

Irina Braun<sup>1</sup>  
Axel Langner<sup>1</sup>  
Nicole Graulich<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Justus-Liebig-Universität Gießen

## **Von Struktur zu Struktur: Untersuchung von Zeichenprozessen in der organischen Chemie**

### **Ausgangslage und theoretischer Hintergrund**

Als visuell geprägte Disziplin kommt in der organischen Chemie Repräsentationen als Denk- und Kommunikationsmittel, aber auch als Problemlösewerkzeug, ein zentraler Stellenwert zu (Cooper, Stieff & DeSutter, 2017). Durch das Skizzieren von Strukturformeln können beispielsweise Moleküle visualisiert, Struktureigenschaften verdeutlicht und Reaktionsprozesse vorausgesagt werden. Ein Konzept, welches eng mit Zeichenprozessen zusammenhängt, ist das Konzept der Mesomerie. Durch das Zeichnen mesomerer Grenzformeln kann die Elektronendichteverteilung von Molekülen beschrieben werden, wodurch Struktureigenschaften (z. B. Reaktivitäten) und Reaktionsprozesse abgeleitet werden können (Richardson, 1986). Allerdings bereitet die Anwendung des Konzepts Mesomerie vielen Lernenden aufgrund der hohen kognitiven Anforderungen Schwierigkeiten, was sich negativ auf die Konstruktion mesomerer Grenzformeln auswirkt (Betancourt-Pérez, Olivera & Rodríguez, 2010; Brandfonbrener, Watts & Shultz, 2021). Die Ursachen für die Zeichenschwierigkeiten können, neben einem fehlenden Konzeptwissen, auch im Zeichenprozess selbst liegen, da dieser multiple Aspekte der Repräsentationskompetenz erfordert. Neben der Fähigkeit, die Strukturen zu erstellen, müssen Lernende in der Lage sein, mesomere Grenzformeln ineinander zu überführen. Hierzu müssen sie gegebene strukturelle Darstellungen hinsichtlich der Möglichkeit von Mesomerie analysieren und interpretieren können (Kozma & Russell, 1997). Die Interpretation wird wiederum durch weitere interagierende Faktoren bestimmt, zu denen neben dem Vorwissen und der Darstellungsart auch die kognitiven Fähigkeiten der Lernenden zählen, z. B. die in Darstellungen enthaltenen visuellen Informationen wahrzunehmen und zu dekodieren (Schönborn & Anderson, 2008). Dabei können die Wahrnehmungsprozesse ziel- (top-down), stimulus- (bottom-up) oder erfahrungsorientiert sein (Awh, Belopolsky & Theeuwes, 2012). Obwohl deutlich wird, dass die Konstruktion mesomerer Grenzformeln davon abhängt, wie Lernende Strukturformeln entschlüsseln und ineinander überführen, wurde ihr Zeichenprozess bisher nicht untersucht.

### **Ziel und Forschungsfragen**

Eine prozessorientierte Charakterisierung von Zeichenprozessen kann durch Eye-Tracking ermöglicht werden, da durch Aufzeichnen der Blickbewegungen die visuelle Verarbeitung der Strukturen durch die Lernenden quantitativ erfasst werden kann (Cullipher, Hansen & VandenPlas, 2018). So können Charakteristika bei der Konstruktion von produktiven (korrekten) und unproduktiven (falschen bzw. energetisch ungünstigen) Molekülstrukturen herausgestellt werden, wodurch eine neue Perspektive auf zeichenbezogene Hindernisse möglich ist, die die Entwicklung geeigneter Fördermaßnahmen unterstützen kann. Aus diesem Grund soll folgenden Forschungsfragen in dieser explorativen Studie nachgegangen werden:

**FF1:** Welche Zeichenelemente verknüpfen Lernende bei der Konstruktion von (un-)produktiven mesomeren Grenzformeln?

**FF2:** Auf welche strukturellen Merkmale achten Lernende während des Konstruktionsprozesses und wie hängt dies mit den Zeichenschritten zusammen?

**FF3:** Wie hängt der visuelle Selektionsprozess der Lernenden mit der Produktivität der gezeichneten Struktur zusammen?

### **Studiendesign**

Im Sommersemester 2021 wurde hierzu im Zuge einer größeren qualitativen Studie zu zeichnerischen Problemlöseprozessen in der Organischen Chemie untersucht, wie Studierende ( $N = 20$ ) des Moduls „Organische Chemie 1“ mesomere Grenzformeln zur Bearbeitung einer Fallvergleichsaufgabe, die die Abspaltung einer Abgangsgruppe in zwei Konstitutionsisomeren unter Ausbildung eines mesomeriestabilisierten Carbokations thematisiert, konstruieren. Der Zeichenprozess wurde im Paper-Pencil-Setting mithilfe einer mobilen Eye-Tracking Brille erfasst. Auf die Problemlösephase folgte eine semi-strukturierte Retrospektive bezüglich des den erstellten Strukturen zugrundeliegenden Zeichenprozesses.

### **Analyse**

Die Datenanalyse erfolgte mehrschrittig. Für die Eye-Tracking Daten wurden zunächst die TOIs für jede entstehende Zeichnung definiert sowie die AOIs für die verschiedenen Zeichenelemente auf einer größeren (die Strukturen jeweils als Ganzes umfassend) und einer feineren Ebene (die einzelnen Merkmale der Strukturen umfassend) gesetzt. Die AOIs wurden für jede entstehende Zeichnung ferner bezüglich ihrer Funktion kategorisiert (Zielzeichnung Z, vorherige Zeichnung V, nicht notwendige Zeichnungen N, gegebene Informationen G). Zusätzlich wurden die insgesamt 60 generierten Strukturen in produktive und unproduktive Zeichnungen klassifiziert. Anhand der AOI-Sequenzen wurden sodann die Transitionen (d. h. Übergänge zwischen den AOIs) der Studierenden hinsichtlich Charakteristika untersucht (FF1) und die relative Fixationsdauer auf strukturelle Merkmale der vorherigen Zeichnung bei der Transition zwischen vorheriger und Zielzeichnung berechnet (FF2). In einem weiteren Schritt wurde ausgehend von den Zeichenbeschreibungen der Studierenden der visuelle Informationsselektionsprozess codiert. Dieser unterteilt sich in Abhängigkeit von der Art des Selektionsprozesses und dessen Flexibilität in vier Kategorien: strukturgeleitet zentriert, strukturgeleitet variabel, wissensgeleitet zentriert und wissensgeleitet variabel (FF3).

### **Ausgewählte Ergebnisse**

Die Analyse der Eye-Tracking Daten zeigt, dass allen (un-)produktiven Zeichnungen ein ähnliches globales Blickverhalten zugrunde liegt. So zeichnet sich ein ähnliches Muster bezüglich der Anzahl der verknüpften Zeichenelemente ab. Allerdings unterscheiden sich produktive und unproduktive Zeichnungen signifikant bezüglich einzelner Transitionsarten im Zusammenhang mit der Zielzeichnung. Während produktive Zeichnungen mehr zielgerichtete Übergänge zwischen vorheriger und Zielzeichnung aufweisen, gibt es bei unproduktiven Zeichnungen mehr Transitionen zwischen der Zielzeichnung und den nicht notwendigen Zeichnungen (Tabelle 1). Folglich werden bei unproduktiven Strukturen mehr Informationen in den Konstruktionsprozess integriert, welche der resultierenden Zeichnung nicht dienlich sind (FF1). Obwohl über alle Strukturen hinweg die Verknüpfung von Zielzeichnung und

vorheriger Zeichnung am ausgeprägtesten ist, zeigt auch eine tiefere Analyse dieser Transitionen, dass Studierende bei der Konstruktion mesomerer Grenzformeln bei produktiven Zeichnungen eine signifikant höhere Aufmerksamkeitsverteilung auf zusammenhängende Strukturmerkmale der vorherigen Zeichnung aufweisen, welche für die Konstruktion der Zielzeichnung von Relevanz sind. Im Gegensatz hierzu zeichnet sich bei unproduktiven Zeichnungen eine Tendenz zur Fixierung einzelner, zur Konstruktion nicht relevanter Strukturmerkmale ab (Tabelle 1) (FF2). Schließlich zeigt die Analyse der Zeichenbeschreibungen, dass die Flexibilität der Informationsselektion für die Produktivität der Zeichnung entscheidend ist. Während mindestens 80% aller Zeichnungen mit einem variablen, analytischen Ansatz mit Fokus auf zusammenhängende, relevante Strukturmerkmale produktiv sind, sind über 70% aller Zeichnungen mit einem zentrierten Ansatz, d. h. einer statischen Fokussierung auf einzelne Strukturmerkmale, unproduktiv (FF3).

*Tabelle 1: Ergebnisse des Mann-Whitney U Tests unterschiedlicher Eye-Tracking Daten für den Vergleich produktiver (pr.) und unproduktiver (unpr.) Zeichnungen (N = 60, Signifikanzniveau von 0.05; Effektstärke r berechnet nach Rosenthal (1984)).*

	<i>Mdn<sub>pr.</sub></i>	<i>Mdn<sub>unpr.</sub></i>	<i>U</i>	<i>z</i>	<i>p</i>	<i>r</i>
<b>Transitionen</b>						
NZ	0	0	252.5	-2.797	0.005	0.36
ZN	0	0	266.5	-2.637	0.008	0.34
VZ	0.33	0.24	262	-2.028	0.043	0.26
ZV	0.29	0.16	249	-2.236	0.025	0.29
<b>Relative Fixationsdauer</b>						
Relevante Merkmale	0.78	0.50	188	-3.212	0.001	0.41
Unrelevante Merkmale	0.22	0.50	591	3.212	0.001	0.41

### **Implikationen**

Angesichts des explorativen Studiencharakters sind weitere Untersuchungen mit unterschiedlichen Aufgabenarten und Strukturen variierender Komplexität (z. B. aromatische Verbindungen) erforderlich. Allerdings machen bereits diese Ergebnisse die Notwendigkeit einer stärker prozessorientierten Anleitung bezüglich der Konstruktion mesomerer Grenzformeln deutlich, um den Blick der Lernenden verstärkt auf relevante Zeichenelemente und Strukturmerkmale zu lenken. Dies könnte z. B. durch die Hervorhebung von interagierenden Strukturmerkmalen in Lernvideos erfolgen, sodass der Zeichenprozess dynamisch nachvollzogen werden kann (Jarodzka, van Gog, Dorr, Scheiter & Gerjets, 2013; Rodemer, Eckhard, Graulich & Bernholt, 2021). Da die Flexibilität der Informationsselektion für das Zeichnen von Bedeutung ist, sollte in der Lehre ferner auf die Kausalität der einzelnen Zeichenschritte eingegangen werden. Dies könnte Lernende zu einer reflektierten Bewertung ihrer Zeichenschritte befähigen und der Anwendung von übergeneralisierten Regeln bezüglich einzelner Strukturmerkmale entgegenwirken.

**Literatur**

- Awh E., Belopolsky A. V. & Theeuwes J. (2012). Top-down versus bottom-up attentional control: A failed theoretical dichotomy. *Trends in Cognitive Sciences*, 16 (8), 437-443
- Betancourt-Pérez R., Olivera L. J. & Rodríguez J. E. (2010). Assessment of organic chemistry students' knowledge of resonance-related structures. *Journal of Chemical Education*, 87 (5), 547-551
- Brandfonbrener P. B., Watts F. M. & Shultz G. V. (2021). Organic Chemistry Students' Written Descriptions and Explanations of Resonance and Its Influence on Reactivity. *Journal of Chemical Education*, 98 (11), 3431-3441
- Cooper M. M., Stieff M. & DeSutter D. (2017). Sketching the Invisible to Predict the Visible: From Drawing to Modeling in Chemistry. *Topics in Cognitive Science*, 9 (4), 902-920
- Cullipher S., Hansen S. J. & VandenPlas J. R. (2018). Eye Tracking as a Research Tool: An Introduction. In VandenPlas J. R., Hansen S. J. R. and Cullipher S. (Eds.), *Eye Tracking for the Chemistry Education Researcher*. Washington, DC: ACS Publications, 1-9
- Jarodzka H., van Gog T., Dorr M., Scheiter K. & Gerjets P. (2013). Learning to see: Guiding students' attention via a Model's eye movements fosters learning. *Learning and Instruction*, 25, 62-70
- Kozma R. B. & Russell J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34 (9), 949-968
- Richardson W. (1986). Teaching the concept of resonance with transparent overlays. *Journal of Chemical Education*, 63 (6), 518-519
- Rodemer M., Eckhard J., Graulich N. & Bernholt S. (2021). Connecting explanations to representations: benefits of highlighting techniques in tutorial videos on students' learning in organic chemistry. *International Journal of Science Education*, 43 (17), 2707-2728
- Rosenthal R., (1984). *Meta-analytic procedures for social research*. Newbury Park, CA: Sage Publications
- Schönborn K. J. & Anderson T. R. (2008). A Model of Factors Determining Students' Ability to Interpret External Representations in Biochemistry. *International Journal of Science Education*, 31 (2), 193-232