

## Schülerlaborstudie zum Einsatz von Augmented Reality in der Elektrizitätslehre

- Studiendesign, Interventionsmaterial & vorläufige Ergebnisse  
zur Reduktion der Bearbeitungszeit durch AR -

**Florian Frank, Christoph Stolzenberger, Thomas Trefzger**

Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik  
florian.frank@uni-wuerzburg.de

### Kurzfassung

Mit Hilfe von Augmented-Reality (AR)-Apps können virtuelle Objekte und Texte in Echtzeit in die reale Welt (z.B. auch bei physikalischen Experimenten) eingefügt werden. Es wurden zwei Einsatzmöglichkeiten von AR für die schulische E-Lehre identifiziert: die Darstellung von didaktischen Analogiemodellen und die Messung physikalischer Größen. Im Projekt PUMA (Physik-Unterricht Mit Augmentierung) wurde ausgehend davon die App „PUMA : Spannungslabor“ entwickelt.

Die Lernförderlichkeit der App wurde im Rahmen einer Schülerlaborstudie evaluiert. Nach Abschluss des Elektrizitätslehre-Anfangsunterrichts erarbeiten die Lernenden dort innerhalb eines Projekttages die Kerninhalte der Elektrizitätslehre mit Bezugnahme auf didaktische Analogiemodelle erneut. Der Lernzuwachs wurde im Prä-/Post-Test-Design erfragt, mit zusätzlicher Erhebung der kognitiven Last, des räumlichen Vorstellungsvermögens und der Technikaffinität. Die Darstellung der didaktischen Modelle durch AR wurde dabei verglichen mit der Darstellung per Simulation oder per Infografiken, die Messung von physikalischen Größen per AR mit der Messung mittels Multimetern. Eine erste Auswertung der in der Studie erhobenen Daten zur Bearbeitungszeit zeigt eine deutliche Reduktion derselben durch den Einsatz von AR zur Messung bei physikalischen Experimenten.

### 1. Hintergrund

Das Schülerlabor „Elektrische Stromkreise“ und die zugehörige Studie „Digitale Unterstützung für die E-Lehre“, die in diesem Beitrag beschrieben werden, sind Teile des Vorhabens „PUMA : Spannungslabor“. Dieses wird im Rahmen des Projekts Connected Teacher Education (kurz: CoTeach) am Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik der Universität Würzburg durchgeführt und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert. Das Vorhaben umfasst die Konzeption und Entwicklung einer Augmented Reality-Applikation namens „PUMA : Spannungslabor“ und die Evaluation der Lernförderlichkeit von AR im Vergleich mit anderweitig gestalteter digitaler Unterstützung.

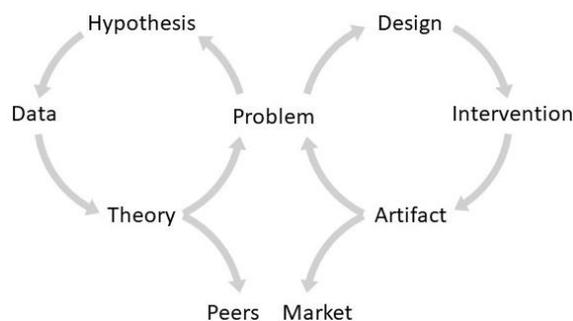
Das Projekt verläuft nach den Grundsätzen der Design-Forschung, deren Ziel es ist, die Forschung praxisbezogener auszurichten [1]. Die auch als Design-Based Research (kurz: DBR) bekannte Methode folgt sechs Grundsätzen [2]:

- a) Ein DBR-Projekt soll ein reales, auf Ergebnissen früherer Forschung basierendes Problem der Praxis adressieren und zu dessen Bewältigung beitragen.
- b) Zentraler Bestandteil des Projekts soll die Gestaltung und Bewertung einer Intervention sein. Diese soll die Bewältigung des eingangs definierten Problems zum Ziel haben.
- c) Das Projekt soll in Kooperation von Forscher\*innen und Praktiker\*innen durchgeführt werden.

Dabei profitiert die Planung und Umsetzung der Intervention von der Praxiserfahrung, während die in Studien vollzogene Bewertung von Forscher\*innen nach den Grundsätzen guter wissenschaftlicher Praxis durchgeführt werden kann.

- d) Für die Bewertung der Intervention sollen nach Möglichkeit sowohl qualitative als auch quantitative Methoden eingesetzt werden.
- e) Ziel eines DBR-Projekts soll neben der Intervention ein Beitrag für den wissenschaftlichen Diskurs sein. Während die Ergebnisse der Interventionsentwicklung an die Praxis kommuniziert werden sollen, soll das Ergebnis der zur Bewertung durchgeführten Studien der wissenschaftlichen Gemeinschaft zur Verfügung gestellt werden.
- f) Idealerweise soll ein DBR-Projekt mehrere Iterationen beinhalten. Dafür sollen die Erkenntnisse der Entwicklung und Bewertung der Intervention genutzt werden, um diese entweder schrittweise zu verbessern oder um auf deren Grundlage eine neue Intervention zu konzipieren.

Im Zusammenspiel miteinander ergeben diese Grundsätze einen Phasenablauf vor, der einen parallelen Prozess der praktischen Entwicklung und der wissenschaftlichen Begleitung vorsieht. Ausgehend von dem zentralen Problem werden Hypothesen gebildet, die sich auf etablierte Lerntheorien oder Forschungsergebnisse früherer Studien stützen. Auf Praxisseite wird zeitgleich die Konzeption der Intervention vollzogen.



**Abb.1:** Phasen eines DBR-Projekts [3]

Im nächsten Schritt wird die Intervention in der realen Praxissituation durchgeführt. Während des Einsatzes werden Daten für die Bewertung der Intervention gesammelt. Das Ergebnis der Analyse der gesammelten Daten soll der Beitrag für den wissenschaftlichen Diskurs sein, am Ende des Einsatzes in der realen Praxissituation soll die Intervention als fertige Maßnahme vorliegen. Beides soll zum einen im jeweiligen Bereich kommuniziert werden, kann aber nach dem Iterationsgedanken von DBR erneut für eine Problemdefinition genutzt werden, bzw. für einen neuen Durchgang des DBR-Zyklus.

## 2. Problemidentifikation und Lösungsansatz

Dem DBR-Ansatz folgend sind der Ausgangspunkt des Vorhabens „PUMA : Spannungslabor“ die Ergebnisse der jüngeren fachdidaktischen Forschung zur Schwierigkeit der Lernenden, die Inhalte der Elektrizitätslehre zu verstehen. Demzufolge sind fehlerhafte Schülervorstellungen zu mehreren Zeitpunkten nach Ende des Lehrgangs zur Elektrizitätslehre nachweisbar, so etwa direkt nach Abschluss desselben [4][5], am Ende der Sekundarstufe I [6] und bei Studienanfänger\*innen der Physik [7]. Die Annahme, dass die Komplexität des Lerninhalts aufgrund der notwendigen Vernetzung der Wissensstrukturen die Lernenden vor (zu) hohe kognitive Herausforderungen stellt, liegt also nahe [8].

Das Ziel einer Intervention muss es demzufolge sein, die Lernenden im Lernvorgang kognitiv zu entlasten. Die Theorie des Multimedialen Lernens (kurz: CTML, [9]) bietet hierfür Prinzipien, die eine ebensolche kognitive Entlastung ermöglichen sollen. Nach dem Prinzip der räumlichen und zeitlichen Gleichzeitigkeit (Spatial and Temporal Contiguity Principle [10]) wird die kognitive Belastung der Lernenden reduziert, wenn alle für den Lernvorgang notwendigen Ressourcen zum selben Zeitpunkt am selben Ort zur Verfügung gestellt werden. Eine Möglichkeit, dies zu bewerkstelligen, wenn die Ressourcen sowohl realer Natur (physikalisches Experiment) als auch theoretischer Natur (Modellanalogie des elektrischen Stromkreises) sind, ist die Nutzung von Augmented Reality (AR)-Technologie. Tablet-gestützte AR erlaubt hier die Überblendung eines Live-Bilds der Realität mit virtuellen Objekten, z.B. grafischen Darstellungen, Texten oder Messwer-

ten. Nach dem Grundsatz der Segmentierung (Segmenting Principle [11]) kann ein Lernvorgang auch dadurch entlastet werden, dass der Prozess in mehrere Teilschritte zerlegt wird, die vom Lernenden selbstbestimmt bearbeitet werden können. In Verbindung mit dem Grundsatz der Kohärenz (Coherence Principle [11]), welcher die Exklusion von für den Lernvorgang nicht notwendigen Inhalte empfiehlt, ergeben sich damit klare Richtlinien für die Gestaltung einer multimedialen Intervention.

Für den Kontext der Elektrizitätslehre der Sekundarstufe I wurden zwei Lernbereiche identifiziert, die Unterstützungspotential aufweisen. Einerseits ist im Schulkontext der Einsatz von Analogiemodellen (wie z.B. das Stäbchenmodell, das Elektronengasmodell oder Wasserkreislaufmodelle) zur Erklärung einfacher Stromkreise und der Prozesse und Gesetzmäßigkeiten in diesen weit verbreitet und lernförderlich [8]. Die Nutzung der Analogiemodelle ist aber durch die Unterschiedlichkeit der Lernressourcen (realer Stromkreis & theoretisches Modell in Form von Texten, Bildern, o.ä.) erschwert. Als zweiter Lernbereich wurde die Messwerterfassung identifiziert: die Unterstützung der Erhebung von Messdaten und die Darstellung der Messdaten direkt am gemessenen Objekt durch digitale Medien kann lernförderlich wirken [12].

Ausgehend von diesen Analysen wurde als digitales Unterstützungsmaterial für die Vermittlung der Elektrizitätslehre die Applikation „PUMA : Spannungslabor“ entwickelt. Diese ist als AR-Applikation oder als Simulation einsetzbar, überblendet einen realen Stromkreis (oder einen digitalen dreidimensionalen Nachbau desselben) mit gängigen Analogiemodellen der Elektrizität [13][14] und ermöglicht durch eine Bluetooth Low Energy (BLE)-Schnittstelle auch die Erhebung und Darstellung von Messdaten [15]. Die Applikation wurde den DBR-Grundsätzen folgend in einem kleinen Team aus am Lehrstuhl beschäftigten Lehrkräften und wissenschaftlichen Mitarbeitern entwickelt und im Entwicklungsprozess durch qualitative Interviews mit externen Lehrkräften stetig begleitet und evaluiert [16].

Aufbauend auf der Applikation wurde das Schülerlabor „Elektrische Stromkreise“ entwickelt, in welchem die digitale Unterstützung der Elektrizitätslehre auf ihre Lernförderlichkeit untersucht wird.

## 3. Das Schülerlabor „Elektrische Stromkreise“

### 3.1. Konzeption, Zielsetzung und Aufbau

Das Schülerlabor soll die entwickelte Applikation in einen Lehrgang zur Elektrizitätslehre der Sekundarstufe I einbetten. Die Inhalte des Lehrgangs orientieren sich am Lehrplan der 8. Jahrgangsstufe für bayerische Gymnasien, da das Schülerlabor mitsamt Begleitforschung am M!ND-Center der Universität Würzburg mit bayerischen Schulklassen durchgeführt wird. Die Begleitforschung hat zum Ziel, den Einsatz der Applikationen zur Modelldarstellung und

Messwertdarstellung auf Lernförderlichkeit zu prüfen und mit der Nutzung klassischer Modelldarstellungsverfahren (Lehrbilder) und Messwerterfassungsmethoden (Multimetern) zu vergleichen.

Das Schülerlabor umfasst insgesamt vier Stationen, welche innerhalb eines Projekttags von teilnehmenden Schulklassen in vorgegebener Reihenfolge bearbeitet werden. Die Stationen adressieren jeweils zentrale Themenkomplexe der schulischen Elektrizitätslehre: „Stromstärke und Spannung“, „Elektrischer Widerstand“, „Parallelschaltung“ und „Reihenschaltung“. Die Stationen beinhalten sowohl Wiederholungs- als auch Erarbeitungsaufgaben. Ziel des Schülerlabors ist die stärkere Verknüpfung der Analogiemodelle mit dem Fachwissen der Lernenden. Dafür werden die Lernenden im Laufe der Stationen immer wieder aufgefordert, Hypothesen auf Grundlage der Modelldarstellungen zu formulieren und Ergebnisse der physikalischen Experimente rückblickend mit den Analogiemodellen in Einklang zu bringen und zu erklären. So werden über das Schülerlabor hinweg Umgang und Einsatz der Analogiemodelle geübt und ganz natürlich auch die Grenzen der Nutzbarkeit derselben erfahren.

Für das am M!ND-Center Würzburg durchgeführte Schülerlabor werden für das Arbeiten an den Stationen ein Netzgerät, der Experimentierkasten E1 der Firma MEKRUPHY, ein AR-fähiges Tablet, ein Begleitheft und unter Umständen eine Messbox E-Lehre von phyphox benötigt. Die Lernenden arbeiten mit dem Begleitheft und werden an den notwendigen Stellen in diesem auf die Durchführung der physikalischen Experimente und auf die Nutzung der digitalen Unterstützungsmaterialien hingewiesen. Im Begleitheft wird fast vollständig auf Bilder verzichtet, alle Darstellungen werden als digitales Unterstützungsmaterial bereitgestellt.

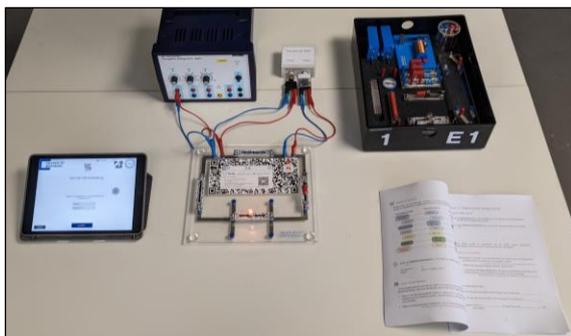


Abb.2: Im Schülerlabor verwendetes Material

### 3.2. Verwendetes digitales Unterstützungsmaterial

Für das Schülerlabor wurden verschiedene Varianten des digitalen Unterstützungsmaterials erstellt: die AR-Applikation „PUMA : Spannungslabor“ (mit und ohne BLE-Einbindung der Messbox phyphox:e), die gleichnamige Simulation „PUMA : Spannungslabor“ und zwei tet.books „Visualisierungen“ bzw. „Messunterstützung“.

Die AR-App erlaubt die Darstellung ausgewählter Analogiemodelle für die Vermittlung der Elektrizität, namentlich das Stäbchenmodell [17], das daran angelehnte Murmelbahnmodell, das Elektronengasmodell [4] und das Stoßmodell des elektrischen Widerstands (auch Drude-Modell). Alle Modelle werden mittels Tracker-basierter AR auf einen realen Stromkreis aufgeblendet [18]. Die Einbindung der BLE-Box E-Lehre von phyphox [19] erlaubt zusätzlich die Erhebung und Darstellung zweier zentraler Größen des Stromkreises (Spannung des Netzgeräts und Stromstärke im Primärstromkreis). Aus diesen Größen und den bekannten Eigenschaften der Bauteile können weitere Kenndaten berechnet und angezeigt werden, wie z.B. der Spannungsabfall an den verschiedenen Bauteilen bei einer Reihenschaltung oder die Stromstärken in den Zweigen einer Parallelschaltung.

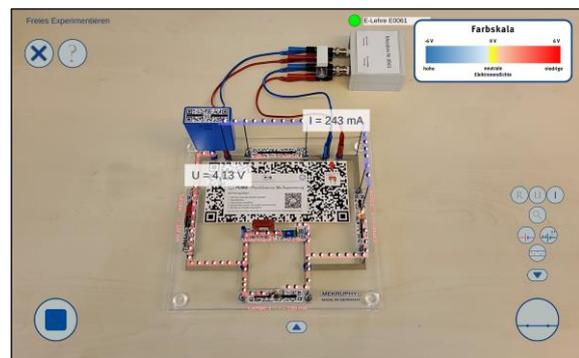


Abb.3: AR-Variante der Applikation (inkl. Messbox)

Die Simulationsvariante der Applikation umfasst dieselben Funktionalitäten in der Darstellung der Modelle und der Anzeige der Messwerte, verzichtet aber auf die Nutzung der BLE-Messbox. Die angezeigten Kenndaten werden direkt aus den bekannten Eigenschaften der Bauteile berechnet. Die Simulationsvariante ist um zusätzliche Einstellungsmöglichkeiten (Schieberegler für die Spannungsänderung des Netzgeräts und die Änderung der Kameraperspektive) erweitert [15].

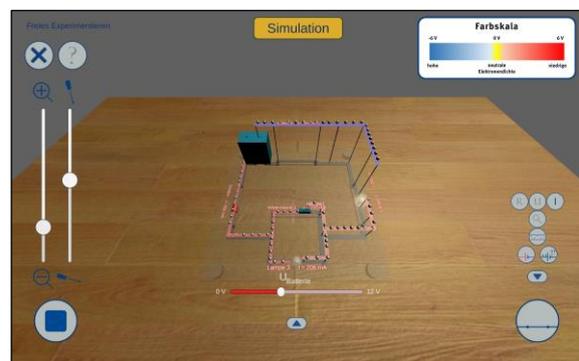


Abb.4: Simulationsvariante der Applikation

Beide Applikationen sind als native iOS- und Android-Apps konzipiert und für Tablets optimiert. In den jeweiligen Appstores ist eine Gesamtversion der Ap-

plikation unter dem Namen „PUMA : Spannungslabor“ mit allen Funktionalitäten der AR- und der Simulations-Variante kostenfrei verfügbar.

Zusätzlich wurde digitales Unterstützungsmaterial erstellt, welches auf der Lernplattform tet.folio [20] zur Verfügung gestellt wurde. Das Unterstützungsmaterial umfasst zwei tet.books namens „Visualisierungen“ und „Messunterstützung“, welches in Bildform mit vereinzelt Texten die Analogiemodelle einführt bzw. den Umgang mit Multimetern einfach und anschaulich erklärt. Die Darstellungen und Form der Unterstützung wurden dabei an klassische Text- und Bild-basierte Darbietungen in Schulbüchern angelehnt.

### 3.3. Auszug aus dem Schülerlabor

Die erste Station des Schülerlabors widmet sich den Themen Stromstärke und Spannung. Begonnen wird mit einem Experiment zum einfachen Stromkreis, um das für die Lernenden eventuell unbekanntes Experimentiermaterial kennenzulernen. Daran schließt sich ein Theorietext zur Stromstärke an, welchen die Lernenden mithilfe der digitalen Unterstützung mit Darstellungen der sich in einem geschlossenen Stromkreis bewegenden Elektronen in Verbindung bringen sollen. Nach demselben Schema verläuft dann auch die Erarbeitung der Analogiemodelle „Murmelpfeifenmodell“ und „Elektronengasmodell“. Der im Begleitheft abgedruckte Text soll in Verbindung mit den digitalen Darstellungen genutzt werden, um Zuordnungsaufgaben der Analogiekonzepte zu den elektrischen Konzepten zu bearbeiten. Die Station wird mit einer offenen Aufgabe abgeschlossen, im Rahmen derer die Lernenden die Darstellungen der Analogiemodelle für weitere Stromkreise kennenlernen. Das Ziel der Station ist damit die Erarbeitung der Analogiemodelle und das Erlernen der Nutzung der digitalen Unterstützung für die Darstellung derselben.

In der zweiten Station zum elektrischen Widerstand steht im Gegensatz dazu die Nutzung digitaler Unterstützung für die Messwerterfassung im Fokus. Auch diese Station beginnt mit einem kurzen, qualitativen Experiment zur Beziehung von Stromstärke und Spannung in einem gegebenen Stromkreis. Hauptteil der Arbeit in der Station ist dann die Messung und grafische Auswertung zweier Kennlinien: die einer Glühlampe und eines Ohm'schen Widerstands. Ein anschließender Theorietext verknüpft die experimentell erworbenen Kenntnisse mit dem zugrundeliegenden Konzept des elektrischen Widerstands. Die Lernenden berechnen dafür exemplarisch Widerstandswerte und beziehen diese zurück auf den Verlauf der Kennlinien. Die Station wird mit einer offenen Aufgabe zum Stoßmodell des elektrischen Widerstands beschlossen.

In beiden Stationen bieten die offenen Aufgaben am Ende der Stationsarbeit schnellen Lernenden die Möglichkeit, sich intensiver mit der Thematik der Station auseinanderzusetzen. Die Inhalte dieser Aufgaben geht dabei teilweise über den Lehrplan hinaus.

Das gesamte Begleitmaterial zum Schülerlabor „Elektrische Stromkreise“ ist kostenfrei zum Download verfügbar unter [go.uni-wue.de/puma-s](http://go.uni-wue.de/puma-s).

## 4. Die Studie „Digitale Unterstützung für die E-Lehre“

### 4.1. Forschungsinteresse

Im Schülerlabor wird die Studie „Digitale Unterstützung für die E-Lehre“ durchgeführt. Zielgruppe des Schülerlabors und der Studie sind Gymnasialschüler\*innen der 8. Jahrgangsstufe, die den Schulunterricht zur Elektrizitätslehre bereits teilweise oder vollständig absolviert haben. Das Schülerlabor kann innerhalb der kurzen Interventionszeit nicht die komplette Elektrizitätslehre der 8. Jahrgangsstufe vermitteln, kann aber nach abgeschlossenem Schulunterricht zu einer Vernetzung und Vertiefung des Stoffes beitragen. In Rahmen des Schülerlabors wird untersucht, welchen Einfluss die Nutzung der digitalen Unterstützung auf das Lernen der Elektrizitätslehre hat. Entsprechend der eingangs zitierten Theorie des Multimedialen Lernens und der identifizierten Lernbereiche mit Unterstützungspotential sind die zentralen Forschungsfragen folgende:

- Welchen Einfluss hat die digitale Unterstützung für die Modelldarstellung auf das Lernen (in Form von Fachwissenszuwachs und Arbeitsdauer) und die kognitive Belastung der Lernenden?
- Welchen Einfluss hat die digitale Unterstützung für die Messwerterfassung auf das Lernen (in Form von Fachwissenszuwachs und Arbeitsdauer) und die kognitive Belastung der Lernenden?

Zur Untersuchung dieser Fragen wird das Schülerlabor in vier Varianten durchgeführt: eine Kontrollgruppe (KG), welche die tet.books „Visualisierungen“ und „Messunterstützung“ nutzt; Testgruppe 1 (TG1), welche die Simulation zur Modelldarstellung und das tet.book „Messunterstützung“ nutzt; Testgruppe 2 (TG2), welche die AR-App (ohne BLE-Funktionalität) zur Modelldarstellung und das tet.book „Messunterstützung“ nutzt; und Testgruppe 3 (TG3), welche die AR-App (inklusive BLE-Funktionalität) sowohl zur Modelldarstellung als auch zur Messwerterfassung und -darstellung nutzt.

**Tab.1:** In der Studie untersuchte Gruppen

|                        | Modelldarst. mit Bildern | Modelldarst. mit Simulation | Modelldarst. mit AR |
|------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------|
| Messung mit Multimeter | Kontrollgruppe           | Testgruppe 1                | Testgruppe 2        |
| Messung mit AR         |                          |                             | Testgruppe 3        |

Im Vergleich der Varianten KG, TG1 und TG2 lässt sich so der Einfluss der digitalen Unterstützung der Modelldarstellung untersuchen, während der Vergleich der Gruppen

TG2 und TG3 einen Rückschluss auf den Einfluss der digitalen Unterstützung der Messwerterfassung ermöglicht.

#### 4.2. Erhobene Daten & Testinstrumente

Die für die Studie erhobenen Daten umfassen...

- ...den Lernzuwachs der Schüler\*innen durch Prä-/Post-Messung mit dem zweistufigen Fachwissenstest 2T-SEC [5].
- ...die kognitive Belastung der Schüler\*innen bei der Bearbeitung der Stationen, erhoben direkt im Anschluss an die einzelnen Stationen mittels der Kurzsкала Naïve Rating Scale [21].
- ...die Technikaffinität der Schüler\*innen, gemessen in vier Dimensionen (Glaube an positive Technikfolgen, Glaube an negative Technikfolgen, Technikbegeisterung, Technikkompetenz) mittels des TA-EG [22].
- ...die Fähigkeit zur Veranschaulichung als Komponente des räumlichen Vorstellungsvermögens durch Subtest N3 des KFT 5-12+R [23].
- ...den schulische Leistungsstand der Schüler\*innen in Form ihrer letzten Zeugnisnote in Mathematik und Physik.
- ...die Arbeitsdauer der Gruppen an den vier Stationen, erfasst durch die betreuenden studentischen und wissenschaftlichen Hilfskräfte.
- ...Kontextinformationen des bisher absolvierten Schulunterrichts (Schulzweig, bekannte Analogiemodelle, bereits erworbenes Fachwissen, Zeit seit der bzw. bis zur Schulaufgabe, ...), erhoben durch einen Fragebogen für die Lehrkräfte der teilnehmenden Klassen.

Die Daten werden dabei größtenteils begleitend zum Schülerlabor erhoben, lediglich die Prä-Erhebung des Fachwissens und die Erhebung der Technikaffinität finden im Rahmen einer regulären Schulstunde vor dem Besuch des Schülerlabors an den Schulen der teilnehmenden Klassen statt.

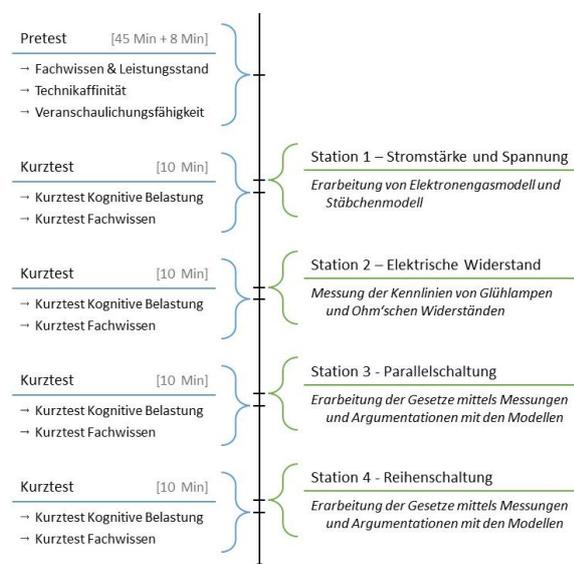


Abb.5: Ablauf der Intervention inklusive Datenerhebung

#### 5. Vorläufige Ergebnisse der Studie

Von Dezember 2022 bis Februar 2023 haben sieben Klassen mit insgesamt 177 Schüler\*innen teilgenommen. Von diesen Durchführungen sind 150 Datensätze vollständig und damit für die Auswertung uneingeschränkt nutzbar. Geplant sind weitere Durchführungen im Juni und Juli 2023, um die Stichprobengröße zu erhöhen. Die hier präsentierten Ergebnisse basieren auf den bisherigen Durchführungen, berichtet wird über den Einfluss der Nutzung digitaler Unterstützung auf die Arbeitsdauer an den Stationen des Schülerlabors.

Ein Blick auf die Zeitdaten der ersten Station zeigt die Tendenz einer längeren Einarbeitungszeit für die Nutzung der AR-Applikation (TG2 & TG3) im Vergleich zur Nutzung der Simulation (TG1), vor allem aber im Vergleich der Nutzung der tet.books (KG). Die Arbeitsweise mit Infografiken und Texten zur Erarbeitung der Analogiemodelle scheint die Schüler\*innen vor weniger Initialhürden zu stellen als die Erarbeitung mit den interaktiveren Medien Simulation und AR-Applikation.

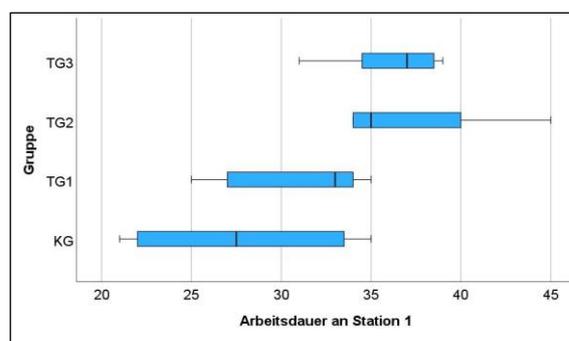


Abb.6: Arbeitsdauer an der ersten Station

In den Zeitdaten zu Station 2 zeigt sich ein anderes Bild. Da sich die Inhalte der Station vor allem um die Erhebung von und Arbeit mit Messdaten konzentrieren, lässt sich hier eine Tendenz des Einflusses der digitalen Unterstützung der Messwerterfassung erkennen. Die Messwerterfassung mit AR (TG3) nimmt unseren bisherigen Erhebungen zufolge weniger Zeit in Anspruch als die Messwerterfassung mittels Multimetern (KG, TG1 & TG2).

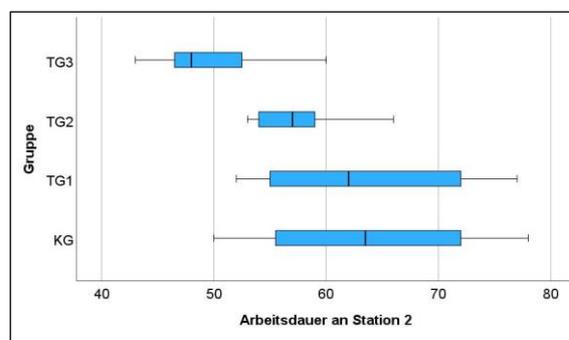
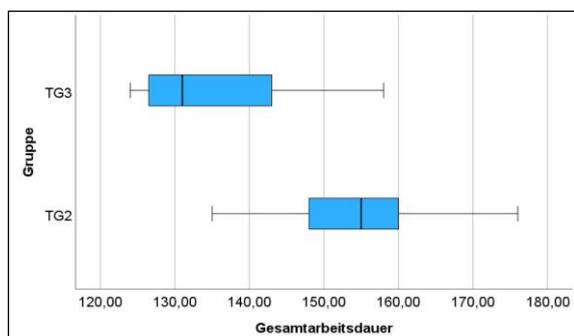


Abb.7: Arbeitsdauer an der zweiten Station

Dieser Einfluss der Messwerterfassung lässt sich auch in der Betrachtung der Gesamtarbeitsdauer von

TG2 und TG3 erkennen. Die beiden Gruppen arbeiten mit demselben Material zur Darstellung der Modelle (AR-Applikation) und unterscheiden sich rein in der Erfassung der Messwerte (mittels Multimetern in TG2 und mittels AR in TG3). Man sieht hier eine deutliche Zeitersparnis: Die Median-Gesamtarbeitsdauer in TG2 beträgt 155 Minuten, während die Median-Gesamtarbeitsdauer in TG3 nur bei 131 Minuten liegt.



**Abb.8:** Gesamtarbeitsdauer für TG2 und TG3

## 6. Ausblick

Die Ergebnisse geben einen ersten Eindruck von möglichen Auswirkungen des Einsatzes digitaler Unterstützung für die Modelldarstellung und Messwertfassung für die Elektrizitätslehre der Sekundarstufe I auf die Arbeitszeit der Schüler\*innen. Wenn die geplanten Erhebungen im Juni und Juli abgeschlossen sind, sollen die erhobenen Daten der Tests zum Fachwissen, zur kognitiven Belastung, zur Technikaffinität und zur Veranschaulichungsfähigkeit nach der probabilistischen Testtheorie (auch Item-Response-Theorie, kurz: IRT) rasch-skaliert werden [24][25]. Auf diesen Analysen basierend sollen die bereits geschilderten Gruppenvergleiche KG, TG1 & TG2 zum Einfluss der Modelldarstellung und die Gruppenvergleiche TG2 & TG3 zum Einfluss der Messwertunterstützung erfolgen.

## 7. Literatur

- [1] Wilhelm, Thomas; Hopf, Martin (2014): Design-Forschung. In (Krüger, Dirk; Parchmann, Ilka; Schecker, Horst (Hrsg.)): *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*, S. 31-42. Springer Verlag, Berlin.
- [2] Anderson, Terry; Shattuck, Julie (2012): Design-Based Research: A Decade of Progress in Education Research? In: *Educational Researcher*, Vol. 41, No. 1. S. 16-25.
- [3] Ejersbo, Lisser Rye; Engelhardt, Robin; Frølund, Lisbeth; Hanghøj, Thorkild; Magnusen, Rikke; Misfeldt, Morten (2008): Balancing Product Design and Theoretical Insights. In (Kelly, Anthony; Lesh, Richard; Baek, John (Hrsg.)): *Handbook of Design Research Methods in Education - Innovations in Science, Technology, Engineering and Mathematics Learning and Teaching*. Routledge, London.
- [4] Burde, Jan-Philipp (2018): Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells. In: *Studien zum Physik- und Chemielernen*. Logos-Verlag, Berlin.
- [5] Ivanjek, Lana; Morris, Louisa; Schubatzky, Thomas; Hopf, Martin; Burde, Jan-Philipp; Haagen-Schützenhofer, Claudia; Dopatka, Liza; Spatz, Verena; Wilhelm, Thomas (2021): Development of a two-tier instrument on simple electric circuits. In: *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* **17**, 020123.
- [6] Müller, Svetlana; Burde, Jan-Philipp; Wilhelm, Thomas (2015): Vergleich von Schülervorstellungen zur Elektrizitätslehre in Hessen und Weißrussland. In: *PhyDidB, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 1 (2015).
- [7] Fromme, Bärbel (2018): Fehlvorstellungen von Studienanfängern – Was bleibt vom Physikunterricht der Sekundarstufe I? In: *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 1 (2018), S. 205-215.
- [8] Burde, Jan-Philipp; Wilhelm, Thomas (2020): Teaching electric circuits with a focus on potential differences. In: *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* **16**, 020153.
- [9] Mayer, Richard (2014): Cognitive Theory of Multimedia Learning. In (Mayer, Richard (Hrsg.)): *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning, Second Edition*, S. 43-71. Cambridge University Press, New York.
- [10] Mayer, Richard; Fiorella, Logan (2014): Principles for Reducing Extraneous Processing in Multimedia Learning: Coherence, Signaling, Redundancy, Spatial Contiguity, and Temporal Contiguity Principles. In (Mayer, Richard (Hrsg.)): *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning, Second Edition*, S. 279-315. Cambridge University Press, New York.
- [11] Mayer, Richard; Moreno, Roxana (2010): Techniques That Reduce Extraneous Cognitive Load and Manage Intrinsic Cognitive Load during Multimedia Learning. In (Plass, Jan; Moreno, Roxana; Brünken, Roland (Hrsg.)): *Cognitive Load Theory*, S. 131-152. Cambridge University Press, New York.
- [12] Kapp, Sebastian; Lauer, Frederik; Beil, Fabian; Rheinländer, Carl; Wehn, Nobert; Kuhn, Jochen (2021): Smart Sensors for Augmented Electrical Experiments. In: *Sensors*, **22**(1), 256.
- [13] Stolzenberger, Christoph; Frank, Florian; Trefzger, Thomas; Wilhelm, Thomas; Kuhn, Jochen

- (2023): Spannung mit PUMA : Spannungslabor.  
In: Phys. Unserer Zeit, Vol. 54, No. 1, S. 44-45.
- [14] Frank, Florian; Stolzenberger, Christoph; Trefzger, Thomas (2022): PUMA : Spannungslabor – Eine AR-Applikation für den Einsatz in der E-Lehre der Sek I.  
In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1 (2022).
- [15] Frank, Florian; Stolzenberger, Christoph; Trefzger, Thomas (2023): PUMA : Spannungslabor – Untersuchung der Lernwirksamkeit von AR.  
In (Habig, Sebastian (Hrsg.)): Lehren, Lernen und Forschen in einer digital geprägten Welt – Tagungsband der GDPC-Jahrestagung 2022. S. 91 – 94.
- [16] Frank, Florian; Stolzenberger, Christoph; Trefzger, Thomas (2022): Vorstellung einer qualitativen Studie zur Eignung einer AR-Applikation zur Unterstützung der Modellvorstellungsbildung in der E-Lehre.  
In (Habig, Sebastian (Hrsg.)): Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen – Tagungsband der GDPC-Jahrestagung 2021. S. 684 – 687.
- [17] Koller, D. (2008): Entwurf und Erprobung eines Unterrichtskonzepts zur Einführung in die Elektrizitätslehre.  
Zulassungsarbeit am Lehrstuhl Didaktik der Physik der LMU München.
- [18] Stolzenberger, Christoph; Frank, Florian; Trefzger, Thomas (2022): Experiments for students with built-in theory: ‘PUMA: Spannungslabor’ – an augmented reality app for studying electricity.  
In: Physics Education, Vol. 57, No. 4, 045024.
- [19] Kirwald, Dustin; Dorsel, Dominik; Staacks, Sebastian; Noritzsch, Jens; Stampfer, Christoph; Heinke, Heidrun (2022): phyphox: Neue und verbesserte Experimente mit Hilfe externer Sensoren.  
Poster im Rahmen der GDPC-Jahrestagung 2022.
- [20] Haase, Sebastian; Kirstein, Jürgen; Nordmeier, Volkhard (2016): The Technology Enhanced Textbook: An HTML5-based Online System for Authors, Teachers and Learners.  
In (Thoms, Lars-Jochen; Girwidz, Raimund (Hrsg.)): Selected Papers from the 20th International Conference on Multimedia in Physics Teaching and Learning, S. 95-92. European Physics Society, Mulhouse.
- [21] Klepsch, Melina; Schmitz, Florian; Seufert, Tina (2017): Development and Validation of Two Instruments Measuring Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load.  
In: Front. Psychol. 8:1997.
- [22] Karrer, Katja; Glaser, Charlotte; Clemens, Caroline; Bruder, Carmen (2009): Technikaffinität erfassen – der Fragebogen TA-EG.  
In (Lichtenstein, Antje; Stöbel, Christian; Clemens, Caroline (Hrsg.)): Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme. 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme (ZMMS Spektrum, Reihe 22, Nr. 29, S. 196 – 201). VDI Verlag GmbH, Düsseldorf.
- [23] Heller, Kurt; Perleth, Christoph (2000): Kognitiver Fähigkeitstest für 4.-12. Klassen, Revision (KFT 4-12+ R). Hogrefe, Göttingen.
- [24] Neumann, Knut (2014): Rasch-Analyse naturwissenschaftsbezogener Leistungstests.  
In (Krüger, Dirk; Parchmann, Ilka; Schecker, Horst (Hrsg.)): Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung, S. 31-42. Springer Verlag, Berlin.
- [25] Bond, Trevor; Yan, Zi; Heene, Moritz (2021): Applying the Rasch Model – Fundamental Measurement in the Human Sciences, Fourth Edition. Routledge, New York.

### 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.