

Veronika Bille<sup>1</sup>  
 Stefan Rumann<sup>1</sup>  
 Julian Roelle<sup>2</sup>  
 Maria Opfermann<sup>2</sup>  
 Carsten Schmuck<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universität Duisburg-Essen  
<sup>2</sup>Ruhr-Universität Bochum

## Förderung des ikonischen Modellverständnisses in Chemiestudiengängen

### Theoretischer Hintergrund

Der Umgang mit Visualisierungen stellt eine zentrale Anforderung in Chemiestudiengängen dar. So 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 Kugelstabmodelle. 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).

Will man nun solche Visualisierungen bzw. Repräsentationen genauer charakterisieren, kann im Allgemeinen zwischen ikonischen und symbolisch-mathematischen Repräsentationen unterschieden werden (vgl. z. B. Schnotz, 2005). Ikonische Repräsentationen besitzen einen strukturellen Abbildungscharakter ihres Referenzobjektes. In der Chemie handelt es sich dabei zum Beispiel um Visualisierungen von Atom- oder Molekülmodelle mit räumlicher Information. Dabei kann beispielsweise die räumliche Struktur eines Moleküls unter Vernachlässigung anderer Eigenschaften wiedergegeben werden. Ein Beispiel für eine ikonische Visualisierung ist das Kugelstabmodell von Cyclohexan (siehe Abb. 1). Die folgende Abbildung gibt nicht nur die räumliche Anordnung sowie die Bindungsverhältnisse des Moleküls wieder, sondern zeigt auch die unterschiedlichen Positionen der Substituenten im Raum, welche durch die sogenannte Ringinversion erreicht werden können. Im Gegensatz zu ikonischen Abbildungen weisen symbolisch-mathematische Repräsentationen keine strukturelle Ähnlichkeit zum Referenzobjekt auf, wie z.B. Tabellen, Diagramme und Gleichungen (oder z.B. das Wort „Reagenzglas“ im Vergleich zur Zeichnung eines Reagenzglases).

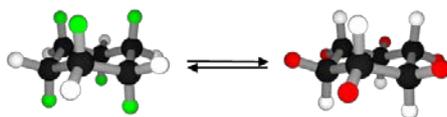


Abb. 1: Ringinversion von Cyclohexan mit markierten Substituenten in axialer (grün) und äquatorialer (rot) Position

Eine Lehrbuchanalyse gängiger Literatur in der Studieneingangsphase zeigt, dass in der Organischen Chemie besonders viele ikonische Abbildungen zur räumlich-strukturellen Darstellung von Molekülen verwendet werden (Dickmann et al., 2019). Zudem konnte das mit einem neu entwickelten Test erfasste visuelle Modellverständnis als Prädiktor für den Studienerfolg von Chemiestudierenden im ersten Studienjahr identifiziert werden (Dickmann et al., 2019). Dem gegenüber steht jedoch, dass viele Studierende Schwierigkeiten beim Umgang mit Visualisierungen haben (Wu, Krajcik, & Soloway, 2001). Vor allem in der Eingangsphase von Chemiestudiengängen fehlt den Studierenden oft ein hinreichendes

Verständnis dreidimensionaler Strukturen. Um aus visuellen Repräsentationen einen Nutzen ziehen zu können, müssen Lernende die Fähigkeit besitzen, fachwissenschaftliche Informationen aus den Visualisierungen zu „lesen“ und vorhandenes Wissen, bzw. das gerade im Text Gelesene, entsprechend mit den Visualisierungen zu verknüpfen. Hier liegt häufig ein sogenanntes *Repräsentationsdilemma* vor (Rau, 2016), welches den Umstand beschreibt, dass Wissen aus Repräsentationen und Visualisierungen erworben werden soll, welche aber in sich noch nicht verstanden werden. Im Hinblick auf das Lernen aus ikonischen Modellen bedeutet dies, dass Lernende Inhalte, die sie noch nicht hinreichend verstanden haben, aus mehrdimensionalen Visualisierungen lernen, mit denen 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 instruktionale Anleitung 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 ersten Experiment das visuelle Modellverständnis von Studierenden insbesondere im ikonischen Bereich durch den Einsatz eines Trainings mit beispielbasierten Selbstlernmaterialien verbessert werden. Des Weiteren soll ein zu diesem Zweck entwickeltes Testinstrument zur Evaluation des ikonischen Modellverständnisses auf seine Eignung geprüft werden.

*FF1: Ist das entwickelte Testinstrument zur Erfassung des ikonischen Modellverständnisses geeignet?*

*FF2: Lässt sich das ikonische Modellverständnis mit Hilfe eines beispielbasierten Trainings fördern?*

### **Studiendesign**

Als Stichprobe diente die Kohorte des zweiten Fachsemesters der Chemie- und Water-Science-Studierenden an der Universität Duisburg-Essen im Sommersemester 2019 (N = 44). Das Projekt ist eine Kooperation mit einer parallelen Studie zur Förderung des symbolisch-mathematischen Modellverständnisses, welches zeitgleich stattfand.

Die genannten Forschungsfragen wurden im Rahmen einer Experimentalstudie untersucht. Für das erste Experiment (SoSe 2019) 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 zwei 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 Experimentalgruppe erhielt das Training zur Förderung des ikonischen Modellverständnisses. Die Kontrollgruppe erhielt ein Training zur allgemeinen Förderung von Präsentationstechniken. Die Evaluation des Trainings erfolgte in einem prä-post-Kontrollgruppen-Design.

*Tabelle 1: Studiendesign Experiment I.*

Week	Experimentalgruppe (n=21)	Kontrollgruppe (n=23)
1.	<b>Prä-Test:</b> Fachwissenstest OC, Modellverständnistest, Kontrollvariablen	
2. and 3.	Training ikonisch (je 90 min)	Training Präsentationstechniken
4.	<b>Post-Test:</b> Fachwissenstest OC, Modellverständnistest, Kontrollvariablen	
8.	<b>Follow-Up-Test:</b> Fachwissenstest OC, Modellverständnistest, Kontrollvariablen	

### **Ergebnisse**

Die Eignung des Testinstruments zur Evaluation des Modellverständnisses wurde zunächst in Rasch-Analysen für alle Items mittels Item-Person-Map untersucht. Die Aufgabenreliabilität wurde mit .84 und die Personenfähigkeit mit .83 berechnet. Um den Einfluss des Trainings auf das ikonische Modellverständnis der Studierenden zu erfassen, wurden Varianzanalysen mit Messwiederholung über die drei Messzeitpunkte berechnet. Sowohl die Experimental- als auch die Kontrollgruppe weisen einen signifikanten Lernzuwachs über den Verlauf des Semesters auf (Experimentalgruppe:  $F(1,19) = 27.46, p < .001$ ; Kontrollgruppe:  $F(1,19) = 17.37, p = .001$ ), wobei der Zuwachs der Experimentalgruppe vor allem zwischen Prä- und Post-Test etwas größer ist. Unmittelbar nach dem Training ist zum zweiten Messpunkt ein marginal signifikanter Unterschied der Messergebnisse zwischen der Experimental- und Kontrollgruppe zu verzeichnen ( $p = .074$ ). Zum dritten Messzeitpunkt lassen sich keine großen Unterschiede mehr zwischen den beiden Gruppen feststellen ( $p = .235$ ).

### **Diskussion & Ausblick**

Bei der Betrachtung der Items zur Messung des ikonischen Modellverständnisses zeigte sich ein breites Spektrum an Itemschwierigkeiten und normalverteilte Personenfähigkeiten. Es konnten keine Boden- oder Deckeneffekte ermittelt werden. Insgesamt scheint sich das entwickelte Testinstrument somit zur Erfassung des ikonischen Modellverständnisses zu eignen. Des Weiteren zeigen die Ergebnisse, dass ein entsprechendes Training zu einem Zuwachs des ikonischen Modellverständnisses beitragen kann. Anzumerken ist allerdings, dass das Training nur in dem Zeitraum, in welchem es stattfindet, effektiv zu sein scheint. Findet kein Training mehr statt, so ist kein signifikanter Unterschied zum Lernerfolg der Kontrollgruppe festzustellen. Für ein zweites Experiment werden die aktuellen Trainingseinheiten auf Grundlage der evaluierten Daten überarbeitet sowie weitere Trainings zur Förderung des Modellverständnisses entwickelt um den Trainingszeitraum zeitlich und inhaltlich zu erweitern.

**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.