

Veronika Bille¹
 Stefan Rumann¹
 Julian Roelle²
 Maria Opfermann²

¹Universität Duisburg-Essen
²Ruhruniversität Bochum

Förderung des ikonischen Modellverständnisses in Chemie

Theoretischer Hintergrund

Die Darstellung chemischer Konzepte mit Hilfe von Visualisierungen ist ein unverzichtbares Element in der Lehre von Chemiestudiengängen, da hierdurch abstrakte Fachinhalte greifbarer gemacht werden können. Im Allgemeinen ist die Behandlung von Fachinhalten innerhalb der Naturwissenschaften ohne Abbildungen kaum realisierbar (Gilbert, 2007). Die Chemie kann demnach als „visuelle Wissenschaft“ bezeichnet werden (Hoffmann & Laszlo, 1991; Wu & Shah, 2004). Dies umfasst vielfältige externe Repräsentationsformen, wie z.B. Gleichungssysteme und Atom- oder Molekülmodelle. Zur erfolgreichen Bewältigung dieser Inhalte ist demnach ein gewisses Maß an visuellem Modellverständnis erforderlich. Das visuelle Modellverständnis beschreibt hierbei die „Fähigkeit von Lernenden, unter der Berücksichtigung von domänenspezifischen Eigenheiten, relevante Informationen aus den unterschiedlichen Visualisierungen herauszufiltern, zu übersetzen und aufeinander zu beziehen“ (Dickmann et al., 2019).

Visualisierungen bzw. Repräsentationen lassen sich im Allgemeinen zwischen ikonischen und symbolisch-mathematischen Repräsentationen unterscheiden (vgl. z. B. Schnotz, 2005). Ikonische Repräsentationen besitzen einen strukturellen Abbildungscharakter ihres Referenzobjektes oder einer Theorie. In der Chemie handelt es sich dabei zum Beispiel um Visualisierungen mehrdimensionaler Atom- oder Molekülmodelle. Dabei kann beispielsweise die räumliche Struktur eines Moleküls unter Vernachlässigung anderer Eigenschaften wiedergegeben werden. Ein Beispiel für eine ikonische Visualisierung ist das Kugelstabmodell von Dibrombutan (siehe Abb. 1). In der folgenden Abbildung werden nicht nur die räumliche Anordnung sowie die Bindungsverhältnisse des Moleküls wiedergegeben, sondern auch die Rotation um die Einfachbindung dargestellt. Es handelt sich bei beiden Abbildungen um das identische Molekül. Gerade Studienanfänger*innen haben Schwierigkeiten, Verbindungen auseinanderzuhalten, die sich nur durch ihre räumliche Anordnung unterscheiden - oder eben auch nicht.

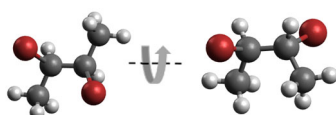


Abb. 1: Visualisierungen von (2R,3R)–Dibrombutan mit Rotation um die Einfachbindung.

Das Teilgebiet der Organischen Chemie weist einen besonders intensiven Gebrauch visueller Modelle auf, welches durch eine Lehrbuchanalyse gängiger Literatur in der Studieneingangsphase festgestellt werden konnte. (Dickmann et al., 2019). Des Weiteren konnte das visuelle Modellverständnis als Prädiktor für den Studienerfolg von Chemiestudierenden im ersten Studienjahr identifiziert werden (Dickmann et al., 2019). Als problematisch stellt sich hingegen heraus, dass viele Studierende Schwierigkeiten beim Umgang mit Visualisierungen haben (Wu, Krajcik, & Soloway, 2001). Besonders in der Eingangsphase von Chemiestudiengängen fehlt den Studierenden oft ein hinreichendes Verständnis mehrdimensionaler Strukturen. Das Erlernen einer visuellen Sprache kann

Studierenden helfen, einen Nutzen aus visuellen Repräsentationen zu ziehen um diesen fachwissenschaftliche Informationen entnehmen zu können.

Das sogenannte *Repräsentationsdilemma* (Rau, 2016) beschreibt die Problematik, dass Wissen aus Repräsentationen und Visualisierungen erworben werden soll, welches aber fachlich in sich noch nicht verstanden wurde. Bezogen auf das Lernen aus ikonischen Modellen bedeutet dies, dass Lernende Inhalte, die sie noch nicht hinreichend verstanden haben, aus mehrdimensionalen Visualisierungen lernen, mit deren Umgang sie noch nicht vertraut sind. Um dieses Dilemma zwischen erforderlichen Inhalten und fehlenden visuellen Fähigkeiten der Studierenden zu lösen, ergibt sich die Notwendigkeit, ikonisches Modellverständnis durch eine instruktionale Anleitung gezielt zu fördern. Besonders in frühen Lernphasen neuer Inhalte eignet sich dabei das Lernen mit Lösungsbeispielen (*worked examples principle*) (Renkl, 2014). Lösungsbeispiele können zum Aufbau kognitiver Schemata sowie zur Verbesserung von Problemlösefähigkeiten genutzt werden und konnten in der Chemie schon vielfach erfolgreich eingesetzt werden (Kölbach, 2011; Koenen, Kölbach, Emden & Sumfleth, 2014; Roelle, Hiller, Berthold & Rumann, 2017). Zunächst erfolgt eine allgemeine Einführung in die zu lernenden Prinzipien. Dabei können sowohl fachliche Konzepte, als auch eine „Leseanleitung“ für Visualisierungen (z. B. Identifikation relevanter Merkmale) präsentiert werden. Es folgen mehrere ausgearbeitete Beispiele, in denen die Lerninhalte erklärt und mit einer zugehörigen Expertenlösung dargestellt werden. Besonders lernförderlich ist die schrittweise Reduzierung (*Fading*) der Erklärungen, um Lernenden zu einem selbstständigeren Arbeiten zu animieren und Problemlösen zu ermöglichen (Eysink et al., 2009).

Forschungsfragen

Vor diesem Hintergrund soll in einem Experiment das visuelle Modellverständnis von Studierenden im ikonischen Bereich durch den Einsatz eines Trainings mit beispielbasierten Selbstlernmaterialien verbessert werden. Des Weiteren soll geprüft werden, ob ein entsprechendes Training ebenfalls die Leistungen der Studierenden im Fach Organische Chemie verbessern kann.

FF1: Lässt sich das ikonische Modellverständnis mit Hilfe eines beispielbasierten Trainings fördern?

FF2: Führt die Förderung des ikonischen Modellverständnisses zu einem langfristigen Studienerfolg in der Organischen Chemie?

Studiendesign

Als Stichprobe diente die Kohorte des zweiten Fachsemesters der Chemie- und Water-Science-Studierenden an der Universität Duisburg-Essen im Sommersemester 2020 (N = 60). Das Projekt ist eine Kooperation mit einer parallelen Studie zur Förderung des symbolisch-mathematischen Modellverständnisses, welches zeitgleich stattfand.

Die genannte Forschungsfragen wurde im Rahmen einer Interventionsstudie untersucht. Für das Experiment wurden computergestützte Trainingseinheiten mit einem zeitlichen Umfang von 90 Minuten entwickelt. Zur Steigerung der ökologischen Validität erfolgte der Einsatz der Trainingseinheiten im Rahmen einer kreditierten Wahlpflichtveranstaltung in fünf aufeinanderfolgenden Sitzungen, welche im Anschluss evaluiert wurden. Beispielbasierte Lernaufgaben waren Bestandteil des Trainings und skizzieren schrittweise einzelne Lösungsschritte eines chemischen Problems. Studierende erhielten zunächst einen Informationstext in welchem neue Lerninhalte und Visualisierungsformen vorgestellt wurden. Darauf folgten ausgearbeitete Beispiele mit Lösungsansätzen, welche im Verlauf des Trainings immer weniger ausgearbeitet waren. Des Weiteren wurde der Einfluss der Trainings

auf den Studienerfolg mit Hilfe eines standardisierten Fachwissenstests erhoben. Die konkrete Effektivität des Trainings wurde durch ein eigens entwickeltes Diagnoseinstrument zur Erfassung des ikonischen Modellverständnisses überprüft. Im Rahmen des Experiments wurden die Studierenden den verschiedenen Bedingungen randomisiert zugewiesen (siehe Tabelle 1). Die Interventionsgruppe (n=30) erhielt das Training zur Förderung des ikonischen Modellverständnisses. Die Kontrollgruppe (n=30) erhielt ein Training des Kooperationsprojektes im Inhaltsbereich der physikalischen Chemie. Aus Gründen der Testfairness wie auch, um eventuelle Reihenfolgeeffekte innerhalb der Lehre auszumachen, wurden die Bedingungen für die Studierenden im Rahmen eines Switching-Replication-Designs nach einem Durchgang zur Hälfte des Semesters getauscht.

Tabelle 1: Switching-Replications-Design

1. Semesterwoche	2.-6. Semesterwoche	7. Semesterwoche	8-12. Semesterwoche	13. Semesterwoche	Erhebung der Klausurnoten in der OC
Prä-Test Modellverständnistest Fachwissenstest OC Kontrollvariablen	Intervention Training: ikonisches Modellverständnis Gruppe I	Post-Test I Modellverständnistest Fachwissenstest OC Kontrollvariablen	Kontrollgruppe Training: symbolisch- mathematisches Modellverständnis Gruppe I	Post-Test II Modellverständnistest Fachwissenstest OC Kontrollvariablen	
	Kontrollgruppe Training: & symbolisch- mathematisches Modellverständnis Gruppe II		Intervention Training: ikonisches Modellverständnis Gruppe II		

Ergebnisse

Um den Einfluss des Trainings auf das ikonische Modellverständnis der Studierenden zu erfassen, wurden Varianzanalysen mit Messwiederholung über die drei Messzeitpunkte berechnet. Beide Gruppen (siehe Tabelle 1) weisen einen signifikanten Lernzuwachs über den Verlauf des Semesters auf (Gruppe I: $F(2,56) = 18.87, p < .001$; Gruppe II: $F(2,56) = 88.12, p < .001$). Die Leistung der Gruppen im Prä-Test unterscheidet sich nicht ($p = .621$). Ein t-Test für ungepaarte Stichproben ergibt zum zweiten Messpunkt einen signifikanten Unterschied der Messergebnisse zwischen den beiden Gruppen ($p < .001$). Zum dritten Messzeitpunkt lassen sich zwischen den Gruppen keine signifikanten Unterschiede mehr feststellen ($p = .163$).

Diskussion & Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass ein entsprechendes Training zu einem Zuwachs des ikonischen Modellverständnisses führen kann. Beide Gruppen haben über das Semester signifikant hinzugelehrt. Zum zweiten Messzeitpunkt (Post-Test I) hat die Gruppe I bereits das Training zur Förderung des ikonischen Modellverständnisses durchlaufen, wohingegen die entsprechende Kontrollgruppe noch nicht trainiert wurde. Hier zeigen sich signifikante Unterschiede in der Leistung der Studierenden. Vergleicht man diese Werte nun mit den Ergebnissen des dritten Messzeitpunktes (Post-Test II), so lassen sich keine Unterschiede mehr feststellen. Aussagen über die Wirksamkeit des Trainings auf den langfristigen Studienerfolg können erst zu einem späteren Zeitpunkt getätigt werden, da hierfür die Auswertung der Klausurnoten in der Organischen Chemie noch ausstehen.

Literatur

- Dickmann, T., Opfermann, M., Dammann, E., Lang, M., & Rumann, S. (2019). What you see is what you learn? The role of visual model comprehension for academic success in chemistry. *Chemistry Education Research and Practice, advance article*. <https://doi.org/10.1039/C9RP00016J>
- Eysink, T. H. S., Jong, T. de, Berthold, K., Kolloffel, B., Opfermann, M. & Wouters, P. (2009). Learner Performance in Multimedia Learning Arrangements: An Analysis Across Instructional Approaches. *American Educational Research Journal*, 46(4), 1107-1149.
- Gilbert, J. K., Reiner, M., & Nakhleh, M. (Eds.). (2007). *Visualization: Theory and practice in science education* (Vol. 3). Springer Science & Business Media.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: A case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. *Science Education*, 84(3), 352-381.
- Hoffmann, R., & Laszlo, R. (1991). Darstellungen in der Chemie - die Sprache der Chemiker. *Angewandte Chemie*, 103, 1-16
- Koenen, J., Kölbach, E., Emden, M. & Sumfleth, E. (2014). Lösungsbeispiele im Chemieunterricht: Entwicklung und Evaluation verschiedener Formen von Lösungsbeispielen. In B. Ralle (Hrsg.), *Lernaufgaben entwickeln, bearbeiten und überprüfen: Ergebnisse und Perspektiven der fachdidaktischen Forschung* (S. 139-148). Münster [u.a.]: Waxmann.
- Kölbach, A. (2011). *Kontexteinflüsse beim Lernen mit Lösungsbeispielen*. Berlin: Logos Verlag.
- Rau, M. A. (2017). Conditions for the effectiveness of multiple visual representations in enhancing STEM learning. *Educational Psychology Review*, 29(4), 717-761.
- Renkl, A. (2014). Toward an instructionally oriented theory of example-based learning. *Cognitive science*, 38(1), 1-37.
- Roelle, J., Hiller, S., Berthold, K. & Rumann, S. (2017). Example-based learning: The benefits of prompting organization before providing examples. *Learning and Instruction*, 49, 1-12. doi:10.1016/j.learninstruc.2016.11.012
- Schnotz, W. (2005). An integrated model of text and picture comprehension. In R.E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 49-69). Cambridge [u.a.]: Cambridge University Press.
- Wu, H. K. & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, 88, 465-492.
- Wu, H.-K., Krajcik, J. S. & Soloway, E. (2001). Promoting understanding of chemical representations. Students' use of a visualization tool in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 38 (7), 821-842.