

Florian Frank<sup>1</sup>  
 Christoph Stolzenberger<sup>1</sup>  
 Thomas Trefzger<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Julius-Maximilians Universität Würzburg

## **PUMA : Spannungslabor – Untersuchung der Lernwirksamkeit von AR**

### **Rahmen des Projekts und Forschungsinteresse**

Die schulische Elektrizitätslehre der Sekundarstufe I erreicht die Lernenden nur ungenügend, viele fehlerhafte Vorstellungen zur Elektrizität sind anschließend weiterhin prävalent (Ivanjek, Morris, Schubatzky, Hopf, Burde, Haagen-Schützenhofer, Dopatka, Spatz & Wilhelm, 2021). Das vom BMBF durch die „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ im Rahmen des Projekts CoTeach geförderte Vorhaben „PUMA : Spannungslabor“ untersucht, inwieweit der Einsatz digitaler Technologien die Vermittlung der frühen Elektrizitätslehre unterstützen kann. Nach Aussagen der *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (Mayer & Moreno, 2010; Mayer & Fiorella, 2014) soll eine Lernsituation so gestaltet sein, dass die kognitive Kapazität der Lernenden möglichst wenig durch die Darstellung der Lerninhalte (extrinsische Belastung) und möglichst ausschließlich durch das Verstehen und Verarbeiten der Lerninhalte (intrinsische und lernbezogene Belastung) beansprucht wird. Entsprechend sollten digitale Technologien die Darbietung der Lerninhalte unterstützen, um eine direktere Beschäftigung mit dem Lerninhalt zu ermöglichen. Für den Elektrizitätslehreunterricht konnten dafür zwei Anknüpfungspunkte identifiziert werden: das Erlernen von und Argumentieren mit den für das Verstehen wichtigen didaktischen Analogiemodellen der Elektrizitätslehre einerseits und das Erheben von Messwerten im Rahmen physikalischer Experimente andererseits. In einer quantitativen Schülerlaborstudie soll daher untersucht werden, wie die Nutzung einer Augmented Reality (AR)-Applikation bzw. einer Simulation zur Darstellung der didaktischen Modelle, verglichen mit der Nutzung von Infografiken, den Lernzuwachs, die Auftretenswahrscheinlichkeit fehlerhafter Schülervorstellungen und die kognitive Belastung beeinflusst. Ebenso soll der Einfluss des Einsatzes einer AR-Applikation zur Erhebung von Messwerten im Vergleich zum Einfluss der Messung mit Multimetern auf die oben genannten Variablen untersucht werden. Es sollen die Technikbegeisterung, -kompetenz und Einstellung gegenüber Technik, sowie die Fähigkeit zur Veranschaulichung (als Facette des räumlichen Vorstellungsvermögens) und der Leistungsstand der Lernenden als Moderatorvariablen erheben werden.

### **Studiendesign der evaluierenden Forschung**

Das Studiendesign gestaltet sich gemäß eines Pre/Post-Test-Designs mit einer Kontroll- und mehreren Testgruppen. Die Intervention findet im Laufe eines Schülerlabor-Projekttagess an der Universität Würzburg statt. Teilnehmende Klassen werden randomisiert in über den Tag hinweg feste Gruppen aufgeteilt. Sie bearbeiten dieselben Aufgaben, erlernen dieselben Inhalte und verwenden dieselben Experimentiermaterialien, werden aber in der Darstellung der didaktischen Modelle und der Messung auf unterschiedliche Weisen unterstützt.

Die Intervention besteht aus vier Stationen zu je 45 Minuten zu den zentralen Themen der frühen Elektrizitätslehre: „Strom und Spannung“, „Elektrischer Widerstand“, „Parallelschaltungen“ und „Reihenschaltungen“. Innerhalb der ersten Station wird die

Nutzung der digitalen Unterstützung zur Darstellung der didaktischen Analogiemodelle erlernt. Im Verlauf der zweiten Station wird die Messung physikalischer Messwerte mit Multimetern wiederholt bzw. die Nutzung der AR-Applikation zur Messung geübt. Die Stationen 3 und 4 nutzen diese Kompetenzen dann im Rahmen physikalischer Experimente zur Aufstellung von Hypothesen (Nutzung der Modelldarstellung) und Aufnahme von Messwerten. Im Rahmen der gesamten Intervention findet also zunächst ein Lernen über die dargebotenen Medien statt und dann ein Lernen mit/durch die dargebotenen Medien.

Im Rahmen des Pretests wird das Fachwissen (und dabei gleichzeitig das Aufkommen fehlerhafter Schülervorstellung) (Ivanjek, Morris, Schubatzky, Hopf, Burde, Haagen-Schützenhofer, Dopatka, Spatz & Wilhelm, 2021), die Einstellung gegenüber Technik, Technikbegeisterung und -kompetenz (Karrer, Glaser, Clemens & Bruder, 2009), die Fähigkeit zur Veranschaulichung (Heller & Perleth, 2000) und der momentane Leistungsstand (in Schulnoten) erhoben. Nach jeder Station wird ein Kurztest durchgeführt, bestehend aus der Erhebung der kognitiven Belastung durch die Station (Klepsch, Schmitz & Seufert, 2017) und einem kurzen Fachwissenstest zu den Inhalten der Station. Die Fachwissenstests bestehen aus ausgewählten Fragen des Pretests zum Fachwissen. Über die vier Stationen hinweg wird der komplette Fachwissenstest einmal durchgeführt.

#### **Beschreibung der Interventionsmaterialien**

Die Lernenden bearbeiten die Inhalte der Stationen anhand eines ausgedruckten Arbeitsheftes. Aufbau und Inhalt der Arbeitshefte sind über alle Interventionsarten dieselben. Im Heft wird an den entsprechenden Stellen darauf verwiesen, eine Darstellung der didaktischen Modelle zu nutzen. Für die Darstellung nutzen alle Interventionsarten (Infografiken, AR-Applikation, Simulation) ein Tablet. Die Infografiken werden auf der Online-Plattform *tet.folio* (Haase, Kirstein & Nordmeier, 2016) in einem Workbook zur Verfügung gestellt, für die AR-Intervention und die Simulationsintervention werden im Rahmen dieses Projekts entwickelte Applikationen verwendet. Für die Experimentierblöcke wird in den Arbeitsheften darauf verwiesen, entweder Hilfestellung beim Einbauen und bei der Handhabung der Multimeter auf *tet.folio* oder die Mess-Funktionalität der AR-Applikation „PUMA : Spannungslabor“ zu nutzen. Bei der Entwicklung der Interventionsmaterialien wurde darauf geachtet, dass alle Gruppen zum selben Zeitpunkt die Aufforderung erhalten, mit den digitalen Unterstützungsangeboten zu interagieren, um motivationale Effekte der Techniknutzung möglichst über alle Vergleichsgruppen zu vereinheitlichen.

#### **Beschreibung der AR-Applikation „PUMA : Spannungslabor“ und der Simulation**

Die in der Intervention eingesetzte AR-Applikation „PUMA : Spannungslabor“ wurde im Verlauf der letzten zwei Jahre im Rahmen des Projekts entwickelt. Die Applikation überblendet einen realen Stromkreis mit Darstellungen der Leitungselektronen in Form kleiner weißer Kugeln und Visualisierungen des elektrischen Potentials gemäß ausgewählter Analogiemodelle (Stolzenberger, Frank, Trefzger, 2022; Frank, Stolzenberger & Trefzger, akzeptiert). Die Entwicklung der Applikation wurde begleitet durch qualitative Interviews mit Lehrkräften (Frank, Stolzenberger & Trefzger, 2022) und Beobachtungen von Lernendeninteraktionen mit der Applikation. In der Applikation kann das elektrische Potential nach dem Elektronengasmodell (Burde, 2018) oder dem Höhenmodell (Koller,

2008) dargestellt werden. Durch die Nutzung der phyphox-Box E-Lehre werden außerdem reale, im experimentellen Aufbau erhobene Messwerte für die Darstellung der Modelle genutzt. So wird etwa die Erhöhung der angelegten Spannung direkt in eine vertikale Verschiebung der Leiterbahnen gemäß des Stäbchenmodells übersetzt. Die Aufnahme und Übermittlung realer Messwerte erlauben außerdem die Nutzung der AR-Applikation zur Darstellung der Messwerte.

Die Simulation umfasst die Darstellung aller obigen Inhalte (mit Ausnahme der real ermittelten Messwerte) an virtuellen Repliken der realen Experimentieraufbauten. Bei der Entwicklung der Simulation war es das oberste Ziel, die Simulation mit den exakt selben Funktionalitäten und Darstellungen wie in der AR-Applikation auszustatten, um eine hohe Vergleichbarkeit zu ermöglichen.

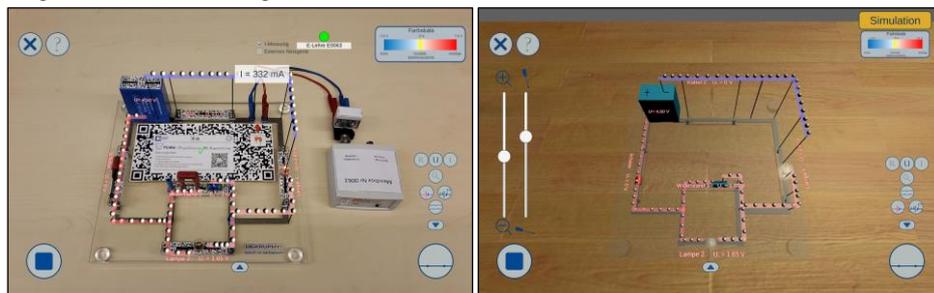


Abbildung 1: Vergleich der beiden Applikationen (AR und Simulation)

### Ergebnisse einer qualitativen Durchführung

Im Juli 2022 wurde die beschriebene Intervention in reduzierter Form mit einer Schulklasse durchgeführt. Die Klasse wurde dafür in zwei Gruppen geteilt, eine Gruppe erarbeitete die Inhalte mit Infografiken und Multimetern, die andere Gruppe verwendete sowohl für die Modelldarstellung als auch die Messwernerfassung die AR-Applikation. Die Intervention wurde ohne Einsatz der quantitativen Messinstrumente durchgeführt, Ziel war es, das Interventionsdesign und -material einzusetzen und qualitativ zu evaluieren. Dafür wurden die Lernenden bei der Bearbeitung beobachtet, die Interaktionszeiten notiert, es wurden qualitative Rückmeldungen der Lernenden im Anschluss an die Intervention erhoben und ein qualitatives Interview mit der Lehrkraft geführt.

Die Beobachtung und Auswertung ausgewählter Bearbeitungen ergaben, dass die Lernenden für die Nutzung der didaktischen Modelle zur Erstellung von Hypothesen weitreichendere Scaffolding-Maßnahmen benötigen. Nur wenige Lernende setzten die Modelle im Sinne der Aufgabenstellung ein, die Hypothesenwahl wurde meist über bisheriges Fachwissen begründet, selten mittels der Modelle. In den qualitativen Rückmeldungen sowohl der Lernenden als auch der Lehrkraft wurde der Mehrwert des Einsatzes von Augmented Reality außerdem eher im Bereich der Messung gesehen, weniger im Bereich der Darstellung der Modelle. Die Lehrkraft und die Lernenden wünschen sich mehr Unterstützungsmaßnahmen für die Messung physikalischer Größen per Multimeter.

### Planung der weiteren Erhebungen

Die Intervention wurde entsprechend der Erkenntnisse der qualitativen Durchführung überarbeitet. Für die weiteren Erhebungen sind Durchführungen des kompletten

Studiendesigns inklusive der vorgestellten quantitativen Instrumente geplant. Die Erhebungen sollen im Zeitraum von November 2022 bis März 2023 stattfinden. Untersucht werden sollen vier Gruppenkonstellationen: Nutzung von Infografiken und Multimetern (Kontrollgruppe), Nutzung von Simulation und Multimetern (Testgruppe 1), Nutzung von AR-Applikation zur Modelldarstellung und Multimetern zur Messung (Testgruppe 2) und Nutzung von AR-Applikation zur Modelldarstellung und Messung (Testgruppe 3).

#### Literatur

- Burde, J.-P. (2018). Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells. In H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), Studien zum Physik- und Chemielernen. Berlin: Logos-Verlag
- Frank, F., Stolzenberger, C. & Trefzger, T. (2021). Vorstellung einer qualitativen Studie zur Eignung einer AR-Applikation zur Unterstützung der Modellvorstellungsbildung in der E-Lehre. In S. Habig & H. van Vorst (Hrsg.), Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen, Tagungsband zur virtuellen GDCP-Jahrestagung 2021, S. 684 - 687
- Frank, F., Stolzenberger, C. & Trefzger, T. (akzeptiert). Augmented-Reality-Applikation zum Einsatz bei Schülerexperimenten im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I. In H. Grötzebach & S. Heinicke (Hrsg.), PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur virtuellen DPG-Frühjahrstagung 2022
- Haase, S., Kirstein, J., & Nordmeier, V. (2016). The Technology Enhanced Textbook: An HTML5-based Online System for Authors, Teachers and Learners. In L.-J. Thoms & R. Girwidz (Hrsg.), Selected Papers from the 20th International Conference on Multimedia in Physics Teaching and Learning. Mulhouse: European Physics Society, S. 85 - 92
- Heller, K. & Perleth, C. (2000). Kognitiver Fähigkeitstest für 4. bis 12. Klassen, Revision (KFT 4-12+ R). Göttingen: Hogrefe
- Ivanjek, L., Morris, L., Schubatzky, T., Hopf, M., Burde, J.-P., Haagen-Schützenhofer, C., Dopatka, L., Spatz, V. & Wilhelm, T. (2021). Development of a two-tier instrument on simple electric circuits. Physical Review Physics Education Research 17, 020123
- Karrer, K., Glaser, C., Clemens, C & Bruder, C. (2009). Technikaffinität erfassen – der Fragebogen TA-EG. In A. Lichtenstein, C. Stöbel & C. Clemens (Hrsg.), Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme. 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme (ZMMS Spektrum, Reihe 22, Nr. 29, S. 196-201). Düsseldorf: VDI Verlag GmbH
- Klepsch, M., Schmitz, F. & Seufert, T. (2017). Development and Validation of Two Instruments Measuring Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. *Frontiers in Psychology*, 8, Article 1997
- Koller, D. (2008). Entwurf und Erprobung eines Unterrichtskonzepts zur Einführung in die Elektrizitätslehre. Zulassungsarbeit am Lehrstuhl Didaktik der Physik der LMU München. Unterrichtsmaterialien verfügbar unter [https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/archiv/inhalt\\_materialien/einf\\_elektrizitaet/](https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/archiv/inhalt_materialien/einf_elektrizitaet/) [zuletzt aufgerufen: 17.10.2022]
- Mayer, R. & Moreno, R. (2010). Techniques That Reduce Extraneous Cognitive Load and Manage Intrinsic Cognitive Load during Multimedia Learning. In J. Plass, R. Moreno & R. Brünken (Hrsg.), *Cognitive Load Theory*. Cambridge University Press, New York, S. 131 – 152
- Mayer, R. & Fiorella, L. (2014). Principles for Reducing Extraneous Processing in Multimedia Learning: Coherence, Signaling, Redundancy, Spatial Contiguity, and Temporal Contiguity Principles. In R. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, Second Edition. Cambridge University Press, New York, S. 279 – 315
- Stolzenberger, C., Frank, F. & Trefzger, T. (2022). Experiments for students with built-in theory: ‚PUMA: Spannungslabor‘ – an augmented reality app for studying electricity. In *Physics Education*, 57(4), 045024

#### Förderung

Die Julius-Maximilians-Universität Würzburg und das Projekt „Connected Teacher Education“ wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.