

Muster erkennen: Analyse der Mesomerie-Wahrnehmung von Studierenden in der Organischen Chemie

Ausgangslage und theoretischer Hintergrund

In der Organischen Chemie (OC) sind Problemlösen und Fachverständnis eng an das Verständnis von Repräsentationen gebunden. Folglich ist ein sicherer und flexibler Umgang mit Repräsentationen für den Lernerfolg in der OC essentiell. Aus kognitionspsychologischer Sicht lässt sich Repräsentationskompetenz in zwei größere, zusammenhängende Kompetenzen unterteilen (Rau 2018). *Sense-making skills* beziehen sich auf das explizite, konzeptuelle Wissen bzgl. Repräsentationen (z. B. Schrittfolgen zur Erstellung von Repräsentationen) (Rau 2018). *Perceptual fluency* umfasst hingegen die Fähigkeit, mühelos Repräsentationen zu verarbeiten, d. h. relevante Informationen in einer Repräsentation auf einen Blick zu erkennen (Rau 2018). Diese Kompetenz wird induktiv durch Erfahrung und regelmäßiges Üben erworben (Kellman & Massey 2013). Allerdings werden gerade zu Beginn in der OC eine Vielzahl an Repräsentationen eingeführt, die nicht immer konsistent verwendet werden (Graulich 2015). Nicht selten führt dies seitens der Lernenden zu einer verlangsamten visuellen Verarbeitung und kognitiven Überlastung, welches das Heranziehen von relevanten Konzepten beim Problemlösen erschwert (Anderson & Bodner 2008). Anknüpfend daran haben Carle und Flynn (2020) unterschiedliche Lernziele bzgl. des Mesomerie-Konzepts formuliert. So bildet die Fähigkeit, Mesomerie in Molekülen zu erkennen, die Voraussetzung für weiterführende Kompetenzen (z. B. Erkennen von nukleophilen/elektrophilen Stellen). Aus Studien geht jedoch hervor, dass Lernende hierbei Schwierigkeiten aufweisen (z. B. Fokus auf unrelevante, saliente Strukturmerkmale, Vernachlässigung von Details wie der Atomhybridisierung, inkorrektter Ausgangspunkt zur Delokalisierung von Elektronen), wodurch das Mesomerie-Konzept nur unzureichend im Problemlösen herangezogen wird (z. B. Betancourt-Pérez, Olivera & Rodríguez 2010; Braun, Langner & Graulich 2022; Petterson, Watts, Snyder-White, Archer, Shultz & Finkenstaedt-Quinn 2020). Unklar bleibt jedoch, wie die Variation von Strukturmerkmalen die Fähigkeit von Lernenden beeinflusst, Mesomerie in Molekülen zu erkennen und welche Überlegungen die Wahrnehmung von Mesomerie leiten. Hierdurch ergeben sich folgende Forschungsfragen:

1. Wie beeinflussen verschiedene Kombinationen an Strukturmerkmalen die Fähigkeit von Lernenden, Mesomerie-Stabilisierung in Molekülen zu erkennen?
2. Welche Trends zeigen sich in der Entscheidungsfindung der Lernenden zur Mesomerie-Stabilisierung und wie hängen sie mit anderen Leistungsvariablen zusammen (z. B. Vorwissen)?

Studiendesign

Mit Studierenden der OC 1 ($N=681$) wurde mittels einer dreiteiligen Online-Umfrage eine quantitative Studie durchgeführt (Braun, Lewis & Graulich 2024). Zunächst wurde in

Anknüpfung an die formulierten Lernziele von Carle und Flynn (2020) das konzeptbezogene Vorwissen der Lernenden in Form einer Selbsteinschätzung und der Bearbeitung mesomeriebezogener Aufgaben erhoben. Letztere griffen auch gängige, in der Literatur herausgestellte alternative Vorstellungen von Lernenden in Bezug auf Mesomerie auf (z. B. Xue & Stains 2020; Braun & Graulich 2024). Im zweiten Umfrageteil sollten die Studierenden für 72 unterschiedliche Molekülstrukturen entscheiden, ob diese von Mesomerie-Stabilisierung profitieren. Um Ermüdungseffekten entgegenzuwirken, beantwortete jede*r Studierende 37 Items (50%) in randomisierter Reihenfolge. Hierbei wurde auch die individuelle Bearbeitungsdauer pro Item erfasst. Im dritten, abschließenden Umfrageteil wurden die Studierenden aufgefordert, den empfundenen *Cognitive Load* bei der Beantwortung der Aufgaben im zweiten Teil der Umfrage einzuschätzen (Klepsch, Schmitz & Seufert 2017).

Datenanalyse

In der mehrschrittigen Datenanalyse wurden zunächst die entwickelten Items hinsichtlich der zu betrachteten Strukturmerkmale vereinfacht. Während die Items im Grad der Explizitheit (z. B. Angabe der Bindungen zu Wasserstoffatomen), der Bekanntheit (z. B. Vorhandensein von Heteroatomen) und der Komplexität (z. B. lineare/verzweigte Moleküle) variiert wurden, beschränkte sich die Analyse auf vier Strukturmerkmale, die zur erfolgreichen Entscheidung betrachtet werden müssen: 1. Ladungsart (positive/negative Ladung), 2. Entfernung der Ladung vom konjugierten System, 3. (Nicht-)Vorhandensein von Heteroatomen, 4. Implizite Betrachtungen (z. B. Hybridisierung). Die Kombination dieser Merkmale führte zu fünf distinkten Kategorien, die die Analyse leiteten: *Ladung in β -Position*, *Kohlenstoffatome & positive Ladung*, *Heteroatom & positive Ladung*, *Heteroatom & negative Ladung*, *Positive Ladung auf Heteroatom*. Anschließend wurden der prozentuale Erfolg pro Kategorie und Studierenden berechnet und diese Daten verwendet, um die Studierenden in einer K-Means Clusteranalyse nach Ähnlichkeiten in Cluster zu unterteilen. Zur Validierung der Cluster und weiterführenden Betrachtung wurden Zusammenhänge mit externen Variablen, die nicht in die Clusteranalyse eingeflossen sind, herausgestellt: die durchschnittliche Bearbeitungsdauer, der *Cognitive Load* sowie das konzeptbezogene Vorwissen. Letzteres wurde als Score durch die Auswertung der Aufgaben erfasst.

Ausgewählte Ergebnisse

Einfluss unterschiedlicher Strukturmerkmale auf die Fähigkeit, Mesomerie zu erkennen

Es konnte herausgestellt werden, dass die Studierenden je nach Strukturmerkmalskombination unterschiedlich erfolgreich beim Erkennen von Mesomerie-Stabilisierung waren (Abb. 1). Während sie insgesamt relativ erfolgreich nicht-konjugierte Systeme (*Ladung in β -Position*, 65%) erkannten und somit die Entfernung der Ladung gut einschätzen konnten, waren sie im Erkennen von Mesomerie bei allylischen Carbokationen mit 75% am erfolgreichsten. Dies könnte mitunter am Bekanntheitsgrad liegen, da in der Lehre solche Strukturen oftmals als Einführungsbeispiel für Mesomerie verwendet werden. Weiterhin müssen durch das Nicht-Vorhandensein von Heteroatomen weniger Informationen als in den anderen Kategorien verarbeitet werden (Paas & van Merriënboer 2020). Kommen Heteroatome hinzu, sinkt die Erfolgsquote auf rund 55%. Neben der erhöhten Informationsverarbeitung haben es die Lernenden auch mit anderen Mesomerie-Mustern zu tun, die zusätzlich erschwerend wirken (einfach gebundene Heteroatome, Delokalisierung der negativen Ladung in Richtung der

Doppelbindung). Bei Items, die das Betrachten von impliziten Überlegungen erfordern (*Positive Ladung auf Heteroatom*), sinkt die Erfolgsquote weiter auf 44%. Dies deutet darauf hin, dass es den Lernenden insgesamt schwerfällt, zusätzliche Aspekte in die Entscheidungsfindung zu integrieren (z. B. überschrittenes Oktett, sp^3 -Hybridisierung). Statistisch konnte in einer repeated-measure ANOVA herausgestellt werden, dass sich der Erfolg der Studierenden in den fünf Kategorien signifikant unterschied ($F(3.82, 2599.75) = 123.37, p < 0.001, \eta^2 = 0.15$).

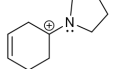
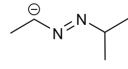
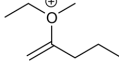
N = 681	Ladung in β -Position	Kohlenstoffatome & positive Ladung	Heteroatom & positive Ladung	Heteroatom & negative Ladung	Positive Ladung auf Heteroatom
Insgesamt (SD)	65.34 (25.61)	75.22 (28.44)	55.46 (27.28)	54.37 (32.23)	43.55 (28.82)
Beispiele					

Abb. 1 Erfolgsquoten der Lernenden (in %) für die verschiedenen Strukturmerkmal-Kategorien mit Angabe von Beispielen.

Trends in der Entscheidungsfindung und Zusammenhang mit externen Leistungsvariablen

Durch die Analyse und den Vergleich der unterschiedlichen Cluster konnten mehrere übergeordnete Trends herausgestellt werden, welche die Entscheidungsfindung der Studierenden beeinflussten. So wurde deutlich, dass es keine explizite Progression in der Kompetenz gab, Mesomerie zu erkennen. Während die meisten Cluster erfolgreich waren, Mesomerie in allylischen Carbokationen festzustellen, zeigten die Studierenden unterschiedliche Schwierigkeiten mit Blick auf Items mit Heteroatomen. Ferner korrelierte das konzeptuelle Vorwissen mit der Bearbeitungsdauer ($r = 0.24, p < 0.001$). So waren Studierende mit höherem Vorwissen signifikant langsamer in ihren Entscheidungen. Daran anknüpfend zeigte sich, dass Studierenden mit einem höheren Vorwissen eine höhere Unsicherheit im Erkennen von nicht-konjugierten Systemen aufwiesen. Ein zentraler Befund der Clusteranalyse war weiterhin, dass das Strukturmuster von allylischen Carbokationen die Lernenden im Erkennen von Mesomerie entscheidend leitete. Neben dem Erfolg in dieser Kategorie über alle Cluster hinweg (75%, Abb. 1), reduzierten rund 40% der Studierenden ihre Entscheidungen auf das Betrachten von positiven Ladungen. Ein gleich großer Anteil an Studierenden erkannte Mesomerie nur, wenn Doppelbindungen in den Items vorhanden waren. Schließlich zeigte sich clusterübergreifend, dass die Studierenden Schwierigkeiten mit impliziten Betrachtungen hatten und nicht immer Aspekte wie die Hybridisierung heranzogen.

Praktische Implikationen

Die Ergebnisse der Clusteranalyse verdeutlichen die Relevanz, Mesomerie in der Lehre kontinuierlich zu üben, legen jedoch ein adaptives Vorgehen nahe. So würden Studierende zu Beginn mit geringerem Vorwissen von *sense-making activities* (Rau 2018) profitieren, die die Verknüpfung von Struktur und elektronischen Betrachtungen explizit in den Blick nehmen (z. B. Fallvergleiche, Integration anderer Repräsentationsarten). Studierende mit Schwierigkeiten bzgl. einzelner Strukturmerkmale (z. B. einfach gebundene Heteroatome) könnten durch kleinere Impulsfragen, die diese Probleme aufgreifen, gefördert werden. Studierende mit höherem Vorwissen, die mit einer Vielzahl an Strukturmerkmalen erfolgreich umgehen können, in ihrer Entscheidungsfindung allerdings noch langsam sind, könnten schließlich durch *fluency-building activities* in Anlehnung an das Wahrnehmungslernen (z. B. kurze Klassifizierungsaufgaben mit direktem Feedback) unterstützt werden (Rau 2018).

Literatur

- Anderson T. L. & Bodner G. M. (2008). What can we do about 'Parker'? A case study of a good student who didn't 'get' organic chemistry. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 9 (2), 93–101
- Betancourt-Pérez R., Olivera L. J. & Rodríguez J. E. (2010). Assessment of organic chemistry students' knowledge of resonance-related structures. *J. Chem. Educ.*, 87 (5), 547–551
- Braun I. & Graulich N. (2024). Exploring diversity: student's (un-)productive use of resonance in organic chemistry tasks through the lens of the coordination class theory. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 25 (3), 643–671
- Braun I., Langner A. & Graulich N. (2022). Let's draw molecules: Students' sequential drawing processes of resonance structures in organic chemistry. *Front. Educ.*, 7:1055280
- Braun, I., Lewis, S. E. & Graulich, N. (2024). A question of pattern recognition: investigating the impact of structure variation on students' proficiency in deciding about resonance stabilization. *Chem. Educ. Res. Pract.* 2024. DOI: 10.1039/D4RP00155A
- Carle M. S. and Flynn A. B. (2020). Essential learning outcomes for delocalization (resonance) concepts: How are they taught, practiced, and assessed in organic chemistry?. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 21 (2), 622–637
- Graulich N. (2015). The tip of the iceberg in organic chemistry classes: how do students deal with the invisible?. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 16 (1), 9–21
- Kellman P. J. & Massey C. M. (2013). Chapter Four - Perceptual Learning, Cognition, and Expertise. In B. H. Ross (Ed.), *The psychology of learning and motivation*. Elsevier Academic Press, 117–165
- Klepsch M., Schmitz F. & Seufert T. (2017). Development and Validation of Two Instruments Measuring Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. *Front. Psychol.*, 8:1997
- Paas F. & van Merriënboer J. J. G. (2020). Cognitive-load theory: methods to manage working memory load in the learning of complex tasks. *Curr. Dir. Psychol. Sci.*, 29 (4), 394–398
- Petterson M. N., Watts F. M., Snyder-White E. P., Archer S. R., Shultz G. V. & Finkenstaedt-Quinn S. A. (2020). Eliciting student thinking about acid–base reactions via app and paper–pencil based problem solving. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 21 (3), 878–892
- Rau M. A. (2018). Making connections among multiple visual representations: how do sense-making skills and perceptual fluency relate to learning of chemistry knowledge?. *Instr. Sci.*, 46 (2), 209–243
- Xue D. & Stains M., (2020). Exploring students' understanding of resonance and its relationship to instruction. *J. Chem. Educ.*, 97, 894–902