

## **Warum ist das (un)plausibel? Analyse von Argumentationsstrukturen in der OC**

### **Einleitung und theoretische Perspektive**

Die Diagnose, Analyse und Förderung von Argumentierfähigkeit nimmt in den Naturwissenschaften und als Teil davon auch in der Organischen Chemie einen immer größeren Stellenwert ein, da das Bilden von Argumenten eine Kernfähigkeit in den Naturwissenschaften darstellt. Dieser Prozess beinhaltet das Evaluieren von Annahmen, das Bilden, aber auch das Abwägen von Belegen (Driver, Newton & Osborne, 2000; Erduran, 2019). In der Organischen Chemie ist der Lernerfolg von Studierenden häufig mit der Fähigkeit verknüpft, Argumente zu bilden und über Reaktionsmechanismen diskutieren zu können (Bodé, Deng & Flynn, 2019; Caspari, Kranz & Graulich, 2018; Grove, Cooper & Cox, 2012). Um Ursachen und auftretende Veränderungen beurteilen und gewichten zu können, müssen gemachte Annahmen mit Belegen und Begründungen untermauert werden (Cooper, Kouyoumdjian & Underwood, 2016). Hier zeigt sich die Schwierigkeit bei Lernenden alternative Reaktionswege in ihren Problemlöseprozess miteinzubeziehen. Stattdessen konzentrieren sie sich eher auf ein Produkt der Reaktion, ohne die zugrundeliegenden Prozesse genauer zu betrachten (Popova & Bretz, 2018). Zudem sind Lernende häufig von einzelnen Faktoren beeinflusst, was dazu führen kann, dass Reaktivitäten und die Bildung weiterer Produkte außer Acht gelassen werden (Kraft, Strickland & Bhattacharyya, 2010). In Bezug auf die Bildung von Argumenten ist auffällig, dass Lernende Schwierigkeiten haben, Annahmen gezielt mit Belegen zu untermauern (McNeill, Lizotte, Krajcik & Marx, 2012; Walker, Van Duzor & Lower, 2019). Defizite im Verständnis von chemischen Konzepten führen außerdem dazu, dass Lernende weniger Belege bilden. Als Folge wird sich eher auf das persönliche Empfinden verlassen (Hogan & Maglienti, 2001).

### **Aufgabendesign**

Für die Studie wurde eine Aufgabensequenz entwickelt. Die erste Aufgabe ist eine typische und bekannte Reaktion, die normalerweise bereits in den Anfangsvorlesungen diskutiert wird. Diese Aufgabe kann das Nutzen von intuitiven Heuristiken provozieren, weil ein Studierender die expliziten Charakteristika einer  $S_N2$  Reaktion leicht erkennen kann. Diese Aufgabe ist absichtlich einfach designt, um einen Erfolg durch Auswendiglernen zu garantieren. Die zweite Aufgabe erscheint auf den ersten Blick ähnlich wie Aufgabe 1, weil sie sich nur in einem Oberflächenmerkmal von der ersten Reaktion unterscheidet. Dabei ist die zweite Aufgabe so gestaltet, dass sie das Nutzen derselben Problemlösestrategie provoziert, die bereits in Aufgabe 1 verwendet wurde. Bei dieser Aufgabe ist die gleiche  $S_N2$  Reaktion jedoch nicht zielführend. In der dritten Aufgabe bekommen die Studierende bis zu fünf Produktarten, die alternative Produkte für die Reaktion aus Aufgabe 2 darstellen. Dies ist der wichtige Schritt, der dazu führen kann, dass intuitive Lösungsansätze vernachlässigt und analytisches Denken aktiviert wird, weil Studierende hier einen Perspektivwechsel vollziehen. Dabei stellen die Studierenden eine Annahme über die Plausibilität der alternativen Produkte auf und bilden Belege und Begründungen für die getätigte Annahme. In der letzten Aufgabe

entscheiden die Studierenden, ob sie bei ihrem in Aufgabe 2 gebildeten Produkt bleiben oder ob sie sich für ein anderes Produkt entscheiden (Lieber & Graulich, 2020).

1 Welches Produkt wird bei der Reaktion gebildet? Zeichnen Sie das Produkt.

$$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl} + \text{OH}^- \longrightarrow$$


---

2 Welches Produkt wird bei der Reaktion gebildet? Zeichnen Sie das Produkt.

$$\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl} + \text{OH}^- \longrightarrow$$


---

3 Hier sind verschiedene Lösungen von Studierenden. Beschreiben Sie, wie die Studierenden auf die Lösung gekommen sind. Was denken Sie war deren zugrundeliegende Begründung?

$\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH} + \text{Cl}^-$	$\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}^- + \text{H}_2\text{O}$	$\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$
$\text{O}^- \text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$	$\text{C}_5\text{H}_9\text{O} + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$	

---

4 Bleiben Sie bei Ihrem gebildeten Produkt aus Aufgabe 2 oder möchten Sie es ändern?

Abb. 1 Darstellung des Aufgabendesigns. Adaptiert nach Lieber & Graulich (2021a)

## Methoden

Im Herbst 2019 wurde eine qualitative Interviewstudie durchgeführt. Daran haben 29 Studierende des Moduls „Organische Chemie 3“ freiwillig teilgenommen. Zur Analyse der Studierendenantworten wurde eine vereinfachte Version von Toulmins Argumentationsmodell verwendet (Lieber & Graulich, 2021b). Das Modell besteht aus drei Teilen: Annahme, Beleg und Begründung. Die Annahme ist die Position für die man argumentiert. In diesem Fall begrenzt sich die Annahme auf zwei Möglichkeiten, entweder ist eine Produktkarte plausibel oder unplausibel. Eine Aussage wird als Beleg bezeichnet, wenn sie aus Daten besteht, auf denen eine Annahme beruht und die Begründung beruht auf wissenschaftlichen Prinzipien und bezieht sich direkt auf den Beleg. Um zu unterscheiden, was als Beleg oder als Begründung gezählt wird, ist es entscheidend sich die Struktur des Arguments anzugucken. Um einen Beleg zu erzielen habe wurde gezielt gefragt, warum die Studierenden die Produktkarte für plausibel oder unplausibel halten. Das konnte zum Beispiel eine Aussage sein wie „Chlorid ist eine gute Abgangsgruppe“. Eine Begründung war es, wenn die Studierenden den Beleg näher erklären, also zum Beispiel eine Begründung gegeben haben, warum Chlorid eine gute Abgangsgruppe ist.

## Ergebnisse

Es wurden für alle 29 Studierenden Belege und Begründungen kodiert und die Summe über alle Produktkarten gebildet. Dadurch hat jeder Studierende einen Beleg- und einen Begründungswert erhalten. Anhand des Verhältnisses wurde festgestellt, dass drei Gruppen entstanden sind, die entweder einen Wert >1 also mehr Begründungen als Belege gebildet haben, ungefähr bei 1 und kleiner als 1 hatten. Um dies näher zu spezifizieren wurde auch die Anzahl an Belegen und Begründungen bei der Zuordnung berücksichtigt. Es konnten drei Argumentationsansätze charakterisiert werden. Der begründungsbasierte Ansatz ließ sich bei

10 Studierenden finden, der auf-beidem-basierte Ansatz bei 10 und der belegbasierte Ansatz bei 9 Studierenden. Außerdem wurde charakterisiert inwiefern die Studierenden einen Annahmenwechsel nach dem Reflektieren über alternative Reaktionswege vollzogen haben. Die Studierenden haben in Aufgabe 2 erst selbst ein Produkt gebildet und nach Aufgabe 3 haben sie sich final für ein oder mehrere Reaktionsprodukte entschieden. Im begründungsbasierten Ansatz und im belegbasierten Ansatz konnte kein Studierender von allein das korrekte Reaktionsprodukt bilden. Im auf-beidem-basierten Ansatz waren schon 13% der gebildeten Produkte korrekt. Nach der Diskussion mit alternativen Reaktionsprodukten konnte ein Zuwachs an richtig ausgewählten Produkten von 67% im begründungsbasierten Ansatz, im auf-beidem-basierten Ansatz ein Zuwachs von 30% und im belegbasierten Ansatz ein Zuwachs von 56% in Bezug auf korrekte Produkte beobachtet werden. Es wurde allerdings auch deutlich, dass kein Studierender aus dem beleg-basierten Ansatz die Produktkarte „Alkoholat“, als Vorstufe zu THF, für plausibel gehalten hat. Im belegbasierten Ansatz haben sich die Studierenden häufig auf ihr Bauchgefühl verlassen oder auf Vorlesungsaufzeichnungen verwiesen, an die sie sich aber nur noch bruchstückhaft und in der Regel fehlerhaft erinnern konnten.

### **Fazit und Implikationen**

Zusammenfassend ist zu sagen, dass das Lösen von Aufgaben, bei denen Studierende mehrere Argumente bilden müssen, zu einer sorgfältigeren Entscheidungsfindung führen kann, die es ermöglicht, eine Annahme zu rechtfertigen, während man gleichzeitig die Möglichkeit hat, die Annahme zu überarbeiten. Außerdem muss erwähnt werden, dass es keinen idealen Argumentationsansatz gibt. Die Analyse ist vielmehr Indikator für die potentielle Qualität eines Arguments. Je größer die Anzahl der Belege und Begründungen ist, desto höher ist auch die Wahrscheinlichkeit, dass die Studierenden viele unterschiedliche Aspekte in ihren Entscheidungsprozess integriert haben (Choi, Hand & Greenbowe, 2013; Sandoval & Millwood, 2005). Außerdem ist positiv anzumerken, dass die Studierenden offen dafür waren ihre am Anfang gebildete Annahme zu hinterfragen. Von Luo *et al.* und Walker *et al.* wurde bereits publiziert, dass Studierende häufig Probleme damit haben sich mit ihrer Annahme auseinanderzusetzen (Luo, Wei, Shi & Xiao, 2020; Walker, Van Duzor & Lower, 2019). Allerdings wurde in diesen Studien schriftliche Aussagen untersucht, wohingegen in dieser Studie Interviews durchgeführt wurden. Um Lernende im Prozess der Argumentbildung zu unterstützen, sollte darauf geachtet werden, dass Lernende nicht bei einem Beleg oder einer Annahme stehen bleiben, sondern die Bildung von Begründungen unterstützt wird. Außerdem kann mit Argumentationsbäumen die Breite und Tiefe eines Arguments visualisiert werden, wodurch auch Lücken sichtbar werden. Bezogen auf die drei klassifizierten Argumentationsansätze entstehen unterschiedliche Implikationen. Die Studierenden, die den begründungsbasierten Ansatz genutzt haben, haben schon eine größere Anzahl an Belegen und Begründungen geliefert. Um dies aufrecht zu erhalten und weiter zu unterstützen, können diese Studierende Training erhalten ihre Annahmen mit mehreren Belegen und Begründungen zu unterstützen. Studierende des auf-beidem-basierten Ansatz haben jeden Beleg durchschnittlich mit einer Begründung untermauert. Diese Lernenden können gezielte Übungen erhalten, um die Breite ihres Arguments zu erweitern und mehr Begründungen zu liefern. Im belegbasierten Ansatz hatten die Studierenden Probleme ihre Annahmen überhaupt mit angemessenen Belegen und Begründungen zu unterstützen. Dies kann auch daran liegen, dass die Studierenden kein abrufbares konzeptuelle Wissen besaßen um überhaupt Belege oder Begründungen zu liefern. Diese Studierenden bräuchten demnach auch konzeptuelle Unterstützung. Daraus ergibt sich Forschungsimplication, Studierende in Form eines Scaffolds zu unterstützen, der binnendifferenziert und adaptiv ansetzt.

## Literatur

- Bodé, N. E., Deng, J. M., & Flynn, A. B. (2019). Getting Past the Rules and the WHY: Causal Mechanistic Arguments When Judging the Plausibility of Organic Reaction Mechanisms. *Journal of Chemical Education*, 96 (6), 1068-1082
- 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 (49), 1117-1141
- Choi, A., Hand, B., & Greenbowe, T. (2013). Students' Written Arguments in General Chemistry Laboratory Investigations. *Research in Science Education*, 43 (5), 1763-1783
- Cooper, M. M., Kouyoumdjian, H., & Underwood, S. M. (2016). Investigating Students' Reasoning about Acid-Base Reactions. *Journal of Chemical Education*, 93 (10), 1703-1712
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84 (3), 287-312
- Erduran, S. (2019). Argumentation in Chemistry Education: An Overview. In S. Erduran (Eds.), *Argumentation in Chemistry Education*. Royal Society of Chemistry, 1-10
- Grove, N. P., Cooper, M. M., & Cox, E. L. (2012). Does mechanistic thinking improve student success in organic chemistry? *Journal of Chemical Education*, 89 (7), 850-853.
- Hogan, K., & Maglienti, M. (2001). Comparing the epistemological underpinnings of students' and scientists' reasoning about conclusions. *Journal of research in Science Teaching*, 38 (6), 663-687
- Kraft, A., Strickland, A. M., & Bhattacharyya, G. (2010). Reasonable reasoning: multi-variate problem-solving in organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 11 (4), 281-292
- Lieber, L., & Graulich, N. (2021a). Epistemic stances in action – Students' reasoning process while reflecting about alternative reaction pathways in organic chemistry. In N. Graulich, G. Shultz (Eds.), *student reasoning in organic chemistry*, Royal Society of Chemistry, Eingereichtes Manuskript.
- Lieber, L., & Graulich, N. (2021b). Investigating Students' Argumentation when Judging the Plausibility of Alternative Reaction Pathways in Organic Chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, DOI: 10.1039/D1RP00145K
- Lieber, L., & Graulich, N. (2020). Thinking in Alternatives – A Task Design for Challenging Students' Problem-Solving Approaches in Organic Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 97 (10), 3731-3738
- Luo, X. L., Wei, B., Shi, M., & Xiao, X. (2020). Exploring the impact of the reasoning flow scaffold (RSF) on students' scientific argumentation: based on the structure of observed learning outcomes (SOLO) taxonomy. *Chemistry Education Research and Practice*, 21 (4), 1083-1094
- Popova, M., & Bretz, S. L. (2018). "It's Only the Major Product That We Care About in Organic Chemistry": An Analysis of Students' Annotations of Reaction Coordinate Diagrams. *Journal of Chemical Education*, 95 (7), 1086-1093
- Sandoval, W. A., & Millwood, K. A. (2005). The quality of students' use of evidence in written scientific explanations. *Cognition and Instruction*, 23 (1), 23-55
- Walker, J. P., Van Duzor, A. G., & Lower, M. A. (2019). Facilitating Argumentation in the Laboratory: The Challenges of Claim Change and Justification by Theory. *Journal of Chemical Education*, 96 (3), 435-444