

Titrieren digital oder analog – Lässt sich das experimentell-praktische Verständnis von Studierenden gleichermaßen fördern?

Lukas Groos,^[a] David Kranz,^[a] Leonie Sabine Lieber,^[a] Kai Maaß^[b] und Nicole Graulich^{*[a]}

Zusammenfassung: Aktuelle Studien zeigen, dass es möglich ist, auch mit digitalen Experimenten das Fachwissen von Lernenden gleichermaßen zu fördern. Selten wird hierbei das experimentell-praktische Verständnis untersucht, wie beispielsweise das Wissen über konkrete Handlungsabläufe, relevante Sicherheitsaspekte und entscheidende Beobachtungen beim Experimentieren. Wie beim Experimentieren im normalen Labor müssen Lernende auch in digitalen und interaktiven Lernumgebungen experimentell-praktische Entscheidungen über experimentelle Schritte treffen. In dieser Studie soll daher der Einfluss auf das experimentell-praktische Verständnis und die Selbsteinschätzung der Studierenden beim Durchführen einer analogen oder einer digitalen Titration (d.h. in Form eines interaktiven, realitätsnahen und lernendenzentrierten Videoexperiments) verglichen werden. Dazu wurde eine Studie im Prä-Post-Interventionsdesign mit 490 Studierenden in der Veranstaltung „Chemisches Praktikum für Studiengänge mit Nebenfach Chemie“ durchgeführt.

Stichworte: digitales Lernen · digitales Laborpraktikum · quantitative Interventionsstudie

Titration digital or analog – Is students' experimental-practical understanding be supported equally?

Abstract: Many studies have shown that it is possible to use digital experiments to promote learners' content knowledge. Rarely, however, the experimental-practical understanding, such as knowledge about concrete experimental steps, relevant safety issues or decisive observations of an experiment, was investigated. When experimenting digitally, students have to make decisions about the next experimental step, akin to experimenting in the normal laboratory. In this study, the influence on student experimental-practical understanding and the self-assessment of the students is examined in a comparison between an analog and a digital titration (i.e. implemented as an interactive, realistic and learner-centered video experiment). The pre-post intervention study was conducted in the laboratory of a chemistry minors course with 490 students.

Keywords: digital learning · digital laboratories · quantitative intervention study

1. Einleitung

Die Corona-Pandemie hat es notwendig gemacht, dass die Universitäten innerhalb kürzester Zeit Laborpraktika umstellen mussten. Gesamte Laborpraktika oder Teile davon wurden in den digitalen Raum verlegt, beispielsweise mithilfe von Videoexperimenten, Simulationen oder Virtual-Reality-Anwendungen [1–3]. Den Studierenden konnte damit das Beobachten und Durchführen von Experimenten digital ermöglicht werden. Durch die Fülle an digitalem Lernmaterial können auch zukünftig digitale Experimentiersituationen in der Lehre beibehalten werden. Digitales Experimentieren in

unterschiedlichen Formen wird damit zu einer sinnvollen Ergänzung der bisherigen Laborpraxis. Mit der steigenden Zahl an digitalen Experimentierumgebungen [4] stellt sich jedoch auch die Frage nach der Vergleichbarkeit von digitalen und realen Experimenten in Bezug auf die Förderung der angestrebten Kompetenzen. Ein Review von Brinson verdeutlicht, dass Studien, die Experimentieren im realen oder digitalen Raum vergleichen, in 89 % der Fälle aufzeigen, dass das *digitale* Lernszenario einen vergleichbaren oder höheren Lernerfolg aufweist wie ein traditionelles Labor [5]. In den meisten Fällen wird jedoch nur das Fachwissen über die chemischen Hintergründe des Experiments erhoben. Lediglich knapp 16 % der aufgeführten Studien untersuchen eine Förderung der experimentell-praktischen „Fertigkeiten“, d.h. das praktische Durchführen eines Experiments. Erst in neueren Studien wird das *experimentell-praktische Verständnis*, das theoretische Wissen über die konkreten Handlungsabläufe beim Experimentieren, in den Blick genommen, wie z.B. das theoretische Verständnis über das „händische“ und schrittweise Durchführen eines Experiments [1, 6]. Dies lässt sich von experimentell-praktischen Fertigkeiten und dem Fachwissen abgrenzen. Da digitale Lernumgebungen häufig dem Lernenden ermöglichen, die nächsten experimentellen Schritte im Experimentverlauf auszuwählen, lassen sich digitale und interaktive mit analogen Experimentiersituationen vergleichen. Facetten des experimentell-praktischen Verständnisses lassen sich sowohl im realen als auch im digitalen Experimentierraum fördern (Abb. 1). In digitalen wie analogen Experimentiersituationen

[a] L. Groos, D. Kranz, L. S. Lieber, Prof. Dr. N. Graulich
Justus-Liebig-Universität Gießen
Heinrich-Buff-Ring 17
35392 Gießen
* E-Mail: Nicole.Graulich@didaktik.chemie.uni-giessen.de

[b] Dr. K. Maaß
Justus-Liebig-Universität Gießen
Heinrich-Buff-Ring 19
35392 Gießen

© 2022 The Authors. CHEMKON published by Wiley-VCH GmbH. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial NoDerivs License, which permits use and distribution in any medium, provided the original work is properly cited, the use is non-commercial and no modifications or adaptations are made.

muss der Lernende einzelne Handlungsschritte durchführen, Entscheidungen treffen, Beobachtungen machen und einordnen, Fehlerquellen überprüfen sowie Lösungsmöglichkeiten abschätzen. Da im digitalen Raum das praktische Handeln nicht möglich ist, lässt sich im Vergleich mit dem analogen Labor nur das experimentell-praktische Verständnis, das zugrunde liegende Verständnis über Handlungsabläufe, in den einzelnen Facetten vergleichen. Für die digitale Titration wurde in der Umsetzung auf die 5 Facetten in Abb. 1 fokussiert.

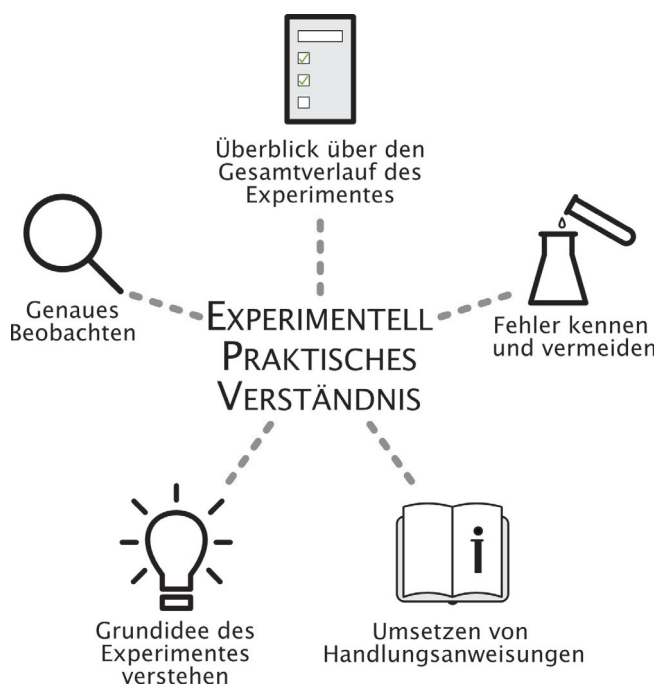


Abb. 1: Facetten des experimentell-praktischen Verständnisses, umgesetzt für die digitale Titration.

Da der digitale Raum den Studierenden erlaubt, ohne physische Konsequenz Fehler zu machen und missglückte Schritte mehrfach zu wiederholen, hat dieses Szenario einen positiven Einfluss auf die Selbsteinschätzung der Lernenden [1,7]. Im Vergleich zum analogen Experiment wird der Lernzuwachs im digitalen Raum von den Studierenden als gleichwertig oder höher bewertet [8].

An der Justus-Liebig-Universität wurden seit 2018 interaktive Videoexperimente entwickelt, um auch in einer digitalen Experimentierumgebung das experimentell-praktische Verständnis der Studierenden gezielt fördern zu können [9]. Innerhalb dieser digitalen Lernumgebung ist es möglich, Experimente mit einem hohen Grad an Realitätsnähe und Interaktivität durchzuführen. Zudem sind die digitalen Experimente durch eine vorherige Studie auf die Lerngruppe und deren typische Handlungen angepasst und bilden die Entscheidungen einer vergleichbaren Studiengruppe beim Experimentieren im Labor ab [4]. Entscheidungen, die die Lernenden in der digitalen Lernumgebung treffen können, sind realen Handlungen im analogen Labor nachempfunden. Beim Durchlaufen des interaktiven Videoexperiments werden die Lernenden aufgefordert, Entscheidungen über den weiteren Fortlauf des Experiments zu treffen. Sollte bei diesen Entscheidungen der korrekte Ausgang des Experiments gefährdet sein, weist ein virtueller Tutor auf die Fehler hin und die Studierenden haben die Möglichkeit, ihre Entscheidung zu ändern. Um einen hohen Grad an Realitätsnähe zu ermöglichen, wurden alle möglichen Wege durch das Experiment in Realvideosequenzen aufgezeichnet. Je nach Entscheidung des Lernenden startet die zu-

gehörige Videosequenz, die die möglichen Auswirkungen der getroffenen Entscheidung aufzeigt. Am Ende der Videosequenz können die Lernenden dann die nächste Entscheidung treffen. Für die hier vorliegende Studie wurde ein interaktives Videoexperiment für die Permanganometrie entwickelt (online verfügbar unter <https://uni-giessen.de/ivex>) [10].



Lukas Groos studierte Chemie und Biologie für das Lehramt an Gymnasien und arbeitet seit Ende 2018 am Institut für Didaktik der Chemie der Justus-Liebig-Universität Gießen an seiner Dissertation zum Thema Digitalisierung in der Hochschulfachdidaktik und interaktive Videoexperimente. Er ist Mitglied der AG Digitalisierung der Fachgruppe Chemieunterricht der GDCh.



David Kranz studierte Chemie und Biologie für das Lehramt an Gymnasien. Seit Anfang 2019 arbeitet er am Institut für Didaktik der Chemie an der Justus-Liebig-Universität Gießen an seiner Dissertation zum Thema Mechanistisches Denken in der Organischen Chemie in der Hochschulfachdidaktik.



Leonie Sabine Lieber studierte Chemie und Biologie für das Lehramt an Gymnasien und arbeitet seit Anfang 2019 am Institut für Didaktik der Chemie an der Justus-Liebig-Universität Gießen an ihrer Dissertation zum Thema Alternatives Denken beim Argumentieren in der Organischen Chemie in der Hochschulfachdidaktik.



Kai Maaß hat Chemie auf Diplom an der Justus-Liebig-Universität Gießen studiert. Nach zwei Post-Doc-Anstellungen zu bildgebender Massenspektrometrie bzw. zur Massenspektrometrie von Kohlenhydraten hat er ab 2010 einen Masterstudiengang „Bioinformatik und Systembiologie“ aufgebaut und ist seit 2014 als Studienrat im Hochschuldienst am Institut für Organische Chemie der Justus-Liebig-Universität Gießen für die Ausbildung von Studierenden mit Nebenfach Chemie zuständig.



Nicole Graulich studierte Chemie und Französisch für das Gymnasiallehramt und legte 2012 das Zweite Staatsexamen am Studienseminar Gießen ab. Nach einem Post-Doc-Aufenthalt in Clemson, South Carolina ist sie seit Oktober 2014 geschäftsführende Direktorin des Instituts für Didaktik der Chemie an der Justus-Liebig-Universität Gießen. Sie ist Mitglied der AG Digitalisierung der Fachgruppe Chemieunterricht der GDCh.

2. Forschungsfragen

Um den Einfluss einer digitalen Experimentierumgebung im Vergleich zu einer analogen Experimentiersituation auf das experimentell-praktische Verständnis und die Selbsteinschätzung der Studierenden zu untersuchen, haben wir im Rahmen dieser Studie die permanganometrische Titration als interaktives Videoexperiment umgesetzt und beide Lernumgebungen bezüglich folgender Forschungsfragen untersucht:

1. Lässt sich das experimentell-praktische Verständnis von Studierenden mit interaktiven Videoexperimenten in vergleichbarer Weise fördern wie bei der Durchführung des Realexperiments?
2. Wie schätzen die Studierenden ihre Experimentierfähigkeit in Bezug auf die Labortechnik Titrieren nach der Durchführung der permanganometrischen Titration im interaktiven Videoexperiment im Vergleich zum Realexperiment ein?

3. Studiendesign

Für die Studie wurden Teilnehmende des Chemischen Praktikums für Studierende mit Nebenfach Chemie an der Justus-Liebig-Universität ausgewählt. Dieses Praktikum besuchen jedes Semester ca. 600 Studierende aus unterschiedlichen Studiengängen (u.a. Humanmedizin, Veterinärmedizin, Agrarwissenschaften oder Ökotrophologie), meist zu Beginn ihres Studiums. Das Praktikum läuft über zwölf vergleichbar strukturierte Wochen mit je 120 Minuten Laborzeit in der Woche. Die Studierenden bereiten den Praktikumstag zuhause mithilfe des Praktikumskripts und durch Teilnahme am vorbereitenden Seminar vor. Anschließend führen die Studierenden in Partnerarbeit die Experimente im Labor durch. Jeder der zwölf Praktikumstage behandelt ein anderes thematisches Feld, wie beispielsweise Redoxreaktionen, Säuren und Laugen oder Kohlenhydrate. Im Verlauf des Praktikums lernen die Studierenden unterschiedliche Labortechniken sowie Verfahrensweisen kennen und wenden diese in Experimenten an. Als eine wichtige Labortechnik wird die Titration mehrfach thematisiert: eine Redox-Titration an Labortag 3, eine komplexometrische Titration an Labortag 6 und eine Säure-Base-Titration an Labortag 9. Für die Titrations an Tag 3 und Tag 6 gilt, dass die bestimmte Menge des Analyten nur um maximal 5% von der Einwaage abweichen darf, um das gesamte Experiment nicht wiederholen zu müssen. Für die Studie wurde die *Permanganometrische Bestimmung von Eisen-II-Ionen* in einem interaktiven Videoexperiment umgesetzt. Dies ist die erste Titration im Verlauf des Praktikums und somit sind keine praktischen Vorkenntnisse für die Arbeitstechnik der Titration aus den bisherigen Praktikumstagen vorhanden. Näheres zur Entstehung und den spezifischen Merkmalen des interaktiven Videoexperiments wurde bereits publiziert [4].

Instrumente: Für die Erhebung der kognitiven Fähigkeiten wurde ein KFT-12-Test durchgeführt [11]. Für jede Aufgabe werden hierbei Punkte vergeben, die am Ende zusammenge-rechnet einen *Score* ergeben, der die kognitiven Fähigkeiten linear abbildet. Die individuellen Ergebnisse werden anschließend normiert. Dabei entspricht ein Wert von „1“ der vollen Punktzahl.

Zur Erhebung des experimentell-praktischen Verständnisses (EPV) wurde ein Fragebogen entwickelt, der die unterschiedlichen Aspekte des experimentell-praktischen Verständnisses abdeckt (Beispielfragen siehe Abb. 2).

Die Aufgaben wurden angelehnt an Bopegedera [6] sowie Hennah und Seery [12] und an den Kontext der permanganometrischen Titration angepasst. Der Fragebogen zur Erhebung

des experimentell-praktischen Verständnisses umfasst sowohl offene, Multiple- bzw. Single-Choice-Aufgaben sowie Aufgaben, in denen experimentelle Schritte in eine Reihenfolge gebracht werden sollen. Von insgesamt 22 Fragen wurden 13 Fragen für die Auswertung des experimentell-praktischen Verständnisses bewertet und anschließend normiert und die restlichen Fragen auf Grundlage der Antworthäufigkeiten aussortiert. Hierbei gibt der Endwert den erreichten Teil der möglichen Punkte an. Ein Wert von „1“ entspricht, wie auch beim KFT Test, dabei der vollen Punktzahl. Zu Beginn des Fragebogens wurde ein individueller Code von den Studierenden erstellt, der zur Zusammenführung der Testbausteine dient, jedoch keine Rückschlüsse auf die spezifische Person ermöglicht. Damit keine Unterschiede aufgrund des Mediums des Fragebogens existieren, wurden die Fragebögen sowohl in der *analogen* wie auch in der *digitalen* Gruppe als handschriftliche Tests durchgeführt. Die Selbsteinschätzung der Experimentierfähigkeit wurde mit einer 5-Punkt-Likert-Skala erhoben. Die Aussagen in der Skala bezogen sich dabei auf die einzelnen Schritte des Experiments, beispielsweise „Ich kann den Umschlagspunkt mittels Bürette bestimmen.“. Von insgesamt 16 Fragen wurden 8 Fragen für die Auswertung der Selbsteinschätzung der Experimentierfähigkeit bewertet. Bei einer Reliabilitätsanalyse konnte beim Pre-Fragebogen ein Cronbachs-Alpha von $\alpha = .71$ bestimmt werden, beim Post-Fragebogen ein Cronbachs-Alpha von $\alpha = .67$ und beim Follow-up-Fragebogen ein Cronbachs-Alpha von $\alpha = .70$. Außerdem ergab sich für den Fragebogen zur Selbsteinschätzung der Experimentierfähigkeit zum Posttest-Zeitpunkt ein Cronbachs-Alpha von $\alpha = .85$ und für den Follow-up-Fragebogen von $\alpha = .85$. Diese Ergebnisse deuten auf eine hinreichende Reliabilität der Fragebögen hin [13].

3.1 Datenerhebung und Analyse

Für alle erhobenen Daten wurde eine grafische Begutachtung auf Normalverteilung durchgeführt, die mit Shapiro-Wilk-Tests unterstützt wurde. Hierbei wurde deutlich, dass die Datensätze nicht normalverteilt sind, wodurch nicht-parametrische Messmethoden verwendet wurden. An der Studie haben 490 Studierende des Nebenfachpraktikums teilgenommen (337 weiblich, 149 männlich, 4 kein Geschlecht angegeben). Die Studierenden waren im Durchschnitt 21 Jahre alt, wobei sich die Altersspanne auf 17–32 Jahre belief. Das Nebenfachpraktikum Chemie durchlaufen Studierende unterschiedlicher Studiengänge. Die an der Erhebung beteiligten Studierenden studierten zu 26,5% Ökotrophologie, zu 25,5% Humanmedizin, zu 20,3% Biologie, zu 19,6% Umweltmanagement, zu 4,4% Zahnmedizin, zu 2,1% Lehramt Chemie, zu 0,8% Agrarwissenschaften, zu 0,6% Ernährungswissenschaften und zu 0,2% Veterinärmedizin. Knapp 22% der Studierenden haben außerdem im Vorfeld bereits erfolgreich eine Ausbildung absolviert. Der Ablauf der Studie ist in Abb. 3 zusammengefasst.

Die Kohorte wurde so aufgeteilt, dass eine Interventionsgruppe (Gruppe *Digital*) die Permanganometrie *digital* am PC und die andere Gruppe *analog* im Labor durchführte (Gruppe *Analog*). Die Verteilung auf die Interventionsgruppen erfolgte basierend auf dem erhobenen KFT, um sicher zu stellen, dass die Gruppen bezogen auf ihre kognitiven Fähigkeiten vergleichbar sind. Die beiden Gruppen unterschieden sich im KFT-Score nicht signifikant voneinander ($M_{\text{Analog}} = 0,600$; $M_{\text{Digital}} = 0,600$; $W(33328)$; $p = .934$). Für die Analyse wurden nur die Datensätze der Studierenden genutzt, die an allen drei Erhebungszeitpunkten teilgenommen haben. Hierdurch ergibt sich eine Reduktion der Teilnehmendenzahl von 490 auf 210 Studierenden in der Gruppe *Digital* und 245 Studierenden in der Gruppe *Analog*.

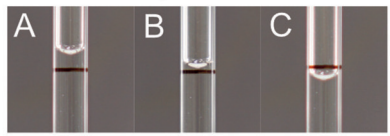
Kategorie des EPV	Beispielaufgabe mit Musterlösung	Anzahl der Items
 Fehler kennen und vermeiden	Welche dieser Pipetten ist korrekt befüllt?  ☐ A ☒ B ☐ C	5
 Überblick über den Gesamtverlauf des Experimentes	Bringen Sie die folgenden Schritte der Manganometrie in die richtige Reihenfolge. Starten Sie mit dem ersten Schritt links: A – Titration der Probe B – Ziehen der Probe aus dem Messkolben C – Auffüllen des Messkolbens D – Zugabe von Schwefelsäure ☒ C → ☒ B → ☒ D → ☒ A	4
 Genaueres Beobachten	Woran erkennen Sie, dass Sie die Titration beenden müssen? A – Sobald der erste farbige Tropfen in der Lösung sichtbar ist. B – Sobald sich der farbige Tropfen nach etwas Schwenken wieder entfärbt. C – Sobald sich der farbige Tropfen nicht mehr entfärbt. ☐ A ☐ B ☒ C	4
 Grundidee des Experimentes verstehen	Was ist zu Beginn einer Titration bekannt? (Alles Zutreffende ankreuzen) A – Konzentration der Lösung im Erlenmeyerkolben. B – Konzentration der Lösung in der Bürette. C – Konzentration der Lösung im Messkolben. D – Volumen der Lösung im Erlenmeyerkolben. E – Volumen der Lösung in der Bürette. F – Volumen der Lösung im Messkolben. ☐ A ☒ B ☐ C ☒ D ☒ E ☒ F	3
 Umsetzen von Handlungsanweisungen	Beschreiben Sie kurz, wie Sie den Inhalt des Messkolbens vermischen. Der Messkolben wird verschlossen und mehrfach komplett gedreht, sodass die Luftblase durch die gesamte Lösung gleitet.	5

Abb. 2: Beispielaufgaben des Pre-Post-Instruments zur Erhebung des experimentell-praktischen Verständnisses (EPV), jeweils mit Zuordnung zum Bestandteil des experimentell-praktischen Verständnisses. In rot ist die Musterlösung dieser Aufgabe dargestellt.

Am 3. Praktikumstag in Woche 3 wurde direkt vor dem Start des Versuchs der Pretest zur Erhebung des experimentell-praktischen Verständnisses durchgeführt. Anschließend experimentierten die Studierenden *analog* im Labor oder *digital* am PC. Nach der Durchführung des Experiments bearbeiteten die Studierenden den Posttest. In diesem wurden die Fragen des Pretests, in anderer, zufälliger Reihenfolge gestellt. Zudem wurden die Studierenden gebeten, ihre Experimentierfähigkeiten selbst einzuschätzen. Nach weiteren drei Wochen wurde der Follow-up-Test zur Einschätzung der Experimentierfähigkeit durchgeführt.

Für die statistische Analyse wurden ausgehend von der Abweichung der Datensätze von der Normalverteilung, nicht-parametrische Testverfahren genutzt. Um Pre-Post-Unterschiede der beiden Gruppen festzustellen, wurden daher Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests mit Bonferroni-Korrektur durchgeführt. Um Gruppenunterschiede zu den unterschiedlichen Testzeitpunkten feststellen zu können, wurden Wilcoxon-Rangsummentests verwendet. Um die Gruppenunterschiede der Selbsteinschätzung der Experimentierfähigkeit bestimmen zu können, wurden die Fragebögen zur Selbsteinschätzung

zum Post- und Follow-up-Zeitpunkt verglichen. Für den entsprechenden Erhebungszeitpunkt wurde ein Wilcoxon-Rangsummentest verwendet und für den Vergleich der Gruppen Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests mit Bonferroni-Korrektur. Im Fall von signifikanten p -Werten in den entsprechenden nicht-parametrischen Tests wurde der Korrelationskoeffizient r als Effektstärke angegeben. Der Korrelationskoeffizient r wurde im Bereich von $.10 \leq r \leq .30$ als kleiner Effekt, $.30 \leq r \leq .50$ als mittlerer Effekt und $r \geq .50$ als großer Effekt definiert [14].

4. Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse des KFT-12-Tests aus Woche 0 (Abb. 3) wurden genutzt, um die Studierenden in vergleichbar qualifizierte Gruppen, *Digital* und *Analog*, einzuteilen. Die Analyse der Pretests ($M_{\text{Analog}} = 0,412$; $M_{\text{Digital}} = 0,382$; $W = 27339$; $p = .248$) zeigt, dass keine signifikanten Unterschiede im Leistungsstand vor Beginn der Intervention existierten. Dadurch kann rückwirkend auch die Gruppeneinteilung mithilfe des KFT-Scores bestätigt werden. Die anschließende Pre-Post-

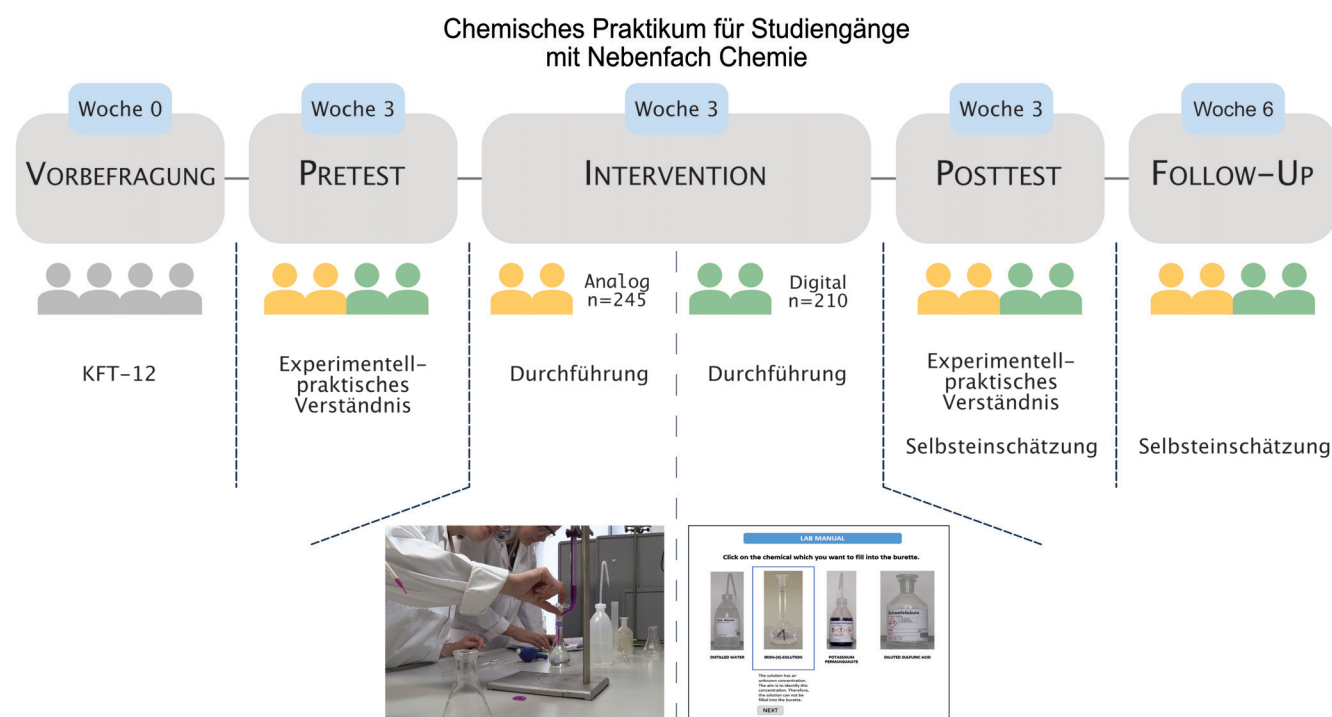


Abb. 3: Übersicht des Studienverlaufs.

Analyse dagegen zeigte eine deutlich unterschiedliche Entwicklung des Wissenstands beider Gruppen. Während sich bei der Gruppe *Analog* eine signifikante Verbesserung des Wissenstands mit mittlerem Effekt ergab ($M_{\text{pre}}=0,412$; $M_{\text{post}}=0,529$; $V=4160$; $p < .001$; $r=.42$), konnte bei der Gruppe *Digital* sogar eine signifikante Verbesserung mit großem Effekt nachgewiesen werden ($M_{\text{pre}}=0,382$; $M_{\text{post}}=0,647$; $V=232$; $p < .001$; $r=.59$). Dies zeigt, dass sich sowohl Gruppe *Analog* als auch *Digital* nach der Durchführung der permanganometrischen Titration verbessert haben. Abb. 4 verdeutlicht den Wissenszuwachs in beiden Gruppen sowie den stärkeren Effekt in der Gruppe *Digital*.

Es lässt sich daraus schlussfolgern, dass die Gruppe *Digital* von der virtuellen Lernumgebung stärker profitiert hat als die Gruppe *Analog* von der Laborarbeit. Ob es sich dabei allerdings um eine Momentaufnahme handelt oder das Wissen nachhaltig erworben wurde, kann aber von weiteren Faktoren abhängig sein, die in Folgestudien näher untersucht werden soll-

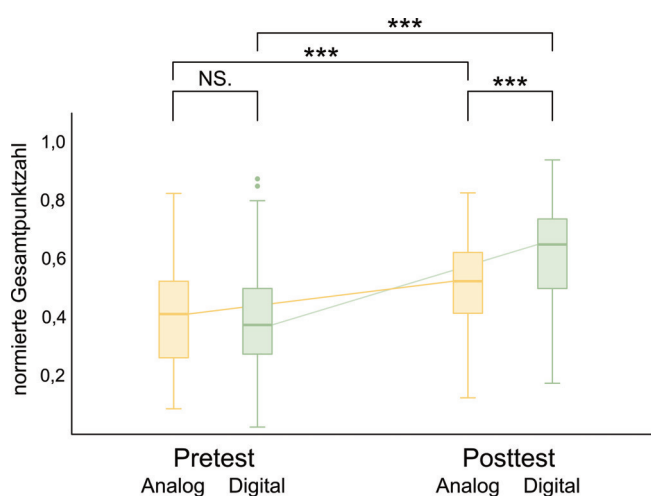


Abb. 4: Vergleich der normierten Gesamtpunktzahl zwischen den Gruppen in Pre- und Posttest sowie innerhalb der Gruppen von Pre- zu Post-Zeitpunkt. Die Signifikanzniveaus der Vergleiche sind angegeben (NS. $p > .05$; * $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$).

ten. Weitere Einblicke liefert die Selbsteinschätzung, die die Studierenden zum Post- und Follow-up-Zeitpunkt bezüglich ihrer Experimentierfähigkeit beim Durchführen einer Titration einschätzen sollten. In der Analyse und in Abb. 5 wurde hierbei deutlich, dass sich sowohl die analoge Gruppe ($M_{\text{post}}=4,500$; $M_{\text{follow-up}}=4,375$; $V=12674$; $p < .001$; $r=.17$) als auch die digitale Gruppe ($M_{\text{post}}=4,500$; $M_{\text{follow-up}}=4,250$; $V=11400$; $p < .001$; $r=.28$) vom Post- zum Follow-up-Zeitpunkt signifikant schlechter mit kleinem Effekt einschätzte. Zum Post-Zeitpunkt ist zwischen den beiden Gruppen kein signifikanter Unterschied zu erkennen ($M_{\text{Analog}}=4,500$; $M_{\text{Digital}}=4,500$; $W=24432$; $p=.626$), wohingegen sich die analoge Gruppe zum Follow-up-Zeitpunkt signifikant besser eingeschätzt hat ($M_{\text{Analog}}=4,375$; $M_{\text{Digital}}=4,250$; $W=26952$; $p=.016$; $r=.12$).

Dieses Ergebnis überrascht insofern nicht, da die Studierenden zum Follow-up-Zeitpunkt kurz davorstehen, eine weitere Titration im Labor durchzuführen. Die Studierenden in der

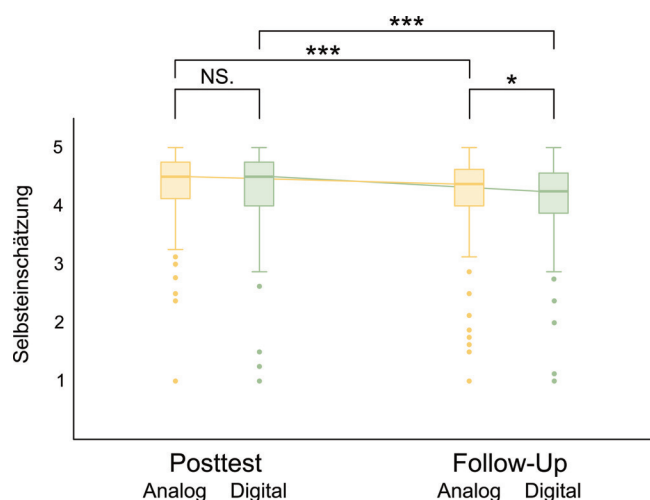


Abb. 5: Vergleich der Selbsteinschätzung der Experimentierfähigkeit sowohl zwischen den Gruppen im Posttest und Follow-up als auch innerhalb der Gruppen von Post- und Follow-up-Zeitpunkt. Die Signifikanzniveaus der Vergleiche sind angegeben (NS. $p > .05$; * $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$).

Gruppe *Analog*, die bereits eine Titration im Labor real durchgeführt haben, geben hier eine höhere Selbsteinschätzung an, als die Studierenden in der Gruppe *Digital*, die nun vor ihrer ersten realen Titration im Laborpraktikum stehen. Unter Umständen sind den Studierenden der analogen Gruppe die Handgriffe und die Titration stärker in Erinnerung geblieben, während Studierende der digitalen Gruppe noch Unsicherheiten aufweisen, die digital nachvollzogenen Handgriffe in die Praxis umzusetzen. Nichtsdestotrotz ist es erfreulich, dass beide Gruppen grundsätzlich eine hohe Selbsteinschätzung angeben. Noch offen ist für Folgestudien, ob es von Vorteil ist, die digitale Titration zeitlich kürzer vor dem Realexperiment im Labor durchzuführen.

Die Ergebnisse dieser Vergleichsstudie zeigen, dass sich durch interaktive Videoexperimente das experimentell-praktische Verständnis der Studierenden im vergleichbaren Maße wie im analogen Labor fördern lässt, wobei die Gruppe *Digital* im Posttest sogar signifikant höhere Ergebnisse erzielt hat als die Gruppe *Analog*. Ähnliche Ergebnisse führt auch Brinson in seiner Meta-Analyse auf [5]. Die Ergebnisse zeigen auch, dass beide Interventionsformen (*analoges* bzw. *digitales* Labor) zu einem Anstieg des experimentell-praktischen Verständnisses führten. Abschließend deutet dies darauf hin, dass die zur Gestaltung des interaktiven Videos herangezogenen Prinzipien, wie Interaktivität, Realitätsnähe und Lernendenzentrierung bei den Studierenden zu vergleichbaren Entscheidungsprozessen geführt haben kann, wie im analogen Labor.

5. Schlussfolgerung

Die Ergebnisse zeigen, dass die Förderung des experimentell-praktischen Verständnisses beim Einsatz von interaktiven Videoexperimenten im Vergleich zur Durchführung im Labor gleichermaßen möglich ist. Die Gruppe *Digital* zeigte dabei sogar eine deutlichere Steigerung als die analoge Gruppe. Somit stellen interaktive Videoexperimente eine vergleichbare Alternative da, wenn beispielsweise Studierende nicht am Laborpraktikum teilnehmen können oder dürfen (z.B. Schwangere oder chronisch Erkrankte). Inwiefern sich die tatsächlich experimentellen Fertigkeiten durch das interaktive Videoexperiment fördern lassen, lässt sich mit diesem Studiendesign nicht ableiten. Interaktive Videoexperimente oder einzelne Schritte davon können außerdem als Vorbereitung für komplexe chemische Experimente dienen. Ein ähnliches Vorgehen beschreiben auch Fitriani *et al.* für den Einsatz von *Pre-Lab-Demonstrationsvideos* [15]. Durch eine mögliche Förderung des experimentell-praktischen Verständnisses vor dem eigentlichen Labortag könnte während des Labortages eine Förderung anderer Kompetenzen und Fähigkeiten der Studierenden erfolgen. Gerade eine solche zeitliche Entlastung im Labor hat noch weitere Vorteile für die Durchführung des Laborpraktikums. Zum einen kann die begrenzte Laborzeit effektiver genutzt werden, da die Studierenden sich ähnlich wie im *Flipped-Classroom-Modell* [16] auf die Experimente zielgerichtet vorbereiten und sich anschließend in der Laborzeit auf das Handling, wie z.B. das korrekte Befüllen der Burette, und die Durchführung konzentrieren können. Zum anderen haben die Studierenden die Gelenkstellen des Experiments bereits kennengelernt und können diese vor den „Augen des virtuellen Tutors“ vorab digital durchlaufen haben. Abseits von der Ergänzung zum Reallabor wären auch digitale Experimente auf diesem Wege für die Vertiefung von Inhalten und die Bestätigung oder Widerlegung von Hypothesen möglich. So könnten in einer digitalen Einheit Hypothesen zu bestimmten Sachverhalten aufgestellt werden und diese dann durch digitale Experimente überprüft werden [17]. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass bei der Form der interaktiven Video-

experimente die Auswahl an möglichen Ausgängen für das Experiment schon im Vorfeld festgelegt werden muss, da hierfür entsprechende Videosequenzen aufgezeichnet werden müssen. Die Erstellung unterschiedlicher Entscheidungspfade ist dementsprechend arbeitsintensiv.

Außerhalb der Hochschule ist die Möglichkeit gegeben, die interaktiven Videoexperimente als Ersatz für Experimente einzusetzen, die aufgrund ihres Gefahrenpotenzials nicht mehr von Lernenden durchgeführt werden dürfen (z.B. wegen Einschränkungen durch die DGUV in der Schule). Hierbei wird den Lernenden die Chance gegeben, das Experiment in einer realitätsnahen und interaktiven Weise durchzuführen. Die interaktiven Videos stehen auf der Homepage des Instituts für Chemiedidaktik frei zur Verfügung und können von Hochschulen und Schulen genutzt werden [10].

Danksagung

Open Access Veröffentlichung ermöglicht und organisiert durch Projekt DEAL.

Literatur

- [1] Dunnagan, C. L., Dannenberg, D. A., Cuares, M. P., Earnest, A. D., Gurnsey, R. M., Gallardo-Williams, M. T. (2020). Production and Evaluation of a Realistic Immersive Virtual Reality Organic Chemistry Laboratory Experience: Infrared Spectroscopy. *J. Chem. Educ.* 97/1, 258–262.
- [2] Warning, L. A., Kobylanski, K. (2021). A Choose-Your-Own-Adventure-Style Virtual Lab Activity. *J. Chem. Educ.* 98/3, 924–929.
- [3] Holme, T. A. E. (2020). Special Issue – Insights Gained While Teaching Chemistry in the Time of COVID-19. *J. Chem. Educ.* 97/9, 2375–2470.
- [4] Groos, L., Maass, K., Graulich, N. (2021). Mimicking Students' Behavior during a Titration Experiment: Designing a Digital Student-Centered Experimental Environment. *J. Chem. Educ.* 98/6, 1919–1927.
- [5] Brinson, J. R. (2015). Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research. *Comp. Educ.* 87, 218–237.
- [6] Bopegedera, A. M. R. P. (2011). Putting the Laboratory at the Center of Teaching Chemistry. *J. Chem. Educ.* 88/4, 443–448.
- [7] Bauer, C. F. (2005). Beyond “student attitudes”: Chemistry self-concept inventory for assessment of the affective component of student learning. *J. Chem. Educ.* 82/12, 1864.
- [8] Gunasekara, M., Maddumapatabandi, T. D., Gamage, K. A. (2021). Remote lab activities in a digital age: insights into current practices and future potentials. *J. Educ. Innov. Comm.* 3/1, 59–78.
- [9] Graulich, N., Groos, L., Maaß, K. (2021). Interaktive Videoexperimente – von der Idee zur Umsetzung. *CHEMKON* 28/6, 260–262.
- [10] Justus-Liebig-Universität Gießen (2022). IVEX – Interaktive Videoexperimente. <https://www.uni-giessen.de/ivex> (letzter Zugriff: 14.03.2022).
- [11] Heller, K. A., Perleth, C. (2000). KFT 4-12 + R kognitiver Fähigkeitstest für 4. bis 12. Klassen, Revision. Beltz Test, Göttingen.
- [12] Hennah, N., Seery, M. K. (2017). Using Digital Badges for Developing High School Chemistry Laboratory Skills. *J. Chem. Educ.* 94/7, 844–848.
- [13] Kline, P. (1999). The handbook of psychological testing. 2nd Ed. Routledge, London.
- [14] Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychol. Bull.* 112/1, 155–159.
- [15] Fitriani, E., Paristiwati, M., Mukarromatunnisa, B. (2019). Titration pre-lab demonstration videos in basic chemistry laboratory activity: Design and development. *J. Phys. Conf. Ser.* 1402, 055047.
- [16] Fung, F. M. (2015). Using First-Person Perspective Filming Techniques for a Chemistry Laboratory Demonstration To Facilitate a Flipped Pre-Lab. *J. Chem. Educ.* 92/9, 1518–1521.
- [17] Li, S.-G., Liu, Q. (2003). Interactive Groundwater (IGW): An innovative digital laboratory for groundwater education and research. *Comp. Appl. Engin. Educ.* 11/4, 179–202.

Eingegangen am 12. Januar 2022

Angenommen am 13. März 2022