

Sebastian Keller
Sebastian Habig
Stefan Rumann

Universität Duisburg-Essen

Förderung interner Modellbildung in Chemie durch Augmented Reality

Ausgangslage

Bei der Kommunikation über naturwissenschaftliche Inhalte bedient man sich typischerweise multipler externer Repräsentationsformen – so auch bei der Vermittlung der organischen Chemie. Beim Erlernen sind Lernende hier mit einer Vielzahl verschiedener Darstellungsformen wie Strukturformeln, Keilstrich-Formeln oder Kugelstab-Modellen konfrontiert, die zwar dasselbe Molekül repräsentieren, jedoch unterschiedliche Abstraktionsebenen bedienen. Hinzukommt, dass organisch-chemische Verbindungen dreidimensional gedacht werden müssen, um ihre Eigenschaften und ihr Reaktionsverhalten zu verstehen, was hohe Anforderungen an das räumliche Vorstellungsvermögen und das mentale Rotieren stellt. Somit ist das Erlernen organisch-chemischer Inhalte für Lernende sehr anspruchsvoll. Dieser Beitrag stellt ein Forschungsprojekt vor, das die Nutzung von Augmented Reality untersucht, um den aufgeworfenen Schwierigkeiten zu begegnen.

Theoretischer Rahmen

Instruktionsmaterialien wie z.B. Lehrbücher gelten als externe Repräsentationsformen. Informationen z.B. aus Texten oder Abbildungen werden über die Sinnesorgane wahrgenommen und gemäß der *Dual-Coding-Theory* von Paivio (1990) und dem *Modell des integrierten Text-Bild-Verstehens* von Schnotz und Bannert (2003) zunächst getrennt voneinander im Arbeitsgedächtnis verarbeitet. Bei gelingender Verarbeitung gelangen die Lernenden somit von externen Repräsentationen zu einem internalen Modell. Im Rahmen der Verarbeitung erfolgt ein inhaltlicher Abgleich zwischen den verbalen Repräsentationen sowie den bildlichen Repräsentationen, sodass sich beide Repräsentationsformen inhaltlich ergänzen können, was sich förderlich auf die Modellbildung auswirken kann (Ainsworth, 2006; Rau, 2017). Sobald mehrere Formen externer Repräsentationen dargeboten und quasi simultan verarbeitet werden, spricht man von multiplen externen Repräsentationen.

Die Verarbeitung der externen Repräsentationen erfolgt im Arbeitsgedächtnis basierend, auf den Annahmen der *Cognitive Load Theory*. Diese differenziert die kognitive Anstrengung beim Lernen in die intrinsische und extrinsische Belastung sowie den germane load (Sweller, 2011). Bei der Gestaltung von Instruktionsdesigns und der Darbietung multipler externer Repräsentationen ist darauf zu achten, dass die extrinsische Belastung beim Lernen möglichst gering gehalten wird, damit ein möglichst hoher Anteil der kognitiven Kapazität für das Lernen selbst aufgewendet werden kann (germane load).

Im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung und der weiten Verbreitung mobiler Endgeräte bieten sich auch für Instruktionsdesigns neue Perspektiven, die extrinsische Belastung beim Erlernen der organischen Chemie zu reduzieren.

Die Technik Augmented Reality (AR) ermöglicht es, die Realwelt um dreidimensionale virtuelle Objekte zu erweitern und mit diesen zu interagieren (Herber, 2012). Im Falle einer markerbasierten AR wird durch die Kamera eines Smartphones oder Tablets ein Marker (z.B. eine Abbildung in einem Lernmaterial) erfasst und ein vordefiniertes dreidimensionales Objekt über dem jeweiligen Marker auf dem Bildschirm dargestellt.

Per Fingerbewegung lassen sich die Objekte in ihrer Darstellungsgröße variieren und frei im Raum rotieren. Ebenso können Animationen eingebunden werden.

Empirische Untersuchungen über die Potentiale von AR im Bildungskontext belegen eine Steigerung des Lernerfolges, einhergehend mit einem tieferen Verständnis des Lerninhaltes (Lindgen & Moshell, 2011; Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018). Ebenso konnten Lernende Lerninhalte nach AR-Nutzung länger abrufen als Vergleichsgruppen (Vincenzi et al., 2003). Studien zeigen weiterhin, das räumliche Vorstellungsvermögen mittels AR fördern zu können (Lindgen & Moshell, 2011; Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018). Ebenso wurde eine Steigerung der Lernmotivation durch die AR-Nutzung sichtbar (Martin et al., 2012).

Forschungsfragen und Design im Gesamtprojekt

Bisher ist wenig über die Wirkungen des Einsatzes von AR im Kontext der Chemie bekannt. Daher sollen im Rahmen dieses Projekts folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

FF1: Wirken sich AR-unterstützte Lernmaterialien zur organischen Chemie im Vergleich zu klassischem Text-Bild-Lernmaterial förderlich auf den Lernzuwachs von Chemiestudierenden aus?

FF2: Wird eine lernförderliche Wirkung (siehe FF1) durch die Fähigkeit des mentalen Rotierens von Lernenden moderiert?

FF3: Führt die Nutzung von AR-unterstützten Lernmaterialien zur organischen Chemie im Vergleich zu klassischem Text-Bild-Lernmaterial zu geringerer kognitiver Belastung beim Lernen?

FF4: Führt die Nutzung von AR-unterstützten Lernmaterialien zur organischen Chemie im Vergleich zu klassischem Text-Bild-Lernmaterial zu höherem situationalen Interesse bei Studierenden?

Zur Beantwortung dieser Forschungsfragen werden zwei Interventionsstudien durchgeführt. Eine erste Erhebung ist inhaltlich und zeitlich in die Vorlesung Organische Chemie II an der Universität Duisburg-Essen eingebunden, an der rund 60 Studierende im dritten Fachsemester teilnehmen. Mittels eines Prä-Tests werden zu Beginn des Semesters demografische Daten, zwei Skalen des kognitiven Fähigkeitstests, 12 Items zur Fähigkeit des mentalen Rotierens sowie das Fachwissen erhoben. Das Fachwissen wurde hierbei über eine allgemeine Skala zur organischen Chemie sowie mit trainingsspezifischen Items zu den Inhalten der Stereochemie, Carbonylverbindungen und pericyclischen Reaktionen erhoben.

An drei Terminen werden über das Semester verteilt Interventionen im Experimental-Kontrollgruppen-Design durchgeführt. Zu den drei genannten Inhalten wurden Text-Bild-Lernmaterialien entwickelt, die sich an gängigen Hochschullehrbüchern zur organischen Chemie orientieren (insb. Schmuck, 2018). Die Studierenden beider Gruppen bearbeiten während der Interventionstermine ca. 60 Minuten lang das jeweils inhaltlich identische Lernmaterial in Einzelarbeit. Die Experimentalgruppe nutzt zusätzlich AR mittels der eigenentwickelten App *ARC* (Habig, 2019) auf einem iPad. Über die Kamera des iPads werden ausgewählte zweidimensionale Abbildungen aus dem Lernmaterial eingelesen und dreidimensional dargestellt bzw. animiert. Für das Thema der Stereochemie sind beispielsweise 22 Abbildungen AR-fähig, von denen 14 Modelle per Fingerbewegung auf dem Display manipuliert werden können. Bei weiteren 8 Modellen handelt es sich um dreidimensionale Animationen.

Im Anschluss an die Bearbeitungsphase ist ein 30-minütiger Posttest für beide Gruppen vorgesehen. Neben den 15 Fachwissensfragen aus dem Prä-Test zum jeweiligen Inhalt der Interventionssitzung sind Fragen zur kognitiven Belastung bei der Bearbeitung des Lernmaterials (nach Klepsch, 2017) und dem situationalen Interesse enthalten (Rheinberg et al., 2001). Die Experimentalgruppe wird außerdem mittels eines Fragebogens von Brooke (1996) zur Benutzerfreundlichkeit der App *ARC* befragt.

Vorstudie

Vor der Durchführung des oben dargestellten Forschungsvorhabens wurde eine explorative Machbarkeitsstudie mit $N=22$ Chemielehramtsstudierenden (11 männlich; 11 weiblich) des zweiten Fachsemesters durchgeführt. Hierbei wurde das Ziel verfolgt, technische Verbesserungspotentiale im Instruktionsdesign und der AR zu identifizieren sowie die kognitive Belastung bei der AR-Nutzung zu erheben. Zunächst wurde die Fähigkeit des mentalen Rotierens mit dem *Purdue Visualization of Rotations Test* (Bodner & Guay, 1997) erhoben. Im Rahmen einer rund 60-minütigen Bearbeitungsphase bearbeiteten die Studierenden ein AR-fähiges Lernmaterial zum Fachinhalt der nucleophilen Substitutionsreaktionen. Hierbei konnten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer mittels der App *ARC* auf dem bereitgestellten iPad insgesamt 24 Abbildungen im Lernmaterial (davon 10 als Animationen) dreidimensional betrachten. Nach der Bearbeitung wurde die kognitive Belastung beim Bearbeiten auf einer 6-stufigen Likert-Skala (nach Klepsch, 2017) und die Benutzerfreundlichkeit (nach Brooke, 1996) der App *ARC* auf einer 5-stufigen Likert-Skala erhoben. Abschließend wurden alle Studierenden in leitfadengestützten Einzelinterviews über ihr Nutzungsverhalten oder mögliche Verbesserungspotentiale der AR befragt.

Ergebnisse der Vorstudie

Zu Beginn der Auswertung wurde eine Reliabilitätsanalyse der Skalen der kognitiven Belastung und des System Usability Scales durchgeführt. Die Items für die intrinsische Belastung weisen mit einem $\alpha_{\text{Cronbach}} = .886$ eine gute und die Items für die extrinsische Belastung mit $\alpha_{\text{Cronbach}} = .789$ eine akzeptable Reliabilität auf. Die Reliabilität der Skala zum germane load ist mit $\alpha_{\text{Cronbach}} = .418$ niedrig. Die System Usability Scale weist mit $\alpha_{\text{Cronbach}} = .919$ eine exzellente Reliabilität auf.

Auf einer Skala von 1-6 wurde die intrinsische Belastung mit $M = 3,29$ als mittelmäßig angegeben. Der geringste Anteil kognitiver Belastung entfällt mit $M = 2,05$ auf die extrinsische Belastung. Mit $M = 5,23$ entfällt der höchste Anteil der hier gemessenen kognitiven Belastung auf den germane load.



Abbildung 1: Benutzerfreundlichkeit

Über die 10 Items des System Usability Scales lässt sich für jeden Teilnehmenden ein sog. Usability Score berechnen [Skala: 0, niedrig – 100, hoch]. Im Mittel der 22 Teilnehmenden wurde ein Usability Score von $M = 82,69$ ermittelt. Abhängig von der Ausprägung des Usability-Scores, lässt sich dieser kategorisieren. Abbildung 2 gibt einen Überblick über die Häufigkeiten der erreichten Usability-Scores.

Diskussion und Ausblick

Die Ergebnisse der Vorstudie zeigen auf, dass der Fachinhalt der nucleophilen Substitutionsreaktionen von den Teilnehmenden als mittelmäßig schwer eingeschätzt wurde (intrinsische Belastung). Die Angaben der geringen extrinsischen Belastung deuten an, dass es gelungen ist, ein AR-basiertes Instruktionsdesign zu entwickeln, das nur eine geringe extrinsische Belastung hervorruft. Dieser Eindruck wird durch die erhobene Benutzerfreundlichkeit der verwendeten App *ARC* bestätigt. Die Aussagekraft der Ergebnisse ist durch die geringe Probandenzahl limitiert. Dennoch erscheint AR als eine potentialträchtige Erweiterungsmöglichkeit für Instruktionsdesigns der organischen Chemie. Diesen Eindruck empirisch zu validieren und basierend auf den aufgeworfenen Forschungsfragen detailliert zu untersuchen ist Gegenstand der oben beschriebenen Interventionsstudien.

Literatur

- Ainsworth S. (2006). DeFT: a conceptual framework for considering learning with multiple representations. In: *Learning and Instruction*, 16(3). S. 183-198.
- Bodner, G. M. & Guay, R. B. (1997). The Purdue visualization of rotations test. *The Chemical Educator*, 2(4), 1–17.
- Brooke J. (1996). SUS-A quick and dirty usability scale. *Usability Eval Ind.* 1996;189(4).
- Habig, S. (2019). Augmented Reality Chemistry–Förderung interner Modellrepräsentation in Organischer Chemie durch AR. In *Proceedings of DELFI Workshops 2019*. Gesellschaft für Informatik e.V..
- Herber, E. (2012). Augmented Reality - Auseinandersetzung mit realen Lernwelten In: *Zeitschrift für E-Learning*, Themenheft 03/2012.
- Ibáñez, M.B. & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented Reality for STEM learning: A systematic review. In: *Computer and Education*, 123 (2018). S. 109-123.
- Klepsch, M., Schmitz, F., & Seufert, T. (2017). Development and Validation of two Instruments Measuring Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. In: *Frontiers in Psychology*. 8.
- Lindgren, R. & Moshell, J.M. (2011). Supporting children's learning with body-based metaphors in a mixed reality environment. In: *Proceedings of the 10th int. Conference on Interaction Design and Children*. ACM-Press 2011.
- Martín, S., Díaz, G., Cáceres, M., Gago, D., & Gilbert, M. (2012). A mobile augmented Reality Gymkhana for improving technological skills and history Learning: Outcomes and some Determining Factors. In Bastiaens, T. & Marks, G. (Eds.) *Proceedings of World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare and Higher Education 2012*. S. 260-265.
- Paivio, A. (1990). *Mental representations: A dual coding approach*: Oxford University Press.
- Rau, M. A. (2017). Conditions for the Effectiveness of Multiple Visual Representations in Enhancing STEM Learning. *Educational Psychology Review*, 29(4), 717–761.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R., & Burns, B.D. (2001). Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen. Universität Potsdam.
- Schmuck, C. (2018). *Basisbuch Organische Chemie*. Hallbergmoos: Pearson-Deutschland.
- Schnotz, W. & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Interest in Learning, Learning to Be Interested*, 13(2), 141–156.
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory*. New-York City: Springer-Verlag.
- Vincenzi, D.A., et. al. (2003). The effectiveness of cognitive elaboration using AR as a training and learning paradigm. In: *Annual meeting of the human factors and ergonomics society*, Denver, USA. p. 2054-2058.