

Reaktionsmechanismen als Modelle? Meta-Modellierungswissen von Lehramtsstudierenden in der Organischen Chemie

Ausgangslage

Der Begriff „Modell“ wird sowohl im alltäglichen Kontext als auch in der Literatur in sehr unterschiedlichen Kontexten genutzt (Downes, 2020). Über die alltägliche Verwendung hinaus erfüllen Modelle in der Wissenschaft eine duale Funktion: Sie fungieren einerseits als Medien, die Informationen transportieren und zu Lernprozessen beitragen (*mediale Perspektive*), und andererseits als zentrale Forschungswerkzeuge zur Generierung wissenschaftlicher Erkenntnisse (*methodische Perspektive*) (Schwarz et al., 2017; Upmeier zu Belzen et al., 2019). Ein angemessenes Verständnis und die gezielte Nutzung von Modellen sowie des Modellierens als Mittel der Wissensgenerierung werden unter dem Begriff Modellierkompetenz gefasst (Schwartz, 2019). Diese umfasst nicht nur den Umgang mit Modellen, sondern auch das Denken über Modelle, das als Meta-Modellierungswissen (MMW) bezeichnet wird und die epistemischen Vorstellungen zum Modellsein und der Modellbildung einschließt (Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010). Zur Strukturierung des MMW existieren verschiedene, weitgehend ähnliche Frameworks (z. B. Grosslight et al., 1991; Krüger and Upmeier zu Belzen, 2021; Nicolaou and Constantinou, 2014; Treagust et al., 2002). In diesem Projekt wird das Framework von Krüger and Upmeier zu Belzen (2021) herangezogen. Es differenziert das MMW in fünf Aspekte: *Eigenschaften von Modellen*, *Alternative Modelle*, *Zweck des Modellierens*, *Testen von Modellen*, *Ändern von Modellen*. Jeder Aspekt ist in vier Niveaustufen gegliedert, von denen jeweils zwei der *medialen* und zwei der *methodischen Perspektive* zugeordnet sind. Ein Auszug des Frameworks für den Aspekt *Zweck des Modellierens* ist in Tab. 1 dargestellt.

Tab. 1: Auszug aus dem Kompetenzmodell der Modellierkompetenz nach Krüger and Upmeier zu Belzen (2021) für den Aspekt *Zweck des Modellierens*.

Mediale Perspektive		Methodische Perspektive	
Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3a	Niveau 3b
Zweck des Modellierens			
Dient dem Beschreiben und Veranschaulichen des Phänomens	Dient dem verständlichen Erklären des Phänomens	Liefert die beste theoretische Erklärung des Phänomens	Erlaubt m. Hypothesen das Voraussagen emp. Ergebnisse zum Phänomen

In der Organischen Chemie sind Reaktionsmechanismen die zentralen Modelle, um Reaktionsverläufe auf submikroskopischer Ebene zu beschreiben, zu erklären und vorherzusagen (Goodwin, 2012; Johnstone, 1993). Studierende stehen beim Umgang mit jenen jedoch vor vielfältigen Herausforderungen, die bereits beschrieben wurden (z. B. Bhattacharyya and Bodner, 2005; Dood and Watts, 2022; Grove and Bretz, 2010; Grove et al., 2012; Kraft et al., 2010; Talanquer, 2014). Unklar ist bislang, ob und inwiefern Studierende den Modellcharakter von Reaktionsmechanismen wahrnehmen. Während der

Modellcharakter bei Atommodellen bspw. durch die Bezeichnung ersichtlich ist (Lateef et al., 2025), bleibt er bei Reaktionsmechanismen implizit. Daher unterscheiden wir zwischen dem allgemeinen MMW und dem Spezifischen Meta-Modellierungswissen (SMMW), das die Modellvorstellungen von Studierenden im Kontext Reaktionsmechanismen umfasst. Aus den Vorüberlegungen ergibt sich die folgende Leitfrage:

- Wie hängt das Spezifische Meta-Modellierungswissen (SMMW) über Reaktionsmechanismen und das allgemeine Meta-Modellierungswissen (MMW) von Studierenden zusammen?

Studiendesign und Datenanalyse

Es wurde eine qualitative, explorative Interviewstudie mit Chemie-Lehramtsstudierenden ($N=22$) durchgeführt, die zum Zeitpunkt der Datenerhebung die Allgemeine und Anorganische Chemie abgeschlossen, die OC I allerdings noch nicht besucht haben. Das Ziel der Studie war es, die Vorstellungen der Studierenden innerhalb der Dimensionen des MMW sowie des SMMW zu explorieren, um die Verknüpfung dieser beiden Dimensionen zu untersuchen. Das semistrukturierte Interview war in drei Teile untergliedert, wovon der erste Teil das SMMW adressierte und der dritte Teil das MMW im Allgemeinen. In beiden Teilen wurden die Interviewfragen an die fünf Aspekte des Frameworks angelehnt und mit individuellen Nachfragen vertieft (Grünkorn et al., 2014). Im zweiten Teil des Interviews wurden die Studierenden mit einem spezifischen Reaktionskontext konfrontiert (Arundale & Mikeska, 1952), der für die Beantwortung der Leitfrage an dieser Stelle nicht relevant ist.

Für die Datenanalyse wurde das Framework von Krüger und Upmeyer zu Belzen (2021) herangezogen, um das MMW der Studierenden zu erheben. Für das SMMW bezüglich Reaktionsmechanismen wurde eine auf Reaktionsmechanismen adaptierte Version des Frameworks erstellt und genutzt. Anschließend wurden allen Proband*innen, ausgehend von deren Aussagen im Verlauf des Interviews, für jeden der fünf Aspekte in beiden Dimensionen ein Niveau zugewiesen, sodass jede*r Proband*in insgesamt 10 Niveaustufen erhalten hat. Im Anschluss an diesen Prozess wurden die Niveaustufen zur medialen Perspektive (Niveau 1 und 2) und methodischen Perspektive (Niveau 3a und 3b) zusammengefasst und ausgehend von diesen Perspektiven sowie inhaltlicher Analysen vier Gruppen identifiziert.

Ausgewählte Ergebnisse

Um den Zusammenhang zwischen dem allgemeinen und spezifischen Meta-Modellierungswissen zu untersuchen, wurden vier Gruppen von Studierenden identifiziert, die ähnliche Muster in ihrem MMW und SMMW zeigten. Die Gruppen sind in Abb. 1 dargestellt.

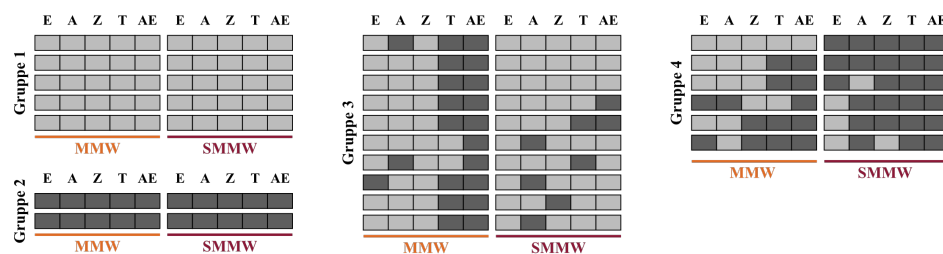


Abb. 1 Gruppenbildung auf Grundlage ähnlicher medialer und methodischer Perspektiven auf Modelle und Reaktionsmechanismen.

Studierende in Gruppe 1 und 2 äußerten konsistente Vorstellungen über beide Dimensionen hinweg. Diejenigen in **Gruppe 1** zeigten ausschließlich eine mediale Perspektive: Sie betrachteten sowohl Modelle als auch Reaktionsmechanismen als Werkzeuge, vorwiegend in Lehr-Lern-Situationen, die Phänomene repräsentieren. Studierende in **Gruppe 2** zeigten vergleichbare Muster, jedoch aus einer methodischen Perspektive: Die Studierenden betonten bei Modellen und Reaktionsmechanismen die Funktion als Werkzeuge zur Generierung neuer Erkenntnisse. Neben der Konsistenz in diesen beiden Gruppen, zeigten die beiden verbleibenden Gruppen gemischte Muster.

Gruppe 3 ist dadurch gekennzeichnet, dass die Studierenden überwiegend mediale Vorstellungen vertraten, in einzelnen Aspekten jedoch auch methodische Perspektiven einnahmen. Besonders in den Aspekten *Zweck*, *Eigenschaften* und *Alternativen* zeigten sich konsistente Sichtweisen. So beschrieb Stuart den Zweck von Modellen folgendermaßen: *“Modelle dienen dazu, dass [...] man das Original repräsentieren will, es verständlicher machen will.”*. Damit fokussiert er den repräsentationalen Charakter von Modellen, der der medialen Perspektive zugeordnet ist (vgl. Tab. 1). Auch Reaktionsmechanismen sah er aus einer medialen Perspektive, nämlich als Hilfsmittel *“um so gut es geht nachzuvollziehen, warum das eine Produkt zum anderen übergeht [...]”*. Hinsichtlich des Testen und Ändern traten in dieser Gruppe hingegen Unterschiede auf. Während das Testen und Ändern von Modellen aus einer methodischen Perspektive beschrieben wurde, bezogen sich die Vorstellungen zu Reaktionsmechanismen vorwiegend auf mediale Perspektiven und auf die Überprüfung der Passung zwischen Repräsentation und Original.

Gruppe 4 zeigte ein umgekehrtes Muster: Während das allgemeine MMW eher medial geprägt war, war das SMMW deutlich methodischer. Ein Beispiel ist Barney. Er beschrieb den Zweck von Modellen, ähnlich wie Stuart, medienorientiert, verstand Reaktionsmechanismen jedoch als Instrumente mit konkretem industriellem Nutzen, etwa für die Entwicklung von Medikamenten: *„Wenn ich [am Mechanismus] rumschrauben kann, [...] dass ich dann quasi statt diesem 1 % vielleicht 60 % hier rausholen kann.“* Damit verknüpfte er Modelle mit einem abduktiv erklärenden und forschungsorientierten Nutzen. Insgesamt wurde in dieser Gruppe deutlich, dass Lernende Reaktionsmechanismen bereits als Werkzeuge mit spezifischem Erkenntniswert einordneten, während ihre allgemeinen Modellvorstellungen medial blieben.

Zusammenfassend lassen sich folgende Muster erkennen: In den Gruppen 1 und 4 waren MMK und SMMK konsistent ausgeprägt. Gruppe 2 zeigte überwiegend mediale Perspektiven, jedoch Unterschiede zwischen einzelnen Aspekten, wobei das MMK tendenziell methodischer ausgeprägt war als das SMMK. In Gruppe 3 hingegen war das SMMK methodischer ausgerichtet als das MMK, allerdings mit eher inkonsistenten Mustern.

Ausblick

Insgesamt zeigt sich, dass Vorstellungen in einer Dimension keine direkten Rückschlüsse auf die jeweils andere zulassen, da in der Stichprobe für alle möglichen Zusammenhänge Beispiele zu finden waren. Offen bleibt, wie sich die Vorstellungen der Studierenden durch den Besuch von Vorlesungen in Organischer Chemie verändern, insbesondere im Hinblick auf das Verhältnis von MMW und SMMW. Zudem ist zu klären, inwiefern beide Dimensionen des Denkens *über* Modelle den spezifischen Umgang *mit* Modellen, hier Reaktionsmechanismen, beeinflussen.

Literatur

- Arundale, E. & Mikeska, L. (1952). The olefin-aldehyde condensation. The prins reaction. *Chemical Reviews*, 51(3), 505–555.
- Bhattacharyya, G. & Bodner, G. M. (2005). "It gets me to the product": How students propose organic mechanisms. *Journal of Chemical Education*, 82(9), 1402. <https://doi.org/10.1021/ed082p1402>
- Dood, A. J. & Watts, F. M. (2022). Students' strategies, struggles, and successes with mechanism problem solving in organic chemistry: A scoping review of the research literature. *Journal of Chemical Education*, 100(1), 53–68. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00572>
- Downes, S. M. (2020). *Models and modeling in the sciences: A philosophical introduction*. Routledge.
- Goodwin, W. (2012). Mechanisms and chemical reaction. In *Philosophy of chemistry* (pp. 309–327). Elsevier.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. & Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of research in science teaching*, 28(9), 799–822. <https://doi.org/10.1002/tea.3660280907>
- Grove, N. P., & Bretz, S. L. (2010). Perry's scheme of intellectual and epistemological development as a framework for describing student difficulties in learning organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 11(3), 207–211. <https://doi.org/10.1039/C005469K>
- Grove, N. P. Cooper, M. M. & Rush, K. M. (2012). Decorating with arrows: Toward the development of representational competence in organic chemistry. *Journal of Chemical Education*, 89(7), 844–849. <https://doi.org/10.1021/ed2003934>
- Grünkorn, J., Lotz, A. & Terzer, E. (2014). Erfassung von Modellkompetenz im Biologieunterricht. *Mathematischer und Naturwissenschaftlicher Unterricht (MNU)*, 67(3), 132–138. <https://doi.org/10.25656/01:12536>
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701. <https://doi.org/10.1021/ed070p701>
- Kraft, A., Strickland, A. M. & Bhattacharyya, G. (2010). Reasonable reasoning: Multi-variate problem-solving in organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 11(4), 281–292. <https://doi.org/10.1039/C0RP90003F>
- Krüger, D. & Upmeyer zu Belzen, A. (2021). Kompetenzmodell der Modellierkompetenz–Die Rolle abduktiven Schließens beim Modellieren. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 27, 127–137. <https://doi.org/10.1007/s40573-021-00129-y>
- Lateef, S., Echeverri-Jimenez, E. & Balabanoff, M. (2025). Characterizing epistemic atomic modeling knowledge. *Chemistry Education Research and Practice*. <https://doi.org/10.1039/D4RP00360H>
- Nicolaou, C. T. & Constantinou, C. P. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 13, 52–73.
- Schwartz, R. S. (2019). Modeling competence in the light of nature of science. Towards a competence-based view on models and modeling in science education, 59–77. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30255-9_4
- Schwarz, C. V., Passmore, C. & Reiser, B. J. (2017). Developing and using models. In: *Helping students make sense of the world using next generation science and engineering practices*. NSTA Press.
- Talanquer, V. (2014). Chemistry education: Ten heuristics to tame. *Journal of Chemical Education*, 91(8), 1091–1097. <https://doi.org/10.1021/ed4008765>
- Treagust, D. F., Chittleborough, G. & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International journal of science education*, 24(4), 357–368.
- Upmeyer zu Belzen, A. & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 41–57. <https://doi.org/10.25656/01:31676>
- Upmeyer zu Belzen, A., van Driel, J. & Krüger, D. (2019). Introducing a framework for modeling competence. Towards a competence-based view on models and modeling in science education, 3–19. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30255-9_1