

Laborpraktika auf Distanz

Ansätze in den Naturwissenschaften

Anna B. Bauer, Marc D. Sacher, Sebastian Habig und Sabine Fechner

Zusammenfassung

Laborpraktika stellen in naturwissenschaftlichen Fächern einen elementaren Bestandteil des Curriculums dar. Die Studierenden erlernen in diesem Lehr-Lern-Format das universitäre Experimentieren. Für eine Steigerung der Lernwirksamkeit dieses Lehrveranstaltungstyps können unter anderem die Potentiale der fortschreitenden Digitalisierung genutzt werden, um das bewährte Ausbildungsformat anzureichern.

In diesem Beitrag werden zwei Beispiele vorgestellt, wie konventionelle Laborpraktika mit E-Learning-Angeboten ergänzt und deren Vorteile für das praktische Arbeiten im Labor genutzt werden können. Weiterhin werden Potentiale zur Weiterentwicklung unter Nutzung von Augmented Reality beziehungsweise Virtual Reality vorgestellt.

Schlüsselwörter

Laborpraktikum, Naturwissenschaften, E-Learning, Augmented Reality

Lab courses at distance – approaches in STEM

Keywords

Laboratory course, STEM, E-Learning, augmented reality

1 Einleitung

Laborpraktika sind elementarer Bestandteil naturwissenschaftlicher und technischer Studiengänge. Die Studierenden erlernen im Rahmen verschiedener Laborpraktika experimentelle Fähigkeiten und Fertigkeiten, indem sie selbst Experimente zu verschiedenen Themengebieten des Fachs durchführen und die aufgenommenen Messdaten kritisch diskutieren.

In den vergangenen drei Jahrzehnten ist deutlich geworden, dass zwischen den intendierten Lernzielen der Lehrenden und dem tatsächlichen Lernerfolg der Studieren-

den im Rahmen von Laborpraktika eine Diskrepanz vorliegt (Elert 2019). Diese ist auf die konkrete Ausgestaltung der Lehr-Lern-Umgebung zurückzuführen.

Als Reaktion auf diese Erkenntnisse und auf die neuen Anforderungen an universitäre Lehre durch den Bologna-Prozess werden die didaktischen Konzepte mit dem Ziel einer höheren Lernwirksamkeit weiterentwickelt. Konzepte auf Basis der didaktischen Rekonstruktion (Theyßen 2005) adressieren die Inhalte und Methoden in Bezug auf das Vorwissen und die Motivation der Studierenden. In kompetenzorientierten Ansätzen wird ein schrittweiser Kompetenzerwerb mit Fokus auf die aktive Beteiligung der Studierenden beim Lernprozess gelegt (Sacher und Bauer 2020).

Inzwischen werden bei der (Neu-)Gestaltung der Lehr-Lern-Umgebung der Laborpraktika verstärkt die Potentiale der Digitalisierung genutzt. So sind E-Learning-Ansätze entstanden, die entweder nach dem Blended Learning-Prinzip in die Präsenzlehre integriert werden oder ein vollständig virtuelles Laborpraktikum ermöglichen.

An der Universität Paderborn (UPB) sind als Reaktion auf die Corona-Pandemie in der Physik zwei unterschiedliche E-Learning-Ansätze für Laborpraktika entstanden. Im Rahmen der Evaluation werden die Potentiale und Grenzen der unterschiedlichen E-Learning-Bestandteile vor dem Hintergrund aktueller Entwicklungen digitaler Experimentierumgebungen sowie der Lernwirksamkeit analysiert. Basierend auf den Erkenntnissen werden Empfehlungen zur Weiterentwicklung von Laborpraktika in den Naturwissenschaften abgeleitet.

2 Ziele und (didaktische) Struktur von Laborpraktika

Ziele des Lehrformats Laborpraktikum sind das Heranführen an die Erkenntnismethodik des naturwissenschaftlichen Experimentierens und der Erwerb experimenteller Kompetenz. Diese umfasst alle Wissensbestände, Fähigkeiten und Fertigkeiten, die für die Planung, den Aufbau und die Durchführung von Experimenten sowie für das Auswerten und Interpretieren experimentell gewonnener Ergebnisse und für das Ableiten von Erkenntnissen notwendig sind (Empfehlung der Konferenz der Fachbereiche Physik 2010). Fokussiert wird bei der Vermittlung der Inhalte, dass der Prozess des Experimentierens durch einen hohen Grad an Reflexion des eigenen Vorgehens und der erhaltenen Erkenntnisse vor dem Hintergrund der jeweiligen Fragestellung geprägt ist (Holmes und Wieman 2018).

Neben dem Erwerb experimenteller Kompetenz stellen auch die Verknüpfung und Vertiefung fachmethodischer Fähigkeiten mit dem in Vorlesungen und Übungen erworbenen Wissen Ziele von Laborpraktika dar. Weiterhin sollen sie Fähigkeiten im Bereich der schriftlichen und mündlichen Weitergabe beziehungsweise Präsentation von wissenschaftlichen Erkenntnissen sowie verschiedene soziale und selbstregulative Kompetenzen, wie zum Beispiel das kooperative Arbeiten, erwerben (Empfehlung der Konferenz der Fachbereiche Physik 2010; Präsidium der Universität Paderborn 2017a, 2017b).

Traditionell folgen Laborpraktika einer typischen Organisationsstruktur: Pro Semester bearbeiten die Studierenden im Rahmen von Praktikumsversuchen experimentelle Fragestellungen zu unterschiedlichen Phänomenen. Die Inhalte der einzelnen Laborpraktika sind nach fachsystematischen Themen (zum Beispiel Mechanik, Anorga-

nische Chemie) strukturiert. Die Struktur eines typischen Experimentiertages gliedert sich grob in eine Vorbereitung des Experimentes, die Durchführung und die Auswertung. Die konkrete Ausgestaltung der einzelnen Phasen kann je nach Laborpraktikum und den intendierten Learning Outcomes variieren.

Ein beispielhafter Praktikumsversuch könnte folgendermaßen ausgestaltet werden: Die Studierenden bereiten im Selbststudium anhand einer Versuchsanleitung, die neben den inhaltlichen Schwerpunkten auch die methodischen Ansätze und die Aufgabenstellung umfasst, das Experiment vor. An dem Praktikumstag findet eine Eingangsprüfung, die durch den Betreuenden abgenommen wird, zu dem erforderlichen Fach- und Methodenwissen und gegebenenfalls Sicherheitsaspekten statt. Wenn die Studierenden nachweisen konnten, dass sie das notwendige Wissen für das sichere und erfolgreiche Absolvieren des Experimentes besitzen, führen sie dieses meistens in Teamarbeit durch. Die Betreuenden begleiten die Studierenden dabei und achten besonders auf die Einhaltung der Laborsicherheit. Im Nachgang wird ein Bericht zu dem Experiment verfasst, in dem die Studierenden die Auswertung und Interpretation ihrer Messdaten darstellen. Der Bericht wird von den Betreuenden mit ausführlichen Hilfestellungen versehen und eine Überarbeitung des Textes erwartet. Auf Basis der Eingangsprüfungen und der optimierten Berichte oder auf Basis einer Prüfung zum Semesterende wird eine Note für die Lehrveranstaltung gebildet.

3 Rahmenbedingungen und Ansätze für die digitale Weiterentwicklung von Laborpraktika

Bei der Entwicklung und Implementierung neuer (digitaler) Lehr-Lern-Elemente müssen verschiedene Herausforderungen bewältigt und Rahmenbedingungen bedacht werden, die sowohl die Gestaltung der einzelnen Lehr-Lern-Gelegenheiten als auch die Ausrichtung des Gesamtkonzepts vor dem Hintergrund der Einbettung in den Studiengang betreffen. Hinzu kommt oftmals, dass Studierende unterschiedlicher Studiengänge (Fachwissenschaft, Lehramt, Ingenieurwissenschaften) die Veranstaltung gemeinsam besuchen, was zu hohen Teilnehmendenzahlen und hohem Betreuungsaufwand führt. Zusätzlich werden die Lehrenden je nach intendierten Lernzielen, die von der Verankerung der Veranstaltung im Studienverlauf abhängen, mit heterogenen Vorwissensbeständen, Fähigkeitsniveaus sowie Motivationslagen konfrontiert. Für die Studierenden stellt die Verknüpfung der fachwissenschaftlichen Konzepte mit den Experimentiermaterialien auf der Basis von sicherheitstechnischen Überlegungen und experimentellen Fertigkeiten in der Handhabung der Geräte eine große Herausforderung dar. Dieser komplexe Anspruch führt oft durch einen festgesetzten Zeitrahmen zu Überforderung und Demotivierung (Rollnick, Zwane, Staskun, Lotz und Green 2001; Schwedler 2017). Studierende bereiten sich häufig nicht adäquat vor, was dazu führt, dass sie Versuche rezeptartig abarbeiten, ohne sich intensiv mit den zugrundeliegenden Fachinhalten und Erkenntnismethoden zu beschäftigen (Bennett und O'Neale 1998; Elert 2019).

Die Digitalisierung bietet die Möglichkeit, diesen Herausforderungen gezielt zu begegnen. Die Integration von E-Learning-Angeboten in die einzelnen Phasen des Expe-

rimentierens kann die Lernwirksamkeit der Phasen durch die Reduktion der kognitiven Belastung (*cognitive load*) (Chandler und Sweller 1991), durch die Darstellung der Inhalte anhand unterschiedlicher Repräsentationsformen oder durch die Ermöglichung selbstgesteuerten Lernens erhöhen. Weiterhin können sich die Studierenden ohne Zeit- und Leistungsdruck mit den Inhalten auseinandersetzen. Im Bereich der Laborpraktika existieren mittlerweile diverse Ansätze für die Digitalisierung der gesamten Lehrveranstaltung oder auch für einzelne Phasen der Praktikumsversuche.

Theyßen (1999) entwickelte ein adressatenspezifisches Laborpraktikum für Medizinerinnen und Mediziner, das vollständig digitalisiert wurde. In dieser virtuellen Lernumgebung sind Fachwissenselemente, Simulationen sowie diverse IBEs (interaktive Bildschirmexperimente) enthalten, die die Studierenden selbstständig unter Berücksichtigung ihrer individuellen Voraussetzungen bearbeiten können (Theyßen, Struzyna, Mylott und Widenhorn 2016). Dieser Ansatz ist mittlerweile an diverse andere Universitäten (zum Beispiel Portland State University, USA) sowie auf andere Adressat*innen (Ernährungswissenschaften, Nagel und Wolny 2013; Chemie und Geowissenschaften, Fricke 2018) transferiert worden.

Remote-Control-Experimente stellen einen zweiten Ansatz für die vollständige Digitalisierung von Laborpraktika dar. Es wurden experimentelle Aufbauten realisiert, die von den Studierenden vollständig in Abhängigkeit der individuellen Lernvoraussetzungen über das Internet bedient werden können (Jahnke, Terkowsky, Pleul und Tekkaya 2010).

Erklärvideos stellen ein typisches Beispiel für E-Learning in der Vorbereitungsphase der Praktikumsversuche dar. Sie können von den Studierenden individuell bei der Erarbeitung des Fachwissens oder zum Verständnis der Auswertungsmethodik genutzt werden (Burdinski 2018; Nagel und Oppermann 2018).

Simulationen und interaktive Bildschirmexperimente ermöglichen es, dass die Studierenden sich im Vorfeld des Praktikumsversuchs tiefergehend und mit Hilfe unterschiedlicher Repräsentationsformen mit komplexen Phänomenen auseinandersetzen können (Fraß, Weyers und Heinke 2014; Kreiten, Bresges und Schadschneider 2010). Einen weiteren Ansatz stellen virtuelle Labore dar. Diese sind als multimediale, virtuelle Realität konzipiert und ermöglichen es, sich im Vorfeld mit den Handlungsabläufen, die für den Praktikumsversuch notwendig sind, vertraut zu machen (Schlattmann 2004).

4 Beispiele für die Gestaltung von Laborpraktika an der Universität Paderborn mit E-Learning-Anteil

Auch an der Universität Paderborn sind in den vergangenen Jahren E-Learning-Elemente in Laborpraktika implementiert worden (Bauer und Sacher 2018; Varnai und Reinhold 2018). Aufgrund der Einschränkungen des universitären Betriebs durch die Corona-Pandemie sind kurzfristig zwei Laborpraktika in E-Learning-Konzepte mit Fokus auf die digitale Realisierung der traditionellen Aspekte übertragen und anschließend evaluiert worden. Bei der Implementierung sind konzeptionell unterschiedliche Realisierungen aufgrund der intendierten Lernziele gewählt worden. Ziel

ist, anhand der Erkenntnisse Potentiale und Grenzen der digitalen Weiterentwicklung zu identifizieren. Für das Laborpraktikum B für Physiker*innen ist der Integrationsansatz (Blended Learning) implementiert worden, da der elaborierte Erwerb experimenteller Fähigkeiten anhand komplexer Experimente im Vordergrund steht: Virtuelle Lehre und Präsenzlehre sind in gleichen Anteilen miteinander verschränkt. Dieses Laborpraktikum, im Folgenden Hybrid-Lab genannt, ist Teil des kompetenzorientierten Paderborner Physik Praktikums. Die Lernziele wurden nicht angepasst. Vielmehr wurden Simulationsaufgaben und eine neue Betreuungsstruktur und Form der Ergebnispräsentation entwickelt, die eine virtuelle Auseinandersetzung mit den zu lernenden Inhalten ermöglichen sollen.

Für das physikalische Laborpraktikum für Nebenfachstudierende (Chemie, Chemieingenieurwesen) ist das »Virtualisierungskonzept« (reines Onlineangebot) (Bachmann, Dittler, Lehmann, Glatz und Rösel 2002), im Folgenden Home-Lab genannt, angelegt worden, da die Studierenden als vorrangige Lernziele einen Einblick in die experimentelle Methodik erhalten sowie eine Vertiefung der in den Vorlesungen thematisierten physikalischen Phänomene erreichen sollen. Dazu wurden Experimente entwickelt, die die Studierenden zu Hause absolvieren können. Die Betreuung erfolgt nach Bedarf. Damit die Studierenden trotz geringerer Betreuungsintensität die Experimente bewältigen können, ist die inhaltliche Komplexität reduziert worden.

4.1 Laborpraktikum für den Studiengang Physik – Hybrid-Lab

Der hier beschriebene Teil¹ des viersemestrigen Paderborner Physik Praktikums findet im zweiten Fachsemester des Physik Bachelorstudiums statt und beinhaltet Experimente zum Inhaltsfeld Elektrodynamik. Standardmäßig besteht dieses Praktikum aus vier Experimentiereinheiten à zweimal vier Stunden sowie einem vierständigen Workshop zum Erlernen des Löten von Schaltungen. Die Vorbereitungsmaterialien zu den Experimentiereinheiten, bestehend aus den Lernzielen der Versuche, Einführungstexten zu den Inhalten, Erklärvideos, Simulationsaufgaben sowie den Feedbackkriterien, werden über ein interaktives MediaWiki angeboten.

Um eine Balance zwischen einer selbstständigen Beschäftigung mit komplexen Geräten und Apparaturen auf universitärem Niveau und einer intensiven Auseinandersetzung mit den experimentellen Grundlagen zu erreichen, wurden zwei (von vier) Experimentiereinheiten virtualisiert und durch Simulationsaufgaben ersetzt (Abb. 1), bei denen die Studierenden an Gleich- und Wechselstromkreise herangeführt werden sollen. Hierzu wird die kostenlos verfügbare Simulationssoftware für elektrische Schaltungen LTSpice (Analog Devices 2020) genutzt.

Die zugehörigen Aufgaben sind so aufbereitet, dass die Studierenden die Inhalte selbstständig anhand asynchron verfügbarer Materialien vorbereiten können und sie schrittweise bei der Programmierung der Simulation einer elektrischen Schaltung begleitet, bei der Durchführung des Experiments angeleitet und zum Analysieren der Er-

¹ Eine ausführliche Darstellung von Teil B des Paderborner Physik Praktikums kann in Bauer und Sacher (2018) nachgelesen werden.

gebnisse sowie zum Vergleichen mit einer realen Schaltung angeregt werden. Zusätzlich erhalten sie Erklärvideos, die sie beim Umgang mit LTSpice unterstützen.

Abbildung 1: Darstellung der Lehr-Lern-Umgebung der virtuellen Phase des Hybrid-Labs. Dieser schließt sich ein Workshop zum Löten sowie ein Experiment zum Inhalt »Astabile Kippstufe« in Präsenz an

	Experimentiereinheit I: Gleichstromkreise	Experimentiereinheit II: Brückengleichrichter
Aufgabe	Beantwortung physikalischer Fragestellungen über Rechnersimulationen statt realer experimenteller Realisierungen	
Arbeitsweise	Asynchron	Synchron
Arbeitsschritt	Einstieg in die Simulation	Programmieren & Auswerten der Simulationsergebnisse Virtuelles Coaching zu Rückfragen
Sozialform	Einzelarbeit im Selbststudium	Einzelarbeit und/oder Treffen im Zweierteam Gruppendiskussion: drei Zweierteams mit Betreuer
Material & Betreuung	Wiki mit Texten und Erklärvideos, Betreuung auf Anfrage per E-Mail	Zwei Treffen pro Experimentiereinheit
bewertete Leistung	ein Ergebnisbericht pro Zweierteam pro Experimentiereinheit	

Eine Woche vor der Abgabe des Berichts treffen sich jeweils drei studentische Zweierteams zusammen mit den Betreuenden, diskutieren die Inhalte und stellen Fragen. Im Anschluss verfassen die Studierenden in Teamarbeit einen Bericht zu den Simulationsergebnissen, die die Betreuenden begutachten und mit differenzierterem Feedback an die Studierenden zurückgeben. Im Anschluss stellen die Studierenden eine kurze Präsentation mit ihren Erkenntnissen und unter Beachtung der Anmerkungen der Betreuenden zusammen, stellen diese virtuell ihren Betreuenden vor und diskutieren die Ergebnisse erneut. Auch für diese Präsentation erhalten die Studierenden ein individuelles Feedback.

4.2 Laborpraktikum für Nebenfachstudierende – Home-Lab

Das physikalische Laborpraktikum für Nebenfachstudierende (Chemiker*innen und Chemieingenieur*innen) findet im zweiten Fachsemester nach Abschluss der Physikvorlesungen statt. Die Studierenden durchlaufen zwölf Experimente in Dreiergruppen zu grundlegenden physikalischen Themengebieten.

Als Blended Learning-Konzept wurde eine vollständig asynchrone Realisierung im Home-Lab gewählt (Abb. 2). Dazu war es notwendig, neue Experimente zu entwickeln, die die Studierenden zu Hause bewältigen und sicher durchführen können (Abb. 3): Die Studierenden greifen dabei auf leihweise zur Verfügung gestellte Materialien (zum Beispiel Messzylinder) zurück, ergänzt um Haushaltsgegenstände (zum Beispiel Kühlenschrank) sowie um die Handy-App *phyphox* (Stampfer, Heinke und Staacks 2020) als

Messwerkzeug und Analysegerät. Die Begleitung des Experimentierens durch die Betreuenden erfolgt nur nach Bedarf der Studierenden in Onlinemeetings.

Abbildung 2: Darstellung der Lehr-Lernumgebung des Home-Labs für Nebenfachstudierende

Umfang	12 Experimentiereinheiten	
Aufgabe	Beantwortung physikalischer Fragestellungen über zu Hause realisierbare Experimente	
Arbeitsweise	Asynchron	
Arbeitsschritt	Einstieg in das Experiment	Durchführung & Auswertung des Experimentes
Sozialform	Einzelarbeit im Selbststudium	Treffen im Dreiteam
Material & Betreuung	Videovorlesung, Wiki mit Kochrezeptanleitung, Betreuung auf Anfrage per E-Mail	
bewertete Leistung	ein Ergebnisbericht pro Dreiteam pro Experimentiereinheit	

Abbildung 3: Ausschnitt aus der Anleitung zu einem fortgeschrittenen Home-Lab-Experiment

	Aufbau und Materialien: Aus einem Blatt Papier und einer Schachtel wird eine Rampe zur Beschleunigung einer Münze gebaut. Diese trifft nach der Beschleunigung auf eine zweite Münze, die Targetmünze. Ein weiteres Blatt am Fuß der Rampe mit aufgezeichnetem Koordinatensystem dient zur Markierung und Vermessung von Start- und Endpunkten der Münzen.
Durchführung: 1. Festlegen und Markieren der Münzposition auf der Startrampe. 2. Testen und Markieren der Richtung der beschleunigten Münze ohne Kollision. Prozedur so anpassen, dass die Bewegung der Münze möglichst reproduzierbar erfolgt (Messreihe aufnehmen). 3. Festlegen und Markieren der Position der Targetmünze. 4. Starten der Münze und Markieren der Münzpositionen nach der Kollision. 5. Vermessen der Münzpositionen, der Münzen selbst und der Höhe der Beschleunigungsstrecke. 6. Das Experiment soll jeweils dreimal wiederholt und für 10 unterschiedliche Münzkombinationen durchgeführt werden.	

Die Aneignung der für das Experimentieren wesentlichen Grundlagen erfolgt über eine fünfteilige Videovorlesung. Zwei inhaltliche und von der Komplexität der Durchführung sehr einfache Experimente mit ausführlichen kochrezeptartigen Anleitungen führen die Studierenden an das wissenschaftliche Experimentieren heran und legen

die Grundlagen für die weiteren Experimente auf höherem Komplexitätsniveau. Experimentieranleitungen sowie Hilfestellungen (zum Beispiel zum Verfassen der Laborberichte) werden über ein MediaWiki verfügbar gemacht.

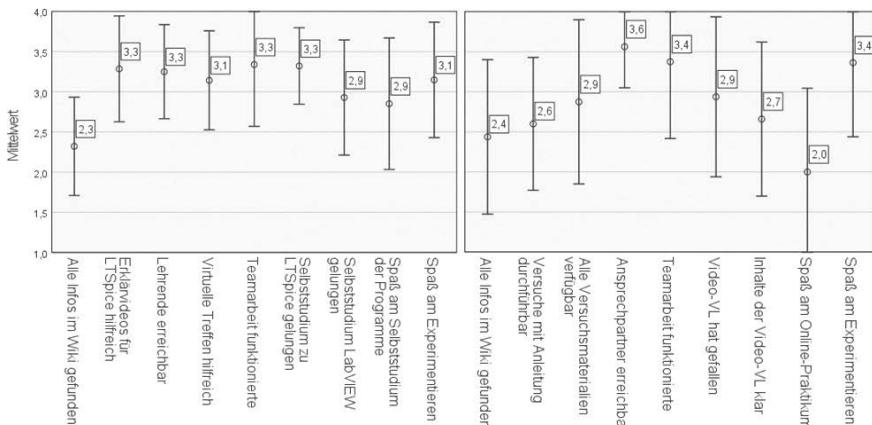
Die Studierenden filmen sich beim Experimentieren, damit die Betreuenden ihr Vorgehen nachvollziehen und gegebenenfalls nicht plausible Messwerte einschätzen können. Die Studierenden erhalten für die im Film gezeigten experimentellen Handlungen und für den Bericht ein differenziertes Feedback.

4.3 Evaluationsergebnisse

Die implementierten E-Learning-Ansätze sind mit Hilfe von virtuellen Fragebögen evaluiert worden. Die Studierenden konnten auf einer vierstufigen Ratingskala (»trifft gar nicht zu (1)« bis »trifft voll zu (4)«) und über Freitextkommentare ihre Zufriedenheit zu einzelnen Aspekten zurückmelden. An der Umfrage zum Home-Lab haben 16 von 37 Studierenden teilgenommen, an der zum Hybrid-Lab 28 von 41. Ausgewählte Items sind in Abbildung 4 dargestellt.

Abbildung 4: Evaluationsergebnisse bestehend aus Mittelwerten und einfachen Standardabweichungen aus den Veranstaltungskritiken des Hybrid-Labs (links) und des Home-Labs (rechts).

Die Befragten konnten ihre Zufriedenheit mit den einzelnen Items (»Wie zufrieden ...«) auf einer vierstufigen Ratingskala von »trifft gar nicht zu (1)« bis »trifft voll zu (4)« angeben



Beide Gruppen heben in den Freitextfeldern positiv die zeitliche Flexibilität und die Selbstständigkeit hervor ($=8; =3$). In beiden Konzepten werden, trotz fehlender beziehungsweise reduzierter Präsenz, die Erreichbarkeit der Lehrenden sowie die Zusammenarbeit der Studierenden untereinander positiv eingeschätzt. Beide Gruppen geben an ($=2,3; =2,4$) die Materialien und Informationen zum Praktikum und zu den Experimenten im MediaWiki noch nicht oder nur teilweise gefunden zu haben. Diese Kritik könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Studierenden die für sie relevanten Informationen aus einem für sie unübersichtlichen Pool selbst filtern müssen, statt sie als einzelne Dokumente zu dem Experiment zu erhalten.

Ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Gruppen zeigt sich bei dem Item *Spaß am Onlinepraktikum* (=2,9; = 2,0), obwohl beide Gruppen das Item *Spaß am Experimentieren* gleichermaßen hoch einschätzen (=3,1; =3,4). Die Diskrepanz könnte auf die Art der Betreuung zurückzuführen sein: Die Home-Lab-Gruppe musste ohne direkte Betreuung experimentieren. In den Kommentaren werden klarere Informationen zu den Experimenten sowie präzisere Aufgabenstellungen gewünscht (= 6), was durch eine direkte Kommunikation mit den Lehrenden vor Ort hätte kompensiert werden können. Im Umkehrschluss könnte der hohe Wert für das Hybrid-Lab auf die Ergänzung der virtuellen Vorbereitungs- und Arbeitsphasen um synchrone Onlinetreffen mit den Lehrenden zurückzuführen sein. Außerdem ist das eigentliche Experimentieren in Präsenz erfolgt.

Bei der Hybrid-Lab-Gruppe ist weiterhin auffällig, dass von Einigen (n=4) die vollständige Umstellung des Praktikums in ein Onlineformat gewünscht wird. Dies könnte auf den deutlich geringeren Arbeitsumfang während des Onlineteils im Vergleich zur Durchführung in Präsenz zurückzuführen sein. In den folgenden Präsenzexperimenten ist deutlich aufgefallen, dass die Studierenden im Vergleich zu den Studierenden aus den Vorjahren erhebliche Lücken im Bereich des Experimentierens (Aufbauen, Optimieren, Durchführen, Messwerterfassung) aufweisen, was auf die mangelnden Übungselektivitäten mit elektronischen experimentellen Setups zurückzuführen ist. Andererseits beherrschten sie die unterschiedlichen Simulationsprogramme auf einem höheren Niveau als die Studierenden der Vorjahre.

Insgesamt kann durch den Vergleich der beiden Ansätze untereinander und mit den Praktika der Vorjahre abgeleitet werden, dass E-Learning-Anteile im Laborpraktikum nur in einigen Bereichen funktional sind. Die inhaltlich weniger komplexen Heim-Experimente für die Nebenfachstudierenden sowie die Simulationsaufgaben für die Physikstudierenden konnten bewältigt werden und ein Lernzuwachs war erkennbar. Der zukünftige Einsatz der Simulationsaufgaben als Vorbereitung auf die Experimente oder der Ersatz einiger Präsenzexperimente für die Nebenfachpraktika stellen eine Möglichkeit dar, die Lehrveranstaltung zeitlich und örtlich zu flexibilisieren, was die Entwicklung selbstständiger Arbeitsweisen bei den Studierenden unterstützen würde.

Weiterhin hat sich die Betreuungsstruktur im Hybrid-Lab mit klar vorgegebenen Zeitpunkten für den Austausch und für die Ergebnispräsentation besser als die Betreuung nach Bedarf im Home-Lab bewährt. Für einen potentiellen zukünftigen Einsatz der Elemente bietet sich somit eine Mischform der Elemente des Home- und Hybrid-Labs an. Grundsätzlich hat sich jedoch gezeigt, dass eine Durchführung von Laborpraktika in Präsenz aufgrund der dort ausbildeten experimentellen Fähigkeiten (Aufbauen, Testen, Optimieren und Bedienen der experimentellen Setups) aufgrund einer höheren Lernwirksamkeit vorzuziehen ist.

5 Potentiale für die Weiterentwicklung von Laborpraktika

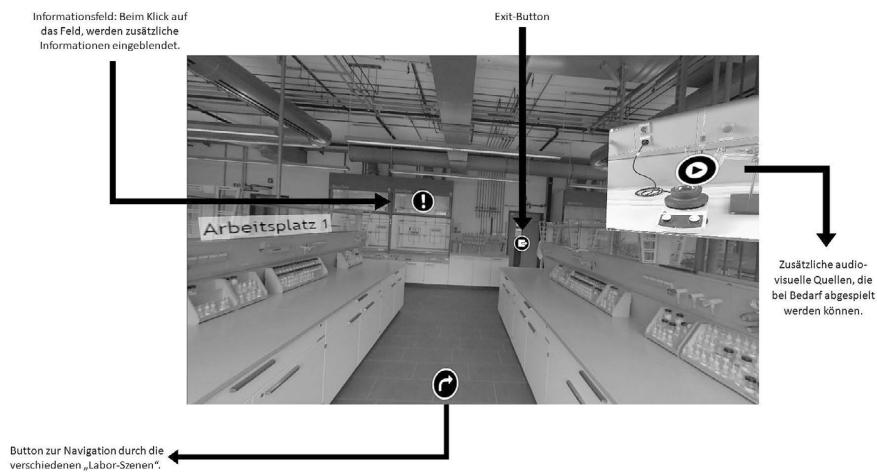
Die vorgestellten Beispiele zeigen, wie die Lernangebote bestehender Laborpraktika modifiziert werden können, um das Lernen der Studierenden zu flexibilisieren und so

von starren zeitlichen und örtlichen Voraussetzungen zu lösen. Im Folgenden soll auf weitere Angebote und deren Potentiale hingewiesen werden.

5.1 Das virtuelle 360° Chemielabor

Um Studierende besser auf die Anforderungen chemischer Laborpraktika vorzubereiten, wird derzeit in der Fakultät für Naturwissenschaften der Universität Paderborn ein virtuelles 360° Praktikumslabor entwickelt und evaluiert, das Studierenden die Möglichkeit bieten soll, orts- und zeitunabhängig erste Erfahrungen in einem authentischen Praktikumslabor zu sammeln (Abb. 5). Dass 360° Labore zur besseren Vorbereitung von Studierenden beitragen können, zeigen Ergebnisse vergleichbarer Angebote (Clemons, Fouché, Rummey, Lopez und Spagnoli 2019). Nutzende können sich durch zuvor definierte Navigationspunkte im virtuellen Labor bewegen und sich mittels Rundumsicht orientieren. So können sie sich ohne zeitliche Beschränkungen über sicherheitsrelevante Aspekte im Labor aber auch grundlegende Versuchsaufbauten und -durchführungen informieren.

Abbildung 5: Beispieldarstellung einer 360° Umgebung im Chemielabor der Universität Paderborn



360° Umgebungen können leicht mit gängiger Software (zum Beispiel Adobe Captivate) und 360° Kameraaufnahmen erstellt und publiziert werden. Durch die HTML5 basierte Entwicklung können sie ohne Probleme mittels üblicher Webbrower von den meisten Endgeräten aufgerufen und genutzt werden. Auch die Umsetzung der 360° Anwendung für Virtual Reality (VR) Endgeräte ist relativ einfach und erlaubt eine noch immersivere Erfahrung. Nutzen Studierende die Anwendung mittels eines VR-Headsets entsteht der Eindruck, dass sie sich in einer vollständig simulierten Umgebung befinden, in der sie sich bewegen und mit den Elementen des Labors interagieren können. Das sich derzeit in Entwicklung befindliche 360° Chemielabor soll künftig Erstsemesterstudierenden den Einstieg in die Arbeit im chemischen Labor erleichtern, indem erste Erfahrungen vermittelt und gegebenenfalls bestehende Ängste abgebaut werden.

In Ergänzung zu dieser grundständigen Anwendung wird im Rahmen einer Kooperation zwischen der Chemiedidaktik, der Technischen Chemie sowie der Fachgruppe Algorithmen und Komplexität des Heinz Nixdorf Instituts der Universität Paderborn an einem virtuellen Chemicelabor gearbeitet, das nicht nur auf die Informationspräsentation begrenzt ist, sondern auch die Bearbeitung virtueller chemischer Experimente ermöglicht.

5.2 Die digital-gestützte Erweiterung von Realexperimenten

Neben der Ergänzung von naturwissenschaftsbezogenen Laborpraktika durch virtuelle Angebote besteht die Möglichkeit, Realexperimente mittels digitaler Medien zu erweitern. Mit Hilfe von Augmented Reality (AR) Technologie können beispielsweise Versuchsaufbauten um digitale Visualisierungen ergänzt und Studierende bei der Aneignung grundlegender laborrelevanter Fähigkeiten (Akçayır, Akçayır, Pektaş und Ocak 2016) und der Entwicklung konzeptuellen Verständnisses (Altmeyer, Kapp, Thees, Malonne, Kuhn und Brünken 2020) unterstützt werden. Dabei liegt der zentrale Unterschied zwischen VR und AR darin, dass im Fall der AR die reale Umwelt lediglich um digitale Elemente ergänzt und nicht, wie im Fall der VR, vollständig ersetzt wird (Milgram, Takemura, Utsumi und Kishino 1995). Inzwischen kann AR auf verschiedene Weisen realisiert werden. Eine gängige Methode ist die Nutzung von sogenannter Marker-basierter AR mittels spezieller Apps für Smartphones und Tablets. Dabei werden zuvor definierte Marker durch die Kamera des Endgeräts identifiziert, woraufhin dreidimensionale Modelle in räumlicher Nähe zu diesen im Kamerabild visualisiert werden. Je nach Anwendung kann dann mit diesen statischen oder dynamischen Modellen interagiert werden, indem sie bewegt, skaliert oder rotiert werden können (für ein Beispiel aus der Chemie: Habig 2019).

Für die Lehre in chemischen Praktika bieten sich mit der Nutzung dieser Technologie besondere Potentiale hinsichtlich der Visualisierung von nicht sensorisch wahrnehmbaren Abläufen. So ist beispielsweise denkbar, Realexperimente um dynamische Visualisierungen zu ergänzen, welche die Prozesse auf submikroskopischer Ebene visualisieren, die zur Erklärung eines zugrundeliegenden Phänomens benötigt werden. Wird zum Beispiel eine Säure-Base-Titration im Grundpraktikum Chemie durchgeführt, könnten Studierende mit Hilfe einer entsprechenden AR-Anwendung Protonenübertragungen visualisiert bekommen. Obwohl aus fachdidaktischer Sicht die Überlagerung von mehreren Darstellungsebenen (makroskopisch, submikroskopisch und symbolisch) zunächst kritisch betrachtet werden kann, bietet die Möglichkeit, zusätzliche Visualisierungen einfach ein- und ausblenden zu können, durchaus Potential mit Blick auf den Übergang zwischen Beobachtung und Deutung beim Experimentierprozess und die Ausbildung von Modellkompetenz. Insbesondere für Studienanfängerinnen und Studienanfänger könnten solche digitalen Werkzeuge eine sinnvolle Unterstützung bei der Ausbildung von fachlichen Konzepten sein, da der häufig als schwierig wahrgenommene Ebenenwechsel in der Chemie gezielt unterstützt und trainiert werden kann.

6 Fazit

Der digitale Wandel, der durch die Corona-Pandemie noch verstärkt wurde, bietet vielfältige Potentiale für die Weiterentwicklung universitärer Lehre. Erst im Zuge der Corona-Pandemie konnten in der Physik an der Universität Paderborn durch die notwendige Virtualisierung zahlreiche Erfahrungen mit der konkreten Implementierung gesammelt werden.

Aus den zwei realisierten E-Learning-Ansätzen für Laborpraktika der Physik kann einerseits abgeleitet werden, dass die Studierenden einige Lernziele, wie zum Beispiel ein vertieftes Verständnis für die Simulation elektrischer Schaltungen, gut erreicht haben. Andererseits sind die Grenzen dieser Ansätze deutlich geworden: Der elaborierte Erwerb experimenteller Kompetenz kann nur in direkter Auseinandersetzung mit komplexen Setups und individueller Betreuung vor Ort gelingen. Simulationen können dies nur begrenzt leisten, sodass den Studierenden der Erwerb experimenteller Fähigkeiten und Fertigkeiten, wie das Aufbauen eines experimentellen Setups, das Aufnehmen von Messwerten unter realen Bedingungen sowie das Untersuchen von Störvariablen, nicht so erfolgreich gelungen ist wie in Präsenzveranstaltungen. Die neu entwickelten Heimversuche für die Nebenfachstudierenden sind zwar für die Erreichung der Lernziele funktional gewesen, jedoch wurde die Komplexität reduziert, was zu einem geringeren fachlichen Anspruch führte.

Die virtuelle Nachbildung experimenteller Setups, wie am Beispiel des Hybrid-Labs und 360° Labor gezeigt, erlaubt es den Studierenden, sich mit der Funktionsweise und Handhabung der Gerätschaften auseinanderzusetzen. Sie eignet sich vor allem für den Einsatz zur Vorbereitung komplexer Experimente.

Generell können digitale Lehr-Lern-Formate dazu beitragen, den heterogenen Lernvoraussetzungen der Studierenden zeit- und ortsunabhängig zu begegnen, indem diese beim Erarbeiten der fachlichen Inhalte beziehungsweise beim Vorbereiten der Experimente den Studierenden für eine tiefergehende Auseinandersetzung mit verschiedenen Repräsentationsformaten zur Verfügung gestellt werden würden. Wir wollen deshalb grundsätzlich dazu anregen, dass bei der Weiterentwicklung von Laborformaten die Möglichkeiten digitaler Medien explizit mitgedacht und genutzt werden, um die Lernwirksamkeit des Lehr-Lern-Formats Laborpraktikum noch zu erhöhen.

Literatur

- Akçayır, M., Akçayır, G., Pektaş, H. M., & Ocak, M. A. (2016). Augmented reality in science laboratories: The effects of augmented reality on university students' laboratory skills and attitudes toward science laboratories. *Computers in Human Behavior*, 57, 334-342.
- Altmeyer, K., Kapp, S., Thees, M., Malone, S., Kuhn, J., & Brünken, R. (2020). The use of augmented reality to foster conceptual knowledge acquisition in STEM laboratory courses – Theoretical background and empirical results. *British Journal of Educational Technology*, 51 (3), 611-628.

- Bachmann, G., Dittler, M., Lehmann, T., Glatz, D., & Rösel, F. (2002). Das Internetportal »Learn Tec Net« der Universität Basel: Ein Online-Supportsystem für Hochschuldozierende im Rahmen der Integration von E-Learning in die Präsenzuniversität. In G. Bachmann, O. Haefeli & M. Kindt (Hg.), Reihe Medien in der Wissenschaft: Bd. 18. *Campus 2002: Die virtuelle Hochschule in der Konsolidierungsphase* (87–97). Münster: Waxmann.
- Bauer, A. B., & Sacher M. D. (2018). Kompetenzorientierte, universitäre Laborpraktika: Das Paderborner Physik Praktikum (3P). *PhyDid B, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2018 in Würzburg*, 65–72.
- Bennett, S. W., & O'Neale, K. (1998). Skills development and practical work in chemistry. *University Chemistry Education*, 2 (2), 58–62.
- Burdinski, D. (2018). Flipped Lab: Ein verdrehtes Laborpraktikum. In B. Getto, P. Hintze, & M. Kerres (Hg.), *Medien in der Wissenschaft 74. Digitalisierung und Hochschulentwicklung: Proceedings zur 26. Tagung der Gesellschaft für Medien in der Wissenschaft e.V.* (164–172). Münster, New York: Waxmann.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. *Cognition and Instruction*, 8 (4), 293–332.
- Clemons, T. D., Fouché, L., Rummey, C., Lopez, R. E. & Spagnoli, D. (2019). Introducing the First Year Laboratory to Undergraduate Chemistry Students with an Interactive 360° Experience. *Journal of Chemical Education*, 96 (7), 1491–1496.
- Elert, T. (2019). *Course Success in the Undergraduate General Chemistry Lab 284*. Berlin: Logos Verlag.
- Empfehlung der Konferenz der Fachbereiche Physik (2010). *Zur Konzeption von Bachelor- und Masterstudiengängen in der Physik*. Berlin. https://www.kfp-physik.de/dokument/KFP_Handreichung_Konzeption-Studiengaenge-Physik-101108.pdf [30.11.2020].
- Fraß, S., Weyers, C., & Heinke, H. (2014). Können IBE experimentelle Fertigkeiten vermitteln? Entwicklung eines prozessorientierten Analyseinstrumentes. *PhyDid B, Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung 2014 in Frankfurt*.
- Fricke, A. (2018). *Interaktive Skripte im Physikalischen Praktikum: Entwicklung und Evaluation von Hypermedien für die Nebenfachausbildung*. Berlin: Logos Verlag.
- Habig, S. (2019). Augmented Reality Chemistry – Förderung internaler Modellrepräsentation in Organischer Chemie durch AR. In S. Schulz (Hg.), *Proceedings of DELFI Workshops 2019*. Gesellschaft für Informatik e.V.
- Holmes, N. G., & Wieman, C. E. (2018). Introductory physics labs: We can do better. *Physics Today*, 71 (1), 38–45.
- Jahnke, I., Terkowsky, C., Pleul, C. & Tekkaya, A. E. (2010). Online learning with remote-configured experiments. In M. Kerres, N. Ojstersek, U. Schroeder & U. Hoppe (Hg.), *DeLFi 2010 – 8. Tagung der Fachgruppe E-Learning der Gesellschaft für Informatik e.V.* (265–277). Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.
- Kreiten, M., Bresges, A. & Schadschneider, A. (2010). Möglichkeiten von interaktiven 3d-Simulationen zur Unterstützung von Versuchen im physikalischen Praktikum. *PhyDid B, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung in Hannover*.
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1995). Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum. In H. Das (Hg.), *SPIE Proceedings, Telemanipulator and Telepresence Technologies* (282–292). Bellingham: SPIE Press.

- Nagel, C., & Oppermann, S. (2018). Zur Effektivität von Lernvideos in der Vorbereitung auf das physikalische Anfängerpraktikum: Eine kriterienbasierte Evaluation. *PhyDid A, Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1 (17), 66-87.
- Nagel, C., & Wolny, B. (2013). Ein adressatenspezifisches Physikpraktikum für Ernährungswissenschaften: Didaktische Rekonstruktion und Evaluation. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 12 (1), 48-61.
- Präsidium der Universität Paderborn (2017a). *Prüfungsordnung für den Bachelorstudien-gang Chemie der Fakultät für Naturwissenschaften an der Universität Paderborn vom 16. Juni 2017*. Paderborn [30.11.2020].
- Präsidium der Universität Paderborn (2017b). *Prüfungsordnung für den Bachelorstudien-gang Physik der Fakultät für Naturwissenschaften an der Universität Paderborn vom 16. Juni 2017*. Paderborn [30.11.2020].
- Rollnick, M., Zwane, S., Staskun, M., Lotz, S., & Green, G. (2001). Improving prelaboratory preparation of first year university chemistry students. *International Journal of Science Education*, 23 (10), 1053-1071.
- Sacher, M. D., & Bauer, A. B. (2020). Kompetenzförderung im Laborpraktikum. In C. Terkowsky, D. May, S. Frye, T. Haertel, T. R. Ortelt, S. Heix & K. Lensing (Hg.), *Hochschule und Wissenschaft. Labore in der Hochschullehre: Didaktik, Digitalisierung, Organi-sation* (51-66). Bielefeld: wbv.
- Schlattmann, M. (2004). *Methoden und Werkzeuge zur Entwicklung virtueller multimedialer Labore*. Dissertation Universität Oldenburg.
- Schwedler, S. (2017). Was überfordert Chemiestudierende zu Studienbeginn? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23 (1), 165-179.
- Stampfer, C., Heinke, H., & Staacks, S. (2020). A lab in the pocket. *Nature Reviews Mate-rials*, 5 (3), 169-170.
- Theyßen, H. (1999). *Ein Physikpraktikum für Studierende der Medizin: Darstellung der Ent-wicklung und Evaluation eines adressatenspezifischen Praktikums nach dem Modell der Di-daktischen Rekonstruktion. Studien zum Physik- und Chemiclernen* 9. Berlin: Logos.
- Theyßen, H., Struzyna, S., Mylott, E., & Widenhorn, R. (2016). Online Physics Lab Ex-ercises – a Binational Study on the Transfer of Teaching Resources. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14 (5), 865-883.
- Varnai, A. S. & Reinhold, P. (2018). Experimentelle Praktika mit Erklärvideos optimie-ren. In C. Maurer (Hg.), *Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht- normative und empirische Dimensionen* (368-372). Universität Regensburg.