

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

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

## Studie zur Wirkung digitaler Medien in Schülerlaboren für die E-Lehre

### Theoretischer Hintergrund und Forschungsinteresse

Nach Aussagen der *Cognitive Load Theory (CLT)* (Sweller, van Merriënboer & Paas, 2019) verfügt jeder Lernende über eine gewisse kognitive Kapazität und jeder Lernprozess bewirkt eine Belastung derselben. Übersteigt dabei diese kognitive Belastung die Kapazität der Lernenden, so wird der Lernvorgang gehindert. Die kognitive Belastung kann in drei Kategorien eingeteilt werden: intrinsische Last (erzeugt durch den Lerninhalt, für einen Lerninhalt unveränderlich), extrinsische Last (erzeugt durch die Darbietung des Lerninhalts, u.a. die Darstellungen im Lernmaterial) und lernbezogene Last (erzeugt durch Verarbeitungs- und Speicherprozesse, z.B. Schemata-Konstruktion). Ein Lernvorgang sollte dem folgend so gestaltet sein, dass die kognitive Kapazität möglichst wenig extrinsisch belastet wird und möglichst viel Kapazität für lernbezogene Vorgänge zur Verfügung steht. In der Elektrizitätslehre sind für den Lernvorgang wichtige Ressourcen das physikalische Experiment, die am Experiment erhobenen Messdaten und die häufig auf Analogien basierenden Modellvorstellungen zur Elektrizität. Nach den *Prinzipien der räumlichen und zeitlichen Kontiguität* der *Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML)* (Mayer, 2014) ist die extrinsische Last umso geringer, je zeitlich und räumlich näher sich alle für den Lernvorgang relevanten Ressourcen sind (Mayer & Fiorella, 2014). Anknüpfend daran wurden im Projekt „PUMA : Spannungslabor“ zwei Applikationen entwickelt: eine Augmented Reality (AR)-Applikation, welche einen realen Stromkreis mit den Modellvorstellungen überblendet (Stolzenberger, Frank & Trefzger, 2022; Frank, Stolzenberger & Trefzger, 2022) und eine Simulation, welche die Modellvorstellungen auf einen digitalen Stromkreis projiziert. Das in diesem Artikel beschriebene Vorhaben nutzt beide Applikationen im Rahmen einer Schülerlaborstudie, um die Wirkung des Einsatzes dieser Art der digitalen Lernunterstützung auf den Konzeptwissenszuwachs und die im Lernvorgang empfundene kognitive Last zu untersuchen (Frank, Stolzenberger & Trefzger, 2023).

### Studiendesign und Intervention

Im Vorhaben werden zwei Forschungsfragen untersucht: „*Welchen Einfluss hat die Modelldarstellung (per Infografik, Simulation oder AR) auf Konzeptwissen und kognitive Last?*“ und „*Welchen Einfluss hat die Messwerterfassung (per Multimeter oder AR) auf Konzeptwissen und kognitive Last?*“. Im Rahmen eines Schülerlabors zu elektrischen Stromkreisen wurde dafür eine Pre/Post-Studie zum Konzeptwissen (erhoben mittels 2T-SEC-Test, siehe Ivanjek, Morris, Schubatzky, Hopf, Burde, Haagen-Schützenhofer, Dopatka, Spatz & Wilhelm, 2021) durchgeführt (vgl. Abb. 1). Im Schülerlabor wurde mittels *Cognitive Load Scale* (Klepsch, Schmitz & Seufert, 2017) die kognitive Last an vier Messzeitpunkten erhoben. Im Schülerlabor erarbeiten die Lernenden die Basis-Inhalte der E-Lehre anhand eines Arbeitsbuches, eines Experimentiersatzes zur E-Lehre und digitalem Unterstützungsmaterial (Frank, Stolzenberger & Trefzger, akzeptiert). Das Schülerlabor wird in vier Varianten mit gleichem Inhalt und unterschiedlichem Unterstützungsmaterial durchgeführt: Modelldarstellung per Infografiken und Messung per Multimeter (IG & MM), Modelldarstellung per Simulation und Messung per Multimeter (SIM & MM), Modelldarstellung per AR-App und Messung per Multimeter (AR

& MM) und Modelldarstellung per AR-App und Messung per AR-App (AR & AR). Zur Untersuchung der Forschungsfrage 1 können damit die Gruppen IG & MM, SIM & MM und AR & MM verglichen werden, für Forschungsfrage 2 die Gruppen AR & MM und AR & AR.

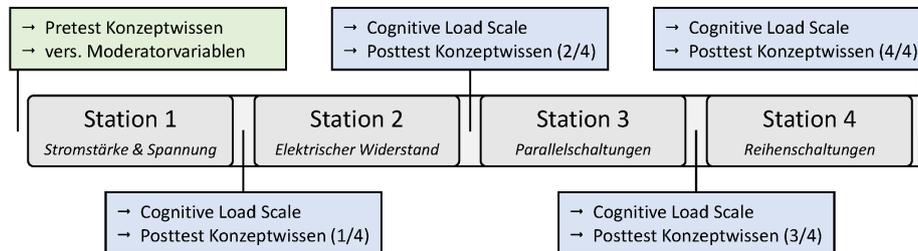


Abbildung 1: Aufbau der Intervention (grün: Pretest, blau: Erhebungen im Schülerlabor)

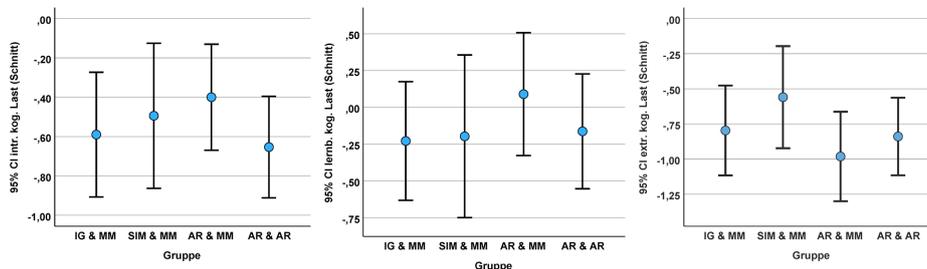
### Auswertung

Die Ergebnisse, über die hier berichtet wird, wurden aus zwischen Dezember 2022 und Juni 2023 durchgeführten Erhebungen gewonnen. In diesem Zeitraum besuchten insgesamt acht Gymnasialklassen der achten Jahrgangsstufe die Schülerlabore. Dabei wurden 179 vollständige Datensätze gesammelt, davon 40 in Gruppe IG & MM, 41 in Gruppe SIM & MM, 45 in Gruppe AR & MM und 53 in Gruppe AR & AR. Die erhobenen Daten wurden nach der probabilistischen Testtheorie aufbereitet und skaliert (Neumann, 2014), die Konzeptwissensdaten im Rahmen eines zweidimensionalen (für die zwei Messzeitpunkte) *2PL*-Modell, die Cognitive Load-Daten im Rahmen eines vierdimensionalen (für die vier Messzeitpunkte) *Generalized-Partial-Credit*-Modell (mit R-Package TAM, siehe Robitzsch, Kiefer & Wu, 2022). Die Struktur der *Cognitive Load Scale* wurde konfirmatorisch geprüft und bestätigt, die Kenndaten liegen im Bereich der in anderen Verwendungen des Fragebogens berichteten Werte (vgl. Meta-Analyse von Krieglstein, Beege, Rey, Ginns, Krell & Schneider, 2022).

### Ergebnisse und Diskussion

Zur Testung der Hypothesen wurden ANOVAs durchgeführt, jeweils für den Durchschnitt der in vier Messungen erhobenen kognitiven Last und der Gruppe als fixen Faktor.

- F1-H1: Die Art der Modelldarstellung hat keinen Einfluss auf die intrinsische Last.
- F2-H1: Die Art der Messwerterfassung hat keinen Einfluss auf die intrinsische Last.
- F1-H2: Die Art der Modelldarstellung hat keinen Einfluss auf die lernbezogene Last.
- F2-H2: Die Art der Messwerterfassung hat keinen Einfluss auf die lernbezogene Last.
- F1-H3: Die Art der Modelldarstellung hat einen Einfluss auf die extrinsische Last.
- F2-H3: Die Art der Messwerterfassung hat einen Einfluss auf die extrinsische Last.



Abbildungen 2, 3, 4: Durchschnittswerte (über alle Messpunkte) der gemessenen Lastarten in den Gruppen (links: intrinsische Last, mittig: lernbezogene Last, rechts: extrinsische Last)

Zur intrinsischen Last (F1-H1 und F2-H1) wurden die Nullhypothesen getestet, da in allen Interventionsgruppen dieselben Fachinhalte zur Elektrizität vermittelt wurden. Betrachtet man Abb. 2, erscheint daher der Unterschied zwischen den Gruppen AR & MM und AR & AR als diskussionswürdig. Die Lehrkräfte der teilnehmenden Klassen gaben dazu in vielen Fällen an, dass die Schüler\*innen im Unterricht bisher wenig bis gar nicht mit Multimetern gearbeitet hatten. Die höhere intrinsische Last bei der Nutzung der Multimeter (AR & MM) im Vergleich zur Nutzung der AR-App zur Messung (AR & AR) kann damit darin begründet liegen, dass für die Schüler\*innen die Handhabung der Multimeter ein zusätzlicher Lerninhalt im Schülerlabor war und damit zur intrinsischen Last beigetragen hat. Die Hypothesentests mit der aktuellen Stichprobe ergeben, dass weder die Art der Modelldarstellung ( $F(2, 123) = .367, p = .694, \eta^2 = .006$ ) noch die Art der Messwerterfassung ( $F(1, 96) = 1.857, p = .176, \eta^2 = .019$ ) einen signifikanten Einfluss auf die durchschnittliche intrinsische Last haben.

Zur lernbezogenen Last (F1-H2 und F2-H2) wurden die Nullhypothesen getestet, da sich die Interventionsgruppen in ihrer Förderung der lernbezogenen Last (z.B. durch Prompts für Reflexion, gezieltes Feedback, Personalisierung der Instruktion, siehe Moreno & Mayer, 2010) nicht unterscheiden. Die Hypothesentests mit der aktuellen Stichprobengröße ergeben, dass weder die Art der Modelldarstellung ( $F(2, 123) = .608, p = .546, \eta^2 = .010$ ) noch die Art der Messwerterfassung ( $F(1, 96) = .789, p = .377, \eta^2 = .008$ ) einen signifikanten Einfluss auf die durchschnittliche lernbezogene Last haben (vgl. auch Abb. 3).

Zur extrinsischen Last (F1-H3 und F2-H3) wurden die Alternativhypothesen formuliert. Die der Hypothese F1-H3 zugrundeliegende Annahme, dass das Einhalten der Prinzipien der räumlichen und zeitlichen Kontiguität eine Senkung der extrinsischen Last mit sich bringt, scheint allerdings zunächst nicht bestätigt. Beschreibt man die Mittelwertverläufe (siehe Abb. 4) der sich in der Modelldarstellung unterscheidenden Gruppen IG & MM, SIM & MM und AR & MM qualitativ, so fällt auf, dass die Nutzung der Simulation die höchste und die Nutzung der AR-App die geringste extrinsische Last hervorruft. Grundlegend vereinen beide Applikationen die Modelle und den Stromkreis, allerdings unterschiedliche Formen dessen, als virtuelles Objekt in der Simulation, bzw. als Realobjekt in der AR-App. Die höhere extrinsische Last der Simulationsnutzung deutet darauf hin, dass ein virtuelles Faksimile des Stromkreises den realen Stromkreis nicht ersetzen kann. Die zentralen Lernressourcen sind damit also der reale (!) Stromkreis und die Modelldarstellung. Dieser Logik folgend ermöglicht die AR-App eine räumliche und zeitliche Kontiguität, die Nutzung von Infografiken zumindest eine zeitliche Kontiguität, während die Nutzung der Simulation weder eine räumliche noch eine zeitliche Kontiguität zwischen realem Stromkreis und Modelldarstellung erlaubt. Die Verteilung der gemessenen extrinsischen Lasten in den Gruppen IG & MM, SIM & MM und AR & MM stützt diese Interpretation. Die Hypothesentests mit der aktuellen Stichprobengröße ergeben, dass weder die Art der Modelldarstellung ( $F(2, 123) = 1.665, p = .193, \eta^2 = .026$ ) noch die Art der Messwerterfassung ( $F(1, 96) = .464, p = .497, \eta^2 = .005$ ) einen signifikanten Einfluss auf die durchschnittliche extrinsische Last haben.

### **Ausblick**

Im Zeitraum November 2023 bis Februar 2024 werden weitere Daten in Schülerlabore erhoben. Dies ermöglicht eine Ausschärfung der berichteten Ergebnisse. Die in der Diskussion zu F2-H1 geführte Argumentationslinie wird mit den Daten zur zweiten Station (in dieser erfolgt die erstmalige Nutzung der Multimeter) untersucht. Im nächsten Auswertungsschritt soll in einem Strukturgleichungsmodell die Relationierung der Arten der kognitiven Last zum Konzeptwissenszuwachs (nach *Change-Regression-Modell*, siehe McArdle, 2009) erfolgen.

## Literatur

- Frank, F., Stolzenberger, C. & Trefzger, T. (2022). Augmented-Reality-Applikation zum Einsatz bei Schülerexperimenten im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I. PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2022
- Frank, F., Stolzenberger, C. & Trefzger, T. (2023). PUMA : Spannungslabor – Untersuchung der Lernwirksamkeit von AR. In H. van Vorst (Hrsg.), Lernen, Lehren und Forschen in einer digital geprägten Welt, Beiträge zur GDGP-Jahrestagung 2022
- Frank, F., Stolzenberger, C. & Trefzger, T. (akzeptiert). Schülerlaborstudie zum Einsatz von Augmented Reality in der Elektrizitätslehre – Studiendesign, Interventionsmaterial und vorläufige Ergebnisse zur Reduktion der Bearbeitungszeit durch AR. PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2023
- 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
- 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
- Kriegelstein, F.; Beege, M.; Rey, G. D.; Ginns, P.; Krell, M.; Schneider, S. (2022). A Systematic Meta-analysis of the Reliability and Validity of Subjective Cognitive Load Questionnaires in Experimental Multimedia Learning Research. *Educ Psychol Rev* 34, S. 2485–2541
- Mayer, R. (2014). Cognitive Theory of Multimedia Learning. In R. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, Second Edition. Cambridge University Press, New York, S. 43-71
- 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
- McArdle, J. J. (2009). Latent variable modeling of differences and changes with longitudinal data. *Annu. Rev. Psychol.* 2009, Vol. 60, S. 577-605
- Moreno, R. & Mayer, R. (2010). Techniques That Increase Generative Processing in Multimedia Learning: Open Questions for Cognitive Load Research. In J. L. Plass, R. Moreno & R. Brünken (Hrsg.), *Cognitive Load Theory*. Cambridge University Press, New York, S. 153-177
- Neumann, K. (2014). Rasch-Analyse naturwissenschaftsbezogener Leistungstests. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Springer Verlag, Berlin, S. 31-42
- Robitzsch, A.; Kiefer, T. & Wu, M. (2022). TAM: Test Analysis Modules. R package version 4.1-4, <https://CRAN.R-project.org/package=TAM>
- 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
- Sweller, J.; van Merriënboer, J. J. G.; Paas, F. (2019). Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. *Educational Psychology Review*, 31, S. 261 – 292

## 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.