

Dominik Diermann¹
Dennis Huber¹
Steffen Glaser¹
Jenna Koenen¹

¹Technische Universität München

Interaktivität und Dynamik in der digitalen SpinDrops-Lernumgebung

Seit dem Aufschwung digitaler Medien wird deren Einsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht diskutiert. Dabei kommen Simulationen und Animationen eine besondere Rolle zu. Unter anderem deren Mehrwerte zur Visualisierung bestimmter Lerngegenstände (Krijtenburg-Lewerissa et al., 2017) oder deren Möglichkeit zur interaktiven Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Untersuchungsfragen und -methoden werden als lernförderlich angesehen (z. B. D'Angelo et al., 2014; Stieff, 2019; Develaki, 2019). Derartige dynamische und interaktive Werkzeuge erleichtern – bei entsprechender Gestaltung – das Verständnis von Zusammenhängen und kausalen Effekten (z. B. Richtberg, 2018). Die vorliegende Forschungsarbeit verbindet dabei Simulationstools und digitale Medien mit dem Forschungsdesiderat der Unterstützung von Lernprozessen und dem Konzeptverständnis der ¹H-NMR (= nuclear magnetic resonance) Spektroskopie. Diese Methode leistet nicht nur zur Strukturanalyse oder Reaktionskontrolle einen signifikanten Beitrag zur chemischen Forschung, sondern wird von Studierenden der Chemie beinahe täglich genutzt. Dennoch bereitet das Verständnis (speziell der chemisch-physikalischen Hintergründe und deren Auswirkungen) sowie die Spektreninterpretation einigen Studierenden große Schwierigkeiten (Connor, 2021). Daher liegt auch die Vermutung nahe, dass Lehrende Unterstützung bei der Vermittlung dieser inhaltlich anspruchsvollen Konzepte willkommen heißen würden.

Forschungsziel und Methode: Die SpinDrops-Lernumgebung

Um diesem Wunsch nachzugehen, wurde eine digitale, interaktive Lernumgebung zur ¹H-NMR Spektroskopie konzipiert, in der existierenden Software *SpinDrops* (Glaser et al., 2018) umgesetzt und empirisch validiert. Die „*SpinDrops-Lernumgebung*“ (kurz *SDLU*) beinhaltet dabei interaktive und dynamische Simulationen und neuartige, selbst entwickelte Visualisierungen (vgl. Abbildung 1). Wie für digitale Lernumgebungen bzw. Lernprogramme typisch, nutzt auch die *SDLU* die Möglichkeiten zur adaptiven Lernunterstützung durch individuell nutzbare Hinweise, Feedback und sukzessiv komplexer und offener werdende Aufgaben und Erklärtexte (Tiemann & Annaggar, 2020) und ist damit ein potenziell sehr lernförderliches Tool für Lernende mit unterschiedlichem Vorwissen oder kognitiven Fähigkeiten bzw. Ansprüchen. Inhaltlich fokussiert die *SDLU* auf den praxisnahen Grundlagen zur Auswertung von ¹H-NMR Spektren aus theoretischer Perspektive. Diese Fokussierung wird durch die Ergebnisse einer deutschlandweiten Umfrage mit Dozierenden legitimiert. Namentlich handelt es sich dabei hauptsächlich um die Konzepte der chemischen Verschiebung und der Spin-Spin Kopplung mit deren jeweiligen Wirkungen auf die Signale im finalen ¹H-NMR Spektrum. In einem Pre-Post-Design wurde die *SpinDrops-Lernumgebung* empirisch untersucht. Dabei wurden zwei unterschiedlich interaktive bzw. dynamische Versionen der Software (bei gleichem Informationsgehalt) eingesetzt. Insgesamt $N = 50$ Studierende bearbeiteten dabei Pre-Post-Fragebögen mit validierten Items zu Motivation, Interesse und Selbsteinschätzung sowie einem selbst entwickelten und validierten ¹H-NMR Fachwissenstest. $N = 12$ Studierende bearbeiteten die *SDLU* dabei laut denkend und

mit videografiertem Bildschirm. In $N = 42$ Fällen konnten zudem automatisierte log-files gespeichert werden, die u.a. die Bearbeitungsreihenfolge und Zeiten innerhalb der SDLU qualitativ dokumentieren.

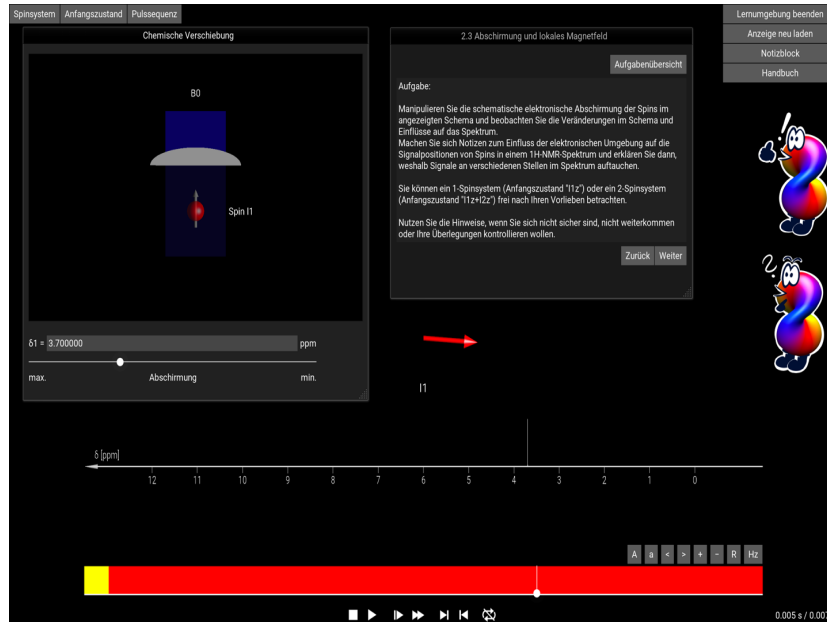


Abb. 1. Screenshot aus der SpinDrops-Lernumgebung mit interaktiver Visualisierung zum lokalen Magnetfeld und der chemischen Verschiebung (links), einem realistischen ppm-Spektrum (unten) und der Hinweis- und Feedback-Möglichkeit durch die Maskottchen (rechts).

Ergebnisse

Auf quantitativer Ebene zeigen die Fragebögen und Fachwissenstestergebnisse keine signifikanten Versionsunterschiede und zeigen, dass die eingesetzten Interaktivitätsunterschiede keinen signifikanten Einfluss auf den Lernerfolg und die Motivation von Studierende haben. Versionsübergreifend zeigen sich jedoch signifikante Lernzuwächse und positive Entwicklungen hinsichtlich Interesses, Selbstwirksamkeit und fachlicher Selbsteinschätzung durch die Arbeit und das Lernen mit der SDLU.

Auf dieser Grundlage geben die qualitativen Prozessdaten (durch das Laute Denken) weitere Hinweise auf Lernprozesse und -resultate mit der SDLU, weshalb die Auswertung dieser Daten mit ersten Ergebnissen im Folgenden fokussiert wird. Dabei wurde zur Analyse der $N = 12$ transkribierten Laut-Denken Protokolle die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) angewendet. Bei der Kodierung konnte eine Intercooder-Reliabilität von $\kappa = .90$ erreicht werden, was einem sehr guten Ergebnis entspricht (Altman, 1991). Das Kodiermanual und seine Kategorien wurden induktiv entwickelt und auf Grundlage der Pilotierung der ersten Version der Lernumgebung deduktiv an das vorliegende Datenmaterial angepasst. Die Kodierung erfolgt nach dem Flussdiagramm-Schema in Abbildung 2, wonach zunächst auf kognitive Prozesse und Lernerfolge geachtet wird. Diese werden orientiert am ESNaS-Projekt (Kauertz et al., 2010) in die kumulativ aufeinander aufbauenden Kategorien Reproduzieren (Identifizieren von Information), Selegieren (Auswählen von Information), Organisieren (Strukturieren von Information) und Integrieren (Einbinden von Information in der

Wissensbasis) eingeordnet und dann mit Blick auf fachliche Richtigkeit (Verständnis /Unverständnis) und die Komplexität (Tiefe) hin weiter einsortiert. Darauffolgend werden typische Strategien/Heuristiken und die interaktive Nutzung der Software-Features und Simulationstools (untergliedert in passend/unpassend bzw. erfolgreich/erfolglos) sowie Bearbeitungsprobleme/-unsicherheiten erfasst.



Abb. 2. Flussdiagramm zur Kodierung der Laut-Denken-Transkripte in die Oberkategorien.

Aus der Kodierung wurde u.a. ersichtlich, dass Lernende die SDLU als sehr nutzerfreundlich einschätzen und wenige Verständnisschwierigkeiten auftreten. Studierende zeigen 435-mal positive Denkprozesse und Konzeptverständnis auf verschieden komplexem Niveau: In 27% dieser Fälle auf dem Reproduzieren-Niveau, 40% Selegieren, 18% Organisieren und 1% Integrieren. Codes, die beispielsweise die interaktive Nutzung von SpinDrops (z. B. der interaktiven Visualisierungen oder des ppm-Spektrums) beschreiben, zeigen in 19,8% aller Korrelationen mit anderen Codes direkte Bezüge zu (korrekten) kognitiven Prozessen bzw. Konzeptverständnis. In einigen Fällen findet sich zudem eine Sequenz aus einer Fehlvorstellung bzw. eines Bearbeitungsproblems, was nach der interaktiven SpinDrops-Nutzung ebenfalls zum korrekten Konzeptverständnis führt. Die Arbeit mit der SDLU führt daher mehr oder weniger direkt zu einem Lernerfolg und kann in manchen Fällen sogar Fehlvorstellungen korrigieren.

Diskussion und Ausblick

Dass keine signifikanten Einflüsse durch Interaktivität und Dynamik in der SDLU gefunden werden konnten, könnte an der moderaten Teilnehmerzahl oder zu geringen Versionsunterschieden liegen. Aus der Theorie ist zudem bekannt, dass viele weitere Features der SDLU (positive) Effekte auf das Lernen haben können und die Einflüsse der Interaktivität überschatten könnten, welche speziell bei bereits intrinsisch belastenden, komplexen Inhalten (Cognitive Load Theory, z. B. Sweller et al., 1998, 2019) geringer ausfallen mögen.

Bei der qualitativen Inhaltsanalyse handelt es sich um ein hoch-inferentes Verfahren mit der Schwerpunktsetzung wie beschrieben, die nicht frei von Interpretationseinflüssen sind und beispielsweise noch mit den quantitativen Daten und den log-files trianguliert werden können. Das Kodiermanual und der Fachwissenstest wurden darüber hinaus selbst entwickelt und validiert. Zukünftig wird die SDLU auch ins Englische übersetzt und dann möglichst unter allen deutschen Dozierenden der ¹H-NMR Spektroskopie und deren Studierenden verbreitet werden, um das empirisch als lernwirksam und motivierend bestätigte Tool zum Lernen der Grundlagen der ¹H-NMR Spektroskopie nutzbar zu machen. Zudem soll die SDLU weiter empirisch untersucht und auf Basis der Ergebnisse weiterentwickelt werden.

Literatur

- Altman, D. G. (1991). *Practical Statistics for Medical Research (Chapman & Hall / CRC Texts in Statistical Science)*. Taylor & Francis Ltd.
- Connor, M. C. (2021). *Teaching and learning ¹H nuclear magnetic resonance spectroscopy*. Ph.D. Dissertation, University of Michigan, Ann Arbor, MI, 2010. https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/167938/mcarole_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y (accessed Sep 2022)
- D'Angelo, C., Rutstein, D., Harris, C., Bernard, R., Borokhovski, E. & Haertel, G. (2014). *Simulations for STEM Learning: Systematic Review and Meta-Analysis (Executive Summary)*. Menlo Park, CA: SRI International. <https://www.sri.com/wp-content/uploads/2021/12/simulations-for-stem-learning-executive-summary.pdf> (accessed Jan 2023)
- Develaki, M. (2019). Methodology and epistemology of computer simulations and implications for science education. *Journal of Science Education and Technology*, 28. doi: 10.1007/s10956-019-09772-0
- Glaser, S., Tesch, M. & Glaser, N. (2018). *SpinDrops*. Accessed 12.04.2021 on <https://spindrops.org>
- Kauertz, A., Fischer, H., Mayer, J., Sumfleth, E., & Walpuski, M. (2010). Standardbezogene Kompetenzmodellierung in den Naturwissenschaften der Sekundarstufe I. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*. 16. 135-153.
- Krijtenburg-Lewerissa, K., Pol, H., Brinkman, A. & van Joolingen, W. (2017). Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education. *Physical Review Physics Education Research*, 13 (1). doi:10.1103/physrevphyseduces.13.010109
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (12. Aufl.). Weinheim; Basel: Beltz.
- Richtberg, S. (2018). *Elektronenbahnen in Feldern: Konzeption und Evaluation einer webbasierten Lernumgebung* (Dissertation). Fakultät für Physik der Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Stieff, M. (2019). Improving Learning Outcomes in Secondary Chemistry with Visualization-Supported Inquiry Activities. *Journal of Chemical Education*, 96 (7), 1300–1307. Zugriff auf <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00205> doi: 10.1021/acs.jchemed.9b00205
- Sweller, J., van Merriënboer, J.J.G. & Paas, F.G.W.C. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review* 10, 251–296. <https://doi.org/10.1023/A:1022193728205>
- Sweller, J., van Merriënboer, J.J.G. & Paas, F. (2019). Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. *Educational Psychology Review* 31, 261–292. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>
- Tiemann, R. & Annaggar, A. (2020). A framework for the theory-driven design of digital learning environments (FDDLEs) using the example of problem-solving in chemistry education. *Interactive Learning Environments*, 0 (0), 1-14. Zugriff auf <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1826981>