
Themenheft 65: Tagungsband des 1. AK Mediendidaktik der DGfE-Sektion Medienpädagogik (MEDIDA24). Herausgegeben von Maria Klar, Josef Buchner, Barbara Getto, Marco Kalz und Michael Kerres

Chancen und Herausforderungen beim Einsatz digitaler Laborjournale in der Lehramtsausbildung

Ein Ansatz zur Digitalisierung von Laborpraktika in der Hochschullehre

Carolin Eitemüller¹  und Vanessa Fischer² 

¹ Universität Münster

² Universität Duisburg-Essen

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird der Einsatz eines digitalen Laborjournals als exemplarischer Ansatz zur Einbindung digitaler Werkzeuge in die universitäre Lehramtsausbildung im Rahmen eines Laborpraktikums untersucht. Im Fokus der Studie steht die Förderung digitalisierungsbezogener und fachspezifischer Kompetenzen im Bereich der Versuchsdokumentation im Fach Chemie. In beiden Kompetenzbereichen weisen Chemie-Lehramtsstudierende nachweislich Defizite auf. Digitale Laborjournale bieten gegenüber der papierbasierten Dokumentation zahlreiche Vorteile, mit denen den Schwierigkeiten beim Protokollieren begegnet werden kann. In einer Studie im Mixed-Methods-Design mit 48 Studierenden und sechs Lehrenden wurde der Einsatz des Tools eLabFTW zur digitalen Dokumentation von klassischen Schulversuchen evaluiert. Die Ergebnisse zeigen, dass das digitale Laborjournal die Strukturierung der Protokolle unterstützt und eine kollaborative Arbeitsweise erleichtert, jedoch auch technische Hürden die Nutzung begrenzen. Dennoch führte der Einsatz des digitalen Laborjournals bei den Studierenden zu signifikant positiven Veränderungen in der Selbstwirksamkeitserwartung im Umgang mit digitalen Medien. Interviews mit den Studierenden und Dozierenden bestätigen die Nützlichkeit des digitalen Laborjournals zur Unterstützung der Dokumentationsfähigkeit der Studierenden, hoben aber auch Optimierungsbedarf in Bezug auf Benutzerfreundlichkeit des Tools hervor und machten deutlich, dass didaktische und methodische Anpassungen in der klassischen Praktikumsgestaltung notwendig sind, um das Potenzial des digitalen Laborjournals voll auszuschöpfen.

Opportunities and Challenges in Using Electronic Lab Notebooks in Teacher Education. An Approach to the Digitalization of Laboratory Practicals in Higher Education

Abstract

This article examines the use of an electronic lab notebook as an exemplary approach to integrate digital tools into university teacher education within the context of a practical laboratory course. The study focuses on the promotion of digitalisation-related and subject-specific competencies in the field of experiment documentation in chemistry. There is evidence that chemistry teacher training students have deficits in both competence areas. Electronic lab notebooks offer numerous advantages over paper-based versions, so that they can help address the challenges associated with documenting experiments. In a mixed-methods study with 48 students and 6 lecturers, the use of the tool eLabFTW for the digital documentation of classic school experiments was evaluated. The results indicate that the electronic lab notebook supports the structuring of protocols and facilitates a collaborative way of working, but that technical barriers also limit its use. Nevertheless, the use of the electronic lab notebook led to significantly positive changes in students' self-efficacy expectations when using digital media. Interviews with students and lecturers confirm the usefulness of the electronic lab notebook in supporting students' documentation skills, but they also highlighted the need for improvements with regard to the user-friendliness of the tool and emphasized that didactic and methodological adjustments in the design of the traditional lab course are necessary in order to fully realize the potential of the electronic lab notebook.

1. Einleitung

Die fortschreitende Digitalisierung stellt das Bildungssystem vor die Herausforderung, traditionelle Lernprozesse zu transformieren und an die digitale Entwicklung anzupassen. Obwohl zahlreiche Studien die Potenziale digital gestützter Bildungsformate für Lernprozesse in den Naturwissenschaften bereits betonen (Maxton-Küchenmeister und Meßinger-Koppelt 2014; Meßinger-Koppelt et al. 2017), zeigen die Ergebnisse der international vergleichenden Schulleistungsstudie ICILS (Eickelmann et al. 2019), dass die Umsetzung in den Schulen bisher nur unzureichend gelingt. Digitale Medien kommen bei deutschen Lehrpersonen im internationalen sowie europäischen Vergleich nur unterdurchschnittlich oft zum Einsatz (Drossel et al. 2019). Dieses Ergebnis ist wenig überraschend, wenn man berücksichtigt, dass nur 26.6% der Lehrkräfte angeben, gelernt zu haben, wie digitale Medien im Unterricht gewinnbringend verwendet werden können (ebd.). Die Einstellungen von Lehramtsstudierenden zum Einsatz digitaler Medien lassen auf keine schnelle

Veränderung der Situation hoffen. Im Vergleich zu Studierenden anderer Fachrichtungen gelten nur wenige Lehramtsstudierende als digital-affin und ausreichend motiviert, digitale Medien in ihrem Studium zu nutzen (Schmid et al. 2017). Damit angehende Lehrkräfte digitale Medien zukünftig gewinnbringend im Unterricht einsetzen können, wie es bildungspolitische Vorgaben seit Langem fordern (Kultusministerkonferenz 2016), ist es notwendig, digitalisierungsbezogene Kompetenzen (DBK) frühzeitig in der universitären Lehramtsausbildung zu vermitteln. Unter dem Begriff der DBK werden gemäss dem integrativen *Modell digitalisierungsbezogener Kompetenzen für die Lehramtsausbildung* von Beißwenger et al. (2020) die fachspezifischen, fachübergreifenden und überfachlichen Kompetenzen verstanden, die das Lehren mit und über digitale Technologien betreffen. In Übereinstimmung mit dem TPACK-Modell (Koehler et al. 2013), das die technologiebezogenen professionellen Handlungskompetenzen von Lehrpersonen beschreibt und explizit mit dem Modell von Beißwenger et al. (2020) in Verbindung steht, umfassen DBK die Bereiche *technological knowledge* (TK), *technological content knowledge* (TCK), *technological pedagogical knowledge* (TPK) sowie *technological pedagogical content knowledge* (TPACK). Studien zum Einfluss lernbezogener Vorerfahrungen mit digitalen Medien auf deren Einsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht belegen bereits, dass entsprechende Lernerfahrungen in universitären Lehrveranstaltungen die Einstellungen und Selbstwirksamkeitserwartungen zum Medieneinsatz positiv beeinflussen können (Vogelsang et al. 2019).

Ein authentisches Lernsetting für den Erwerb von DBK im Chemie-Lehramtsstudium kann durch den Einsatz eines digitalen Laborjournals im Rahmen eines Laborpraktikums geschaffen werden. Laborpraktika stellen einen integralen Bestandteil naturwissenschaftlicher Studiengänge dar, und deren Dokumentation und Auswertung von Experimenten stellen besondere Anforderungen an die Studierenden. Vor diesem Hintergrund untersucht der vorliegende Beitrag die Implementierung eines digitalen Laborjournals in einem Laborpraktikum für Chemie-Lehramtsstudierende. Ziel ist es, sowohl digitalisierungsbezogene als auch fachspezifische Kompetenzen im Rahmen der Versuchsdocumentation zu fördern. Traditionell erfolgt die Dokumentation von Versuchsergebnissen über analoge Laborjournale und Protokolle, die zudem als Grundlage für die Leistungsbewertung im Studium dienen. Studien weisen jedoch darauf hin, dass Chemie-Lehramtsstudierende häufig erhebliche Schwierigkeiten beim Verfassen von Versuchsprotokollen haben (Bayrak 2020; Rautenstrauch 2017). Digitale Laborjournale bieten durch verschiedene Funktionen – wie einer individuellen Zugriffskontrolle für kollaboratives Arbeiten, die Verwaltung von Proben und die Visualisierung von Daten – vielversprechende Ansätze, um sowohl fachspezifische Kompetenzen beim Protokollieren als auch grundlegende DBK zu fördern. Bisher ist jedoch noch ungeklärt, inwieweit der Einsatz digitaler

Laborjournale einerseits die Dokumentation von Experimenten unterstützt und die Qualität der Protokolle in fachlicher Hinsicht verbessert, andererseits die Selbstwirksamkeit von Lehramtsstudierenden im Umgang mit digitalen Medien stärkt.

2. Theoretischer Hintergrund

2.1 Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen beim Protokollieren

In den weiterentwickelten Bildungsstandards für das Fach Chemie (Mittlerer Schulabschluss) ist in den Kompetenzbereichen Erkenntnisgewinnung und Kommunikation unter anderem festgehalten, dass Schüler:innen «relevante Daten im Rahmen von Untersuchungen insbesondere in chemischen Experimenten – auch unter der Nutzung von digitalen Werkzeuge[n] [erheben]» und «den Verlauf sowie die Ergebnisse ihrer fachlichen Arbeit [...] unter Nutzung digitaler Werkzeuge [dokumentieren und präsentieren können sollen]» (Kultusministerkonferenz 2024, 11–12). Um Lehrpersonen zu befähigen, diese Kompetenzen bei Schüler:innen im Fachunterricht gezielt zu fördern, ist einerseits erforderlich, dass sie selbst Experimente digital dokumentieren können (TK). Andererseits ist von zentraler Bedeutung, dass sie das technologisch-pädagogische Fachwissen besitzen, um digitale Werkzeuge – wie ein digitales Laborjournal – sinnstiftend in den Experimentierprozess und dessen Dokumentation im Chemieunterricht implementieren zu können (TPACK). In der universitären Lehramtsausbildung kommt die Vermittlung von DBK bisher jedoch häufig zu kurz (van Ackeren et al. 2019), was dazu führt, dass sich viele Lehrkräfte in diesem Bereich bislang unzureichend professionalisiert fühlen (Drossel et al. 2019). Die Verwendung eines digitalen Laborjournals zur Dokumentation von Experimenten in Laborpraktika bietet in diesem Zusammenhang eine vielversprechende Lerngelegenheit zum Erwerb DBK in der universitären Lehramtsausbildung. Sie kann dazu beitragen, die Einstellung angehender Lehrkräfte gegenüber dem Einsatz digitaler Medien positiv zu beeinflussen und sowohl fachspezifische (TPACK, TCK) als auch fächerübergreifende (TPK) und überfachliche (TK) DBK zu fördern.

Digitale Laborjournale, wie z. B. eLabFTW, GoogleDocs, LabArchives oder OneNote, sind rechnergestützte Dokumentationssysteme, die mit einer Software erstellt und bearbeitet werden können. Sie dienen primär der digitalen Dokumentation und Auswertung von wissenschaftlichen Experimenten und bieten eine Alternative zu handschriftlichen Notizen. Neben der Software zur Textverarbeitung bieten diese Systeme eine Vielzahl von Funktionen, welche die Dokumentation von Experimenten erleichtern, etwa den Zugriff auf Datenbanken mittels Suchmasken oder das Hinterlegen von Inventar- und Chemikalienlisten. Bisher werden digitale Laborjournale überwiegend in der Fachwissenschaft eingesetzt und finden in der

Lehramtsausbildung nur selten Verwendung (Prosser und Kromer 2023). Im Rahmen von Laborpraktika bieten sie jedoch das Potenzial, eine Vielzahl von DBK im Lehramtsstudium zu fördern.

Die zentralen DBK, die Lehrpersonen im Rahmen der Dokumentation von Experimenten mittels digitaler Laborjournale erwerben können, lassen sich mithilfe des Orientierungsrahmens DiKoLAN (Becker et al. 2020) einordnen und beschreiben. Dieser basiert auf dem TPACK-Modell von Koehler, Mishra und Cain (2013) und konkretisiert die fachspezifischen Kompetenzanforderungen (angehender) Lehrpersonen in den Naturwissenschaften. Die DBK, die im Kontext der Dokumentation von Schulversuchen mithilfe eines digitalen Laborjournals gefördert werden können, lassen sich nach dem DiKoLAN-Orientierungsrahmen den folgenden Kompetenzbereichen zuordnen: *Dokumentation*, *Datenverarbeitung*, *Kommunikation und Kollaboration*, *Messwert- und Datenerfassung* sowie *Recherche und Bewertung*. Im Kompetenzbereich «*Dokumentation*» können die Studierenden beispielsweise das digitale Laborjournal als ein fachspezifisches, digitales Werkzeug kennenlernen, mit dem Messwerte aus Schulexperimenten strukturiert gesichert, archiviert und verwaltet werden können. Dies ist für die angehenden Lehrkräfte im späteren Chemieunterricht besonders relevant, wenn sie Schulversuche durchführen lassen, bei denen grössere Datenmengen entstehen, z.B. aus umfangreicheren Messreihen oder arbeitsteilig durchgeführten Experimenten, die dem gesamten Klassen- oder Kursverband zur weiteren Verarbeitung und Auswertung zur Verfügung gestellt werden müssen. Der Datentransfer zwischen den Schüler:innen kann durch die Lehrkraft beispielsweise über kollaborative Tabellen angelegt werden, die in das digitale Laborjournal integriert werden können und eine gemeinschaftliche Erstellung von Datenpools ermöglichen. Hierbei werden bei den Lehramtsstudierenden zugleich DBK im Bereich «*Kommunikation und Kollaboration*» gefördert, da die Schüler:innen und Lehrkräfte sowohl synchron als auch asynchron an einem Versuchsprotokoll arbeiten können und die Lehrkräfte dementsprechend Zugriffsrechte einplanen und umsetzen müssen.

Für die Dokumentation von Schulexperimenten können die Studierenden zudem verschiedene Medien nutzen, beispielsweise Fotos, Videos oder Audiodateien, indem sie Versuchsbeobachtungen mittels Smartphone oder Tablet festhalten oder Versuchsaufbauten und durchführungen dokumentieren. Dies erfordert von ihnen die Kombination unterschiedlicher Medien sowie die Erstellung, Bearbeitung und Einbindung von Videos, Fotos oder Audios in das digitale Laborjournal, was DBK in den Bereichen «*Messwert- und Datenerfassung*» sowie «*Datenverarbeitung*» stärkt.

Studien zum Einsatz digitaler Laborjournale im Bildungsbereich zeigen, dass Studierende digitale Laborjournale gegenüber traditionellen Papiernotizbüchern bevorzugen (van Dyke und Smith-Carpenter 2017; Weibel 2016) und die Nutzung zur Dokumentation von Experimenten und Erstellung von Berichten grundsätzlich

als hilfreich empfinden (Bromfield Lee 2018). Allerdings wird die Einbindung von Versuchsskizzen und Formeln im Vergleich zur analogen Dokumentation als herausfordernd wahrgenommen (Cardenas 2014; Ghannam et al. 2021; Puccinelli und Nimunkar 2014), obwohl Fotos und technische Zeichnungen durchaus in digitale Laborjournale integriert werden können (Kuczenski und Araj 2016).

Diese Schwierigkeiten lassen sich teilweise dadurch erklären, dass Studierende in vielen Studien nicht über die erwarteten technologischen Fertigkeiten verfügten. Sie benötigten ebenso wie ihre Dozierenden eine Einweisung in die Nutzung digitaler Laborjournale, um deren Potenzial voll ausschöpfen zu können. Diese Schulungen umfassten beispielsweise spezifische Hinweise zur Dateispeicherung (Aoyagi 2018; Barr 2018; Bird et al. 2013) sowie zur Nutzung von Zusatzfunktionen (Bromfield Lee 2018; Cardenas 2014).

Ein weiterer Vorteil digitaler Laborjournale gegenüber gedruckten Notizbüchern ist deren Durchsuchbarkeit (ebd.). So können beispielsweise zusätzliche Materialien wie Sicherheitsdatenblätter von Chemikalien, Praktikumsskripte oder andere unterstützende Dokumente in das digitale Laborjournal integriert werden. Im Kompetenzbereich *«Recherche und Bewertung»* unterstützt das digitale Laborjournal durch diese Funktion die Studierenden dabei, gezielt Informationen in wissenschaftlichen Datenbanken zu suchen, die Ergebnisse zu bewerten und diese in ein Protokoll zu integrieren.

Bisher werden DBK vor allem mithilfe von Selbsteinschätzungsskalen erhoben, wie beispielsweise in den Studien von Wang, Schmidt-Crawford und Jin (2018), Vogelsang et al. (2019) oder Kotzebue et al. (2021) beschrieben. Vergleichbare Leistungstests zur Erfassung von DBK für das Fach Chemie liegen (noch) nicht vor, jedoch existieren z.T. Leistungstests zur Erfassung von DBK für das Fach Physik (Große-Heilmann et al. 2022).

2.2 Förderung fachspezifischer Kompetenzen beim Protokollieren

Protokolle stellen ein wichtiges Instrument zur Dokumentation und Auswertung von Experimenten dar und dienen im Chemieunterricht vor allem der Förderung von Kompetenzen in den Bereichen Kommunikation und Erkenntnisgewinnung (Kultusministerkonferenz 2020). In der fachdidaktischen Literatur ist jedoch seit Langem bekannt, dass Schüler:innen diverse Defizite beim Protokollieren von Versuchen haben (Groß 2013). Daher sollte es das Ziel von Lehrpersonen sein, die Kompetenzen der Schüler:innen beim Protokollieren gezielt zu fördern. Damit dies gelingen kann, müssen (angehende) Lehrpersonen jedoch selbst über entsprechende Kompetenzen verfügen. Bisherige Studien deuten allerdings drauf hin, dass Chemie-Lehramtsstudierende grosse Schwierigkeiten beim Verfassen von Versuchsprotokollen haben. Eine Untersuchung von (Bayrak 2020) zeigt beispielsweise, dass nur

ein vergleichsweise geringer Anteil der Studierenden in der Lage ist, ein Protokoll ohne offensichtliche inhaltliche Fehler zu erstellen oder eine sachgerechte Auswertung der Ergebnisse vorzunehmen. Eine besondere Herausforderung stellt für die Studierenden die klare Trennung zwischen verschiedenen Gliederungspunkten dar, wie der Beobachtung und der Versuchsdurchführung oder der Beobachtung und der Interpretation der Ergebnisse (Bayrak 2020; Rautenstrauch 2017). Darüber hinaus bereitet die Verschriftlichung von Beobachtungen sowie die korrekte Verwendung der Fachsprache vielen Studierenden Schwierigkeiten (Bayrak 2020; Rautenstrauch 2017), da die Versuchsdurchführung bereits abgeschlossen ist und die Abfolge der Beobachtungen möglicherweise nicht mehr hinreichend präsent ist. Zusätzlich erfordert die Dokumentation von Experimenten eine sprachliche Umschreibung der Beobachtungen, was eine Übersetzungsleistung erfordert.

Vor diesem Hintergrund kann der Einsatz eines digitalen Laborjournals einen wesentlichen Beitrag zur fachlich korrekten Protokollierung von Experimenten leisten und den Kompetenzerwerb in den Bereichen Kommunikation und Erkenntnisgewinnung unterstützen, indem es unter anderem die Möglichkeit bietet, Lernenden strukturierte Vorlagen und Hilfestellungen bereitzustellen. Im Hinblick auf die Schwierigkeiten bei der Dokumentation von Beobachtungen bietet das digitale Laborjournal gegenüber der traditionellen papierbasierten Dokumentation den Vorteil, dass Beobachtungen zusätzlich durch Fotos, Videos oder Audiodateien ergänzt werden können. Zentrale Phänomene können auf diese Weise wiederholt betrachtet, präzisiert und anschaulich dargestellt werden (Russek und Sommer 2020). Im Vergleich zu traditionellen Arbeitsblättern sind digitale Laborjournale zudem nicht durch vorgegebene Platzbeschränkungen limitiert, was eine detailliertere Dokumentation ermöglicht. Diese Flexibilität und die Möglichkeit, verschiedene Abschnitte nicht-linear zu bearbeiten, wird von Studierenden als besonderer Vorteil empfunden (Colabroy und Bell 2019). Zusätzlich können im digitalen Laborjournal Hilfestellungen zur individuellen Unterstützung der Lernenden integriert werden, etwa in Form von Geräteabbildungen, Glossaren oder weiterführenden Links (Russek und Sommer 2020). Darüber hinaus erleichtert ein digitales Laborjournal Korrekturen und Ergänzungen durch Dozierende, da diese einfacher eingesehen, kommentiert und angepasst werden können, wodurch der Lernprozess flexibler und interaktiver gestaltet werden kann (ebd.).

3. Ziel und Forschungsfragen

Ziel des Projekts war, exemplarisch Einsatzmöglichkeiten eines digitalen Laborjournals im Rahmen eines Laborpraktikums für Chemie-Lehramtsstudierende zu erproben und zu evaluieren, wie den beschriebenen Schwierigkeiten seitens der Studierenden beim Protokollieren begegnet werden kann. Im Mittelpunkt des Projekts

standen (a) die Förderung der fachspezifischen Kompetenzen der Studierenden im Hinblick auf die Protokollierung von Experimenten sowie (b) die Stärkung der Selbstwirksamkeitserwartung im Umgang mit digitalen Medien. Darüber hinaus wurde durch Interviews ermittelt, (c) als wie geeignet die Studierenden ein digitales im Vergleich zu einem analogen Laborjournal für die Dokumentation klassischer Schulversuche einschätzen. Ergänzend wurden Interviews mit Lehrenden geführt, um (d) Chancen und Herausforderungen des Einsatzes eines digitalen Laborjournals aus der Perspektive der Dozierenden zu beleuchten. Auf Basis dieser Zielsetzungen wurden folgende Forschungsfragen formuliert:

- FF1: Über welche fachinhaltliche Qualität verfügen die durch ein digitales Laborjournal erstellten Dokumente?
- FF2: Inwiefern können durch die Nutzung eines digitalen Laborjournals die Selbstwirksamkeitserwartungen der Lehramtsstudierenden im Umgang mit digitalen Medien im Verlauf eines Praktikums gefördert werden?
- FF3: Wie geeignet empfinden die Lehramtsstudierenden ein digitales Laborjournal für die Dokumentation von klassischen Schulversuchen?
- FF4: Wie beurteilen Dozierende den Einsatz eines digitalen Laborjournals im Laborpraktikum?

4. Studiendesign und Methodik

Im Rahmen einer Evaluationsstudie im Pre-Post-Design wurde der Einsatz eines digitalen Laborjournals zur Dokumentation von klassischen Schulversuchen in einem semesterbegleitenden Laborpraktikum mit einem Workload von 60 Stunden erprobt. Im Rahmen des Praktikums wurden 29 klassische Schulversuche zu Inhalten der Sekundarstufe I und II durchgeführt und mit einem digitalen Laborjournal protokolliert, wobei die Lehramtsstudierenden vor Praktikumsbeginn eine Einführung in das digitale Laborjournal erhielten und während des ersten Tages Unterstützung in der Nutzung des Tools und eines Tablets im Labor bekamen (vgl. Abbildung 1).

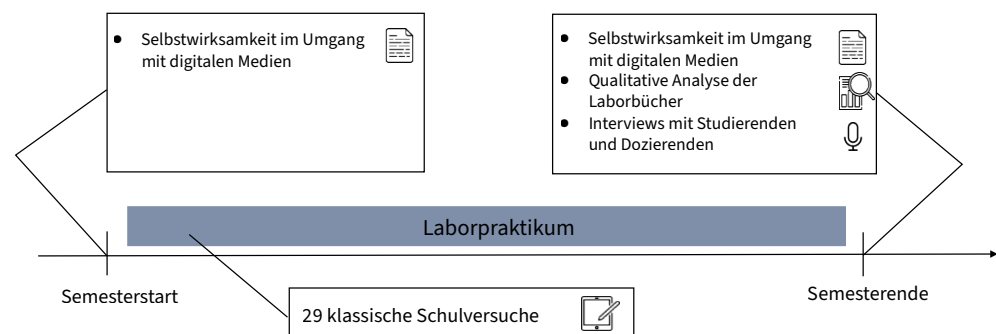


Abb. 1: Studiendesign (eigene Darstellung).

An der Studie nahmen im Sommersemester 2022 insgesamt $N = 48$ Chemie-Lehramtsstudierende (50% weiblich, $M = 21.62$ Jahre) aller Schulformen (ausser Förderschule) im 2. Fachsemester der Universität Duisburg-Essen teil. Für die Studierenden handelte es sich um das erste Laborpraktikum mit fachdidaktischem Schwerpunkt in ihrem Studium, in dem sie klassische Schulversuche in der Regel in Partnerarbeit durchführen sollten. Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage wurde die fachwissenschaftliche Qualität der mithilfe eines digitalen Laborjournals erstellten Dokumente anhand eines deduktiv erstellten Kriterienkatalogs beurteilt. Die Kategorien des Kriterienkatalogs spiegelten den Aufbau eines klassischen Versuchsprotokolls wider und bestanden aus Angaben zu den verwendeten «*Chemikalien und Materialien*», den zu beachtenden «*Sicherheitshinweisen*», Angaben zum «*Versuchsaufbau*» und der «*Versuchsdurchführung*» sowie den «*Beobachtungen*» und der «*Auswertung*» der Ergebnisse. In den Kategorien wurde jeweils unterschieden, ob erstens eine Eintragung vorhanden war und zweitens ob diese vollständig und korrekt erfolgt war. Um die Zuordnungen der Textstellen aus den Dokumenten zu den oben angeführten Kategorien zu überprüfen, wurden 31% der erstellten Protokolle durch zwei geschulte Rater:innen unabhängig voneinander codiert und als Mass der Interrater-Reliabilität die prozentuale Übereinstimmungshäufigkeit berechnet, die mit 85% die Eignung des Kategoriensystems bestätigt.

Zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage wurde ein modifizierter Fragebogen zur Erfassung der Selbstwirksamkeitserwartung im Umgang mit digitalen Medien (adaptiert nach Vogelsang et al. 2019) am Anfang und Ende der Veranstaltung eingesetzt. Zur Erfassung der Selbstwirksamkeit wurden 12 Items eingesetzt, die auf einer vierstufigen Likert-Skala von «stimmt völlig» bis «stimmt gar nicht» bewertet werden sollten. Operationalisiert wurde die Selbstwirksamkeitserwartung über Aussagen, die sich auf die Fähigkeiten der Studierenden beziehen, digitale Medien in Experimentierphasen und bei der digitalen Versuchsdokumentation im Unterricht einzusetzen. Die Reliabilität der Skala liegt zu beiden Messzeitpunkten mit Cronbachs $\alpha = .833$ bzw. $\alpha = .869$ im guten Bereich (Cronbach 1951). Um zu überprüfen, ob ein statistisch signifikanter Unterschied in der Selbstwirksamkeitserwartung zwischen dem Anfang und dem Ende der Veranstaltung besteht, wurde ein gepaarter t-Test berechnet.

Zur Beantwortung der dritten Forschungsfrage wurden am Ende der Veranstaltung fokussierte Leitfaden-Interviews (vgl. Friebertshäuser und Langer 2013) mit sieben Studierenden durchgeführt. Für die Entwicklung des Interviewleitfadens wurden verschiedene Nutzungsszenarien des digitalen Laborjournals im Rahmen der Versuchsdokumentation durch zwei erfahrende Chemiedidaktiker:innen systematisch analysiert. Darauf aufbauend wurden Leitfragen abgeleitet, die die als relevant erachteten Aspekte der digitalen Dokumentation fokussierten. Die Fragestellungen bezogen sich auf die «*wahrgenommene Nützlichkeit*» und «*Usability*» sowie auf die

«Akzeptanz» des digitalen Laborjournals für die Versuchsdokumentation. Ebenso wurden sowohl die wahrgenommenen «Optimierungsmöglichkeiten» beim Einsatz des Laborjournals als auch die empfundene «Selbstwirksamkeit im Umgang mit digitalen Medien» mit weiteren Fragestellungen adressiert. Die Fragen wurden bewusst offen formuliert, um den Teilnehmenden eine möglichst unbeeinflusste Darstellung ihrer individuellen Perspektiven zu ermöglichen. Anschliessend wurden die Einzelinterviews transkribiert und mit der Software MAXQDA codiert. Mittels qualitativer Inhaltsanalyse (Kuckartz und Rädiker 2024) wurden die Aussagen der Studierenden anhand eines induktiv und deduktiv erstellten Kategoriensystems in Bezug auf die Kategorien *wahrgenommene Nützlichkeit*, *Usability*, *Optimierungsmöglichkeiten* sowie *Akzeptanz* und *Selbstwirksamkeit im Umgang mit digitalen Medien* untersucht, wobei innerhalb der Kategorien zwischen positiven und negativen Merkmalsausprägungen unterschieden wurde. Nach einer ersten Basiscodierung wurden die Übereinstimmungen und Nicht-Übereinstimmungen der codierten Textstellen zwischen den Rater:innen in einer Codier-Konferenz diskutiert. Auf dieser Basis wurden die Kategorien im Rahmen einer Feincodierung zum Teil zusammengelegt und das Material in einem zweiten Durchlauf codiert. Im Anschluss wurden die Interviews erneut analysiert und eine weitere Codier-Konferenz mit dem überarbeiteten Material durchgeführt. Um die Reliabilität der Codierungen zu überprüfen, wurden zwei der Interviews durch eine(n) zweite(n) geschulte(n) Rater:in codiert. Anschliessend wurde die Interrater-Reliabilität als prozentuierte Übereinstimmungshäufigkeit bestimmt, die mit 61% bzw. 69% angesichts der intensiven Codier-Schulung und mehrfacher Überarbeitung des Kodiermanuals als ausreichend bewertet wurde (Wirtz und Caspar 2002). Eine mögliche Erklärung kann in der Inferenz der Daten liegen, sodass Aussagen mehr als einer Kategorie zugeordnet wurden.

Zur Beantwortung der vierten Forschungsfrage wurden sechs Hochschullehrkräfte (vier Frauen, zwei Männer), darunter die beiden Dozierenden des Laborpraktikums, mit unterschiedlichen Vorerfahrungen im Hinblick auf den Einsatz eines digitalen Laborjournals in einem Laborpraktikum für (Lehramts-)Studierende am Anfang des Wintersemesters 2023/2024 in fokussierten Leitfaden-Interviews befragt. Bedingt durch projektinterne Umstände konnten die Interviews der Dozierenden nicht im Sommersemester 2022 mit den Interviews der Studierenden durchgeführt werden. Vor der Durchführung der Interviews erhielten alle Dozierenden eine detaillierte Einführung in das Tool anhand eines exemplarischen Protokolls zu einem Versuch aus dem Laborpraktikum. Inhaltlich fokussierten die Interviews erneut die Kategorien (1) «Nützlichkeit des Tools», (2) «wahrgenommene Barrieren», (3) mögliche «Optimierungsvorschläge» sowie (4) das «wahrgenommene Potenzial des Tools» für den Erwerb fachspezifischer Kompetenzen beim Protokollieren. Die Auswertung der Interviews erfolgte auf Basis eines deduktiv erstellten Kategoriensystems in Bezug auf die vier oben dargestellten Kategorien im Rahmen einer qualitativen

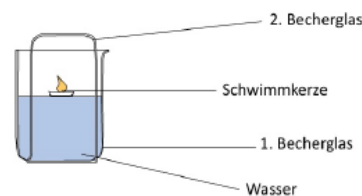
Inhaltsanalyse nach Kuckartz und Rädiker (2024). Die Kategorien wurden in Anlehnung an das Kategoriensystem zur Auswertung der Interviews mit den Studierenden erstellt, um eine Vergleichbarkeit der Daten aus beiden Datenerhebungen zu gewährleisten. Ein Interview wurde doppelt codiert und zur Berechnung der Interrater-Reliabilität die prozentuale Übereinstimmungshäufigkeit berechnet, die mit 83% im zufriedenstellenden Bereich ausfällt.

Zur Erstellung eines digitalen Laborjournals wurde das digitale Tool «eLabFTW» (<https://www.uni-due.de/rds/elb.php>) genutzt, das den Studierenden der Universität Duisburg-Essen kostenlos zur Verfügung steht. Darin wurde für jeden Versuch eine spezifische Protokollvorlage angefertigt, die einerseits fachsprachliche Hilfestellungen (z.B. Satzmuster) enthielt, um die Studierenden in der sachgerechten Beschreibung von Beobachtungen und der korrekten Verwendung der Fachsprache zu unterstützen. Andererseits wurden fachinhaltliche Hilfestellungen (z.B. Leitfragen) und Strukturierungshilfen in Form von Tabellen und Koordinatensystemen integriert, die eine Hilfestellung in Bezug auf die Trennung von Beobachtung und Deutung sowie der korrekten Auswertung der Ergebnisse bieten sollen (vgl. Abbildung 2). Ferner wurden im digitalen Laborjournal weitere Materialien (z.B. das Praktikumsskript) bereitgestellt, um dem vielfachen Kladdenchaos im Labor ein Ende zu setzen.

Versuch 2.1.4 - Schwimmkerze

Datum: 2022-04-12
Erstellt von: [REDACTED]

2 / 3



<u>Beobachtung:</u>	<u>Deutung:</u>
Zustand der Kerze mit ausreichend frischer Luftzufuhr:	Kerze leuchtet, Wasser auf der selben Höhe. Die Flamme ist mit genug Sauerstoff versorgt.
Zustand der Kerze ohne frische Luftzufuhr (abgedeckt):	Sauerstoff-Konzentration ist zu gering. Die Flamme erlischt. Das entstandene Gas kühlt ab und das Volumen zieht sich zusammen und das Wasser wird hineingezogen und der Pegel steigt.
Sonstiges:	Beachten Sie für die Erklärung des Pegelanstiegs des Wassers das gebildete Wasser während der Reaktion und dessen Aggregatzustand(-sänderung)

Reaktionsgleichung:

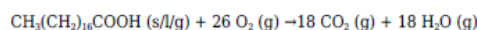


Abb. 2: Ausschnitt einer ausgefüllten Vorlage im digitalen Laborjournal.

5. Ergebnisse und Diskussion

Nachfolgend werden die Ergebnisse zu den vier Forschungsfragen miteinander verzahnt vorgestellt und anschliessend diskutiert. Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage standen am Ende des Praktikums 183 «bearbeitete» Laborjournale zur Verfügung, die für die Analysen herangezogen wurden. Als «bearbeitet» wurden jene Laborjournale definiert, die mindestens eine Eintragung unter einem Gliederungspunkt (z. B. Beobachtungen, Deutung etc.) aufwiesen. In Bezug auf die erste Forschungsfrage zeigen die Ergebnisse, dass 45.9% der Studierenden über alle Versuche hinweg vollständige und angemessene Beobachtungen notierten, während weitere 35% zumindest in Teilen adäquate Beobachtungen festhielten. Trotz der in den Protokollvorlagen verfügbaren Hilfestellungen (wie Strukturierungshilfen und Leitfragen) misslang es jedoch 64.3% der Studierenden, die ihre Beobachtungen vollständig korrekt protokollierten, eine sachgerechte Trennung zwischen

Beobachtung und Deutung vorzunehmen. Dies zeigt sich beispielsweise daran, dass bereits in den Beobachtungen Bezüge zur submikroskopischen Ebene hergestellt wurden, die eine Deutung darstellen. Damit spiegeln die Ergebnisse die in der Literatur bereits beschriebenen Schwierigkeiten von Studierenden bei der Protokollierung und Auswertung von Schulversuchen wider (Bayrak 2020; Rautenstrauch 2017). Die Rückmeldungen der Studierenden in den Interviews verdeutlichen zudem, dass die bereitgestellten Gliederungshilfen, exemplarischen Satzstrukturen und Strukturierungshilfen in Form von Tabellen zwar mehrheitlich als nützlich wahrgenommen wurden, aber in Anbetracht geringen Vorwissens auch zu Verwirrung geführt haben. Ein Studierender äusserte sich dazu wie folgt:

«Also, diese grammatikalischen Hinweise, die haben mir schon sehr geholfen, weil ich in dem Moment gar nicht dran gedacht habe. Da war es schön, das mal so gelesen zu haben, aber bei der Auswertung die Tipps, die haben mich manchmal verwirrt, wenn ich ehrlich bin. Ich habe mir immer so gedacht: «ich hätte jetzt dazu gar nichts geschrieben».» [Interview 3, Pos. 35]

Zukünftig sollte daher die Angemessenheit der Unterstützungsmassnahmen im Hinblick auf das Vorwissen der Studierenden weiter untersucht werden, obwohl die Dozierenden die Unterstützungsmassnahmen und Auswertungshinweise als lernwirksam beurteilen. So antwortete ein Dozierender mit umfangreicheren Erfahrungen im Einsatz eines digitalen Laborjournals beispielsweise:

«Bei uns haben sie auch Hinweise zur Rechnung im Gegensatz zum klassischen Skript diesmal [im digitalen Laborjournal] drin. Das bedeutet, ich habe auf jeden Fall dieses Mal kaum Rechenschwierigkeiten gehabt. Das war in den letzten Jahren ein richtiges Problem, dieses Jahr gar nicht.» [Interview 4, Pos. 6]

Über die genannten Unterstützungsmassnahmen hinaus könnten sich zukünftig durch den Einsatz Künstlicher Intelligenz (KI) weiterführende Möglichkeiten zur Unterstützung des Dokumentationsprozesses eröffnen. Insbesondere der Einsatz grosser Sprachmodelle (Large Language Models, LLM) erscheint vielversprechend, um Schülerprotokolle automatisiert auf typische Fehler zu analysieren und darauf basierend individuelles Feedback bereitzustellen. Erste Studien weisen darauf hin, dass LLM Lehrkräfte insbesondere bei der Identifikation und Rückmeldung zu grundlegenden Fehlern, z. B. zur Hypothesenbildung, Versuchsvariation oder selektiven Ergebnisbetrachtung, effektiv entlasten können (Bewersdorff et al. 2023). Demgegenüber zeigen sich bei der Erkennung komplexerer inhaltlicher Fehler, wie beispielsweise dem Fehlen eines Kontrollansatzes, nach wie vor deutliche Einschränkungen (ebd.). Hinsichtlich der Qualität des KI-generierten Feedbacks zeigen

aktuelle Studien, dass dieses häufig allgemein gehalten ist, nur wenige konkrete Verbesserungsvorschläge enthält (Yoon et al. 2023) und zudem in seiner Qualität stark variiert (Wang und Demszky 2023).

Zur Dokumentation weiterer versuchsrelevanter Aspekte – z. B. der verwendeten Chemikalien, Materialien sowie der Durchführung und Auswertung der Versuche – wurde das digitale Laborjournal während der Laborzeit überwiegend nicht verwendet. Dies könnte unter anderem darauf zurückzuführen sein, dass die Studierenden vor Beginn des Praktikums für jeden Versuch eine Betriebsanweisung mit Informationen zum Gefahrenpotenzial der eingesetzten Chemikalien als Teil des Leistungsnachweises einreichen mussten. Darüber hinaus bestand die Vorgabe, dass nur zu fünf der insgesamt 29 durchgeführten Versuche Protokolle als Leistungsnachweis für das Praktikum abgegeben werden *mussten*. Obwohl die Information, welche Versuche protokolliert werden mussten, erst am Ende des Praktikums bekannt gegeben wurde, könnte die Erstellung zusätzlicher digitaler Laborjournale, die zwar als Grundlage für die Protokolle dienten, von den Studierenden als redundanter Mehraufwand empfunden worden sein. Auch wurden in die digitalen Laborjournale kaum Fotos und Videos zur Dokumentation der Beobachtungen eingebunden, obwohl zahlreiche der durchgeführten Schulversuche dies ermöglicht hätten. So hätten beispielsweise Farbveränderungen von Indikatorlösungen (Farbumschläge), Flammenerscheinungen und andere visuelle Veränderungen mit den Fotos schneller erfasst und beispielsweise zu einem späteren Zeitpunkt genauer ausgewertet werden können als durch eine schriftliche Beschreibung vor Ort. In den Interviews führten die Studierenden diesbezüglich häufig die eingeschränkte Usability des Tools eLabFTW, technische Begrenzungen sowie mangelndes Wissen über entsprechende Funktionen als Gründe für die geringe Nutzung an. So äusserte sich ein Studierender beispielsweise wie folgt:

«[...] ich konnte mir halt auf jeden Fall kein Foto anschauen und gleichzeitig noch weiter schreiben.» [Interview 7, Pos. 12] «Also ich konnte mich nicht mehr wieder auf das beziehen, was ich halt schon vorher geschrieben hatte und das hat mich halt daran gestört, weil ich das normalerweise immer brauche, ich brauch dann meine Gedanken, die ich vorher hatte, um dann das weiterzuführen.» [Interview 7, Pos. 14]

Der theoretische Mehrwert der Einbindung von Fotos für den Auswertungsprozess wurde von den Studierenden jedoch mit Einschränkungen erkannt. Auf die Frage, wie die Arbeit mit dem digitalen Laborjournal empfunden wurde, lautete eine Antwort beispielsweise:

«Mühsam, [...] zum einen war es aber auch eine Erleichterung [...], dass ich halt Fotos und, ähm, Aufzeichnungen im Labor machen konnte, und die [ich] ja sofort auch Zuhause auf dem PC hatte [...]» [Interview 1, Pos. 2]

Im Einklang mit den bisherigen Befunden in der Literatur, die die Einbindung von Versuchsskizzen aus der Perspektive der Lernenden häufig als herausfordernd darstellen (Cardenas 2014; Ghannam et al. 2021; Puccinelli und Nimunkar 2014), wurden auch im digitalen Laborjournal von nur etwa 20% der Studierenden digitale Versuchsskizzen eingebunden. Dies deutet bei einem Fünftel der Studierenden zwar auf entsprechende Softwarekenntnisse zur Visualisierung von Versuchsaufbauten sowie auf Kompetenzen im Bereich der Integration von Skizzen hin. Aus den Interviews mit den Studierenden wurde aber auch deutlich, dass das Tool eLabFTW insbesondere als weniger nützlich wahrgenommen wurde, wenn es um das Einfügen handschriftlicher Skizzen oder Notizen ging. Auf die Frage wie die Arbeit mit dem digitalen Laborjournal empfunden wurde, äusserte ein Studierender beispielsweise:

«[...] Mh, ich glaube das war auch die Anmerkung von vielen anderen, das hat oft gefehlt, dass man handschriftlich, also ähm, mit dem Apple-Pencil schreiben konnte, dieser Kritzelbereich, ähm, war relativ klein und die, ähm, Schriftgrösse konnte man nicht anpassen. Und dann hat das alles sehr viel länger gedauert, als man eigentlich wollte [...].» [Interview 2, Pos. 4]

Im Vergleich zu diesem eher kritischen Feedback bezüglich der technischen Funktionalität des Tools gab es aber auch positive Rückmeldungen zur Möglichkeit der kollaborativen Zusammenarbeit. Diesbezüglich sahen die Studierenden einen grossen Mehrwert in der Nutzung des digitalen Laborjournals, wie dieses Zitat verdeutlicht:

«Mh, das finde ich ganz toll, besonders wenn ich mit einem Partner gearbeitet habe, ähm, es ist ja schon alles digital, man kann sich das entweder rübersenden oder jemand kann den Zugriff zu meinem Protokoll ja haben, wenn ich es freigebe [...].» [Interview 2, Pos. 10]

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Colabroy und Bell (2019) zur nicht-linearen Bearbeitbarkeit hoben auch die Studierenden in den Interviews positiv hervor, dass das digitale Protokollieren im Vergleich zu analogen Notizen dabei geholfen habe, Informationen strukturiert und ordentlich darzustellen. Nachträgliche Korrekturen oder Ergänzungen konnten vorgenommen werden, ohne dass die Übersichtlichkeit darunter gelitten habe. Darüber hinaus wurde es als komfortabel empfunden, nur ein mobiles Endgerät zu benötigen, statt zu jedem Versuch Stift, Kladde und Skript mitführen zu müssen.

In Bezug auf die zweite Forschungsfrage liefern die Ergebnisse erste Hinweise darauf, dass der Einsatz des digitalen Laborjournals zu signifikanten positiven Veränderungen in der Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf den Umgang mit digitalen Medien geführt hat ($t(40) = 7.841, p \leq .001, d = .29$) (vgl. Abbildung 3). Während sich vor dem Praktikum noch 59.6% der Studierenden nicht in der Lage fühlten,

Lernenden zu erklären, wie man mithilfe digitaler Laborjournale Versuche dokumentiert, sahen sich nach dem Praktikum hingegen 90.7% der Studierenden dazu in der Lage. Dieser positiven Selbsteinschätzung stehen die Angaben der Studierenden in den Interviews gegenüber, in denen sie ihre erworbenen Fähigkeiten durchaus selbstkritisch beurteilten. Auf die Frage, inwiefern sich die eigenen Fähigkeiten im Umgang mit digitalen Medien im Allgemeinen durch die Nutzung des digitalen Laborjournals im Praktikum verändert haben, äusserte ein Studierender:

«ja, also ich weiss nicht, ob meine Kompetenz da jetzt besonders gestiegen ist, also vielleicht ein kleines bisschen in diesem einen Medium, aber ich weiss nicht, ob ich das jetzt wirklich anwenden könnte auf neue Medien, die dann vielleicht nochmal andere Anwendungen haben.» [Interview 7, Pos. 36]

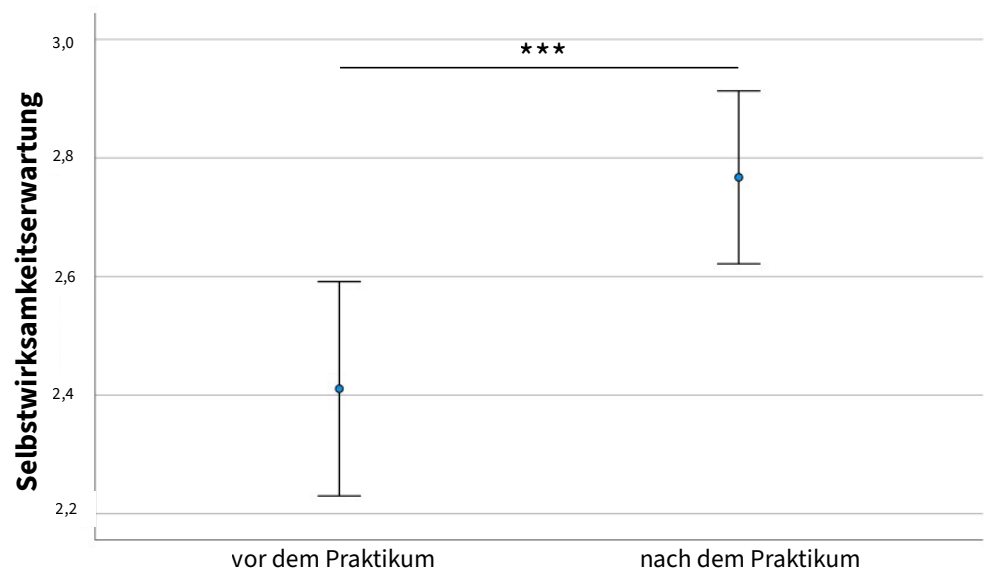


Abb. 3: Veränderung der Selbstwirksamkeitserwartung im Umgang mit digitalen Medien im Verlauf des Laborpraktikums (***) $p \leq .001$; eigene Darstellung).

Ein anderer Studierender beurteilte den eigenen Fähigkeitszuwachs hingegen positiver:

«Ich würde sagen, meine Multimediakenntnisse haben sich dadurch gebessert, dass ich halt jetzt mit verschiedenen Programmen umgehen kann [...].» [Interview 2, Pos. 40]

Die gestiegenen Selbstwirksamkeitserwartungen im Umgang mit digitalen Medien im Rahmen von Experimentierphasen und der digitalen Versuchsdokumentation sollten jedoch vorsichtig dahingehend interpretiert werden, ob sie einem objektiv messbaren Kompetenzzuwachs entsprechen. Wie bereits Krempkow et al.

(2022) anmerkten, liegt die Herausforderung bei der Erfassung von DBK mithilfe von Selbsteinschätzungsskalen darin, dass diese zwar eine valide Messung ermöglichen, jedoch den tatsächlichen Kompetenzstand nicht vollständig widerspiegeln können. Hierfür bedarf es weiterer Untersuchungen und der Entwicklung eines geeigneten Testinstruments für den Bereich der Chemie.

Die Einschätzungen der Dozierenden zum Einsatz des digitalen Laborjournals in einem Laborpraktikum liefern darüber hinaus ein heterogenes Meinungsbild. Alle Lehrenden bewerteten den Einsatz eines digitalen Laborjournals als vorteilhaft für die Dokumentation von Versuchen. Insbesondere wurden die ortsunabhängige Verfügbarkeit der Daten, die Möglichkeit kollaborativen Arbeitens und die inhaltliche Vorstrukturierung als klare Vorteile des Tools genannt. Auch die Möglichkeit, einen Versuch direkt im Laborjournal zu dokumentieren und später zur Leistungsüberprüfung bei den Lehrenden einzureichen, wurde in den Interviews als positiver Aspekt betrachtet. Dies wird zusätzlich durch die Möglichkeit unterstützt, dass «eine Lehrperson Rückmeldungen geben kann» [Interview 1, Pos. 14], was den Vorteil betont, dass Lehrende und Studierende in einem einzigen Tool sowohl die Erarbeitung als auch die Leistungsbewertung und das Feedback koordinieren können. Während die Argumente für die Nützlichkeit eines digitalen Laborjournals in allen Interviews überwiegend auf die allgemeine Nutzung digitaler Laborjournale abzielten, zeigen die Daten, dass auch die wahrgenommenen Hindernisse grösstenteils auf das spezifische Tool eLabFTW bezogen wurden. Die Arbeit mit eLabFTW wurde zum Teil als «unpraktisch» beschrieben [Interview 1, Pos. 36], insbesondere aufgrund der wenig intuitiven Benutzeroberfläche. In Bezug auf den Erwerb digitalisierungsbezogener Kompetenzen im Rahmen der digitalen Versuchsdokumentation bewerteten insbesondere die beiden Dozierenden mit umfangreichen Erfahrungen im Umgang mit digitalen Laborjournalen die Arbeit mit dem Tool eLabFTW als vorteilhaft. Die Möglichkeit zur kollaborativen Zusammenarbeit wurde hierbei als zentraler Mehrwert angesehen, insbesondere in Fällen räumlich getrennter Arbeitsplätze. Ein Dozierender äusserte sich dazu z. B. wie folgt:

«[...] wenn der Student zum Beispiel im Labor steht und sagt, irgendwie klappt das nicht, dann kann ich von hier aus gucken und sagen, okay vielleicht ist das Problem da, vielleicht ist das Problem da oder auch wenn jemand im Homeoffice ist oder mal eine längere Zeit krank ist, dann hat das auf jeden Fall kommunikative Vorteile für den Studenten selber [...].» [Interview 6, Pos. 16]

In Bezug auf die Funktion der kollaborativen Zusammenarbeit betonten die Dozierenden in den Interviews ebenfalls die Notwendigkeit, für den lernwirksamen Einsatz eines digitalen Laborjournals müssten traditionelle Kommunikationsstrukturen

im Rahmen von Laborpraktika angepasst werden. Für die prüfungsrelevante Meldung der Versuchsergebnisse bei den Lehrenden solle beispielsweise ausschliesslich das digitale Laborjournal genutzt werden.

6. Limitationen

Die vorliegende Studie weist mehrere Limitationen auf, die bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden müssen. Einerseits beschränkt sich die Untersuchung auf eine relativ kleine Stichprobe von 48 Chemie-Lehramtsstudierenden und sechs Dozierenden einer Universität, was die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Kontexte oder Fachbereiche einschränkt. Zudem handelte es sich für die Studierenden um das erste fachdidaktische Laborpraktikum, sodass mangelnde Vorerfahrungen möglicherweise das Nutzungserlebnis des digitalen Laborjournals beeinflusst haben. Andererseits wurde als digitales Tool ausschliesslich eLabFTW verwendet, das in den Interviews mehrfach als wenig intuitiv beschrieben wurde. Die Ergebnisse könnten daher durch die spezifischen Eigenschaften dieses Tools verzerrt sein. Eine Untersuchung mit alternativen digitalen Laborjournals wäre notwendig, um generalisierbare Aussagen zu treffen. Darüber hinaus basiert die Erhebung digitalisierungsbezogener Kompetenzen im Rahmen der digitalen Versuchsdokumentation ausschliesslich auf Selbsteinschätzungen der Studierenden, die bekanntermassen subjektiv und nicht immer präzise sind (Mertens & Gräsel, 2018). Zur Validierung der Ergebnisse wäre der Einsatz objektiverer Messinstrumente erforderlich. Abschliessend wurde die Studie in einem relativ kurzen Zeitraum von 15 Wochen durchgeführt, was möglicherweise nicht ausreicht, um tiefgreifende Veränderungen in den fachspezifischen und digitalisierungsbezogenen Kompetenzen der Studierenden festzustellen. Bei der Untersuchung handelte es sich zudem um einen Feldversuch, in dessen Rahmen nicht kontrolliert wurde, welche weiteren Lernerfahrungen mit digitalen Medien die Studierenden parallel in anderen Lehrveranstaltungen gemacht haben könnten. Eine längerfristige Untersuchung, in der Gelingensbedingungen für die Implementierung eines digitalen Laborjournals systematisch analysiert und potenzielle Einflussfaktoren auf den Kompetenzzuwachs – wie das Vorwissen oder die technische Ausstattung der Studierenden – kontrolliert würden, könnte tiefere Einblicke darüber liefern, unter welchen Voraussetzungen der Einsatz eines digitalen Laborjournals mit einer Förderung fachspezifischer und digitalisierungsbezogener Kompetenz einhergeht.

7. Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse der Studie deuten darauf hin, dass der Einsatz eines digitalen Laborjournals in einem Praktikum für Lehramtsstudierende ein vielversprechender Ansatz zur Förderung fachspezifischer Kompetenzen beim Protokollieren sein sowie zur Steigerung der Selbstwirksamkeit im Umgang mit digitalen Medien beitragen kann. Am Ende des Praktikums waren die Studierenden in der Lage, gut strukturierte Protokolle zu erstellen. Allerdings blieben weiterhin Herausforderungen bestehen, insbesondere hinsichtlich der Trennung von Beobachtung und Deutung, was auf weiteren Unterstützungsbedarf in diesem Bereich hinweist. Aus Sicht der Studierenden stellen die ortsunabhängige Verfügbarkeit der Daten und die Möglichkeit zur kollaborativen Zusammenarbeit nützliche Funktionen des digitalen Laborjournals dar. Gleichwohl wurden technische Barrieren und eine eingeschränkte Benutzerfreundlichkeit des Tools kritisiert, die die tatsächliche Nutzung und den Mehrwert des digitalen Laborjournals merklich begrenzen. Es bedarf weiterführender Massnahmen, um das Potenzial digitaler Laborjournale zur Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen vollständig auszuschöpfen. Auch die Dozierenden bestätigten die Nützlichkeit des digitalen Laborjournals, insbesondere im Hinblick auf die Kommunikation mit den Studierenden. Dennoch wurden auch von ihnen die Bedienbarkeit des Tools kritisch beurteilt. Ansatzpunkte zur Verbesserung des Medieneinsatzes liegen neben notwendigen technischen Weiterentwicklungen des Tools insbesondere in der didaktischen und methodischen Gestaltung von Laborpraktika. Der gesamte Dokumentationsprozess wie auch die Organisation der Praktika sollten gezielt auf die Nutzung eines digitalen Laborjournals abgestimmt werden, und die Lehrenden bedürfen einer angemessenen Schulung in dessen Anwendung.

Anmerkung: Die im Rahmen der Studie verwendeten Interviewleitfäden und Kategoriensysteme können auf Nachfrage zur Verfügung gestellt werden.

Literatur

- Aoyagi, Daisuke. 2018. «No-cost Implementation of Electronic Lab Notebooks in an Intro Engineering Design Course». Paper presented at 2018 ASEE Annual Conference & Exposition, Salt Lake City, Utah. <https://doi.org/10.18260/1-2--30841>.
- Barr, Chris. 2018. «Board 36: Work in Progress: Assessment of Google Docs and Drive for Enhanced Communication and Data Dissemination in a Unit Operations Laboratory». Paper presented at 2018 ASEE Annual Conference & Exposition, Salt Lake City, Utah. <https://doi.org/10.18260/1-2--30017>.
- Bayrak, Cana. 2020. *Vom Experiment zum Protokoll: Versuchsprotokolle schreiben lernen*. Münster: Waxmann.

- Becker, Sebastian, Till Bruckermann, Alexander Finger, Johannes Huwer, Erik Kremser, Monique Meier, Lars-Jochen Thoms, Christoph Thyssen, und Lena von Kotzebue. 2020. «Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften-DiKoLAN». In *Digitale Basiskompetenzen- Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften*, herausgegeben von Sebastian Becker, Jenny Meßinger-Koppelt, Christoph Thyssen, 14–43. Hamburg: Joachim Herz Stiftung.
- Beißwenger, Michael, Swantje Borukhovich-Weis, Torsten Brinda, Björn Bulizek, Veronika Burovikhina, Katharina Cyra, Inga Gryl, und David Tobinski. 2020. «Ein integratives Modell digitalisierungsbezogener Kompetenzen für die Lehramtsausbildung». In *Digitale Innovationen und Kompetenzen in der Lehramtsausbildung*, herausgegeben von Beißwenger, Michael, Björn Bulizek, Inga Gryl, und Florian Schacht, 43–56. Duisburg: Universitätsverlag Rhein-Ruhr.
- Bewersdorff, Arne, Kathrin Seßler, Armin Baur, Enkelejda Kasneci, und Claudia Nerdel. 2023. «Assessing student errors in experimentation using artificial intelligence and large language models: a comparative study with human raters». *Computers and Education: Artificial Intelligence* 5:100177. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100177>
- Bird, Colin L., Cerys Willoughby, und Jeremy G. Frey. 2013. «Laboratory Notebooks in the Digital Era: The Role of ELNs in Record Keeping for Chemistry and Other Sciences». *Chemical Society reviews* 42 (20): 8157–75. <https://doi.org/10.1039/c3cs60122f>.
- Bromfield Lee, Deborah. 2018. «Implementation and Student Perceptions on Google Docs as an Electronic Laboratory Notebook in Organic Chemistry». *J. Chem. Educ.* 95 (7): 1102–11. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00518>.
- Cardenas, Mary. 2014. «An Implementation of Electronic Laboratory Notebooks (ELN) Using a Learning Management System Platform in an Undergraduate Experimental Engineering Course». Paper presented at 2014 ASEE Annual Conference & Exposition, Indianapolis, Indiana. <https://doi.org/10.18260/1-2--20055>.
- Colabroy, Keri, und Jessica K. Bell. 2019. «Lab eNotebooks». In *Biochemistry Education: From Theory to Practice*. Bd. 1337, herausgegeben von Thomas J. Bussey, Kimberly Linenberger Cortes und Rodney C. Austin, 173–95 1337. Washington, DC: American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/bk-2019-1337.ch008>.
- Cronbach, Lee J. 1951. «Coefficient alpha and the internal structure of tests». *Psychometrika* 16 (3): 297–334.
- Drossel, Kerstin, Birgit Eickelmann, Heike Schaumburg, und Amelie Labusch. 2019. «Nutzung digitaler Medien und Prädiktoren aus der Perspektive der Lehrerinnen und Lehrer im internationalen Vergleich». <https://doi.org/10.25656/01:18325>.
- Eickelmann, Birgit, Wilfried Bos, Julia Gerick, Frank Goldhammer, Heike Schaumburg, Knut Schwippert, Martin Senkbeil, und Jan Vahrenhold. 2019. «ICILS 2018 #Deutschland: Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking». <https://doi.org/10.25656/01:18166>.

- Friebertshäuser, Barbara, und Antje Langer. 2013. «Interviewformen und Interviewpraxis» In *Handbuch Qualitativer Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft*, herausgegeben von Barbara Friebertshäuser, Antje Langer und Annedore Prengel, 437–55. Weinheim, Basel: Beltz Juventa.
- Ghannam, Rami, Sajjad Hussain, Hua Fan, und Miguel Angel Conde Gonzalez. 2021. «Supporting Team Based Learning Using Electronic Laboratory Notebooks: Perspectives From Transnational Students». *IEEE Access* 9:43241–52. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3065611>.
- Groß, Katharina. 2013. *Experimente Alternativ Dokumentieren: Eine Qualitative Studie Zur Förderung der Diagnose- und Differenzierungskompetenz in der Chemielehrerbildung*. Berlin: Logos.
- Große-Heilmann, Rike, Josef Riese, Jan-Philipp Burde, Thomas Schubatzky, und David Weiler. 2022. «Fostering Pre-Service Physics Teachers' Pedagogical Content Knowledge Regarding Digital Media». *Education Sciences* 12 (7): 440. <https://doi.org/10.3390/educsci12070440>.
- Koehler, Matthew J., Punya Mishra, und William Cain. 2013. «What Is Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)?» *Journal of Education* 193 (3): 13–19.
- Kotzebue, Lena von, Monique Meier, Alexander Finger, Erik Kremser, Johannes Huwer, Lars-Jochen Thoms, Sebastian Becker, Till Bruckermann, und Christoph Thyssen. 2021. «The Framework DiKoLAN (Digital Competencies for Teaching in Science Education) as Basis for the Self-Assessment Tool DiKoLAN-Grid». *Education Sciences* 11 (12): 775. <https://doi.org/10.3390/educsci11120775>.
- Krempkow, René, Maria Gäde, Alexander Hönsch, und Carlos Boshert. 2022. «Digitale Kompetenzen von Studierenden auf dem Prüfstand: Analysen zur Zuverlässigkeit der Erfassung digitaler Kompetenzen». *Qualität in der Wissenschaft (QIW)* 1: 20–28.
- Kuckartz, Udo, und Stefan Rädiker. 2024. *Fokussierte Interviewanalyse mit MAXQDA*. Wiesbaden: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-40212-9>.
- Kuczynski, Jessica A., und E. S. Araj. 2016. «A comparison of paper vs. electronic (portfolio) notebooks for engineering design projects». <https://peer.asee.org/26287>.
- Kultusministerkonferenz. 2016. «Bildung in der digitalen Welt: Strategie der Kultusministerkonferenz». https://www.kmk.org/fileadmin/pdf/PresseUndAktuelles/2018/Digitalstrategie_2017_mit_Weiterbildung.pdf.
- Kultusministerkonferenz. 2020. *Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife: Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.06.2020*. Köln: Carl Link.
- Kultusministerkonferenz. 2024. *Weiterentwickelte Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Chemie (MSA): Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2024 i.d.F. vom 13.06.2024*. https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2024/2024_06_13-WeBiS_Chemie_MSA.pdf.
- Maxton-Küchenmeister, Jörg, und Jenny Meßinger-Koppelt, Hrsg. 2014. *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht*. Naturwissenschaften. Hamburg: Joachim-Herz-Stiftung.

- Mertens, Sarah, und Cornelia Gräsel. 2018. «Entwicklungsbereiche bildungswissenschaftlicher Kompetenzen von Lehramtsstudierenden im Praxissemester». *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* 21: 1109-1133. <https://doi.org/10.1007/s11618-018-0825-z>
- Meßinger-Koppelt, Jenny, Sascha Schanze, und Jorge Groß, Hrsg. 2017. *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen: Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer*. Naturwissenschaften. Hamburg: Joachim Herz Stiftung.
- Prosser, Eric, und John Kromer. 2023. «Electronic Research Notebooks in the Educational Setting: A Scoping Review». *J Sci Educ Technol* 32 (5): 697-709. <https://doi.org/10.1007/s10956-023-10065-w>.
- Puccinelli, J. P., und A. J. Nimunkar. 2014. «An experience with electronic laboratory notebooks in real-world, client-based BME design courses». Paper presented at ASEE Annual Conference & Exposition: Design in the Curriculum. <https://peer.asee.org/an-experience-with-electronic-laboratory-notebooks-in-real-world-client-based-bme-design-courses.pdf>.
- Rautenstrauch, Hanne. 2017. *Erhebung des (Fach-)Sprachstandes bei Lehramtsstudierenden Im Kontext des Faches Chemie*. Berlin: Logos.
- Russek, Adrian, und Katrin Sommer. 2020. «Protokolle – Vielfalt statt Einfalt: Ein Beitrag zum Kompetenzbereich Kommunikation». *Unterricht Chemie* 180 (31): 2-8.
- Schmid, Ulrich, Lutz Goertz, Sabine Radomski, Sabrina Thom, Julia Behrens, und Bertelsmann Stiftung. 2017. «Monitor Digitale Bildung: Die Hochschulen im digitalen Zeitalter». Unveröff. Manuskript, zuletzt geprüft am 11. September 2024. https://www.bertelsmannstiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/DigiMonitor_Hochschulen_final.pdf.
- van Ackeren, Isabell, Stefan Aufenanger, Birgit Eikermann, Steffen Friedrich, Rudolf Kammerl, Julia Knopf, Kerstin Mayrberger, Heike Scheika, Katharina Scheiter, und Mandy Schiefner-Rohs. 2019. «Digitalisierung in der Lehrerbildung: Herausforderungen, Entwicklungsfelder und Förderung von Gesamtkonzepten». *DDS-Die Deutsche Schule* 111 (1): 103-19. <https://doi.org/10.31244/dds.2019.01.10>.
- van Dyke, Aaron R., und Jillian Smith-Carpenter. 2017. «Bring Your Own Device: A Digital Notebook for Undergraduate Biochemistry Laboratory Using a Free, Cross-Platform Application». *J. Chem. Educ.* 94 (5): 656-61. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00622>.
- Vogelsang, Christoph, Alexander Finger, Daniel Laumann, und Christoph Thyssen. 2019. «Vorerfahrungen, Einstellungen und motivationale Orientierungen als mögliche Einflussfaktoren auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht». *ZfDN* 25 (1): 115-29. <https://doi.org/10.1007/s40573-019-00095-6>.
- Wang, Wei, Denise Schmidt-Crawford, und Yi Jin. 2018. «Preservice Teachers' TPACK Development: A Review of Literature». *Journal of Digital Learning in Teacher Education* 34 (4): 234-58. <https://doi.org/10.1080/21532974.2018.1498039>.
- Wang, Rose, und Dorottya Demszky. 2023. «Is ChatGPT a Good Teacher Coach? Measuring Zero-Shot Performance for Scoring and Providing Actionable Insights on Classroom Instruction». *arXiv preprint arXiv:2306.03090*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.03090>.

- Weibel, Jason D. 2016. «Working toward a Paperless Undergraduate Physical Chemistry Teaching Laboratory». *J. Chem. Educ.* 93 (4): 781–84. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00585>.
- Wirtz, Markus, und Franz Caspar. 2002. *Beurteilerübereinstimmung und Beurteilerreliabilität*. Göttingen: Hogrefe.
- Yoon, Su-Youn, Eva Miszoglad, und Lisa R. Pierce. 2023. «Evaluation of ChatGPT feedback on ELL writers' coherence and cohesion». *arXiv preprint* arXiv:2310.06505. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.06505>.