



Sächsisches Verbundprojekt D2C2 „Digitalisierung in Disziplinen Partizipativ umsetzen: Competencies Connected“

Einblick in den Schwerpunkt „Didaktik in (teil-)digitali- sierten Werkstätten und Laboren“

J. Franke, G. Wegner

ZILL - Zentrum für Interdisziplinäres Lernen und Lehren, Technische Universität Dresden

Abstract

Das Projekt „D2C2 – Digitalisierung in Disziplinen Partizipativ Umsetzen :: Competencies Connected“ setzt sich zum Ziel, aus den Erfahrungen der Covid-19-Pandemie zu lernen und Digitalisierung in der Lehre evidenzbasiert weiterzuentwickeln. Zehn sächsische Hochschulen sowie die BA Sachsen widmen sich zentralen Herausforderungen (teil-)digitalisierter Lehre. In diesem Rahmen fokussiert die TU Dresden gemeinsam mit der HTW Dresden die Lehre in (teil-)digitalisierten Laboren und Werkstätten. Ziel ist es, die Bedarfe sächsischer Studierender und Lehrender aufzugreifen und letztere aktiv dabei zu unterstützen, ihre Lehre in Laboren und Werkstätten weiterzuentwickeln. Dieser Artikel widmet sich einigen theoretischen Grundlagen der Didaktik in (teil-)digitalisierten Werkstätten und Laboren mit Fokus auf dem Lehrveranstaltungsformat Praktikum. Es erfolgt eine Differenzierung der verschiedenen Ebenen der Digitalisierung, die im Werkstatt- oder Laborpraktikum und bei dessen didaktischer Umsetzung beachtet werden sollten. Veranschaulicht werden die verschiedenen Ebenen durch Verweise auf good practice Beispiele.

The project "D2C2 - Digitization in Disciplines - Participative Implementation :: Competencies Connected" aims to learn from the experiences of the Covid 19 pandemic and to further develop digitization in teaching on the basis of evidence. Ten Saxon universities and the BA Sachsen are addressing the central challenges of (partially) digitized teaching. In this context, TU Dresden and HTW Dresden are focusing on teaching in (partially) digitized laboratories and workshops. The goal is to address the needs of Saxon students and teachers and to actively support the latter in further developing their teaching in laboratories and workshops. This article is dedicated to some theoretical basics of didactics in (partially) digitized workshops and laboratories with a focus on the teaching format internship. It differentiates the different levels of digitization that should be considered in the workshop or lab practical and in its didactic implementation. The different levels are illustrated by references to good practice examples.

*Corresponding author: julia.franke2@tu-dresden.de

1. D2C2: Werkstätten und Labore

Während der Covid-19-Pandemie musste die Lehre in Werkstätten und Laboren innerhalb kürzester Zeit entweder ganz in den digitalen Raum verlegt werden oder es mussten teildigitalisierte Möglichkeiten der Partizipation geschaffen werden. Dies brachte eine Vielzahl an technischen sowie didaktischen Fragen und Problemstellungen mit sich.

Das sächsische Verbundprojekt „D2C2 – Digitalisierung in Disziplinen Partizipativ Umsetzen :: Competencies Connected“ widmet sich zentralen Herausforderungen (teil-)digitalisierter Lehre. Im Rahmen dieses Verbundprojektes fokussiert die TU Dresden gemeinsam mit der HTW Dresden die Lehre in (teil-)digitalisierten Laboren und Werkstätten. Durch eine intensive Recherche sowie die breite Vernetzung mit anderen Hochschulen versuchen wir einen vielseitigen Austausch von Expertisen und Erfahrungen zu ermöglichen. Ziel ist es, die Bedarfe sächsischer Studierender und Lehrender aufzugreifen und letztere aktiv dabei zu unterstützen, ihre Lehre in Laboren und Werkstätten weiterzuentwickeln. Dies soll im Sinne einer didaktisch fundierten, qualitativ hochwertigen und zukunftssträchtigen Ausbildung der Studierenden sowie unter Berücksichtigung von Aspekten der Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz geschehen.

Die Verknüpfung von Praxis und Theorie stellt ein spezielles Charakteristikum in Werkstätten und Laboren dar, welches wiederum eine spezifische Kombination didaktischer Überlegungen zur Folge hat. Die allgemeineren Lernziele sind umfangreich und vielgestaltig. Exploratives Handeln soll ermutigt werden, um ein konzeptionelles Verständnis des Lehrgegenstandes zu erlangen. Praktische Erfahrungen werden in einem experimentellen Set-up angeboten, wobei Datenerhebung genau wie die Kommunikation und Diskussion von Ergebnissen eingeübt werden sollen. Handlungsorientierte Kompetenzen, kreatives Denken und das verantwortungsbewusste Arbeiten in Teams gehören ebenfalls zu den Lernzielen in Werkstatt und Labor [1]. Auch abseits der pandemiebedingten Entwicklungen übt die zunehmende Digitalisierung der Berufswelt sowie der Forschung und Lehre einen Modernisierungs- beziehungsweise Innovationsdruck auf diese

Lehr-Lern-Formate aus [2]. Digitalisierten Arbeitsabläufen in Werkstätten und Laboren wird längst kein Seltenheitsgrad mehr beigegeben. So wird beispielsweise der Begriff Remote-Labor (i.e. Fernlabor; [3]) seit circa 30 Jahren zur Charakterisierung von realen Laboraufbauten verwendet, welche automatisiert und über Kommunikationstechnologien zur Verfügung gestellt werden [4]. Die technische Weiterentwicklung sowie veränderte Tätigkeitsprofile in der Berufswelt verlangen ein generelles Umdenken an den Hochschulen. Die Digitalisierung der Lehre in diesem Bereich gewann in den letzten Jahren auch aus diesem Grund zunehmend an Bedeutung.

Verschiedene Netzwerke und Projekte an deutschen Hochschulen sind im Zusammenhang mit digitalisierten Laboren entstanden, unter anderem die Forschungsprojekte Open Digital Lab for You (DigiLab4U), CrossLab, DistLab, MINT-VR-Labs und SHELLS. Neben diesen gibt es zahlreiche Einzelprojekte an Hochschulen bzw. einzelnen Instituten sowie digitale Angebote aus Wirtschaft und Industrie, z.B. die kommerziellen Internetplattformen Labster und LabsLand. Die genannten Beispiele widmen sich überwiegend den technischen Herausforderungen virtueller Laborsettings. Didaktische Gesichtspunkte sind zumeist sekundärer Natur. Daher sehen wir unsere Aufgabe in der Erfassung didaktischer Herausforderungen und Bedarfe sowie in der Erarbeitung nachhaltiger Lösungen in Zusammenarbeit mit Lehrenden, Studierenden und Expert:innen auf dem Gebiet (teil-)digitalisierter Werkstätten und Labore.

2. Die Lehrveranstaltung Praktikum

Ansprüche an die Digitalisierung werden zunehmend fachspezifischer und machen es daher auch aus didaktischer Sicht notwendig, entsprechend fachspezifische Konzepte zu entwickeln. Verschiedene Ausformungen der Werkstatt- und Laborarbeit, beispielsweise in den Fachbereichen Kunst und Gestaltung sowie Soziales und Pflege, unterscheiden sich dabei von dem klassischen Lehrformat des Werkstatt- beziehungsweise Laborpraktikums, welches einen umfangreichen Bestandteil des Studiums im MINT-Bereich ausmacht. Aufgrund seiner grundlegenden Bedeutung für diese

Studiengänge, widmet sich dieser Artikel ganz dezidiert diesem Lehrformat im MINT-Bereich. Entgegen ihres Namens bedürfen Werkstatt- und Laborpraktika nicht zwangsläufig des physischen Raumes der Werkstatt oder des Labors. Vielmehr geht es um ein spezifisches Tätigkeitskontinuum im engeren und weiteren Sinne von Werkstatt- und Laborarbeit. Beispiele umfassen naturwissenschaftliche Praktika in analytischer Chemie und Molekularbiologie, technische Praktika in Kraftfahrzeugtechnik und Messtechnik, mathematische Praktika in Numerik und Stochastik sowie informationstechnische Praktika in Computergrafik und Roboterprogrammierung.

Mit dem Begriff **Praktikum** beziehen wir uns auf eine curricular eingeordnete Lehrveranstaltung der MINT-Fächer an Hochschulen. Sie dient der Aneignung oder Vertiefung theoretischer Kenntnisse in Verbindung mit dem Erwerb praktischer Fertigkeiten, oft auch psychomotorischer Fähigkeiten. Die Studierenden wenden fachspezifische Lehrinhalte praktisch an. Sie handhaben Materialien und Stoffe, Instrumente und Geräte beziehungsweise Daten und Informationen. Arbeitsabläufe und Verfahrensweisen sowie eine wissenschaftlich-kritische Auseinandersetzung mit der eigenen Arbeit sollen erlernt und deren situative Anwendung eingeübt werden. Die zeitlichen, örtlichen und didaktischen Rahmenbedingungen sowie das Maß an Anleitung und selbstständigem Arbeiten der Studierenden gestalten sich je nach Praktikum sehr unterschiedlich. Alternative Bezeichnungen umfassen die Begriffe Laborkurs, Werkstattkurs, Experimentalkurs und laborpraktische Übung.

Die Abgrenzung zu anderen Lehrveranstaltungen, wie Vorlesungen und Seminaren, bedingt sich zum einem durch die fachspezifische technische Infrastruktur und Ausstattung und zum anderen durch die selbstständige Arbeit der Studierenden mit dieser Ausstattung. Sie kann beispielsweise chemisches Laborequipment, mechanische Werkzeuge, elektronische Maschinen sowie spezialisierte Hard- und Software des EDV-Bereichs umfassen. Die praktische Arbeit der Studierenden reicht von Tätigkeiten des Messens und Analysierens über die des Experimentierens, Manipulierens, Synthetisierens, Konstruierens und Reparieren bis

hin zu Steuern und Programmieren. Ein Praktikum kann von wenigen Stunden als Einzeleinheit hin bis zum Blockpraktikum über viele Wochen andauern. Mitunter arbeiten Studierende unter umfangreicher Anleitung, mitunter völlig selbstständig.

Im Praktikum lehren die Dozierenden oft nicht allein, sondern werden unterstützt von Mitarbeitenden, wie Laboringenieur:innen, technischen Assistent:innen, studentischen Hilfskräften und Promovierenden. Wir beziehen uns auf diese Gruppe als Lehrende im Praktikum.

Ein Praktikum setzt sich zumeist aus drei zeitlich aufeinander folgenden Phasen zusammen: Vorbereitungsphase, Vertiefungsphase und Nachbereitungsphase. Die praktische Tätigkeit der Studierenden findet dabei vornehmlich in der Vertiefungsphase statt. Oft gibt es zwei Prüfungszeitpunkte. Zum einem vor der Vertiefungsphase als Vorprüfung oder Antestat, zum anderen in der Nachbereitungsphase als Abschlussprüfung oder Abtestat.

3. Gründe für Digitalisierung

Mit der Digitalisierung von Werkstatt- oder Laborpraktika verbinden sich zumeist Assoziationen von Fernexperimenten, Arbeiten in Räumen virtueller Realität sowie digitaler Datenerfassung. Jedoch ist dies nur ein Teil der Möglichkeiten, welche dieses Themengebiet umfasst. Im Grunde genommen fängt Digitalisierung bereits bei der Nutzung digitaler Kommunikationswege oder Lehrmaterialien an.

Die Gründe für und Motivationen hinter einer Digitalisierung von Praktika sind vielzählig und vielgestaltig (siehe hinten, Infokasten 1). Sie reichen von der Ermöglichung von Distanzlehre bis hin zum Erlernen der Handhabung neuartiger praxisrelevanter Technologien durch die Studierenden. Auf rein organisatorischer Ebene können im Idealfall die Effizienz gesteigert sowie zeitliche und örtliche Barrieren für alle Beteiligten abgebaut werden. Auf didaktischer Ebene ermöglicht die Digitalisierung von Praktika, Lehrinhalte zu erweitern oder abzuwandeln und so noch mehr Praxisnähe im Sinne einer Industrie 4.0 herzustellen. Mit der 2019 erschienenen Studie „Ingenieurinnen und Ingenieure für Industrie 4.0“ bietet die IMPULS-Stiftung einen Überblick über die

Infokasten 1: Potentielle Gründe für Digitalisierung im Praktikum

Bereich Organisation

Effizienz erhöhen

Ersparnis von Ressourcen wie Zeit, Personal, Kosten und räumlichen Kapazitäten

Automatisierung bzw. Optimierung von Prozessen und Abläufen, z.B. durch Nutzung von Datennetzwerken oder digitalen Tools für Steuerung, Organisation, Dokumentation, Kommunikation etc.

Barrieren abbauen

Zeitliche Flexibilität – flexible Nutzung von Ausstattung und Lehrmaterial ermöglichen, z.B. für Studierenden in Berufstätigkeit, Kinderbetreuung oder Pflege von Angehörigen

Örtliche Flexibilität - Lehre aus der Distanz ermöglichen, z.B. während Pandemie oder für die Verbesserung von Inklusion

Zusammenarbeit mit Studierenden bzw. Lehrenden anderer Institutionen aus der Distanz, z.B. internationale Kollaborationen

Informatisierung: Erzeugung und Nutzung von Informationen, z.B. Versuchsdaten oder studentisches Feedback und Learning Analytics

Vereinfachung von Abläufen und Verbesserung der Arbeitsbedingungen von Lehrenden, Mitarbeitenden und Studierenden (z.B. durch Ersetzung analoger mit digitalen Geräten)

Bereich Didaktik

Lehrqualität verbessern

Lernerfolge steigern und Anschaulichkeit erhöhen, z.B. digitale Simulation zur Modellbildung der Studierenden

Schaffung zusätzlicher Übungsmöglichkeit für Studierende, mehr Zeit zum Ausprobieren und Wiederholen für mehr Verständnis des Lernstoffs (z.B. im virtuellen Labor)

Eigenaktivität in Selbstlernphasen unterstützen, z.B. durch Lernvideos oder virtuelle Experimente als Ergänzung schriftlicher Lehrmaterialien

Didaktische Methoden erweitern, z.B. Gamification als spielerischer Wettbewerb

Verbesserung und Erweiterung von Prüfungsformaten

Lehrinhalte erweitern

Erlernen neuartiger digitaler Methoden und Handhabung (teil-)digitalisierter Geräte durch Studierende

Training an räumlich entfernter Werkstatt- und Laborausstattung, gerätetechnischen Anlagen, Hardware oder Software, die nicht vor Ort bereitgestellt werden können, z.B. Fernexperimente im Remote Labor

Trainieren von Kompetenz in der Handhabung digitalisierter Objekte und digitaler Anwendungen im Bereich Technik und Kommunikation

Praxisrelevanz steigern

Vermittlung praxisnaher Methoden im Sinne einer Anpassung an den Arbeitsmarkt (z.B. Industrie 4.0)

Umfassendere Verzahnung von Theorie und Praxis, z.B. durch Fernzugriff auf gerätetechnischen Anlagen der Industrie

derzeitigen Anforderungen an Ingenieur:innen [5]. Die Ergebnisse machen deutlich, dass Hochschulen die Qualifikations- und Kompetenzziele in den ingenieurwissenschaftlichen Fächern deutlich anpassen müssen – eine Herkulesaufgabe angesichts universitärer Strukturen, die oft nicht auf zeitnahe Entwicklungen ausgelegt sind. Es bleibt jedoch zu konstatieren, dass Fähigkeiten in der Informatik, in Data Science und in der Datensicherheit unabdingbar für die Ingenieurausbildung geworden sind. Ähnliches, wenn auch in geringerem Ausmaß, ist für die Lehre in den Naturwissenschaften zu beobachten. Mitunter dienen digitale Tools in der Lehre aber auch der Veranschaulichung und können so den Lernerfolg erhöhen, wie dies beispielsweise bei verschiedenen Formen der digitalen Simulation möglich ist. Es ist davon auszugehen, dass der Digitalisierung von Praktika außerhalb des Emergency Remote Teachings gleich mehrere dieser Überlegungen zu Grunde liegen. Anhand der unterschiedlichen Motivationen wird erkennbar, dass Digitalisierung auf verschiedene Weisen realisiert werden kann. Die spezifischen Gründe sind jedoch ausschlaggebend dafür, was genau (Digitalisierungsebene) und zu welchem Anteil (Digitalisierungsgrad) dies umgesetzt werden soll. Wird zum Beispiel eine räumliche Flexibilität im Praktikum angestrebt, so können die Interaktion von Lehrenden und Studierenden sowie Arbeitsumgebung und Ausstattung in Betracht gezogen werden. Eine vollständige oder anteilige Digitalisierung ist denkbar. Als eine Lesson Learned der vergangenen Jahre ist festzuhalten, dass Digitalisierung im Labor oder in der Werkstatt teils vorzeitig abgelehnt wird, unter anderem weil sie mit einer ganzheitlichen Verlegung von Laboren und Werkstätten in den digitalen Raum assoziiert wird. Die verschiedenen Ebenen und Grade von Digitalisierung werden im Austausch nicht immer ausreichend konkretisiert, sodass es zu Missverständnissen kommen kann. Im folgenden Abschnitt werden die verschiedenen Ebenen daher näher vorgestellt und um Hinweise auf einige „good practice“ Beispiele im In- und Ausland ergänzt.

4. Ebenen der Digitalisierung

Im Praktikum interagieren Studierende vielfältig mit Lehrenden, anderen Studierenden und ihrer Arbeitsumgebung als Gesamtheit von Lehrraum (Werkstatt oder Labor), Infrastruktur beziehungsweise Ausstattung und Arbeitsmaterial. Weiterhin kommen die Studierenden in Kontakt mit Prozessen wie technischen Abläufen oder chemischen Reaktionen, auf welche sie durch ihr praktisches Arbeiten Einfluss nehmen. Dasselbe gilt für Informationen und Daten, die sie erhalten, selbst generieren bzw. prozessieren. Die genannten Aspekte spiegeln zum einen die Komplexität der Lehrveranstaltung wieder und geben zum anderen die potentiellen Möglichkeiten für eine Digitalisierung vor. In diesem Zusammenhang beschreiben wir vier Ebenen der Digitalisierung (siehe Infokasten 2). Vom didaktischen Standpunkt her, sind für jede Ebene spezifische Herausforderungen zu beachten. Aus diesem Grund sind eine Unterscheidung und Identifizierung der jeweiligen Ebene grundlegend, wenn die Lehre in Werkstatt und Labor untersucht und weiterentwickelt werden soll.

Ebene „Arbeitsumgebung“

Traditionell ist unter dem Begriff Arbeitsumgebung der physische Raum der Werkstatt oder des Labors zu verstehen. Im Rahmen von Praktika jedoch beschreibt die Ebene Arbeitsumgebung die fachspezifische physische Infrastruktur und Ausstattung, welche die Studierenden zur praktischen Arbeit im Praktikum vorfinden. Die Studierenden müssen in der Lage sein sich in der Arbeitsumgebung zurechtzufinden und die entsprechenden Geräte, Maschinen und Hilfsmittel sicher zu handhaben. Wird auf dieser Ebene vollständig oder anteilig digitalisiert, ergibt sich die Herausforderung diese geänderte Umgebung kennen- und handhaben zu lernen. Wird beispielsweise ein realer Versuch in einen Fernversuch umgewandelt, brauchen die Studierenden potentiell andere Vorkenntnisse und Fertigkeiten als im Reallabor. Dies können Grundkenntnisse in Datenverarbeitung und Programmierung sein oder Kompe-

Infokasten 2: Ebenen für eine Digitalisierung im Praktikum

Arbeitsumgebung

- Hardware-Digitalisierung:
 - digitale Ergänzung für analoge Geräte (z.B. Digitalanzeigen für Laborgeräte)
 - digitale Geräte ersetzen analoge Geräte (z.B. Digitalwaage)
- Hardware-Vernetzung:
 - digitale Vernetzung und Zusammenarbeit physischer und virtueller Objekte durch Informations- und Kommunikationstechniken:
 - lokal (z.B. Internet of Things IoT)
 - teleoperativ (z.B. Remote-Control-Experimente, siehe Remote-Labor)
- Lab@Home:
 - Studierende bekommen Arbeitsausstattung mit nach Hause (z.B. Arduino Engineering Kit)
 - Studierende arbeiten mithilfe von Haushaltsgegenständen (z.B. Biologieexperimente auf www.biotopia.net)
 - Studierende erheben Daten bzw. experimentieren mit digitalen Geräten, wie Tablets und Smartphones, und deren Sensoren, Software und Apps (z.B. MATLAB mobile, phyphox - Physical Phone Experiments)
- digitale Simulation:
 - von physischer Arbeitsumgebung als virtuelle oder teilvirtuelle Umgebung in 2D oder 3D
 - lokale Simulation (VR, AR, lokale Bildschirm-Simulation von Laborgeräten oder Laboren)
 - online Simulation (z.B. Online-Bildschirmlabor)

Prozesse

- digitale Dokumentation und Abbildung realer Prozesse, wie z.B. chem. Reaktionen
 - reine Darstellung (z.B. Video von Laborexperimenten)
 - interaktive Darbietung (i.e. interaktive Bildschirmexperimente IBE; Branching Scenarios; Ultra concurrent Remote-Labor)
- digitale Modellierung physischer Objekte (z.B. reale Objekte über einen (3D-)Scanner virtualisieren und digital modifizieren)
- digitale Simulation von physischen Prozessen (z.B. Werkstoffprüfung an Digitalem Zwilling)
- digitale Suggestierung eines physischen Prozesses (z.B. Andeutung einer chemischen Reaktion im virtuellen Labor)

Daten

- digitale Dateneingabe und -ausgabe (z.B. digitales Thermometer)
- digitale Datenspeicherung (z.B. digitales Laborbuch, Online-Datenspeicher, Online-Datenbanken)
- digitale Datenverarbeitung und Automatisierung (z.B. Messwertdiagramme digital erstellt)
- digitale Datenweitergabe
- Nutzung digitaler Daten dritter (z.B. aus online-Datenbanken)

Zwischenmenschliche Kommunikation

- digitalisierte bzw. digital erstellte Lehrmaterialien (z.B. Erklärvideos, Lernprogramme oder Arbeitsblätter)
- digital gestützte Kommunikation:
 - Synchroner Kommunikationstools (z.B. Videokonferenzen, Live-Chats, internetbasierte Telefonie)
 - Asynchroner Kommunikationstools (z.B. Email, Instant-Messaging)
 - digitale Organisationstools für Absprachen, Zeit- und Raumnutzung
 - digitale Kollaborationssoftware, d.h. mehrere Personen können gleichzeitig an einem Objekt, beispielsweise einem Versuchsprotokoll, arbeiten
- digital gestützte Partner- oder Gruppenarbeit in Werkstatt und Labor (z.B. LabBuddy-Prinzip, Multi-Kamera-Konferenz-System für Zusammenarbeit zweier Teams)
- digitale Prüfungsformate (z.B. Online-Multiple-Choice-Test)
- digitale Erhebung von Feedback und Learning Analytics, d.h. Sammlung und Auswertung von Daten aus Lernprozessen, z.B. mit OPAL-Kursstatistik

tenzen in selbstständiger Problemanalyse, da der Versuch unter Umständen allein zuhause durchgeführt werden muss. Oft verfügen die Studierenden über heterogene Vorkenntnisse. Die Lehrenden stehen vor der Herausforderung zu erkennen, welche neuen Fähigkeiten von den Studierenden benötigt werden und wie diese erworben werden können. Eine Vorabumfrage, im Rahmen derer die Studierenden ihre bisherigen Fähigkeiten einschätzen sollen, ist daher als Einstieg in die Lehrveranstaltung sehr zu empfehlen. Veränderten Anforderungen, wie sie beispielsweise beim Arbeiten mit IoT (Internet of Things) auftreten, begegnen Pfeiffer und Uckelmann, [6] im Praktikum der Informationslogistik mit einem modifizierten LabTC-Ansatz. In einer ersten Erarbeitungsphase erhalten Studierende die Möglichkeit, verschiedene Lernressourcen im Lernmanagementsystem eigenständig durchzuarbeiten, um sich auf den anschließenden Laborversuch vorzubereiten. Im Rahmen dieser Vorbereitung werden auch technische Basics, in diesem Fall die Funktionsweise von RFID-Systemen, vermittelt. Asynchron durchgeführte Einheiten wie diese erleichtern den Einstieg und die spätere Orientierung in der Arbeitsumgebung vor Ort.

Ebene „Prozesse“

Im Praktikum lernen die Studierenden zum Beispiel chemische Reaktionen und technische Abläufe zu initiieren, steuern, manipulieren und kontrollieren. Werden diese Tätigkeiten nicht mehr traditionell (physisch „analog“), sondern digital ausgeführt, so ergibt sich die Herausforderung den Studierenden zu veranschaulichen, welche physischen Merkmale zugrundeliegende Prozesse auszeichnen. Zum Beispiel eine chemische Reaktion, welche remote und nicht mehr direkt vor Ort gesteuert und beobachtet wird. Für eine effektive Veranschaulichung kann mitunter eine reine Videoübertragung nicht genügen. Möglicherweise müssen Stoffe und Reaktionsschritte durch Signale, wie Ton, optische Effekte oder auch Vergrößerung und Modellierung besonders gekennzeichnet werden. Auch eine Anfärbung der realen Substanzen kommt infrage, falls diese schwer zu unterscheiden sind, wie es beispielsweise im Biotechnologie-Remote-Labor

von Ines Aubel im Projekt CrossLab vorgenommen wird [7].

Ebene „Daten“

Im Praktikum werden Daten aus Messungen, Versuchen und Experimenten erhoben, dokumentiert und prozessiert. Ein traditionelles Szenario ist das direkte Ablesen von Messdaten am analogen Gerät und manuelle Übertragen sowie Weiterverarbeiten im handschriftlichen Protokoll, z.B. die Erstellung eines Messwertdiagramms mit Bleistift und Lineal. Der Vorgang wirkt antiquiert, macht aber das zugrundeliegende Prinzip für Studierende nachvollziehbar. Werden Daten nicht mehr analog und rein manuell bearbeitet, sondern automatisiert digital erhoben und weiterverarbeitet, müssen die Vorgänge transparent aufgeschlüsselt werden. Weiterhin müssen die Studierenden in der Lage sein mit entsprechender Daten-Software zu arbeiten. So gibt beispielsweise der Fachbereich Physik und Elektrotechnik der Universität Bremen ein digitales Datenblatt zu „Hinweisen zum Praktikum und zur Auswertung von Messergebnissen“ [8] für die Datenhandhabung heraus. Die Speicherung von Daten im Labor geschieht zunehmend mithilfe elektronischer Protokolle und Laborbücher. Eine Auflistung möglicher digitaler Lösungen sowie wichtiger Auswahlkriterien liefert Sebastian Schöning auf der Internetseite des Fraunhofer-Instituts unter dem Themenpunkt Electronic Laboratory Notebooks [9].

Ebene „Zwischenmenschliche Kommunikation“

Diese Ebene beschreibt die Interaktion von (a) Lehrenden und Studierenden untereinander zum Zweck der Ausbildung sowie (b) der Studierenden untereinander im Rahmen von Gruppenarbeiten. Entsprechend dieser Einteilung treten in der Lehrveranstaltung Praktikum zwei Besonderheiten auf:

(a) Die erste ist die oft intensive und individuelle Betreuung der Studierenden durch die Lehrenden. Die Ausbildung im Praktikum ist gekennzeichnet durch direktes (orts- und zeit-synchrones) Feedback am Arbeitsplatz der Studierenden. Die Interaktion erfolgt oft punktgenau an Ort und Stelle. Sie beinhaltet beispiels-

weise kurze mündliche Hinweise zum Arbeiten, umfassende Erklärungen zu theoretischen Hintergründen und Sicherheitsmaßnahmen, sowie manuelle Demonstrationen und Hilfestellungen zu aktuellen Arbeitsschritten. Das individuelle Feedback unterstützt Studierende dabei Arbeitshindernisse zu überwinden, um die Praktikumseinheit in der vorgegebenen Zeit absolvieren zu können. Findet die Kommunikation von Lehrenden mit Studierenden nur noch digital gestützt statt, z.B. mittels Videokonferenz, so fehlt die örtliche und oft auch zeitliche Nähe zum praktischen Arbeiten der Studierenden. Lehrende müssen einen Weg finden die Orts- und eventuelle Zeitverschiebung so zu kompensieren, dass der Ablauf des Praktikums nicht gestört wird. Ein Beispiel hierfür bietet das sogenannte Lab@Home - Format. Die Studierenden führen die praktische Arbeit zuhause durch, z.B. mithilfe einer mobilen Experimentier-Ausstattung. Lehrende sind nicht vor Ort, sondern begleiten die Arbeit der Studierenden aus der Distanz mithilfe digitaler Kommunikationswege, z.B. Online-Chats, Foren oder Videokonferenzen. Eine umfangreiche Vorbereitung auf die praktische Tätigkeit durch Prüfung oder Self-Assessment des erlangten Vorwissens und ggf. Vorgespräch zu praxisspezifischen Kenntnissen wird in diesem Zusammenhang als förderlich beschrieben. Praxisbeispiele hierfür sind das LabBuddy-Projekt an der Universität Leiden [10] sowie die Adaption des sogenannten „Flipped-Lab-Konzepts“ im Chemiepraktikum [11] durch Dirk Burdinski an der Technischen Hochschule Köln. Einen Teil der Praktikumsvorbereitung stellen hier Lehr-Videos dar, welche die praktische Tätigkeit genau abbilden. Um zeitnahe und individuelles Feedback zu integrieren, werden genau festgelegte Zeitrahmen für die Durchführung der Arbeit und für Feedback mittels Videokonferenz angesetzt. Diese Strategie wird ebenfalls erfolgreich im digitalisierten Physik-Praktikum der Universität Paderborn angewendet [12].

(b) Die zweite Spezifität auf Ebene der zwischenmenschlichen Kommunikation ist die Tatsache, dass Studierende im Praktikum meist in Teams arbeiten, das heißt in Gruppen von zwei oder mehr Studierenden. Zum einem ergibt sich aus Kapazitätsgründen oft deren

Notwendigkeit, zum anderen ist die Teamarbeit auch bewusst gewählt, um Fähigkeiten in der Kollaboration und Kommunikation untereinander zu trainieren. Traditionell findet die Gruppenarbeit direkt und zeitsynchron am Arbeitsplatz in Werkstatt oder Labor statt. Ist diese Synchronität nicht mehr gegeben und die Studierenden müssen ihre Zusammenarbeit mit Hilfe digitaler Kommunikationswege organisieren und umsetzen, werden somit neue Arbeitsschritte integriert. Sie umfassen die selbstständige Abstimmung von Arbeitsbedingungen in Bezug auf Zeit und Ort, kollaboratives Arbeiten im digitalen Raum an geteilten Dokumenten oder Fernexperimenten sowie die gegenseitige Veranschaulichung von praktischen Arbeitsschritten über digitale Kommunikationswege. Im Blog des Hochschulforum Digitalisierung beschreibt Elisabeth Mayweg wie der Einsatz von digitalen kollaborativen Lernformen in der Hochschullehre gelingen kann [13]. Unter anderem liegt eine Möglichkeit virtuelle Laborumgebungen im Rahmen von Teamarbeit optimal zu nutzen im Potential von Gamification. Hier werden spielerische, auch wettbewerbsartige, Elemente und Vorgänge genutzt, um Lernerfolge zu steigern. Speziell mit diesem Thema beschäftigt sich das Gaming Lab des Bremer Instituts für Produktion und Logistik GmbH [14]. Ebenfalls sei in diesem Zusammenhang das Projekt MINT-VR-Labs genannt. Hier werden an der Berliner Hochschule für Technik virtuelle Labore für das Training naturwissenschaftlicher Laborexperimente geschaffen [15]. Diese Experimente beinhalten spielerische Komponenten, was Potential für gamifizierte Teamarbeit schafft und wiederum zeigt, dass Digitalisierung nicht nur Herausforderung, sondern durchaus Bereicherung sein kann.

5. Didaktische Herausforderungen

Wie die vorherigen Abschnitte bereits andeuten, sind Digitalisierungsprozesse im Werkstatt- und Laborpraktikum von einer nicht zu unterschätzenden Komplexität geprägt. Um einzelne Herausforderungen besser greifen zu können, führt das Projekt D2C2 derzeit eine Reihe von Erhebungen durch. Aus der Ist-Stand-Analyse und Vernetzung heraus sollen

gezielt Weiterbildungsmöglichkeiten entwickelt werden. Wir konzentrieren uns vorrangig auf Errungenschaften und Erfahrungen, die Lehrende und Studierende in den vergangenen Jahren gesammelt haben und möchten diese in strukturierter Form mit anderen Lehrenden und Studierenden teilen. Dabei ist es uns wichtig, neben erfolgreichen Umsetzungs-ideen auch auf anhaltende Herausforderungen adäquat einzugehen. Obgleich diese Erhebungen noch laufen, möchten wir hier einen kurzen Einblick in eine Blitzumfrage gewähren, die wir im Rahmen der **4. Lessons Learned-Konferenz** an der TU Dresden im Juli 2022 durchgeführt haben. Im direkten Anschluss an eine Projekt-Präsentation baten wir die anwesenden Lehrenden zu beantworten, was für sie die größte Herausforderung in der Durchführung digitalisierter Praktika darstellt. Aus den 21 Antworten haben wir fünf Cluster gebildet, die einen ersten Eindruck von der Vielzahl der Herausforderungen vermitteln (siehe Abb. 1). Die Ergebnisse können und sollten nicht als repräsentativ gewertet werden. Der Mehrwert einer solchen Blitzumfrage liegt unter anderem in den spezifischen Formulierungen, die die Teilnehmenden ad hoc wählen. Sie verschaffen einen guten diskursiven Eindruck und erlauben es auf einzelne Formulierungen näher einzugehen. Dabei ist hervorzuheben, dass die Umfrage unangekündigt durchgeführt wurde. Sie erfolgte anonym, schriftlich und auf freiwilliger Basis, wobei den Teilnehmenden sowohl eine digitale als auch eine analoge Form der Einreichung zur Verfügung stand.

Sechs der abgegebenen Antworten deuten auf Herausforderungen bei der didaktischen Anleitung der Studierenden hin, welche unter anderem durch hohe Studierendenzahlen und den Anspruch der gleichwertigen Einbindung aller Studierenden erschwert wird. Diese Schwierigkeiten können parallel zur Nennung technischer Probleme gelesen werden, die einen ebenfalls hohen Anteil ausmachen. So verhindert teils die mangelhafte technische Ausstattung von Studierenden sowie technische Probleme die gleichwertige Einbeziehung aller in das Praktikums-geschehen. Gleichzeitig erhöhen sich die Anforderungen an Studierende und Lehrende. So wird unter anderem das Fernbleiben haptischer Elemente unter dem Gesichtspunkt des (fehlenden) Praxisbezugs

beklagt. Es rücken teils andere Fähigkeiten in den Mittelpunkt, beispielsweise im Umgang mit Software, die es zu beherrschen gilt. Hier fällt auf, dass als Ursache fehlende Kompetenzen auf Seiten der Studierenden genannt werden, bspw. „viele Studierende können nicht mit MS-Excel umgehen“. Eine Formulierung entlang äußerer Strukturen wird nicht gewählt, bspw. „in der Schule wurde den Studierenden die Benutzung von MS-Excel nicht beigebracht“ oder gar „die Universität bietet den Studierenden keine Grundlagen-Workshops für gängige Softwareprogramme an“. Ein ähnliches Spannungsverhältnis liegt auch dem Wort Motivation inne, welches im Hinblick auf die aktive Beteiligung der Studierenden am Praktikums-geschehen mehrfach genannt wird. Den Studierenden wird fehlende Motivation attestiert. Da Motivation als solches nicht messbar ist, werden hier eine individuelle Einordnung und Interpretation des Kursgeschehens vorgenommen. Ob die Studierenden wirklich unmotiviert sind oder strukturelle Gründe diesem Anschein zu Grunde liegen, kann nicht festgestellt werden. Umso spannender ist es, dass gleich mehrere Lehrende diesen Begriff gewählt haben. Eine Tendenz zur studierendenbezogenen Problemanalyse wird hier besonders deutlich, während die strukturbezogene Problemanalyse in den Hintergrund tritt. Zu betonen sei, dass diese Einordnung keine Wertung der Aussagen darstellen, sondern lediglich auf die diskursive Situiertheit der Studierenden aufmerksam machen soll. Solange das Problem bei den Studierenden verortet wird, können Veränderungen auf struktureller Ebene schnell ins Hintertreffen geraten. Nicht zu Letzt verweisen die Teilnehmenden der Umfrage bei der Kommunikation mit Studierenden auch auf strukturelle Probleme. So wird betont, dass Online-Tools nur bedingt die Kommunikation vor Ort widerspiegeln können, da insbesondere eine informelle Kommunikation schwieriger zu erreichen ist.

Welche Ebenen der Digitalisierung (vgl. Infokasten 2) genau bei den Antworten zu Grunde liegen, ist nicht in jeder Antwort exakt ersichtlich. Bei den Antworten „Zeitaufwand“, „fehlendes Engagement der Studierenden“, „Technische Probleme“ kommen beispielsweise mehrere Ebenen (wie Arbeitsumgebung und zwischenmenschliche Kommunikation) infrage.



Abb. 1: Ergebnisse der Blitzumfrage zur Lessons-Learned-Konferenz am 14. und 15. 07. 2022. Die Frage lautete „Was ist Ihre größte Herausforderung im digitalisierten Praktikum?“. Die Umfrage erfolgte schriftlich, anonym und stichprobenartig auf freiwilliger Basis. Die Ergebnisse sind nicht repräsentativ und spiegeln keine wissenschaftlichen Erkenntnisse wieder. Die Durchführung erfolgte online (über invote) und parallel (per Karteikarten) analog. 21 Antworten wurden insgesamt abgegeben. Die Original-Antworten finden sich in den farbigen Feldern abgebildet. Zur Übersichtlichkeit wurden die Antworten subjektiv kategorisiert. Die Prozentwerte geben den Anteil der jeweiligen Kategorie in Bezug auf die Anzahl aller Antworten.

Eine Feststellung darüber würde eines genaueren Nachfragens bedürfen. Es wird jedoch bereits sichtbar, dass die genannten Herausforderungen teils auf unterschiedlichen Digitalisierungsebenen verortet sind. Dieser Vielfalt und dem daraus abzuleitende Handlungsbedarf kann besonders gut begegnet werden, wenn bereits in der Veranstaltungskonzeption verschiedene Grade und Ebenen der Digitalisierung differenziert werden und Einbeziehung in didaktischen Überlegungen erhalten. Für eine langfristig erfolgreiche Digitalisierung ist ratsam die einzelnen didaktischen Herausforderungen genau zu definieren sowie getrennt voneinander zu betrachten und ihnen in einem schrittweisen Prozess stufenweise nachzukommen.

Literatur

- [1] Feisel, L. D.; Rosa, A. J. (2005). The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education. *Journal of Engineering Education* 94 (1): 121–130. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2005.tb00833.x>.
- [2] Terkowsky, C.; May, D.; Frye, S.; Haertel, T.; Ortelt, T. R.; Heix, S.; Lensing, K. (Hg.) (2020). *Labore in der Hochschullehre - Didaktik, Digitalisierung, Organisation*. Bielefeld: wbv. <https://doi.org/10.3278/6004804w>.
- [3] Thoms, L.-J. (2019). *Spektrometrie im Fern-labor: Wirkung von Informationsdarbietungen beim forschenden Lernen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-25708-8>.
- [4] Ortelt, T. R.; Terkowsky, C.; Schwandt, A.; Winzker, M.; Pfeiffer, A.; Uckelmann, D.; Hawlitschek, A.; Zug, S.; Henke, K.; Nau, J.; May, D. (2021). Die digitale Zukunft des Lernens und Lehrens mit Remote-Laboren. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-32849-8_31.
- [5] Heidling, E.; Meil, P.; Neumer, J.; Porschen-Hueck, S.; Schmierl, K.; Sopp, P.; Wagner, A. (2019). *Ingenieurinnen und Ingenieure für Industrie 4.0. IMPULS-Stiftung*, Frankfurt a. M. <https://www.isf-muenchen.de/projekt/ingenieurinnen-und-ingenieure-fuer-industrie-40/>.
- [6] Pfeiffer, A.; Uckelmann, D. (2021). Pilotierung eines didaktischen Modellkonzepts für laborbasiertes Lernen – (Digi)LabTC für DigiLab4U. <https://www.wbv.de/shop/Pilotierung-eines-didaktischen-Modellkonzepts-fuer-laborbasiertes-Lernen-Digi-LabTC-fuer-DigiLab4U-6004804w111>.
- [7] Zug, S. (2021). *Digitale Labore 4.0 – Kick-off für Projekt Cross-Reality Labore in der Hochschullehre*. <https://tu-freiberg.de/presse/digitale-labore-40-kick-off-fuer-projekt-cross-reality-labore-in-der-hochschullehre>.
- [8] Rückmann, I.; Glüge, S.; Windzio, C. (2011). Hinweise zum Praktikum und zur Auswertung von Messergebnissen. https://www.uni-bremen.de/fileadmin/user_upload/fachbereiche/fb1/fb1/Physika/Regeln-und-Infos/hyper-skript_26_10_11.pdf
- [9] Schöning, S. (2019). Noch eine unverbindliche Liste elektronischer Laborbücher (Artikel auf der Website des Fraunhofer-Instituts). <https://websites.fraunhofer.de/lost-in-life-sciences/?p=52>.
- [10] De Grauw, M.; Huigsloot, M. (2016). Kickoff Lab-Buddy Pilot. <https://www.universiteitleiden.nl/en/news/2016/11/kickoff-labbuddy-pilot>.
- [11] Burdinski, D. (2022) Hochschule: Besser vorbereitet ins Labor. *Nachrichten aus der Chemie* 70 (7-8): 14–17. <https://doi.org/10.1002/nadc.20224123792>
- [12] Bauer, A.B.; Sacher, M.D.; Habig, S.; Fechner, S. (2021). *Laborpraktika auf Distanz. Ansätze in den Naturwissenschaften*. <https://doi.org/10.14361/9783839456903-011>.
- [13] Mayweg, E. (2022) Wie der Einsatz von (digitalen) kollaborativen Lernformen in der Hochschullehre gelingt – Einblicke in die aktuelle Forschung (Artikel auf der Website des Hochschuldidaktischen Forums). <https://hochschulforumdigitalisierung.de/de/blog/einsatz-von-digitalen-kollaborativen-lernformen>
- [14] BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH. BIBA Gaming Lab. <https://www.biba-gaminglab.com>.
- [15] Gers, F.; Prowe, S. (2014). Game based learning im virtuellen Mikrobiologie-Labor. Conference-Paper zur Conference on Innovation in Higher Education 2014, Heidelberg. Siehe auch: <https://projekt.bht-berlin.de/mint-vr-labs/>.