

Ines Komor<sup>1</sup>  
 Helena van Vorst<sup>1</sup>  
 Elke Sumfleth<sup>1</sup>  
 Julian Roelle<sup>2</sup>  
 Eckart Hassenbrink<sup>1</sup>

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

## Förderung des symbolisch-mathematischen Modellverständnisses

### Theoretischer Hintergrund

Naturwissenschaften, wie beispielsweise die Chemie, sind eng mit der Mathematik verknüpft: Zum Verständnis und zur Lösung naturwissenschaftlicher Problemstellungen sind mathematische Begriffe sowie mathematische Denk- und Arbeitsweisen von großer Bedeutung (Höner, 1996). Weiterhin spielen die Entwicklung neuer und die Nutzung bereits bekannter Modelle eine wichtige Rolle (Harrison & Treagust, 2000). Insbesondere für die Physikalische Chemie ist dabei die Verwendung von symbolisch-mathematischen Modellen wie Gleichungssystemen und die Nutzung komplexer mathematischer Operationen wie Integral- und Differentialrechnung kennzeichnend (z.B. Atkins & de Paula, 2010; Dickmann, Opfermann, Dammann, Lang & Rumann, 2019). Der Prozess des mathematischen Modellierens ist somit in der Physikalischen Chemie von großer Relevanz. Zur Beschreibung dieses Prozesses und seiner einzelnen Teilschritte kann ein Kreislaufmodell (adaptiert nach Goldhausen, 2015) verwendet werden (siehe Abb. 1).

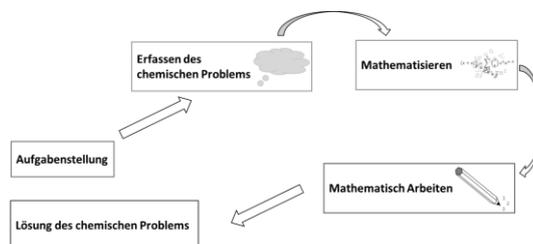


Abb. 1: Prozess der mathematischen Modellierung in der Chemie (adaptiert nach Goldhausen, 2015).

Der Prozess des mathematischen Modellierens beginnt mit der Betrachtung des zugrundeliegenden Problems, welches in Lehr-Lernsituationen häufig in Form einer *Aufgabenstellung* dargeboten wird. Diese Problemstellung muss zunächst möglichst vollständig verstanden werden (*Erfassen des chemischen Problems*). Im darauffolgenden Schritt des *Mathematisierens* werden die betrachteten chemischen Zusammenhänge in eine mathematische Gleichung, also in ein mathematisches Modell, übersetzt. Danach werden im Schritt des *Mathematischen Arbeitens* beispielsweise Gleichungen zusammengeführt, eine Gleichung umgeformt und Werte berechnet. Abschließend muss das so erhaltene mathematische Ergebnis zurück auf die zugrundeliegende chemische Problemstellung bezogen werden. Insgesamt handelt es sich hier um eine idealtypische Darstellung des Modellierungsprozesses, der in der Realität durch einen Wechsel zwischen den Schritten geprägt ist (Borromeo Ferri, Leiß & Blum, 2006). Die zum erfolgreichen Durchlaufen des Modellierungsprozesses benötigten Fähigkeiten werden in diesem Projekt zusammenfassend als *symbolisch-mathematisches Modellverständnis* definiert. Dazu zählt neben den eben

beschriebenen Fähigkeiten zusätzlich auch das Metawissen über den Modellierungsprozess als Strategiewissen zur strukturierten Herangehensweise an Modellierungsaufgaben. Sowohl im Chemieunterricht in der Schule als auch in der Allgemeinen Chemie an der Hochschule haben Lernende beim Durchlaufen des mathematischen Modellierungskreislaufs Schwierigkeiten (Goldhausen, 2015; Kimpel, 2017). Die Verwendung komplexerer mathematischer Operationen legt nahe, dass sich diese Schwierigkeiten in der Physikalischen Chemie noch verstärken. Eine erste Untersuchung der schwierigkeitserzeugenden Modellierungsschritte in der Physikalischen Chemie im Rahmen einer qualitativen Interviewvorstudie konnte zeigen, dass insbesondere der Schritt der Mathematisierung Schwierigkeiten hervorruft und die Studierenden große Defizite in Bezug auf die benötigten mathematischen Fähigkeiten haben (Komor, van Vorst & Sumfleth, 2018). Vor diesem Hintergrund folgt die Förderung des symbolisch-mathematischen Modellverständnisses mithilfe eines beispielbasierten Trainings als zentrales Ziel dieser Studie. Die Verwendung von Lösungsbeispielen bietet sich an dieser Stelle an, da sie sich diese gerade für Lernende in frühen Lernphasen als lernförderlich erwiesen haben (Renkl, 2014). Die Evaluation der Effektivität des Trainings erfolgt mit Hilfe eines im Rahmen der Studie entwickelten Diagnoseinstruments zur Messung des symbolisch-mathematischen Modellverständnisses.

### Forschungsfrage

Mit Blick auf die Untersuchung der Effektivität des beispielbasierten Lernmaterials zur Förderung des symbolisch-mathematischen Modellverständnisses ergibt sich damit die folgende Forschungsfrage:

*FF1 Führt das Training zur Förderung des symbolisch-mathematischen Modellverständnisses zu einem Zuwachs des symbolisch-mathematischen Modellverständnisses?*

### Studiendesign

Dieses Projekt ist Teil einer übergreifenden Studie zur Förderung des Modellverständnisses in Chemiestudiengängen. Die Effektivität des Trainings wurde im Rahmen einer Interventionsstudie im Switching-Replications-Design untersucht. Als Stichprobe ( $N = 60$ ) dienten die Studierenden im 2. Fachsemester der Bachelorstudiengänge Chemie und Water Science an der Universität Duisburg-Essen im Sommersemester 2020. Die Zuordnung der Studierenden zu der jeweiligen Bedingung erfolgte randomisiert (siehe Tab. 1).

*Tab. 1: Studiendesign.*

Zeitraum	Interventionsgruppe I	Interventionsgruppe II
1. Woche	Prä-Test	
2. bis 6. Woche (je 90 min)	Training zum symbolisch-mathematischen MV	Training zum ikonischen MV
7. Woche	Posttest I	
8. bis 12. Woche (je 90 min)	Training zum ikonischen MV	Training zum symbolisch-mathematischen MV
13. Woche	Posttest II	

Interventionsgruppe II bearbeitete zunächst ein Training zum ikonischen Modellverständnis, das in einem weiteren Dissertationsprojekt entwickelt wurde und hier nicht näher betrachtet werden soll (siehe dazu Bille et al. in diesem Band). Diese Gruppe dient im Rahmen der Datenauswertung dieses Beitrags in der ersten Semesterhälfte als Wartekontrollgruppe. Interventionsgruppe I erhielt zunächst das Training zum symbolisch-mathematischen Modellverständnis. In einem zweiten Durchgang wurden die Bedingungen der beiden Interventionsgruppen getauscht, sodass auch von Interventionsgruppe II das Training zum

symbolisch-mathematischen Modellverständnis bearbeitet wurde. So wurde die Möglichkeit geschaffen, mögliche Effekte des Bearbeitungszeitpunkts im Semester aufzudecken und unter Berücksichtigung bestimmter Parameter auch den Trainingseffekt zu replizieren. Das beispielbasierte Training umfasst fünf Einheiten mit einer geschätzten Bearbeitungsdauer von circa 90 Minuten. Eine Trainingseinheit besteht jeweils aus drei Lösungsbeispielen einander ähnelnder, typischer Aufgabenstellungen aus der Physikalischen Chemie mit Expertenlösungen zu den einzelnen Lösungsschritten und dazu passenden Selbsterklärungsprompts, deren Komplexität im Verlauf des Trainings zunimmt. Der Anteil der vorgegebenen Expertenlösungen nimmt dagegen ab, um so das eigenständige Bearbeiten der Aufgaben zu fördern. Das entwickelte Diagnoseinstrument zur Messung des symbolisch-mathematischen Modellverständnisses besteht aus 50 Multiple-Choice-Single-Select-Items.

### Ergebnisse und Diskussion

Die Reliabilität des entwickelten Diagnoseinstruments zum symbolisch-mathematischen Modellverständnis (SMMV; 47 Items) und des adaptierten Fachwissenstestes zur Physikalischen Chemie (PCFW; 41 Items; Averbeck, 2020) sind zufriedenstellend (siehe Tab. 2). Drei der 50 Items des Modellverständnistests wurden zur Verbesserung der Reliabilität ausgeschlossen.

Tab. 2: Reliabilität der eingesetzten Testinstrumente.

	Prätest		Posttest I		Posttest II	
	N	Cronbachs $\alpha$	N	Cronbachs $\alpha$	N	Cronbachs $\alpha$
SMMV	53	.659	55	.855	49	.802
PCFW	55	.802	53	.836	50	.831

Die Interventionsgruppen I und II unterschieden sich vor der Intervention weder hinsichtlich des symbolisch-mathematischen Modellverständnisses noch in Bezug auf das Fachwissen in der Physikalischen Chemie (SMMV:  $t(52) = 1.91$ ,  $p = .062$ ; PCFW:  $t(52) = 1.47$ ,  $p = .147$ ). Im Hinblick auf das PC-Fachwissen liegt keine statistisch signifikante Interaktion zwischen den drei Messzeitpunkten und den Gruppen vor ( $F(2, 104) = 1.26$ ,  $p = .289$ ,  $\eta^2 = .024$ ). Zudem lernen die Studierenden während der jeweiligen Intervention hier nicht signifikant dazu (IG I Prä - Post I:  $t(26) = -1.54$ ,  $p = .135$ ; IG II Post I - Post II:  $t(26) = 0.19$ ,  $p = .854$ ). Dies ist erwartungskonform, da in dem eingesetzten Training in erster Linie das Lösen typischer Aufgaben aus der Physikalischen Chemie unter Berücksichtigung einzelner Fachinhalte und kein breites Fachwissen trainiert wird. Demgegenüber verbessern die Probandeninnen und Probanden der Interventionsgruppen während der jeweiligen Intervention ihr symbolisch-mathematisches Modellverständnis höchstsignifikant (IG I Prä - Post I:  $t(26) = -11.16$ ,  $p < .001$ ; IG II Post I - Post II:  $t(26) = -7.25$ ,  $p < .001$ ). Die Testwerte unmittelbar nach Bearbeitung der Trainings unterscheiden sich in den beiden Gruppen nicht ( $t(52) = 0.62$ ,  $p = .540$ ). Folglich ist der Trainingseffekt unabhängig vom Einsatzzeitpunkt im Semester. Lernzuwächse in der jeweils anderen Semesterhälfte können vermutlich auf den Lernfortschritt im Verlauf der Vorlesung und der Übung zurückgeführt werden.

Insgesamt ist das entwickelte Training somit geeignet, um das symbolisch-mathematische Modellverständnis zu fördern. Um zusätzlich einen Fachwissenszuwachs erzeugen zu können, müsste das Training um weitere fachinhaltliche Einheiten ergänzt werden.

### Literatur

- Atkins, P. W. & de Paula, J. (2010). *Physikalische Chemie* (5., vollständig überarbeitete Auflage). Weinheim [u.a.]: Wiley-VCH.
- Averbeck, D. (2020). *Zum Studienerfolg in der Studieneingangsphase des Chemiestudiums – Der Einfluss kognitiver und affektiv-motivationaler Variablen*. Berlin: Logos Verlag.
- Borromeo Ferri, R., Leiß, D., & Blum, W. (2006). Der Modellierungskreislauf unter kognitionspsychologischer Perspektive. *Beiträge zum Mathematikunterricht 2006, Vorträge auf der 40. Tagung für Didaktik der Mathematik*. Hildesheim und Berlin: Franzbecker, 53-55.
- 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 success in 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

Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft und der Evonik Industries AG herzlich für die finanzielle Unterstützung dieses Forschungsprojekts.