

## **Kontextbasiertes Problemlösen: Anwendung von Mesomerie in OC-Aufgaben**

### **Ausgangslage**

In der Organischen Chemie (OC) stellt Mesomerie ein fundamentales Konzept dar (Duis, 2011). So hilft die Betrachtung der Elektronendichteverteilung in Molekülen mit  $\pi$ -Systemen, Struktureigenschaften abzuleiten (z. B. Acidität) und Reaktionsprozesse zu verstehen (z. B. Diels-Alder-Reaktionen). Obwohl dieses Konzept für den Lernerfolg in der OC wichtig ist, stellt es viele Lernende vor Schwierigkeiten. Neben Zeichenschwierigkeiten (z. B. Braun, Langner & Graulich, 2022) fällt es Lernenden etwa schwer, ausgehend von mesomeren Grenzformeln die Elektronendichteverteilung dynamisch zu interpretieren, was in alternative Vorstellungen mündet (z. B. Xue & Stains, 2020). Ferner wurde in verschiedenen Studien herausgestellt, dass Lernende Mesomerie nur selten in Problemlöseaufgaben heranziehen (z. B. Finkenstaedt-Quinn, Watts, Petterson, Archer, Snyder-White & Shultz, 2020). Da hierbei allerdings nur einzelne Kontexte betrachtet werden, bleibt unklar, wie Lernende Mesomerie über verschiedene Kontexte hinweg nutzen.

### **Theoretischer Hintergrund und Forschungsfragen**

Gemäß des Ressourcen-Frameworks (Hammer, Elby, Scherr & Redish, 2005) ist Wissen keine intakte kognitive Einheit, die zwischen Kontexten als Ganzes übertragen werden kann. Stattdessen ist dieses durch eine Vielzahl an Ressourcen (kognitive Elemente, z. B. p-Prims) unterschiedlichen Aktivierungsgrads gekennzeichnet. Die Ressourcenaktivierung hängt dabei entscheidend von der Situationswahrnehmung (*framing*) ab (Hammer, Elby, Scherr & Redish, 2005). Im Einklang mit diesem dynamischen Kognitionsmodell beschreibt die Koordinationsklassen-Theorie (naturwissenschaftliches) Konzeptverständnis (diSessa & Wagner, 2005). Hierunter fällt die Fähigkeit, konzeptbezogene Informationen in verschiedenen Situationen wahrnehmen und problembezogen verarbeiten zu können, wobei diese Prozesse, wie folgt erläutert, durch das Zusammenspiel verschiedener Komponenten gekennzeichnet sind (diSessa & Wagner, 2005). In der OC werden viele Informationen oftmals durch Strukturformeln vermittelt. Jedoch können selbst kleinste Strukturformeln viele Informationen enthalten (Verknüpfungen, Atomarten, etc.). Die Art der Informationsselektion wird hierbei durch die *Extraktionsstrategien* bestimmt. Bei Stabilitätsvergleichen würde z. B. die Anzahl der Ladungen, mesomere Grenzformeln oder die Art der Substituenten in den Strukturen betrachtet werden. Diese selektierten Informationen werden dabei als *Extraktionen* bezeichnet. Auf Basis der Informationsselektion wird sodann ein Netz an konzeptbezogenen Ressourcen aktiviert, die zur Problemlösung beitragen (*Inferenznetz*). In konkreten Situationen werden nur einzelne Extraktionsstrategien und Ressourcen aktiviert (*Konzeptprojektion*). Die Gesamtheit an konzeptbezogenen Extraktionsstrategien und Ressourcen werden hingegen als *Koordinationsklasse* bezeichnet (diSessa & Wagner, 2005). Aus dieser theoretischen Perspektive folgt, dass die Betrachtung unterschiedlicher Kontexte dazu beitragen kann, das mesomeriebezogene Konzeptverständnis der Lernenden umfassender zu charakterisieren, wodurch sich folgende Forschungsfragen (FF) ergeben:

**FF1:** Wie nutzen Studierende Mesomerie in unterschiedlichen Kontexten?

**FF2:** Was macht die Konzeptnutzung hinsichtlich der Koordinationsklassen-Komponenten produktiv?

### Studiendesign und Datenanalyse

Hierzu wurde mit OC1-Studierenden ( $N=21$ ) eine qualitative, explorative Interviewstudie durchgeführt. Diese hatte die Bearbeitung von drei Fallvergleichsaufgaben (Graulich & Schween, 2018) zum Bestandteil, die jeweils von einer Retrospektive mit Fokus auf die zugrundeliegenden Denkansätze und Problemlösestrategien der Lernenden begleitet wurden. Die drei Aufgaben waren in unterschiedlichen OC-Kontexten eingebettet (1. Elektrophile aromatische Zweitsubstitution, 2. Nukleophiler Angriff 3. Abspalten einer Abgangsgruppe) und erforderten zur Abwägung der beiden Reaktionswege die Anwendung von Mesomerie. In der mehrschrittigen Analyse wurden zunächst aus den Interviewtranskripten die Extraktionsstrategien der Studierenden induktiv herausgestellt: Betrachtung der a) globalen Stabilität, b) lokalen Stabilität, c) Reaktivität, d) Elektrostatik, e) Strukturen. In einem weiteren Schritt wurden iterativ 31 aktivierte Ressourcen im Zusammenhang mit Mesomerie herausgearbeitet (z. B. „M-Effekt ist stärker als I-Effekt“, „Gleiche Ladungen stoßen sich ab“) und diese hinsichtlich ihrer Granularität (phänomenologisch, strukturell, elektronisch, energetisch) codiert (Deng & Flynn, 2021). Weiterhin wurden individuelle Ressourcengraphen erstellt, die die Verknüpfung der aktivierten Ressourcen in den Aufgaben visualisieren (Wittmann, 2006). Anhand der Strukturmerkmale, auf die sich die Studierenden im Problemlöseprozess bezogen, wurden ferner 17 Extraktionen induktiv codiert, welche in globale (z. B. Anzahl mesomerer Grenzformeln) und lokale Extraktionen (z. B. Ladung) unterteilt wurden. Schließlich wurden durch Kontrastieren der einzelnen studentischen Problemlöseprozesse Trends bzgl. der verschiedenen Koordinationsklassen-Komponenten herausgestellt.

### Ausgewählte Ergebnisse

Obwohl die Studierenden unabhängig vom Problemlöseerfolg über alle Aufgaben hinweg Ressourcen mit ähnlicher Granularität (mit starkem Fokus auf elektronische Ressourcen) aktivierten (Abb. 1A), zeigte die Analyse der Extraktionsstrategien, dass sie je nach Aufgabe unterschiedliche Herangehensweisen wählten (vgl. *framing*) und auch für dieselbe Aufgabe unterschiedliche Extraktionsstrategien aufwiesen, die zum Problemlöseerfolg beitrugen und somit produktiv sein konnten. Beispielsweise kann in Aufgabe 3 sowohl die Betrachtung der globalen Stabilität als auch der lokalen Stabilität produktiv sein (Abb. 1B).

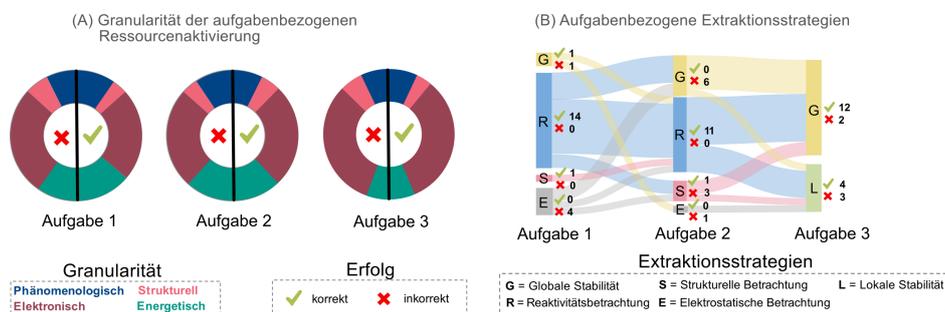


Abb 1. (A) Relativer Anteil an aktivierten Ressourcen in Abhängigkeit vom Problemlöseerfolg mit Angabe der Granularität in den jeweiligen Aufgaben; (B) Aufgabenbezogene Extraktionsstrategien mit Angabe des Problemlöseerfolgs.

Folglich aktivieren die Studierenden bei der Aufgabenbearbeitung unterschiedliche Konzeptprojektionen, wobei kein klarer Trend hinsichtlich der Produktivität erkennbar ist. Vielmehr deutet sich an, dass die Konzeptnutzung individuell und das Problemlösen somit komplex ist (FF1). Eine nähere Betrachtung der Problemlöseprozesse mit Blick auf die Koordinationsklassen-Komponenten gibt jedoch Aufschluss über Charakteristika produktiver Konzeptprojektionen (FF2). Der Vergleich der Konzeptprojektionen zeigt, dass die Wahl der Extraktionsstrategien oftmals produktiv wird, wenn die Studierenden an die Aufgaben induktiv und analytisch herangehen (d. h. sich zunächst das Aufgabenziel bewusst machen und herausstellen, was gesucht wird) sowie prozessorientiert vorgehen (d. h. den dargestellten Reaktionsschritt rekonstruieren). Unproduktiven Extraktionsstrategien liegt hingegen eine fehlende Strukturreflexion zugrunde, die sich beispielsweise an der Wahl der Extraktionsstrategie ausgehend von salienten Oberflächenmerkmalen zeigt (z. B. bei gegebener positiver Ladung eine negative Ladung erzwingen). Zur Produktivität der Konzeptprojektionen tragen ferner Extraktionen bei, die durch eine Vielfalt und das Zusammenspiel von globalen und lokalen Strukturmerkmalen gekennzeichnet sind, da dies die Aktivierung von relevanten Ressourcen begünstigt (z. B. Bestimmung der Art des M-Effekts). Hinsichtlich der Ressourcen aktivieren Studierende mit unproduktiven Konzeptprojektionen öfter Ressourcen, die per se nicht mit Mesomerie zusammenhängen (z. B. „Sterische Hinderung erschwert den Angriff“ [17% unproduktiv (U), 4% produktiv, (P)]) oder verkürzte Regeln (z. B. „Ähnlich verknüpfte Verbindungen reagieren ähnlich“ [22% U, 2% P]). Produktive Konzeptprojektionen gehen hingegen häufiger mit Ressourcen einher, die einen abwägenden Charakter haben (z. B. „Ladungsverteilung gemäß der Elektronegativität ist bevorzugt“ [6% U, 49% P]) oder die strukturellen Voraussetzungen für Mesomerie stärker in den Blick nehmen (z. B. „Konjugierte Systeme ermöglichen Mesomerie“ [22% U, 47% P]). Trotz dieser Unterschiede wurden viele Ressourcen von den Studierenden gleichermaßen aktiviert. Unterschiede zeigten sich hier in der Ressourcenverknüpfung. So sind produktive Konzeptprojektionen durch eine höhere Komplexität der Ressourcengraphen gekennzeichnet. Dabei werden die Ressourcen über die verschiedenen Granularitätsebenen hinweg (z. B. Kombination von elektronischen mit energetischen Ressourcen) verknüpft, was auf eine ganzheitliche Konzeptnutzung hindeutet. Schließlich sind produktive Konzeptprojektionen durch die gekoppelte Aktivierung von abwägenden Ressourcen mit anderen Ressourcen gekennzeichnet (z. B. elektronenziehende Eigenschaften evidenzbasiert gemeinsam mit Elektronegativitäten betrachten), wodurch die Konzeptnutzung reflektierter wird.

### **Fazit und Implikationen**

Die Nutzung von Mesomerie ist über die Kontexte hinweg individuell, was in die Aktivierung vielfältiger (un-)produktiver Konzeptprojektionen mündet und durch ein komplexes Zusammenspiel unterschiedlicher Faktoren gekennzeichnet ist. Dennoch konnten Charakteristika für die produktive Heranziehung von Mesomerie herausgestellt werden: eine induktive und reflektierte Herangehensweise, die Verknüpfung verschiedener globaler und lokaler Strukturmerkmale, die Ressourcenaktivierung auf verschiedenen Granularitätsebenen sowie die gemeinsame Aktivierung von analytisch-abwägenden Ressourcen. Für die Lehre ergibt sich folglich in Bezug auf die Konzeptnutzung, den Problemlöseprozess der Lernenden zu unterstützen und zu beschleunigen. Durch die Sequenzierung des Problemlösens und die Implementierung von metakognitiven Fragen könnten Lernende z. B. unterstützt werden, die Aufgaben reflektierter anzugehen, Strukturen genauer zu analysieren und schließlich Informationen auf verschiedenen Ebenen miteinander zu verknüpfen.

## Literatur

- 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
- Deng J. M. & Flynn A. B. (2021). Reasoning, granularity, and comparisons in students' arguments on two organic chemistry items. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 22 (3), 749-771
- diSessa A. A. & Wagner J. F. (2005). What coordination has to say about transfer. In Mestre J. P. (Eds.), *Transfer of learning from a modern multi-disciplinary perspective*. Greenwich: CT: Information Age Publishing, vol. 89, 121-154
- Duis J. M. (2011). Organic chemistry educators' perspectives on fundamental concepts and misconceptions: An exploratory study. *J. Chem. Educ.*, 88 (3), 346-350
- Finkenstaedt-Quinn S. A., Watts F. M., Petterson M. N., Archer S. R., Snyder-White E. P. & Shultz G. V. (2020). Exploring Student Thinking about Addition Reactions. *J. Chem. Educ.*, 97 (7), 1852-1862
- Graulich N. & Schween M. (2018). Concept-Oriented Task Design: Making Purposeful Case Comparisons in Organic Chemistry. *J. Chem. Educ.*, 95 (3), 376-383
- Hammer D., Elby A., Scherr R. E. & Redish E. F. (2005). Resources, framing, and transfer. In Mestre J. P. (Eds.), *Transfer of learning from a modern multidisciplinary perspective*. Greenwich: CT: Information Age Publishing, vol. 89, 89-120
- Wittmann M. C. (2006). Using resource graphs to represent conceptual change. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 2 (2), 020105
- Xue D. & Stains M. (2020). Exploring students' understanding of resonance and its relationship to instruction. *J. Chem. Educ.*, 97 (4), 894-902