

David Johannes Hauck<sup>1</sup>  
Andreas Steffen<sup>1</sup>  
Insa Melle<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität Dortmund

## **MO-Theorie im ersten Semester – eine digital-kollaborative Lerneinheit**

### **Einleitung**

Sowohl in Deutschland wie auch international berichten Studien von hohen Abbruchquoten in MINT-Studiengängen, insbesondere in den Fachrichtungen Mathematik, Physik und Chemie (Heublein et al., 2022; OECD, 2020). Hierbei werden hohe fachliche Anforderungen sowie, damit einhergehend, unerfüllte Erwartungen an das Studium und die Studieninhalte als zwei ausschlaggebende Abbruchmotive hervorgehoben (Eurostat, 2018; Heublein et al., 2022). Speziell auf das Chemiestudium bezogen sehen sich Studierende bereits in den ersten Semestern mit hohen inhaltlichen Hürden konfrontiert, etwa mit quantenphysikalischen Theorien der chemischen Bindung wie der Valenzbindungs- oder der Molekülorbital(MO)-Theorie, die durch ihren hohen Grad an Mathematisierung und Abstraktion besonders schwierig zu durchdringen sind (Bouayad et al., 2014; Partanen, 2018; Taber, 2005). Hervorgehend aus diesem akuten Unterstützungsbedarf wird in diesem Projekt eine mehrwöchige Intervention entwickelt, um Chemiestudierende bei der Auseinandersetzung mit der MO-Theorie zu unterstützen. Zur Bewältigung komplexer inhaltlicher Herausforderungen haben sich kollaborativ-konstruktivistische Ansätze als besonders lernwirksam erwiesen (Kyndt et al., 2013), gerade wenn diese durch gezielten Einsatz digitaler Medien gestützt werden (Sung et al., 2017). Deswegen wurde die Intervention auf Grundlage des Computer-Supported Collaborative Learning (Zurita & Nussbaum, 2004) Frameworks entwickelt. Dieser digitale Ansatz ermöglicht eine Durchführung der Untersuchung auch in Distanz bzw. sogar komplett virtuell.

### **Forschungsinteresse und -fragen**

Neben einigen Studien aus Skandinavien (Bungum et al., 2018; Partanen, 2018) existieren bisher wenige Ansätze, quantenphysikalische beziehungsweise -chemische Lernprozesse explizit aus digital-kollaborativer Perspektive zu untersuchen. Dementsprechend liegt ein Forschungsschwerpunkt auf der (Lern-)Wirksamkeit der Intervention vor dem Hintergrund der Herausforderungen im Studieneingangsbereich. Weiterhin existieren auch nach knapp 50 Jahren Kollaborationsforschung noch Forschungslücken im Bereich digital-gestützter Kollaborationsprozesse (Sung et al., 2017). So wurde die Frage aufgeworfen, inwiefern sich Einzel- und Gruppenarbeitsphasen bei der Gestaltung entsprechender Arbeitsprozesse wechselseitig beeinflussen können (Olsen et al., 2019). Daraus ergeben sich vier Forschungsfragen F1 bis F4:

- F1: Wie schätzen die Studierenden die Lerneinheit ein?
- F2: Welchen Einfluss nehmen Gender, Abiturnote und Kurswahl in der Oberstufe auf das Vorwissen der Studierenden?
- F3: Inwieweit beeinflusst die digital-kollaborative Lerneinheit das Fachwissen der Studierenden (a) über die Dauer der Intervention hinweg und (b) abhängig davon, wie die Lernmaterialien gestaltet sind?
- F4: In welchem Bereich zeigen die Studierenden inhaltsspezifische Fehlvorstellungen hinsichtlich der (a) Quantenchemie im Allgemeinen und (b) der MO-Theorie im Speziellen?

### Untersuchungsdesign und Testinstrumente

Um die Forschungsfragen sowohl auf Produkt- als auch auf Prozessebene zu beantworten, wurde für das Design ein Mixed-Methods Ansatz (Schreier & Odağ, 2018) gewählt.

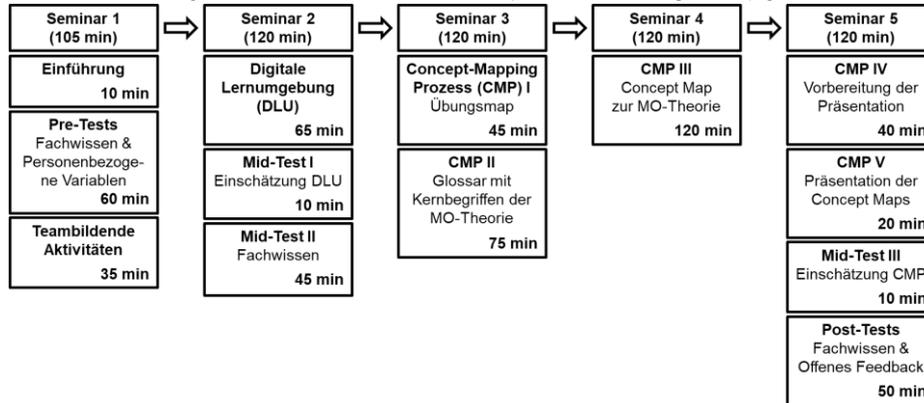


Abb. 1. Untersuchungsdesign

Der Ablauf der Intervention ist in Abbildung 1 dargestellt. Da hierbei Grundlagenwissen vertieft und geübt wurde, wurden die fünf Seminareinheiten im Anschluss an die Einführung der MO-Theorie in der zugehörigen Lehrveranstaltung im ersten Semester durchgeführt. Nach kurzem Teambuilding in Kleingruppen bearbeiten die Studierenden in Einzelarbeit (Phase 1) eine digitale Lernumgebung (DLU) in Form von Lernvideos mit interaktiven H5P-Elementen. Im Anschluss erstellen die Studierenden in Phase 2 (im Folgenden CMP) Concept Maps zur MO-Theorie. Dabei werden sie in drei über das Pre-Fachwissen parallelisierte Interventionsgruppen G1 bis G3 aufgeteilt:

- Alle Studierenden in G1 ( $n_1 = 39$ ) arbeiten mit identischen interaktiven Lernvideos. Concept Maps erstellen sie in Kleingruppen mit je 3 bis 5 Mitgliedern.
- Alle Studierenden in G2 ( $n_2 = 38$ ) arbeiten ebenfalls mit identischen interaktiven Lernvideos. Concept Maps erstellen sie jedoch in Einzelarbeit.
- Auch Studierende in G3 ( $n_3 = 38$ ) erstellen ihre Concept Maps ebenfalls in Kleingruppen. Jedoch arbeiten sie mit unterschiedlichen Materialien in der DLU-Phase. Die Hälfte jeder Kleingruppe bearbeitet Videos zu quantenchemischen Grundlagen der MO-Theorie; die andere Hälfte arbeitet mit Videos zum Erstellen und Interpretieren von MO-Diagrammen.

Zur Evaluation der Einheit wurde ein Fachwissenstest entwickelt, der 29 geschlossene Single-Choice ( $\alpha_{FW,geschl.} = .888$ ) und 8 offene ( $\alpha_{FW,offen} = .621$ ) Items enthält. Letztere wurden mit Hilfe eines niedrig inferenten Kodiermanuals ( $ICC_{unjust} = .828$ ) ausgewertet. Zur Evaluation der Materialien und Phasen wurden Fragebögen zur Attraktivität (AT, 10 Items, Likert-Skala von 1 (nicht attraktiv) bis 6 (attraktiv), adaptiert nach Kieserling & Melle, 2019,  $\alpha_{AT} = .872$ ), zum Cognitive Load (CL, 13 Items, Likert-Skala von 1 (niedriger CL) bis 6 (hoher CL), adaptiert nach Leppink et al., 2013,  $\alpha_{CL} = .916$ ) und zur Usability (US, 10 Items, Likert-Skala von 1 (niedrige US) bis 5 (hohe US), adaptiert nach Brooke, 1995,  $\alpha_{USDLU} = .883$ ) für drei Teilphasen eingesetzt: die DLU, die Erstellung von Glossaren in Moodle (CMP II in Abb. 1) sowie die Erstellung von Concept Maps in CmapTools (CMP III in Abb. 1). Weiterhin werden die Concept Maps der Studierenden manualgestützt ausgewertet (Baldauff, 2021). Studierenden(wohl)vorstellungen werden anhand der offenen Fragen im Fachwissenstest, der Concept

Maps sowie der Bildschirm- und Audioaufnahmen untersucht (Maas, 2022). Ein hochinferentes Manual zur Auswertung der Bildschirm- und Audioaufnahmen befindet sich aktuell in Entwicklung.

### Ausgewählte Ergebnisse

Die Intervention wurde Anfang 2021 ( $N_1 = 124$ , vgl. Hauck et al., 2021) und Anfang 2022 ( $N_2 = 115$ ) mit Studierenden der Fächer Chemie, Chemische Biologie und des Lehramts Chemie (Gymnasien, Gesamtschulen, Berufskollegs) an der TU Dortmund im Rahmen der Vorlesung ‚Allgemeine und Anorganische Chemie‘ im ersten Semester durchgeführt. Im Folgenden werden Ergebnisse aus der zweiten Durchführung zu Forschungsfrage F1 vorgestellt.

Tab. 1. Einschätzung der Studierenden zur digitalen Lernumgebung (DLU), zur Erstellung eines Glossars in Moodle (CMP II in Abb. 1) und der Erstellung einer Concept Map in CmapTools (CMP III in Abb. 1)

Phase	Attraktivität		Usability	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
DLU	4.92	.71	4.36	.63
CMP II	4.49	.83	4.18	.64
CMP III	4.54	.92	3.83	.70

In Tabelle 1 sind die Daten der Einschätzung der Intervention durch die teilnehmenden Studierenden zusammengefasst. Sowohl die interaktiven Lernvideos (DLU) als auch die Erstellung der Glossare (CMP II) und der Concept Maps (CMP III) wurden als attraktiv mit hoher Usability eingeschätzt. Auch der Cognitive Load bei der Bearbeitung der interaktiven Lernvideos wurde als niedrig eingestuft ( $M_{CLLU} = 1.83$ ,  $SD_{CLLU} = 0.74$ ). Im Vergleich der Arbeitsphasen wurde die DLU von den Studierenden mit signifikant großem Effekt attraktiver bewertet als das Erstellen der Glossare und Concept Maps (Welch-ANOVA,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .052$ , 95%-CI [.014, .101]). Bezüglich der Usability wurde das Erstellen der Concept Maps in der für die Studierenden neuen und ungewohnten Software CmapTools signifikant schlechter bewertet als die anderen beiden Phasen (ANOVA,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .100$ , 95%-CI [.045, .160]).

### Fazit und Ausblick

Die Intervention wurde von den Studierenden gut angenommen, insbesondere das den Studierenden vertraute und geführte Format der (interaktiven) Lernvideos (Hart, 2022). Die Software CmapTools hingegen ist für die Studierenden ungewohnt und erfordert Einarbeitung. Hinzu kommt, dass das Erstellen von Concept Maps auch methodisch sehr herausfordernd ist (Sumfleth et al., 2010), was die niedrigere Einschätzung der Usability erklärt. Dennoch bildet die Seminarstruktur zur Vermittlung komplexer Lerninhalte im Bereich der MO-Theorie eine gute Grundlage für den späteren Praxistransfer in den regulären universitären Lehr-Lern-Betrieb.

### Förderhinweis

Das diesem Beitrag zugrundeliegende Vorhaben wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01JA2001 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin und den Autoren.

### Literatur

- Baldauff, T. (2021). Molekülorbitaltheorie im Chemieanfangsstudium - Entwicklung eines Bewertungssystems für Concept Maps [unveröffentlichte Bachelorarbeit].
- Bouayad, A., Kaddari, F., Lachkar, M. & Elachqar, A. (2014). Quantum Model of Chemical Bonding: Barriers and Learning Difficulties. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 116, 4612–4616. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.994>
- Brooke, J. (1995). SUS: A quick and dirty usability scale. *Usability Eval. Ind.*, 189.
- Bungum, B., Bøe, M. V. & Henriksen, E. K. (2018). Quantum talk: How small-group discussions may enhance students' understanding in quantum physics. *Science Education*, 102(4), 856–877. <https://doi.org/10.1002/sce.21447>
- Eurostat (2018). Work beats study for 25% of university drop-outs. <https://ec.europa.eu/eurostat/de/web/products-eurostat-news/-/DDN-20180404-1>
- Hart, J. (2022). Top Tools for Learning 2022: Results of the 16th Annual Survey. Centre for Learning & Performance Technologies. <https://www.toptools4learning.com/>
- Hauck, D. J., Melle, I. & Steffen, A. (2021). Molecular Orbital Theory—Teaching a Difficult Chemistry Topic Using a CSDL Approach in a First-Year University Course. *Education Sciences*, 11(9), 485. <https://doi.org/10.3390/educsci11090485>
- Heublein, U., Hutzsch, C. & Schmelzer, R. (2022). Die Entwicklung der Studienabbruchquoten in Deutschland. [https://doi.org/10.34878/2022.05.DZHW\\_BRIEF](https://doi.org/10.34878/2022.05.DZHW_BRIEF)
- Kieserling, M. & Melle, I. (2019). An experimental digital learning environment with universal accessibility. *Chemistry Teacher International*, 1(2). <https://doi.org/10.1515/cti-2018-0024>
- Kyndt, E., Raes, E., Lismont, B., Timmers, F., Cascallar, E. & Dochy, F. (2013). A meta-analysis of the effects of face-to-face cooperative learning. Do recent studies falsify or verify earlier findings? *Educational Research Review*, 10, 133–149. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2013.02.002>
- 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. *Behavior Research Methods*, 45(4), 1058–1072. <https://doi.org/10.3758/s13428-013-0334-1>
- Maas, A. (2022). Chemische Bindung im Anfangsstudium Chemie - Studierendenvorstellungen zur MO-Theorie [unveröffentlichte Bachelorarbeit].
- OECD. (2020). Education at a Glance 2020: OECD Indicators. OECD. <https://doi.org/10.1787/69096873-en>
- Olsen, J. K., Rummel, N. & Aleven, V. (2019). It is not either or: An initial investigation into combining collaborative and individual learning using an ITS. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 14(3), 353–381. <https://doi.org/10.1007/s11412-019-09307-0>
- Partanen, L. (2018). Student-centred active learning approaches to teaching quantum chemistry and spectroscopy: quantitative results from a two-year action research study. *Chemistry Education Research and Practice*, 19(3), 885–904. <https://doi.org/10.1039/C8RP00074C>
- Schreier, M. & Odağ, Ö. (2018). Mixed Methods. In G. Mey & K. Mruck (Hrsg.), Springer eBook Collection. *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie* (S. 1–26). Berlin: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-18387-5\\_22-2](https://doi.org/10.1007/978-3-658-18387-5_22-2)
- Sumfleth, E., Neuroth, J. & Leutner, D. (2010). Concept Mapping - eine Lernstrategie muss man lernen. *Concept Mapping - Learning Strategy is Something You Must Learn. CHEMKON*, 17(2), 66–70. <https://doi.org/10.1002/ckon.201010114>
- Sung, Y.-T., Yang, J.-M. & Lee, H.-Y. (2017). The Effects of Mobile-Computer-Supported Collaborative Learning: Meta-Analysis and Critical Synthesis. *Review of educational research*, 87(4), 768–805. <https://doi.org/10.3102/0034654317704307>
- Taber, K. S. (2005). Learning quanta: Barriers to stimulating transitions in student understanding of orbital ideas. *Science Education*, 89(1), 94–116. <https://doi.org/10.1002/sce.20038>
- Zurita, G. & Nussbaum, M. (2004). Computer supported collaborative learning using wirelessly interconnected handheld computers. *Computers & Education*, 42(3), 289–314. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2003.08.005>