

## **Adaptive Unterstützung für das Problemlösen in der Organischen Chemie**

### **Einleitung und theoretischer Hintergrund**

In der organischen Chemie haben Reaktionsmechanismen eine hohe Relevanz (Taasobshirazi & Glynn, 2009). In unterschiedlichen Studien hat sich jedoch gezeigt, dass Studierende vielfältige Probleme im Umgang mit Reaktionsmechanismen haben, weshalb sie häufig unzureichende Problemlösestrategien anwenden. Beispielsweise beziehen Studierende sich in ihrem Problemlöseprozess auf explizite Oberflächenmerkmale anstatt auf implizite Charakteristika (Anzovino & Bretz, 2015; Graulich & Bhattacharyya, 2017), nutzen Auswendiggelerntes und Heuristiken zum Lösen von Aufgaben (Grove & Bretz, 2012) oder nutzen unverknüpftes Konzeptwissen für ihre Erklärungen (Anzovino & Bretz, 2016). Um dieser Problematik entgegen zu wirken, wurden unterschiedliche Unterstützungsmaßnahmen entwickelt. Neben Änderungen des Curriculums (Flynn & Ogilvie, 2015; Grove, Hershberger & Bretz, 2008) wurden auch neue Lehrmethoden, wie der Flipped Classroom oder Writing-To-Learn-Aufgaben, eingeführt (Fautch, 2015; Gupte et al., 2021; Watts et al., 2020). Diese Unterstützungsmaßnahmen sind universell und bieten allen Studierenden die gleiche Art von Unterstützung. Aus Studien zu Merkmalen von Chemiestudierenden hat sich jedoch ergeben, dass Studierende heterogen sind und individuelle Lernvoraussetzungen haben (Busker, Parchmann & Wickleder, 2010; Klostermann et al., 2014). Aufgrund dessen gehen wir davon aus, dass auch die Probleme im Umgang mit Reaktionsmechanismen individuell sind. Eine Anpassung von Unterstützungsmaßnahmen an den individuellen Leistungsstand von Studierenden hat sich bereits in anderen Disziplinen als wirksamer als eine allgemeine breite Unterstützung gezeigt (Chen, Mitrovic & Mathews, 2020). Auch im schulischen Kontext konnte gezeigt werden, dass Lernende von adaptiven Methoden profitieren (Brühwiler & Vogt, 2020). Ziel dieser Studie ist es daher, die Grundlagen für ein adaptives Unterstützungssystem für die organische Chemie zu schaffen. Daher sollen die auftretenden Schwierigkeiten der Studierenden beim Problemlösen in der organischen Chemie auf Konzeptebene erhoben werden und auf dieser Basis adaptive Unterstützungsmaßnahmen entwickelt werden.

### **Forschungsfragen**

1. Welche chemischen Konzepte und Prinzipien werden von den Studierenden im Verlauf des Problemlöseprozesses herangezogen?
2. Welche für die Problemlösung relevanten chemischen Konzepte und Prinzipien werden von den Studierenden nicht genutzt und welche Ursachen lassen sich für eine Nicht-Nutzung dieser Konzepte und Prinzipien ableiten?

### **Methodik**

Um zu untersuchen, welche chemischen Konzepte und Prinzipien von den Studierenden beim Problemlösen (nicht) herangezogen werden und worauf sich das Heranziehen bzw. das Nicht-Heranziehen zurückführen lässt, wurden Chemiestudierende (N=12) aus dem 3. bis 6. Semester der Universität Kiel auf freiwilliger Basis rekrutiert. Mit diesen wurden

problemzentrierte Interviews, die zwischen 56 und 101 Minuten dauerten, durchgeführt. Während der Interviews sollten die Studierenden vier Aufgabensets bearbeiten, die jeweils aus zwei Predict-the-Product-Aufgaben bestanden, die anschließend in einer Contrasting Case Aufgabe verglichen werden sollten. Zwei der Aufgabensets haben den Mechanismus der nukleophilen Substitution behandelt, die anderen beiden Aufgabensets haben den Mechanismus Eliminierung behandelt.

Zur Datenanalyse wurden die Interviews der Chemiestudierenden transkribiert und mit MAXQDA codiert. Bei der Codierung wurden die Aussagen hinsichtlich der Kategorien Inhalt, Quelle und Bewertung untersucht. Bei der Kategorie Inhalt wurden die Aussagen darin unterteilt, ob die Studierenden über den Reaktionsmechanismus, beteiligte Reagenzien oder chemische Konzepte gesprochen haben. Innerhalb dieser Kategorien wurde zudem genau untersucht, welcher Mechanismus, welches Reagenz oder welches chemische Konzept von den Studierenden angesprochen wurde. Bei der Kategorie Quelle wurden die Aussagen darin unterteilt, ob der Inhalt vom Studierenden selbstständig angesprochen wurde oder der Interviewer den besprochenen Inhalt vorab explizit angesprochen oder nachgefragt hat. Bei der Kategorie Bewertung, wurden die Aussagen darin unterteilt, ob diese fachlich richtig, falsch oder nicht bewertbar sind. Um die Reliabilität der Codierung zu prüfen, wurde auf Basis von ~20% der Daten die Interrater-Reliabilität bestimmt. Diese lag über zwei Rater:innen bei  $\kappa=0,91$  (0,84-0,92).

### **Ausgewählte Ergebnisse**

Bei der Bearbeitung der Aufgaben hat sich gezeigt, dass die Studierenden unterschiedliche chemische Konzepte und Prinzipien zum Lösen der Aufgaben herangezogen haben. Neben relevanten Konzepten, die sie erfolgreich in ihren Problemlöseprozess integriert haben, haben sie ebenfalls Konzepte herangezogen, die für das Lösen der Aufgaben irrelevant waren. Zudem wurden die herangezogenen Konzepte zum Teil auch falsch wiedergegeben oder falsch auf die Aufgabe angewandt. Im Folgenden sind exemplarisch Beispiele für das Heranziehen relevanter und irrelevanter Konzepte gezeigt. Diese beziehen sich auf eine Contrasting Case Aufgabe, bei der die Nukleophilie einer nukleophilen Substitutionsreaktion hinsichtlich ihrer Nukleophilie verglichen werden sollten. Bei Reaktion A handelt es sich bei dem Nukleophil um Methanthiolat, bei Reaktion B um 2-Propanolat. In diesem Fall wurde von einem Studierenden das für die Aufgabe relevante Konzept +I-Effekt erfolgreich herangezogen: „So, wenn ich jetzt die Nukleophile betrachte, dann sehe ich ein Sulfid oder ein Oxid, so, und ich gehe davon aus, dass das Oxid eine stärkere Nukleophilie aufweist als das Sulfid und dass dadurch, dass ein sekundäres C-Atom am Sauerstoff gebunden liegt, dass der Plus-I-Effekt der, des Alkyl-Restes stärker ist als des Methyl-Restes beim Sulfid-Ion.“ Der +I-Effekt beeinflusst die Nukleophilie, indem dieser Elektronendichte in Richtung des nukleophilen Zentrums schiebt. Dieser Einfluss wurde hier richtig angewandt. Ein Konzept, das bei der Aufgabe irrelevant für das Problemlösen war, jedoch trotzdem von einem Studierenden herangezogen wurde, ist die Mesomerie: „Dann würde ich sagen, dass der Alkohol, also die Bildung von Ethern, schneller ist, weil ich glaube, dass wir mit dem Nukleophil in B ein stabiles Nukleophil haben durch Mesomerie. Also ist hier ein tertiäres/ Ich weiß es nicht genau, aber ich würde dann sagen, wenn es so vorliegt, dann B.“ Da kein konjugiertes  $\pi$ -System vorliegt, kann auch keine Mesomerie vorliegen, diese wurde somit fälschlicherweise angenommen. Die vorgestellten Konzepte sind jedoch nur exemplarisch. Bei anderen Aufgaben wurde der +I-Effekt auch herangezogen, obwohl dieser nicht vorlag, oder Mesomerie erfolgreich in den Problemlöseprozess integriert. Zudem variierten die erfolgreich

und nicht-erfolgreich herangezogenen Konzepte über die Studierenden und Aufgaben hinweg. Übergreifend hat sich jedoch gezeigt, dass einige chemische Konzepte den Studierenden vermehrt Schwierigkeiten bereitet haben, indem sie entweder herangezogen wurden, obwohl sie für die Aufgabe irrelevant waren oder diese fehlerhaft wiedergegeben und falsch auf die Aufgabe angewandt wurden.

Des Weiteren gab es verschiedene chemische Konzepte und Prinzipien, die nicht selbstständig von den Studierenden herangezogen wurden und erst vom Interviewer erfragt werden mussten. Hierfür gab es unterschiedliche Gründe. Ein Grund bestand darin, dass das Konzept nicht bedacht wurde, nach Nachfrage des Interviewers aber erkannt und integriert werden konnte. Andere Gründe lagen darin, dass das Konzept nicht in der Repräsentation erkannt werden konnte, unbekannt war oder ein fehlerhaftes mentales Modell des Konzepts vorlag. Die nicht herangezogenen Konzepte und die Gründe dafür haben ebenfalls wieder über die Studierenden hinweg variiert. Jedoch hat sich auch hier gezeigt, dass es Konzepte gibt, die trotz ihrer Relevanz vermehrt nicht von den Studierenden herangezogen wurden und diesen somit größere Schwierigkeiten bereiten als andere.

### **Fazit und Ausblick**

Die oben dargestellten Ergebnisse zeigen exemplarisch, wie die Studierenden mit Problemlöseaufgaben aus der organischen Chemie umgegangen sind. Zum einen hat sich gezeigt, dass es chemische Konzepte und Prinzipien gibt, die den Studierenden bei der Bearbeitung von Aufgaben aus dem Bereich nukleophile Substitution und Eliminierung weniger Schwierigkeiten bereiten als andere. Dies hat sich beispielsweise darin gezeigt, dass diese Konzepte und Prinzipien herangezogen wurden, wenn diese inhaltlich relevant waren und inhaltlich richtig beschrieben und angewandt wurden. Für andere chemische Konzepte und Prinzipien hat sich hingegen ergeben, dass diese den Studierenden größere Schwierigkeiten bereiten. Beispielsweise wurden diese herangezogen, obwohl sie nicht relevant waren oder nicht herangezogen, obwohl sie relevant waren. Zudem haben sich Schwierigkeiten darin geäußert, dass die chemischen Konzepte und Prinzipien nicht korrekt beschrieben oder auf die Aufgabe angewandt wurden. Die aufgetretenen Schwierigkeiten haben über die Studierenden hinweg variiert, sodass nicht jeder Studierende die gleiche Schwierigkeit bezüglich eines chemischen Konzepts oder Prinzips hatte. Insbesondere für die chemischen Konzepte und Prinzipien, bei denen vermehrt Schwierigkeiten aufgetreten sind, werden in einem nächsten Schritt Unterstützungsmaßnahmen entwickelt, die die unterschiedlichen Problembereiche der Studierenden abdecken. Nach der erfolgreichen Identifizierung von Problembereichen sollen diese nach unterschiedlichen kognitiven Anforderungen sortiert werden, um spezifische Unterstützungsmaßnahmen anbieten zu können. Hierfür könnte beispielsweise die überarbeitete Bloomsche Taxonomie nach Anderson und Krathwohl (2001) genutzt werden. Für die einzelnen Zellen der Taxonomie könnten dann spezifische Formate als Unterstützungsmaßnahmen ausgewählt werden. Denkbare Formate hierfür sind beispielsweise Definitionen, Abgrenzungen, Übungsaufgaben und Lösungsbeispiele. Nach abgeschlossener Entwicklung der Unterstützungsmaßnahmen sollen diese in einer weiteren qualitativen Interviewstudie und einer quantitativen Studie evaluiert werden.

## Literatur

- Anderson, L.W. & Krathwohl, D.R. (Hrsg.) (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing. A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*, New York: Longman.
- Anzovino, M.E. & Bretz, S.L. (2015). Organic chemistry students' ideas about nucleophiles and electrophiles. The role of charges and mechanisms. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(4), 797–810.
- 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.
- Brühwiler, C. & Vogt, F. (2020). Adaptive teaching competency. Effects on quality of instruction and learning outcomes. *Journal for educational research online*, 12(1), 119–142.
- Busker, M., Parchmann, I. & Wickleder, M. (2010). Eingangsvoraussetzungen von Studienanfängern im Fach Chemie. *CHEMKON*, 17(4), 163–168.
- Chen, X., Mitrovic, A. & Mathews, M. (2020). Learning From Worked Examples, Erroneous Examples, and Problem Solving. Toward Adaptive Selection of Learning Activities. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 13(1), 135–149.
- Fautsch, J.M. (2015). The flipped classroom for teaching organic chemistry in small classes. Is it effective? *Chem. Educ. Res. Pract.*, 16(1), 179–186.
- Flynn, A.B. & Ogilvie, W.W. (2015). Mechanisms before Reactions. A Mechanistic Approach to the Organic Chemistry Curriculum Based on Patterns of Electron Flow. *Journal of Chemical Education*, 92(5), 803–810.
- Graulich, N. & Bhattacharyya, G. (2017). Investigating students' similarity judgments in organic chemistry. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 18(4), 774–784.
- Grove, N.P. & Bretz, S.L. (2012). A continuum of learning. From rote memorization to meaningful learning in organic chemistry. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 13, 201–208.
- Grove, N.P., Hershberger, J.W. & Bretz, S.L. (2008). Impact of a spiral organic curriculum on student attrition and learning. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 9(2), 157–162.
- Gupte, T., Watts, F.M., Schmidt-McCormack, J.A., Zaimi, I., Gere, A.R. & Shultz, G.V. (2021). Students' meaningful learning experiences from participating in organic chemistry writing-to-learn activities. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 22(2), 396–414.
- Klostermann, M., Höffler, T.N., Bernholt, A., Busker, M. & Parchmann, I. (2014). Erfassung und Charakterisierung kognitiver und affektiver Merkmale von Studienanfängern im Fach Chemie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 20(1), 101–113.
- Taasoobshirazi, G. & Glynn, S.M. (2009). College students solving chemistry problems. A theoretical model of expertise. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(10), 1070–1089.
- Watts, F.M., Schmidt-McCormack, J.A., Wilhelm, C.A., Karlin, A., Sattar, A., Thompson, B.C., Gere, A.R. & Shultz, G.V. (2020). What students write about when students write about mechanisms. Analysis of features present in students' written descriptions of an organic reaction mechanism. *Chemistry Education Research and Practice*, 21(4), 1148–1172.