

Verknüpfung von Aspekten und Struktur mechanistischen Denkens

Mechanistisches Denken ist elementarer Bestandteil naturwissenschaftlicher Forschung und universitärer Lehre. In der Chemiedidaktik werden verschiedene Aspekte mechanistischen Denkens beschrieben: Es beinhaltet das Denken über explizite (in Repräsentationen sichtbar) und implizite Eigenschaften (nicht sichtbar), über Dynamik, über Ursachen und deren Effekte, über multiple Variablen und über das komplexe Zusammenspiel der zuvor genannten Aspekte (Becker, Noyes, & Cooper, 2016; Cooper, Kouyoumdjian, & Underwood, 2016; Moon, Stanford, Cole, & Towns, 2016; Sevian & Talanquer, 2014; Weinrich & Talanquer, 2016). Besonders in der Organischen Chemie haben Studierende immense Schwierigkeiten mit diesen Aspekten mechanistischen Denkens (vgl. Graulich, 2015). Anstatt auf explizite und implizite Eigenschaften zu achten, richten Studierende beispielsweise ihren Fokus oft nur auf explizite Eigenschaften und statt kausalen Denkens über Ursachen und deren Effekte lernen sie Mechanismen häufig auswendig (Anzovino & Bretz, 2015; Bhattacharyya & Bodner, 2005; Ferguson & Bodner, 2008; Graulich & Bhattacharyya, 2017; Grove, Cooper, & Rush, 2012; Grove & Lowery Bretz, 2012; Strickland, Kraft, & Bhattacharyya, 2010; Weinrich & Sevian, 2017). Während viele Forschungsarbeiten die Schwierigkeiten von Studierenden mit Aspekten mechanistischen Denkens beschreiben, ist bisher noch nicht untersucht, wie Aspekte mechanistischen Denkens mit dessen Struktur verknüpft sind.

Die Struktur mechanistischen Denkens lässt sich auf unterschiedliche Art und Weise beschreiben, so z. B. mit dem Toulmin Argumentationsmuster (Cruz-Ramírez de Arellano & Towns, 2014; Moon et al., 2016; Toulmin, 2003), mit verschiedenen kausalen Mustern (Grotzer, 2012), wie der zyklischen Kausalität, oder mit dem von Bernholt und Parchmann (2011) entwickelten Modell multivariater Wechselbeziehungen. Diese Strukturen sind zwar mit dem Aspekt „Ursachen und Effekte“ verknüpft, aber nicht mit den Aspekten, die im Wesentlichen mechanistisches Denken von anderem kausalen Denken unterscheiden, nämlich das Denken über explizite und implizite Eigenschaften von Entitäten—die statische Komponente eines Mechanismus (Machamer, Darden, & Craver, 2000)—und das Denken über Aktivitäten—die dynamische Komponente eines Mechanismus (Machamer et al., 2000).

Warum jedoch hat unser Forschungsansatz genau diese Verknüpfung von Struktur und Aspekten mechanistischen Denkens zum Ziel? Wenn Struktur und Aspekte mechanistischen Denkens getrennt voneinander beforscht werden, dann können unproduktive Aspekte und produktive Ressourcen des Denkens der Studierenden aufgedeckt werden. Es ist jedoch schwierig, direkte Implikationen für die Lehre abzuleiten. Denn selbst wenn unproduktive Aspekte und produktive Ressourcen bekannt sind, gibt dies keine konkreten Hinweise darauf, wo eine Förderung der Studierenden hin zur Aktivierung der produktiven Ressourcen ansetzen kann. Dies ist anders, wenn wir eine Verknüpfung von Struktur und Aspekten mechanistischen Denkens aus der Logik des Faches ableiten. In diesem Fall fokussiert die Forschung nur auf produktive Ressourcen und darauf, welche Ressourcen Studierende bereits aktivieren und welche noch nicht. Darauf können Fördermaßnahmen in Form eines Scaffolding direkt aufbauen, indem den Studierenden strukturelle Verknüpfungen zwischen Aspekten, die sie bereits unbewusst herstellen, bewusst gemacht werden und indem die schon vorhandene Struktur genutzt wird, um noch nicht aktivierte Ressourcen zu aktivieren.

Auf Grundlage theoretischer Überlegungen in der Wissenschaftsphilosophie (Goodwin, 2003, 2008; Machamer et al., 2000) haben wir eine solche Verknüpfung von Struktur und Aspekten mechanistischen Denkens für vergleichendes mechanistisches Denken (VMD) in der Organischen Chemie entwickelt (vgl. Caspari, Kranz, & Graulich, 2018). Die Aspekte „explizite und implizite Eigenschaften“ und „Dynamik“ werden strukturell verknüpft, indem ausgehend von expliziten strukturellen Unterschieden zwischen zwei Fällen deren Relation zu Veränderungen beschrieben wird (Abb. 1). Dabei kommt „Dynamik“ in der Beschreibung der Veränderungen zum Ausdruck und „impliziten Eigenschaften“ sind Bestandteil von Relationen hoher Komplexität, wie weiter unten deutlich werden wird.



Abb. 1 Muster vergleichenden mechanistischen Denkens, welches Aspekte mit der Struktur mechanistischen Denkens verknüpft.

Basierend auf diesem VMD Muster und der Zielsetzung die Analyse und Förderung der Ressourcenaktivierung von Studierenden direkt miteinander zu verbinden, ergeben sich folgende Forschungsfragen:

- Wie lässt sich die Komplexität der Relationen, die Studierende herstellen, charakterisieren?
- Wie lässt sich dieses Muster nutzen, um das bewusste Herstellen solcher Relationen bei Studierenden strukturiert anzuleiten?

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage haben 20 OC II Studierende Fallvergleiche zunächst ohne Scaffold in Think-aloud Interviews gelöst. In einer qualitativen Analyse haben wir deduktiv (Saldaña, 2016) das VMD Muster genutzt, um zu erforschen zwischen welchen expliziten strukturellen Unterschieden und Veränderungen die Studierenden Relationen herstellen. Durch induktives Vorgehen (Saldaña, 2016) haben wir darauf aufbauend die Komplexität dieser Relationen analysiert. Zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage haben die Studierenden die Fallvergleiche im zweiten Teil der Interviews noch einmal gelöst und wir haben das Denken der Studierenden mit und ohne Scaffold miteinander verglichen.

Aus den Daten des ersten Interviewteils ohne Scaffold konnten drei Komplexitätslevel der Relationen beschrieben werden (Caspari et al., 2018) (Abb. 2). Dabei haben alle Relationen den gleichen Anfangspunkt, nämlich einen expliziten strukturellen Unterschied, und den gleichen Endpunkt, nämlich eine Veränderung (Abb. 2). Unterschiedlich ist, wie viele Informationen die Studierenden zwischen diesem Start- und Endpunkt berücksichtigen (Abb. 2). Bei niedrigem Komplexitätslevel stellen die Studierenden eine direkte Verknüpfung zwischen dem Start- und dem Endpunkt her. Bei mittlerer Komplexität berücksichtigen sie dazwischen zusätzlich eine implizite strukturelle Ursache und bei hoher Komplexität zusätzlich einen elektronischen Effekt (Caspari et al., 2018).

Das zur Analyse verwendete VMD Muster lässt sich auch für ein strukturiertes Scaffolding verwenden (Caspari & Graulich, 2018) (Abb. 3). Studierende wurden zunächst gefragt, welche Veränderungen in beiden Prozessen der Fallvergleiche stattfinden. Dann wurden sie aufgefordert zu beschreiben, was sich zwischen den verglichenen Fällen unterscheidet. Darauf aufbauend wurden sie dazu angeleitet, Relationen zwischen den aufgelisteten Unterschieden und Veränderungen herzustellen. Das Herstellen von Relationen eignet sich sehr gut für die Analyse von Daten ist aber für die Studierenden sehr abstrakt. Deshalb haben wir es für die Studierenden konkretisiert und sie gefragt, welchen Einfluss jeder Unterschied auf jede

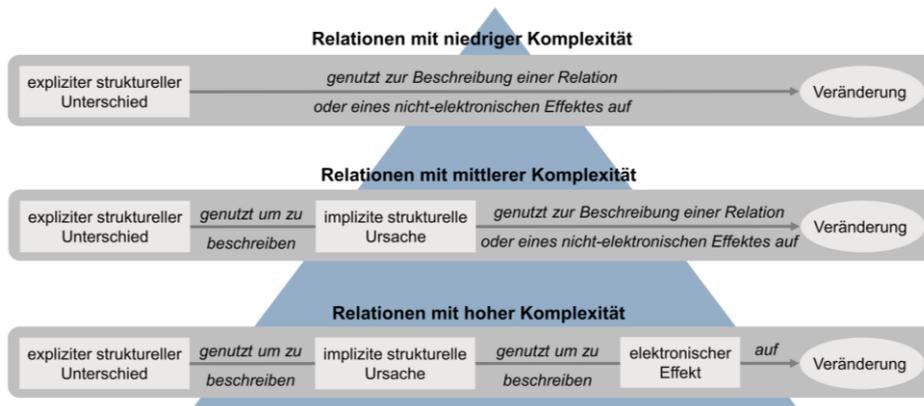


Abb. 2 Nutzung des Modells des vergleichenden mechanistischen Denkens zur Analyse von Interviewdaten ergibt drei Komplexitätslevel der von den Studierenden gebildeten Relationen. Verändert nach Caspari, Kranz & Graulich (2018) mit Genehmigung der Royal Society of Chemistry.

Veränderung hat (Abb. 3). Das Scaffolding wurde von den Studierenden sehr gut angenommen. Die Analyse zeigt, dass die Studierenden durch das Scaffolding Relationen zwischen expliziten strukturellen Unterschieden und Veränderungen bewusst herstellen, die sie ohne Scaffold unbewusst hergestellt haben. Es zeigt sich auch, dass Ressourcen, die die Studierenden ohne Scaffold nicht aktiviert haben, durch das Scaffold aktiviert werden, da die Studierenden Relationen herstellen, die sie ohne Scaffold nicht hergestellt haben (Caspari & Graulich, 2018).

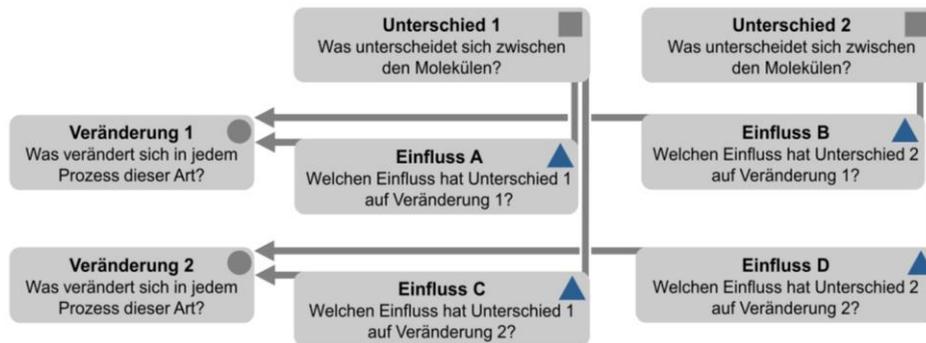


Abb. 3 Schrittweises Scaffolding für das vergleichende mechanistische Denken.

Somit ist es uns gelungen, Struktur und Aspekte mechanistischen Denkens miteinander zu verknüpfen und dies für die Analyse und das Scaffolding studentischen Denkens zu nutzen. Damit bieten wir einen Forschungsansatz, der eine Brücke zwischen Diagnose und Förderansätzen schlägt. Unsere bisherige Arbeit bietet außerdem in beiden Bereichen eine wichtige Grundlage für zukünftige Forschungsprojekte. So bietet sich das VMD Muster als Analyseinstrument zur Beantwortung verschiedenster Forschungsfragen an, wie zum Beispiel in dem in diesem Tagungsband vorgestellten Projekt von Eckhard, Rodemer, Bernholt & Graulich (2018) demonstriert. Zudem hat das Scaffold das Potential auf viele weitere Gebiete in den Naturwissenschaften übertragen zu werden. Ein Beispiel für die Schulphysik präsentieren wir in Caspari & Graulich (2018).

Literatur

- Anzovino, M. E., & Bretz, S. L. (2015). Organic chemistry students' ideas about nucleophiles and electrophiles: the role of charges and mechanisms. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(4), 797-810.
- Becker, N., Noyes, K., & Cooper, M. (2016). Characterizing Students' Mechanistic Reasoning about London Dispersion Forces. *Journal of Chemical Education*, 93(10), 1713-1724.
- Bernholt, S., & Parchmann, I. (2011). Assessing the complexity of students' knowledge in chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 12(2), 167-173.
- Bhattacharyya, G., & Bodner, G. M. (2005). "It Gets Me to the Product": How Students Propose Organic Mechanisms. *Journal of Chemical Education*, 82(9), 1402-1407.
- Caspari, I., & Graulich, N. (2018). Scaffolding the structure of organic chemistry students' multivariate mechanistic reasoning. *International Journal of Physics and Chemistry Education*, revision requested.
- Caspari, I., Kranz, D., & Graulich, N. (2018). Resolving the complexity of organic chemistry students' reasoning through the lens of a mechanistic framework. *Chemistry Education Research and Practice*, 19(4), 1117-1141.
- Cooper, M. M., Kouyoumdjian, H., & Underwood, S. M. (2016). Investigating Students' Reasoning about Acid-Base Reactions. *Journal of Chemical Education*, 93(10), 1703-1712.
- Cruz-Ramírez de Arellano, D., & Towns, M. H. (2014). Students' understanding of alkyl halide reactions in undergraduate organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(4), 501-515.
- Eckhard, J., Rodemer, M., Bernholt, S., & Graulich, N. (2018). Blickbewegungen beim Umgang mit organischen Reaktionsmechanismen. Konferenzbeitrag auf der GDCP Jahrestagung, Kiel.
- Ferguson, R., & Bodner, G. M. (2008). Making sense of the arrow-pushing formalism among chemistry majors enrolled in organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 9(2), 102-113.
- Goodwin, W. M. (2003). Explanation in Organic Chemistry. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 988(1), 141-153.
- Goodwin, W. M. (2008). Structural formulas and explanation in organic chemistry. *Foundations of Chemistry*, 10(2), 117-127.
- Graulich, N. (2015). The tip of the iceberg in organic chemistry classes: how do students deal with the invisible? *Chemistry Education Research and Practice*, 16(1), 9-21.
- Graulich, N., & Bhattacharyya, G. (2017). Investigating students' similarity judgments in organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(4), 774-784.
- Grotzer, T. A. (2012). *Learning Causality in a Complex World: Understandings of Consequence*. Lanham: Rowman & Littlefield Education.
- 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.
- Grove, N. P., & Lowery Bretz, S. (2012). A continuum of learning: from rote memorization to meaningful learning in organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(3), 201-208.
- Machamer, P., Darden, L., & Craver, C. F. (2000). Thinking About Mechanisms. *Philosophy of Science*, 67(1), 1-25.
- Moon, A., Stanford, C., Cole, R., & Towns, M. (2016). The nature of students' chemical reasoning employed in scientific argumentation in physical chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(2), 353-364.
- Saldaña, J. (2016). *The Coding Manual for Qualitative Researchers* (3 ed.). Los Angeles: Sage.
- Sevian, H., & Talanquer, V. (2014). Rethinking chemistry: a learning progression on chemical thinking. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(1), 10-23.
- Strickland, A. M., Kraft, A., & Bhattacharyya, G. (2010). What happens when representations fail to represent? Graduate students' mental models of organic chemistry diagrams. *Chemistry Education Research and Practice*, 11(4), 293-301.
- Toulmin, S. (2003). *The Uses of Argument* (Updated Edition ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Weinrich, M. L., & Sevian, H. (2017). Capturing students' abstraction while solving organic reaction mechanism problems across a semester. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(1), 169-190.
- Weinrich, M. L., & Talanquer, V. (2016). Mapping students' modes of reasoning when thinking about chemical reactions used to make a desired product. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(2), 394-406.