

Pilotierung eines didaktischen Modellkonzepts für laborbasiertes Lernen – (Digi)LabTC für DigiLab4U

ANKE PFEIFFER, DIETER UCKELMANN

Abstract

In den Ingenieurwissenschaften gewinnt das *Internet der Dinge* (Internet of Things, IoT) zunehmend an Bedeutung. Sowohl das Wissen um die technischen Grundlagen als auch ein Verständnis für die breiteren gesellschaftlichen Auswirkungen des IoT werden für angehende Ingenieur*innen in ihrem zukünftigen Arbeitsfeld entscheidend sein. Gleichzeitig ermöglicht die Digitalisierung in Bildung und Forschung neue Formen der standortübergreifenden Vernetzung von Laborinfrastrukturen und kann damit Studierenden und Forschenden ein breites Spektrum an praktischen Handlungs-, Lern- und Forschungsfeldern bieten. Das BMBF-geförderte Projekt Open Digital Lab for You¹ (DigiLab4U) verfolgt in diesem Sinne das Ziel, Studierenden, Lehrenden und Forschenden standortunabhängig praxisnahe, digitalisierte und vernetzte Laborumgebungen mit dem Themenschwerpunkt IoT und Industrie 4.0 (I4.0) zur Verfügung zu stellen. Dabei soll zukünftig nicht nur der Zugriff auf eine Laborinfrastruktur ermöglicht werden, sondern auch auf entsprechende methodisch-didaktische Lehr- und Lernressourcen. Der nachfolgende Artikel beschreibt, angelehnt an die Phasen eines Design-Based-Research-Ansatzes, die theoretischen Rahmenbedingungen, die konzeptionelle Umsetzung sowie erste Evaluationsergebnisse eines laborbasierten didaktischen Designs für eine vernetzte Laborumgebung.² Eine curriculare Integration durch skalierbare Laboreinheiten und -phasen konnte im Sommersemester 2019 in einem ingenieurwissenschaftlichen Studiengang erstmals umgesetzt werden. Coaching- und Präsentationsphasen wurden gezielt als didaktisches Mittel eingesetzt, um die individuellen fachlichen Wissensbestände und handlungspraktischen Erfahrungen der Studierenden zu reflektieren.

Schlüsselwörter: Ingenieurwissenschaften, laborbasiertes Lernen, Internet der Dinge, Industrie 4.0

-
- 1 Projektkonsortium: Hochschule für Technik Stuttgart (HFT), Bremer Institut für Produktion und Logistik (BIBA), Institut für Wissensmedien der Universität Koblenz-Landau (IWM), RWTH Aachen, Universität Parma.
 - 2 Unser Dank gilt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Unterstützung des Forschungsprojektes Open Digital Lab for You (DigiLab4U, FKZ 16DHB2112).

Einleitung

Die Digitalisierung und speziell der Bereich IoT sowie dessen Umsetzung im industriellen Umfeld (vgl. I4.0) ziehen durch die zunehmende Verlagerung der Wertschöpfung von der physischen in die digitale Welt in vielen Bereichen rapide und massive Veränderungen nach sich (vgl. Heyde et al., 2017, S.1757 ff.). Kern dieser Umwälzung bildet die Durchdringung der Industrie, ihrer Produkte und ihrer Dienstleistungen mit Software bei gleichzeitiger (meist internetbasierter) Vernetzung der Produkte und Dienste (vgl. Sendler, 2013, S. 1). Dieser Prozess bleibt nicht ohne Konsequenzen für die Gestaltung von Studiengängen in den Ingenieurwissenschaften, denn sie sind gefordert, die aufstrebenden informationstechnologischen Inhalte aus dem Themenspektrum IoT und I4.0 in ihren Curricula zu berücksichtigen (vgl. Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e. V., 2016). Studierende der Ingenieurwissenschaften sollen idealerweise die Möglichkeit haben, die vielfältigen Bereiche der Digitalisierung kennenzulernen, praxisnah zu erfahren und mitzugestalten (vgl. Kortuem et al., 2013, S. 54; vgl. Terkowsky et al., 2013, S. 270). Aufgrund der meist hohen Anschaffungs-, Wartungs- und Betreuungskosten sind die universitären Möglichkeiten jedoch häufig begrenzt (vgl. Heradio et al., 2016, S. 15). Hochschulübergreifende Kooperationen, wie sie aktuell in *Open Digital Lab for You* gezielt aufgebaut werden, bieten sich hier an, um industriennahe, reale und digitale Laborumgebungen zu vernetzen und einem größeren Nutzerkreis zur Verfügung zu stellen. Ziel ist es, Studierenden, Lehrenden und bei Bedarf auch Forschenden eine Laborinfrastruktur anzubieten, die weitestgehend orts- und zeitunabhängig zur Verfügung steht.

Für Hochschulen sollten die Angebote niedrigschwellig im Curriculum integrierbar sein, um im Optimalfall semesterbegleitend im Studienverlauf genutzt werden zu können. Die Integration der Laborinfrastruktur in das Curriculum eines ingenieurwissenschaftlichen Studiengangs erfolgt in diesem Beitrag prototypisch für den Bachelor Informationslogistik der HFT Stuttgart.

Den Ausgangspunkt dieses Forschungs- und Entwicklungsprozesses stellt ein Design-Based Research Ansatz (DBR) dar, der den Rahmen für die Entwicklung eines theoriegeleiteten mediendidaktischen Designs für eine hybride Lernumgebung bildet (vgl. Euler, 2014, S. 14 ff.) Die Lernumgebung beinhaltet eine Kombination aus Präsenz- und Online-Lernphasen sowie die Integration von realen und digitalen Laboren mit praktischen Hands-on-Laborübungen, die über eine Lernplattform (Moodle) begleitet werden. Das Design basiert auf einem zyklischen Iterationsprozess mit Analyse-, Design-, Evaluation- und Re-Designphase. In der Design-Phase geht es derzeit darum, die aus der Analysephase resultierenden Anforderungen der unterschiedlichen beteiligten Akteure (Lernende, Lehrende) und die curricularen Erfordernisse in ein entsprechendes laborbasiertes Lerndesign zu übersetzen.

In diesem Beitrag werden zunächst in Form einer didaktischen Analyse ausgewählte Elemente als Rahmenbedingungen für die Konzeptentwicklung vorgestellt. Daran anknüpfend erfolgt die Vorstellung des (Digi-)LabTC-Konzeptes – ein didakti-

sches Konzept für die curriculare Integration von DigiLab4U – sowie die Darstellung erster Evaluationsergebnisse.

Laborbasiertes Lernen 4.0

Veränderte Anforderungen an Labore im Arbeitsfeld IoT

Laborbasiertes Lernen spielt in der Ingenieurausbildung eine zentrale Rolle, da es die Erreichung wichtiger pädagogischer Ziele durch den direkten Theorie-Praxis-Transfer ermöglicht. Die Studierenden sollen mithilfe laborbasierter Lernumgebungen in die Lage versetzt werden, praxisnahes Equipment technisch und methodisch gezielt handhaben zu können, um auf diesem Wege authentische praxisrelevanten Erfahrungen zu sammeln (vgl. Feisel & Rosa, 2005, S. 121).

Labore sind in den Ingenieurwissenschaften traditionellerweise komplexe Lehr- und Lernumgebungen, die Studierenden das Experimentieren, Beobachten und Üben in einem Studienbereich ermöglichen und damit aktuelle und zukünftige Lernbedarfe ansprechen und decken (vgl. Haug, 1980, S. 13). Gerade im Zuge der Digitalisierung wird das Lernen im Labor auch als eine Möglichkeit betrachtet, den digitalen Wandel in der Ingenieurausbildung aktiv mitzugestalten (vgl. Uckelmann, 2012, S. 3). Für ingenieurwissenschaftliche Studiengänge eröffnen sich dadurch aus mindestens zwei Perspektiven neue Möglichkeiten für laborbasiertes Lernen, die an dieser Stelle kurzgefasst erläutert werden sollen.

Erstens haben die oben bereits erwähnten veränderten technischen Anforderungen Auswirkungen auf Labore und die entsprechende Infrastruktur. Die Arbeitsfelder der IoT und I4.0 sind gekennzeichnet durch eine Verknüpfung der realen mit der virtuellen Welt. Diese Verknüpfung muss sich in Lernlaboren widerspiegeln, um den Studierenden exemplarisch die damit zusammenhängenden tiefgreifenden technischen und ökonomischen Herausforderungen für Produktions-, aber auch Geschäftsprozesse nachhaltig erfahrbar werden zu lassen (vgl. Grodotzki & Tekkaya, 2019, S. 127). Daraus lässt sich folgern, dass Lernlabore für IoT und I4.0 geeignete Schnittstellen zwischen Hard- und Software bieten müssen, um entsprechende Lernprozesse zu initiieren. Hierzu zählen unter anderem theoretisches und praktisches Wissen über das Zusammenspiel von Hardware (inklusive Cyber-Physischer Systeme/CPS), Software (inklusive Programmierung) und Telekommunikation inklusive drahtloser Übertragungstechniken. Für den Bereich IoT ergeben sich vielfältige Lernanlässe, in denen z. B. theoretische Lösungen in reale Probleme transferiert werden können, um sie dann auf realen Geräten zu überprüfen. Die so generierten Ergebnisse können digital erfasst und ausgewertet werden, um dann ggf. erneut in einen Produktzyklus einzufließen. Für diese und ähnliche Vorgehensweisen und Problemstellungen bedarf es einer Laborinfrastruktur, die eine Kombination aus realen Hands-on-Umgebungen und digitalen Elementen bereithält.

Zweitens öffnet sich der Bereich des laborgestützten Lernens und Lehrens durch die Digitalisierung auch zunehmend für den Einsatz innovativer didaktischer

Methoden. Orduña et al. beschreiben, dass institutionsübergreifend bereitgestellte Labore oft hinter ihren Möglichkeiten bleiben, wenn passende methodisch-didaktische Konzepte fehlen, die mit ihnen zur Verfügung gestellt werden (vgl. Orduña et al., 2017, S.860). Um Bedarfe und Potentiale für die sinnvolle Integration von Technologien und didaktischer Methoden für laborgestütztes Lernen im Bereich I4.0 und IoT zu identifizieren, wurde im Rahmen des Projektes DigiLab4U eine Bedarfsanalyse durchgeführt, die ausgewählte Lehr-, Lern- und Bewertungsansätze berücksichtigte, wie etwa Learning Analytics, Open Badges, selbstreguliertes Lernen oder kollaboratives Lernen. Im Rahmen der Bedarfsanalyse wurden unter anderem leitfadengestützte Experteninterviews mit Professor*innen und leitfadengestützte Interviews mit Studierenden ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge durchgeführt, die mithilfe einer qualitativen Inhaltsanalyse analysiert wurden (vgl. Burghardt et al., 2020, S.299). Auch wenn die Ergebnisse der Studie noch vorläufig sind, enthalten die hier gesammelten Anforderungen der Lehrenden und Lernenden wichtige Hinweise darauf, welche Aspekte für die sinnvolle Gestaltung einer laborbasierten Lernumgebung hilfreich sein können. Ein kleiner Auszug soll dies hier verdeutlichen:

- Learning Analytics bezeichnet das Sammeln digitaler Daten, die in Lehr- und Lernkontexten anfallen, mit dem Ziel, Lernprozesse und Lernumgebungen zu optimieren (vgl. Ifenthaler & Schumacher, 2016, S.176). Interviews haben gezeigt, dass dem Thema Learning Analytics im Laborkontext sowohl mit großem Interesse als auch mit Skepsis begegnet wird.
- Open Badges sind digitale Auszeichnungen, die vielfältige Zwecke erfüllen, wie z. B. die Visualisierung erfolgreicher Lernprozesse, die Anerkennung von Lernergebnissen oder die Kommunikation von Leistungen (vgl. Konert et al., 2018, S.29) . Bislang existiert bei den Interviewpartnern wenig bis keine Erfahrung mit Open Badges, aber eine große Bereitschaft, diese einzusetzen.
- Selbstreguliertes Lernen ist ein aktiver, konstruktiver Prozess, bei dem Lerner*innen sich eigene Lernziele setzen und die Zielerreichung selbst initiieren, organisieren und überwachen (vgl. Otto et al., 2011, S. 34). Aufgrund der heterogenen Lernvoraussetzungen hinsichtlich des selbstgesteuerten Lernens sollten Laborlernprozesse mit Orientierungsmaßnahmen (Scaffolding) unterstützt werden.
- Kollaboratives Lernen wird von den Interviewpartner*innen dann als Verbesserung des Lernprozesses wahrgenommen, wenn geeignete Hilfsmittel zusammen mit einer angemessenen Gruppenzusammensetzung gewährt werden. Im Kontext DigiLab4U heißt kollaboratives Lernen, dass jene Lernende, die mehr oder weniger auf dem gleichen Niveau sind, die gleichen Handlungen ausführen und ein gemeinsames Ziel haben, zusammenarbeiten (vgl. Dillenbourg, 1999, S.7).

Des Weiteren wurde die persönliche Kommunikation, der Austausch und das Feedback von Studierenden und Professor*innen als zentrale Elemente in laborbasierten Umgebungen betont, speziell mit Blick auf die Motivation.

Laborinfrastruktur im Wandel

Neben den realen, physischen Hands-on-Laboren in entsprechenden Räumlichkeiten haben sich für den Einsatz zu Lehr- und Lernzwecken in den letzten fünfzehn Jahren zunehmend auch remote bedienbare und virtuelle Labore etabliert sowie Augmented Reality und Simulationen allgemein (vgl. Feisel & Rosa, 2005; Orduna et al., 2015; Orduna et al., 2016; Tekkaya et al., 2016). Die letztgenannten Labortypen können gegenüber realen Laboren eine Reihe von Vorteilen für Bildungszwecke bieten, beispielsweise einen barrierefreien Zugriff, die Unterstützung hochschulübergreifender Unterrichtsformen oder die Erhöhung der Sicherheit bei gefährlichen Experimenten (vgl. Heradio et al., 2016, S. 15).

Eine weitere Variante stellen sogenannte Mixed Reality Labore dar (Grodotzki et al., 2018). Mit Mixed Reality wird die Verschmelzung von realen und virtuellen Welten entlang eines „Virtualitätskontinuums“ bezeichnet, das reale mit virtuellen Umgebungen verbindet (vgl. Milgram et al., 1994, S. 1).

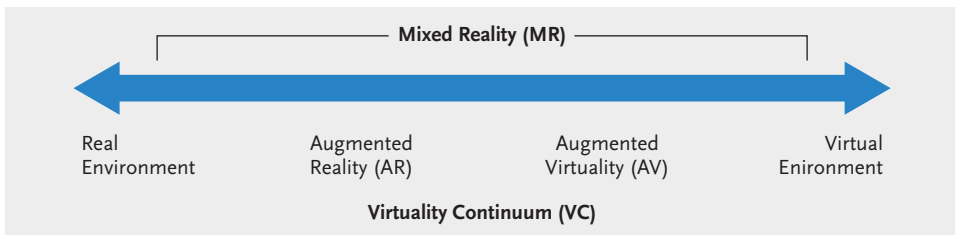


Abbildung 1: Virtuality Continuum nach Milgram & Kishino (Milgram et al., 1994, S. 3)

Bereits in den neunziger Jahren wurde der virtuellen Realität viel Aufmerksamkeit geschenkt, denn vor allem im industriellen Bereich gab es schon früh entsprechende Demonstrationen und Ansätze, die aber noch wenig praxisgerecht waren (vgl. Brooks, 1999). Heutzutage sind Virtual-Reality-Anwendungen in vielen Industriezweigen zu finden und werden im Arbeitsalltag bereits erfolgreich eingesetzt (vgl. Berg & Vance, 2017). Das Interesse am Einsatz dieser neuen Technologie in der Ingenieurausbildung ist nicht überraschend, denn es kann kreatives Lernen fördern und die Studierenden auf geschäftsrelevante Themen und Prozesse vorbereiten (vgl. Abulrub et al., 2011). Im Bereich Augmented Reality ist ein ähnlicher Trend zu beobachten, und auch hier sind in ingenieurwissenschaftlichen Kontexten bereits vielfältige Anwendungsfelder zu finden (vgl. Huang et al., 2017; van Krevelen & Poelman, 2019; Weshah et al., 2020).

Mit Blick auf die technischen Gegebenheiten, die mit IoT und I4.0 Arbeitskontexten einhergehen, scheint ein Mixed-Reality-Ansatz für die Gestaltung einer laborbasierten Lehr- und Lernumgebung sinnvoll, da die Kombination aus unterschiedlichen Hard- und Softwarekomponenten flexible Lernszenarien zulässt und Anschlussfähigkeit an aktuelle technische Entwicklungen sicherstellt.

*IoT-Kompetenzen für angehende Ingenieur*innen*

Angesichts des Wandels beruflicher Tätigkeitsfelder im Zuge der Digitalisierung erleben wir derzeit eine Diskussion darüber, welche Kompetenzen im Hinblick auf Innovationen im IoT-Bereich erforderlich sind (vgl. acatech, 2016; Haertel et al., 2019). Ein Blick auf Studien zur Ermittlung von IoT-Kompetenzen zeigt ein recht uneinheitliches Bild. Eine von Terkowsky et al. durchgeführte qualitative Analyse von fünf Studien zu ausgewählten Kompetenzprofilen für I4.0 bestätigt diese Einschätzung (vgl. Terkowsky et al., 2019). Ihre Ergebnisse zeigen nur wenig bis keine Übereinstimmung darüber, welche Kompetenzen in Zukunft für den Bereich I4.0 benötigt werden.

In den Studien wird ebenfalls deutlich, dass kein einheitliches Kompetenzverständnis zugrunde liegt. Während etwa im Industriekontext einerseits von Engineering-Kompetenzen gesprochen wird, die entsprechende Bestandteile beinhalten (System-Engineering, Service Engineering, smarte Produkte, Agile Methoden, Embedded Systems, Prozess-, Organisations- und IT-Werkzeug-Kompetenzen), finden sich in den Empfehlungen für die Ingenieurausbildung des Verbandes Deutscher Ingenieure (VDI), des Stifterverbandes oder der acatech eher eine Reihe überfachlicher Kompetenzen wie Kooperationskompetenz, Interdisziplinarität, Problemlösefähigkeit, Data Literacy, Digitalkompetenz bzw. Digitalisierungskompetenz (vgl. Abramovici & Herzog, 2016; acatech, 2016; vgl. Gottburgsen et al., 2019; Salomon et al., 2016; Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e. V., 2016). Die genannten Kompetenzen werden meist nicht näher definiert und lassen sich eher aus dem Kontext erschließen. Dabei muss festgehalten werden, dass die Studien in der Regel nicht den Anspruch verfolgen, Kompetenzprofile zu liefern, sondern vielmehr Anregungen für deren Weiterentwicklung (vgl. Gottburgsen et al., 2019, S. 31). Grundsätzlich empfiehlt der VDI, die Curricula entwicklungs offen zu gestalten und betont darüber hinaus mehrfach die Wichtigkeit des lebenslangen Lernens (Gottburgsen et al., 2019; Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e. V., 2016).

Vor diesem Hintergrund wurde als Ausgangspunkt für die Kompetenzorientierung in DigiLab4U der Deutsche Qualifikationsrahmen für lebenslanges Lernen (DQR) und sein Pendant für Hochschulen, der Hochschulqualifikationsrahmen (HQR), gewählt. Während der DQR den Akteur*innen im Bildungskontext ein Instrument mit an die Hand gibt, um Kompetenzen, erworbene Fähigkeiten und Fertigkeiten besser einordnen zu können, umfasst der HQR explizit den hochschulischen Bildungsbereich, ist aber in jeder Hinsicht kompatibel mit den Vorgaben des DQR (Tab. 1) (vgl. Bund-Länder-Koordinierungsstelle für den Deutschen Qualifikationsrahmen für lebenslanges Lernen, 2013, S. 9; vgl. Kultusministerkonferenz, 2017, S. 2).

In einem nächsten Schritt wurde pragmatisch der Frage nachgegangen, welche Learning Outcomes für das laborbasierte Lernen zugrunde gelegt werden können. Folgt man hier den Vorgaben des *Accreditation Board for Engineering and Technology* (ABET), findet man 13 formulierte Zielvorgaben für laborbasiertes Lernen in der In-

genieurausbildung, die sich wie folgt im Kompetenzmodell zuordnen lassen (Feisel & Rosa, 2005, S. 127):

Tabelle 1: Zuordnung der ABET-Ziele zu den Kompetenzmodellen DQR und HQR

DQR	Fachkompetenz		Personale Kompetenz	
	Wissen	Fertigkeiten	Sozialkompetenz	Selbstständigkeit
HQR	Wissen und Verstehen	Einsatz, Anwendung und Erzeugung von Wissen	Kommunikation und Kooperation	Wissenschaftliches Selbstverständnis/ Professionalität
ABET Ziele für laborbasiertes Lernen	(1) Einsatz laborbasierter Instrumente (4) Datenanalyse (9) Arbeitssicherheit einhalten können (13) Sensorische Wahrnehmung	(2) Modelle identifizieren (3) Experimente durchführen (5) Produkte designen (7) Kreativität und eigenständiges Denken (8) Konstruktionswerkzeuge auswählen, modifizieren, in Betrieb nehmen können	(10) Kommunikation (11) Arbeiten im Team	(6) Lernen aus Fehlern (12) Ethische Aspekte berücksichtigen
↑ ↑ ↑ ↑ Passung mit IoT-Kompetenzen aus der Ingenieurpraxis				

Im Rückgriff auf die oben im weitesten Sinne genannte IoT-Kompetenzen der diversen Studien kann an dieser Stelle eine Passung versucht werden, um das Kompetenzprofil für laborbasiertes Lernen mit Schwerpunkt IoT zu schärfen. So lässt sich etwa der geforderte Bereich Interdisziplinarität der Sozialkompetenz/Kommunikation und Kooperation zuordnen oder das eigeninitiativ selbstgesteuerte Lernen dem Bereich Selbstständigkeit/Wissenschaftliches Selbstverständnis/Professionalität. In einem nächsten Schritt lassen sich dann, orientiert an den angestrebten Zielen in der spezifischen Laborumgebung, überprüfbare Lernziele operationalisieren. Dieser Bereich befindet sich aktuell noch in Arbeit und wird aus diesem Grund hier nicht weiter ausgeführt.

Zwischenfazit

Mit den digitalen Veränderungen und Neuerungen ergeben sich für die Ingenieurausbildung und hier speziell für den Bereich des laborbasierten Lernens neue Kompetenzanforderungen und damit einhergehend neue Erfordernisse an die Inhalte und nicht zuletzt auch an die Gestaltung der Laborumgebung.

Der nachfolgende Abschnitt beschreibt die (Weiter-)Entwicklung eines medienpädagogischen Designs mit dem Ziel, ein Basiskonzept für die curriculare Einbindung der DigiLab4U-Inhalte sowie erste Erfahrungen aus dem Praxiseinsatz vorzustellen.

(Digi)LabTC – Pilotierung eines labordidaktischen Designs

Konzeptionelles Design

Das mediendidaktische Design für die Durchführung laborbasierter Lehr- und Lernphasen orientiert sich an der Methode des Team Labor Coachings (LabTC) nach Jödicke und Sum (vgl. Jödicke & Sum, 2007). LabTC wird seit einigen Jahren in typischen Laborfächern wie Physik oder Messtechnik erfolgreich genutzt, um gleichermaßen fachliche und überfachliche Kompetenzen wie Teamfähigkeit, Kommunikationsfähigkeit oder Zeitmanagement anzusprechen. Es basiert auf dem Ansatz des klassischen Lernteamcoachings, das als Methode ursprünglich speziell für die Ingenieurwissenschaften entwickelt wurde (vgl. Fleischmann et al., 2007). Im Rahmen von Studienreformprojekten wurde es mehrfach positiv evaluiert – vor allem im Hinblick auf die zeitgleiche Vermittlung von Fachinhalten und fachübergreifender Kompetenzen (ebd.).

Innerhalb von DigiLab4U wurde an der Hochschule für Technik Stuttgart im Sommersemester 2019 erstmals ein erweiterter LabTC-Ansatz zur Unterstützung und curricularen Einbindung laborbasierter Lernsettings in eine Lehrveranstaltung im Bachelorstudiengang Informationslogistik pilotiert. Das bisherige methodische LabTC-Konzept umfasst drei Phasen, die sich wie folgt beschreiben lassen:

Erstens eine *Erarbeitungsphase*, in der die Studierenden in Einzelarbeit bereitgestellte Lernressourcen auf der Lernplattform eigenständig erarbeiten, um sich auf den anschließenden Laborversuch vorzubereiten. Hierzu zählen u. a. interaktive Skripte, Videos, Tests und Feedbackfragen zu Grundlagen eines Arduino-UNO-Systems und zu den technischen Basics der Funktionsweise von RFID-Systemen.

Zweitens eine *Vertiefungsphase*, in der die Studierenden in Zweiertteams eine laborpraktische Übung absolvieren. Diese Laborphase erfolgt selbstorganisiert und unter möglichst realen Bedingungen. Die Teams erhalten Zugang zum Labor bzw. zum benötigten technischen Equipment und eine zeitliche Vorgabe, in der die Übung abgeschlossen sein sollte. Ein Assistent betreut die laborpraktische Übung. Er sollte keinerlei Erklärungen übernehmen, sondern kümmert sich bei Bedarf um die Arbeitssicherheit und unterstützt Ablauf und Organisation. Drei Zweiertteams bilden anschließend ein Lernteam. In ihm werden gemeinsam erste Ergebnisse vorgestellt und Fragen aus der Erarbeitungsphase und dem Laborversuch diskutiert. Die Ergebnisse und offenen Fragen aus dem Peer-Review werden dokumentiert und in einer anschließenden Coaching-Sitzung mit dem Professor und dem Übungsleiter besprochen.

In der dritten Phase erfolgt die *Auswertung*. Der Lernerfolg zeigt sich zum einen direkt in den praktischen laborbasierten Tätigkeiten, zum anderen – und hier weicht das (Digi)LabTC-Konzept von seiner methodischen Vorlage ab – wird er durch die semesterbegleitende Dokumentation der Ergebnisse auf der Lernplattform sichtbar. Je nach Aufgabenstellung kann es sich um Protokolle der Sitzung, normgerechte Laborberichte, (Video-)Dokumentationen von Laborprojekten oder Screenshots der Nutzung von spezieller IoT-Software handeln. Die Integration der digitalen Lern-

plattform bildet nicht nur als Begleitinstrument, sondern auch im Rahmen der Auswertung eine unterstützende und strukturierende Ressource.

Die Digitale Erweiterung greift konsequenterweise zwei Aspekte auf, die für DigiLab4U von Bedeutung sind: Zum einen unterstützt die Lernplattform die Integration von Themen aus dem Spektrum IoT und I4.0, da spezielle Anwendungen und Software-Zugänge bereitgestellt werden können; zum anderen bietet sie zusätzliche Möglichkeiten der Lehr- und Lernprozessunterstützung etwa durch die Erhebung von Learning-Analytics-Daten (LA).

Die folgende Abb. 2 illustriert die Phasen der Methode LabTC in Anlehnung an Jödicke und Sum und erweitert sie im schraffierten Bereich um digitale Elemente, die für den Einsatz im Kontext des Projektes DigiLab4U geboten sind. Zu diesen zählen unterschiedliche digitale Ressourcen, die über die Lernplattform Moodle bereitgestellt werden, etwa digitale Skripte und Handreichungen, Videos, Test, Online-Feedback und LA-Werkzeuge.

Wie die Abbildung verdeutlicht, wurde die Methode LabTC für die Anforderungen innerhalb der vernetzten Laborumgebung des BMBF-Projektes DigiLab4U um den Bereich „Digitale Erweiterungen“ ergänzt. Dazu zählt die Bereitstellung digitaler Lernressourcen zur Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung der Laborversuche auf der Lernplattform Moodle. Darüber hinaus ermöglicht gerade der Einsatz von Moodle das Erheben von Learning-Analytics-Daten, die den Studierenden und Lehrenden im Semesterlauf regelmäßig Feedback zum individuellen Lernstand, zu den Aktivitäten und zur Nutzung der bereitgestellten Lernressourcen auf der Lernplattform geben (vgl. Leitner & Ebner, 2017).

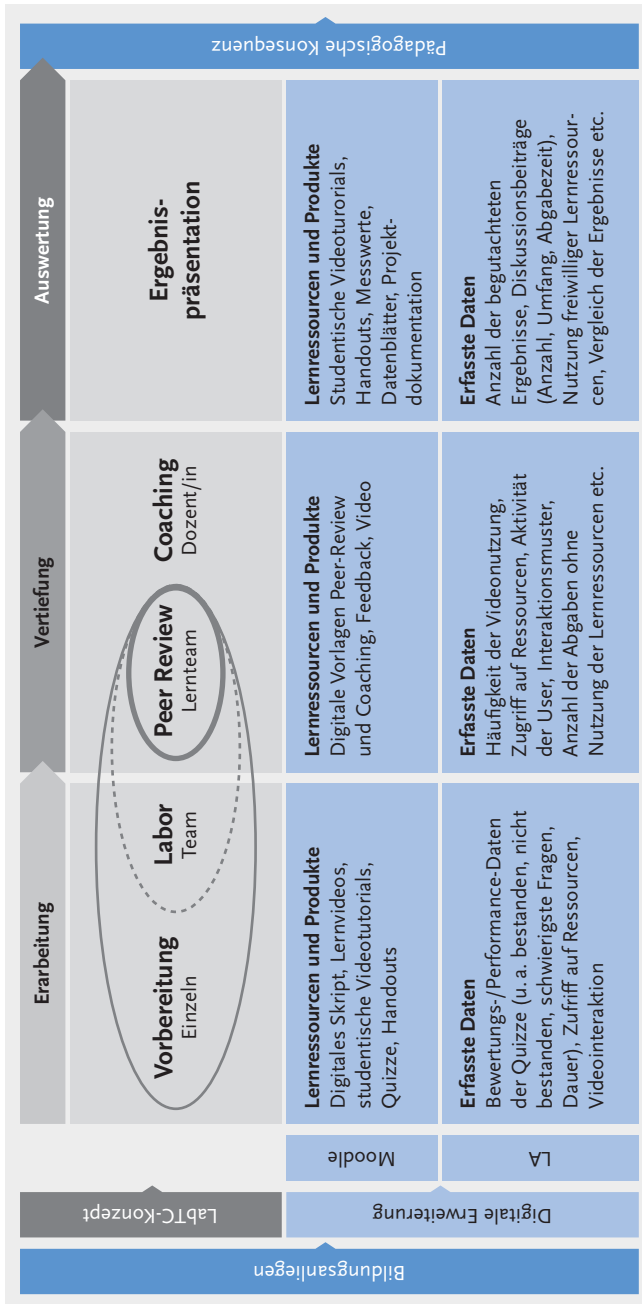


Abbildung 2: LabTC Methode mit digitaler Erweiterung angelehnt an Jödicke und Sum (2007)

Erste Evaluationsergebnisse

Das Konzept (Digi)LabTC wurde erstmals im Sommersemester 2019 in der Lehrveranstaltung „Aktoren“ im 2. Semester des Bachelorstudiengangs Informationslogistik eingesetzt. An der Lehrveranstaltung nahmen 5 weibliche und 21 männliche Studierende teil. Aufgrund der kleinen Gruppengröße wurde sie mit der qualitativen Methoden Teaching Analysis Poll (TAP) evaluiert (vgl. Hawelka, 2017). Diese bietet sich vor allem dann an, wenn studentische Rückmeldungen zur Fortentwicklung von Lehrveranstaltungen genutzt werden sollen. Für die TAP-Evaluation führten zwei externe Moderatorinnen eine Evaluationsbefragung durch, in der die Studierenden drei Fragen beantworten sollten: Was unterstützte meinen Lernprozess? Welche Aspekte waren hinderlich für meinen Lernprozess? Was würde ich mir als Verbesserung wünschen?

Als sehr hilfreich für den Lernprozess wurde das Feedback und die Coachingsitzungen mit dem Professor gewertet und darüber hinaus die unkomplizierte Kontaktaufnahme und Unterstützung durch den technischen Mitarbeiter, der die Laborübungen mit betreute. Darüber hinaus wurden die praxisnahen Übungen als hilfreich für die Weiterentwicklung des eigenen Lernprozesses empfunden, und hier wurde vor allem das eigenständige Arbeiten und die Verwirklichung eigener Ideen in den Praxisprojekten betont. Die digitale Begleitung durch Moodle wurde überwiegend positiv gewertet; allerdings wurde die teilweise unübersichtliche Kursstruktur kritisiert. Deutliche Verbesserungswünsche wurden bei den Tests zur Wissensüberprüfung geäußert, die u. a. zur Vorbereitung der praktischen Labortätigkeiten eingesetzt wurden. Hier wünschten sich die Studierenden „mehr Denkaufgaben“ statt Memorieraufgaben. Kritisch wurde auch gesehen, wenn das Laborequipment nicht in ausreichender Zahl vorhanden war und sich beispielsweise drei Studierende ein Laborset teilen mussten (beispielsweise beim Einsatz eines Steuerungssystems). Die zeitliche Organisation wurde ebenfalls kritisiert, da die Projektaufgabe gegen Ende sehr zeitintensiv war und zu dicht vor den Prüfungen organisiert werden musste. Aufgrund der externen Moderation und der damit verbundenen direkten Rückfragemöglichkeiten konnten Unklarheiten bei der Interpretation der Antworten unmittelbar geklärt werden. Insgesamt kann die TAP-Evaluation für das Re-Design der Lehrveranstaltung als sehr hilfreich gewertet werden. Ein zweiter Durchlauf wird im Sommersemester 2020 stattfinden.

Fazit und Ausblick

Die Evaluationsergebnisse fließen gemäß des DBR-Ansatzes in die Weiterentwicklung des didaktischen Designs ein. Dabei wird der Einsatz der digitalen Elemente gesondert betrachtet, um Erkenntnisse und Gestaltungsprinzipien für hochschulübergreifende und interdisziplinäre Lern- und Forschungslaborsetting in einer hybriden Lernumgebung zu generieren. Mithilfe der TAP-Evaluation konnte ein persönlicher Lernzuwachs durch die Projektarbeit dokumentiert werden. Eine konkrete

Analyse der erreichten Lernziele auf unterschiedlichen Zielebenen wird in der nächsten Iteration erfolgen. Durch die Coaching- und Präsentationsphasen lassen sich individuelle Entwicklungsverläufe begleiten. Dieser Prozess soll zukünftig mit Learning Analytics unterstützt werden. Erste Auswertungen der im Seminar erhobenen digitalen Lernprozessdaten lassen einen Zusammenhang zwischen der Häufigkeit und der Regelmäßigkeit des Zugriffs auf die bereitgestellten Lernressourcen und den Seminarergebnissen vermuten. Die Datenbasis ist zum jetzigen Zeitpunkt allerdings nicht ausreichend, um über Einzelfälle hinauszudeuten.

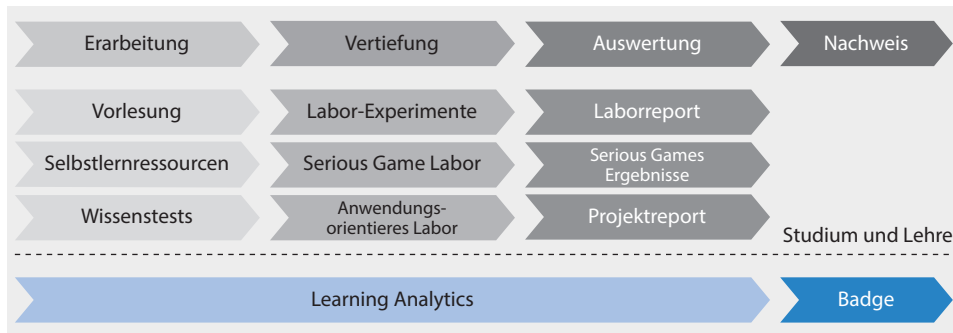


Abbildung 3: Geplante Basisstruktur für Lern-, Lehr- und Forschungsprozesse in DigiLab4U

Abb. 3 zeigt die Bausteine und Lernelemente der an LabTC orientierten Laborphasen im Überblick. Es ist geplant, diese künftig auch als Basisstruktur für die Implementierung weiterer laborbasierter Experimente und Übungen für Studium und Lehre einzusetzen. Ein zentrales Forschungsanliegen beschäftigt sich mit der Frage, inwieweit Learning Analytics als Feedback- und Reflexionsinstrument für Lehr-, Lern- und perspektivisch auch Forschungsprozesse integriert werden kann und wie sich zukünftig erbrachte Leistungen im Labor mithilfe digitaler Zertifikate wie Open Badges zertifizieren lassen.

Literaturverzeichnis

- Abramovici, M. & Herzog, O. (Hrsg.). (2016). *Engineering im Umfeld von Industrie 4.0. Einschätzungen und Handlungsbedarf* (acatech Studie). München: Herbert Utz Verlag GmbH; acatech.
- Abulrub, A.-H. G.; Attridge, A. & Williams, M. A. (2011). Virtual Reality in Engineering Education: The Future of Creative Learning. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)* 6 (4). doi:10.3991/ijet.v6i4.1766, 4–11.
- acatech (acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften in Kooperation mit Fraunhofer IML und equeo, Hrsg.). (2016). *Kompetenzentwicklungsstudie 4.0. Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen*. München: equeo GmbH.

- Berg, L. P. & Vance, J. M. (2017). Industry use of virtual reality in product design and manufacturing: a survey. *Virtual Reality* 21 (1), 1–17. doi:10.1007/s10055-016-0293-9.
- Brooks, F. P. (1999). What's real about virtual reality? *IEEE Computer Graphics and Applications* 19 (6), 16–27. doi:10.1109/38.799723.
- Bund-Länder-Koordinierungsstelle für den Deutschen Qualifikationsrahmen für lebenslanges Lernen, (Hrsg.). (2013). Handbuch zum Deutschen Qualifikationsrahmen. Struktur – Zuordnungen – Verfahren – Zuständigkeiten. Verfügbar unter https://www.dqr.de/media/content/DQR_Handbuch_01_08_2013.pdf [17.10.2019].
- Burghardt, M.; Ferdinand, P.; Pfeiffer, A.; Reverberi, D. & Romagnoli, G. (2020). Integration Of New Technologies And Alternative Methods In Laboratory-Based Scenarios. *REV 2020 International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation*, (S. 297–317).
- Dillenbourg, P. (1999). What do you mean by “collaborative learning”? In P. Dillenbourg (Hrsg.), *Collaborative-learning: Cognitive and computational approaches*. Oxford: Elsevier, 1–19.
- Euler, D. (2014). Design-Research – a paradigm under development. In D. Euler & P. F. E. Sloane (Hrsg.), *Design-based research* (Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik Beiheft, Bd. 27, S. 15–41). Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- Feisel, L. D. & Rosa, A. J. (2005). The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education. *Journal of engineering Education* 94, 121–130.
- Fleischmann, P.; Geupel, H. & Lorbeer, B. (2007). Lernteamcoaching. Methode, Nutzung, Wirtschaftlichkeit und Erfahrung. In B. Berendt, B. Szczyrba, A. Fleischmann, N. Schaper & J. Wildt (Hrsg.), *Neues Handbuch Hochschullehre* (C 2.5, S. 1–18). Berlin: Raabe Fachverlag für Wissenschaftsinformation. Verfügbar unter <http://docplayer.org/14402706-Lernteamcoaching-patrick-fleischmann-helmut-geupel-zusammenfassung.html> [07.01.2020].
- Gottburgsen, A.; Wannemacher, K.; Wernz, J. & Willige, J. (Verein Deutscher Ingenieure e. V.) (Hrsg.). (2019). Ingenieurausbildung für die digitale Transformation. Zukunft durch Veränderung. VDI-Studie April 2019. Verfügbar unter <https://www.ft-informatik.de/pdf/FTIV-1901-A-02m-VDI-Studie-Ingenieurausbildung-Digitale-Transformation.pdf> [07.01.2020].
- Grodotzki, J.; Ortelt, T. R. & Tekkaya, A. E. (2018). Remote and Virtual Labs for Engineering Education 4.0. *Procedia Manufacturing* 26, 1349–1360. doi:10.1016/j.promfg.2018.07.126
- Grodotzki, J. & Tekkaya, A. E. (2019). Eine Lehre für die Zukunft? Wie Technologie von heute das Lernen von morgen verändert. In T. Haertel, C. Terkowsky, S. Dany & S. Heix (Hrsg.), *Hochschullehre & Industrie 4.0. Herausforderungen – Lösungen – Perspektiven* (S. 127–136). Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag.
- Haertel, T.; Terkowsky, C.; Dany, S. & Heix, S. (Hrsg.). (2019). *Hochschullehre & Industrie 4.0. Herausforderungen – Lösungen – Perspektiven*. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag.
- Haug, A. (1980). *Labordidaktik in der Ingenieurausbildung*. Berlin: VDE Verlag GmbH.

- Hawelka, B. (Universität Regensburg, Hrsg.). (2017). *Handreichung zur Kodierung qualitativer Evaluationsdaten aus Teaching Analysis Poll*, Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsdidaktik. Schriftenreihe: 5. Verfügbar unter https://epub.uni-regensburg.de/35379/1/Kodierleitfaden_maerz17.pdf [12.12.2020].
- Heradio, R.; La Torre, L. de; Galan, D.; Cabrerizo, F. J.; Herrera-Viedma, E. & Dormido, S. (2016). Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis. *Computers & Education* 98, 14–38. doi:10.1016/j.compedu.2016.03.010
- Heyde, M. v. d.; Auth, G.; Hartmann, A. & Erfurth, C. (2017). Hochschulentwicklung im Kontext der Digitalisierung – Bestandsaufnahme, Perspektiven, Thesen. In M. Eibl & M. Gaedke (Hrsg.), *Informatik 2017. Lecture Notes in Informatics (LNI)*. Bonn: Köllen Druck + Verlag GmbH, 1757–1772.
- Huang, J. M.; Ong, S. K. & Nee, A. Y. C. (2017). Visualization and interaction of finite element analysis in augmented reality. *Computer-Aided Design* 84, 1–14. doi:10.1016/j.cad.2016.10.004.
- Ifenthaler, D. & Schumacher, C. (2016). Learning Analytics im Hochschulkontext. *WiSt – Wirtschaftswissenschaftliches Studium* 45 (4), 176–181. doi:10.15358/0340-1650-2016-4-176.
- Jödicke, B. & Sum, J. (Geschäftsstelle für Hochschuldidaktik an Fachhochschulen in Baden-Württemberg, GHD) (Hrsg.). (2007). Team Labor Coaching (LabTC). 7. Tag der Lehre. Verfügbar unter http://www.hochschuldidaktik.net/documents_public/7_TdL_2007_-_Methoden_47.pdf [16.06.2019].
- Konert, J.; Buchem, I.; Lewis, L.; Hamilton, G. & Riches, T. (2018). Competency Alignment of Open Badges. In C. M. Stracke, M. Shanks & O. Tveiten (Hrsg.), *Smart Universities. Education's Digital Future: official proceedings of the International WLS and LINQ Conference 2017* (S. 29–36). Berlin: Logos Berlin.
- Kortuem, G.; Bandara, A. K.; Smith, N.; Richards, M. & Petre, M. (2013). Educating the Internet-of-Things Generation. *Computer* 46 (2), 53–61. doi:10.1109/MC.2012.390.
- Kultusministerkonferenz (2017). *Qualifikationsrahmen für deutsche Hochschulabschlüsse*. Verfügbar unter https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2017/2017_02_16-Qualifikationsrahmen.pdf [12.02.2020].
- Leitner, P. & Ebner, M. (2017). Learning Analytics in Hochschulen. In J. Erpenbeck & W. Sauter (Hrsg.), *Handbuch Kompetenzentwicklung im Netz. Bausteine einer neuen Lernwelt* (S. 371–383). Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.
- Milgram, P. Kishino & Fumio (IEICE Transactions on Information Systems, Hrsg.). (1994). A Taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information and Systems* Vol E77-D: 12, 1–15.
- Orduna, P.; Rodriguez-Gil, L.; Garcia-Zubia, J.; Dziabenko, O.; Angulo, I.; Hernandez, U. & Azcuenaga, E. (2016). Classifying online laboratories: Reality, simulation, user perception and potential overlaps. In *Proceedings of 2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*. Date and venue: 24–26 February 2016 in Madrid, Spain (S. 224–230). [Piscataway, New Jersey]: IEEE.

- Orduna, P.; Zutin, D. G.; Govaerts, S.; Zorroza, I. L.; Bailey, P. H.; Sancristobal, E.; Salzmann, C., Rodriguez-Gil, L.; DeLong, K.; Gillet, D.; Castro, M.; Lopez-de-Ipina, D. & Garcia-Zubia, J. (2015). An Extensible Architecture for the Integration of Remote and Virtual Laboratories in Public Learning Tools. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje* 10 (4), 223–233. doi:10.1109/RITA.2015.2486338.
- Orduña, P.; Rodriguez-Gil, L.; Garcia-Zubia, J.; Angulo, I.; Hernandez, U. & Azcuenaga, E. (2017). Increasing the Value of Remote Laboratory Federations Through an Open Sharing Platform: LabsLand. In M. E. Auer & D. G. Zutin (Hrsg.), *ONLINE ENGINEERING & INTERNET OF THINGS*, New York: Springer International, Bd. 22, S. 859–873.
- Otto, B.; Perels, F. & Schmitz, B. (2011). Selbstreguliertes Lernen. In H. Reinders, H. Ditton, C. Gräsel & B. Gniewosz (Hrsg.), *Empirische Bildungsforschung* (S. 33–44). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Salomon, C.; Glohr, C.; Mainusch, A.; Mense, C.; Sentürk, C. & Stylianou, L. (Detecon International GmbH, Hrsg.). (2016). *Digitalisierung und Internet of Things – Anforderungen an agile Organisationen* Köln: Detecon International GmbH und bitkom.
- Sendler, U. (2013). Industrie 4.0 – Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM (Systems Lifecycle Management). In U. Sendler (Hrsg.), *Industrie 4.0* (S. 1–21). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e. V. (2016). *Hochschulbildung für die Arbeitswelt 4.0. Jahresbericht 2016* (Hochschul-Bildungs-Report 2020). Essen: Edition Stifterverband.
- Tekkaya, A. E.; Wilkesmann, U.; Terkowsky, C.; Pleul, C.; Radtke, M. & Maevus, F. (Hrsg.). (2016). *Das Labor in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung. Zukunftsorientierte Ansätze aus dem Projekt IngLab : acatech Studie* (acatech Studie). München: Herbert Utz Verlag GmbH.
- Terkowsky, C.; Jahnke, I.; Pleul, C.; May, D.; Jungmann, T. & Tekkaya, E. A. (2013). PeTEX@Work: Designing CSCL@Work for Online Engineering Education. In S. P. Goggins, I. Jahnke & V. Wulf (Hrsg.), *Computer-supported collaborative learning at the workplace. CSCL@Work* (Computer-supported collaborative learning series, S. 269–292). New York: Springer.
- Terkowsky, C.; May, D. & Frye, S. (2019). Labordidaktik: Kompetenzen für die Arbeitswelt 4.0. In T. Haertel, C. Terkowsky, S. Dany & S. Heix (Hrsg.), *Hochschullehre & Industrie 4.0. Herausforderungen – Lösungen – Perspektiven* (S. 89–104). Bielefeld: wbv.
- Uckelmann, D. (2012). The Role of Logistics Labs in Research and Higher Education. In D. Uckelmann, B. Scholz-Reiter, I. Rügge, B. Hong & A. Rizzi (Hrsg.), *The impact of virtual, remote and real logistics labs. First international conference, ImViReLL 2012, Bremen, Germany, Februar 28 - March 1, 2012 : proceedings* (Communications in computer and information science, Bd. 282, S. 1–12). Berlin: Springer.
- van Krevelen, D. W. F. & Poelman, R. (2019). A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations. *International Journal of Virtual Reality* 9 (2), 1–20. doi:10.20870/IJVR.2010.9.2.2767.

Weshah, A. A.; Alamad, R. & May, D. (2020). Work-in-Progress: Using Augmented Reality Mobile App to Improve Student's Skills in Using Breadboard in an Introduction to Electrical Engineering Course. *REV 2020 International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation* (S. 583–589).

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Virtuality Continuum nach Milgram & Kishino	115
Abb. 2	LabTC Methode mit digitaler Erweiterung angelehnt an Jödicke und Sum (2007)	120
Abb. 3	Geplante Basisstruktur für Lern-, Lehr- und Forschungsprozesse in DigiLab4U	122

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Zuordnung der ABET-Ziele zu den Kompetenzmodellen DQR und HQR	117
--------	--	-----