

Paul Schlummer¹
Stefan Heusler¹
Daniel Laumann¹

¹Universität Münster

Kontiguität im Kontext handlungsorientierter Lernumgebungen Ergebnisse einer Vergleichsstudie

Hintergrund

Ein wesentlicher Bestandteil der Naturwissenschaften ist es, komplexe Abläufe der Natur in Form von Modellen zu repräsentieren, um anhand dieser Phänomene beschreiben und vorhersagen zu können. Lernprozesse in den naturwissenschaftlichen Fächern sind daher ebenfalls in besonderem Maße an den Umgang mit verschiedenen Repräsentationen geknüpft, die verschiedene Funktionen erfüllen können (Daniel et al., 2018). Es liegt daher nahe, dass für eine theoriebasierte effektive Gestaltung von Lehr/Lernprozessen in den naturwissenschaftlichen Fächern auch Theorien des Lernens mit multiplen Repräsentationen eine Rolle spielen.

Eine bekannte Konzeption, die die kognitiven Prozesse beim Lernen mit multiplen Repräsentationen in den Blick nimmt, ist die *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (CTML, Mayer, 2002). Diese Theorie leitet auf Grundlage der *Dual Coding Theory* (Paivio, 1971) und der Theorie des *Cognitive Load* (Sweller, 1998) grundlegende Designprinzipien ab, die dazu dienen sollen, die kognitive Verarbeitung der Inhalte zu optimieren und unnötige kognitive Belastungen zu vermeiden. Eines dieser grundlegenden Prinzipien ist das sogenannte Kontiguitätsprinzip, in dem die Empfehlung aufgestellt wird, zusammengehörige Repräsentationen in zeitlicher und räumlicher Nähe zueinander anzuordnen, damit weniger mentale Ressourcen zum Inbezugsetzen der Inhalte aufgewendet werden müssen (Mayer & Fiorella, 2014).

Insbesondere das räumliche Kontiguitätsprinzip ist in diversen Studien untersucht und in Metaanalysen zusammengefasst worden, die einen mittleren bis starken Effekt auf Lernerfolg und kognitive Belastung nahelegen (z. B. Ginns, 2006; Schroeder & Cenkci, 2018). Die in besagten Studien betrachteten Repräsentationsformen umfassen zumeist gesprochenen oder geschriebenen Text (verbale Repräsentationen) und bildhafte Darstellungen verschiedener Abstraktionsgrade – es werden also primär die visuellen und auditiven Sinnesmodalitäten betrachtet. Der Vergleich mit den im naturwissenschaftlichen Unterricht zur Verfügung stehenden Repräsentationen zeigt jedoch, dass diese Fokussierung einen bedeutenden Teil der Repräsentationsformen außer Acht lässt, die in den Naturwissenschaften ganz selbstverständlich genutzt werden. Ein wichtiges Beispiel ist die Repräsentationsform „Experiment“, die nicht nur weitere Sinnesmodalitäten wie den Tastsinn und die Propriozeption anspricht, sondern auch eine inhärent interaktive Komponente besitzt und darüber hinaus eine wichtige Funktion in der Strukturierung von weiteren Repräsentationsformen übernimmt (etwa die Darstellung von Messdaten). Es erscheint daher sinnvoll, die Anwendbarkeit der bestehenden Gestaltungsprinzipien auch im Kontext von handlungsorientierten Lernumgebungen mit Einbezug von Experimenten zu prüfen.

Entwicklungsziel und Forschungsfragen

Zur Untersuchung eines erweiterten räumlichen Kontiguitätsprinzips wurde eine multimediale Lernumgebung zum Themenbereich *Polarisation von Licht* konzipiert und unter Nutzung von Augmented-Reality (AR-)Technik (Microsoft HoloLens 2) umgesetzt. Die AR-Technik ermöglicht die interaktive Verknüpfung zwischen experimentellen Handlungen und zusätzlichen Visualisierungen, sowie die Variation der räumlichen Kontiguität zwischen dem Experiment und den anderen Repräsentationsformen (Abb. 1).

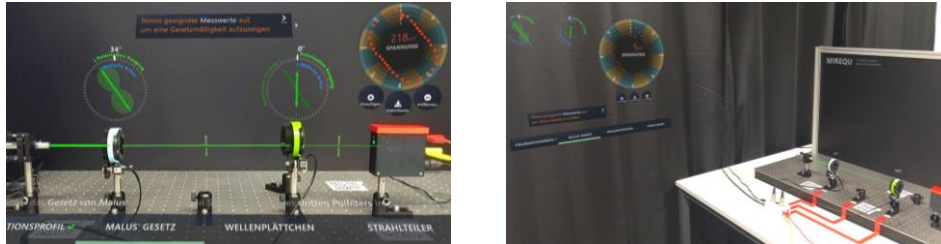


Abbildung 1: Blick durch die AR-Brille in den Versuchsbedingungen bei hoher Kontiguität (links) und geringer Kontiguität (rechts).

Das etablierte räumliche Kontiguitätsprinzip wird in der CTML mit der einhergehenden Reduktion unnötiger kognitiver Belastung durch Suchprozesse begründet. Auf Grundlage dieser Argumentation lassen sich folgende Forschungsfragen formulieren:

- Inwiefern beeinflusst der Grad an räumlicher Kontiguität zwischen dem Experiment und den zusätzlichen Repräsentationen die während experimenteller Aufgaben erfahrene kognitive Belastung?
- Inwiefern beeinflusst der Grad an räumlicher Kontiguität zwischen dem Experiment und den zusätzlichen Repräsentationen den Lernerfolg beim Bearbeiten experimenteller Aufgaben?

Außerdem sind aus der Forschung zur kognitiven Belastung und zur CTML diverse Effekte im Zusammenhang mit dem Grad an Expertise der Lernenden bekannt (z. B. der *Expertise Reversal Effekt*, Kalyuga et al., 2003). Daher lautet eine ergänzende Forschungsfrage:

- Inwiefern hängt die wahrgenommene kognitive Belastung neben dem Grad an räumlicher Kontiguität auch mit weiteren Faktoren wie z. B. Fähigkeitsniveau zusammen?

Forschungsdesign & Stichprobe

Die Erhebung wurde als Vergleichsstudie im Pre/Post-Design angelegt und im Rahmen des Anfängerpraktikums Physik an der WWU Münster durchgeführt. Insgesamt nahmen $N=88$ Studierende an der Erhebung teil, die meisten davon (78) befanden sich im vierten Fachsemester. Die Stichprobe umfasst Studierende im Ein-Fach-Bachelor Physik, im Ein-Fach-Bachelor Geophysik, sowie im Zwei-Fach Bachelor Physik (Lehramt).

Die Teilnehmenden wurden zufällig einer Versuchsbedingung zugeteilt. Der Vortest umfasste einen Online-Fragebogen mit Items zum deklarativen Wissen bezogen auf Polarisation, sowie zu weiteren Konstrukten, die als potentielle Kovariaten in Bezug auf den Lernerfolg angesehen wurden (z.B. räumliches Vorstellungsvermögen, Selbstwirksamkeit und Technikaffinität). Außerdem wurden die Noten der Studierenden in den letzten drei

theoretischen Klausuren und Praktikumsprotokollen als Schätzer für die theoretischen und experimentellen Fähigkeiten der Teilnehmenden erhoben

Nach einer technischen Einführung und Absolvierung eines kurzen Trainingsprogramms zum Einüben der Bedienung der AR führten die Studierenden selbstständig die AR-Experimente durch und nahmen Messdaten auf. Jeder der vier Aufgabenteile beinhaltete dabei einen höheren Komplexitätsgrad als der vorherige. Nach Beendigung jedes Versuchsteils wurde die wahrgenommene kognitive Belastung mittels Selbsteinschätzung erhoben (Klepsch, Schmitz & Seufert, 2017). Nach Beendigung aller Aufgaben schloss sich der Posttest mit Items zur Reproduktion von deklarativem Wissen und zum Wissenstransfer an.

Erste Ergebnisse

Zunächst wurden die beiden Versuchsgruppen auf Unterschiede in Hinblick auf die im Vortest erhobenen Konstrukte untersucht. Zwei-Stichproben t-tests ergaben keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsbedingungen, sodass von einer hinreichend randomisierten Gruppenverteilung ausgegangen werden kann.

Erste Gruppenvergleiche zwischen den Versuchsbedingungen nach der Intervention ergaben einen signifikanten Unterschied bei der Reproduktion von deklarativem Wissen. Die Gruppe mit hoher Kontiguität schneidet hier besser ab ($p = .017$, Cohen's $d = 0.42$). Bei den Aufgaben zum Wissenstransfer lässt sich kein signifikanter Unterschied feststellen ($p = .09$).

Der Blick auf die wahrgenommene kognitive Belastung zeigt einen leichten Anstieg der intrinsischen und extrinsischen Belastung für beide Gruppen über die vier Versuchsteile hinweg, wobei die lernwirksame Belastung annähernd gleichbleibt. Dies deutet darauf hin, dass die Komplexität der Aufgaben wie intendiert mit jedem Aufgabenteil zunimmt. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppenbedingungen ist nur für den letzten Versuchsteil festzustellen: Bei der Gruppe mit geringer Kontiguität liegt die wahrgenommene Belastung hier höher ($p = .022$, Cohen's $d = 0.43$). Für den komplexesten Versuchsteil deckt sich dieser Befund mit den Erwartungen auf Grundlage bisheriger Studien, während in den ersten drei Versuchsteilen eine insgesamt eher geringe Gesamtbelastung festzustellen ist. Der kombinierte Vergleich der kognitiven Belastung nach Fähigkeitsniveau und Gruppenzugehörigkeit zeigt, dass sich insbesondere in der Gruppe der experimentell eher schwachen Studierenden je nach Versuchsbedingung Unterschiede in der wahrgenommenen extrinsischen Belastung ergeben ($p = .005$, Cohen's $d = 0.93$).

Fazit & Ausblick

Ergebnisse aus bisherigen Studien zur räumlichen Kontiguität lassen sich mit Blick auf den vierten Versuchsteil anhand der ersten Analysen auch unter Einbezug weiterer Repräsentationsformen reproduzieren. Für die drei weiteren Versuchsteile sind jedoch nur geringe Differenzen in der wahrgenommenen kognitiven Belastung erkennbar. Dies deutet möglicherweise auf eine zu geringe Komplexität der Experimente hin, sodass die zusätzliche kognitive Belastung kein Problem für die Lernenden darstellte (Altemeyer et al., 2020). Deshalb sollten in Zukunft weitere Studien mit anspruchsvolleren Inhalten durchgeführt werden. Eine sich anschließende differenziertere Analyse der erhobenen Daten soll zudem spezifischere Aussagen zu bestimmten Untergruppen von Probanden ermöglichen und so Anknüpfungspunkte für Folgestudien offenlegen.

Literatur

- Altemeyer, K., Kapp, S., Thees, M., Malone, S., Kuhn, J. & Brünken, R. (2020). The use of augmented reality to foster conceptual knowledge acquisition in STEM laboratory courses – theoretical background and empirical results. *British Journal of Educational Technology* 51(3), 611-628.
- Daniel, K. L., Bucklin, C. J., Austin Leone, E. & Idema, J. (2018). Towards a definition of representational competence. In K. Daniel (Hg.), *Towards a Framework for Representational Competence in Science Education. Models and Modelling in Science Education* Bd. 11, Cham: Springer, 3-11.
- Ginns, P. (2006). Integrating information: A meta-analysis of the spatial contiguity and temporal contiguity effects. *Learning and Instruction* 16(6), 511-525.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P. & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist* 38(1), 23-31.
- Klepsch, M., Schmitz, F. & Deufert, T. (2017). Development and validation of two instruments measuring intrinsic, extraneous and germane cognitive load. *Frontiers in Psychology* 8, 1997.
- Mayer, R. E. (2002). Multimedia learning. In B. H. Ross (Hg.), *Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory*, Bd. 41, Amsterdam: Elsevier, 284-293.
- Mayer, R. E. & Fiorella, L. (2014). Principles for reducing extraneous processing in multimedia learning: Coherence, signaling, redundancy, spatial contiguity and temporal contiguity principles. In R. E. Mayer (Hg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, Cambridge: Cambridge University Press, 279-315.
- Paivio, R. (1971). *Imagery and Verbal Processes*. New York: Holt, Taylor & Winston.
- Sweller, J. (1998). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science* 12(2), 257-285.
- Schroeder, N. L. & Cenkci, A. T. (2018). Spatial contiguity and spatial split-attention effects in multimedia learning environments: A meta-analysis. *Educational Psychology Review* 30(3), 79-701.