

Julia Eckhard¹
Marc Rodemer²
Sascha Bernholt²
Nicole Graulich¹

¹Universität Gießen
²IPN Kiel

„Welches Erklärniveau?“ – Analyse von Erklärungen von Dozierenden der Organischen Chemie

Einleitung und theoretischer Hintergrund

Eine zentrale Herausforderung in der Organischen Chemie (OC) ist der Umgang mit Reaktionsmechanismen. Mechanistische Erklärungen, die beinhalten wie und warum Reaktionsmechanismen ablaufen, ermöglichen ein Verständnis der ablaufenden Prozesse sowie die Möglichkeit der Vorhersage und der Kontrollierbarkeit von Reaktionen (Craver & Darden, 2013).

Viele Studien zeigten bereits, dass Studierende Schwierigkeiten beim mechanistischen Erklären in der OC haben, da sie z. B. kausale Zusammenhänge vernachlässigen, indem sie ihre Behauptungen auf explizite Oberflächenmerkmale anstatt auf implizite Eigenschaften stützen (Bhattacharyya & Bodner, 2005; Graulich & Bhattacharyya, 2017; Strickland et al., 2010). Zudem zeigte sich, dass sich Studierende häufig auf das Auswendiglernen sowie auf die Verwendung von Heuristiken verlassen (Grove & Bretz, 2012; Maeyer & Talanquer, 2010) und fragmentiertes, unverknüpftes Konzeptwissen für ihre Erklärung nutzen (Anzovino & Bretz, 2016).

Die beschriebenen Schwierigkeiten der Studierenden können auf eine unproduktive oder eine fehlende Aktivierung von kognitiven Ressourcen zurückgeführt werden (Hammer et al., 2005). Laut dem Ressourcen-Framework (Hammer et al., 2005) werden kognitive Ressourcen nach der Erwartungshaltung einer Person aktiviert. Je nach Kontext „framed“ („framing“ = Rahmung) eine Person die Situation entsprechend unterschiedlich (Goffman, 1974; Tannen, 1993). Studien weisen darauf hin, dass Lehrende einen bedeutenden Einfluss auf die Aktivierung kognitiver Ressourcen und einhergehend die Entwicklung von Argumentationsfähigkeiten von Lernenden haben (z. B. Hammer et al., 2005; McNeill & Krajcik, 2008; Osborne et al., 2004; Russ, 2018). Weiterhin deuten Forschungsergebnisse im Bereich des mechanistischen Denkens in der Chemie darauf hin, dass sich Lernende an den mechanistischen Erklärungen der Lehrperson orientieren und ihre Erklärungen entsprechend anpassen (Moreira et al., 2019). Folglich könnte die Aktivierung der kognitiven Ressourcen von Lernenden durch Lehrende in Lehr-Lernsituationen unterstützt werden.

Während die Schwierigkeiten von Studierenden beim mechanistischen Denken in der OC gut erforscht sind, ist wenig darüber bekannt wie Lehrende mechanistische Erklärungen in verschiedenen Frames bilden. Im Besonderen ist wenig bekannt, wie sie kausale Zusammenhänge verbalisieren und die Erklärung aufbauen.

Zielsetzung

Die Analyse der mechanistischen Erklärungen von OC-Dozierenden ermöglicht Bezüge zu den erforschten Schwierigkeiten von Studierenden im Bereich von kausalen Zusammenhängen herzustellen und Ressourcen zu identifizieren, die das mechanistische Denken unterstützen.

Studiendesign

Um die mechanistischen Erklärungen von OC-Dozierenden (N = 10 Professor*innen oder Lehrbeauftragte) zu analysieren, wurden Daten mittels qualitativer Interviews, als Teil einer Eye-Tracking Studie (Rodemer et al., 2020), erhoben. Der Ansatz der kontext-abhängigen Ressourcenaktivierung des „Framings“ wurde angewendet, indem die Dozierenden in zwei Szenarien gezielt entwickelte Fallvergleichsaufgaben bearbeiteten (siehe Abb. 1) (Graulich & Schween, 2018). In den Fallvergleichen sollten die Dozierenden entscheiden, welche der beiden dargestellten Reaktionen schneller verläuft. Im ersten Szenario sollten sie zunächst die Fragestellung mental beantworten und anschließend retrospektiv ihre Erklärung formulieren und begründen (intuitiver Frame). Im zweiten Szenario wurden sie gebeten die Reaktionen einem Studierenden mit geringem Vorwissen zu erklären (Lehr-Frame).

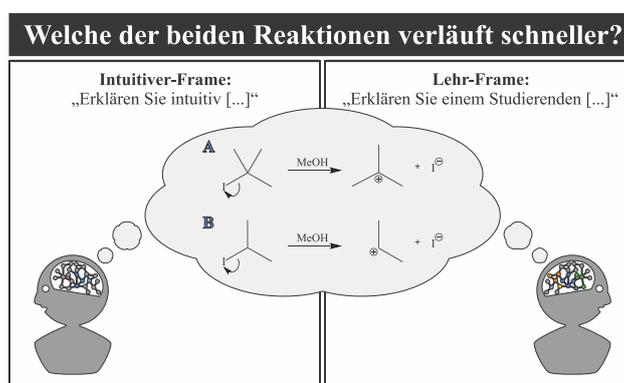


Abb. 1: Framing von Dozierenden. Eine Fallvergleichsaufgabe sollte in zwei Frames (intuitiver Frame und Lehr-Frame) beantwortet werden.

Datenanalyse und erste Ergebnisse

Im Zuge der Datenanalyse wurden die Interviews der OC-Dozierenden transkribiert und mittels MAXQDA kategorisiert. Die Analyse verlief in drei Schritten: I. Analyse der verbalisierten Kausalzusammenhänge, im speziellen Ursache und Wirkung; II. Identifikation, wie beschriebene Ursachen und Wirkungen mit weiteren Erklärelementen umrahmt sind; III. Beschreibung des Aufbaus der Erklärung.

Im ersten Schritt wurde der zentrale Aspekt der *Ursachen* und *Wirkungen* in den Erklärungen der OC-Dozierenden analysiert, in Anlehnung an ein Kategoriensystem von Caspari et al. (2018), das unterschiedliche Komplexitäten von Kausalzusammenhängen betrachtet. Die *Ursachen*, die OC-Dozierenden benannten, wurden in drei Kategorien klassifiziert, abhängig davon, wie sie implizite Eigenschaften beschrieben haben. Die Kategorie *explizit* wurde vergeben, wenn sich auf explizite Strukturmerkmale bezogen wurde (z. B. „tertiäres Substrat vs. sekundäres Substrat“). Die Kategorie *implizit* wurde vergeben, wenn eine implizite Eigenschaft oder ein Konzept benannt wurde (z. B. „aufgrund von Hyperkonjugation“). Die *implizit-elektronische* Kategorie wurde verwendet, wenn als Ursache eine implizite Eigenschaft auf elektronischem Niveau verbalisiert wurde (z. B. „aufgrund von Hyperkonjugation werden Elektronen geschoben“). Die *Wirkung*, die OC-Dozierende verbalisierten, wurde in zwei Kategorien unterteilt, in Abhängigkeit davon, ob sie die Wirkung einer Ursache *nicht-elektronisch* (z. B. „ist stabiler“) oder *elektronisch* (z. B. „Ladung wird abgeschwächt“) verbalisierten. Als Beispiel sei hier Professor M beschrieben, der den Fallvergleich in Abbildung 1 löst. Im intuitiven Frame zieht er eine explizite Ursache heran

(tertiäres Carbeniumion vs. sekundäres). Er verbalisiert, dass dadurch die obere Reaktion schneller ist, benennt aber keine strukturelle Wirkung dieser Ursache im intuitiven Frame.

Professor M: „*Ja. Die obere Reaktion ist schneller als die untere Reaktion, weil sie über die Bildung eines tertiären Carbeniumions verläuft und nicht eines sekundären.*“

Im Lehr-Frame hingegen, zieht er eine implizite Eigenschaft der Methylgruppen heran, indem er den +I-Effekt benennt (implizite Ursache). Weiterhin beschreibt er die Wirkung dieser Ursache, indem er auf die resultierende Stabilität eingeht (nicht-elektronischer Effekt).

Professor M: „*[...] Sie sehen es, im einen Falle ist es ein tertiäres Carbeniumion, was sich ausbildet, im oberen Beispiel, im unteren Beispiel ein sekundäres Carbeniumion. [...] Und anhand des +I-Effektes der Methylgruppen, der ja im oberen Falle stärker ist als im unteren Falle, weil wir oben drei Methylgruppen haben, die einen +I-Effekt ausüben, unten nur zwei Methylgruppen mit +I-Effekt, können wir sehen eben, das obere Carbeniumion ist stabiler und wird sich entsprechend auch schneller bilden.*“

Diese Darstellung der Erklärung von Professor M dient exemplarisch. Ergebnisse zeigen, dass in der Stichprobe im intuitiven Frame vermehrt explizite Ursachen *ohne Wirkung* verbalisiert werden, also unvollständige Ursache-Wirkungs-Beziehungen gebildet werden. Vollständige Ursache-Wirkungs-Beziehungen werden im intuitiven Frame häufig über die Nennung von impliziten Ursachen mit nicht-elektronischer Wirkung gebildet. Letztere findet man ebenfalls im Lehr-Frame. Zudem werden im Lehr-Frame vollständige Ursache-Wirkungs-Beziehungen häufiger über implizit-elektronische Ursachen gemeinsam mit elektronischen Effekten gebildet. Dennoch zeigen sich auch im Lehr-Frame unvollständige Ursache-Wirkungs-Beziehungen, da häufig implizite Ursachen *ohne Wirkung* verbalisiert werden.

Aufgrund der induktiven Analyse der Erklärelemente, die *Ursache* und *Wirkung* umrahmen, konnten die Kategorien: „*Verbalisierung der Herangehensweise*“, „*Beschreibung des Prozesses*“ und „*Nennung von allgemeinen Aussagen*“ beschrieben werden. Es zeigte sich, dass im intuitiven Frame *Ursache* und *Wirkung* häufig von einer Beschreibung des ablaufenden Prozesses umrahmt werden, während im Lehr-Frame zusätzlich dazu die Herangehensweise sowie allgemeine Aussagen und Regeln verbalisiert werden.

Fazit und Ausblick

Die Analyse der Erklärungen von OC-Dozierenden in unterschiedlichen Frames zeigt, dass Framing für Unterschiede in der Elaboration, Ausführlichkeit und im Aufbau der Erklärung von OC-Dozierenden sorgt. Dies ist nicht überraschend. Die Analyse deckte jedoch auf, dass Unterschiede nicht nur zwischen Erklärungen in den unterschiedlichen Frames vorliegen, sondern ebenfalls Unterschiede zwischen den Dozierenden. Weiterhin zeigte sich, dass die Erklärungen der Dozierenden häufig nicht derartig gestaltet sind, wie es Frameworks, die das mechanistische Denken in der Chemie charakterisieren, fordern, um kausal zu sein (z. B. Sevian & Talanquer, 2014; Caspari et al., 2018). Entsprechend wurden häufig unvollständige Kausalketten gebildet, indem die Wirkung einer beschriebenen Ursache vernachlässigt wurde. Es stellen sich folglich die Fragen, welche Erwartungshaltung an die Erklärung von Studierenden beim mechanistischen Problemlösen gestellt werden kann und wie eine Idealerklärung für Studierende gestaltet werden sollte, um produktive Ressourcen zu aktivieren. Die erhaltenen Ergebnisse dienen zur Entwicklung von Instruktionen, z. B. von Lehrvideos, die Studierende beim mechanistischen Denken, vor allem bei der Bildung von vollständigen Kausalketten, in der OC unterstützen sollen.

Literatur

- Anzovino, M. E., & Bretz, S. L. (2016). Organic chemistry students' fragmented ideas about the structure and function of nucleophiles and electrophiles: A concept map analysis. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(4), 1019-1029
- 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., 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
- Craver, C. F., & Darden, L. (2013). *In search of mechanisms: Discoveries across the life sciences*. Chicago: University of Chicago Press
- Goffman, E. (1974). *Frame analysis: An essay on the organization of experience*. Cambridge: Harvard University Press
- Graulich, N., & Bhattacharyya, G. (2017). Investigating students' similarity judgments in organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(4), 774-784
- Graulich, N., & Schween, M. (2018). Concept-Oriented Task Design: Making Purposeful Case Comparisons in Organic Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 95(3), 376-383
- Grove N. P., & Bretz S. L. (2012). A continuum of learning: from rote memorization to meaningful learning in organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(3), 201-208
- Hammer, D., Elby, A., Scherr, R. E., & Redish, E. F. (2005). Resources, framing, and transfer. In J. P. Mestre (Ed.), *Transfer of Learning from a Modern Multidisciplinary Perspective*. Greenwich: Information Age Publishing, 89-119
- McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2008). Scientific explanations: Characterizing and evaluating the effects of teachers' instructional practices on student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(1), 53-78
- Maeyer, J., & Talanquer, V. (2010). The role of intuitive heuristics in students' thinking: Ranking chemical substances. *Science Education*, 94(6), 963-984
- Moreira, P., Marzabal, A., & Talanquer, V. (2019). Investigating the effect of teacher mediation on student expressed reasoning. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(3), 606-617
- Osborne, J., Erduran, S., & Simon, S. (2004). Enhancing the quality of argumentation in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 994-1020
- Rodemer, M., Eckhard, J., Graulich, N., & Bernholt, S. (2020). Decoding Case Comparisons in Organic Chemistry: Eye-Tracking Students' Visual Behavior. *Journal of Chemical Education*, 97(10), 3530-3539
- Russ, R. S. (2018). Characterizing teacher attention to student thinking: A role for epistemological messages. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(1), 94-120
- 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
- Tannen, D. (1993). *Framing in discourse*. New York: Oxford University Press