repräsentationen der wahrgenommenen Bildaspekte im Arbeitsgedächtnis erzeugt. Durch schemagesteuerte Zuordnungsprozesse werden dann den grafischen Entitäten Bedeutungen zugeordnet und den räumlichen Beziehungen semantische Beziehungen zugeordnet, die dann wiederum zusammen mit dem Vorwissen in ein mentales Modell integriert werden. Dabei finden sowohl Bottom-Up-Prozesse statt, bei denen die Informationen des Bildes für die Verarbeitung aufgenommen werden, als auch Top-Down-Prozesse, was sich in der Selektion relevanter Abbildungsaspekte, der Organisation dieser durch visuelle Routinen und der Evaluation oder Inspektion eines vorhandenen mentalen Modells äußert (ebd.). Während für das Design von Multimediaumgebungen häufig die Bottom-Up-Prozesse beachtet werden, um das Material an die kognitiven Prozesse anzupassen, spielen bei Betrachtung der Top-Down-Prozesse Kompetenzen und Vorwissen der Lernenden mit der jeweiligen Repräsentationsform eine Rolle.

Für das Lernen mit Repräsentationen sind Repräsentationskompetenzen notwendig. Rau (2017) unterscheidet auf Grundlage kognitionspsychologischer Ansätze wie kognitiver Lerntheorien und Theorien zum Lernen mit Multimedia zwischen drei Teilkompetenzen: den konzeptuellen Kompetenzen, den perzeptuellen Kompetenzen und den Meta-Repräsentationalen Kompetenzen. Zu den konzeptuellen Kompetenzen gehört zum einen die Teilkompetenz „visual understanding“, welche das Wissen umfasst, auf welche Weise die Repräsentation Informationen abbildet, und die Fähigkeit die Repräsentation mit Konzepten zu verknüpfen, zum anderen die Teilkompetenz „connectual understanding“, welche die Fähigkeit der Translation und dem Verbinden von verschiedenen Repräsentationen beschreibt (ebd.). Ähnliche Konstrukte sind auch bei Kozma & Russell (2005) und

diSessa (2004) zu finden, die Nitz (2012) zu den Oberkategorien Interpretation, Konstruktion, Translation, Vergleich und Kritik, Epistemologie und Funktionsweise sowie Argumentation zusammenfasst.

Die perzeptuellen Kompetenzen beschreiben die Geläufigkeit und Vertrautheit, mit der einzelne Repräsentationen erschlossen werden (visual fluency) oder mit der zwischen verschiedenen Repräsentationen translatiert wird (connectual fluency) (Rau, 2017). Bei ausgeprägten perzeptuellen Kompetenzen besteht die Fähigkeit mühelos und effizient Bedeutungen in Repräsentationen zu erkennen. Diese resultieren aus ausgiebiger Übung mit der Repräsentation (Gibson, 1969).

Erlebach und Frank (2022) leiten aus den Top-Down-Prozessen des ITPC ab, welches Vorwissen für die jeweiligen Teilprozesse relevant ist. Sie unterscheiden generell zwischen dem bereichsspezifischem Inhaltsvorwissen, wie lexikalisch-semantischem und konzeptuellem Vorwissen, und dem bereichsübergreifendem jedoch repräsentationsspezifischem Repräsentationswissen, welches sie in deklaratives Repräsentationswissen, strategisches Repräsentationswissen und prozedurales Repräsentationswissen unterteilen. In ihrem systematischem Literaturreview fassen sie bezüglich des Einfluss der Vorwissens auf die Verarbeitungsprozesse von externen Repräsentationen zusammen, dass deklaratives Repräsentationswissen insbesondere in Form von Wissen über repräsentationale Konventionen und dem Erkennen von relevanten Details, aber auch als Wissen über die Funktion der Repräsentation benötigt wird. Räumlich-visuelle Fähigkeiten als Beispiel prozeduralen Repräsentationswissens werden ebenfalls als lernförderlich beschrieben (ebd.). Auch perzeptuelle Repräsentationskompetenzen können als prozedurales Repräsentationswissen verstanden werden. Das Fördern perzeptueller Kompetenzen führt sowohl dazu, dass Lernende eine höhere Selektivität gegenüber relevanter Informationen aufweisen und Informationen in größeren Einheiten verarbeiten (Discovery Effects), als auch zu einer höheren Effizienz bei der Informationsaufnahme bei geringer kognitiver Belastung, was zu vermehrten parallelen Verarbeitungsprozessen führen kann (Fluency Effects) (Kellman & Massey, 2013). Interventionen, die diese Kompetenzen adressieren, führen zu einem langanhaltendem Lernzuwachs (Kellman & Massey, 2009). Um von solchen Interventionen zu profitieren, ist es jedoch notwendig, dass Lernende bereits über konzeptuelles Vorwissen verfügen (Rau, 2022). Strategisches Repräsentationswissen spielt im Umgang mit Repräsentationen ebenfalls eine wichtige Rolle und kommt z. B. beim Ablezen und Vergleichen von Funktionswerten eines Graphen zum Einsatz (Erlebach & Frank, 2022). So zeigen sich Interventionen, die diese Form des Repräsentationsvorwissens adressieren, als wirksam für Lernende mit wenig Vorwissen (ebd.) Bei Lernenden mit größerem Vorwissen kann es allerdings zum Expertise-Reversal-Effekt

kommen (Kalyuga, 2014): Es zeigt sich, dass Instruktionen mit kleinschrittigen Anweisungen zum Umgang mit den Repräsentationen lernförderlich für unerfahrene Lernende sind. Erfahrenen Lernenden schneiden schlechter ab, wenn sie diese Instruktion erhalten im Vergleich zu einer Instruktion, die keine Angaben zur Strategie, sondern lediglich die Repräsentation enthält (ebd.).

1.3 Eye Tracking als methodischer Ansatz

Die Methode des Eye-Trackings wird insbesondere in den letzten Jahren immer häufiger in der Physikdidaktik eingesetzt (Hahn & Klein, 2022). Beim Eye-Tracking wird die visuelle Aufmerksamkeit von Personen durch die Aufnahme der Augenbewegungen bei Vorlage eines Stimulus sichtbar gemacht. Während das Graphenverständnis in der Kinematik beispielsweise bereits sehr umfänglich mit dieser Methode untersucht wurde, finden sich in der Elektrizitätslehre und insbesondere im Umgang mit Schaltplänen bisher nur wenige Forschungsarbeiten (ebd.). Van Gog et al. (2005) untersuchten Unterschiede zwischen Experten und Novizen bei der Bearbeitung von Aufgaben, in denen Fehler in elektrischen Schaltungen erkannt und behoben werden musste. Dabei teilten sie die Bearbeitung der Aufgabe in verschiedene Phasen und konnten mithilfe von Eye-Tracking-Daten in Kombination mit Verbaldaten der Teilnehmenden zeigen, dass Experten mehr Zeit für die Phase der Problemorientierung benötigen und eher dazu geneigt sind eine Bestandsaufnahme der Komponenten zu machen und ihre Funktionsweise vorherzusagen, bevor sie diese testen. Novizen hingegen eher dazu neigen die Konstruktion ohne vorherige Orientierung zu testen (Van Gog et al., 2005). In einer Untersuchung von Rosengrant et al. (2009) zeigten Experten bei der Bearbeitung von Aufgaben zu Stromkreisen Blickpfade, die eher entlang des Schaltplans verliefen, während die Blicke der Novizen eher zwischen den Komponenten des Stromkreises hin und her sprangen. Zudem verwendeten die Experten Strategien wie die zeichnerische Vereinfachung der Schaltpläne (ebd.). Für die Ergebnisse beider Studien muss allerdings beachtet werden, dass diese nur mit wenigen Teilnehmenden durchgeführt wurden. Des Weiteren wurde Eye Tracking genutzt, um Translationen zwischen Analogien und Zielkonzepten in der Elektrizitätslehre zu untersuchen (Chen & She, 2020).

2. Geplante Studie

2.1 Forschungsfragen

Das Lesen von Schaltplänen bereitet Lernenden in vielfacher Hinsicht Probleme. Grundlegende Aspekte, wie das Heranziehen topologischer Aspekte zur Beurteilung eines Schaltplans anstelle des räumlichen Erscheinungsbildes, scheinen Schwierigkeiten

zu bereiten, was darauf hindeutet, dass den Lernenden konzeptionelle Kompetenzen zur Interpretation von Schaltplänen fehlen. Hier bleibt zu klären, ob es sich um einen Mangel an deklarativem Wissen, welche Aspekte von Schaltplänen konzeptionell wichtig sind, handelt oder es an strategischem Wissen fehlt, wie die Informationen aus der Repräsentation herausgelesen und zielführend genutzt werden. Die hier im Wesentlichen zu beantwortende Forschungsfrage lautet: Inwiefern können aus der visuellen Aufmerksamkeit von Lernenden beim Lösen von Aufgaben aus der Elektrizitätslehre Strategien im Umgang mit Schaltplänen rekonstruiert werden?

2.2 Stichprobe und Methode

Um ein breites Spektrum an Fähigkeiten und Expertise abzudecken, sollen Schüler*innen, nach dem Elektrizitätslehreunterricht in der Mittelstufe, Physikstudierende nach der Experimentalphysik 2 Vorlesung (Elektrodynamik) und Doktoranden der Physik in die Untersuchung eingeschlossen werden.

Mithilfe eines Fragebogens werden sowohl allgemeine Informationen über die Teilnehmenden (Alter, Noten, Interesse etc.) als auch das Vorwissen und Schülervorstellungen zum Themenbereich Elektrizitätslehre erfasst. Danach bearbeiten die Teilnehmenden schaltplanbezogene Aufgaben, in denen Konzepte aus der Elektrizitätslehre angewendet werden sollen. Zur Erfassung der visuellen Aufmerksamkeit bei der Bearbeitung dieser Aufgaben wird ein stationäres Eye-Tracking-System genutzt. Um die Strategien der Lernenden zu rekonstruieren, wird nach der Bearbeitung der Aufgaben ein retrospektives Lautes Denken unter Zuhilfenahme der Gazeplots durchgeführt. Hierzu wird den Teilnehmende ihre Augenbewegung bei der Bearbeitung der Aufgaben in einem Video gezeigt, wie es in Abbildung 1 beispielhaft dargestellt ist. In den Gazeplots werden Stellen, die länger betrachtet werden (Fixationen), mit Kreisen und die Blickbewegungen (Sakkaden) zwischen den Fixationen mit Linien zwischen den Kreisen gekennzeichnet. Das Abspielen der Eye-Tracking-Daten, soll den Teilnehmenden als gedankliche Stütze für das retrospektive Laute Denken dienen.

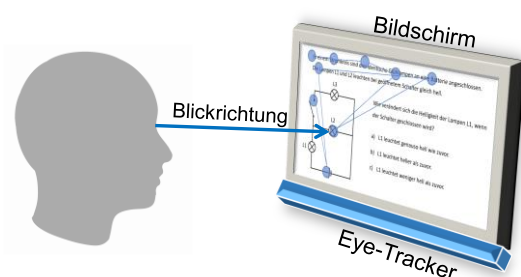


Abb. 1: Schematische Darstellung des Aufbaus (selbst erstellt).

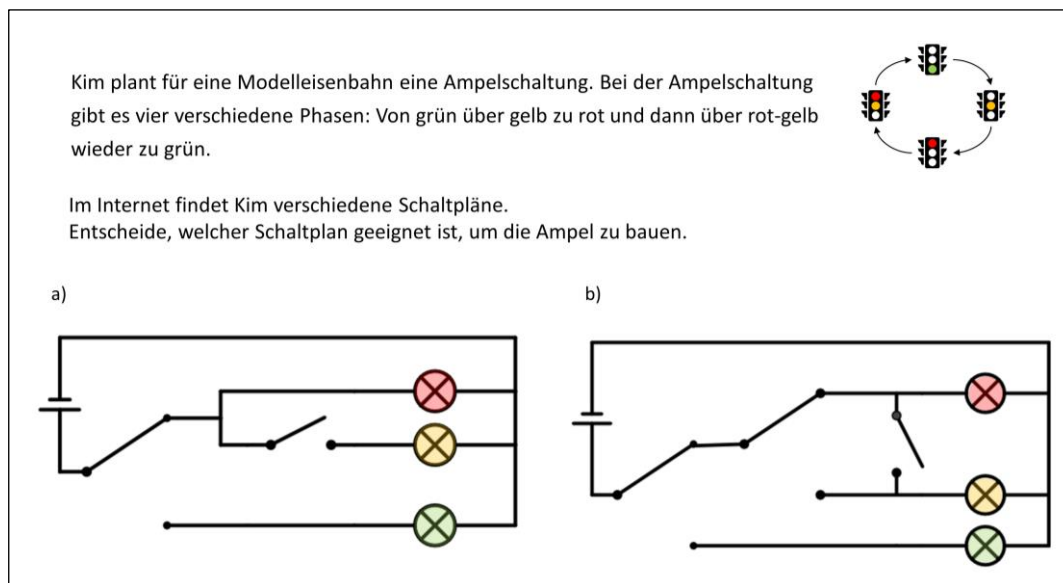


Abb. 2: Exemplarische Aufgabe zur Auswahl eines Schaltplans, der die Funktion einer Ampelschaltung erfüllt (vorläufig).

2.3 Erhebungsmaterialien

Bei der Erstellung des Erhebungsmaterials werden sowohl konzeptuelle als auch repräsentative Aspekte berücksichtigt. Zu den konzeptuellen Aspekten gehört das Verbinden von bestimmten Funktionen, die ein Stromkreis erfüllen soll, mit konkreten Schaltplänen, der Zusammenhang zwischen den physikalischen Größen Spannung, Stromstärke und Widerstand sowie das Erkennen von Reihen- und Parallelschaltungen und das Anwenden von Gesetzmäßigkeiten in diesen grundlegenden Schaltungstypen. Als repräsentatives Konzept wird bei der Erstellung der Aufgaben insbesondere die topologische Äquivalenz berücksichtigt. Eine exemplarische Aufgabe, welche das Verbinden von Funktionen (Ampelschaltung mit vier Phasen) mit konkreten Schaltplänen adressiert, ist in Abb. 2 dargestellt.

3. Ausblick

Nach endgültiger Ausarbeitung des Erhebungsmaterials soll dieses im nächsten Schritt im Sommersemester 2023 pilotiert werden. Mit den Ergebnissen der Pilotierung wird das Material überarbeitet, sodass im Wintersemester 2023/24 die Haupterhebung folgen kann.

4. Literatur

- Burde, J.-P., & Wilhelm, T. (2020). Teaching electric circuits with a focus on potential differences. *Physical Review Physics Education Research*, 16(2).
<https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.16.020153>
- Chen, S.-C., & She, H.-C. (2020). Effects of Analogical Learning Approaches and Presentation Modalities on Ninth Graders' Learning

Outcome and Eye Movements: a Preliminary Study. *Journal of Science Education and Technology*, 29(4), 547-560.

<https://doi.org/10.1007/s10956-020-09835-7>

diSessa, A. A. (2004). Metarepresentation: Native Competence and Targets for Instruction. *Cognition and instruction*, 22(3), 293-331.

https://doi.org/10.1207/s1532690xci2203_2

Erlebach, R., & Frank, C. (2022). Rolle des Vorwissens beim Lernen mit externalen Repräsentationen. *Unterrichtswissenschaft*, 50(3), 479-516.

<https://doi.org/10.1007/s42010-022-00143-0>

Gibson, E.J. (1969). *Principles of perceptual learning and development*. Appleton-Century-Crofts.

Hahn, L., & Klein, P. (2022). Eye tracking in physics education research: A systematic literature review. *Physical Review Physics Education Research*, 18(1).

<https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.18.013102>

Kalyuga, S. (2014). The expertise reversal principle in multimedia learning. In *The Cambridge handbook of multimedia learning*, 2nd ed. (pp. 576-597). Cambridge University Press.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.028>

Kellman, P. J., Massey, C. M., & Son, J. Y. (2009). Perceptual Learning Modules in Mathematics: Enhancing Students' Pattern Recognition, Structure Extraction, and Fluency. *Topics in Cognitive Science*, 2(2), 285-305.

<https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2009.01053.x>

Kellman, P. J., & Massey, C. M. (2013). Perceptual learning, cognition, and expertise. In B. H. Ross

- (Ed.), *Psychology of learning and motivation* (Vol. 58, pp. 117-165). Elsevier.
- Kozma, R., & Russell, J. (2005). Students Becoming Chemists: Developing Representational Competence. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in Science Education* (pp. 121-145). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-3613-2_8
- Kulgemeyer, C. & Schecker, H. (2009). Physikalische Darstellungsformen. Ein Beitrag zur Klärung von „Kommunikationskompetenz“. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 62(6), 328-331.
- Kultusministerkonferenz (KMK) (edt.) (2004) *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz. Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*. Beschluss vom 16.12.2004.
- 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>
- Nitz, S. (2012). *Fachsprache im Biologieunterricht: Eine Untersuchung zu Bedingungsfaktoren und Auswirkungen*. Kiel: Christian-Albrechts-Universität.
- 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>
- Rau, M. A. (2022). Adaptive Support for Representational Competencies during Technology-Based Problem-Solving in STEM. In *Artificial Intelligence in STEM Education* (pp. 51-60). CRC Press.
- 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): 249-252. <https://doi.org/10.1063/1.3266728>
- 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>
- Weidenmann, B. (1988). Psychische Prozesse beim Verstehen von Bildern. Hans Huber Verlag.
- 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