

Ines Komor¹
 Helena van Vorst²
 Elke Sumfleth¹
 Julian Roelle³
 Eckart Hasselbrink¹

¹Universität Duisburg-Essen
²Universität zu Köln
³Ruhr-Universität Bochum

Symbolisch-mathematisches Modellieren in der Physikalischen Chemie

Theoretischer Hintergrund

In den Naturwissenschaften kommt dem Prozess des Modellierens, der Nutzung bereits bestehender Modelle sowie der Verwendung mathematischer Begriffe, Denk- und Arbeitsweisen eine entscheidende Bedeutung zu (Harrison & Treagust, 2000; Höhner, 1996). Dabei spielen insbesondere in der Physikalischen Chemie symbolisch-mathematische Repräsentationen, wie zum Beispiel Gleichungssysteme, und komplexe mathematische Operationen, wie Integral- und Differentialrechnung, eine wichtige Rolle (Atkins & de Paula, 2010; Dickmann, Opfermann, Dammann, Lang & Rumann, 2019). Dieser Prozess des mathematischen Modellierens kann mit Hilfe eines Kreislaufmodells (adaptiert nach Goldhausen, 2015) dargestellt werden (siehe Abb. 1).

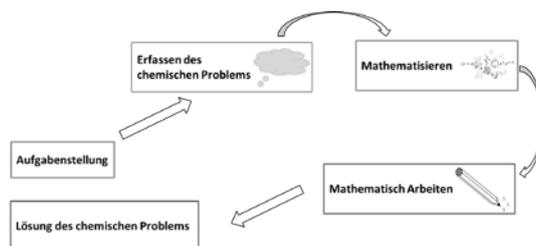


Abb. 1: Prozess der mathematischen Modellierung in der Chemie (adaptiert nach Goldhausen, 2015).

Ausgehend von einer typischen Aufgabenstellung aus der Physikalischen Chemie müssen Lernende im Schritt des Erfassens des chemischen Problems zunächst die zugrundeliegende Fragestellung verstehen. Anschließend folgt der Schritt des Mathematisierens. Hierbei werden chemische Zusammenhänge in mathematische Formeln übersetzt und somit ein mathematisches Modell des chemischen Problems entwickelt. Innerhalb dieses Modells muss dann mathematisch gearbeitet werden. Dies umfasst beispielsweise das Umformen oder Zusammenführen von Formeln und das Berechnen von Werten. Im finalen Schritt der Lösung des chemischen Problems wird das erhaltene mathematische Ergebnis auf das ursprüngliche chemische Problem zurückbezogen. Sämtliche Fähigkeiten, die benötigt werden, um den vorgestellten Kreislauf erfolgreich durchlaufen zu können, werden in diesem Projekt zusammenfassend als *symbolisch-mathematisches Modellverständnis* definiert. Dazu zählt auch das Metawissen über den Modellierungsprozess.

Trotz der hohen Relevanz des symbolisch-mathematischen Modellverständnisses für das Fach Chemie haben Lernende im Chemieunterricht in der Schule und in der Allgemeinen Chemie in der Studieneingangsphase an der Hochschule häufig Schwierigkeiten beim Durchlaufen des mathematischen Modellierungskreislaufs (Goldhausen, 2015; Kimpel, 2017). In Bezug auf die Physikalische Chemie konnte in einer qualitativen Interviewvorstudie zur Untersuchung der

schwierigkeitserzeugenden Modellierungsschritte gezeigt werden, dass Studierende vor allem beim Schritt der Mathematisierung Schwierigkeiten haben und große Defizite hinsichtlich notwendiger mathematischer Fähigkeiten aufweisen (Komor, van Vorst & Sumfleth, 2018). Zusätzlich sind typische Aufgaben aus der Physikalischen Chemie in der Regel komplex und erfordern die Kombination mehrerer mathematischer Formeln. Hier kann das Metawissen über den Kreislauf als Leitfaden für die Aufgabenbearbeitung eine Struktur vorgeben. Somit ergibt sich als zentrales Ziel dieser Studie die Förderung des symbolisch-mathematischen Modellverständnisses mithilfe eines Trainings. Um dieses Ziel zu erreichen, werden Lösungsbeispiele, bestehend aus einer Problemstellung und einer kleinschrittig dargebotenen Expertenlösung eingesetzt, weil diese sich gerade für Lernende in frühen Lernphasen als förderlich erwiesen haben (Renkl, 2014). Zur Evaluation der Effektivität des Trainings muss zusätzlich ein Diagnoseinstrument zur Messung des symbolisch-mathematischen Modellverständnisses entwickelt werden.

Forschungsfrage

Vor diesem Hintergrund ergeben sich in Bezug auf das Diagnoseinstrument zur Messung und auf das beispielbasierte Lernmaterial zur Förderung des symbolisch-mathematischen Modellverständnisses die folgenden Forschungsfragen:

FF1 Eignet sich das entwickelte Diagnoseinstrument zur Erhebung des symbolisch-mathematischen Modellverständnisses?

FF2 Lässt sich das symbolisch-mathematische Modellverständnis mit Hilfe eines beispielbasierten Trainings fördern?

Studiendesign

Das geplante Dissertationsprojekt ist Teil eines übergreifenden Projekts zur Förderung des Modellverständnisses in Chemiestudiengängen. Zur Beantwortung der beiden Forschungsfragen wurde eine Interventionsstudie im Switching-Replications-Design mit einer zusätzlichen Kontrollgruppe durchgeführt. Als Stichprobe ($N = 57$) diente die Gesamtkohorte der Studierenden im 2. Fachsemester der Bachelorstudiengänge Chemie und Water Science an der Universität Duisburg-Essen im Sommersemester 2019. Die Studierenden wurden randomisiert einer von drei Bedingungen zugewiesen (siehe Tab. 1).

Tab. 1: Studiendesign von Experiment I.

Zeitraum	Interventionsgruppe I	Interventionsgruppe II	Kontrollgruppe
1. und 2. Woche	Prä-Test		
3. und 4. Woche (je 90 min)	Training zum ikonischen MV	Training zum symbolisch- mathematischen MV	Training zu Präsentationstechniken
5. und 6. Woche	Posttest I		
7. und 8. Woche (je 90 min)	Training zum symbolisch- mathematischen MV	Training zum ikonischen MV	Training zu Präsentationstechniken
9. und 10. Woche	Posttest II		

Die Kontrollgruppe erhielt ein fachunabhängiges Training zu wissenschaftlichen Präsentationstechniken. Interventionsgruppe I bearbeitete zunächst ein Training zum ikonischen Modellverständnis, das im Rahmen eines weiteren Dissertationsprojekts entwickelt wurde und auf das hier nicht näher eingegangen werden soll (siehe dazu Bille et al. in diesem Band). Sie dient im Rahmen der Auswertung dieses Beitrags als Kontrollgruppe. Interventionsgruppe II erhielt zunächst das Training zum symbolisch-mathematischen Modellverständnis. In einem zweiten Durchgang wurden die Versuchsbedingungen der beiden Interventionsgruppen getauscht, sodass auch in Interventionsgruppe I das Training zum symbolisch-mathematischen Modellverständnis durchgeführt wurde, um die Stichprobe zu

vergrößern. Die Trainings zum ikonischen Modellverständnis und zu den Präsentationstechniken dienten als Kontrollbedingung. Das entwickelte Diagnoseinstrument zur Evaluation des Trainings besteht aus 39 Multiple-Choice-Single-Select-Items. Die Items wurden in Übereinstimmung mit den oben beschriebenen Fähigkeiten folgenden Skalen zugeordnet: Metawissen über den Modellierungskreislauf, Mathematisieren und Mathematisches Arbeiten. Entsprechend wurde das beispielbasierte Training unter Berücksichtigung dieser Schwerpunkte entwickelt und umfasst zunächst zwei Sitzungen á 90 Minuten, in denen neben dem symbolisch-mathematischen Modellverständnis auch Fachwissen der Physikalischen Chemie vermittelt wurde. Es besteht aus mehreren Lösungsbeispielen mit schrittweise dargebotenen Expertenlösungen, welche durch Selbsterklärungs-prompts angereichert sind. Die Verringerung der Anzahl und der Tiefe der vorgegebenen Expertenlösungen zu den einzelnen Lösungsschritten im fortschreitenden Verlauf des Trainings soll das eigenständige Lernen zunehmend fördern.

Ergebnisse und Ausblick

Zunächst wurde die Testgüte des entwickelten Diagnoseinstruments mit Hilfe eines Raschmodells untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Testdaten gemäß CAIC, AIC und BIC am besten zu einem zweidimensionalen Modell, in welchem die Skalen Mathematisieren und Mathematisches Arbeiten zu einer Skala zusammengefasst werden, passen (2-dim vs. 1-dim: $\chi^2[2] = 20.6$, $p < .001$; 2-dim vs. 3-dim: $\chi^2[3] = 4.7$, $p = .197$). Damit ergeben sich die Dimensionen Metawissen (Dimension 1, 10 Items) und Mathematisches Modellieren (Dimension 2, 29 Items). Die drei ursprünglich angenommenen Dimensionen lassen sich nicht bestätigen. Während die Skala zum Mathematischen Modellieren (2) eine zufriedenstellende EAP/PV und Personenreliabilität aufweist, ist die Reliabilität der Skala zum Metawissen (1) noch verbesserungswürdig. Dementsprechend sollen die bestehenden, problematischen Items zum Metawissen überarbeitet und weitere Items ergänzt werden. Zusätzlich wird die Skala zum Mathematischen Modellieren gekürzt, um die Testzeit zu reduzieren. Der Vergleich der durchschnittlichen Personenfähigkeiten [WLE] vor und nach der Intervention zeigt, dass das sehr kurze Training bereits einen positiven Effekt auf das Metawissen (Dimension 1) hat: Die Interventionsgruppe und die Kontrollgruppe unterscheiden sich vor der Intervention nicht. Nach der Intervention haben die Probanden der Interventionsgruppe eine signifikant höhere durchschnittliche Personenfähigkeit als die Probanden der Kontrollgruppe.

Tab. 2: Reliabilität des Modells und Personenfähigkeit (Raschanalyse [WLE]).

	N	Dimension 1		Dimension 2	
		Prätest	Posttest II	Prätest	Posttest II
EAP/PV Reliabilität	57	-	.594	-	.791
Personenreliabilität [WLE]	57	-	.488	-	.772
Interventionsgruppe I und II	36	-1.30 (0.72)	0.46 (1.15)	0.07 (0.79)	0.03 (0.91)
Kontrollgruppe	21	-1.48 (0.71)	-0.72 (0.68)	-0.24 (0.87)	-0.04 (0.98)
		$r(55) = 0.95$, $p = .348$, $d = 0.251$	$r(55) = 4.26$, $p < .001$, $d = 1.174$	$r(55) = 1.37$, $p = .175$, $d = 0.378$	$r(55) = 0.26$, $p = .797$, $d = 0.075$

In Bezug auf Dimension 2 zeigt das entwickelte Training noch keine Effekte. Dies ist möglicherweise auf die für derartig komplexe Inhalte zu kurze Interventionszeit zurückzuführen. Dementsprechend werden weitere Lösungsbeispiele entwickelt.

In einem nächsten Schritt wird das Diagnoseinstrument durch Überarbeitung und Ergänzung von Items optimiert. Zudem werden weitere Trainingseinheiten entwickelt, um den Einsatz als semesterbegleitendes Lernmaterial, welches ein breiteres Spektrum der Inhalte der Physikalischen Chemie abdeckt, zu gewährleisten. Das optimierte Diagnoseinstrument und das erweiterte Training werden im Anschluss erneut evaluiert.

Literatur

- Atkins, P. W. & de Paula, J. (2010). *Physikalische Chemie* (5., vollständig überarbeitete Auflage). Weinheim [u.a.]: Wiley-VCH.
- Dickmann, T., Opfermann, M., Dammann, E., Lang, M. & Rumann, S. (2019). What you see is what you learn? The role of visualmodel comprehension for academic successin chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, Advanced Article. doi: 10.1039/c9rp00016j
- Goldhausen, I. (2015). *Mathematische Modelle im Chemieunterricht*. Berlin: uni-edition.
- Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22 (9), 1011–1026.
- Höner, K. (1996). Mathematisierungen im Chemieunterricht – ein Motivationshemmnis?. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 2(2), 51 -70.
- Kimpel, L. (2017). *Aufgaben in der Allgemeinen Chemie – zum Zusammenspiel von chemischem Verständnis und Rechenfähigkeit*. Logos: Berlin.
- Komor, I., van Vorst, H. & Sumfleth, E. (2018). Mathematisches Modellieren in der Physikalischen Chemie. In C. Maurer (Hrsg.), *Qualitätsvoller Chemie - und Physikunterricht - normative und empirische Dimensionen* (S. 803-806). Regensburg: Universität Regensburg.
- Renkl, A. (2014). Toward an instructionally oriented theory of example-based learning. *Cognitive Science*, 38, 1–37. doi:10.1111/cogs.12086