

Thomas Weatherby¹
 Thomas Wilhelm¹
 Jan-Philipp Burde²
 Fabian Beil³
 Sebastian Kapp³
 Jochen Kuhn³
 Michael Thees³

¹Goethe-Universität Frankfurt am Main
²Eberhard Karls Universität Tübingen
³TU Kaiserslautern

Visualisierungen bei Simulationen von einfachen Stromkreisen

Einleitung und Theorie

Visualisierungen sind für Physiklehrende und -lernende unentbehrliche Werkzeuge, insbesondere bei unsichtbaren physikalischen Größen wie Stromstärke oder Spannung. Deren wichtige Rolle für naturwissenschaftliches Denken und Lernen ist unstrittig (Mayer, 2009; Paivio, 2008). Vor der Erstellung solcher Visualisierungen zu einfachen Stromkreisen wurde eine Liste von erwünschten Eigenschaften erstellt, die auf verschiedene Theorien zurückgreift. Allgemein kann man eine Darstellung als ein von Vygotsky beschriebenes „kulturelles oder psychologisches Werkzeug“ (Vygotsky, 1978, 1986) betrachten. Solche Darstellungen werden im Unterricht benutzt, um sonst nicht sichtbare Prozesse sichtbar zu machen, wodurch es den Lernenden erleichtert wird, ein Verständnis der dahinterstehenden Gesetzmäßigkeiten und Begriffe zu entwickeln. Ein solches Vorgehen ist nützlich, aber natürlich spielt auch die gesamte Lernumgebung eine Rolle, da für die Interpretation und das Lernen letztendlich verschiedene Prozesse relevant sind. Im vorliegenden Fall geht es um eine Lernumgebung, bei der Lernende Reihen- und Parallelschaltungen praktisch untersuchen. Die hier vorgestellten Darstellungen sollen möglichst eindeutig und verständlich sein.

Um die Verständlichkeit zu erheben, wird die kognitive Belastung (Leppink, Paas, Van der Vleuten, Van Gog, & Van Merriënboer, 2013) erhoben. Die Kernidee der Theorie der kognitiven Belastung besteht darin, dass man eine begrenzte Menge an kognitiven Ressourcen hat, die auf verschiedene Arten beansprucht werden können. Dabei unterscheidet man bei der kognitiven Belastung zwischen drei Arten (Sweller, 1999). Zunächst ist hier der „intrinsic load“ („intrinsische Belastung“) zu nennen, der direkt auf den Lerngegenstand zurückzuführen ist und der in diesem Zusammenhang die empfundene Schwierigkeit beschreibt. Der intrinsic load ist unabhängig davon, wie man ein Thema unterrichtet. Der „germane load“ („relevante Belastung“) entsteht durch den Aufbau neuer kognitiver Schemata, weshalb diesem Belastungstyp eine besondere Bedeutung in Zusammenhang mit Lernprozessen zukommt. Um Lernen zu ermöglichen, sollte für diesen Belastungstyp ein möglichst hoher Anteil an kognitiven Ressourcen zu Verfügung stehen. Der „extrinsic load“ („extrinsische Belastung“) sollte hingegen minimiert werden, indem z.B. Änderungen am Instruktionsdesign bzw. der Lehr- und Lernmaterialien vorgenommen werden (Chandler & Sweller, 1991).

Hinweise dazu, wie Darstellungen lernförderlich gestaltet werden können, finden sich in „Analogical Learning“ von Gentner (Gentner, 1983, 2009; Gentner & Markman, 1997). Voraussetzung für eine sinnvolle Nutzung von Analogien ist, dass der Zielbereich („target domain“) und der Ausgangsbereich („base domain“) über vergleichbare Strukturen verfügen. Ist der Zielbereich den Lernenden bisher unbekannt, können die bestehenden Strukturen des Ausgangsbereichs auf diesen übertragen werden, sofern beide Lernbereiche über eine grundsätzlich vergleichbare Struktur verfügen.

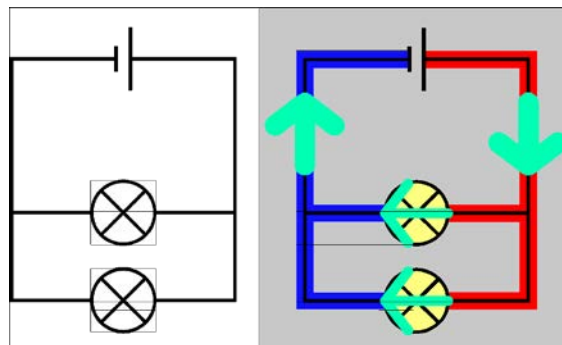
Auf „Analogical Learning“ wurde diSessas „Knowledge-in-Pieces“-Sichtweise aufgebaut (diSessa, 1988, 1993, 2018). Einen zentralen Bestandteil dieser Theorie stellen die von diSessa postulierten „phenomenological primitives“ (kurz „p-prims“) dar. Diese „p-prims“ beschreiben einzelne, miteinander unverbundene Wissensfragmente über die physikalische Welt. Durch die Aktivierung geeigneter „p-prims“ kann auf Vorstellungen zurückgegriffen werden, die für eine bestimmte Lernsituation hilfreich sein können. Mit Hilfe der im Folgenden beschriebenen Visualisierung sollen so geeignete „p-prims“ aktiviert – Farbdarstellung „Vacuum Impuls“ (Saugkraft) und Höhendarstellung „Released Object Falls“ (freie Objekte fallen) (diSessa, 1993) - und ungeeignete Vorstellungen vermieden werden.

Checkliste von erwünschten Eigenschaften (für Lehrkräfte)

Erwünscht sind Darstellungen, die

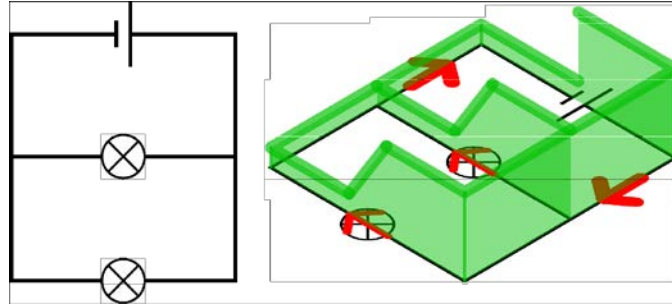
- leicht erkennbar und verständlich sind, um unerwünschte kognitive Belastungen zu minimieren und die damit den Lernenden ermöglichen, an bereits vorhandene Wissensstrukturen anzuknüpfen;
- über eine bekannte Struktur verfügen, deren Eigenschaften auf den Zielbereich übertragbar sind;
- keine physikalisch-falschen Vorstellungen erzeugen;
- vorhandene Schülervorstellungen nicht weiter manifestieren, sondern diese idealerweise in Frage stellen.

Farbdarstellung



In der obigen Darstellung sind alle relevanten physikalischen Größen enthalten: Die Potentiale werden mittels entsprechender Farben und die Stromstärke mittels der Pfeildicke dargestellt. Die Glühlampen werden breiter als die Farbmarkierung der Drähte gezeichnet, da sie auf der ganzen Breite als Widerstand wirken. Von den verschiedenen Schaltzeichen, die für Spannungsquellen in Gebrauch sind, wird eines ausgewählt, das die Potenzialseparation in der Spannungsquelle durch eine räumliche Trennung unterstreicht. Darüberhinausgehende Informationen (wie z.B. bewegte Ladungspakete) werden gezielt vermieden. Der Verzicht auf eine explizite Darstellung von Ladungspaketen geschieht vor allem, um den Lernenden visuell nicht nahezulegen, den Stromkreis aus Sicht des Stroms zu analysieren (Closset, 1983; Shipstone, 1984), auch „sequentielle Argumentation“ (Urban-Woldron & Hopf, 2012). Die Benutzung einer Blau-Rot-Farbskala ist dabei der alltäglichen Konvention entlehnt, dass hohe Werte (z.B. bei der Temperatur) i.d.R. rot und tiefe Werte blau dargestellt werden (vgl. Wasserhähne und Wetterkarten). Daran angelehnt werden in der hier vorgestellten Grafik hohe Potentiale rot und niedrige Potentiale blau eingefärbt. Ein wesentlicher Vorteil der Darstellung besteht auch darin, dass die Schaltskizze erhalten bleibt, wodurch eine potenziell kognitiv-belastenden Transformationen für die Lernenden entfällt.

Höhendarstellung



Die Höhendarstellung des Potenzial ist eine dreidimensionale Darstellungen, die Lernende vor zusätzliche Schwierigkeiten stellen, da die Umwandlung des zweidimensionalen Schaltplans in eine dreidimensionale Höhendarstellung eine zusätzliche kognitive Belastung darstellt (Pillay, 1994). In der Studie wird den Lernenden diese Belastung teils abgenommen, indem die Transformation in einer Computersimulation abläuft, was einen erheblichen Vorteil gegenüber traditionellen Lern- und Lehrmittel darstellt. Eine weitere Besonderheit der Visualisierung ist, dass die Aufmerksamkeit der Lernenden auf den vorderen Teil der Darstellung gelenkt wird (Pillay, 1998). Dies kann genutzt werden, indem wichtige Aspekte im Vordergrund platziert werden. Die Spannung wird hier durch die Höhe dargestellt. Um Spannungsquelle und Widerstand zu unterscheiden, werden diese unterschiedlich dargestellt. Ladung kann die schiefe Ebene der Widerstände „herunter rutschen“, aber muss an der Spannungsquelle „hochgepumpt“ werden. Um die konstante Höhe der Drähte zu verdeutlichen, wurden verhältnismäßig lange Leiterabschnitte verwendet.

Überblick des Projektes

	Tablet		HoloLens
	AR		Sim.
	zk	zk+rk	-
zk = zeitlich kohärent rk = räumlich kohärent Sim. = Simulation AR = Augmented Reality			
AR Messgerät	X	X	X
Höhendarstellung	X	X	X
Farbdarstellung	X	X	X

Tabelle 1: Überblick der geplanten Experimentalgruppen. Die in diesem Artikel beschriebenen Gruppen sind rot gekennzeichnet.

Die zwei oben vorgestellten Visualisierungen sollen als Simulation im Rahmen des Nebenfachpraktikums auf ihre Wirksamkeit hin empirisch überprüft werden. Die Erhebung stellt einen Teil des größeren Projektes iVOLTAGE - Investigation of Visualisation with Multimedia Learning Technologies for Augmenting Electrical Experiments dar - (siehe Tab. 1). Das Ziel der Studie besteht darin, die kognitive Belastung und Lernförderlichkeit von verschiedenen Messmethoden und Darstellungen im Praktikum für Nebenfachstudierende zu erfassen. Langfristig sollen die daraus gewonnenen Erkenntnisse zu “Best Practice” Vorschläge zusammengefasst werden, damit die Effektivität von Lernmaterialien verbessert werden kann.

Literatur

- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. *Cognition and Instruction*, 8(4), 293–332. https://doi.org/10.1207/s1532690xci0804_2
- Closset, J.-L. (1983). *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*. Université Paris Diderot (Université Paris VII).
- diSessa, A. A. (1988). Knowledge In Pieces. In G. Forman & P. B. Pufall (Eds.), *Constructivism in the Computer Age* (pp. 49–70). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers. <https://doi.org/10.4324/9781315467139-3>
- diSessa, A. A. (1993). Toward an Epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, 10(2–3), 105–225. <https://doi.org/10.1080/07370008.1985.9649008>
- diSessa, A. A. (2018). A Friendly Introduction to “Knowledge in Pieces”: Modeling Types of Knowledge and Their Roles in Learning. In *Invited Lectures from the 13th International Congress on Mathematical Education* (pp. 65–84). https://doi.org/10.1007/978-3-319-72170-5_5
- Gentner, D. (1983). Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7(2), 155–170. [https://doi.org/10.1016/S0364-0213\(83\)80009-3](https://doi.org/10.1016/S0364-0213(83)80009-3)
- Gentner, D. (2009). *The mechanisms of analogical learning. Similarity and analogical reasoning*. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511529863.011>
- Gentner, D., & Markman, A. B. (1997). Structure mapping in analogy and similarity. *American Psychologist*, 52(1), 45–56. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.52.1.45>
- Leppink, J., Paas, F., Van der Vleuten, C. P. M., Van Gog, T., & Van Merriënboer, J. J. G. (2013). Development of an instrument for measuring different types of cognitive load. *Behavior Research Methods*, 45(4), 1058–1072. <https://doi.org/10.3758/s13428-013-0334-1>
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning, second edition. Multimedia Learning, Second Edition*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511811678>
- Paivio, A. (2008). *Mental Representations: A dual coding approach. Mental Representations: A Dual Coding Approach*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195066661.001.0001>
- Pillay, H. (1994). Cognitive load and mental rotation: structuring orthographic projection for learning and problem solving. *Instructional Science*, 22(2), 91–113. <https://doi.org/10.1007/BF00892159>
- Pillay, H. (1998). Cognitive processes and strategies employed by children to learn spatial representations. *Learning and Instruction*, 8(1), 1–18. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(97\)00030-3](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(97)00030-3)
- Shipstone, D. M. (1984). A study of children’s understanding of electricity in simple dc circuits. *European Journal of Science Education*, 6(2), 185–198. <https://doi.org/10.1080/0140528840060208>
- Sweller, J. (1999). *Instructional Design in Technical Areas*. Camberwell, Australia: ACER Press.
- Urban-Woldron, H., & Hopf, M. (2012). Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis in der Elektrizitätslehre. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 18, 201–227.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind and Society: The Development of Higher Psychological Processes*. (M. Cole, A. R. Luria, M. Lopez-Morillas, & J. V Wertsch, Eds.), *Harvard University Press*. Cambridge, MA. [https://doi.org/\(Original manuscripts \[ca. 1930-1934\]\)](https://doi.org/(Original%20manuscripts%20[ca.%201930-1934]))
- Vygotsky, L. S. (1986). *Thought and Language*. (A. Kozulin, Ed.). Cambridge, MA: The M.I.T. Press. [https://doi.org/\(Original manuscripts \[ca. 1930-1934\]\)](https://doi.org/(Original%20manuscripts%20[ca.%201930-1934]))