

Entwicklung und Anwendung von Modellvorstellungen im Anfangsunterricht Chemie

Problemstellung

Ziel des Chemieunterrichts ist es nicht nur, Lernende dazu zu befähigen, Stoffe und deren Veränderungen auf makroskopischer Ebene zu beschreiben, sondern dies auch auf submikroskopischer Ebene fachwissenschaftlich adäquat zu erklären. Das erfordert die Entwicklung und Anwendung von Modellvorstellungen (MV). Gemeint sind Denkmodelle (Barke, Harsch, Kröger & Marohn, 2018) / mentale Modelle, die als eine wissenschaftlich adäquate, mentale Repräsentation eines chemischen Sachverhalts auf Teilchenebene zu verstehen sind (Nitz & Fechner, 2018) und aus verschiedenen Komponenten (K) und deren Interaktionen (I) zusammengesetzt sind. Komponenten und deren Interaktionen sind ebenfalls als MV zu verstehen, die ebenfalls aus Komponenten und Interaktionen bestehen. In Abhängigkeit der Fragestellung muss entschieden werden, auf welcher Ebene und mit welcher Modellvorstellung bzw. Komponenten und/oder Interaktionen zu argumentieren ist (Talanquer, 2025). Das Elektronengasmodell ist, z.B., eine Modellvorstellung über den Bau der Metalle auf Teilchenebene, wobei die freibeweglichen Elektronen und die positiv geladenen Atomrümpfe dessen Komponenten repräsentieren. Die Interaktion zwischen beiden ist eine starke, elektrostatische Wechselwirkung, die wir als Metallbindung bezeichnen. Die positiv geladenen Metallatomrümpfe setzen jedoch eine Modellvorstellung über den Bau der Atome, z.B. das Kern-Hülle-Modell, voraus.

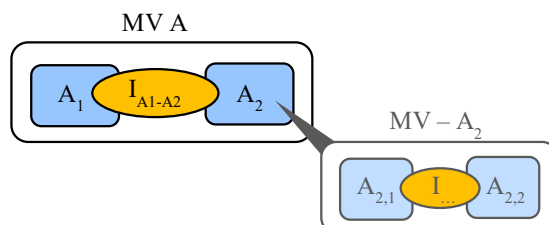


Abb.1: Zusammenhang zwischen MV, K ($A_1, \dots$) und I ($I_{A1-A2}, \dots$) verschiedener Ebenen

Die Erarbeitung von MV durch die Lernenden und die Anwendung dieser zur Erklärung verschiedener Phänomene wird, z.B., als modeling-based reasoning (Louca & Zacharia, 2019) verstanden. Im Vordergrund steht dabei insbesondere die gemeinsame Entwicklung wissenschaftlicher Modellvorstellungen sowie Anschauungsmodelle, die nach (z.B.) Gilbert & Justi (2016) die Phasen *construction*, *representation*, *test* und *evaluation* umfasst. Unzureichend untersucht ist, insbesondere im Fach Chemie bezogen auf die Entwicklung von Modellvorstellungen über den Bau der Stoffe, inwiefern Lernende während der selbstständigen Erarbeitung von Modellvorstellungen den antizipierten Modellierprozessen folgen und welche konkreten Hürden sowie Potentiale dabei zu identifizieren sind (Cooper & Stowe, 2018). Letztere zeigen sich im Besonderen in der Anwendung und dem Transfer der erarbeiteten Modellvorstellungen, weshalb die diesen Prozessen zugrunde liegenden Denkprozesse Lernender zu untersuchen sind (Forbes, Lange-Schubert, Böschl & Vo, 2019).

Ziel & Forschungsdesign

Das Forschungsvorhaben zielt darauf ab, die Entwicklung und Anwendung von Modellvorstellungen Lernender im Anfangsunterricht Chemie prozessbegleitend zu untersuchen. Da der Chemieunterricht in Sachsen vorsieht, im Anschluss an das Teilchenmodell das Kern-Hülle-Modell und die Metallbindung zu erarbeiten (SMK, 2025, S. 6), um damit Eigenschaften und Verwendung der Metalle zu erklären, ist dies der fachliche Schwerpunkt des Vorhabens.

Die prozessbegleitende Untersuchung wird in drei Phasen gegliedert:

- *Phase 1*: Bisherige (alternative) Vorstellungen erfassen, die den anschließenden Modellierungsprozess beeinflussen könnten und im Sinne der Conceptual Change/ Reconstruction Theorie (Krüger, 2018) als Teil des Modellierungsprozesses aktiv rekonstruiert werden sollen.
- *Phase 2*: Umsetzung eines Lehr-Lern-Konzepts, in dem Lernende schrittweise und möglichst selbstständig ihre Modellvorstellung vom Teilchenmodell über das Kern-Hülle-Modell bis zum Elektronengasmodell/Metallbindung erweitern.
- *Phase 3*: Untersuchen, wie Lernende die Modellvorstellungen anwenden, um bekannte sowie unbekannte Phänomene zu beschreiben und zu erklären.

Um die Denkprozesse der Lernenden während aller drei Phasen zu rekonstruieren, wird die gesamte mündliche Auseinandersetzungen der Lernenden mit den Materialien/Aufgaben aufgezeichnet und die schriftlichen Lernergebnisse erhoben, so dass sowohl mündliche als auch schriftliche Daten der qualitativen Auswertung zugrunde gelegt werden können.

Im Folgenden werden die für *Phase 3* entwickelten Aufgaben vorgestellt.

Wie untersucht man Anwendung & Transfer von Modellvorstellungen?

Für das Untersuchen alternativer (Modell)vorstellungen wird neben Interviewformaten und mehrstufigen Multiple Choice Tests (MCT) (Gurel, Eryilmaz & McDermott, 2015) auch auf offene Fragen zurückgegriffen. Offene Fragen zwingen Lernende, ihre Vorstellungen und die dazu gehörenden Komponenten sowie Interaktionen bewusst auszuwählen und in Beziehung zu setzen, was eine detaillierte Analyse von Argumentationsstrukturen erlaubt und – im Gegensatz zu MCT – keine Vorstellungen vorwegnimmt. Die für *Phase 3* entwickelten, offenen Aufgaben erfordern sowohl das Anfertigen von Skizzen als auch von schriftlichen Erklärungen und werden nach individueller Bearbeitung in Partnerarbeit mündlich diskutiert. Die so entstehende Vielzahl an Daten verschiedener Modalitäten dient einer möglichst umfassenden Rekonstruktion der (Modell)vorstellungen. Für *Phase 3* werden zwei Aufgabenkomplexe konstruiert. Ersterer fordert die Anwendung der Modellvorstellungen zur Erklärung bereits bekannter Phänomene (typische Eigenschaften und Verwendungen der Metalle). Zweiterer erfordert eine Transferleistung, bei der Lernende die Modellvorstellung (MV) bzw. ausgewählte Komponenten und deren Interaktionen bewusst verändern müssen. Es werden vier Arten dieses Transfers differenziert, die in Tab. 1 mit Beispielen untersetzt sind.

Anhand des antizipierten Erkenntnisweges für das Bearbeiten der Transfervariante B soll gezeigt werden, wie und welche Komponenten sowie Interaktionen (neu) in Zusammenhang gesetzt werden müssen:

Zuerst gilt es, die für die Beschreibung der Verformbarkeit der Metalle auf Teilchenebene relevanten Komponenten sowie deren Attribute und Interaktionen zu identifizieren:

- Bei Einwirkung eines mechanischen Reizes kommt es zur Verschiebung der positiv geladenen Atomrumpfebenen.

- Aufgrund der freibeweglichen Elektronen bleibt die elektrostatische Wechselwirkung zwischen Atomrümpfen und Elektronen auch bei Verschiebung der Atomrumpfebenen bestehen.

Um abzuleiten, inwiefern die nun zusätzlich vorhandene Komponente (Kohlenstoffteilchen) diese Prozesse beeinflussen, sind zuerst deren Attribute zu identifizieren:

- Es handelt sich um ungeladene/neutrale Teilchen.
- Die Teilchen sind zwischen den Atomrümpfen angeordnet.

Daraufhin muss geschlussfolgert werden, welche (neuen) Interaktionen zwischen der ergänzten und den bereits bestehenden Komponenten zu erwarten sind:

- Die zwischen den Metallatomrümpfen angeordneten Kohlenstoffteilchen behindern die Verschiebbarkeit der Metallatomrumpfebenen.

Die hier beschriebenen Teilschritte könnten bei Einordnung in diverse Modelle zum Modellierprozess auch als eine Art des „Testens von Modellen“ und „Ändern von Modellen“ bzw. als kognitiver Prozess des abduktiven Schließens (Krüger & Upmeyer zu Belzen, 2021) betrachtet werden, da stets eine bisherige Modellvorstellung für die Erklärung eines neuen Phänomens versucht und entsprechend erweitert wird.

A	B	C	D
Bewusstes Aus-/Abwählen einer Komponente der MV	Ergänzung der MV um eine Komponente	Kombination verschiedener MV	Einfluss von Parametern auf Komponenten der MV
<i>Warum leitet Kochsalz im Vgl. zu Metall keinen elektrischen Strom?</i>	<i>Warum ist Stahl weniger verformbar als Eisen?</i>	<i>Warum fühlt sich ein Holzstuhl in einem 25°C-warmen Raum wärmer an als ein Metallstuhl?</i>	<i>Warum sinkt die elektrische Leitfähigkeit von Kupfer, wenn ich es erhitze?</i>

Tab.1: Arten des Transfers von MV

Exemplarische Potentiale der Pilotierung

Die zu den vier Transferarten entwickelten Aufgaben wurden mit 25 Lernenden einer siebten Klasse eines städtischen Gymnasiums in Dresden pilotiert.

Die, wie für Transferoption B beschriebenen, antizipierten Teilschritte der Arbeit mit den Modellvorstellungen sind die Grundlage der Kodierung und erlauben es, zu identifizieren, an welchen Stellen Lernende andere, mitunter für die Erklärung weniger gut geeignete Komponenten, Interaktionen oder MV auswählen und verknüpfen.

Anhand bisheriger Ergebnisse ist bereits abzuleiten, dass die vielfältigen Modalitäten eine umfassende Rekonstruktion der Vorstellungen unterstützen. Weiterhin ist auffällig, dass ausgewählte, im Rahmen des Modellierprozesses (*Phase 2*) formulierte, alternative Argumentationsmuster sich in der Bearbeitung der Aufgaben in *Phase 3* wiederholen.

Nachdem die Pilotierung detailliert ausgewertet wurde, gilt es das Lehr-Lern-Konzept sowie die für *Phase 1* und *3* entworfenen Aufgaben zu überarbeiten. Eine Hauptstudie ist für das Schuljahr 2026/2027 geplant.

Literatur

- Barke, H.-D., Harsch, G., Kröger, S. & Marohn, A. (2018). *Chemiedidaktik kompakt. Lernprozesse in Theorie und Praxis* (3. Auflage). Berlin: Springer Spektrum
- Cooper, M. M. & Stowe, R. L. (2018). Chemistry education research—From personal empiricism to evidence, theory, and informed practice. *Chemical Reviews*, 118(12), 6053 - 6087
- Forbes, C. T., Lange-Schubert, K., Böschl, F. & Vo, T. (2019). Supporting primary students' developing modeling competence for water systems. In A. Upmeyer zu Belzen, D. Krüger & J. van Driel (Eds.) *Towards a competence-based view on models and modeling in science education*. Cham: Springer International Publishing, 257 - 273
- Gilbert, J. K. & Justi, R. (2016). *Modelling-based teaching in science education*. Cham: Springer Nature Switzerland AG
- Gürel, D. K., Eryılmaz, A. & McDermott, L. C. (2015). A review and comparison of diagnostic instruments to identify students' misconceptions in science. *Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education*, 11(5), 989–1008
- Krüger, D. (2007). Die conceptual change-Theorie. In D. Krüger, H. Vogt (Eds.) *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung: Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden*. Berlin: Springer Berlin, Heidelberg, 81 - 92
- Krüger, D. & Upmeyer zu Belzen, A. (2021). Kompetenzmodell der Modellierkompetenz—Die Rolle abduktiven Schließens beim Modellieren. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 27, 127 – 137
- Nitz, S. & Fechner, S. (2018). Mentale Modelle. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Eds.) *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 69 - 86
- Sächsisches Staatsministerium für Kultus (2025). Lehrplan Gymnasium. Chemie.
- Talanquer, V. (2025). Exploring the plurality of chemical Modeling: Implications for chemistry teaching. *Journal of Chemical Education*, 102(8), 3090 – 3095