

David Kranz¹
Nicole Graulich¹

¹Justus-Liebig-Universität, Gießen

Mechanistisches Denken anleiten – geht das?

Ein wichtiger Bestandteil der Lehre in der organischen Chemie sind Reaktionsmechanismen. Lehrende erwarten, dass Studierende möglichst viele Konzepte in ihrem Kopf haben, die sie dann abwägend auf Reaktionsmechanismen beziehen können. Dafür müssen allerdings erst einmal die Bestandteile eines solchen Mechanismus identifiziert, die wichtigen Bestandteile herausgefiltert und in eine sinnvolle Reihenfolge gebracht werden, um sie dann aufeinander zu beziehen, bevor damit Vergleiche oder weitere Schlussfolgerungen angestellt werden können.

Dieses mechanistische Denken beschäftigt die Forschung in der Chemiedidaktik, aber auch in anderen Disziplinen, wobei schon viele Erkenntnisse über die Charakterisierung und Diagnose des mechanistischen Denkens bei Studierenden gesammelt wurden (Goodwin, 2003; Bhattacharyya & Bodner, 2005; Goodwin, 2008; Russ, Scherr, Hammer & Mikeska, 2008; Kraft, Strickland & Bhattacharyya, 2010; Bhattacharyya, 2013; Sevian & Talanquer, 2014; Becker, Noyes & Cooper, 2016; Cooper, Kouyoumdjian & Underwood, 2016; Weinrich & Talanquer, 2016; Caspari, Kranz & Graulich, 2018; Caspari, Weinrich, Sevian & Graulich, 2018; Bodé, Deng & Flynn, 2019). Die Wichtigkeit des Themas wird also auch durch die Präsenz in der Forschung deutlich und damit auch, wie wichtig es ist, Fördermöglichkeiten des mechanistischen Denkens in der organischen Chemie zu finden (z. B. Underwood, Posey, Herrington, Carmel & Cooper, 2018; Caspari & Graulich, 2019), die sich direkt in den Übungs- bzw. Klassenräumen einsetzen lassen. Ein mögliches Aufgabendesign, das zur Förderung des mechanistischen Denkens genutzt werden kann, sind sogenannte Fallvergleiche (Gick & Paterson, 1992; Rittle-Johnson & Star, 2007; Rittle-Johnson & Star, 2009; Schwartz, Chase, Oppezzo & Chin, 2011; Caspari, Kranz & Graulich, 2018; Graulich & Schween, 2018; Graulich, Hedtrich & Harzenetter, 2019). In Studien wurde auch über Disziplingrenzen hinweg gezeigt, dass diese einen positiven Einfluss auf den Lernerfolg haben (vgl. Alfieri, Nokes-Malach & Schunn, 2013). Im Fall der organischen Chemie können hierfür zum Beispiel zwei mechanistische Schritte gegenübergestellt werden. Diese werden vergleichend betrachtet, um so einfacher Rückschlüsse auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Reaktionen ziehen und diese abschließend generalisieren zu können.

Im Kontext von Fallvergleichen lässt sich zusätzlich sogenanntes Scaffolding anwenden. Beim Scaffolding werden Aufgaben vereinfacht, wobei die Komplexität der Gesamtaufgabe beibehalten wird und der Großteil der Aufgabenbearbeitung trotzdem beim Lernenden bleibt (Belland, 2017). In der organischen Chemie kann das mechanistische Denken angeleitet werden, in dem eine Ursache-Wirkungs-Beziehung in ihre einzelnen Bausteine zerlegt wird (Russ, Scherr, Hammer & Mikeska, 2008; Sevian & Talanquer, 2014; Weinrich & Talanquer, 2016), wobei diese wiederum unterschiedlich elaboriert von den Studierenden betrachtet werden können, um abschließend wieder eine Gesamtaussage zu formulieren. Diese Art des kleinschrittigen Betrachtens von Ursache-Wirkungs-Beziehungen führt nachweislich

zu einer erhöhten Anzahl an erkannten Beziehungen beim Betrachten von Fallvergleichen (Caspari & Graulich, 2019).

Für die Studie wurde eine Scaffold-Tabelle benutzt, die jeweils von mehreren Aufgabenstellungen begleitet wurde (siehe Abb. 1).

		Unterschiede	
		Atom / Atomgruppe A	Atom / Atomgruppe B
		vs.	vs.
		Eigenschaften von Atom / Atomgruppe A (Welche chemischen Eigenschaften charakterisiert diese Atome/Atomgruppe?)	Eigenschaften von Atom / Atomgruppe B (Welche chemischen Eigenschaften charakterisiert diese Atome/Atomgruppe?)
Gemeinsamkeiten			
Eigenschaftsänderung 1 (Was ändert sich von den Ausgangsstoffen zu den Produkten, z.B. Bildung einer Ladung)		Einfluss der Eigenschaften A auf die Eigenschaftsänderung 1 (Wie beeinflusst die Eigenschaft die Änderung 1 im Prozess?)	Einfluss der Eigenschaften B auf die Eigenschaftsänderung 1 (Wie beeinflusst die Eigenschaft die Änderung 1 im Prozess?)
Eigenschaftsänderung 2 (Was ändert sich von den Ausgangsstoffen zu den Produkten, z.B. Bildung einer Ladung)		Einfluss der Eigenschaften A auf die Eigenschaftsänderung 2 (Wie beeinflusst die Eigenschaft die Änderung 2 im Prozess?)	Einfluss der Eigenschaften B auf die Eigenschaftsänderung 2 (Wie beeinflusst die Eigenschaft die Änderung 2 im Prozess?)

Abb. 1: Scaffold-Tabelle, wie sie in der Studie eingesetzt wurde. Adaptiert von Caspari & Graulich (2019) In den Feldern sind die Aufgabenstellungen zu finden.

Zunächst mussten die Studierenden eine oder mehrere Eigenschaftsänderungen identifizieren, die bei einem Mechanismus der dargestellten Art immer auftreten. In der zweiten Aufgabe wurden die Lernenden aufgefordert, einen expliziten strukturellen Unterschied zu identifizieren. In der nächsten Aufgabe wurde nach den Eigenschaften dieses expliziten strukturellen Unterschieds gefragt. Schließlich wurde die Frage gestellt, welchen Einfluss diese Eigenschaften auf die in Aufgabe 1 angegebene Eigenschaftsänderung haben. Die Studierenden wurden auch aufgefordert zu erläutern, ob dies die Reaktion im Verhältnis zur jeweils anderen Reaktion beschleunigt, verlangsamt oder keinen Einfluss hat. Die Ursache-Wirkungs-Beziehungen werden somit in Einzelteile zerlegt, um am Ende wieder ein Gesamtargument zu bilden. Ein solches Gesamtargument kann entweder auf einem expliziten Niveau bleiben, implizite Eigenschaften einschließen oder vollständig kausal elektronisch erklärt sein (vgl. Caspari, Kranz & Graulich, 2018).

Es lässt sich anhand eines einzelnen Arguments nicht immer entscheiden, ob eine Reaktion schneller oder langsamer abläuft (Talanquer, 2014). Außerdem ist es für die mögliche Qualität einer Antwort erheblich, ob mit Hilfe einer einzigen Variable oder anhand mehrerer Eigenschaftsänderungen argumentiert wird (vgl. Weinrich & Talanquer, 2016).

Für die geplante Studie stellte sich die Frage, ob sich anhand der beiden oben erläuterten Dimensionen *Komplexität* und *Multivarianz* wiederkehrende Muster innerhalb der

Studierendenantworten erkennen lassen und ob diese Muster abhängig davon sind, wie leistungsstark ein Lernender ist. Es ergeben sich daher folgende Forschungsfragen:

- Welche wiederkehrenden Muster lassen sich innerhalb der Antworten der Studierenden erkennen, wenn Sie das Scaffold bearbeiten?
- Inwiefern hängt das Bearbeiten des Scaffolds (Muster) davon ab, über wieviel konzeptuelles Vorwissen die Studierenden verfügen?

Die Studie ist in einem exploratory mixed-methods Ansatz (Creswell & Creswell, 2017) angelegt. Dabei werden die oben aufgeführten Forschungsfragen mit $N = 17$ Teilnehmenden (12 weiblich und 6 männlich) aus den Studiengängen Bachelor und Lehramt Chemie zwischen 19 und 31 Jahren untersucht. In einem Pre-Post-Design mussten diese vor und nach einer schriftlichen auf dem eingangs erläuterten Scaffold basierenden Aufgabe einen Paper-Pencil Test ausfüllen.

Die Daten aus den schriftlichen Aufgaben wurden mit Hilfe der Software MAXQDA kodiert um anschließend anhand der vergebenen Kodierungen Muster innerhalb eines zweidimensionalen Rasters (Abb. 2) zu generieren.

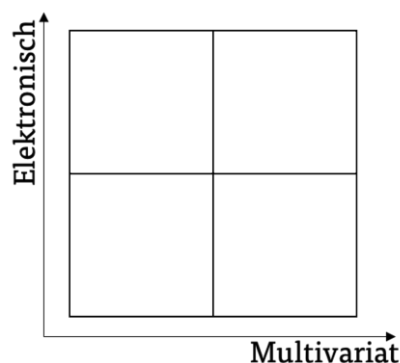


Abb. 2: Raster für die Antwortmuster der Studierenden. In x -Richtung wird die Multivarianz angegeben, in y -Richtung, wie elektronisch elaboriert das Argument ist.

Mit Hilfe der Paper-Pencil Aufgaben wurden die Studierenden in drei Leistungsgruppen eingeteilt, um dann zunächst qualitativ und anschließend mit verschiedenen statistischen Tests zu überprüfen, ob ein Zusammenhang zwischen zugeteilten Gruppen und Mustern besteht.

Ausblick

Die hier vorgestellte Studie befindet sich zurzeit in der Auswertung. Die Ergebnisse werden in einer separaten Publikation vorgestellt und diskutiert werden. Es lässt sich aber bereits feststellen, dass sich das Scaffold zusammen mit den daraus resultierenden Mustern als Diagnosewerkzeug sinnvoll im Unterricht einsetzen lässt. Je nach Zusammenhang mit dem Vorwissen ergeben sich außerdem weitere Möglichkeiten des Einsatzes in Kombination mit weiteren Förderinstrumenten in der Lehre, um den Nutzen für alle Leistungsgruppen zu optimieren. Es lässt sich festhalten, dass das Scaffold eine vielversprechende Chance hinsichtlich des Erlernens kausal-mechanistischen Denkens in der organischen Chemie bietet und sich nach weiterer Untermauerung durch eine quantitative Studie und die direkte Erprobung im (Hoch-)Schulunterricht als fester Bestandteil für eben diesen etablieren könnte.

Literatur

- Alfieri L., Nokes-Malach T. J. and Schunn C. D. (2013). Learning Through Case Comparisons: A Meta-Analytic Review, *Educ. Psychol.*, 48 (2), 87-113
- Becker N., Noyes K. and Cooper M. (2016). Characterizing Students' Mechanistic Reasoning about London Dispersion Forces, *J. Chem. Educ.*, 93 (10), 1713-1724
- Belland B. R. (2017). Instructional scaffolding: foundations and evolving definition. In *Instructional Scaffolding in STEM Education*. Cham: Springer, 17-53
- Bhattacharyya G. (2013). From Source to Sink: Mechanistic Reasoning Using the Electron-Pushing Formalism, *J. Chem. Educ.*, 90 (10), 1282-1289
- Bhattacharyya G. and Bodner G. M. (2005). "It gets me to the product": How students propose organic mechanisms, *J. Chem. Educ.*, 82 (9), 1402-1407
- Bodé N. E., Deng J. M. and Flynn A. B. (2019). Getting past the rules and to the WHY: Causal mechanistic arguments when judging the plausibility of organic reaction mechanisms, *J. Chem. Educ.*, 96 (6), 1068-1082
- Caspari I. and Graulich N. (2019). Scaffolding the structure of organic chemistry students' multivariate comparative mechanistic reasoning, *Int. J. Phys. Chem. Educ.*, 11 (2), 31-43
- Caspari I., Kranz D. and Graulich N. (2018). Resolving the complexity of organic chemistry students' reasoning through the lens of a mechanistic framework, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 19 (4), 1117-1141
- Caspari I., Weinrich M. L., Sevian H. and Graulich N. (2018). This mechanistic step is "productive": Organic chemistry students' backward-oriented reasoning, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 19 (1), 42-59
- Cooper M. M., Kouyoumdjian H. and Underwood S. M. (2016). Investigating Students' Reasoning about Acid-Base Reactions, *J. Chem. Educ.*, 93 (10), 1703-1712
- Creswell J. W. and Creswell J. D. (2017). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* Sage publications
- Gick M. L. and Paterson K. (1992). Do contrasting examples facilitate schema acquisition and analogical transfer?, *Can. J. Psychol.*, 46 (4), 539
- Goodwin W. (2003). Explanation in Organic Chemistry, *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 988 (1), 141-153
- Goodwin W. M. (2008). Structural formulas and explanation in organic chemistry, *Foundations of Chemistry*, 10 (2), 117-127
- Graulich N., Hedtrich S. and Harzenetter R. (2019). Explicit versus implicit similarity-exploring relational conceptual understanding in organic chemistry, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 20 (4), 924-936
- Graulich N. and Schween M. (2018). Concept-Oriented Task Design: Making Purposeful Case Comparisons in Organic Chemistry, *J. Chem. Educ.*, 95 (3), 376-383
- Kraft A., Strickland A. M. and Bhattacharyya G. (2010). Reasonable reasoning: Multi-variate problem-solving in organic chemistry, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 11 (4), 281-292
- Rittle-Johnson B. and Star J. R. (2007). Does comparing solution methods facilitate conceptual and procedural knowledge? An experimental study on learning to solve equations, *J. Educ. Psychol.*, 99 (3), 561-574
- Rittle-Johnson B. and Star J. R. (2009). Compared with what? The effects of different comparisons on conceptual knowledge and procedural flexibility for equation solving, *J. Educ. Psychol.*, 101 (3), 529
- Russ R. S., Scherr R. E., Hammer D. and Mikeska J. (2008). Recognizing mechanistic reasoning in student scientific inquiry: A framework for discourse analysis developed from philosophy of science, *Science Education*, 92 (3), 499-525
- Schwartz D. L., Chase C. C., Oppezzo M. A. and Chin D. B. (2011). Practicing versus inventing with contrasting cases: The effects of telling first on learning and transfer, *J. Educ. Psychol.*, 103 (4), 759
- Sevian H. and Talanquer V. (2014). Rethinking chemistry: A learning progression on chemical thinking, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 15 (1), 10-23
- Talanquer V. (2014). Chemistry Education: Ten Heuristics To Tame, *J. Chem. Educ.*, 91 (8), 1091-1097
- Underwood S. M., Posey L. A., Herrington D. G., Carmel J. H. and Cooper M. M. (2018). Adapting Assessment Tasks To Support Three-Dimensional Learning, *J. Chem. Educ.*, 95 (2), 207-217
- Weinrich M. L. and Talanquer V. (2016). Mapping students' modes of reasoning when thinking about chemical reactions used to make a desired product, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 17 (2), 394-406