

iVoltage - Einsatz einer Simulation im E-Lehre-Praktikum

**Thomas Weatherby*, Thomas Wilhelm*, Jan-Philipp Burde⁺, Sebastian Kapp[°], Michael Thees[°],
Fabian Beil[°] und Jochen Kuhn[°]**

*Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt;

⁺AG Didaktik der Physik, Universität Tübingen;

[°]AG Didaktik der Physik, Technische Universität Kaiserslautern.
weatherby@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Mithilfe von verschiedenen Modelldarstellungen und Medien können abstrakte physikalische Größen und deren Zusammenhänge Lernenden nähergebracht werden. Im Rahmen des Forschungsprojektes *iVoltage* (Investigation of Visualisation with Multimedia Learning Technologies for Augmenting Electrical Experiments) wird die Effektivität von unterschiedlichen Modelldarstellungen und Medien auf das konzeptionelle Verständnis der Studierenden beim Thema „einfache Stromkreise“ untersucht.

In diesem Beitrag wird der Aufbau des übergreifenden Forschungsprojektes sowie die hier aufgeführte Teilstudie zusammen mit einer HTML-JavaScript Simulation vorgestellt, in der einfache Stromkreise durch Klicken zusammengestellt und simuliert werden können. Das Potential wird durch einen Farbverlauf Blau-Weiß-Rot dargestellt und die Stromstärke durch die Pfeildicke des Stromstärkepfeiles. Zusätzlich werden die Spannungen und Stromstärken bei jedem Bauteil numerisch angezeigt, so dass auch eine quantitative Auseinandersetzung mit dem Thema möglich ist. Die Mixed-Methods-Studie findet im Rahmen eines Praktikums im Studiengang Lehramt für Haupt- und Realschule an der Goethe-Universität Frankfurt am Main statt.

Abstract

Through the use of different visual representations, abstract physical quantities can be made more tangible for learners. The ongoing research project *iVoltage* (Investigation of Visualisation with Multimedia Learning Technologies for Augmenting Electrical Experiments) seeks to test the effectiveness of different types of digital teaching media and visual models to change student understanding of simple circuits.

In this paper, the structure of the overarching project, as well as the structure of an ongoing study of a simulation with trainee technical and secondary modern teachers at the Goethe-University in Frankfurt am Main, Germany. The simulation is a simple, visual representation of a circuit, written in HTML and JavaScript to which components and parallel wires can be added through clicking on empty boxes. Upon clicking on “Start”, the wires are coloured in a blue-white-red colour gradient representing the potential and arrows of differing thickness, representing current. The numerical values of the potential difference as well as the current are shown by each component, enabling a quantitative engagement with the topic.

1. Einordnung des Projekts

1.1. Überblick des Gesamtprojekts

Das *iVoltage*-Projekt vergleicht unter anderem den erzeugten Lernzuwachs und die kognitive Belastung von mehreren Medien- und Darstellungsarten. Alle Interventionsgruppen setzen sich experimentell mit einfachen Stromkreisen auseinander und benutzen die gleiche Anleitung mit kleinen Änderungen, um diese an das jeweils genutzte Medium, d.h. Tablet oder HoloLens anzupassen. Alle Teilnehmer sind Studierende an der Goethe-Universität Frankfurt am Main.

Medium \ Darstellung	Tablet		Sim.	HoloLens
	AR			AR
	Dash.	Kam.		
Messgerät	[1]	[1]	X	[1]
Höhe				
Farbe			B	

Tab. 1: Überblick über die Experimentalgruppen. Felder mit [1] markiert sind bereits erhobene Gruppen, mit „B“ markiert ist die hier vorgestellte Gruppe zu sehen und Gruppen in Dunkelgrau sollen noch erhoben werden (AR = Augmented Reality, Sim. = Simulation, Dash. = Dashboard, Kam. = Kamera).

Ein Überblick der Experimentalgruppen findet sich in Tabelle 1. Die Überlegungen in diesem Beitrag beschränken sich auf die mit „B“ gekennzeichnete Gruppe. Diese Gruppe benutzt – statt eines experimentellen Aufbaus – eine JavaScript Simulation, um ihre Daten zu erheben. Die bereits erhobenen Gruppen sind mit [1] gekennzeichnet; die Forschungsergebnisse finden sich in [1]. Die zwei Tablet-AR-Gruppen unterscheiden sich, indem einer Gruppe die Messergebnisse als eine Anordnung von virtuellen Messgeräten auf einem Tablet (als Dashboard) gezeigt werden, während die zweite Gruppe die virtuellen Messgeräte durch die Kamera als Skalen über jedem Bauteil sieht.

1.2. Studiendesign des Teilprojektes

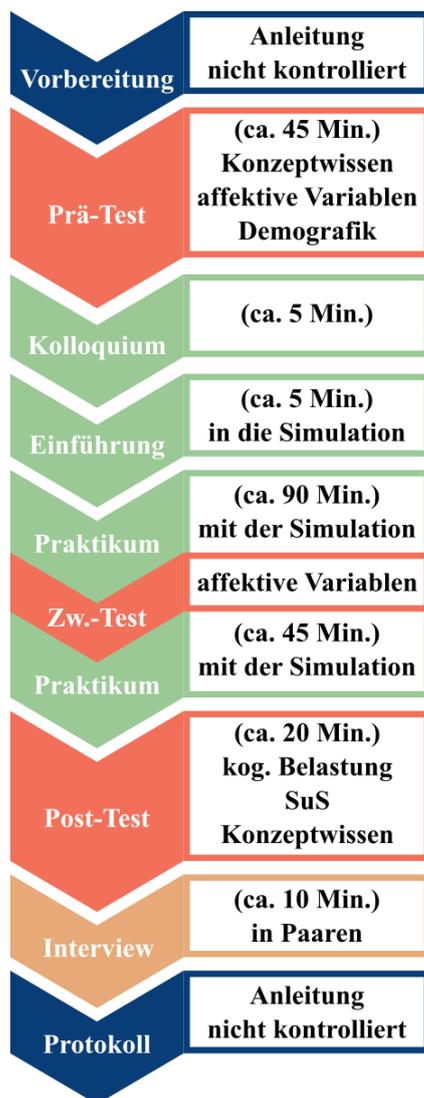


Abb. 1: Studienablauf für die Studierenden mit angenäherten Zeitangaben. Die Vorbereitung und Protokollierung finden unbeaufsichtigt statt mithilfe einer Anleitung – in Blau gekennzeichnet. Die zu erhebenden Variablen sind den Tests zugeschrieben. Orangetöne stehen für Datenerhebung, dunkelorange für quantitative und hellorange für qualitative Daten. Alle Blöcke in Grün sind Teil der Intervention.

Die Studie wird in Zweiergruppen im Rahmen eines bereits existierenden Praktikums durchgeführt. Der Ablauf ist in Abbildung 1 zu sehen. Sowohl Prä- als auch Post-Tests erheben Konzeptwissen, um Wissenszuwachs bzw. Schülervorstellungen zu messen. Affektive Daten und demographische Daten werden als Kovariablen erhoben.

Alle Schritte, die in Abbildung 1 dargestellt sind, Grün bilden die Intervention. Externe Informationen werden nur in den ersten zwei Schritten von dem Betreuer angeboten. Die Einführung ist in allen Gruppen identisch, jedoch können Studierende während des Kolloquiums individuelle Fragen stellen. Während der praktischen Phase werden affektive Variablen in einem kurzen Zeitraum (ca. 5 Min.) abgefragt. Zusätzlich zu den in allen Interventionsgruppen stattfindenden Post-Test wird ein halboffenes Interview mit den Paaren durchgeführt, um Feedback für die Weiterentwicklung der Simulation zu sammeln. Es wurden im Interview auch die Meinungen der Lehramtsstudierenden zum Einsatz der Simulation im Unterricht erhoben.

2. Zugrundeliegende Designkonzepte der Simulation

Im Folgenden sollen die Kernideen der Simulation zusammengefasst werden, um einen ausreichenden Kontext für die Screenshots und die Diskussion zu ermöglichen. Für eine Begründung der gewählten Darstellungen in der Simulation sei auf [2] erweisen.

In der Simulation sollen die physikalischen Größen Stromstärke und Potential(-unterschied) sichtbar gemacht werden. Die Idee ist, durch die Kodierung mittels Farbe den Lernenden ein neues „kulturelles oder psychologisches Werkzeug“ bereitzustellen [3], mit dem sie nicht nur simulierte Stromkreise analysieren können, sondern die Kodierung auch außerhalb der Simulation anwenden können. Die Symbolik in der Simulation entspricht der DIN-Norm für Schaltsymbole, um eine Anschlussfähigkeit zu anderen Darstellungen zu ermöglichen. Die Bedienung und die Simulation an sich sind möglichst simpel gehalten, um die Extraneous Cognitive Load (die extrinsische kognitive Belastung) zu minimieren [4]. Diese Art von Belastung ist vom Lernmaterial abhängig und soll begrenzt werden, um so viel kognitive Ressourcen wie möglich für die Lernprozesse freizustellen.

Da diese Simulation für den Einsatz im Klassenzimmer gedacht ist, soll die Darstellung leicht mit häufig genutzten und hilfreichen Analogien verknüpfbar sein. Die Farbkodierung kann in verschiedene Curricula eingebaut werden – am geeignetsten sind Curricula, in denen eine Luftdruck-Analogie eine zentrale Rolle spielt, zum Beispiel das CASTLE Curriculum [5] oder das Elektronengas-Modell [6]. Wasserdruckanalogien für ebene geschlossene Wasserkreisläufe wären ebenso möglich.

3. Funktionen und Bedienung der Simulation

Beim Öffnen der Simulation sieht man eine kurzgeschlossene Quelle mit drei Kästchen zum Einfügen von Bauteilen (siehe Abb. 2, blau gestrichelt). Bauteile können durch Klicken auf die Kästchen hinzugefügt werden (siehe Abb. 3). Unten links im Simulationsfenster ist ein Schieberegler zu finden, mit dem die Anzahl der parallelen Drähte geändert werden kann. Im grünen Kästchen lässt sich die Modelldarstellung ändern, wobei im Folgenden die sogenannte Farbdarstellung betrachtet werden soll. In der rechten Spalte (blaues Kästchen in Abb. 2) kann die Quellspannung festgelegt werden. Wenn man auf den über dem blauen Kästchen liegenden Startknopf drückt, wird das Potential in jedem Drahtabschnitt farblich angezeigt (siehe Abb. 4). Das höchste Potential wird rot eingefärbt, ein mittleres Potenzial weiß und ein tiefes Potenzial blau. Dazwischenliegende Potentiale werden als eine lineare Kombination der genannten Farben angezeigt. Die Spannung der Spannungsquelle ändert diesen Farbverlauf nicht (siehe Abb. 5). Falls der Stromkreis kurzgeschlossen ist, wird eine Fehlermeldung generiert, aber bei einem offenen Stromkreis werden offene Stellen wie unendliche Widerstände behandelt, womit alle Potentiale korrekt dargestellt und berechnet werden können.

Stromkreis Simulation

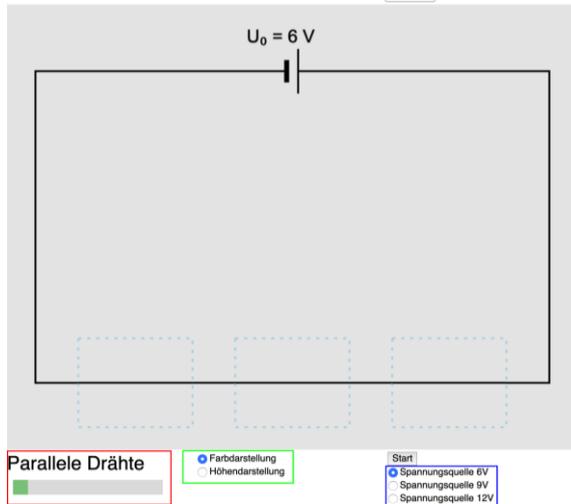


Abb. 2: Startbildschirm mit gekennzeichneten Bedienelementen

Zusätzlich zu den farblichen Darstellungen von Potentialen werden numerische Werte von zentralen Größen eingeblendet: die Stromstärke und der Potentialunterschied durch bzw. an jedem Bauteil, wobei jeweils auf zwei signifikante Stellen gerundet wird. Der Strom wird als grüner Pfeil in der technischen Stromrichtung dargestellt. Die Stromstärke bestimmt die Dicke des Pfeils (siehe Abb. 5).

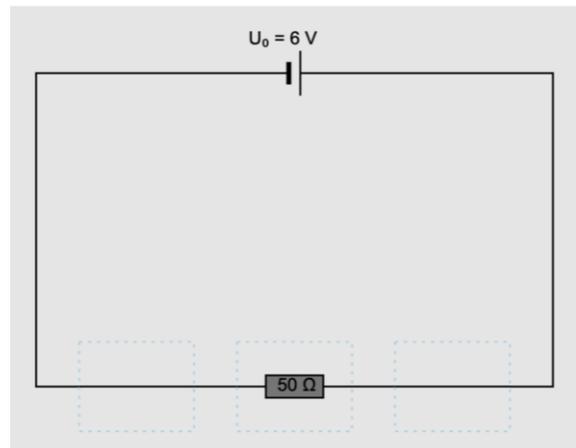


Abb. 3: Startbildschirm mit einem 50 Ω -Widerstand

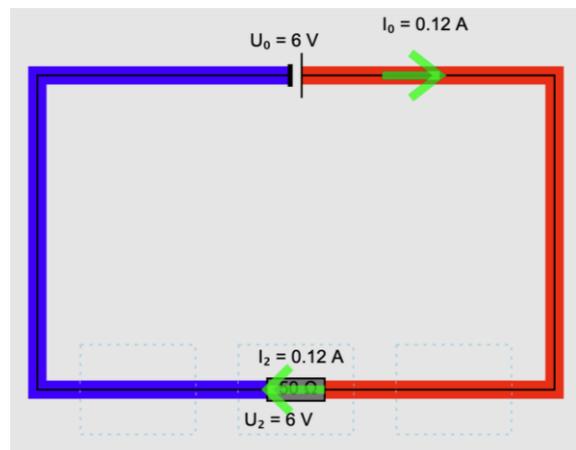


Abb. 4: Der einfachste Stromkreis

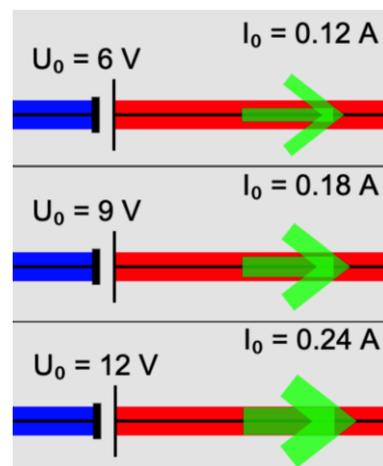


Abb. 5: Verschiedene Spannungsquellen mit einem 50 Ω -Widerstand

Mithilfe paralleler Drähte können zudem auch komplexere Schaltungen gebaut werden. Auf dem Startbildschirm werden alle „Knoten“ verbunden. Drahtabschnitte können an Knoten entfernt oder hinzugefügt werden, indem man auf den Drahtabschnitt klickt. In Abbildung 6 sind zwei Drahtabschnitte deaktiviert worden – eine horizontale Verbindung links von Bauteil 5 und eine vertikale Verbindung mit „Knoten“ jeweils zwischen Bauteile 5 und 6 und Bauteile 2 und 3. Hierbei kann man den Farbgradi-

enten sehen und schnell interpretieren, dass der Potentialunterschied an Widerstand 5 größer ist als an Widerstand 2. Die Simulation unterstützt entweder einen zwei-mal-drei-Raster an Widerstände (Abb. 6) oder dreifach parallelgeschalteten Widerständen in der Mitte (Abb. 7). In Abbildung 7 ist das Bauteil 5 an der linken Seite nicht angeschlossen; infolge dieser offenen Stelle gibt es einen Strom von 0 A durch den Widerstand 5 und die anliegende Spannung beträgt 0 V. Diese Daten werden angezeigt, um explizit das Verhalten bei offenen Stromkreisen zu verdeutlichen, da dieses Verhalten bei drei häufig genutzten¹, für die Schule geeigneten Simulationen (von PhET, Cleo und eChalk) nicht deutlich wird. Die Simulation ist unter <https://thomas-weatherby.com/simulation.html> frei verfügbar und wird laufend aktualisiert.

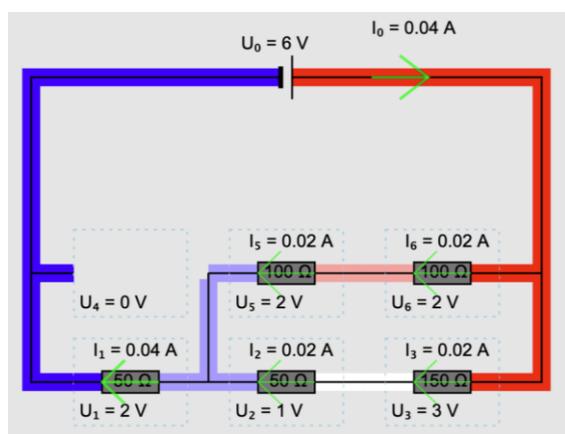


Abb. 6: Ein Stromkreis mit zwei parallelen Drähten

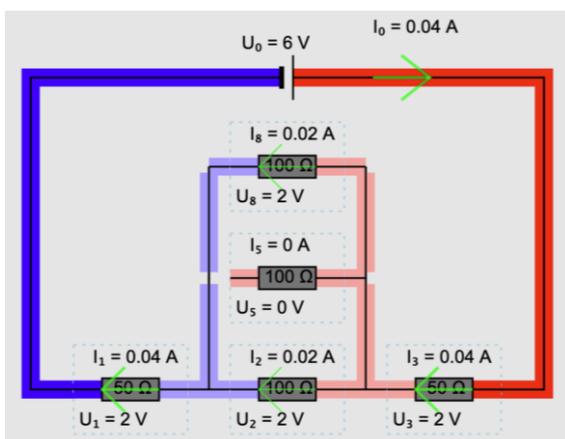


Abb. 7: Ein Stromkreis mit drei parallelen Drähten

4. Aussagen aus den Interviews

Die Interviews dienen als ein Forum, in dem die Teilnehmer*innen (angehende Lehrkräfte) ihre Meinungen zu der Simulation darlegen können. Bisher

¹ Basierend auf den ersten Ergebnissen von einer Google-Suche nach „Stromkreis Simulation“ oder „Circuit Simulation“, die für die Schule geeignet sind. Falstad ist auch ein Ergebnis, jedoch für den Unterricht in der Sek I vermutlich zu komplex.

haben alle Teilnehmer*innen sich positiv zum Einsatz der Simulation in der Schule geäußert. In der Regel fanden die Teilnehmer*innen die Simulation für SuS geeignet und kein*e Teilnehmer*in hat die Bedienbarkeit kritisiert. Nicht nur die Bedienbarkeit wird als leicht eingeschätzt, sondern auch das Herauslesen der Informationen. „Sehr übersichtlich und man kann damit Sachen gut nachvollziehen“ und „viel Informationen auf der einen Seite, aber zielgerichtete Informationen“ wurde beispielsweise geäußert. Als Problem beim Einsatz einer Simulation wurden mehrmals als Erstes Bedenken wegen der Ausstattung an der Schule geäußert, z.B. hat ein*e Teilnehmer*in auf die Frage, ob die Simulation in einer 45 Min.-Stunde einsetzbar wäre, geantwortet: „Wenn ich jetzt eine gut ausgestattete Tablet-Klasse hätte, sofort“. Wie schnell eine Simulation im Vergleich mit einem Experiment einsetzbar ist, wurde auch mehrmals erwähnt. Dass der Fokus bei einer Simulation auf der Sache selbst ist anstatt auf Messfehler oder auf experimentellen Fähigkeiten, wird manchmal negativ („Es fehlt ein bisschen der Bezug zum Praktischen.“) und manchmal positiv („Es fokussiert total gut auf das eigentliche Lernziel.“) von den Teilnehmer*innen eingeschätzt. Schließlich wurden von den Teilnehmer*innen auch sinnvolle Verbesserungsvorschläge gemacht, z. B.:

- die Möglichkeit eines Balkens, der den Farbverlauf als Skala für das Potential anzeigt,
- die Möglichkeit eines Regelwiderstands,
- die Möglichkeit eines Schalters.

Diese Änderungsvorschläge werden in einer Aktualisierung der Simulation übernommen sowie eine Option, die Stromrichtung ändern zu können – ein Wunsch von Lehrkräften, die nicht an der Studie teilgenommen haben.

Außerdem haben manche Teilnehmer*innen ihre Erfahrung mit den Vor- und Nachtests beschrieben und gesagt, dass die Intervention die wahrgenommene Schwierigkeit des Wissenstests geändert habe. Ein*e Teilnehmer*in sagte: „[beim Vortest] habe ich viel denken müssen ... Wie war das jetzt nochmal bei der Reihenschaltung? Wie war's bei den Widerständen? So hatte ich [beim Nachtest] das bildlich vor mir und konnte es besser und leichter und schneller beantworten.“ Diese Aussage unterstützt die theoretische Überlegung, dass die Darstellung als „kulturelles Werkzeug“ zur Analyse weiterer Stromkreise benutzt werden kann.

5. Fazit und Ausblick

Dieser Beitrag beschreibt eine für die Schule geeignete Simulation zu einfachen Stromkreisen, die laut einer kleinen Erhebung unter Lehramts-Studierenden leicht bedienbar sei und als Unterrichtsmaterial hilfreich sei.

Geplant ist, die Studie mit der Simulation mit einer noch größeren Anzahl von Lehramts-Studierenden durchzuführen. Zusätzlich sind weitere Studien mit

anderen Medien und Darstellungen geplant mit dem Ziel, eine Vergleichbarkeit der Interventionsgruppen herzustellen und einen Vergleich der Wirkungen zu untersuchen. Konkret ist eine Simulation geplant, in der das Potenzial nicht mit Farben, sondern mit Höhen dargestellt wird.

6.Literatur

- [1] Kapp, S., Thees, M., Beil, F., Weatherby, T., Burde, J.-P., Wilhelm, T., & Kuhn, J. (2020). The Effects of Augmented Reality : A Comparative Study in an Undergraduate Physics Laboratory Course - In: Lane, H. C.; Zvacek, S.; Uhomobhi, J. (Hrsg.): *Proceedings of the 12th International Conference on Computer Supported Education - (Volume 2)*: CSEDU, S. 197 – 206, DOI: 10.5220/0009793001970206, <https://www.scitepress.org/PublicationsDetail.aspx?ID=lcXNQhWYj6o=&t=1>
- [2] Weatherby, T., Wilhelm, T., Burde, J., Beil, F., Kapp, S., & Kuhn, J. (2019). Visualisierungen bei Simulationen von einfachen Stromkreisen – In: HABIG, S. (Hrsg.): *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Wien 2019, Band 40, 2020, S. 1007 – 1010, <https://gdcp-ev.de/?p=3936>*
- [3] Vygotsky, L. S. (1978). *Mind and Society: The Development of Higher Psychological Processes*. In M. Cole, A. R. Luria, M. Lopez-Morillas, & J. V Wertsch (Eds.), *Harvard University Press*. <https://doi.org/10.1515/9783110216059>
- [4] Sweller, J. (1999). *Instructional Design in Technical Areas*. ACER Press.
- [5] Steinberg, M. S. (2008). Target Model Sequence and Critical Learning Pathway for an Electricity Curriculum Based on Model Evolution. In *Model Based Learning and Instruction in Science* (pp. 79–102). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6494-4_5
- [6] Burde, Jan-Philipp. (2018). *Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells*. Logos Verlag Berlin. <http://doi.org/10.30819/4726>