

## **Formen und Farben als Unterstützung beim Erstellen von Reaktionsmechanismen**

### **Einleitung**

„Formen sind in der Chemie sehr wichtig. Zwei Moleküle, die sich so wenig voneinander unterscheiden wie die linke von der rechten Hand, können ganz unterschiedliche physikalische, chemische und biologische Eigenschaften haben“ (Hoffmann & Lazlo, 1991, S. 4). Um über Chemie zu sprechen, müssen daher Formen wahrgenommen und Unterschiede erkannt sowie interpretiert werden. Visualisierungen werden in der Chemie auch als eine Art Dolmetscher zwischen der Teilchenebene und deren Interpretation genutzt. Allgemein betrachtet man in der Chemie drei Ebenen: die makroskopische (für die Phänomene), die submikroskopische (für die Theorien) und die symbolische Ebene der Formeln, welche die universelle Sprache der Chemiker ist (Johnstone, 2000; Reiners, 2022). Der Wechsel zwischen diesen Ebenen ist generell für Lernende schon eine Herausforderung. Die Organische Chemie wird innerhalb der Disziplin als eine der schwierigsten Teilgebiete angesehen. Viele Lernenden versuchen die Herausforderungen zu meistern, indem sie die Inhalte, auch komplette Reaktionsmechanismen, auswendig lernen (Bowman, Gooch & Karty, 2007). Unterstützungsmöglichkeiten für Lernende, gerade für das Erstellen von Reaktionsmechanismen, werden daher kontinuierlich gesucht und entwickelt. Hierbei wird gerne auf unterschiedliche Möglichkeiten der Visualisierung zurückgegriffen, da diese für die Kommunikation chemischer Sachverhalte ausschlaggebend ist, weil die Sachverhalte meistens nicht sichtbar sind (Cooper, DeSutter & Stieff, 2017). Allgemein sind Darstellungen ein Mittel zum Ausdruck fachlicher Inhalte und bauen in ihrer Anforderung an das Abstraktionsvermögen der Lernenden aufeinander auf (Leisen, 2015). Jedoch, für komplexe chemische Inhalte wie die Reaktionsmechanismen, die zu vielen Lernschwierigkeiten führen, fehlen besonders Repräsentationen auf submikroskopischer Ebene wie Abbildungen von Teilchenmodellen. Im Folgenden wird die Entwicklung einer bildhaften, auf Formen und Farben basierenden Lernhilfe zu Reaktionen der Organischen Chemie, die ohne formelsprachliche Elemente beim Erstellen von Reaktionsmechanismen unterstützt, beschrieben.

### **Anforderungen an die Lernhilfe**

Die Lernhilfen der Bildgeschichten sollen auf der ikonischen bzw. bildlichen Darstellungsebene ansetzen. Sie sollen aus einer zusammenhängenden Reihe an schematischen Abbildungen bestehen, ohne dabei formelsprachliche Elemente wie Formeln oder Pfeile zu verwenden. Darstellungen sollen beim ersten Kontakt mit neuen Sachverhalten nicht-symbolischer Natur sein, wodurch Komplexität reduziert, und formelsprachliche Hürden umgangen werden (Kuntze, 2013). Die Formelsprache behindert bei zu zeitiger Verwendung den Lernprozess, da sie sehr viel Vorwissen verlangt und die höchste Anforderung an das Abstraktionsvermögen stellt (Barke, Harsch, Kröger & Marohn, 2018). Die Abbildungen der Bildgeschichten sollen den Ablauf von wesentlichen Reaktionsarten in

der Organischen Chemie darstellen. Sie veranschaulichen als Anschauungsmodelle die Reaktionsmechanismen der Reaktionsarten in bildlicher Weise.

### Die Entwicklung der Bildgeschichten

Für die Entwicklung der Bildgeschichten wurden Grundlagen für die Gestaltung berücksichtigt sowie verschiedene Schritte bis zur Festlegung des endgültigen Designs durchlaufen. Tabelle 1 gibt hierzu einen Überblick.

Grundlagen	<ul style="list-style-type: none"><li>• Berücksichtigung des Farbkreises nach Itten (Wäger, 2017)</li><li>• Prinzip der Nähe: zwei Formen, die nah beieinander liegen, werden als eine Einheit erkannt (Breiner, 2019)</li><li>• Prinzip der Einfachheit: Formen in ihrer stabilsten Weise verstanden (Breiner, 2019)</li></ul>
Designschritte	<ul style="list-style-type: none"><li>• Erste Entwürfe: Nutzung von einfachen Formen wie Vierecken und Kreisen. Starke Orientierung an den Formeldarstellungen in den Reaktionsmechanismen</li><li>• Zweite Entwürfe: Orientierung an Elektronendichten von Verbindungen und deren Darstellung (siehe Abb. 1).</li><li>• Dritte Entwürfe: Einbezug von Elektronendichtekonturen und Potenzialmodellen (Carey &amp; Sundberg, 2007)</li></ul>

Tabelle 1. Entwicklungsschritte für die Bildgeschichten

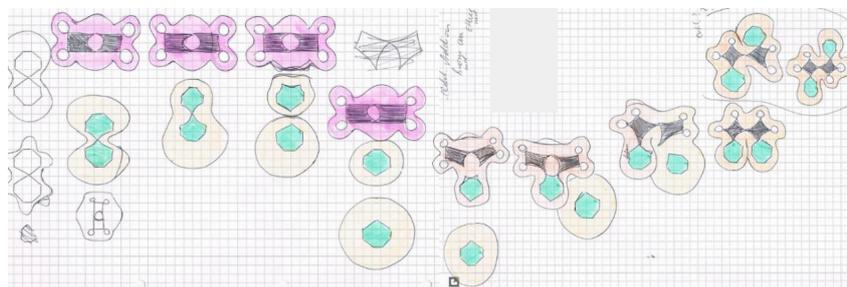


Abb. 1. Skizze des Mechanismus der elektrophilen Addition an eine Doppelbindung mit stärkerer Orientierung an Elektronendichten (eigene Darstellung)

Für das endgültige Design (siehe Abb. 2) wurden die folgenden Elemente gewählt:

- Die Formen sind rund und/oder eckig, sodass sie dynamisch wirken. Farblich siedeln sich die Formen in einem grünen Bereich an, wobei zur Unterscheidung von Reaktionspartnern auch eine gelb-grün und gelb-orangene Farbgebung verwendet wurde. Generell wurde Grün als die Farbe der Formen gewählt, um einerseits einen gestalterischen Kontrast zu anderen verwendeten Farben herzustellen und um andererseits die Assoziation mit Passivität und Ruhe hervorzurufen.
- Bindungen werden durch Überschneidungen der Formen dargestellt, ähnlich wie die Überschneidung von Atomorbitalen zur Bildung von gemeinsamen Molekülorbitalen.
- Bei Additionsreaktionen vereinen sich bspw. die Farben und Formen der Reaktionspartner. In komplexen Mechanismen werden die Stellen der Formen, an

denen die Reaktion stattfindet, farblich hervorgehoben, z.B. durch einen helleren bzw. dunkleren Grünton.

- Die Formen sind von farbigen Linien umgeben. Diese stellen die Elektronendichte dar und variieren in der Farbigkeit von Blau zu Violett und zu Rot. Blaue Linien stehen weiter auseinander und verbildlichen basierend auf den Potenzialmodellen einen positiven Ladungsschwerpunkt bzw. ein Elektrophil. Das Blau suggeriert, dass etwas noch frei ist. Rote Linien stehen enger zusammen und stellen ebenfalls basierend auf den Potenzialmodellen einen negativen Ladungsschwerpunkt bzw. ein Nukleophil dar. Ebenfalls verbunden mit der Farbassoziation vermittelt energiegeladenes Rot das Gefühl von Dynamik, die Möglichkeit zur Reaktion und zur Bereitstellung von Elektronen. Violette Linien stehen für eine ausgeglichene Elektronendichteverteilung. Die Farbgebung kommt zustande, weil die Mischung von Blau und Rot Violett ergibt.
- Die Dynamik der Reaktion wird gezeigt, indem sich die Formen annähern. Dabei wird insbesondere darauf geachtet, dass der angreifende Partner sich hauptsächlich bewegt. Zum Fokussieren des Geschehens werden bei komplexeren Mechanismen minimal die Größenverhältnisse angepasst. So werden bspw. in einem Schritt unbeteiligte Formen verkleinert, damit sie in den Hintergrund treten.
- Die Bildgeschichten selbst sind von links nach rechts und von oben nach unten zu lesen. Sie umfassen fünf bis zwölf Abbildungen und wurden mit dem Illustrator-Programm von Adobe erstellt.

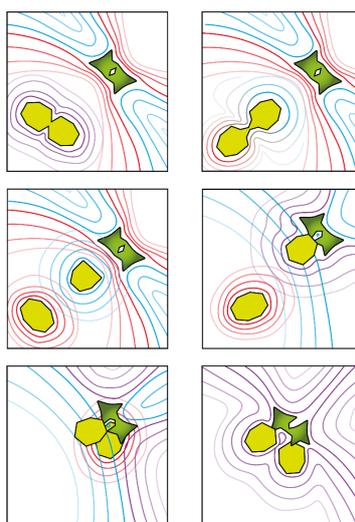


Abb. 2. Bildgeschichte zum Mechanismus der elektrophilen Addition an eine Doppelbindung (eigene Darstellung)

#### Erste Evaluationsergebnisse und Ausblick

Eine erste Erprobung im Wintersemester 2023-24 zeigte, dass die Studierenden durch die Nutzung der Bildgeschichten bei der Erstellung der Reaktionsmechanismen nicht nur unterstützt wurden, sondern die Mechanismen auch besser verstanden haben. Diese Ergebnisse wurden durch die Hauptstudie im Sommersemester 2024 bestätigt. Daher werden für weitere Reaktionsmechanismen Bildgeschichten erstellt, in verschiedenen Lehrveranstaltungen erprobt und evaluiert.

## Literatur

- Barke, H.-D., Harsch, G., Kröger, S. & Marohn, A. (2018). *Chemiedidaktik kompakt: Lernprozesse in Theorie und Praxis* (3. Aufl.). Springer Spektrum, Heidelberg.
- Bowman, B. G., Gooch, G. & Karty, J. M. (2007). Teaching a Modified Hendrickson, Cram, and Hammond Curriculum in Organic Chemistry: Curriculum Redesign To Turn Around Student Performance. *J. Chem. Educ.*, 84(7), 1209-1216.
- Breiner, T. C. (2019). *Farb- und Formpsychologie*. Springer, Heidelberg.
- Carey, F. A. & Sundberg, R. J. (2007). *Advanced Organic Chemistry: Part A: Structure and Mechanisms* (5. Aufl.). Springer, Heidelberg.
- Cooper, M. M., DeSutter, D. & Stieff, M. (2017). Sketching the Invisible to Predict the Visible: From Drawing to Modeling in Chemistry. *Top. Cogn. Sci.*, 9(4), 902-920.
- Hoffmann, R. & Laszlo P. (1991). Darstellungen in der Chemie - die Sprache der Chemiker. *Angew. Chem.*, 103(1), 1-16.
- Johnstone, A. H. (2000). Teaching of Chemistry: Logical or Psychological? *Chem. Educ. Res. Pract.*, 1(1), 9-15.
- Kuntze, S. (2013). Vielfältige Darstellungen nutzen im Mathematikunterricht. In J. Sprenger, A. Wagner & M. Zimmermann (Hrsg.) *Mathematik lernen, darstellen, deuten, verstehen: Didaktische Sichtweisen vom Kindergarten bis zur Hochschule* (S. 17-36). Springer Spektrum, Heidelberg.
- Leisen, J. (2015). Fachlernen und Sprachlernen! Bringt zusammen, was zusammengehört! *MNU*, 68(3), 132-137.
- Reiners, C. S. & Saborowski, J. (2022). Auf dem Weg zum Chemieunterricht. In C. S. Reiners (Hrsg.) *Chemie vermitteln: fachdidaktische Grundlagen und Implikationen* (2. erweiterte Aufl., S. 113-179). Springer Spektrum, Heidelberg.
- Wäger, M. (2017) *Das ABC der Farbe. Theorie und Praxis für Grafiker und Fotografen*. 1. Aufl. Rheinwerk Verlag GmbH Bonn
- Wichmann, M. (2024). Formen und Farben als Unterstützung beim Erstellen von Reaktionsmechanismen. Bachelorarbeit, Universität Potsdam.