

Augmented Reality-gestützte Lernhilfen für den Chemieunterricht

Leonard Meiertoberend · Markus Herrmann · Dr. Jan Hinrichs · Prof. Dr. Jürgen Menthe
Universität Hildesheim · Institut für Biologie und Chemie · Abteilung Chemie

Einleitung und Zielsetzung

Das nachfolgend beschriebene Projekt verfolgt das Ziel, eine *Augmented Reality* (AR)-Begleitung für Versuche im naturwissenschaftlichen Unterricht mit einer digitalen Strukturierungshilfe für die Protokollerstellung zu verknüpfen. Damit werden neben der von Johnstone (2006) als herausfordernd identifizierten Darbietung von Fachinhalten auf verschiedenen Abstraktionsebenen im Fach Chemie auch vielfach beobachtete Schwierigkeiten Lernender mit Inhalt, Sprache und Struktur eines Versuchsprotokolls (Müllner et al., 2024) adressiert.

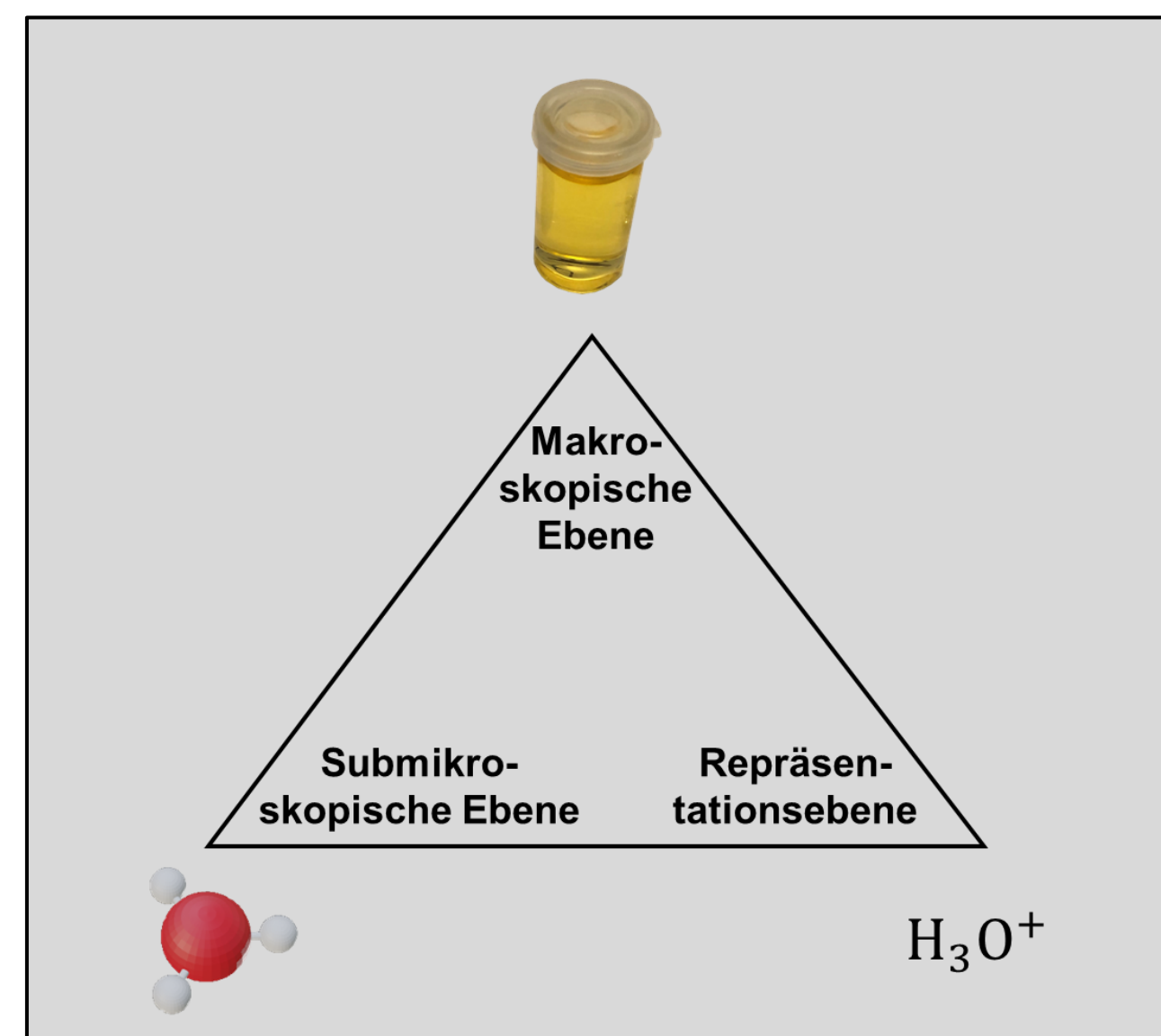


Abb. 1: Modell „Johnstone's Triangle“.

Peeters et al. (2023) schlagen vor, die in einem naturwissenschaftlichen Versuch beobachtbare makroskopische Ebene (siehe Abb. 1) mithilfe von AR in Echtzeit um eine Erklärung auf der submikroskopischen Ebene zu ergänzen, um Lernenden die Verknüpfung beider Abstraktionsebenen zu erleichtern. Entsprechend des Designprinzips der räumlichen bzw. zeitlichen Kontiguität erwarten Thees et al. (2020) zudem eine Reduktion der *Extraneous Cognitive Load*. Eine empirische Untersuchung mit Studierenden stützt diese Annahme (ebd.) und deckt sich mit den Ergebnissen weiterer Studien (Keller et al., 2020).

Im Lehralltag verknüpfen Versuchsprotokolle fachliches und sprachliches Lernen, indem sie die systematische Dokumentation naturwissenschaftlicher Versuche mit fachsprachlichen Elementen kombinieren (Müllner et al., 2024). Dabei zeigen sich häufig Fehler in der Struktur der angefertigten Protokolle (ebd.). Die Kombination der AR-Begleitung mit einer digitalen Strukturierungshilfe stellt Lernenden inhaltlich-fachsprachliche Unterstützung für die Erstellung eines Versuchsprotokolls nach dem Prinzip des *Scaffolding* (Wessel, 2015) bereit, um eine nachvollziehbare Dokumentation naturwissenschaftlicher Versuche zu fördern.

Die AR-Lernhilfe

Die Implementierung erfolgt in Form einer eigens entwickelten App für mobile Android- und iOS-Endgeräte. Mithilfe der geräteinternen Kamera wird die Farbe eines definierten Bildausschnitts im HSV-Farbraum fortlaufend bestimmt. Passend zu vorgewählten Farbwerten werden Inhalte, beispielsweise ein Molekülmodell, in frei drehbarer 3D-Ansicht eingeblendet. Die Erfassung der Farbwerte im HSV-Farbraum sorgt für eine geräteunabhängige, stabile Farberkennung auch bei variierender Farbintensität (Diagramm 1). 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. Durch Einfügen weiterer Modelle und Farbspektren ist der Anwendungsbereich auf den Einsatz beliebiger Farbreaktionen, etwa in der Komplexchemie, erweiterbar.

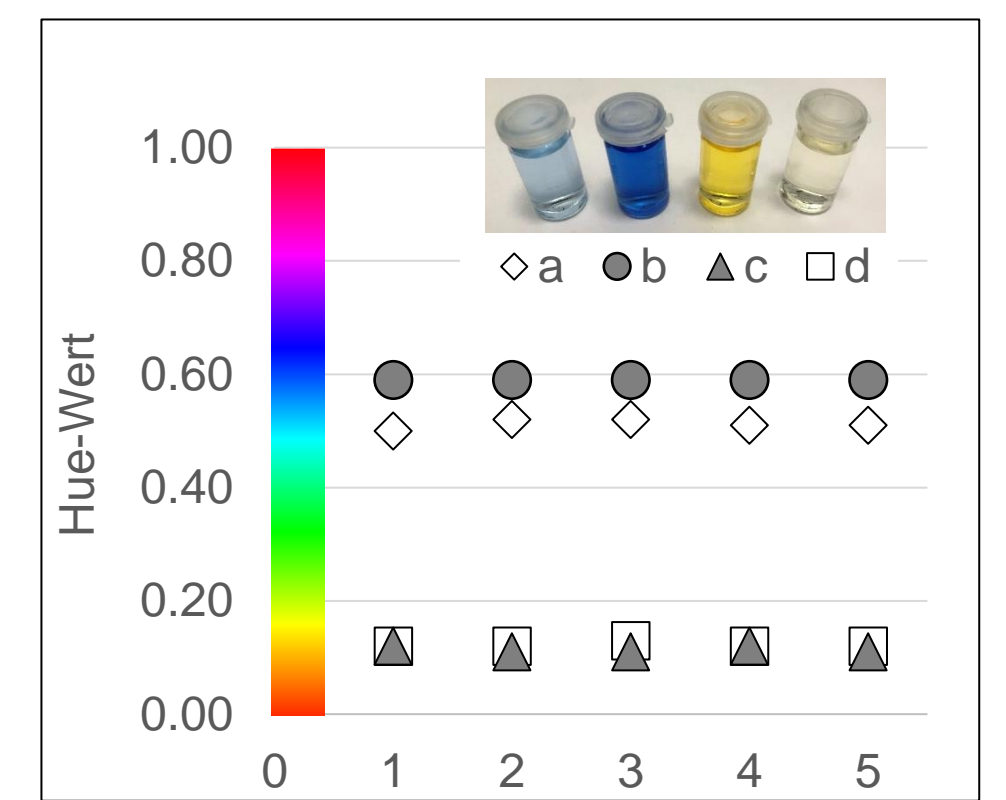


Diagramm 1: Gemessene Hue-Werte saurer und alkalischer Lösungen mit 1,0 Vol.-% (a, d) und 0,1 Vol.-% (b, c) Bromthymolblau-Indikatorlösung.

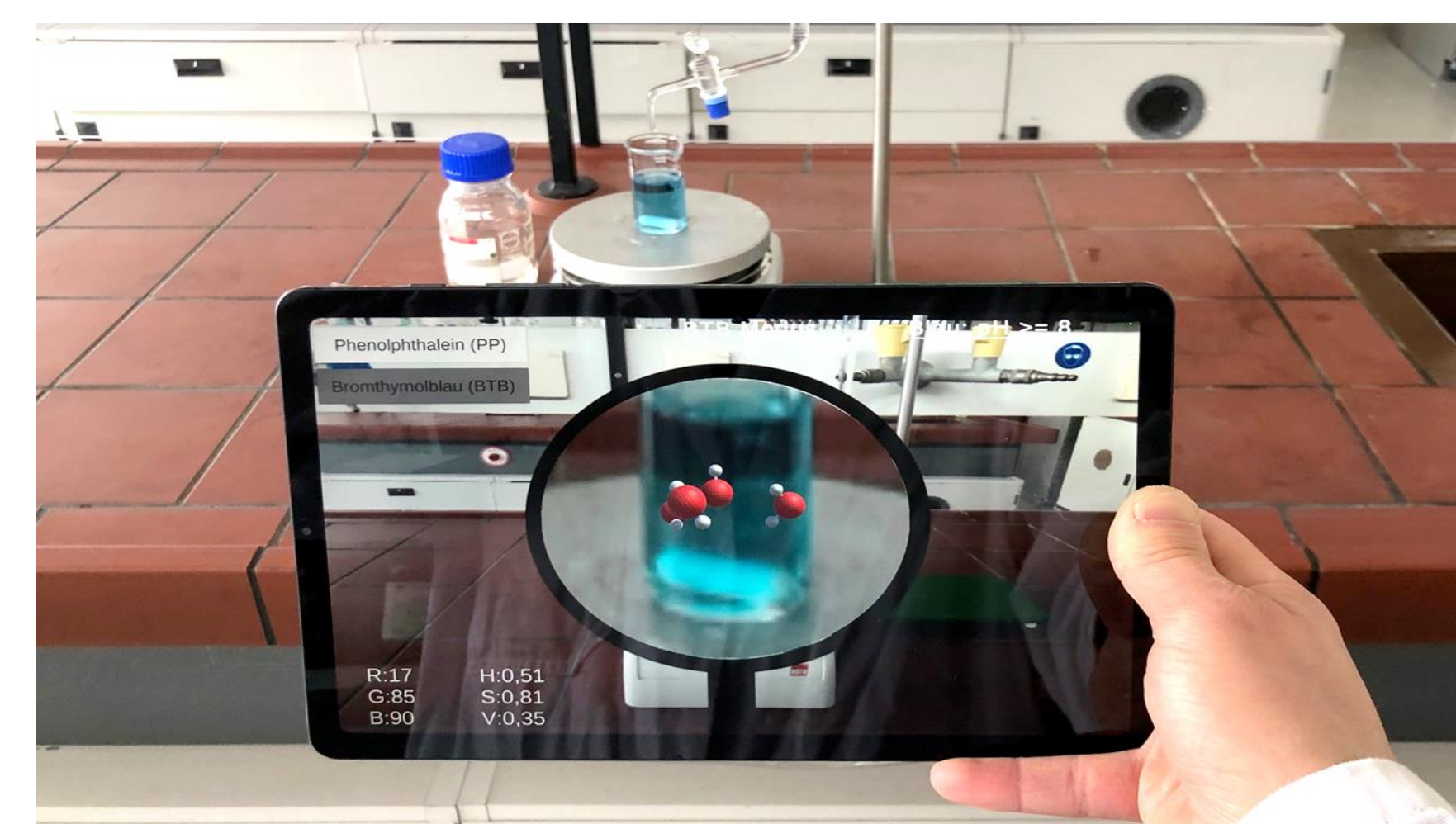


Abbildung 2: Anwendung der Augmented Reality-App am Beispiel einer Titration.

Pilotstudie

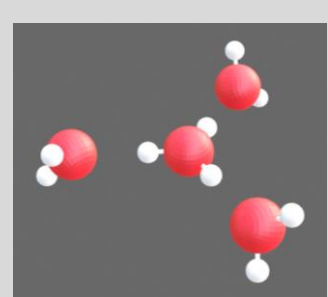
Forschungsfrage: Wie wirkt sich die AR-Unterstützung eines chemischen Versuchs mit Visualisierungen der Teilchenebene auf den Lernerfolg von Schülerinnen und Schülern aus?

Ablauf

Einführung in die Strukturierungshilfe

Pretest

Beispielfrage:



Das abgebildete Modell passt am besten zu...

- Einer neutralen Lösung.
- Einer sauren Lösung.
- Einer basischen Lösung.

Interventionsgruppe Doppelstunde zum Thema Neutralisation mit digitaler Strukturierungshilfe und AR-Begleitung

Menge	Fotodokumentation	Beobachtung	Screenshot	Deutung
0 ml		Indikator ist gelb gefärbt		Es hat noch keine Neutralisationsreaktion stattgefunden. Die Oxonium-Ionen (H3O+) der sauren Lösung sind vorhanden.
20 ml		Indikator ist grün gefärbt		Die Neutralisation der Oxonium-Ionen (H3O+) und Hydroxid-Ionen (OH-) durch Bromthymolblau (BTB) hat begonnen. Die Lösung ist neutral.
28 ml		Indikator ist blau gefärbt		Es wurde zu viel Hydroxid-Ionen (OH-) zugegeben. Die Oxonium-Ionen (H3O+) sind vollständig verbraucht. Die Lösung ist basisch.

Kontrollgruppe Doppelstunde zum Thema Neutralisation mit digitaler Strukturierungshilfe

Menge	Fotodokumentation	Beobachtung	Teilchenebene	Deutung
0 ml		Indikator ist gelb gefärbt		Es hat noch keine Neutralisationsreaktion stattgefunden. Die Oxonium-Ionen (H3O+) der sauren Lösung sind vorhanden.
20 ml		AR-Modell zeigt 18 ml (Blau) und 2 ml (Gelb) BTB		Die Neutralisation der Oxonium-Ionen (H3O+) und Hydroxid-Ionen (OH-) durch Bromthymolblau (BTB) hat begonnen. Die Lösung ist neutral.
28 ml		Indikator ist blau gefärbt		Es wurde zu viel Hydroxid-Ionen (OH-) zugegeben. Die Oxonium-Ionen (H3O+) sind vollständig verbraucht. Die Lösung ist basisch.

Posttest und Bewertung der System Usability

Ergebnisse

Die Pilotuntersuchung wurde mit zwei 10. Klassen und insgesamt 31 Schülerinnen und Schülern (SuS) an einer Realschule durchgeführt. Die SuS der Interventionsgruppe (8 ♀, 9 ♂) bewerten die Benutzerfreundlichkeit anhand einer Skala von BROOKE (1995) mit $\bar{x} = 74,7$ durchschnittlich als „gut“ (Bangor et al., 2009).

Im Pretest erreichen die SuS der Interventionsgruppe (Arbeit mit Moleküldarstellung in AR) und die SuS der Kontrollgruppe (Arbeit mit vorgefertigten Modellen) vergleichbare Ergebnisse. Während sich die Ergebnisse der Kontrollgruppe nicht signifikant zwischen Pre- und Posttest unterscheiden, erreicht die Interventionsgruppe im Posttest mit 4,94 von 8 möglichen Punkten durchschnittlich 1,35 Punkte mehr als im Pretest. Der beobachtete Unterschied ist mit $p = 0,016$ signifikant und es kann eine Effektstärke $d = 0,657$ angegeben werden.

Tabelle 1: Hypothesentest der Schüler*innenantworten mit Student's t-Test für abhängige Stichproben.

Measure 1	Measure 2	t	df	p	Cohen's d	SE Cohen's d
Interventionsgruppe (Pre)	Interventionsgruppe (Post)	-2.708	16	0.016	-0.657	0.306
Kontrollgruppe (Pre)	Kontrollgruppe (Post)	-0.467	13	0.648	0.125	0.273

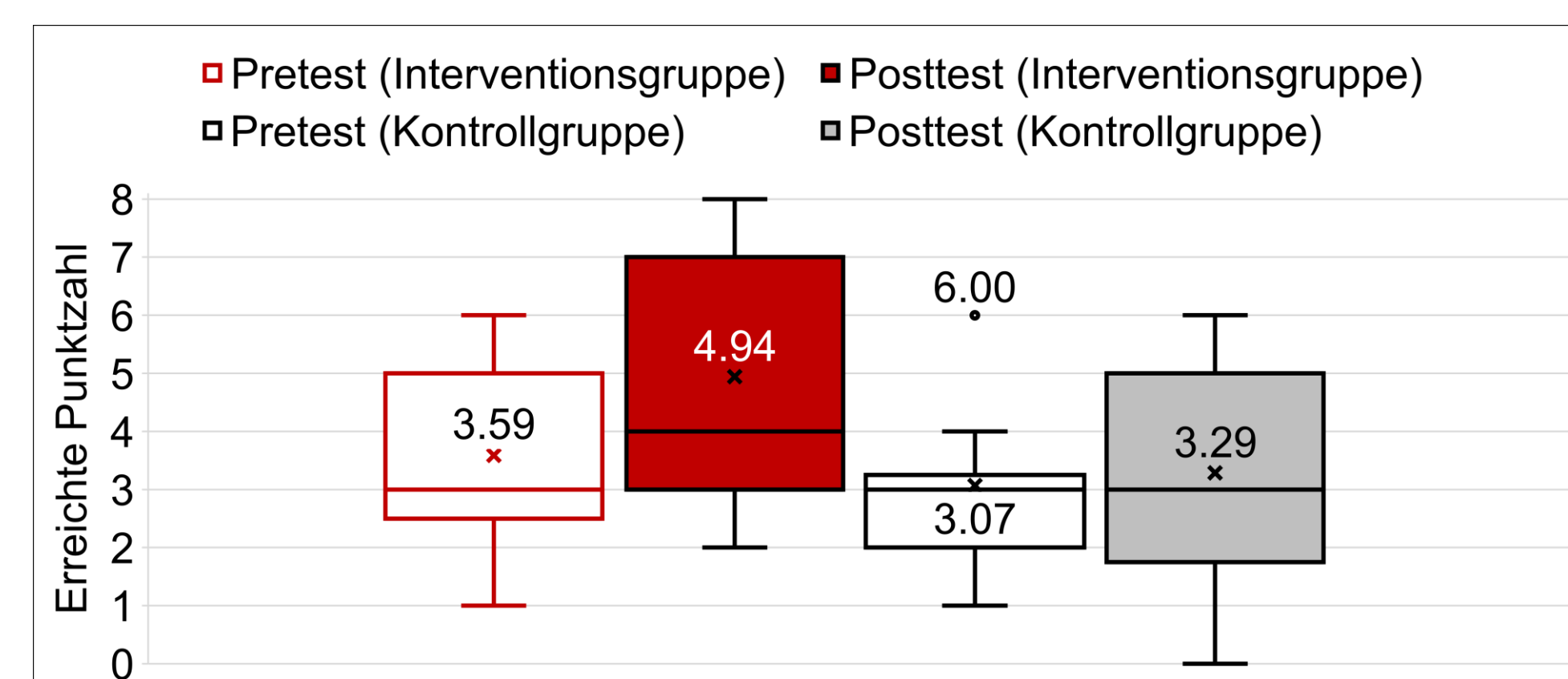


Diagramm 2: Boxplot-Darstellung der erreichten Punktzahlen in Pre- und Posttest.

Fazit und Ausblick

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

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. *Usability Eval. Int.*, 189.
Johnstone, A. H. (2006). Chemical education research in Glasgow in perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(2), 49–63.
Keller, S., Habig, S. & Rumann, S. (2020). Potentiale von Augmented Reality für das Erlernen der organischen Chemie. In S. Habig (Vorsitz), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? GDCP-Jahrestagung 2020*. Symposium im Rahmen der Tagung. Universität Duisburg-Essen.

Müllner, B., Heidinger, C., Hammerschmid, L., Scheuch, M. & Möller, A. (2024). Kognitive Prozesse beim Schreiben naturwissenschaftlicher Versuchsprotokolle: Eine explorative Studie zum sprachsensiblen Fachunterricht. *ZISU – Zeitschrift für interpretative Schul- und Unterrichtsforschung*, 13(1), 141–159.
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.
Schulz, S. (2020). *Selbstreguliertes Lernen mit mobil nutzbaren Technologien*. Springer Fachmedien Wiesbaden.
Thees, M., Kapp, S., Strzyz, M. P., Bell, 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*. Springer Fachmedien Wiesbaden.

Leonard Meiertoberend
Digital-C@MPUS-le@rning
Universität Hildesheim
Universitätsplatz 1
D-31141 Hildesheim
meiertoberend@uni-hildesheim.de

