

Katrin Schübler¹
Michael Giese¹
Maik Walpuski¹

¹Universität Duisburg-Essen

Digitales Lehren und Prüfen in der Organischen Chemie

Ausgangslage und theoretischer Hintergrund

Aktuell fehlen Möglichkeiten, um typische Aufgabenformate der organischen Chemie digital in Lehre und Prüfung umzusetzen. Eine digitale Lernumgebung könnte speziell vorwissenschwache Studierende, die ihren Wissensrückstand nicht aufholen können (Averbeck, 2020) und dadurch gefährdet sind die Veranstaltung nicht (in Regelstudienzeit) zu bestehen (Halikari & Nevgi, 2010), unterstützen, indem sie zusätzliche Lern- und Feedbackgelegenheiten schafft. Für die Konzeption einer lernförderlichen Lernumgebung ist zu beachten, dass Arbeitsgedächtniskapazität begrenzt ist und diese Kapazität für den Lernprozess - und nicht für unnötige Verarbeitungsprozesse - zur Verfügung stehen sollte (z. B. Mayer, 2009; Pass & Sweller, 2014; Sweller, 2005). Ziel ist daher die Entwicklung einer digitalen Lern- und Prüfungsumgebung, die (1) möglichst wenig unnötige kognitive Belastung durch die digitale Umsetzung hervorruft (Mayer, 2009; Paas & Sweller, 2014) und (2) einen didaktischen Mehrwert (z. B. durch automatisiertes Fehlerspezifisches Feedback; Johnson & Priest, 2014) gegenüber der aktuellen paper-pencil Lösung bietet. Hierfür wurde in das E-Assessment Tool JACK (z. B. Striewe, 2016) der Moleküleditor KEKULE.JS (Jiang, Jin, Dong, & Chen, 2016) integriert, so dass es möglich ist, einfache „Zeichne-folgendes-Molekül“-Aufgaben digital umzusetzen, automatisiert auszuwerten und zunächst grundlegendes Feedback zu geben (richtig/falsch).

Forschungsfragen

- Inwiefern unterscheiden sich digitale und papierbasierte Zeichenaufgaben hinsichtlich der Performanz der Studierenden und der kognitiven Belastung, während der Bearbeitung?
- Wie bewerten Studierende die Usability digitaler Zeichenaufgaben?

Design

Entwickelt wurden 8 Zeichenaufgaben-Tandems mit jeweils einer papierbasierten (Zeichnen Sie ein 3-Ethyloctan-Molekül) und einer analog konstruierten, digitalen Aufgabe (Zeichnen Sie ein 2-Methylheptan-Molekül). Studierende (14 Chemie B. Sc., 2. Semester, 8 Water Science B. Sc., 4. Semester), die die Veranstaltung Organische Chemie 1 bereits besucht hatten, bearbeiteten im ersten Teil der Studie das Testheft mit den 8 papierbasierten Zeichenaufgaben und füllten anschließend einen Fragebogen (9-stufige, beschriftete Rating-Skala) zur kognitiven Belastung aus (Leppink, Paas, Van der Vleuten, & van Merriënboer, 2013). Danach erhielten die Studierenden ein I-Pad® sowie eine kurze Einführung in das digitale Zeichentool, in deren Rahmen sie eine Übungsaufgabe bearbeiteten (Zeichnen Sie die abgebildete Struktur nach). Im zweiten Teil der Studie bearbeiteten die Studierenden 8 digitale Zeichenaufgaben, füllten erneut den Fragebogen zur kognitiven Belastung aus und bewerteten zusätzlich die Usability (9-stufige, beschriftete Rating-Skala)

der digitalen Zeichenaufgaben (Brooke, 2014; Hauck, Melle & Steffen, 2022). Die Fragebögen zu den digitalen Zeichenaufgaben wurden in Moodle digital ausgefüllt.

Methoden

Für 22 Studierende liegen vollständige Datensätze vor. Die erhobenen Daten wurden IRT-skaliert (eindimensionales Rasch-Modell, WINSTEPS) und mit SPSS (IBM SPSS 26) ausgewertet. Die Ergebnisse der digitalen und papierbasierten Zeichenaufgaben wurden hierfür separat skaliert und die Personenfähigkeiten der Studierenden exportiert. Das gleiche Vorgehen wurde für die Ratings zur kognitiven Belastung gewählt. Für die Usability Ratings wurden ebenfalls die Personenfähigkeiten exportiert. Im Anschluss wurden die mittleren Personenfähigkeiten mittels *t*-Tests verglichen und Korrelationsanalysen durchgeführt. Für beide Verfahren werden zusätzlich zu den Kennwerten 95 % Konfidenzintervalle (bias corrected and accelerated) basierend auf 1000 Bootstrapping-Stichproben berichtet. Die Effektstärken wurden mithilfe der Website psychometrica berechnet (Lenhard, 2022).

Ergebnisse

Die Reliabilitäten der Instrumente sind zum Teil nicht zufriedenstellend. Mögliche Gründe können die kleine Stichprobe, die geringe Aufgabenanzahl und die geringe Varianz in der Schwierigkeit der Zeichenaufgaben sein. Da die Personenfähigkeiten lediglich für den Vergleich der Formate (nicht zur Kompetenzbestimmung der Individuen) verwendet werden sollen, werden sie im Folgenden trotz der unzufriedenstellenden Reliabilitäten verwendet.

Tabelle 1: Reliabilitäten der Testinstrumente

	<i>N</i> _{Items}	Format	Person Reliability	Item Reliability
Zeichenaufgaben	8	papierbasiert	.35*	.90
		digital	.63	.85
Extraneous cognitive load	3	papierbasiert	.47	.56
		digital	.54	.97
Intrinsic cognitive load	3	papierbasiert	.71	.87
		digital	.70	.96
Usability	9	digital	.88	.89

*Eine 12 Item Version des Tests weist eine verbesserte Person Reliability (.65) auf; da für einen Erhebungstermin die digitalen Partneritems fehlen, wird die gekürzte Version verwendet.

Für die papierbasierten Zeichenaufgaben ist die mittlere Personenfähigkeit größer ($M = 0.69$, $SE = .33$) als für die digitalen Zeichenaufgaben ($M = -0.63$, $SE = .45$). Ein *t*-Test für verbundene Stichproben zeigt, dass dieser Mittelwertsunterschied ($\Delta M = 1.33$, BCa 95 % CI [.143, 2.381]) signifikant ist ($t(21) = 2.590$, $p = .017$, $d = 0.696$).

Die mittlere Personenfähigkeit ist für Ratings zur unnötigen kognitiven Belastung (*extraneous cognitive load*) durch die papierbasierten Zeichenaufgaben niedriger ($M = -1.77$, $SE = .42$) als für Ratings durch die digitalen Zeichenaufgaben ($M = -0.28$, $SE = .79$), das heißt, dass die Studierenden für die papierbasierten Zeichenaufgaben den Aussagen zur unnötigen kognitiven Belastung seltener zugestimmt haben, als für die digitalen Zeichenaufgaben. Ein *t*-Test für

verbundene Stichproben zeigt, dass dieser Mittelwertsunterschied ($\Delta M = -1.49$, BCa 95 % CI [-2.383, -.579]) signifikant ist ($t(21) = 3.213$, $p = .004$, $d = 0.992$).

Für die aufgabenbedingte kognitive Belastung (*intrinsic cognitive load*) zeigen sich keine Unterschiede zwischen den Formaten (papierbasiert: $M = -0.80$, $SE = .32$; digital: $M = -0.43$, $SE = .25$; $\Delta M = -0.36$, BCa 95 % CI [-1.052, .295], $t(21) = 1.062$, $p = .300$).

Die Personenfähigkeit für die Usability-Ratings korreliert negativ mit der aufgabenbedingten kognitiven Belastung durch die digitalen Zeichenaufgaben ($r = -.477$, BCa 95 % CI [-.726, -.200], $p = .025$), das heißt Studierende, die Aussagen zur aufgabenbedingten kognitiven Belastung zustimmen, stimmen Aussagen zur Usability seltener zu (und anders herum).

Diskussion und Ausblick

Der Vergleich der papierbasierten mit den digitalen Zeichenaufgaben zeigt, dass für Studierende, die im Rahmen ihrer Lehrveranstaltung lediglich papierbasierte Übungsaufgaben bearbeitet haben, die digitalen Zeichenaufgaben signifikant schwieriger sind. Gespräche mit den Studierenden haben ergeben, dass die kurze Einführung und die Übungsaufgabe nicht ausreichend waren, um mit dem digitalen Zeichentool ausreichend vertraut zu werden, und zwei bis drei zusätzliche Übungsaufgaben benötigt werden. Im nächsten Schritt ist geplant das digitale Tool nach einer ausführlicheren Einführung systematisch in die Übung der Organischen Chemie zu implementieren, so dass Studierende bereits in der Lernphase mit dem Tool arbeiten und nicht mehr ausschließlich auf das Papierformat trainiert werden. Für den Einsatz des Tools in der Übung ist ein Ausbau der Feedbackfunktion geplant, um Studierende in ihrem Lernprozess zu unterstützen (Johnson & Priest, 2014).

Das digitale Format verursacht eine signifikant höhere unnötige kognitive Belastung. Dieses Ergebnis kann (auch) mit der zu kurzen Übungsphase mit dem Tool zusammenhängen. Gerade bei den ersten Aufgaben hatten Studierende Schwierigkeiten die benötigte Funktion (Doppelbindung, Heteroatom, ...) sofort zu finden, so dass der Zeichenprozess durch Suchprozesse unterbrochen wurde. Im nächsten Schritt muss geprüft werden, ob (a) eine längere Übungsphase ausreicht, um Unterschiede in der unnötigen kognitiven Belastung zwischen den Formaten zu verringern, ob (b) diese Unterschiede mit der Gewöhnung an das Tool im Lauf des Semesters verschwinden oder (c) ob das digitale Tool grundsätzlich eine höhere unnötige kognitive Belastung verursacht und Anpassungen notwendig sind.

Der negative Zusammenhang zwischen der aufgabenbedingten kognitiven Belastung und der Usability zeigt, dass die Einschätzung zur Nutzbarkeit des (unvertrauten) digitalen Formats mit der kognitiven Belastung durch die Aufgaben zusammenhängt. Studierende, die bereits durch die Aufgaben herausgefordert sind, empfinden die Usability als geringer. Auch für dieses Ergebnis ist zu prüfen, ob dieser Effekt im Lauf des Semesters verschwindet. Gleichzeitig zeigt dieser Zusammenhang, dass neue Formate vorsichtig eingeführt werden müssen, weil sie schwächere Studierende in ihrem Lernprozess zusätzlich beeinträchtigen können. Gerade mit Blick auf digitale Prüfungen ist dieser Aspekt von Bedeutung.

Limitationen

Die bisherigen Ergebnisse sind durch die geringe Varianz in den Aufgaben und die kleine Stichprobe limitiert. Dies zeigt sich auch in der Reliabilität der Instrumente. Trotzdem geben die Ergebnisse einen Hinweis darauf, welche Aspekte in den folgenden Entwicklungs- und Evaluationsschritten zu beachten sind.

Literatur

- Averbeck, D. (2020). Zum Studienerfolg in der Studieneingangsphase des Chemiestudiums – Der Einfluss kognitiver und affektiv-motivationaler Variablen. Berlin: Logos.
- Brooke, J. (1995). SUS: A quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry*, 189(194), 4-7.
- Hailikari, T. K. & Nevgi, A. (2010). How to Diagnose At-risk Students in Chemistry: The case of prior knowledge assessment. *International Journal of Science Education*, 32(15), 2079-2095. <https://doi.org/10.1080/09500690903369654>
- Jiang, C., Jin, X., Dong, Y., & Chen, M. (2016). Kekule.js - An Open Source JavaScript Chemoinformatics Toolkit. *J. Chem. Inf. Model.*, 56(6), 1132–1138.
- Hauck, D. J., Melle, I. & Steffen, A. (2021). Molecular Orbital Theory—Teaching a Difficult Chemistry Topic Using a CSCL Approach in a First-Year University Course. *Educ. Sci.* 2021, 11(9)
- Johnson, Ch. I. & Priest, A. H. (2014). The Feedback Principle in Multimedia Learning (pp.449-463), in: Mayer, R. E. [Hg.]. *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning – Second Edition*, Cambridge University Press, New York.
- Lenhard, A. (2022, 30.08.). Berechnung von Effektstärken. *Psychometrica*. <https://www.psychometrica.de/effektstaerke.html>
- Leppink, J., Paas, F., Van der Vleuten, C.P.M., & van Merriënboer, J. J. G. (2013). Development of an instrument for measuring different types of cognitive load. *Behavior Research Methods*, 45, 1058–1072. <https://doi.org/10.3758/s13428-013-0334-1>
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511811678>
- Paas, F. & Sweller, J. (2014). Implication of Cognitive Load Theory for Multimedia Learning. In: R. E. Mayer (Hrsg.), *Cambridge Handbook of multimedia learning*. Second Edition (S. 27-42). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Striewe, M. (2016). An architecture for modular grading and feedback generation for complex exercises, *Science of Computer Programming*, 129, 35–47.
- Sweller, J. (2005). Implications of Cognitive Load Theory for Multimedia Learning. In: R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 19-30), New York: Cambridge University Press.