

Katrin Schüßler¹
Betül Bircan¹
Michael Giese¹
Maik Walpuski¹

¹Universität Duisburg-Essen

Schwierigkeiten bei der Bearbeitung digitaler OC Aufgaben

Ausgangslage

Durch Digitalisierung (Puentedura, 2006) klassischer Übungsaufgaben der organischen Chemie soll eine digitale Lernumgebung entstehen, durch die vorwissensschwache Lernende (Averbeck 2021; Fischer et al. 2021; Fleischer et al. 2019; Heublein et al. 2020) über fehlerspezifisches Feedback (Eitemüller et al. 2023; Johnson und Priest 2014) und Zeit für notwendige Verarbeitungsprozesse (Spanjers et al. 2012; Mayer und Pilegard 2014), ihre Vorwissenslücken schließen und Studierende unabhängig vom Lehrenden üben können.

Hierfür wurde ein opensource Moleküleditor (Kekule.js, Jiang et al., 2016) in ein e-learning und e-assessment System (JACK, Striwe, 2016) integriert. Moleküle werden digital als Skelettformel (Brecher, 2008) gezeichnet. Heteroatome und funktionelle Gruppen können aus einem Dropdown-Menü ausgewählt und eingefügt werden. Im Rahmen der automatisierten Überprüfung werden Molekülzeichnungen in string code (InChI code, Heller et al., 2015) konvertiert und mit hinterlegten Lösungen abgeglichen (Schüßler et al., 2025).

Theoretischer Hintergrund

Ergebnisse bisheriger quantitativer Evaluationsstudien (Vergleich digitaler und papierbasierter Aufgabenbearbeitungen) haben gezeigt, dass eine umfangreiche Einführung und ausreichende Übung mit dem digitalen Tool erforderlich sind, um digitale und papierbasierte Aufgaben ähnlich erfolgreich zu bearbeiten. Die kognitive Belastung ist trotzdem teilweise unterschiedlich (Schuessler, Rodemer et al., 2024; Schuessler, Striwe et al., 2024).

Fragestellung

In einer weiteren quantitativen Studie wurde daher zusätzlich, durch die Analyse von Screenvideos der digitalen Aufgabenbearbeitung, untersucht, welche Schwierigkeiten sich bei der Bearbeitung digitaler Aufgaben der organischen Chemie zeigen.

Methoden

Im quantitativen Teil der Studie haben 32 Studierende (B. Sc. Chemie / B. Sc. Water Science, Regelstudienzeit 2. Semester; Lehramt Chemie Studierende, Regelstudienzeit 3. Semester) 17 Aufgabentandems (digital und papierbasiert: Moleküle auf Basis des IUPAC Namens zeichnen) bearbeitet und anschließend ihre kognitive Belastung eingeschätzt (adaptierte Version des Instruments von Leppink et al., 2013). 10 Freiwillige haben zusätzlich ein Screenvideo der Bearbeitung der digitalen Aufgaben aufgezeichnet.

Die quantitativen Daten wurden mit Winsteps (Version 5.2.4.0, Boone et al., 2014, Rasch Parameter Personenfähigkeit für Aufgabenbearbeitung und kognitive Belastung) ausgewertet. Formatunterschiede wurden mithilfe von *t*-tests untersucht.

Bei der Analyse der Screenvideos wurden richtige und falsche Lösungen unterschieden. Weiter wurde untersucht, ob während der Aufgabenbearbeitung Schwierigkeiten auftraten. Hier

wurde zwischen fachlichen (auch im Papierformat möglich) und technischen (so im Papierformat nicht möglich) Bearbeitungsschwierigkeiten sowie alternativen Bearbeitungsstrategien (fehleranfällig, zeitaufwändig) unterschieden.

Ergebnisse

Molekülzeichenaufgaben zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen Papierformat, $M = -0.16$, $SE = 0.27$, und digitalem Format, $M = 0.07$, $SE = 0.27$, $\Delta M = -0.23$, 95% CI [-0.63, 0.14], $t(43) = 1.20$, $p = .254$. Moleküle werden in beiden Formaten gleich gut gezeichnet. Der extraneous cognitive load unterscheidet sich signifikant zwischen Papierformat, $M = -1.60$, $SE = 0.20$, und digitalem Format, $M = -0.89$, $SE = 0.16$, $\Delta M = -0.71$, 95% CI [-1.10, -0.33], $t(43) = 3.56$, $p = .002$, $d_{RM, pooled} = 0.49$; er ist im digitalen Format höherer.

Die Screenvideos zeigen, dass 63 % (107/170) der Aufgaben richtig gelöst werden (siehe Abbildung 1). Von den richtig gelösten Aufgaben, wird die Mehrheit direkt richtig (71/170, 42 %), nur ein Teil erst nach Überwindung von Bearbeitungsschwierigkeiten (36/170, 21 %) gelöst. Die Studierenden nutzen dabei überwiegend effiziente Bearbeitungsstrategien.

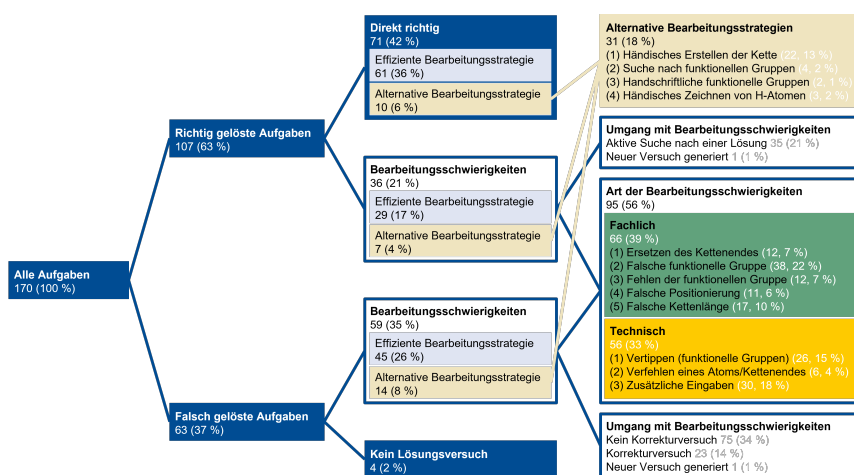


Abb. 1 Ergebnisübersicht Screenvideoanalyse

Falsche Aufgabenlösungen (63/107, 37 %) werden überwiegend durch Bearbeitungsschwierigkeiten (59/170, 35 %) nicht durch fehlende Lösungsversuche (4/170, 2 %) verursacht. Auch bei falsch gelösten Aufgaben werden mehrheitlich effiziente Bearbeitungsstrategien genutzt. Deutliche Unterschiede zeigen sich beim Umgang mit Bearbeitungsschwierigkeiten zwischen richtig und falsch gelösten Aufgaben. Bei richtig gelösten Aufgaben scheint den Studierenden bewusst zu sein, dass etwas nicht stimmt, denn sie suchen aktiv nach einer Lösung. Bei falsch gelösten Aufgaben, scheint den Studierenden mehrheitlich nicht bewusst zu sein, dass sie einen Fehler gemacht haben, denn oft wird nicht nach einer Lösung gesucht (75 Fälle, da bei einer Aufgabe mehrere Fehler gemacht werden können, gehen Aufgaben hier mehrfach ein). Nur für 24 Fälle wird aktiv nach einer Lösung gesucht beziehungsweise durch neu Laden der Seite ein neuer Lösungsversuch generiert, bevor der erste, fehlerhafte eingereicht wurde. Die Art der Bearbeitungsschwierigkeit wurde weiter differenziert (auch hier können Aufgaben mehrfach eingehen, wenn mehrere Schwierigkeiten auftraten). Die Bearbeitungsschwierigkeiten verteilen sich fast gleich auf technische (58 Fälle) und fachliche Schwierigkeiten (66

Fälle). Zu den fachlichen Schwierigkeiten zählen: Ersetzen des Kettenendes durch eine funktionelle Gruppe (zu kurze Hauptkette), Fehler bei der funktionellen Gruppe, falsche Positionierung von Substituenten, falsche Kettenlänge. Zu den technischen Schwierigkeiten zählen: Vertippen bei der Eingabe der funktionellen Gruppe über die Tastatur (z. B. Oh statt OH, wird vom digitalen System nicht erkannt), Verfehlen des Zielatoms oder Kettenendes bei der Bearbeitung des Moleküls (bei fehlender Verbindung erkennt das digitale System zwei separate Moleküle) sowie zusätzliche Eingaben (z. B. Ethanmoleküle) durch Klicks oder Ablegen des Handballens im Zeichenbereich des Editors.

Auch alternative Bearbeitungsstrategien (31 Fälle) wurden unabhängig von der Aufgabenlösung näher betrachtet (auch hier kann eine Aufgabe mehrfach eingehen). Am häufigsten zeigte sich das „händische“ Erstellen von längeren Kohlenwasserstoffketten durch das aneinanderfügen von Einzelbindungen, statt eine Funktion zum Erstellen längerer Ketten zu verwenden. Dieses Vorgehen ist zeitaufwändig und fehleranfällig (Verfehlen von Bindungsenden, s. o.). Daneben haben Studierende vereinzelt versucht am Tablet funktionelle Gruppen wiederholt handschriftlich einzugeben, statt das Dropdown Menü des Editors zu verwenden, was zu Problemen bei der Schrifterkennung geführt hat. Vereinzelt haben Studierende das digitale System genutzt, um im Dropdown Menü nach, vermutlich unbekannten, funktionellen Gruppen zu suchen (wenn man mit der Mouse langsam über das Dropdown Menü fährt, werden die Namen der jeweiligen funktionellen Gruppen angezeigt). Außerdem wurden Wasserstoffatome explizit eingezeichnet. Unklar ist, ob dies so im Papierformat auch gemacht wird oder dort auf andere (explizitere) Repräsentationsformen ausgewichen wird.

Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass im digitalen Format neben fachlichen Schwierigkeiten, die so auch im Papierformat auftreten sollten, technische Schwierigkeiten und alternative Bearbeitungsstrategien eine weitere Hürde darstellen. Gleichzeitig bietet das digitale System auch Unterstützung, die im Papierformat nicht gegeben ist (z. B. Dropdown Menü mit funktionellen Gruppen und Heteroatomen). Die Studierenden sind so in der Lage die Aufgaben in beiden Formaten ähnlich gut zu lösen, aber empfinden im digitalen Format eine andere kognitive Belastung. Wenn Studierenden bewusst ist, dass eine Lösung nicht richtig ist, scheinen sie in der Lage zu sein, ihren Fehler zu korrigieren.

Einige Aspekte lassen sich möglicherweise durch ein besseres Training aufgreifen (Ablegen des Handballens, handschriftliche Eingabe von funktionellen Gruppen) zum Teil sind diese Aspekte aber bereits Teil der Einführung (Anknüpfen an ein bestehendes Molekül, Zeichnen längerer Ketten). Insgesamt zeigt sich, dass die digitale und papierbasierte Bearbeitung von Aufgaben der organischen Chemie mit fachspezifischen Formatunterschieden einhergeht; eine einfache Digitalisierung (Puenteadura, 2006) von Aufgaben ist daher nicht möglich, sondern Bedarf fachdidaktischer Forschung.

Literatur

- Averbeck, D. (2021). Zum Studienerfolg in der Studieneingangsphase des Chemiestudiums: Der Einfluss kognitiver und affektiv-motivationaler Variablen. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 308*. Logos Berlin.
- Boone, W. J., Staver, J. R. & Yale, M. S. (2014). *Rasch analysis in the human sciences*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-6857-4>

- Brecher, J. (2008). Graphical representation standards for chemical structure diagrams (IUPAC Recommendations 2008). *Pure and Applied Chemistry*, 80(2), 277–410. <https://doi.org/10.1351/pac200880020277>
- Eitemüller, C., Trauten, F., Striwe, M. & Walpuski, M. (2023). Digitalization of multistep chemistry exercises with automated formative feedback. *Journal of Science Education and Technology*, 32(3), 453–467. <https://doi.org/10.1007/s10956-023-10043-2>
- Fischer, V., Walpuski, M., Lang, M., Letzner, M., Manzel, S., Motté, P., Paczulla, B., Sumfleth, E. & Leutner, D. (2021). Studienerfolg und Studienabbruch. *ZeHf – Zeitschrift für empirische Hochschulforschung*, 4(1-2020), 55–80. <https://doi.org/10.3224/zehf.v4i1.05>
- Fleischer, J., Leutner, D., Brand, M., Fischer, H., Lang, M., Schmiemann, P. & Sumfleth, E. (2019). Vorhersage des Studienabbruchs in naturwissenschaftlich-technischen Studiengängen. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 22(5), 1077–1097. <https://doi.org/10.1007/s11618-019-00909-w>
- Heller, S. R., McNaught, A., Pletnev, I., Stein, S. & Tchekhovskoi, D. (2015). InChI, the IUPAC international chemical identifier. *Journal of cheminformatics*, 7, 23. <https://doi.org/10.1186/s13321-015-0068-4>
- Heublein, U., Richter, J. & Schmelzer, R. (2020). Die Entwicklung der Studienabbruchquoten in Deutschland. https://doi.org/10.34878/2020.03.dzhw_brief
- Jiang, C., Jin, X., Dong, Y. & Chen, M. (2016). Kekule.js: An open source JavaScript chemoinformatics toolkit. *Journal of chemical information and modeling*, 56(6), 1132–1138. <https://doi.org/10.1021/acs.jcim.6b00167>
- Johnson, C. & Priest, A. H. (2014). The feedback principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 449–465). Cambridge University Press.
- Leppink, J., Paas, F., Van der Vleuten, C.P.M., Van Gog, T. & Van Merriënboer, J.J.G. (2013). Development of an instrument for measuring different types of cognitive load. *Behav Res* 45, 1058–1072. <https://doi.org/10.3758/s13428-013-0334-1>
- Mayer, R. E. & Pilegard, C. (2014). Principles for managing essential processing in multimedia learning: Segmenting, pre-training, and modality principles. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 316–344). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.016>
- Puentedura, R. R. (2006). Transformation, technology, and education [SAMR-Model]. http://hippasus.com/resources/tte/puentedura_tte.pdf
- Schüßler, K., Giese, M. & Walpuski, M. (2025). Erste Schritte auf dem Weg zu einer digitalen Lern- und Prüfungsumgebung für die organische Chemie. In N. Auferkorte-Michaelis, M. Bonnes, P. Hintze & J. Lieb-scher (Hrsg.), *Prüfungen digital gestalten: Technische und didaktische Konzepte für die Hochschullehre*. Barbara Budrich.
- Schuessler, K., Rodemer, M., Giese, M. & Walpuski, M. (2024). Organic chemistry and the challenge of representations: Student difficulties with different representation forms when switching from paper–pencil to digital format. *Journal of Chemical Education*, Artikel acs.jchemed.4c00303. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00303>
- Schuessler, K., Striwe, M., Pueschner, D., Luetzen, A., Goedicke, M., Giese, M. & Walpuski, M. (2024). Developing and evaluating an e-learning and e-assessment tool for organic chemistry in higher education. *Frontiers in Education (STEM Education)*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1355078>
- Spanjers, I. A., van Gog, T., Wouters, P. & van Merriënboer, J. J. (2012). Explaining the segmentation effect in learning from animations: The role of pausing and temporal cueing. *Computers & Education*, 59(2), 274–280. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.12.024>
- Striwe, M. (2016). An architecture for modular grading and feedback generation for complex exercises. *Science of Computer Programming*, 129, 35–47. <https://doi.org/10.1016/j.scico.2016.02.009>