

Schülerlaborstudie zum Einsatz von Augmented Reality in der Elektrizitätslehre

*Hintergrund, Interventionsmaterial, Studiendesign und
erste vorläufige Ergebnisse*

Florian Frank, Christoph Stolzenberger und Thomas Trefzger
(Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik, Julius-Maximilians-Universität Würzburg)

06.03.2023 | Vortrag im Rahmen der Jahrestagung der DPG | DD 3.2 | Hannover

Schülerlaborstudie „AR in der E-Lehre“

Struktur des Vortrags



1. Hintergrund
2. Die Applikation „PUMA : Spannungslabor“
3. Das Schülerlabor „Elektrische Stromkreise“
4. Die Studie „Digitale Unterstützung für die E-Lehre“
5. Erste vorläufige Ergebnisse der Studie



Ausgangssituation der Entwicklung

Fehlerhafte Schülervorstellungen zur E-Lehre (sequentielle Argumentation, Stromverbrauchsvorstellung, ...) sind nachweisbar...

- nach Abschluss der elementaren Lehre zu einfachen Stromkreise. (Burde, 2018; Ivanjek et al., 2021)
- am Ende der Sekundarstufe I (z.B. Probleme mit Parallelschaltungen, 85%). (Müller et al., 2015)
- bei Studienanfänger*innen der Physik (Stromverbrauchsvorstellung, 67%). (Fromme, 2018)

Annahme: Komplexität des Lerninhalts stellt Lernende vor eine (zu) hohe kognitive Herausforderung. (Burde et al., 2020)

Ansatz der Entwicklung

Lösungsansatz: *Theorie des Multimedialen Lernens* (Mayer, 2010)

Prinzipien zur Reduktion der kognitiven Belastung: Spatial and Temporal Contiguity, Segmenting Principle. (Mayer et al., 2010; Mayer et al., 2014)

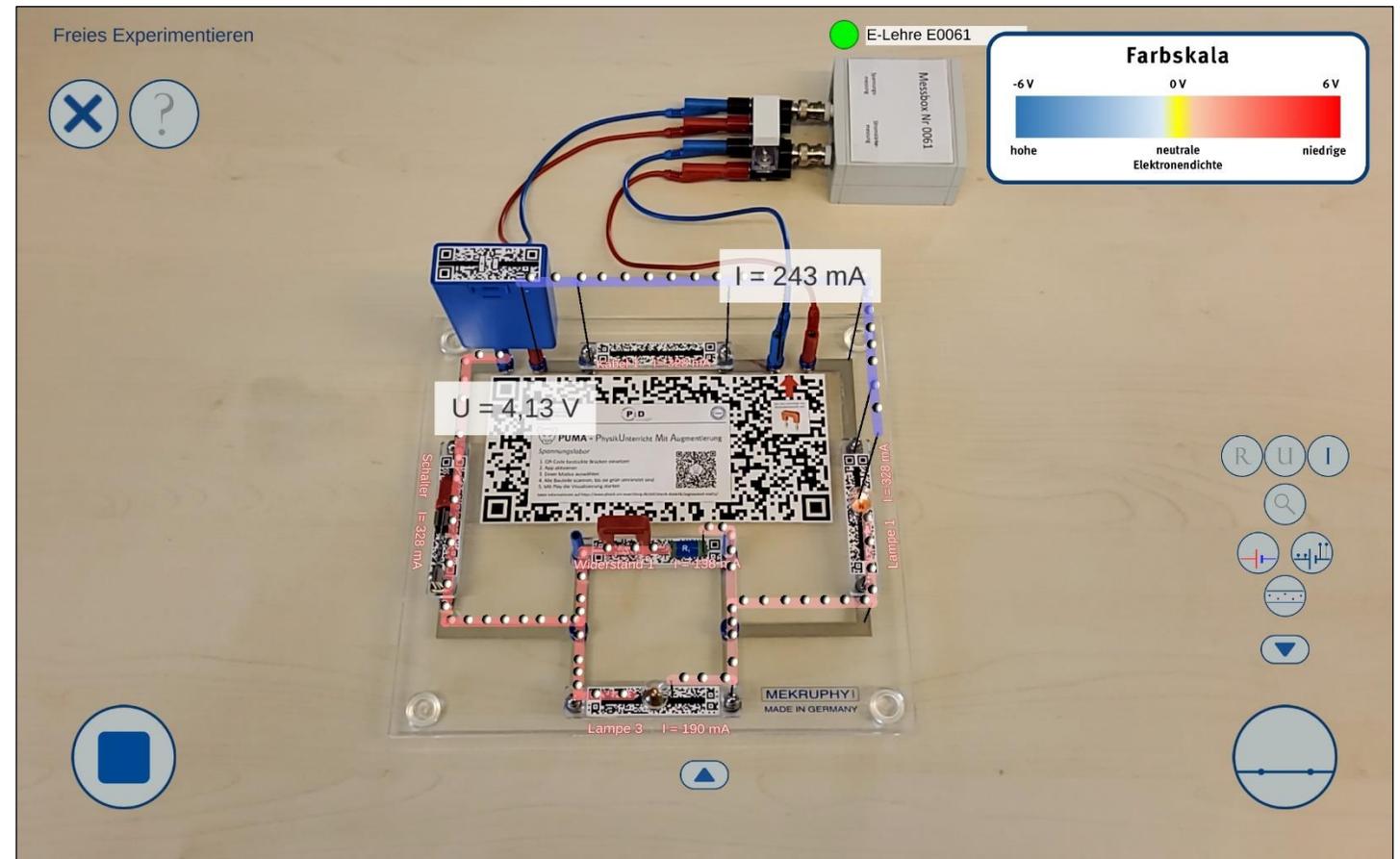
Zwei Lernbereiche mit Unterstützungspotential in der E-Lehre der 8. Jgst.:

- *Lernen über und mit Modellen*
Nutzung von Analogiemodellen (Stäbchenmodell, Wasserkreislaufmodelle, Elektronengasmodell) ist weit verbreitet und lernförderlich. (Burde et al., 2020)
- *Messwerterfassung*
Darstellung der Messdaten direkt am Messobjekt kann lernförderlich sein. (Kapp et al., 2021)

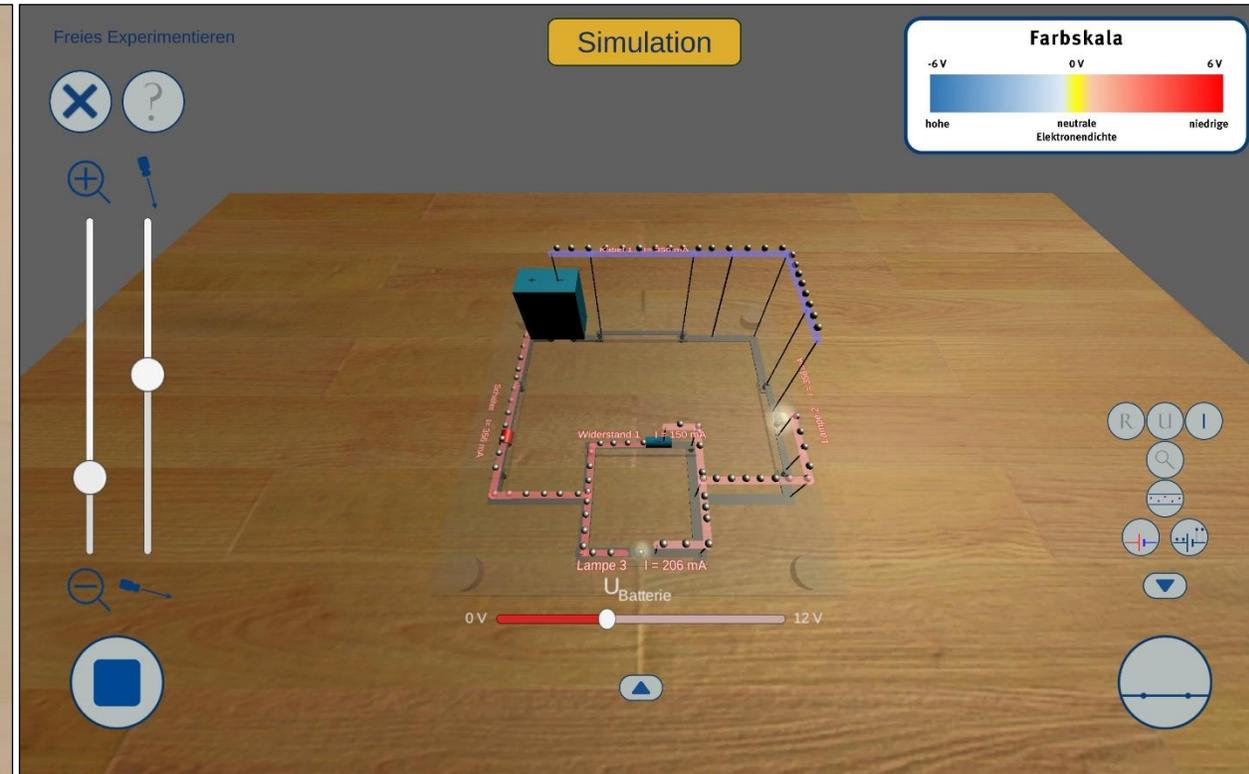
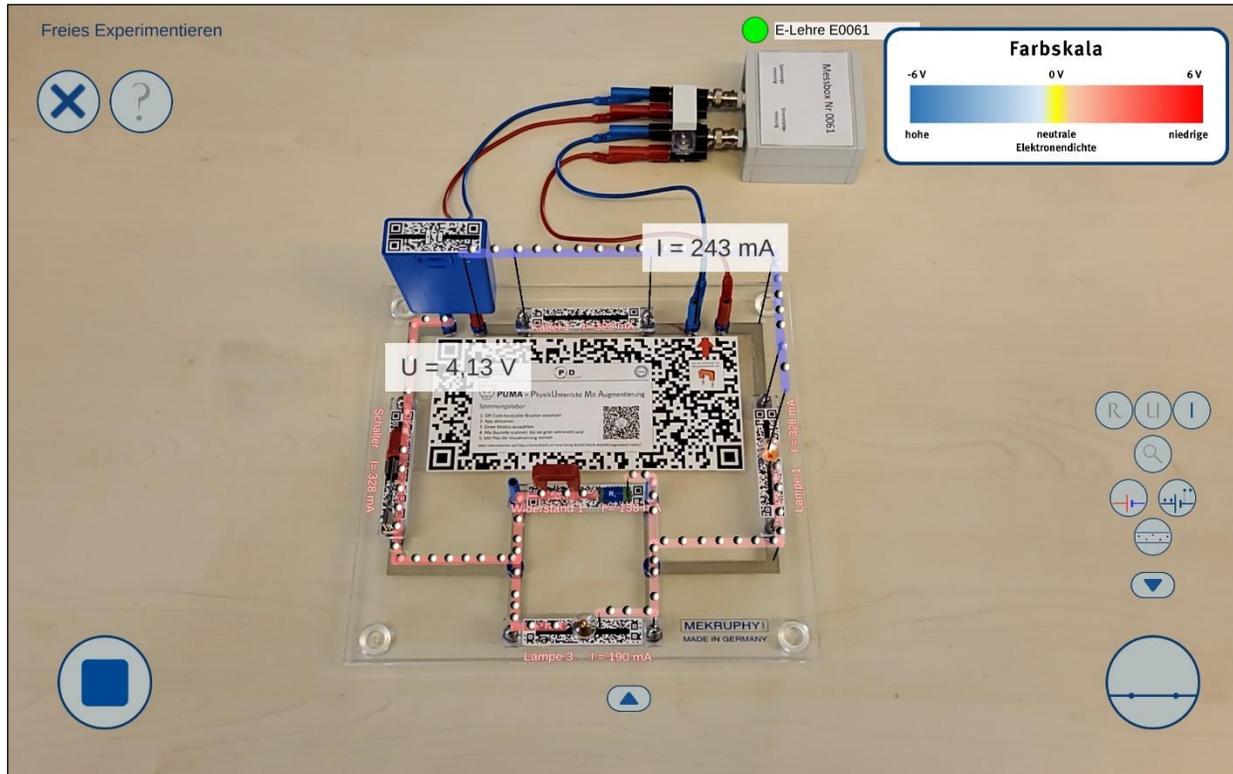
Die Applikation PUMA : Spannungslabor

Rahmendaten

- Native iOS- und Android-App, optimiert für Tablets (in den Appstores kostenlos verfügbar)
- Augmented Reality-Modus und Simulationsmodus
- **Visualisierung verschiedener Analogiemodelle**
Stäbchenmodell, Murmelbahnmodell, Elektronengasmodell, Stoßmodell des elektr. Widerstands
- **„Messwert“erfassung und Darstellung**
Bluetooth-Messbox mit Erhebung zentraler Daten erlaubt Berechnung und Anzeige weiterer Kenndaten (nur im AR-Modus)



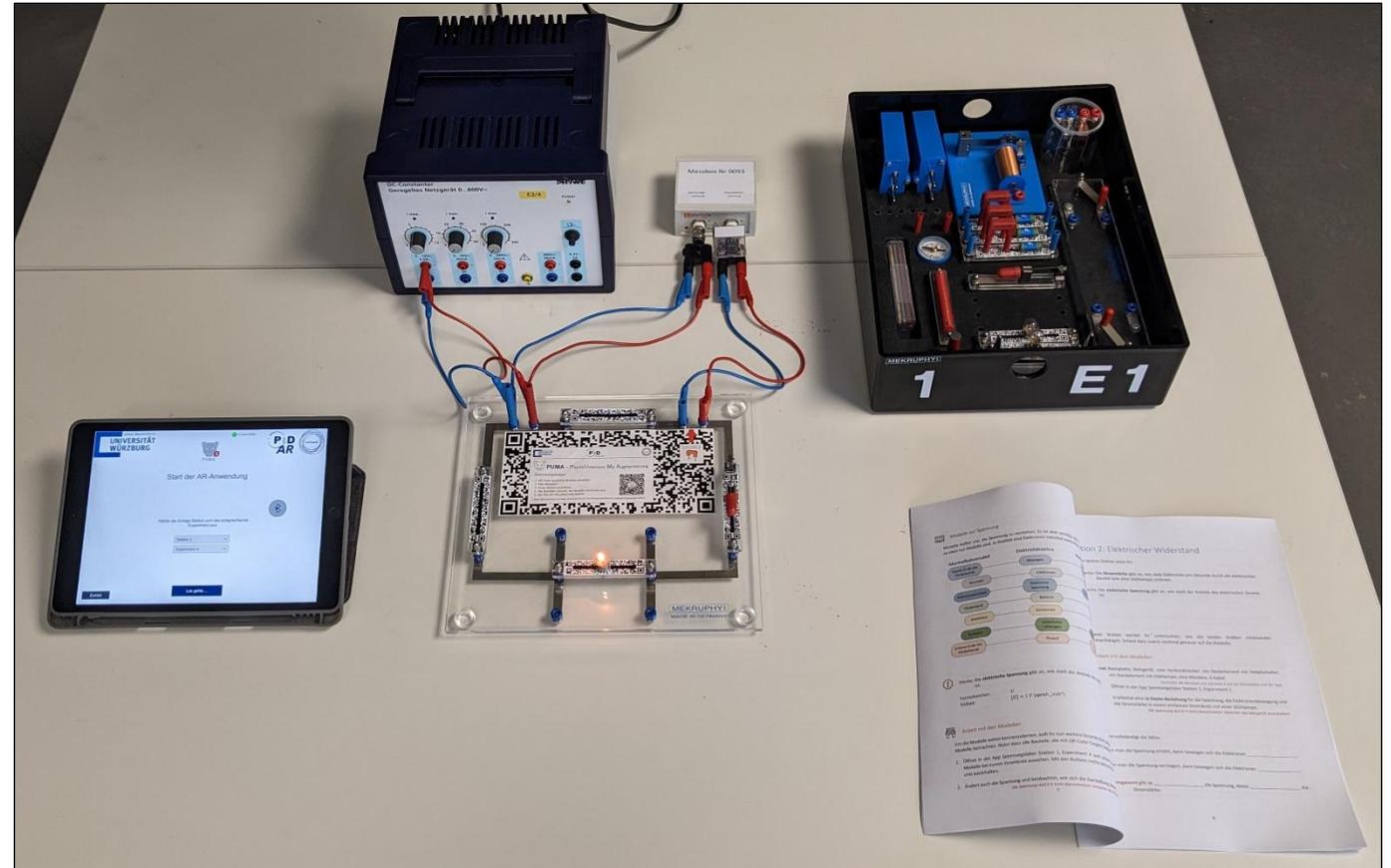
Screenshot aus der App PUMA : Spannungslabor im AR-Modus



- Mehr Informationen in **Vortrag DD 13.1:** „PUMA : Spannungslabor – AR-Funktionalität, Simulation und Bluetooth LE-Messwerterfassung“ | Montag, 16:00 Uhr
- Eigenständiges Ausprobieren der App am **Poster DD 22.7:** „Das Projekt PUMA (PhysikUnterricht Mit Augmentierung)“ | Montag, 17:00 Uhr

Rahmendaten

- Einbindung der entwickelten Applikation in die frühe Elektrizitätslehre zur Evaluation der Lernförderlichkeit digitaler Unterstützung
- Inhalte orientiert am Lehrplan der 8. Jgst. für bayerische Gymnasien
- **Vier Stationen** „Stromstärke und Spannung“, „Elektrischer Widerstand“, „Parallelschaltung“ und „Reihenschaltung“
- **Erklärtes Ziel** Stärkere Verknüpfung der didaktischen Analogiemodelle mit dem Wissen über die Grundgrößen der Elektrizität und erleichterte Messwerterfassung



Station 1 „Stromstärke und Spannung“

- Einstieg mit einfachem Experiment
- Theorietext zur Stromstärke, erstmalige Nutzung der Applikation zur Darstellung der Elektronen
- Theorietext zu Analogiemodellen mit simultaner Darstellung der Modelle in der Applikation
- Theorietext zur Spannung mit offenem Arbeitsauftrag für weitere Beschäftigung mit der Applikation
- **Ziel:** Erarbeitung der Analogiemodelle „Murmelbahn“ und „Elektronengas“, Nutzung der Applikation zur Modelldarstellung

Station 1: Stromstärke

Beginnt direkt mit dem ersten Experiment

Experiment 1

Material: Basisplatte, Batteriehalter, Schalter, ein Steckelement

Ziel: Bringt die Glühlampe zum Leuchten

Unter welchen Bedingungen leuchten die Glühlampen gemeinsam an?

- Wenn der Stromkreis geschlossen ist
- Eine Glühlampe, die mit mindestens einem Pol verbunden ist
- Die Glühlampe leuchtet nur, wenn beide Pole verbunden sind
- Die Glühlampe leuchtet nur, wenn beide Pole der Batterie verbunden sind
- Wenn beide Pole der Batterie verbunden sind
- Eine Glühlampe, die von Strom durchflossen wird

Visualisierung zur Stromstärke

- Baut eure Messbox in den Schalter die Box auf der Rückseite
- Öffnet auf dem iPad die App Spannungslabor und lest das Tutorial. Schaut euch auch das Video an.
- Geht „Zur AR Anwendung“ und Tablet per Bluetooth-Menü mit dem Smartphone verbinden.
- Wählt Station 1, Experiment 1 aus und drückt auf „Los geht's...“.
- Scannt wie im Video die QR-Code umrandet sind.
- Startet dann die Visualisierung der Stromstärke.

Vergleicht die Darstellungen mit dem Marmelbahnmodell. Beantwortet folgende Fragen zur Stromstärke:

Wie sehen die Elektronen aus?

Bewegen sich bei geschlossenem Schalter die Elektronen?

Wenn der Schalter geschlossen wird, bewegen sie sich? Wenn nein, welche bewegen sich?

Das, was die Elektronen antreibt, ist die **Spannung**. Zur einfacheren Vorstellung

Murmelbahnmodell

Stellt euch eine Murmelbahn vor. Ein Förderband bringt die Murmeln an den Start. Die Murmeln rollen in der Bahn nach unten und werden durch ein Drehkreuz zum Drehen gebracht. Am unteren Ende der Bahn werden sie nach oben gebracht und rollen erneut nach unten.

Visualisierung zum Marmelbahnmodell

- Entfernt den Batteriehalter und verbindet die Pole der Batterie mit dem Schalter es ein und stellt eine Spannung ein.
- Öffnet in der App Spannungslabor die Visualisierung des Marmelbahnmodell vor.
- Ändert auch die Spannung und beobachtet, wie sich die Darstellung ändert.

Vergleicht die Darstellungen mit dem Elektronengasmodell. Verbindet die Begriffe des Marmelbahnmodell mit dem Elektronengasmodell.

Modelle zur Spannung

Modelle helfen uns, die Spannung zu verstehen. Es ist aber wichtig, nicht zu vergessen, dass es eben nur Modelle sind. In Realität sind Elektronen natürlich keine Murmeln.

Murmelbahnmodell	Elektrizitätslehre	Elektronengasmodell
Oberes Ende des Förderbands	Minuspol	Ventil mit Überdruck
Murmeln	Elektronen	Luftteilchen
Höhenunterschied	Elektrische Spannung	Druckunterschied
Förderband	Batterie	Luftpumpe
Drehkreuz	Glühlampe	Engstelle im Luftschlauch
Rollbahn	elektrische Leitungen	Luftschläuche
Unteres Ende des Förderbands	Pluspol	Ventil mit Unterdruck

Merke: Die elektrische Spannung gibt an, wie stark der Antrieb des elektrischen Stroms ist.

Formelzeichen: U
Einheit: $[U] = 1 V$ (sprich „Volt“)

Arbeit mit den Modellen

Um die Modelle weiter kennenzulernen, sollt ihr nun weitere Stromkreise aufbauen und deren Modelle betrachten. Nutzt dazu alle Bauteile, die mit QR-Code-Targets beklebt sind.

- Öffnet in der App Spannungslabor Station 1, Experiment 4 und schaut euch an, wie die Modelle bei eurem Stromkreis aussehen. Mit den Buttons rechts könnt ihr die Modelle an- und ausschalten.
- Ändert auch die Spannung und beobachtet, wie sich die Darstellung ändert.

Die Spannung darf 6 V nicht überschreiten! Hinterher das Netzgerät ausschalten!

Station 2 „Elektrischer Widerstand“

- Einstieg mit qualitativem Experiment
- Kennlinienmessung einer Glühlampe
- Kennlinienmessung eines Ohm'schen Widerstands
- Theorietext zum Elektrischen Widerstand
- Berechnung von Widerstandswerten, Rückbezug der Werte auf den Verlauf der Kennlinien
- **Ziel:** Erarbeitung der Kennlinien elektrischer Bauteile und des Widerstands, Nutzung der Applikation zur Messwerterfassung

Station 2: Elektrischer Widerstand

Aus der letzten Station wisst ihr:

- ! **Merke:** Die **Stromstärke** gibt an, wie viele Ladungen durch einen Bauteil (wie eine Glühlampe) fließen.
- ! **Merke:** Die **elektrische Spannung** ist die Ursache für den Stromfluss.

In dieser Station werdet ihr untersuchen, wie die Stromstärke mit der Spannung zusammenhängt. Schaut dazu zuerst in der App **Spannungslabor** nach.

Arbeit mit den Modellen

Material: Basisplatte, Netzgerät, zwei Steckelemente mit Glühlampe.

Ziel: Erarbeitet eine **Je-Desto-Beziehung** zwischen der Stromstärke in einem elektrischen Bauteil und der an ihm angelegten Spannung.

Vervollständigt die Sätze:

Wenn man die Spannung erhöht, dann ...

Wenn man die Spannung verringert, dann ...

Insgesamt gilt: Je ... die Stromstärke.

Experiment 2

Material: Basisplatte, Netzgerät, zwei Steckelemente mit Glühlampe.

Aufgabe: Baut einen einfachen Stromkreis auf. Messen Sie die Stromstärke.

Ziel: Messen Sie für die untenstehenden Spannungswerte die Stromstärke.

Vervollständigt die Tabellen:

$\frac{U}{V}$	0	0,5
$\frac{I}{mA}$	0	0,5
$\frac{U}{V}$	3	3,5
$\frac{I}{mA}$		

Zeichnet eure gemessenen Werte in die Tabelle ein. Verbindet die Punkte mit einer glatten Freihandskurve.

Die Kennlinie

Ein solches U-I-Diagramm eines elektrischen Bauteils ist spezifisch für das Bauteil. Wie sieht die Kennlinie aus? Beschreibt den Verlauf der Kennlinie.

An den Kennlinien sieht man deutlich, wie unterschiedlich die Beziehung zwischen Stromstärke und Spannung bei einer Glühlampe und einem Widerstand sind. Diese Beziehung soll ihr auch quantitativ beschreiben können:

Elektrischer Widerstand

Um ein Maß dafür zu haben, wie stark die Elektronenströmung durch ein Bauteil (z.B. ein Lämpchen) gehemmt wird, bestimmt man den **Widerstandswert R**.

Von zwei Bauteilen, die mit der gleichen Spannung betrieben werden, hat dasjenige den größeren Widerstand, bei dem sich die kleinere Stromstärke ergibt – und umgekehrt.

! **Merke:** Der **Widerstandswert R** gibt an, wie stark die Elektronen durch ein elektrisches Bauteil gebremst bzw. in ihrem Fluss behindert werden.

Formelzeichen: R
 Einheit: $[R] = 1 \Omega$ (sprich „Ohm“)
 Formel: $R = \frac{U}{I}$ (zur Berechnung)

Berechnet für die untenstehenden Spannungswerte jeweils den Widerstandswert R für die Glühlampe und Widerstand. Nutzt dafür eure gemessenen Stromstärken.

	$U = 1 V$	$U = 3 V$	$U = 5 V$
Glühlampe	$R =$	$R =$	$R =$
Widerstand R_2	$R =$	$R =$	$R =$

Vergleicht die berechneten Widerstandswerte mit den Kennlinien. Was fällt euch auf?

13

Forschungsinteresse

1. Welchen Einfluss hat die digitale Unterstützung für die **Modelldarstellung** auf das **Lernen** und die **kognitive Belastung** der Lernenden?
2. Welchen Einfluss hat die digitale Unterstützung für die **Messwerterfassung** auf das **Lernen** und die **kognitive Belastung** der Lernenden?

Erhobene Daten

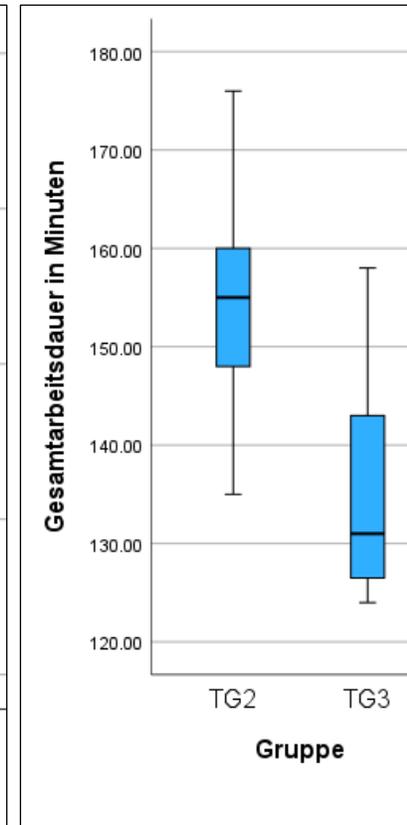
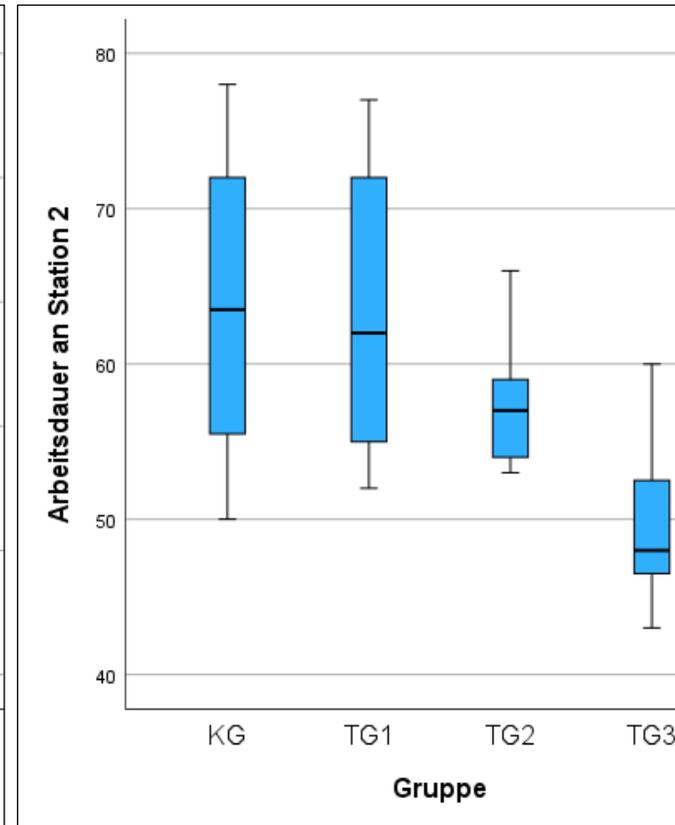
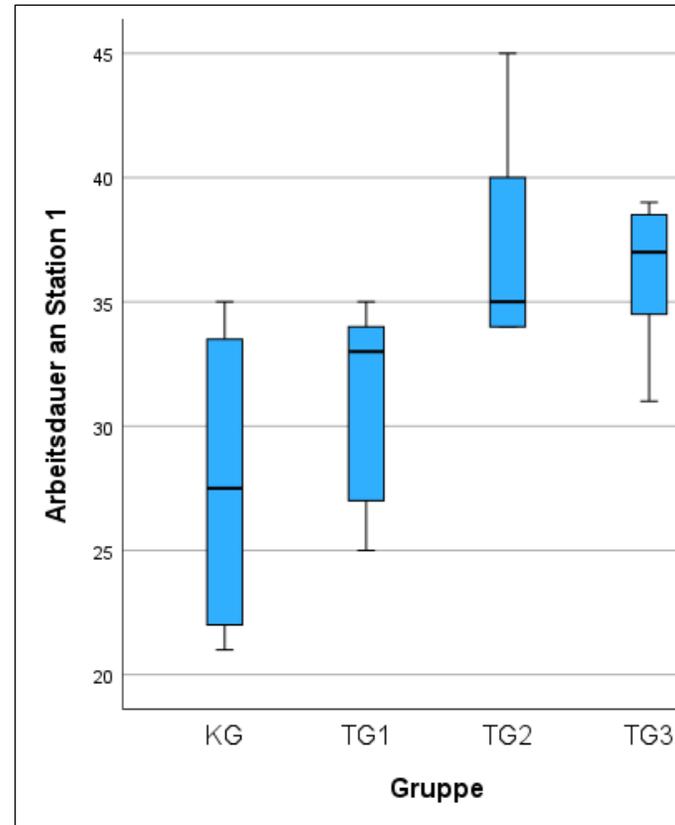
- Lernzuwachs (*Ivanjek et al., 2021*), kognitive Belastung (*Klepsch et al., 2017*)
- Technikaffinität (*Karrer et al., 2009*), Räumliches Vorstellungsvermögen (*Heller et al., 2000*), Leistungsstand (Schulnoten)
- Unterrichtsinformationen (bekannte Modelle, ...), Arbeitsdauer pro Station

Verglichene Gruppen

- **KG** Schulbuchdarstellungen und Multimetermessungen
 - **TG1** Simulationsnutzung und Multimetermessungen
 - **TG2** AR-Applikation und Multimetermessungen
 - **TG3** AR-Applikation für Modelldarstellung und Messung
-
- **Vergleich des Einflusses der Modelldarstellung in Gruppenvergleich KG, TG1 und TG2**
 - **Vergleich des Einflusses der Messwerterfassung in Gruppenvergleich TG2 und TG3**

Blick auf die Zeitdaten

- **Station 1** längere Einarbeitungszeit in die Applikation vonnöten, sowohl bei Simulation als auch AR-Applikation
- **Station 2** TG3 hier mit deutlich kürzerer Arbeitsdauer, Unterstützung der Messwerterfassung schlägt sich hier nieder
- **Gesamtarbeitsdauer, Vergleich TG2 & TG3** signifikante Zeitersparnis, hervorgerufen durch AR-Unterstützung der Messwerterfassung



Alle Materialien sind frei verfügbar auf der Website des Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik bzw. in den jeweiligen App-Stores (iOS und Android) zu finden!

Literatur:

- (1) Burde, J.-P. (2018). Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells. In: Studien zum Physik- und Chemielernen. Logos-Verlag, Berlin.
- (2) 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. doi: 10.1103/PhysRevEducRes.17.020123
- (3) Müller, S.; Burde, J.-P.; Wilhelm, T. (2015). Vergleich von Schülervorstellungen zur Elektrizitätslehre in Hessen und Weißrussland. In (Nordmeier, V. & Grötzebauch, H., Hrsg.): *PhyDidB – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Wuppertal 2015*. Berlin.
- (4) Fromme, B. (2018). Fehlvorstellungen von Studienanfängern – Was bleibt vom Physikunterricht der Sekundarstufe I. In (Nordmeier, V. & Grötzebauch, H., Hrsg.): *PhyDidB – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Würzburg 2018*. Berlin, S. 205 - 215.
- (5) 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 (Eds.), *Cognitive Load Theory* (pp. 131-152). New York: Cambridge University Press.
- (6) Mayer, R. (2014). Cognitive Theory of Multimedia Learning. In R. Mayer (Eds.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning, Second Edition* (pp. 43-71). New York: Cambridge University Press.
- (7) 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 (Eds.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning, Second Edition* (pp. 279-315). New York: Cambridge University Press.
- (8) Burde, J.-P., & Wilhelm, T. (2020). Teaching electric circuits with a focus on potential differences. *Physical Review Physics Education Research* 16, 020153. doi: 10.1103/PhysRevEducRes.16.020153
- (9) Kapp, S., Lauer, F., Beil, F., Rheinländer, C. C., Wehn, N., & Kuhn, J. (2021). Smart Sensors for Augmented Electrical Experiments. *Sensors*, 22(1), 256. MDPI AG. doi: 10.3390/s22010256
- (10) Stolzenberger, C., Frank, F., & Trefzger, T. (2022). Experiments for students with built-in theory: ‚PUMA: Spannungslabor‘ – an augmented reality app for studying electricity. *Physics Education*, 57(4), 045024. doi: 10.1088/1391-6552/ac60ae

Schülerlaborstudie „AR in der E-Lehre“



Die Studie „Digitale Unterstützung für die E-Lehre“

Station 1

Stromstärke und Spannung

Station 2

Elektrischer Widerstand

Station 3

Parallelschaltung

Station 4

Reihenschaltung

Pretest

- Fachwissen [1]
- Technikaffinität [2]
- Veranschaulichungs-fähigkeit [3]
- Leistungsstand (Schulnoten)

Kurztest

- Fachwissen (in Teilen) [1]
- Kognitive Belastung [4]
- Arbeitsdauer

Kurztest

- Fachwissen (in Teilen) [1]
- Kognitive Belastung [4]
- Arbeitsdauer

Kurztest

- Fachwissen (in Teilen) [1]
- Kognitive Belastung [4]
- Arbeitsdauer

Kurztest

- Fachwissen (in Teilen) [1]
- Kognitive Belastung [4]
- Arbeitsdauer

Verwendete Testinstrumente

- (1) **2T-SEC-Test:** Erhebung des Fachwissens und der Schülervorstellungen (Ivanjek et al., 2021)
- (2) **TA-EG:** Erhebung der Technikbegeisterung, -kompetenz und Einstellung gegenüber Technik (Karrer et al., 2009)
- (3) **KFT- Subtest N3 „Faltaufgaben“:** Erhebung der Fähigkeit zur Veranschaulichung (Heller et al., 2000)
- (4) **Naive Rating Scale:** Erhebung der kognitiven Belastung (Klepsch et al., 2017)