

Augmented Reality Chemistry – Supporting Internal Model Representation in Organic Chemistry by Using AR

Sebastian Habig¹

Abstract: This article introduces the app "ARC-Augmented Reality Chemistry". The application was developed to support chemistry students in the acquisition of complex chemical content that places high demands on spatial imagination. Based on cognitive-psychological theories on multimedia learning, potentially positive effects of AR are derived, whereupon the objectives associated with the application are explained. By choosing a trackerbased AR approach, it is possible to integrate three-dimensional (molecular) structures and animations into conventional text-based information presentation. The results of a first evaluation study already indicate a potential added value of the application, although concrete questions regarding conditions for success will be clarified in the future. The paper concludes with recommendations for use and an outlook that also includes the transfer of the application to other disciplines.

Keywords: augmented reality, multimedia chemistry learning, spatial ability

¹ Universität Duisburg-Essen, Fakultät für Chemie, sebastian.habig@uni-due.de

Augmented Reality Chemistry – Förderung internaler Modellrepräsentation in Organischer Chemie durch AR

Sebastian Habig²

Abstract: Der Beitrag stellt die App “ARC-Augmented Reality Chemistry” vor. Die Anwendung wurde entwickelt, um Chemiestudierende bei der Aneignung komplexer fachlicher Inhalte zu unterstützen, die hohe Anforderungen an das räumliche Vorstellungsvermögen stellen. Ausgehend von kognitionspsychologischen Theorien zum multimedialen Lernen werden potentiell positive Effekte von AR abgeleitet, woraufhin die mit der Anwendung verbundene Zielsetzung erläutert wird. Durch die Wahl eines trackerbasierten AR Ansatzes ist es möglich, dreidimensionale (Molekül-)Strukturen und Animationen in konventionelle textbasierte Informationspräsentation zu integrieren. Ergebnisse einer ersten Evaluationsstudie deuten bereits auf einen potentiellen Mehrwert der Anwendung hin, wenngleich konkrete Fragen zu Gelingensbedingungen zukünftig noch geklärt werden. Der Beitrag schließt mit Einsatzempfehlungen und einem Ausblick, der auch den Transfer der Anwendung auf andere Fachbereiche einschließt.

Keywords: Augmented Reality, Multimediales Chemielernen, Räumliches Vorstellen

1 Einleitung

In allen naturwissenschaftlichen Disziplinen werden Repräsentationen unterschiedlichster Art genutzt, um fachliche Konzepte zu veranschaulichen. Jedes Fach besitzt dabei eigene Regeln und Konventionen zur Interpretation von und zum Umgang mit Repräsentationen. Insbesondere im Fach Chemie gibt es eine große Vielfalt von unterschiedlichen Repräsentationsformen, mit deren Einsatz verschiedenste Zielsetzungen verbunden sind. So werden beispielsweise Keilstrichabbildungen verwendet, um Bindungsverhältnisse in chemischen Strukturen zu repräsentieren, oder Atom- bzw. Molekülorbitale, um die Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Elektronen sowohl mathematisch als auch grafisch darzustellen. Auch Elementsymbole und Reaktionsgleichungen sind Beispiele für fachbezogene Repräsentation, ohne die das Lernen von Chemie nicht vorstellbar ist [HL91].

Dass Lernende fachbezogene Repräsentationen jedoch ohne Weiteres nachvollziehen und verstehen können, kann nicht vorausgesetzt werden. Vielmehr fällt es vielen Lernenden schwer, lernprozessrelevante Informationen aus diesen zu extrahieren und in ihren Lernprozess zu integrieren [z.B. OS14]. Muss beispielsweise aus einer zweidimensionalen Abbildung ein dreidimensionales mentales Modell konstruiert werden, stellt dies viele Lernende zusätzlich zum eigentlichen Lerninhalt vor hohe kognitive Anforderungen, die

² Universität Duisburg-Essen, Fakultät für Chemie, sebastian.habig@uni-due.de

in Summe zu kognitiver Überlastung führen können [WS14].

In diesem Beitrag wird die Anwendung „ARC-Augmented Reality Chemistry“ präsentiert, die Lernende bei der Übersetzung von externalen in internale mentale Modelle unterstützen soll. Die Anwendung ermöglicht das Einbinden von dreidimensionalen Repräsentationen in klassische textbasierte Instruktions- oder Testmaterialien. Basierend auf kognitionspsychologischen Theorien zum multimedialen Lernen [Ma09][SB03] lässt sich annehmen, dass diese Form der Visualisierung Lernende dabei entlasten kann, räumliche Informationen aus Repräsentationen zu selektieren und zu organisieren, wodurch insgesamt mehr kognitive Kapazitäten für das eigentliche Lernen zur Verfügung stehen.

2 Theoretischer Rahmen

Der Umgang mit Repräsentationen ist nicht nur für Expertinnen und Experten unerlässlich, um fachspezifische Probleme zu lösen. Ebenso sind diese zentraler Bestandteil der naturwissenschaftlichen Ausbildung von Schülerinnen und Schülern bzw. Studentinnen und Studenten und die Fähigkeit, unterschiedliche Repräsentationsformen kognitiv zu verarbeiten, ist essentiell für die Aneignung neuer fachlicher Inhalte und Konzepte [WK06] [WS04] [Ya03]. Repräsentationen, die im Rahmen von Lernmaterialien, zum Beispiel in Lehrbüchern, eingesetzt werden, werden als *externale Repräsentationen* bezeichnet.

Aus kognitionspsychologischer Sicht ist es sinnvoll, textlich-verbale und visuell-bildhafte Informationen gemeinsam zu präsentieren. Die positiven Effekte dieser gemeinsamen Informationsdarbietung lassen sich mit Hilfe der kognitiven Theorie des multimedialen Lernens [Ma09] und des integrierten Modells des Text- und Bildverstehens [SB03] erklären. Beide Theorien basieren auf der Annahme eines kapazitiv beschränkten Arbeitsgedächtnisses. Darüber hinaus wird auf Grundlage der *Dual-Coding Theorie* [Pa90] von zwei Informationsverarbeitungskanälen ausgegangen. Je nach Repräsentationsform der zu verarbeitenden Informationen werden diese entweder im textlich-verbale oder im visuell-piktoriale Kanal verarbeitet. Gemäß dem integrierten Modell des Text- und Bildverstehens steht am Ende der textbezogenen Informationsverarbeitung ein propositionales Netzwerk, in dem die wesentlichen Informationen des Texts integriert sind. Wird die visuelle Informationsverarbeitung komplett durchlaufen, steht an deren Ende eine internale Repräsentation oder auch ein *mentales Modell* der piktoriale Information. Anschließend kann unter Einbezug von fachlichem Vorwissen ein Abgleich zwischen propositionalem System und mentalem Modell stattfinden, der zu vertieftem Verständnis des Lerngegenstands führen kann. Insbesondere Novizen einer Fachdomäne können diese Informationsverarbeitungsprozesse allerdings häufig nicht komplett durchlaufen.

Damit Lernende allerdings von externalen Repräsentationen profitieren und adäquate mentale Modelle generieren können, benötigen sie eine gewisse Repräsentationskompetenz, die nicht ohne Weiteres vorausgesetzt werden kann [Gi08].

Auf der einen Seite wird von Lernenden erwartet, fachbezogene externe Repräsentation zu nutzen, um neue Inhalte zu erlernen. Auf der anderen Seite müssen Lernende aber auch die Fähigkeit besitzen, entsprechende Repräsentation korrekt zu deuten und deren Informationen zu extrahieren und zu organisieren. Die Fragestellung, wie Schülerinnen und Schüler bzw. Studentinnen und Studenten mit Repräsentationen lernen sollen, ohne zu wissen, wie sie mit diesen umzugehen haben, wird in der Literatur unter dem Stichwort des „*representation dilemma*“ diskutiert [Ra17]. Diese Problematik verschärft sich weiter, wenn die Effekte des allgemein kognitiven räumlichen Vorstellungsvermögens betrachtet werden. Korrelationsstudien zeigen, dass Lernende mit geringen Fähigkeiten hinsichtlich verschiedenster Aspekte des räumlichen Vorstellens, wie beispielsweise der Fähigkeit, Objekte mental im dreidimensionalen Raum zu drehen, generell größere Schwierigkeiten haben, fachspezifische Probleme zu lösen. Dies gilt selbst dann, wenn es um Fragestellungen geht, die räumliche Aspekte nicht direkt thematisieren [WS14]. Es gelingt diesen Lernenden nicht, ein mentales Modell von externalen Repräsentationen zu erstellen. Muss zum Beispiel ein zweidimensionales Modell mental in ein dreidimensionales Modell überführt werden, stellt dies Lernende vor hohe kognitive Anforderungen. Wird dies im Rahmen des Erlernens neuer Inhalte gefordert, kann es zu kognitiver Überlastung kommen [UNS09] [WS04]. Dementsprechend helfen visuelle Repräsentationen gerade denjenigen Lernenden, die bereits über hohe Fähigkeiten hinsichtlich des räumlichen Vorstellungsvermögens verfügen [Gy02].

3 Zielsetzung

Im Rahmen des Projekts wird das übergeordnete Ziel verfolgt, Lernenden eine Anwendung bereitzustellen, die sie bei der Aneignung anspruchsvoller chemischer Fachinhalte, die hohe Anforderungen an das räumliche Vorstellungsvermögen stellen, zu unterstützen. Dabei ist wichtig, dass die Anwendung komplementär zu konventionellen Medien (z.B. Lehrbuch) genutzt werden kann, um dreidimensionale Informationen adäquat und in räumlicher Nähe zu textlicher Information darzustellen. Abgeleitet aus den dargestellten Theorien zum multimedialen Lernen sind durch derartige Instruktionsmaterialien positive Lerneffekte zu erwarten.

Neben der reinen Entwicklung einer solchen Anwendung steht die Überprüfung ihrer Wirksamkeit im Vordergrund des Projekts. Für eine erste Evaluation wurde untersucht, ob Chemiestudierende AR Repräsentationen nutzen können, um fachspezifische Aufgaben zu lösen. Dabei geht es primär darum, zu vergleichen, ob AR-basierte Aufgaben häufiger korrekt gelöst werden als Aufgaben mit eher klassischen zweidimensionalen Visualisierungen.

4 Darstellung der Lernumgebung

Die Anwendung „ARC – Augmented Reality Chemistry“ ist für die Nutzung auf mobilen Endgeräten (z.B. Smartphones oder Tablets, Android und iOS) konzipiert worden. Die

konkrete Entwicklung der App erfolgte mithilfe der Software Unity und der Vuforia-Engine, wobei ein trackerbasierter Ansatz [z.B. Pe10] gewählt wurde. Die App nutzt individualisierte AR-Tracker (zweidimensionale Abbildungen) zur Projektion definierter dreidimensionaler Modelle. Identifiziert das Programm mithilfe der Kamerafunktion des Endgeräts einen entsprechenden Tracker, der zum Beispiel in einem Lehrbuch abgedruckt ist, zeigt es an der Stelle des erkannten Trackers ein zuvor definiertes dreidimensionales AR-Modell an, mit dem mittels üblicher Gestensteuerung interagiert werden kann. Abbildung 1 zeigt beispielhaft den Umgang mit der Anwendung.



Abb. 1: Anwendung der App

Mithilfe der App ist es nicht nur möglich, statische 3D-Modelle und animierte Sequenzen zu präsentieren. Ebenso kann, gesteuert durch den Benutzer bzw. die Benutzerin, durch die Interaktion mehrerer Tracker nachempfunden werden, in welcher räumlichen Ausrichtung molekulare Strukturen vorliegen müssen, sodass es zu chemischen Reaktionen kommt (bspw. Orbitalüberlappung beim Rückseitenangriff einer elektrophilen Substitution zweiter Ordnung).

5 Methodik und ausgewählte Ergebnisse

Im Rahmen einer ersten Evaluationsstudie wurde untersucht, ob Chemiestudierende Repräsentationen nutzen können, um fachspezifische Aufgaben zu lösen. Ein Überblick über die gesamte Studie findet sich bei [Ha19]. Primär geht es darum zu vergleichen, ob AR-basierte Aufgaben häufiger korrekt gelöst werden als vergleichbare Aufgaben mit eher klassischen zweidimensionalen Visualisierungen. Hierzu wurde ein fachspezifischer Test entwickelt, der in seiner finalen Version 14 Items zur Stereoisomerie von organischen Verbindungen enthält. Dieser fachliche Inhalt wurde gewählt, da er mit hohen Anforderungen an das räumliche Vorstellungsvermögen einhergeht. Für je die Hälfte der Items wurden zweidimensionale Kugel-Stab-Abbildungen bzw. dreidimensionale AR-Modelle verwendet und alle Aufgaben wurden im multiple-choice-single-select Format erstellt. Der Test wurde von 31 (16 weiblichen, 15 männlichen) Chemiestudierenden der Universität Duisburg-Essen im Sommersemester 2018 bearbeitet. Für die Analyse wurden die Testscores für beide Aufgabentypen im Rahmen einer Varianzanalyse für abhängige

Stichproben (ANOVA) verglichen. Zunächst zeigen sich keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Lösungshäufigkeit beider Testteile ($F(1, 29) < 1, p = .59$). Wird jedoch die Variable Geschlecht als fester Faktor in das Modell miteinbezogen, zeigt sich ein differentieller Geschlechtereffekt hinsichtlich der Lösungshäufigkeit. Während Studentinnen im Mittel mehr Punkte durch Aufgaben erzielen, denen zweidimensionale Abbildungen zugrunde liegen, lösen Studenten allerdings diejenigen Aufgaben mit AR-Visualisierungen häufiger ($F(1, 28) = 6.375, p = .018, d = .95$)(Abb. 2).

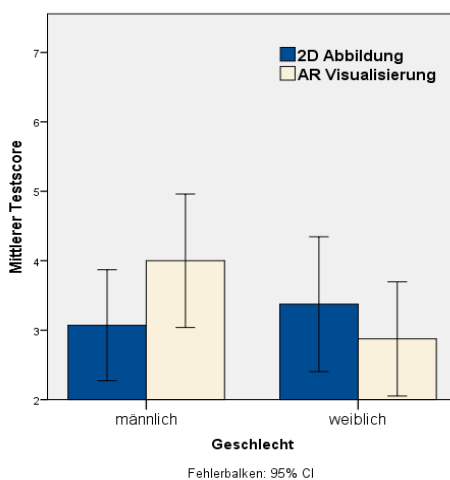


Abb. 2 Mittlere Summenscores für beide Aufgabentypen getrennt nach Geschlecht

6 Diskussion

Die in diesem Beitrag vorgestellte empirische Untersuchung hat zum Ziel, zu vergleichen, ob Chemiestudierende chemiespezifische, AR-basierte Aufgaben häufiger korrekt lösen als vergleichbare Aufgaben mit zweidimensionalen Repräsentationen. Die dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die männlichen Probanden dieser Studie die Aufgaben mit AR-Repräsentationen deutlich häufiger korrekt lösen konnten als die Aufgaben mit „klassischen“ Kugel-Stab-Abbildungen. Für die weiblichen Probandinnen zeigt sich ein umgekehrtes Bild. Sie konnten die AR-Repräsentationen scheinbar nicht nutzen und lösten häufiger diejenigen Aufgaben korrekt, denen 2D-Abbildungen zugrunde liegen. Die Ergebnisse legen nahe, dass AR-Repräsentationen zunächst nur für männliche Probanden förderlich zu sein scheinen und werfen gleichsam die Frage nach möglichen Gründen auf. Wieso gelingt es Studenten scheinbar besser, die AR-Repräsentationen so zu nutzen, dass sie zu einer korrekten Lösung der entsprechenden Aufgabe führen? Ein möglicher Erklärungsansatz ist, dass die Teilnehmerinnen und Teilnehmer im Zuge der Aufgaben

textbasierte Informationen (Prioritäten der Substituenten) und Informationen der AR-Modelle miteinander kombinieren mussten. Diese kognitive Leistung ist insbesondere für Probandinnen und Probanden mit gering ausgeprägtem räumlichem Vorstellungsvermögen schwer zu erbringen und erfordert hohen kognitiven Aufwand [vBKJ02].

Es erfordert demnach weitere Forschung zu der Frage, wie AR-Repräsentationen optimal in Instruktionsmaterial eingebettet werden können. Möglicherweise müssen Studierende auch zunächst im Umgang mit dieser Visualisierungsform trainiert werden, um ihre Vorteile nutzen zu können. Insbesondere für den Einsatz von AR-Visualisierungen im Rahmen von Lernmaterialien wäre es vor dem Hintergrund der Ergebnisse lohnenswert, mehr darüber zu erfahren, wie Studierende AR-Repräsentationen in ihren Informationsverarbeitungsprozess integrieren und welche Unterschiede es diesbezüglich zwischen Studentinnen und Studenten gibt.

7 Ausblick und Einsatzempfehlungen

Die Ergebnisse der ersten Evaluationsstudie deuten darauf hin, dass die entwickelte App Studierende beim Umgang mit entsprechenden Aufgaben unterstützen kann. Aufgrund des berichteten Geschlechterunterschieds stellt sich allerdings die Frage, welche Faktoren auf Seite der Lernenden dazu beitragen, dass die App produktiv genutzt werden kann. Diese und weitere Fragen werden zukünftig im Rahmen eines DFG geförderten Projekts untersucht.

Obwohl die Anwendung bisher Fachinhalte der organischen Chemie unterstützt, ist eine Ausweitung auf andere Fächer und Anwendungsbezüge denkbar und angedacht. Zukünftig werden textbasierte Lernmaterialien auf einer Onlineplattform kostenfrei bereitgestellt, die durch die App unterstützt werden. Angedacht ist auch die Konzeption einer Fortbildung, sodass Lehrende selbst eigene Inhalte entwickeln können.

8 Literatur

- [Gi08] Gilbert, J. K.: Visualization: An emergent field of practice and enquiry in science education. In *Visualization: Theory and practice in science education*, Springer, pp. 3-24, 2008.
- [Gy02] Gyselinck, V. et al.: Visuospatial memory and phonological loop in learning from multimedia. *Applied Cognitive Psychology*, 16(6), 665–685, 2002.
- [Ha19] Habig, S.: Der Einsatz von Augmented Reality in der Organischen Chemie. In: C. Maurer (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2018, S. 620-623, Universität Regensburg, 2019.
- [HL91] Hoffmann, R., & Laszlo, R.: Representation in chemistry. *Angewandte Chemie*, 30, 1–

- 16, 1991.
- [Ma09] Mayer, R. E.: *Multimedia learning* (2. Aufl.). Cambridge, New York: Cambridge University Press, 2009.
- [OS14] Oliver-Hoyo, M., & Sloan, C.: The development of a Visual-Perceptual Chemistry Specific (VPCS) assessment tool. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(8), 963–981, 2014.
- [Pa90] Paivio, A.: *Mental representations: A dual coding approach*: Oxford University Press, 1990.
- [Pe10] Pence, H. E.: Smartphones, smart objects, and augmented reality. *The Reference Librarian*, 52(1-2), 136–145, 2010.
- [Ra17] Rau, M. A.: Conditions for the Effectiveness of Multiple Visual Representations in Enhancing STEM Learning. *Educational Psychology Review*, 29(4), 717–761, 2017.
- [SB03] Schnotz, W., & Bannert, M.: Construction and interference in learning from multiple representation. *Interest in Learning, Learning to Be Interested*, 13(2), 141–156, 2003.
- [UNS09] Urhahne, D., Nick, S., & Schanze, S.: The Effect of Three-Dimensional Simulations on the Understanding of Chemical Structures and Their Properties. *Research in Science Education*, 39(4), 495–513, 2009.
- [vBKJ02] van Bruggen, J.M., Kirschner, P.A., & Jochems, W. (2002). External representation of argumentation in CSCL and the management of cognitive load. *Interest in Learning, Learning to Be Interested*, 12(1), 121–138. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(01\)00019-6](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(01)00019-6)
- [WK06] Wu, H.-K., & Krajcik, J. S.: Inscriptional practices in two inquiry-based classrooms: A case study of seventh graders' use of data tables and graphs. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(1), 63–95, 2006.
- [WS04] Wu, H.-K., & Shah, P.: Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, 88(3), 465–492, 2004.
- [Ya03] Yang, E.-M. et al.: Spatial ability and the impact of visualization/animation on learning electrochemistry. *International Journal of Science Education*, 25(3), 329–349, 2003.