

Digitale Medien im Physikunterricht

Unterschiede zwischen digitalen und analogen
Sektormodellen bzgl. Wissenserwerb, Motivation und
Cognitive Load – GDGP Tagung Herbst 2026

Stefan Grüne, Ute Kraus, Corvin Zahn

Institut für Physik
Universität Hildesheim



Abstract

In diesem Beitrag wird die erste von zwei Vergleichsstudien vorgestellt, die Effekte des Einsatzes digitaler Medien im Physikunterricht auf Wissenserwerb, Motivation und kognitive Belastung (Cognitive Load) untersucht. Die erste Studie konzentriert sich auf digitale Medien, die analoges Material rein ersetzen, während die zweite Studie den Fokus auf digitale Medien setzt, die durch potenziell lernförderliche Elemente angereichert sind, die analog nicht durchführbar wären. Der Gegenstand des Unterrichtsmaterials, an dem die Studien durchgeführt werden, ist eine kurze 90-minütige Einheit zum Krümmungsbegriff der Allgemeinen Relativitätstheorie (ART), in der konkret das Vorgehen zur Bestimmung der Krümmung an Sektormodellen nicht-euklidischer Flächen erlernt werden soll. Zur Klassifikation verschiedener Varianten des digitalen Materials wird eine nach Vorschlägen von Crompton & Burke (2020) und Bicalho et al (2023) modifizierte Version des SAMR-Modells genutzt, die hier aSAMR genannt wird. Studie 1 ist derzeit abgeschlossen und zeigt bzgl. Wissenserwerb und Motivation geringere Ausprägungen sowie höhere Ausprägungen im Cognitive Load in der digitalen Variante, wobei die Effekte überwiegend im mittleren Bereich liegen.

Sektormodelle

Sektormodelle bilden nicht-euklidische 2D-/3D-Räume, bzw. 1+1D-/2+1D-Raumzeiten maßstabsgetreu nach (Zahn & Kraus, 2014). Mit Hilfe dieser Sektormodelle können die geometrischen Eigenschaften des zugrundeliegenden Raums bzw. der zugrundeliegenden Raumzeit, wie bspw. die Krümmung untersucht werden, indem beispielsweise Dreiecke konstruiert und ihre Innenwinkelsumme bestimmt oder eine Parallelverschiebung eines Vektors durchgeführt wird. Der große Vorteil derartiger Zugänge ist, dass das Arbeiten mit Sektormodellen ganz ohne die Anwendung höherer Mathematik auskommt und lediglich geometrische Grundlagen aus der Mittelstufe voraussetzt. Durch die Entwicklung einer webbasierten Applikation namens vsmo für 2D-Räume und 1+1D-Raumzeiten erhalten Sektormodelle seit 2018 Einzug in digitale Medien für die Gestaltung von online zugänglichen Lernumgebungen zur Allgemeinen Relativitätstheorie (Weissenborn et al., 2024).

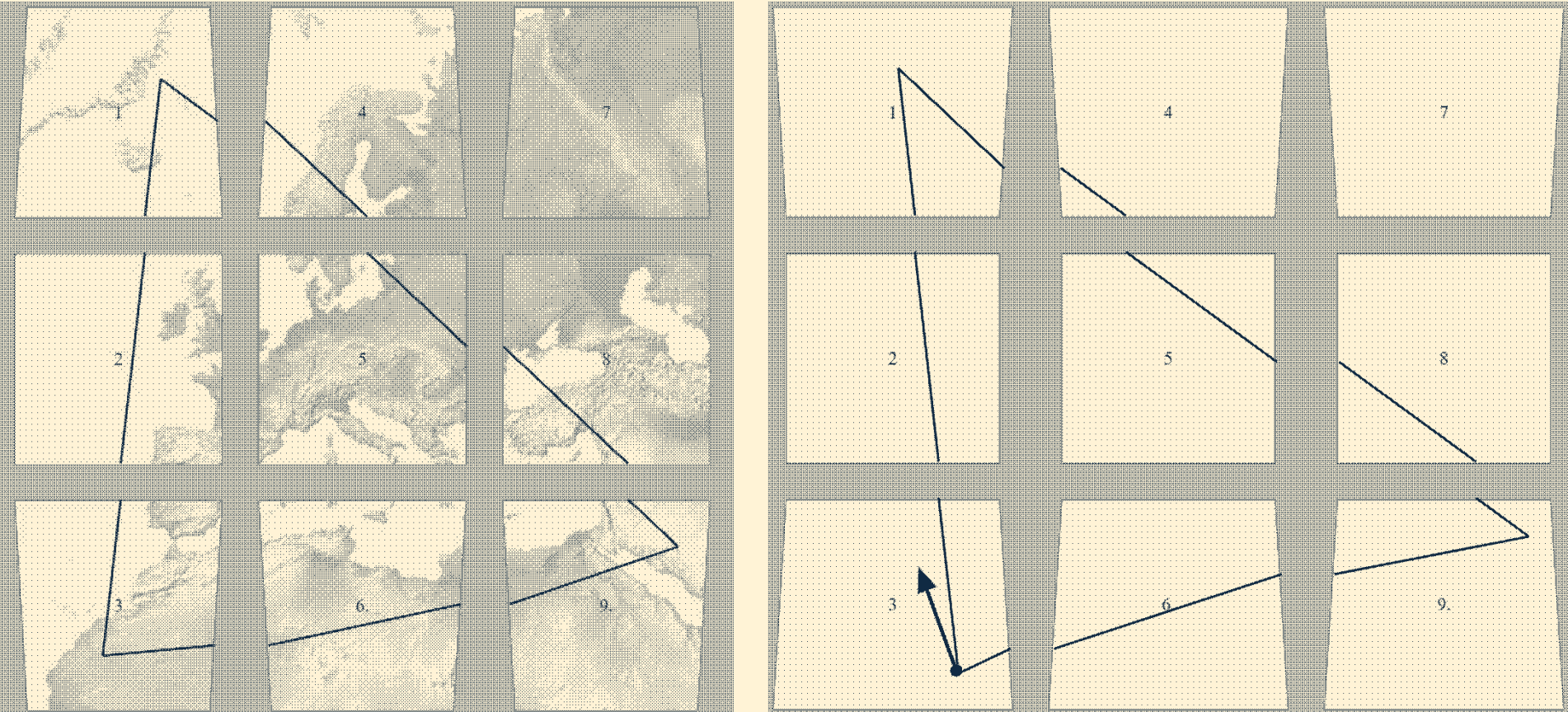


Abb. 1: Krümmungsbestimmung auf dem Sektormodell einer Kugel über die Innenwinkelsumme eines Dreiecks (links) und auf dem Sektormodell eines Sattels über eine Parallelverschiebung eines Vektors (rechts).

Theoretischer Rahmen - aSAMR

Diese Arbeit nutzt als theoretischen Rahmen das SAMR-Modell (Puentedura, 2014) mit Erweiterungen nach Crompton & Burke (2020) und Bicalho et al (2023), da SAMR an sich als in der Forschung nicht praktikabel gilt (Hamilton et al, 2016). Diese erweiterte Form wird im Rahmen dieser Arbeit als advanced SAMR (aSAMR) bezeichnet. Aufgrund unklarer Zuordnungskriterien von digitalen Medien im Unterricht zu den SAMR-Stufen Augmentation und Modification, ersetzt in aSAMR die Enhancement-Stufe die oben genannten Stufen, sodass ein 3-stufiges Modell entsteht (Bicalho et al, 2023).

Darüber hinaus wird der Vorschlag von Crompton & Burke (2020) umgesetzt, klare Unterscheidungen zwischen Lernprozessen und Lernprodukten einzuführen, sodass beim Einsatz digitaler Medien im Unterricht klar definiert wird, ob die eingesetzten Technologien die Lernprozesse und/oder die Lernprodukte insoweit verändern, wie es analog nicht sinnvoll durchführbar wäre. Damit lassen sich klare Zuordnungskriterien festlegen, die nach Crompton & Burke (2020) abgeleitet der folgenden Heuristik entsprechen: Werden weder Prozesse noch Produkte durch digitale Technologien so verändert, wie es analog nicht denkbar wäre, wird der Einsatz der Substitution-Stufe zugeordnet. Wenn dies auf entweder Produkte oder Prozesse zutrifft, wird von Enhancement gesprochen. Werden sowohl Prozesse als auch Produkte über analoge Möglichkeiten hinaus verändert, wird die Redefinition-Stufe erreicht.

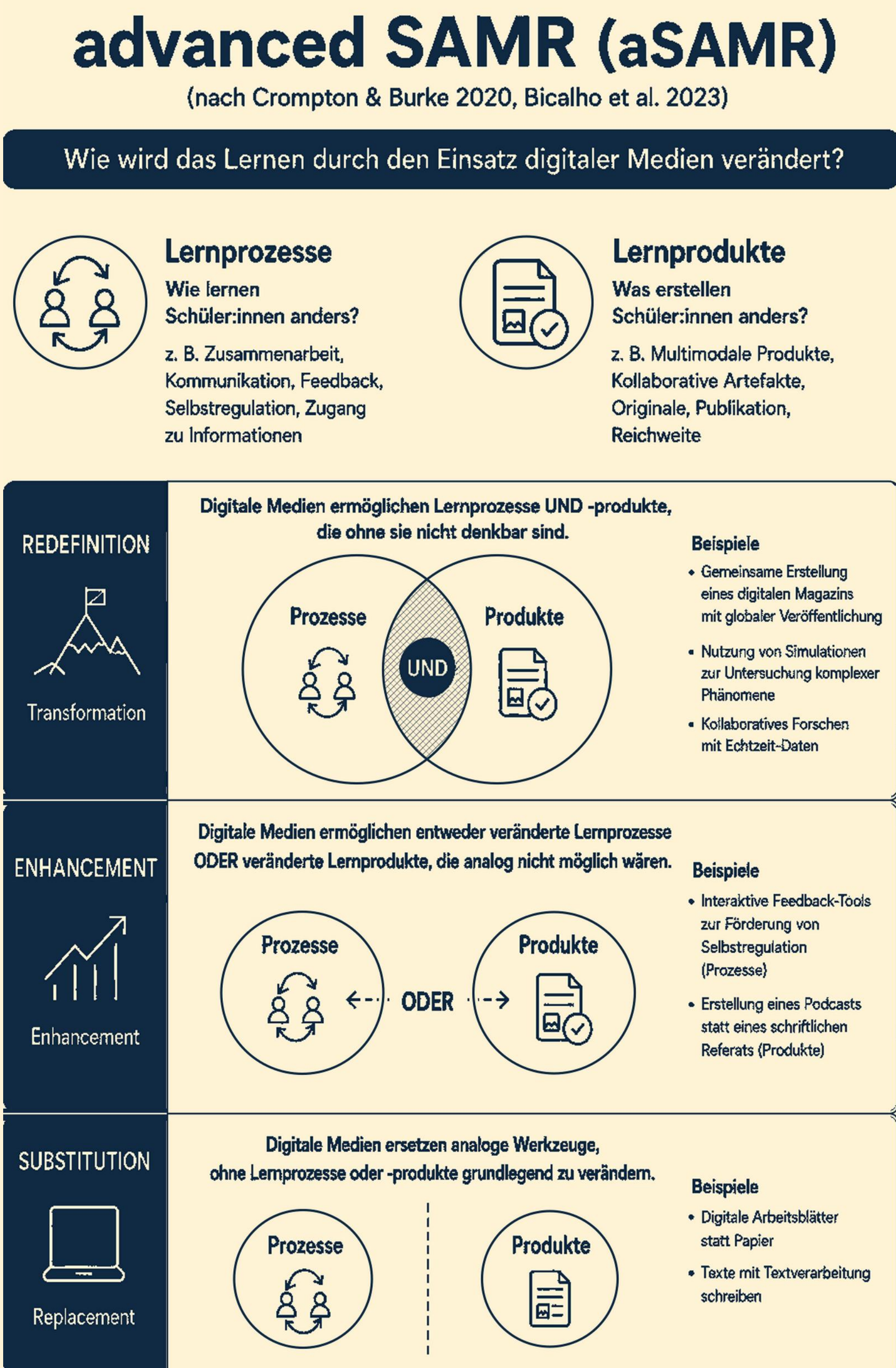


Abb. 2: SAMR (Puentedura, 2014) mod. nach Crompton & Burke (2020) und Bicalho et al (2023) → aSAMR.

Methodik

Die durchgeführte Studie wurde als between-subject-Design angelegt, in der Lerngruppen der Jahrgangsstufen 11 – 13 am Gymnasium im Feld erhoben und zu Beginn zufällig in 2 Gruppen geteilt wurden. Eine Gruppe führte die 90-minütige Lerneinheit zu Krümmung analog mit Papiermodellen durch, die andere digital mit vsmo. In dieser Untersuchung wurde die digitale Variante auf dem Substitution-Niveau nach aSAMR gehalten. Eine baugleiche Vergleichsstudie mit digitalem Treatment auf Enhancement-Niveau ist zurzeit im Gange. Zuvor wird im Prätest das Vorwissen aus dem Bereich Geometrie erhoben, im direkten Anschluss wird im Nachtest der Cognitive Load auf 4-stufigen Likert-Skalen, die physikalisch-spezifische Motivation auf 4-stufigen Likert-Skalen sowie der Wissenserwerb zu den Inhalten der Lerneinheit erhoben. Die Ergebnisse der Reliabilitätsanalysen sowie die Itemzahlen sind in Tab. 1 dargestellt.

Skala	ggf. Subskalen	Items	Cronbachs α
Vorwissen		8	.38
Cognitive Load	Intrinsic CL	2	.77
	Extraneous CL	3	.70
Motivation	Erfolgserswartung	4	.89
	Nutzen	3	.76
	Wichtigkeit	4	.87
	Interesse	5	.84
Wissenserwerb		8	.60

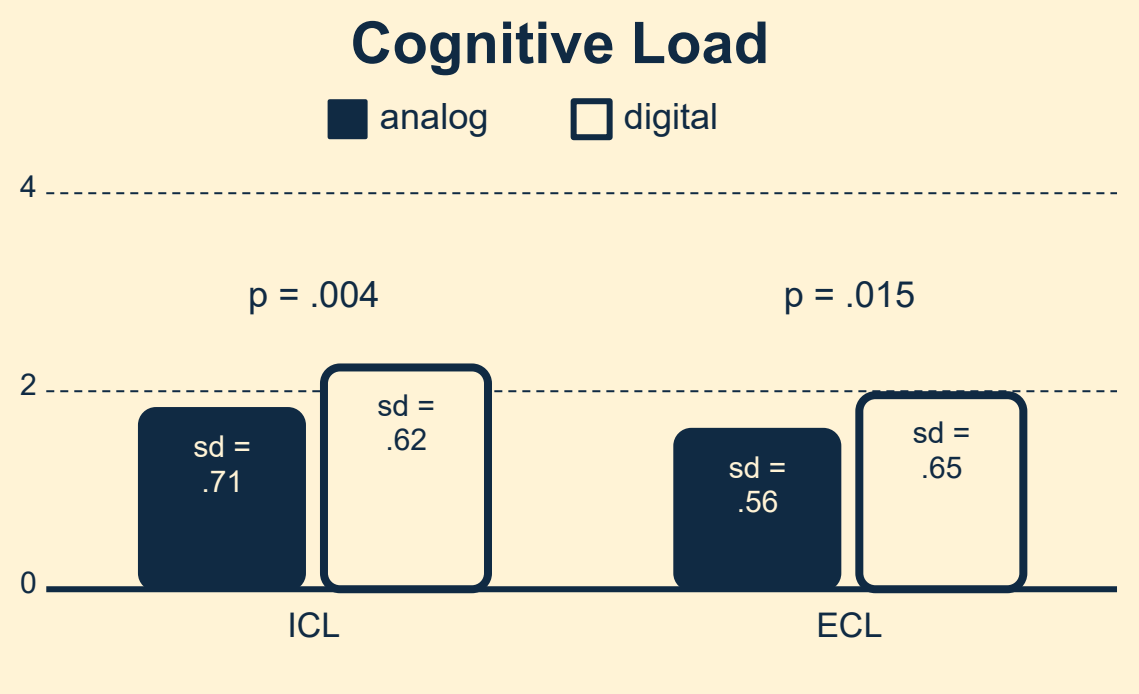
Tab. 1: Interne Konsistenz der verwendeten Skalen in Prä- und Posttest.

Ergebnisse

In die Untersuchung sind insgesamt 75 Lernende aus 5 Lerngruppen eingegangen. Zunächst wurden auf nicht-parametrischem Weg über Mann-Whitney-U-Tests beide Gruppen in allen erhobenen Konstrukten verglichen mit unten genannten Resultaten. Angegeben werden je der Skalenmittelwert m , die Anzahl der eingegangenen Datenpunkte n , die Signifikanz p sowie der Pearson-Korrelationskoeffizient r .

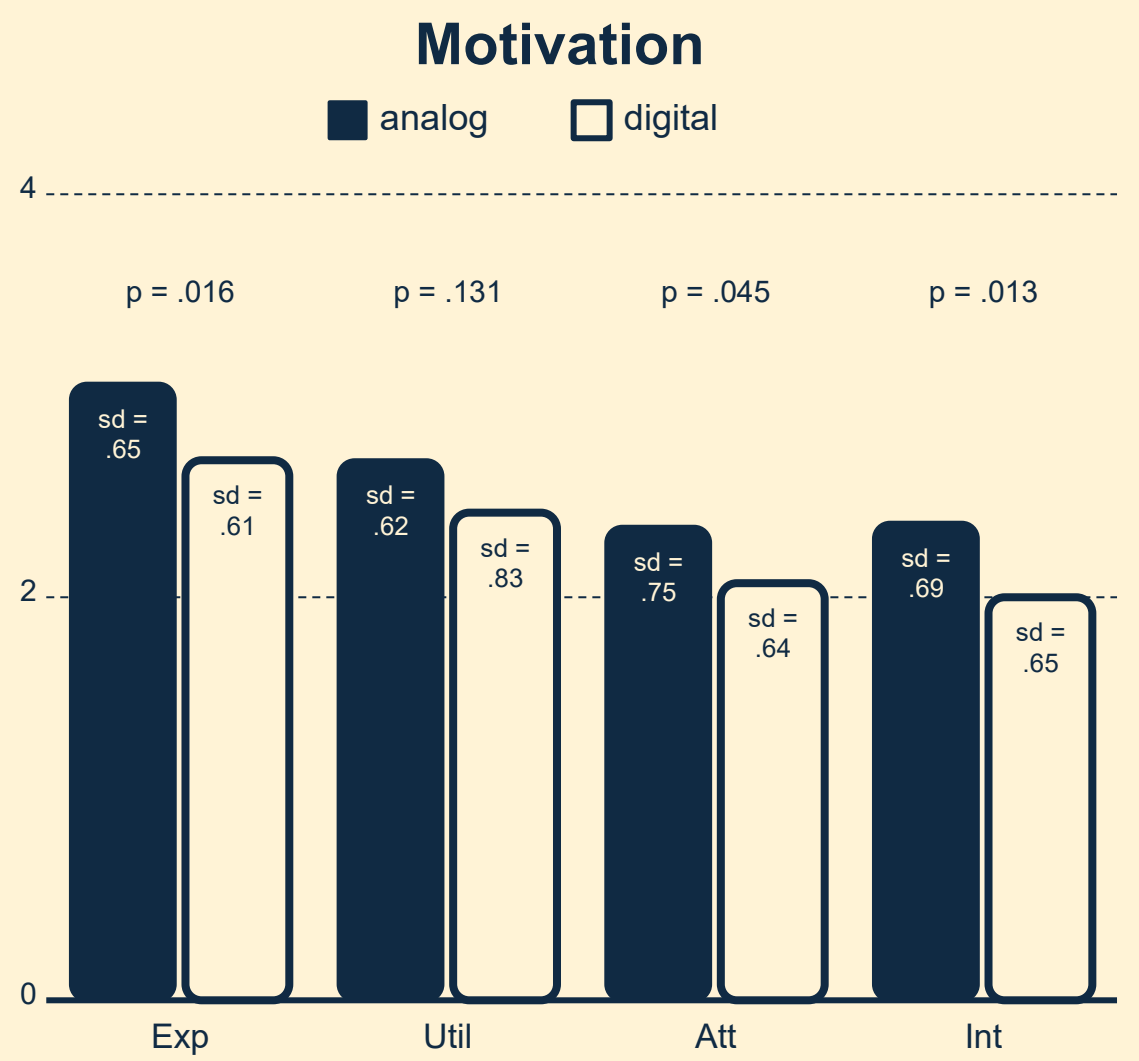
Cognitive Load (CL)

Im intrinsic CL zeigt die digitale Gruppe ($m = 2.24$, $n = 35$) signifikant höhere Werte als in der analogen Kontrollgruppe ($m = 1.82$, $n = 38$), $p = .004$, $r = .34$. Ähnliches zeigt sich im Vergleich beim extraneous CL. Hier liegt die digitale Gruppe ($m = 1.96$, $n = 35$) ebenfalls signifikant über der analogen Gruppe ($m = 1.61$, $n = 38$), $p = .015$, $r = .29$.



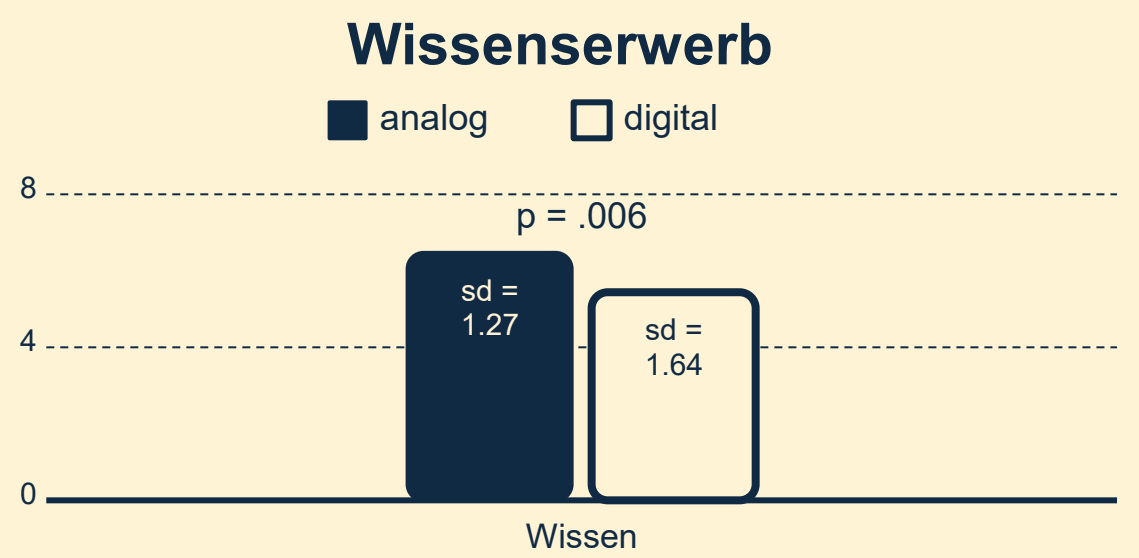
Motivation

Im Nachtest zeigt die analoge Gruppe ($m = 3.06$, $n = 38$) eine signifikant höhere Erfolgserswartung (Exp) als die digitale Gruppe ($m = 2.68$, $n = 34$), $p = .016$, $r = .29$. Die analoge Gruppe schätzt sich auch bzgl. Wichtigkeit (Att) ($m = 2.35$, $n = 38$) signifikant höher ein als die digitale Gruppe ($m = 2.07$, $n = 34$), $p = .045$, $r = .24$. Ebenfalls gibt die analoge Gruppe bzgl. Interesse (Int) ($m = 2.37$, $n = 38$) nach der Lerneinheit eine signifikant höhere Einschätzung ab als die digitale Gruppe ($m = 2.00$, $n = 34$), $p = .013$, $r = .29$. Auf der Nutzen-Skala (Util) liegt die analoge Gruppe ($m = 2.68$, $n = 38$) zwar auch über der digitalen Gruppe ($m = 2.42$, $n = 34$), jedoch nicht signifikant, $p = .131$, $r = .18$.



Wissenserwerb

Die analoge Gruppe ($m = 6.47$, $n = 38$) zeigt nach der Lerneinheit einen signifikant höheren Wissenserwerb zum Thema Krümmung in der ART verglichen mit der digitalen Experimentalgruppe ($m = 5.44$, $n = 34$), $p = .006$, $r = .32$.



Es zeigt sich insgesamt ein konsistentes Bild, in dem die digitale Gruppe mit größeren Schwierigkeiten (Cognitive Load), geringer ausgeprägtem Wissenszuwachs und niedrigerer Motivation konfrontiert ist verglichen mit der analogen Kontrollgruppe. Die Effektstärken liegen dabei auf der Schwelle zwischen kleinem und mittlerem Bereich. Die jeweils rechts stehenden Diagramme zeigen die Ergebnisse übersichtlich mit zusätzlichen Angaben zur empirischen Standardabweichung (sd).

Um unterschiedliche Ausprägungen im geometrischen Vorwissen zu kontrollieren, wurden o.g. Messungen ebenfalls im Rahmen einer Kovarianzanalyse durchgeführt. Der Effekt im Wissenserwerb lässt sich durch Kontrolle des Vorwissens reproduzieren mit $F(1, 68) = 7.713$, $p = .007$, $\eta^2 = .102$. Dies gilt genauso für den Cognitive Load: $F(1, 69) = 7.279$, $p = .009$, $\eta^2 = .095$. Der Effekt auf die Motivation fällt etwas kleiner aus: $F(1, 68) = 4.310$, $p = .042$, $\eta^2 = .060$. Zur Dimensionsreduktion wurden die Skalen für Cognitive Load und Motivation über eine Faktorenanalyse vereinheitlicht.

Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse lassen vermuten, dass das Ersetzen analoger Materialien durch digitale Technologien ohne explizite Enhancement- bzw. Redefinition-Aspekte insbesondere im Rahmen von Modellarbeit zu negativen Effekten auf Lernerfolg, Motivation und Cognitive Load bei den Lernenden führt. Inwieweit diese Effekte durch Enhancement egalisiert oder sogar umgekehrt werden können, ist Gegenstand der aktuell laufenden Studie.

Literatur

Bicalho, R., Coll, C., Engel, A., & Santos Lopes de Oliveira. (2023). Integration of ICTs in teaching practices: Propositions the SAMR model. Education Tech Research Dev, 71, 563–578.
Crompton, H., & Burke, D. (2020). Mobile learning and pedagogical opportunities: A configurative systematic review of PreK-12 research using the SAMR framework. Computers & Education, 156(103945).
Hamilton, E. R., Rosenberg, J. M., & Akcaoglu, M. (2016). The Substitution Augmentation Modification Redefinition (SAMR) Model: A Critical Review and Suggestions for its Use. 3(60), 433–441.
Puentedura, R. R. (2014). SAMR and TPCK: A hands-on approach to classroom practice. Hipassus.
Weissenborn, S., Kraus, U., & Zahn, C. (2024). V-SeMo: a digital learning environment for teaching general relativity with sector models. arXiv preprint arXiv:2406.02324.
Zahn, C., & Kraus, U. (2014). Sector models—A toolkit for teaching general relativity: I. Curved spaces and spacetimes. European Journal of Physics, 35(5), 055020.