

Augmented Reality-gestützte Lernhilfen für den Chemieunterricht

Einleitung und Zielsetzung

Smartphones und Tablet-PCs sind in der Schule mittlerweile fast flächendeckend verfügbar. Eine besondere Chance für den wirksamen Einsatz digitaler Lehr-Lernwerkzeuge im Chemieunterricht ist die Anwendung mobiler Endgeräte zur Anreicherung von Fachinhalten mit der Augmented Reality (AR)-Technologie. Wesentliche Aspekte der Technologie, darunter die Kombination realer und virtueller Objekte und eine in Echtzeit erfolgende Interaktion mit dem Benutzenden, wurden bereits 1997 in einer vielzitierten systematischen Untersuchung herausgestellt (Azuma, 1997). Der Einsatz von AR ermöglicht es, abstrakte Inhalte – etwa naturwissenschaftliche Modellvorstellungen oder physikalische Messwerte – als virtuelle Objekte unmittelbar in die reale Welt zu integrieren.

In dem Projekt Digital CAMPUS-le@rning an der Universität Hildesheim wird die Wirksamkeit des Einsatzes der AR-Technologie zum besseren Verständnis des Stoff-Teilchen-Konzepts im Chemie-Experimentalunterricht untersucht. Dabei wird ein Experiment in Echtzeit mit der Visualisierung der physikalisch-chemischen Vorgänge auf der Teilchenebene angereichert, um die von Johnstone (2006) als herausfordernd beschriebene Darbietung von Fachinhalten auf verschiedenen Abstraktionsebenen im Chemieunterricht zu adressieren. Die Anwendung wird mit einer digitalen Protokollierungshilfe kombiniert, die Lernende im Umgang mit den sprachlichen und strukturellen Besonderheiten von Versuchsprotokollen unterstützt. Der eingereichte Beitrag stellt neben der Entwicklung und Konzeption der Lernhilfe auch die Ergebnisse einer Pilotstudie zur Lernwirksamkeit der beschriebenen Anwendung vor.

Hintergrund

Mehrere Veröffentlichungen beschreiben den Einsatz von AR zur Anreicherung der bei Versuchen beobachtbaren makroskopischen Ebene mit Erklärungen auf der submikroskopischen Ebene (Peeters et al., 2023; Ripsam, 2023). Durch die in Echtzeit dargebotene Visualisierung wird eine bessere Verknüpfung beider Abstraktionsebenen erwartet, da die Lernenden bereits im Experimentierprozess zu einer Auseinandersetzung mit der Darstellung des beobachteten Phänomens auf Submikroebene angeregt werden (Peeters et al., 2023). Zudem vermuten Thees et al. (2020) aufgrund der Entsprechung der AR-Lernumgebung mit den Designprinzipien der räumlichen und zeitlichen Kontiguität nach Mayer (2012) eine Reduktion der extrinsischen kognitiven Belastung (ECL). Neben einer empirischen Untersuchung (ebd.) bestätigen auch mehrere Übersichtsarbeiten die Annahme und zeigen mehrheitlich eine geringe kognitive Belastung und einen höheren Lernerfolg durch AR (Buchner et al., 2022; Syskowski et al., 2024).

Im Lehralltag erfolgt die systematische Dokumentation naturwissenschaftlicher Versuche mithilfe von Versuchsprotokollen, die fachliches Lernen mit fachsprachlichen Elementen kombinieren (Müllner et al., 2024). Um neben der Vermittlung von Fachinhalten einen übergeordneten Mehrwert zu bieten, wird die AR-Begleitung in Verbindung mit einer digitalen Hilfe zur Protokollerstellung eingesetzt. In dem interaktiven Dokument werden die Lernenden angeregt, jeden Schritt der beobachteten Reaktion auf der Makro-, Submikro- und Repräsentationsebene nach Johnstone zu betrachten. Zugleich erhalten die Lernenden nach dem Prinzip des Scaffolding (Wessel, 2015) inhaltlich-fachsprachliche Unterstützung, beispielsweise in Form von Textbausteinen, die schrittweise zurückgenommen wird.

Umsetzung

Die praktische Umsetzung der AR-Lernhilfe erfolgt in Form einer eigens entwickelten App für mobile Android- und iOS-Endgeräte für den Einsatz mit Farbreaktionen. Die App erfasst die Farbe eines Objekts, etwa einer wässrigen Lösung mit pH-Indikator, und blendet passend zu den voreingestellten Farbwerten Modelle der in der Lösung angenommenen submikroskopischen Teilchen ein. Im Zuge der Pilotierung wurden Farbwerte für den pH-Indikator Bromthymolblau in saurem, neutralem und basischem Milieu und Kugel-Stab-Modelle der entsprechenden Ionen in wässriger Lösung hinterlegt. In der derzeitigen Ausführung eignet sich die Anwendung damit für die Bestimmung des sauren oder basischen Charakters einer mit pH-Indikator versetzten Lösung und kann als visuelle Hilfe bei Neutralisationsreaktionen und Titrimetrie dienen.

Abbildung 1 stellt die Implementierung der AR-Begleitung innerhalb der digitalen Strukturierungshilfe dar. Die Lernenden listen in tabellarischer Form für jeden Versuchsschritt ihr Vorgehen, eine fotografisch gestützte schriftliche Dokumentation ihrer Beobachtungen, einen Screenshot aus der AR-Lernhilfe und eine Verbalisierung der Modellvorstellung auf.

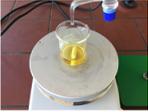
Menge	Fotodokumentation	Beobachtung	Screenshot	Deutung
0 mL	(Füge hier ein Foto des Versuchs ein) 	(Beschreibe hier, was du sehen kannst) Man sieht, dass die Lösung gelb ist.	(Füge hier ein Foto der AR-Anwendung ein) 	(Schreibe einen der vorgefertigten Texte in das entsprechende Feld) Es hat noch keine Neutralisation stattgefunden. Die Oxonium-Ionen (H_3O^+) sind unverändert vorhanden. Die Lösung ist sauer.
20 mL		Die Lösung färbt sich grün.		Die Neutralisation ist abgeschlossen. Oxonium-Ionen (H_3O^+) und Hydroxid-Ionen (OH^-) haben zu Wassermolekülen (H_2O) reagiert. Die Lösung ist neutral.
22 mL		Die Lösung färbt sich blau.		Es wurde zu viel Natronlauge hinzugegeben. Es besteht ein Überschuss an Hydroxid-Ionen (OH^-). Die Lösung ist basisch.

Abb. 1: Digitale Protokollierungshilfe mit abfotografierten AR-Darstellungen der Interventionsgruppe.

Pilotierung

Die Anwendung wurde mit $n = 31$ Schülerinnen und Schülern (SuS) der Sekundarstufe I im Hinblick auf ihre Lernwirksamkeit und die empfundene Benutzerfreundlichkeit nach einer Skala von Brooke (1996) pilotiert. Die Untersuchung erfasst in einem quasi-experimentellen Zwei-Gruppen Pre-Post-Design themenspezifisches Fachwissen der SuS. Dazu wurden die SuS zunächst im Umgang mit der Strukturierungshilfe geschult. Im weiteren Verlauf absolvierten die SuS der Interventionsgruppe eine AR-unterstützte Unterrichtseinheit zum Thema Säuren und Basen in Gruppenarbeit zu je 3-4 SuS. Jeder SuS-Gruppe wurde ein Tablet-PC zur Anwendung der AR-Lernhilfe und ein weiterer Tablet-PC zur Bearbeitung der Strukturierungshilfe bereitgestellt. Die AR-Darstellungen wurden durch Abfotografieren des Bildschirms in die Strukturierungshilfe übertragen. Die Kontrollgruppe absolvierte die gleiche Unterrichtseinheit ohne AR-Unterstützung. Die SuS nutzten ebenfalls einen Tablet-PC zur Bearbeitung der Strukturierungshilfe, bekamen aber vorgefertigte Screenshots aus der AR-Anwendung bereitgestellt.

Ergebnisse

Die SuS der Interventionsgruppe (8 ♀, 9 ♂) bewerten die Benutzerfreundlichkeit mit einem Usability-Score nach Brooke (1996) von $\bar{x} = 74,7$. Unter Anwendung einer etablierten Ordinalskalierung (Bangor & Kortum, 2009) kann die Benutzerfreundlichkeit damit als „gut“ gedeutet werden. Während sich die erreichte Punktzahl der Kontrollgruppe (8 ♀, 6 ♂) nicht signifikant zwischen Pre- und Posttest unterscheidet, erreicht die Interventionsgruppe im Posttest mit 4,94 von 8 möglichen Punkten durchschnittlich 1,35 Punkte mehr als im Pretest. Trotz der kleinen Stichprobe ist der beobachtete Unterschied mit $p = 0,016$ signifikant und es kann eine Effektstärke $d = 0,657$ angegeben werden.

Tabelle 1: Statistische Auswertung der Schüler*innenantworten mit „Paired Samples“ *t*-Test.

Measure	Pretest		Posttest		<i>p</i>	Cohen's <i>d</i>	SE Cohen's <i>d</i>
	Mean	SD	Mean	SD			
Non-AR (<i>n</i> = 14)	3.07	1.44	3.29	1.86	0.648	-0.657	0.306
AR (<i>n</i> = 17)	3.59	1.46	4.94	2.05	0.016	-0.125	0.273

Fazit

Es wurde ein lauffähiger Prototyp der AR-Lernhilfe entwickelt und erfolgreich getestet. Eine Untersuchung mit 31 Schülerinnen und Schülern zeigte einen positiven Effekt auf den Lernerfolg und steht damit im Einklang mit vorausgegangenen empirischen Studien. Weitere Untersuchungen mit größeren Stichproben und variierenden Inhalten sind notwendig, um den Lernzuwachs statistisch sicher zu erfassen und von kurzfristigen motivationalen Effekten zu trennen.

Literatur

- Azuma, R. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355–385.
- Bangor, A., & Kortum, P. (2009). Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. *Journal of Usability Studies*, 4(3), 114–123.
- Brooke, J. (1996). SUS - A quick and dirty usability scale. In P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester & I. L. McClelland (Eds.), *Usability Evaluation in Industry*. London: Taylor & Francis, 189-194.
- Buchner, J., Buntins, K., & Kerres, M. (2022). The impact of augmented reality on cognitive load and performance: A systematic review. *Journal of Computer Assisted Learning*, 38(1), 285–303.
- Johnstone, A. H. (2006). Chemical education research in Glasgow in perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(2), 49–63.
- Mayer, R. E. (2012). Principles for Reducing Extraneous Processing in Multimedia Learning: Coherence, Signaling, Redundancy, Spatial Contiguity, and Temporal Contiguity Principles. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge: Cambridge University Press, 183-200.
- Peeters, H., Habig, S., & Fechner, S. (2023). Does Augmented Reality Help to Understand Chemical Phenomena during Hands-On Experiments?—Implications for Cognitive Load and Learning. *Multimodal Technologies and Interaction*, 7(2), 9.
- Ripsam, M. (2023). *Wirksamkeit von Augmented Reality zur Förderung des Stoff-Teilchen-Konzeptverständnisses*. Technische Universität München.
- Syskowski, S., Wilfinger, S., & Huwer, J. (2024). Impact and Classification of Augmented Reality in Science Experiments in Teaching - A Review. *Education Sciences*, 14(7), 760.
- Thees, M., Kapp, S., Strzys, M. P., Beil, F., Lukowicz, P., & Kuhn, J. (2020). Effects of augmented reality on learning and cognitive load in university physics laboratory courses. *Computers in Human Behavior*, 108, 106316.
- Wessel, L. (2015). *Fach- und sprachintegrierte Förderung durch Darstellungsvernetzung und Scaffolding*. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 45-59.