

AR zur Förderung des Stoff-Teilchen-Konzeptverständnisses bei Lehrkräften

Theoretischer Hintergrund

Die Chemie lässt sich in drei Ebenen teilen (Johnstone, 2000): Die makroskopische Ebene beschreibt reale, beobachtbare Phänomene der stofflichen Welt. Die submikroskopische Ebene fokussiert Teilchen (z.B. Atome) und ihre Bewegungen, um den Aufbau der Materie zu modellieren. Die repräsentative Ebene umfasst Texte, Bilder und Symbole (Schnotz, 2002), welche zu MER¹ verknüpft werden können. Internationale Studien bestätigen, dass Novizen oftmals Schwierigkeiten haben Symbole als Veranschaulichung von realen Phänomenen zu begreifen (Kozma & Russell, 2005; Santos & Arroio, 2016). Ferner wird der Teilchenbegriff häufig inkonsistent genutzt oder fälschlicherweise mit der Stoffebene vermischt (Devetak et al., 2004). Darüber hinaus offenbaren sich Probleme im adäquaten Umgang mit der chemischen Fachsprache, v.a. bei Repräsentationswechseln (Ainsworth, 2006). Der Lehrkraft kommt daher eine Vorbildfunktion zu, bei der inhaltlichen Vermittlung des Stoff-Teilchenkonzepts chemische Fachsprache korrekt anzuwenden. Jedoch weisen auch (angehende) Lehrpersonen bei Erläuterungen zu Stoff-Teilchen-Ebenenwechseln oftmals mangelnde Sprachfertigkeiten auf und differenzieren unzureichend zwischen den Ebenen (Justi & Gilbert, 2002; van Driel & Verloop, 2002). Häufig wird der präzise Einsatz von Fachbegriffen als redundant angesehen (Rodić et al., 2018) und die Modellierungskompetenz der Lernenden überschätzt. Entsprechend führen auch Lehrkräften fehlerbehaftete Stoff-Teilchen-Ebenenwechsel durch (Farida et al., 2010). Damit scheint das Stoff-Teilchen-Konzeptverständnis sowohl schwer lern- als auch lehrbar zu sein. Durch die zunehmende Digitalisierung von Schule und Unterricht bietet es sich an, digitale Medien als Fördermaßnahme in die fachspezifische Lehrerbildung und -fortbildung zu integrieren (Forschungsgruppe Lehrerbildung Digitaler Campus Bayern, 2017). Digitale Medien können Prozesse, die mit bloßem Auge nicht sichtbar sind, gemeinsam mit dem realen Phänomen sichtbar gemacht werden (Farida et al., 2010; Huwer et al., 2019). Bei Augmented Reality (AR) befindet man sich in einer realen Umgebung, die zugleich Realität erweiternde Elemente enthält und eine Interaktion mit zwei- und dreidimensionalen AR-Objekten erlaubt (Azuma, 1997; Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018). Während AR-Objekte mittels Kamerafunktion auf dem Tablet-Display eine digital replizierte Abbildung der Realwelt überlagern, sorgt der Blick durch die AR-Brille (HMD²-AR-Technik) für eine immersive Integration dieser in die reale Umgebung (Lauer & Peschel, 2023). Werden bei Ablauf eines realen Experiments unter Berücksichtigung der Dynamik submikroskopische Teilchen als (M)ER virtuell in das Experiment eingeblendet, können diese Informationen räumlich und zeitlich verbunden, sowie semantisch im Zusammenhang stehend gezeigt werden (Chavan, 2016). Nach dem Kohärenz- und Kontiguitätsprinzip von Fiorella und Mayer (2021) sollte diese simultane Präsentation positive Lerneffekte mit der Stoff- und Teilchenebene erzielen. Entsprechend wird ein Split-Attention-Effekt vermieden, wodurch die kognitive Verarbeitung bei der Text-Bild-

¹ Multiple Externe Repräsentationen

² Head Mounted Display (AR-Brille)

Integration gefördert werden sollte (Ayres & Sweller, 2021; Schnotz & Bannert, 2003). AR bietet damit neue Chancen zum erfolgreichen Lernen in den Ebenen nach Johnstone (2000).

Wissenschaftliche Fragestellungen

FF1 aus Teilstudie 1: Lassen sich mithilfe der verwendeten AR-Lernumgebung das Stoff-Teilchen-Konzeptverständnis von Chemielehrkräften fördern?

FF2 aus Teilstudie 2: Inwieweit kann durch die interaktive Verwendung von (immersiven) AR-(M)ER das Stoff-Teilchen-Konzeptverständnis bei Chemielehrkräften gefördert werden?

Methodik

Experimentelle Designs, Stichprobe und Ablauf der Datenerhebung

Die zwei Teilstudien sind jeweils in einem einfaktoriellem Prä-Post-Design gestaltet, in denen das Stoff-Teilchen-Konzeptverständnis als abhängige Variable (AV) operationalisiert wurde. Die unabhängige Variable (UV1) von Teilstudie 1 (N = 40) besteht in der medialen und instruktionalen Gestaltung der Lernumgebung und besitzt zwei Ausprägungen. Variiert wird die Benutzersteuerung in der AR-Lernumgebung bzw. in der Simulation unter Berücksichtigung der virtuellen bzw. der animierten (M)ER. Beide Lernumgebungen sind auf dem Tablet aufrufbar und informationsgleich. In Teilstudie 2 (N = 40) wurde die Interaktivität in der AR-Lernumgebung als unabhängige Variable (UV2) mit zwei Ausprägungen betrachtet: Die AR-(M)ER können mit dem Tablet interaktiv auf dem Bildschirm und mit der AR-Brille immersiv in der realen Umgebung gesteuert werden. Die inhaltsgleichen Settings unterliegen nun einem Medienwechsel. Im Zeitraum von Dezember 2021 bis September 2022 wurde die Datenerhebung in den Fachdidaktik-Laboren der TUM oder den Schulen mit 60 Chemielehrkräften (Geschlecht: 65 % Frauen, 35 % Männer; Alter M = 28, SD = 5.2) durchgeführt. Die Probanden unterrichteten an Gymnasien, Fach- bzw. Berufsoberschulen (FOS/BOS) und Realschulen. Für das Treatment wurden die Chemielehrkräfte (N = 60) in drei Gruppen (jeweils: N = 20) aufgeteilt, die mit einer der drei Lernumgebungen arbeiteten. Vor und nach dem Treatment elaborierten sie jeweils fünf Testaufgaben per Lautem Denken.

AR-Lernumgebung, Erhebungsinstrumente und Auswertungsmethoden

Es wurde eine AR-Lernumgebung auf dem Tablet konzipiert, die die chemischen Prozesse der Elektrolyse von Zinkiodid durch augmentierte (M)ER auf eine reale Versuchsanordnung im Labor projiziert. Das Setting wurde anschließend auf zwei weitere inhaltsgleiche Lernszenarien (non-AR- und HMD-AR) übertragen. Für die Erfassung des Stoff-Teilchen-Konzeptverständnisses wurden zwei themenspezifische Tests zum Donator-Akzeptor-Konzept erstellt. Prä- und Posttest setzten sich mit jeweils 5 Aufgaben - davon zwei Ankeraufgaben - aus vier offenen Aufgaben und einer MC-Aufgabe zusammen. Die Testaufgaben intendierten Beschreibungen und Erklärungen chemischer Phänomene, wobei gezielt Stoff-Teilchenebenen-Wechsel forciert wurden. Da die Bearbeitung der Testaufgaben per lautem Denken stattfand, wurden die Protokolle des Lauten Denkens transkribiert und qualitativ nach Mayring (2010) in MAXQDA ausgewertet. Hierfür wurde ein Kategoriensystem zum Stoff-Teilchen-Konzept deduktiv nach Kroß und Lind (2001) konstruiert und anschließend induktiv am Datenmaterial angepasst. Die ersten drei Hauptkategorien lauten: „1. Hinzufügen von Wissens-elementen durch Abruf von Wissen aus dem Gedächtnis“, „2. Vergeblicher Abruf von Vorwissen/Information aus dem Gedächtnis“ und „3. Hinzufügen von Wissen durch Wissenserzeugung mittels (logischer) Inferenzen“. Ein Ankerbeispiel aus Hauptkategorie 3 zum Schlussfolgern auf Stoffebene lautet: „Wenn ich das

Ganze jetzt eindampfen würde, (hätte ich) in fester Form das Salz NH_4Cl .“ (Proband 2 (AR), Prätest). Die doppelte Codierung von 10 % des Datenmaterials durch zwei unabhängige Rater lieferte ein zufriedenstellendes κ von .87.

Ergebnisse und Diskussion

Wirksamkeit von AR auf das Stoff-Teilchen-Konzeptverständnis (FF1)

Die 80 Transkripte (Prä- und Post) mit 6843 Statements (AR: 3468 und Simulation: 3375) zeigten von Messzeitpunkt 1 auf 2 eine erste Tendenz eines veränderten Elaborationsverhaltens, indem mehr „verstehensorientiert“ und weniger „suchorientiert“ sowie intensiver auf Stoffebene elaboriert wurde (Ankerbeispiel von Proband 4 (AR), Kategorie 3, Posttest: „[...] Kupfer auf Stoffebene ist eben rot und ein einzelnes Atom hat keine Färbung.“). Die Statements des Prätests bekräftigten die Schwierigkeiten mit den drei Ebenen. Entsprechend wurde im Posttest eine systematischere Nutzung von (M)ER, z.B. durch Fachbegriffe, ersichtlich (Ankerbeispiel von Proband 3 (AR) Kategorie 3, Posttest: „[...] negative Ladung ausgehend vom Sauerstoff-Atom.“), die dezidiertere Ebenenwechsel nach sich zog. Die positive Veränderung der kognitiven Verarbeitungsprozesse, u.a. durch den gewissenhafteren Umgang mit der repräsentativen Ebene, zeigte sich in beiden Gruppen, aber v.a. in AR-Gruppe. Die Befunde liefern den Trend, dass AR neue Chancen für das Denken in den drei Ebenen nach Johnstone (2000) bietet. Jedoch entwickelten sich die Elaborationsprofile bei nahezu allen Probanden in eine positive Richtung. Entsprechend scheinen die kognitive Informationsverarbeitungen in beiden Gruppen ähnlich gewesen zu sein (vgl. Altmeyer et al., 2020), wodurch ein Split-Attention-Effekt nicht nachgewiesen werden konnte. Ursache hierfür könnte das Tablet als „gängiges Medium“ darstellen, da es vermutlich einen hohen Grad an Authentizität mit sich brachte (vgl. Kuhn et al., 2017).

Auswirkungen der Interaktivität von AR auf das Stoff-Teilchen-Konzeptverständnis (FF2)

Mit 7213 Statements (AR: 3468 und HMD-AR: 3745) demonstrierten die 80 Transkripte (Prä- und Post) von ersten auf zweiten Messzeitpunkt ein verändertes Elaborationsverhalten in beiden Gruppen. Die zielbewusstere Nutzung der Ebenen wurde in der AR-Gruppe wesentlich stärker als in der HMD-AR-Gruppe ersichtlich. Wohingegen sich die AR-Gruppe dezidiert in allen drei Ebenen nach Johnstone (2000) bewegte, fokussierte sich die HMD-AR-Gruppe tendenziell auf eine Ebene (Ankerbeispiel von Proband 42 (HMD-AR), Kategorie 3, Posttest: „Und generell würde ich in einer Ebene versuchen, zu bleiben.“). Die Schwierigkeiten beim Herstellen von Beziehungen zwischen Stoff- und Teilchenebene (z.B. durch Vernachlässigung der Super-Lupe) blieben konsistent. Jedoch zeigte sich in der HMD-AR-Gruppe der Trend des dezidierten Umgangs mit (M)ER (Ankerbeispiel von Proband 55 (HMD-AR), Kategorie 3, Posttest: „hier vermischt man auch Textebene mit Symbolebene.“). Ursache hierfür könnte ein Expertise Reversal Effect (Kalyuga et al., 2003) sein. Gegebenenfalls gleiche die Elaboration der HMD-AR-Gruppe im Prätest derer von Experten. Das häufige Nennen von Zweifeln könnte dafürsprechen, dass die vorhandenen kognitiven Konstrukte aus dem Langzeitgedächtnis nicht mit den (M)ER auf Stoff- und Teilchenebene zusammengeführt werden konnten. Zu Messzeitpunkt 2 hingegen wurden kaum mehr Rückgriffe auf die mentalen Konstrukte vorgenommen. Die Elaboration der HMD-AR-Gruppe scheint durch das Treatment negativ beeinflusst worden zu sein. Zudem könnte die AR-Brille einen hohen *Extraneous Load* (Sweller, 2011) nach sich gezogen haben, wodurch das erfolgreiche Denken in den drei Ebenen nach Johnstone (2000) behindert wurde. Es ist folglich nicht auszuschließen, dass sich auch die technischen Probleme mit der AR-Brille wie Hitzentwicklung, Akkulaufzeit usw. negativ auf die Elaboration der Testbearbeitungen auswirkten (Scheerer, 2021).

Literaturverzeichnis

- Ainsworth, S. E. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16, 183–198.
- Altmeyer, 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.
<https://doi.org/10.1111/bjet.12900>
- Ayres, P. & Sweller, J. (2021). The Split-Attention Principle in Multimedia Learning. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 199–211). Cambridge University Press.
- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(4), 355–385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- Chavan, S. R. (2016). Augmented Reality vs. Virtual Reality: Differences and Similarities. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology* 5, 1–6.
- Devetak, I., Urbančič, M., Wissiak Grm, K. S., Krnel, D. & Glažar, S. A. (2004). Submicroscopic Representations as a tool for evaluating students' conceptions. *Acta chimica Slovenica*, 51, 799–814.
- Farida, I., Liliyasiari, Widyantoro, D. H. & Sopandi, W. (2010). Representational Competence's Profile of Pre-Service Chemistry Teachers in Chemical Problem Solving. *International Seminar on Science Education*.
- Fiorella, L. & Mayer, R. E. (2021). Principles for Reducing Extraneous Processing in Multimedia Learning. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 185–198). Cambridge University Press.
- Forschungsgruppe Lehrerbildung Digitaler Campus Bayern. (2017). Kernkompetenzen von Lehrkräften für das Unterrichten in einer digitalisierten Welt. *merz spektrum*, 65–74.
- Huwer, J., Lauer, L., Dörrenbächer-Ulrich, L., Perels, F. & Thyssen, C. (2019). Chemie neu erleben mit Augmented Reality. Neue Möglichkeiten der individuellen Förderung. *MNU Journal*, 420–427.
- Ibáñez, M. B. & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, 123, 109–123.
- Johnstone, A. H. (2000). Teaching of Chemistry – logical or psychological? *Chemistry Education Research and Practice in Europe*, 1(1), 9–15.
- Justi, R. & Gilbert, J. (2002). Models and Modelling in Chemical Education. In J. K. Gilbert, O. Jong, R. Justi, D. F. Treagust & J. H. Driel (Hrsg.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (Science & Technology Education Library, Bd. 17, S. 47–68). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P. & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist*, 38(1).
- Kozma, R. B. & Russell, J. (2005). Students Becoming Chemists: Developing Representational Competence. In J. K. Gilbert (Hrsg.), *Visualization in Science Education* (S. 121–146). Niederlande: Springer-Verlag.
- Kroß, A. & Lind, G. (2001). The Impact of Prior Knowledge on the Intensity and Quality of Self-Explanations during Studying Worked-Out Examples from the Domain of Biology. *Unterrichtswissenschaft*, 29(1), 5–25.
- Kuhn, J., Rophol, M. & Groß, J. (2017). Fachdidaktischer Mehrwert durch Einführung digitaler Werkzeuge. In J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen. Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer* (S. 11–12). Joachim Herz Stiftung.
- Lauer, L. & Peschel, M. (2023). «Pedagogical Usability» von Augmented Reality zum Thema Elektrik. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 51, 25–64.
- Mayring & P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken* (2. Aufl.). Weinheim: Beltz-Verlag.
- Rodić, D. D., Rončević, T. N. & Segedinac, M. D. (2018). The Accuracy of Macro-Submicro-Symbolic Language of Future Chemistry Teachers. *Acta Chimica Slovenica*, 65(2), 394–400.
- Santos, V. C. & Arroio, A. (2016). The representational levels: Influences and contributions to research in chemical education. *Journal of Turkish Science Education*, 13(1), 3–18.
- Scheerer, F. (2021). *Interaktion mit der MBP IoT-Plattform mittels der Microsoft HoloLens*. Masterarbeit. Universität Stuttgart, Stuttgart.
- Schnotz, W. (2002). Towards an Integrated View of Learning From Text and Visual Displays. *Educational Psychology Review*, 14(1), 101–120.
- Schnotz, W. & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13(2), 141–156.
- Sweller, J. (2011). Cognitive Load Theory. In J. P. Mestre & B. H. Ross (Hrsg.), *The psychology of learning and motivation: Cognition in education* (Psychology of Learning and Motivation, Bd. 55, S. 37–76). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387691-1.00002-8>
- Van Driel, J. H. & Verloop, N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1255–1272.