

Einflüsse räumlicher Kontiguität auf das Lernen mit multiplen Repräsentationen in einem Experiment zu optischer Polarisisation

Hintergrund & Forschungsstand

Multiple externe Repräsentationen (MER) sind für die Physik als abstrakte Wissenschaft charakteristisch, da in theoretischer (z. B. Konzepte, Formeln) und empirischer (z. B. Messdiagramme, reale Experimente) Auseinandersetzung viele Perspektiven für eine umfassende Beschreibung physikalischer Phänomene benötigt werden (Treagust et al., 2017). Die Erweiterung des Repräsentationsbegriffs auf reale manipulierbare Objekte (Rau, 2020; Ainsworth, 2021) wie z. B. physikalische Experimente und ihre Komponenten verstärkt die ohnehin schon große Bedeutung von MER für das naturwissenschaftliche Lernen.

Welche Funktionen MER in Lernprozessen erfüllen, beschreibt das „*Design, Functions, Tasks*“-Modell (DeFT; Ainsworth, 2006). Auf welche Weise Lernumgebungen mit MER lernwirksam gestaltet werden können, lässt sich aus den etablierten lernpsychologischen Theorien der *Cognitive-Affective Theory of Multimedia Learning* (CATML; Moreno & Mayer, 2007) und der *Cognitive Load Theory* (CLT; Sweller et al., 2011) ableiten. DeFT beschreibt verschiedene Funktionsweisen, u. a. das aktive Verknüpfen von MER zur Wissenskonstruktion. Es liegen Erkenntnisse vor, dass der sinnvoll konzipierte Einsatz von MER zu gesteigertem Lernerfolg führen kann, u. a. durch eine reduzierte kognitive Belastung (Hedges' $g = 0.32$; Rexigel et al., 2024). Die CATML beschreibt kognitiv lernrelevante Vorgänge der Aufnahme, Organisation und Integration von Informationen unter Berücksichtigung einer beschränkten Arbeitsgedächtniskapazität im Sinne der CLT (vgl. Sweller et al., 2011). Aus diesen Theorien lassen sich für die effektive Gestaltung einer Lernumgebung Designprinzipien ableiten. Ein bekanntes Designprinzip ist das *Prinzip räumlicher Kontiguität* (vgl. *split-attention principle* in CLT). Es besagt, dass aufeinander beziehbare Informationen leichter verknüpft werden können, wenn sie nicht räumlich getrennt, sondern in räumlicher Nähe präsentiert werden. Die positive Wirkung dieses Prinzips auf den Lernerfolg ist vor allem für traditionelle Text-Bild-Kombinationen empirisch nachgewiesen (Hedges' $g = 0.63$; Schroeder & Cenkcı, 2018).

Um den vorteilhaften Kontiguitätseffekt dieses Prinzips für ein reales (räumliches 3D-) Experiment und ergänzende lernförderliche Visualisierungen nutzbar zu machen, erscheint u. a. Augmented Reality (AR) als möglicher Ansatz. Die bisherige Studienlage zur wirksamen Integration von physischen und visuellen Repräsentationen durch räumliche Kontiguität in eine multimediale Lernumgebung ist jedoch unzureichend, da bis auf wenige Ausnahmen für eine Umsetzung mit AR (Krüger & Bodemer, 2022; Schlummer, 2024) keine systematische empirische Evidenz vorliegt.

Schlummer (2024) nutzte in seiner Vergleichsstudie eine AR-Lernumgebung für die Integration von visuellen Repräsentationen in ein physikalisches Experiment zu optischer Polarisisation unter Berücksichtigung räumlicher Kontiguität. Es zeigte sich für die gewählte Stichprobe von Physik-Studierenden im vierten Fachsemester bzgl. des Fachwissens kein Unterschied zwischen den Gruppen hoher bzw. geringer räumlicher Kontiguität. Ayres und Sweller (2021) nennen als Hemmnisse für einen räumlichen Kontiguitätseffekt fehlende logische Kohärenz

der MER, alternative Lehr-/Lernstrategien oder fehlende inhaltliche Komplexität des Materials (vgl. *element interactivity*; Sweller et al., 2011; Chen et al., 2023). Mit Blick auf die Studie von Schlummer (2024) könnte die intendierte inhaltliche Komplexität der Repräsentationen in der Wahrnehmung der Lernenden als zu gering erachtet werden. Laut Chen et al. (2023) kann die *intrinsische kognitive Belastung* (ICL; Sweller et al., 2011) als ein Maß für die individuelle Wahrnehmung der Komplexität aufgefasst werden, die jedoch nur in wenigen Studien gemessen wurde (Schroeder & Cenkci (2018). Vor diesem Hintergrund könnte es aufschlussreich sein, unterschiedlich komplexe Inhalte als mögliche Einflussgröße auf die räumliche Kontiguität zu berücksichtigen.

Zielsetzung, Forschungsfragen & Methode

In der hier vorliegenden Studie soll untersucht werden, ob sich ein räumlicher Kontiguitätseffekt im Fachwissenserwerb ausbildet und inwiefern zunehmende inhaltliche Komplexität diesen Effekt beeinflussen kann.

Das Studiendesign folgt einem experimentellen Vergleich einer Experimentierumgebung mit hoher bzw. geringer räumlicher Kontiguität externer Repräsentationen. Zu diesem Zweck wurde die von Schlummer et al. (2023) entwickelte AR-Lernumgebung eingesetzt, welche ein Experiment zu optischer Polarisierung um weitere Repräsentationen (z. B. Polarisationsvektor, Messdiagramm) ergänzte, während übliche experimentelle Handlungen an Komponenten vorgenommen werden konnten. Die Kontiguitätsbedingungen wurden durch eine räumliche Anordnung realisiert, in der die visuellen Repräsentationen entweder direkt über den jeweiligen realen optischen Komponenten (hohe räumliche Kontiguität) oder gesammelt auf einem Panel seitlich neben dem Versuchsaufbau (geringe räumliche Kontiguität) virtuell eingeblendet wurden. Die AR-Lernumgebung umfasste vier aufeinanderfolgende Aufgaben, in welchen jeweils durch Hinzunahme weiterer optischer Komponenten die inhaltliche Komplexität sowohl experimentell als auch fachlich stieg (vgl. *element interactivity*; Sweller et al., 2011). Die erste Aufgabe wurde als technisches Briefing genutzt. Der Fachwissenserwerb wurde mit einem Konzepttest (16 Items in MC; Eigenentwicklung) vor und nach der Experimentierphase erhoben und durch Hake's g normalisiert (Hake, 1998). Die Items waren so gestaltet, dass eine inhaltliche Zuordnung zu den drei Aufgaben möglich ist (A2 „Malus' Gesetz“, 6 Items; A3 „Wellenplatte“, 6 Items; A4 „Strahlteiler“, 4 Items). Der ICL wurde jeweils unmittelbar nach der Bearbeitung einer Aufgabe durch Selbstauskunft erhoben (2 Items, 7-stufige Likert-Items; Klepsch et al., 2017). Die Stichprobe umfasste insgesamt $N = 111$ Studierende, welche das Experiment freiwillig im Rahmen ihres Nebenfachpraktikums Physik ($N = 79$) der Studiengänge Biologie, Pharmazie und Landschaftsökologie im ersten Fachsemester oder ihres Grundpraktikums ($N = 32$) der Studiengänge Physik, Geophysik und Lehramt Physik im vierten Fachsemester durchgeführt haben. Auf die beiden Bedingungen entfielen randomisiert $N = 59$ Lernende in hoher und $N = 52$ in geringer räumlicher Kontiguität.

Ergebnisse & Diskussion

Die Analysen zum Fachwissenserwerb (einfaktorielle ANOVA) insgesamt wiesen einen signifikanten Effekt räumlicher Kontiguität aus ($F(1, 109) = 4.13, p = .044$, Hedges' $g = 0.40$)¹. Lernende in der Gruppe mit hoher räumlicher Kontiguität erzielten einen höheren Fachwissenserwerb ($M = 0.15, SD = 0.23$) als die Gruppe in geringer räumlicher Kontiguität ($M = 0.04, SD = 0.29$). Dieses Ergebnis steht in Kontrast zur Studie von Schlummer (2024)

¹ Für den direkten Vergleich mit Meta-Analysen sind manche Effektstärken in Hedges' g ausgegeben.

und kann als Indiz für die Notwendigkeit der Untersuchung limitierender Faktoren des räumlichen Kontiguitätseffekts gedeutet werden. Der hier gefundene Vorteil bleibt allerdings hinter den höheren Effektstärken für traditionelle Text-Bild-Kombinationen zurück (Hedges' $g = 0.63$; Schroeder & Cenkci, 2018).

Die Analysen zum ICL beider Gruppen (mixed ANOVA; UV: *Kontiguität* und *Aufgabe*) bieten weiterführende Einsichten in die Bedeutung der inhaltlichen Komplexität. Als Haupteffekt der *Kontiguität* zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ($F(1, 109) = 0.89, p = .348, \eta_p^2 = .01$). Dies entsprach den Erwartungen, weil die inhaltliche Komplexität unabhängig von der räumlichen Kontiguität externer Repräsentationen sein sollte. Es zeigt sich jedoch ein signifikanter Haupteffekt der *Aufgabe* ($F(2, 218) = 12.67, p < .001, \eta_p^2 = .10$). Post-hoc Vergleiche mit Bonferroni-Korrektur legten dar, dass der ICL sowohl von erster zu letzter Aufgabe signifikant erhöht war ($p < .001, d = -0.45$), als auch von mittlerer zu letzter Aufgabe ($p < .01, d = -0.29$). Von erster zu mittlerer Aufgabe war keine Erhöhung signifikant ($p = .176, d = -0.18$). Insgesamt erscheint es mit zunehmender Komplexität der Inhalte einen erhöhten ICL zu geben, so dass die sequenziellen Aufgaben graduell steigenden Komplexitätsstufen zugeordnet werden können. Dies stellt eine substantielle Neuerung gegenüber bisherigen Studien zur Wirksamkeit räumlicher Kontiguität dar (Schroeder & Cenkci, 2018).

Die Analysen zum Fachwissenserwerb in den einzelnen Aufgaben werden in Form dreier separater einfaktorieller ANOVAs durchgeführt, da die Aufgaben mit der jeweils hinzugefügten neuen optischen Komponente unterschiedliche fachliche Aspekte und Lernziele adressieren. Obwohl keine signifikante Interaktion *Kontiguität* $\times$ *Aufgabe* gefunden wurde ($F(2, 218) = 0.87, p = .421, \eta_p^2 = .01$), kann so untersucht werden, inwiefern der räumliche Kontiguitätseffekt mit der Komplexitätsstufe der Aufgabe variiert. Es zeigte sich mit Bonferroni-Korrektur ein grenzwertig signifikanter Effekt der *Kontiguität* für die Aufgabe mittlerer Komplexität ($F(1, 109) = 5.89, p = .017, \eta_p^2 = .05$), während die Effekte für die einfache ($F(1, 104) = 0, p = .995, \eta_p^2 < .01$) und komplexe Aufgabe ($F(1, 108) = 0.94, p = .334, \eta_p^2 = .01$) nicht signifikant waren. Die Gruppe mit hoher räumlicher Kontiguität ($M = 0.17, SD = 0.32$) erreicht damit einen Vorteil im Fachwissenserwerb gegenüber der Gruppe geringer räumlicher Kontiguität ($M = 0.00, SD = 0.40$). Diese Befunde deuten zum einen auf die Wirksamkeit des räumlichen Kontiguitätseffektes für die Integration von MER in einer AR-Lernumgebung hin, zum anderen werden Limitationen durch die Komplexität des Materials erkennbar. Für die Wirksamkeit des räumlichen Kontiguitätsprinzips potentiell kritisch erscheint sowohl eine durch Lernende wahrgenommene zu geringe als auch eine zu hohe Komplexität, was konzeptionell eine Art *Zone effektiver Komplexität* für Designprinzipien allgemein definieren könnte.

Ausblick

Perspektivisch kann das räumliche Kontiguitätsprinzip die Integration von MER auch in AR-Lernumgebungen für physikalische Experimente unterstützen, sofern die Passung von gestalterisch intendierter und durch Lernende wahrgenommener Komplexität stärker berücksichtigt wird. Zukünftig sollten weitere Studien z. B. individuelle Bedürfnisse Lernender in der Arbeit mit MER in die Gestaltung miteinbinden und die Bedeutung einer potentiellen *Zone effektiver Komplexität* auch für andere Designprinzipien untersuchen.

Literatur

- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183–198. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001>
- Ainsworth, S. (2021). The multiple representations principle in multimedia learning. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Eds.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 158–170). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108894333.016>
- Ayres, P. & Sweller, J. (2021). The split-attention principle in multimedia learning. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Eds.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 199–211). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108894333.020>
- Chen, O., Paas, F. & Sweller, J. (2023). A cognitive load theory approach to defining and measuring task complexity through element interactivity. *Educational Psychology Review*, 35(2), 63. <https://doi.org/10.1007/s10648-023-09782-w>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Klepsch, M., Schmitz, F. & Seufert, T. (2017). Development and validation of two instruments measuring intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Frontiers in Psychology*, 8, 1997. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01997>
- Krüger, J. M. & Bodemer, D. (2022). Application and investigation of multimedia design principles in augmented reality learning environments. *Information*, 13(2), 74. <https://doi.org/10.3390/info13020074>
- Moreno, R. & Mayer, R. (2007). Interactive multimodal learning environments: Special issue on interactive learning environments—Contemporary issues and trends. *Educational Psychology Review*, 19(3), 309–326. <https://doi.org/10.1007/s10648-007-9047-2>
- Rau, M. A. (2020). Comparing multiple theories about learning with physical and virtual representations: Conflicting or complementary effects? *Educational Psychology Review*, 32(2), 297–325. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09517-1>
- Rexigel, E., Kuhn, J., Becker, S. & Malone, S. (2024). The more the better? A systematic review and meta-analysis of the benefits of more than two external representations in STEM education. *Educational Psychology Review*, 36(4), 124. <https://doi.org/10.1007/s10648-024-09958-y>
- Schlummer, P. (2024). *Hands-on multimedia learning: Assessing the potentials of mixed reality optics-experiments* [Doctoral dissertation, Universität Münster].
- Schlummer, P., Abazi, A., Borkamp, R., Lauströer, J., Schulz-Schaeffer, R., Schuck, C., Pernice, W., Heusler, S. & Laumann, D. (2023). Seeing the unseen – Enhancing and evaluating undergraduate polarization experiments with interactive mixed-reality technology. *European Journal of Physics*, 44(6), 065701. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/acf0a7>
- 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), 679–701. <https://doi.org/10.1007/s10648-018-9435-9>
- Sweller, J., Ayres, P. & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8126-4>
- Treagust, D. F., Duit, R. & Fischer, H. E. (Eds.). (2017). *Multiple representations in physics education* (Vol. 10). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-58914-5>