

Editorial:

Labore in der Hochschullehre – Didaktik, Digitalisierung, Organisation

Übergeordnetes Ziel des vorliegenden Sammelbandes „Labore in der Hochschullehre“ ist eine Bestandsaufnahme gegenwärtiger und künftiger Entwicklungen eines wichtigen, in Deutschland bislang vergleichsweise wenig beachteten und wissenschaftlich kaum untersuchten Praxisraums hochschulischen Lehrens und Lernens: das Labor. Die im Titel angesprochenen Dimensionen Didaktik, Digitalisierung und Organisation stehen dabei für den durch Kompetenzorientierung und digitale Transformation ausgelösten Modernisierungs- bzw. Innovationsdruck auf ein bewährtes, möglicherweise aber in die Jahre gekommenes Lehr-Lernformat.

Untersuchungen zur Wirksamkeit des Lernens im Labor zeigen, dass forschendes Lernen im Labor die Entwicklung sowohl fachbezogener als auch fachübergreifender Kompetenzen gezielt fördern kann. Allerdings stützen sich eine Vielzahl von Laborübungen, Experimentieranleitungen und Lernmaterialien für Studierende weiterhin auf traditionelle instruktive Labordidaktiken. Sie ermöglichen nur in Ausnahmefällen forschungsorientiertes, kreatives Lernen mit einem hohen Grad an Selbstorganisation, Selbststeuerung und Eigenverantwortung und erscheinen daher wenig innovationsförderlich. Gerade diese Kompetenzen aber werden für ein Arbeitsleben im Kontext von Industrie 4.0 zukünftig immer wichtiger und fordern daher ein „Lernen 4.0“ – auch unter gezieltem Einbezug digitaler Angebote.

Wurde die Bezeichnung *Labor* ab dem 17. Jahrhundert zunächst für die Werkstätten von Apotheker*innen und Alchemist*innen verwendet, so ist der heutige Gebrauch des Begriffs eng verbunden mit dem Aufkommen der empirischen Naturwissenschaften, des Ingenieurwesens und der damit in Verbindung stehenden Universitätsreform des 19. Jahrhunderts. Laborübungen und -praktika wurden in den letzten 180 Jahren weltweit zum festen Bestandteil natur-, ingenieur- und technikwissenschaftlicher Studiengänge. Die Angebote sind dabei sowohl in anwendungs- als auch in forschungsorientierten Studiengängen auf allen Studienstufen von zentraler Bedeutung. Sie werden künftig aber noch weiter an Bedeutung gewinnen, da der technologische Wandel und die digitale Transformation von Wirtschaft, Gesellschaft und Bildungswesen neue Arbeits-, Lebens- und Lernwelten hervorbringt und weiter hervorbringen wird. Das Fachliche wie das Methodische wandeln sich dabei unter dem Einfluss der fortschreitenden Digitalisierung. Auf diese Entwicklung müssen Studierende und Lehrende der Natur-, Ingenieur- und Technikwissenschaften als künftige *Change Agents* nicht nur fachlich-theoretisch und empirisch-praktisch, sondern zunehmend auch kritisch-reflexiv und kreativ-selbstorganisiert vorbereitet werden.

Digitale Angebote verändern jedoch nicht nur das hochschulische Lehren und Lernen, sondern öffnen, verschieben und lösen auch zunehmend die Systemaußengrenzen der Hochschulen auf. Herkömmliche Labore in den Hallen, Räumen und Kellern der Fakultäten, Fachbereiche und Institute vor Ort werden durch Onlineangebote ergänzt und erweitert. Darüber hinaus werden Online-Labore zunehmend durch hochschulübergreifende Verbände in Verbindung mit kommerziellen Laborangeboten in unterschiedlichen Tauschbeziehungen und Geschäftsmodellen in die lokale Lehre hinein vernetzt. Mehr noch, Lehrende, Lernende, Labore, Lernmaterialien u. v. m. können global-lokal von jedem beliebigen Ort zu jedem anderen mit Internetverbindung verbunden und dort in die lokale Umgebung der Nutzer*innen integriert werden. So entsteht ein mediengenerierter und medienintegrierter soziodigitaler Zusatzraum für das Labor. Für eine nachhaltige Integration in Curricula und Lehre benötigt dieser Raum allerdings entsprechende didaktische Konzepte, IT-basierte Infrastruktur, Akteurinnen und Akteure sowie Strategien in der Hochschule.

Zusammenfassend stellen sich also Fragen im Bereich der Didaktik, der Digitalisierung und der Organisation, deren Beantwortung sich der Band in drei übergeordneten Kapiteln widmet:

- I. Im ersten Teil erörtern Beiträge die Frage, inwieweit sich Labordidaktik unter veränderten Kompetenzerwartungen neu aufstellen muss. Das Spannende dabei ist, ob und wie sich auch in herkömmlichen Laboren neben fachlichen Kompetenzen die für die zunehmende Digitalisierung notwendigen überfachlichen Kompetenzen fördern lassen.
- II. Im zweiten Teil befassen sich Beiträge mit der aktuellen und zukünftigen Entwicklung von Cross-Reality-Laboren, also der Vermischung unterschiedlicher laborbezogener Medienrealitäten für die Hochschullehre. Hierbei werden sowohl einzelne Laborangebote als auch Plattformen und Netzwerke betrachtet. Hierfür wird auch ihr Nutzen für die Lehre vor dem Hintergrund sich wandelnder Kompetenzanforderungen einer digitalisierten Lebenswirklichkeit und einer Industrie 4.0 diskutiert.
- III. Im dritten Teil schließlich stehen Beiträge im Mittelpunkt, die sich mit aktuellen Gelingens- und Misslingensbedingungen auf infrastruktureller und organisationaler Ebene befassen. Sie gehen der übergeordneten Frage nach, welche Voraussetzungen künftig notwendig sein werden, um Cross-Reality-Labore technisch verlässlich und ökonomisch nachhaltig in die Lehre zu integrieren.

Teil I: Labordidaktik und Kompetenzentwicklung

Den Anfang machen *Claudius Terkowsky*, *Dominik May* und *Silke Frye*, die in ihrem Beitrag „Forschendes Lernen im Labor: Labordidaktische Ansätze zwischen Hands-on und Cross-Reality“ zunächst eine Bestandsaufnahme gängiger Labortypen und ihrer vielschichtigen Funktionen in der Hochschullehre durchführen. Sie diskutieren spezifische Lernziele für das Labor und nehmen eine detaillierte Analyse der Entwicklung und des Istzustands des in vielen Fällen nur rudimentär kompetenzförderli-

chen gegenwärtigen forschenden Lernens im Labor vor. Abschließend erfolgt eine Erörterung von Cross-Reality-Laboren als neue Entwicklungen im Kontext der Laborlehre vor dem Hintergrund der immer stärker in die Arbeitswelt von Hochschule und Industrie vordringenden Digitalisierung.

Jochen Berendes und *Mathias Gutmann* stellen die durchaus provokant gemeinte Frage: „Wozu Labor? Zur vernachlässigten Erkenntnistheorie hinter der Labordidaktik“ und beschäftigen sich anschaulich und zugleich philosophisch versiert mit der Beantwortung eben dieser Frage nach der vernachlässigten Erkenntnistheorie hinter der Labordidaktik. Dies ist deshalb wichtig, weil gerade in der Praxis der fachwissenschaftlich betriebenen Laborlehre solche Reflexionen über sich selbst aus einer übergeordneten erkenntnistheoretischen Perspektive in der Regel kaum vorgenommen werden. Der Beitrag stellt somit das gewichtige wissenschaftsphilosophische Rückgrat des Sammelbandes dar.

Marc D. Sacher und *Anna B. Bauer* widmen ihren spannenden Beitrag „Kompetenzförderung im Laborpraktikum“ dem labordidaktischen Redesign eines naturwissenschaftlichen Labors zu einer kompetenzförderlichen Lehr-Lernumgebung. Anhand des von ihnen neu konzipierten Paderborner Physik Praktikums 3P stellen sie beispielhaft und anschaulich dar, wie Lehrende Laborveranstaltungen vor dem Hintergrund sich wandelnder Kompetenzerwartungen mit von ihnen eingesetzten didaktischen Gestaltungsprinzipien des forschenden Lernens und des Cognitive Apprenticeship gewinnbringend überarbeiten können.

Andrea Merli, *Birgit Kanngießler* und *Thomas Möller* zeigen in ihrem Beitrag „Kreatives forschendes Lernen im Projektlabor fördern“ eindrucksvoll, wie sich naturwissenschaftliche Kreativität im Labor unter sich ändernden gesellschaftlichen Bedingungen immer wieder neu fördern lässt. Das von ihnen vorgestellte Anfängerpraktikum „Projektlabor Physik“ bietet dazu seit inzwischen nahezu 50 Jahren Studierenden besondere Freiräume für Kreativität, Eigeninitiative und Selbstständigkeit. Die Studierenden realisieren in Projektform selbstgewählte aktuelle Themen und führen von ihnen geplante und entworfene Experimente eigenständig und hochmotiviert durch.

Tobias Haertel, *Anja Höschel*, *Monika Rummeler* und *Claudius Terkowsky* widmen ihren Beitrag „Kreativität und Sicherheit im Labor – ein Widerspruch?“ der Zusammenführung zweier Aspekte der Laborlehre, die auf den ersten Blick nicht unbedingt zusammenzugehören scheinen. Anhand eines von ihnen gemeinsam entwickelten und umgesetzten hochschuldidaktischen Workshops zeigen sie jedoch auf, wie Lehrende darin erfolgreich unterstützt werden können, beide Perspektiven besser miteinander zu verknüpfen.

Wie ein labordidaktisch und fachlich-inhaltlich in die Jahre gekommenes Laborpraktikum als Teil der Lehramtsausbildung für das Fach Technik neu konzipiert werden kann, zeigen eindrucksvoll *Silke Frye*, *Claudius Terkowsky*, *Tobias Haertel*, *Judyta Franuszkiewicz* und *Sabrina Heix* in ihrem Beitrag „Re-Design eines Laborpraktikums im Lehramtsstudium – Didaktische Optimierung mittels Design-Based Research“. Sie beschreiben einen umfassenden labordidaktischen Beratungsprozess,

an dessen Ende eine umgestaltete Lehrveranstaltung steht, die sowohl bei den Studierenden als auch den Lehrenden zu einer wesentlich höheren Zufriedenheit geführt hat.

Teil II: Cross-Reality Labore

Anke Pfeiffer und *Dieter Uckelmann* beschreiben in ihrem Beitrag „Pilotierung eines didaktischen Modellkonzepts für laborbasiertes Lernen – (Digi)LabTC für DigiLab4U“ die theoretischen Rahmenbedingungen, die konzeptionelle Umsetzung sowie erste Evaluationsergebnisse eines laborbasierten didaktischen Designs für eine vernetzte Laborumgebung, die mittels eines Design-Based-Research-Ansatzes entwickelt wird. Diese Laborumgebung soll künftig Studierenden, Lehrenden und Forschenden standortunabhängig praxisnahe, digitalisierte und vernetzte Laborumgebungen mit den Themenschwerpunkten Internet of Things (IoT) und Industrie 4.0 (I 4.0) zur Verfügung stellen.

In ihrem Beitrag „Lernort Digitale Umformtechnik – kontinuierliche agile Entwicklung einer Lehr-Lern-Umgebung“ zeigen *Enno Stöver*, *Benjamin Remmers* und *Katrin Schillinger*, wie ein Labor der Umformtechnik als Teil der Produktionstechnik durch agiles Projektmanagement als Lehr-Lernszenario sukzessive zu einem Lernort für Digitale Umformtechnik weiterentwickelt werden kann. Aus dem klassischen Hochschullabor wird so schrittweise eine agile Projektumgebung zur Förderung sowohl einschlägig fachlicher als auch von Industrie-4.0- nahen Kompetenzen.

Anja Hawlitschek, *Sarah Berndt*, *André Dietrich* und *Sebastian Zug* berichten in ihrem Beitrag „Iterative Adaption eines Remote-Labors unter Berücksichtigung des Feedbacks der Studierenden“ über die technische und didaktische Realisierung eines Remote-Labors zur Programmierung mobiler Robotersysteme in der Informatikausbildung. Seine Entwicklung zog sich über insgesamt drei Versionen hin – stets begleitet durch eine formative Evaluation zur iterativen Optimierung des Lehr-Lernsystems. Aus den Ergebnissen der formativen Evaluation leiten die Autorinnen und Autoren am Ende allgemeine Regeln zur Realisierung eines Remote-Labors ab.

Konrad E. R. Boettcher, *Dana J. Boettcher* und *Alexander S. Behr* stellen in ihrem Kapitel „Virtuelle Realität des Unsichtbaren: Verständnisfördernde Visualisierung und Interaktivierung strömungsmechanischer Phänomene“ eine von ihnen entwickelte virtuelle Laborumgebung zur Veranschaulichung nicht unmittelbar einsehbarer strömungsmechanischer Prozesse vor. Da Studierende in der Regel Schwierigkeiten haben, solche komplexen Grundlagen der Strömungsmechanik zu verstehen, wurden mittels einer programmierbaren Game-Engine virtuelle Labore zur Unterstützung der Lehre entwickelt. Diese können aus der Ichperspektive angesteuert werden, um so das Verstehen nachhaltig zu unterstützen.

Marco Winzker und *Andrea Schwandt* untersuchen in ihrem Beitrag „FPGA Remote-Labor als Ergänzung und Alternative zum Präsenzlabor“ am Beispiel eines über das Internet programmierbaren Logikgatters, wie Präsenzlabor durch Remote-Labore sinnvoll ergänzt oder ersetzt werden können. Ein Field Programmable Gate Array (FPGA) ist ein programmierbarer integrierter Schaltkreis in der Digitaltech-

nik, in den eine logische Schaltung geladen werden kann. Die Untersuchung zeigt, dass die Studierenden im präsentierten Laborsetting sowohl die intendierten Lehr-Lernziele erreichen als auch diese Art des Anytime-Anywhere-Lernens akzeptieren und sich künftig mehr Online-Labore im Studium vorstellen können.

Heinz-Dietrich Wuttke und *Karsten Henke* stellen in ihrem Kapitel „Architektur und Einsatz eines hybriden Online-Labors in der MINT-Grundlagenausbildung“ die Entwicklung eines hybriden Online-Labors vor, das in der Grundlagenausbildung zur Technischen Informatik zum Einsatz kommt. Sie beschreiben, in welchen Lehr-Lernszenarien es eingesetzt werden kann und wie die Architektur des Labors vielseitige Anwendungen unterstützt. Studierende sollen durch das Lernen und Arbeiten mit GOLDi dazu befähigt werden, selbstständig digitale Steuerungen zu entwerfen, aufzubauen und ihre korrekte Funktion nachzuweisen.

Dominik May, *Silke Frye* und *Claudius Terkowsky* analysieren in ihrem Beitrag „Die Eignung von Remote-Laboren zur Förderung von Kompetenzen für die Industrie 4.0 am Beispiel von VISIR“ exemplarisch das Potential von Remote-Laboren für eine Ausbildung von Ingenieur*innen im Kontext des Lernens und Arbeitens in der Industrie 4.0. Sie zeigen, dass sich das Remote-Labor VISIR grundsätzlich auch zur Förderung von Industrie-4.0-Kompetenzen eignet. Ihre Analyse legt aber auch nahe, dass die VISIR-Community zwar eine Vielzahl von Industrie- 4.0-Kompetenzen fördern kann, dies aber bislang nur vereinzelt bzw. diversifiziert geschieht und nicht in der Breite über alle Laborbetreibenden hinweg. Die Autor*innen kommen daher zu dem Schluss, dass ein Austausch zur Verbreitung unterschiedlicher lokaler Lösungen ratsam wäre.

Teil III: Organisation und digitale Infrastruktur

Tobias R. Ortelt und *Claudius Terkowsky* stellen in ihrem Beitrag „Community Working Group ‚Remote-Labore in Deutschland‘: Akteure, Gemeinsamkeiten, Unterschiede“ die von ihnen initiierte Arbeitsgruppe vor, die derzeit aus fünfzehn in Deutschland agierenden hochschulischen Einrichtungen besteht. Der Beitrag stellt heraus, dass der Austausch und die weitere Vernetzung der handelnden Akteur*innen im Bereich der Remote-Labore ungemein wichtig sind, damit anhand der bereits erzielten Ergebnisse im Sinne von Best-Practice-Lösungen und weiterer Standardisierungen gemeinsame Weiterentwicklungen effizienter und effektiver durchgeführt werden können.

Pablo Orduña, *Luis Rodriguez-Gil*, *Ignacio Angulo*, *Unai Hernandez*, *Aitor Villar* und *Javier Garcia-Zubia* beschreiben in ihrem Beitrag „weblablib: Ein neuer Ansatz zur Einrichtung von Remote-Laboren“ aktuelle technische Entwicklungen für den Aufbau und die Organisation eines umfassenderen Verbunds von Remote-Laboren. Aufbauend auf dem von ihnen entwickelten Remote Laboratory Management System (RLMS) „WebLab-Deusto“ zeigen sie eindrucksvoll auf, wie Remote-Labore von unterschiedlichen Institutionen gemeinsam genutzt und an jedem Standort technisch auf einfache Weise in die Lehre eingebunden werden können.

Unter dem Titel „Künstliche Intelligenz im Lehr-Lernlabor“ befasst sich *Karsten Lensing* in einer Literaturanalyse mit gegenwärtigen und zukünftigen Einsatzmöglichkeiten von KI-basierten Informations- und Assistenzsystemen in hochschulischen Laborumgebungen. Im Ergebnis zeigen sich insbesondere die kognitiven KI-Assistenzfunktionen im Zusammenspiel mit einer Individualisierung von Lehr-Lernprozessen als bedeutsam. Am Ende des Beitrags werden die Prämissen für eine Integration KI-basierter Assistenzsysteme anhand tätigkeitsbezogener Kompetenzansprüche antizipiert, um Möglichkeiten zur Entwicklung einer zukunftsorientierten Labor- didaktik aufzuzeigen.

Den Abschluss bildet ein per E-Mail geführtes internationales Expert*innen-schreibgespräch zwischen *Dominik May, Claudius Terkowsky, Gustavo R. Alves, Michael E. Auer, Kalyan Ram Bhimavaram, Manuel Castro, Alexander A. Kist, Pablo Orduña* und *Valerie Varney*. Unter dem Titel „Ausblick: Welche Rolle spielen Online-Labore für die Zukunft der Laborlehre?“ analysieren und diskutieren sie ihre langjährigen Erfahrungen und formulieren diskursiv und anschaulich verschiedene didaktische, technische und organisatorische Gelingens- und Misslingensbedingungen für die Zukunft von Online- bzw. Cross-Reality-Laboren in der Hochschullehre.

Wir möchten uns bei allen mitwirkenden Autorinnen und Autoren für ihr sehr engagiertes, diszipliniertes und gleichzeitig kreatives Mitwirken insbesondere unter den besonderen Bedingungen der COVID-19-Pandemie und der damit verbundenen gänzlich unerwarteten zusätzlichen Aufgaben und Herausforderungen ganz herzlich bedanken. Die gemeinsamen Diskussionen mit allen Beteiligten waren sehr inspirierend und haben zu vielen neuen Einsichten geführt. Den Lesenden dieses Sammelbands wünschen wir eine ebenso anregende Lektüre und hoffen, mit dem Buch Inspirationen und Impulse zur Weiterentwicklung der Laborlehre liefern zu können.

Dortmund, im Oktober 2020

Claudius Terkowsky

Dominik May

Silke Frye

Tobias Haertel

Tobias R. Ortelt

Sabrina Heix

Karsten Lensing