

Die Eignung von Remote-Laboren zur Förderung von Kompetenzen für die Industrie 4.0 am Beispiel von VISIR

DOMINIK MAY, SILKE FRYE, CLAUDIUS TERKOWSKY

Abstract

Mit der VISIR-Plattform existiert seit über zehn Jahren ein Remote-Labor im Fachgebiet Elektrotechnik, das an mehreren Standorten weltweit betrieben und für die Lehre genutzt wird. In vielen Bereichen hat es eine Vorreiterrolle im Bereich der Forschung zu Remote-Laboren eingenommen. Dennoch, so scheint es, ist das Thema der Remote-Labore in der Breite der Diskussion zu digitalem Lehren und Lernen, vor allem in den Ingenieurwissenschaften, noch nicht angekommen. Die vorliegende Arbeit untersucht daher am Beispiel von VISIR mittels des Vergleichs von geforderten Kompetenzen und verfolgten Lehr-Lernzielen das Potential von Remote-Laboren zur zukunftsorientierten Ausbildung von Ingenieurinnen und Ingenieuren. Dabei wird eine Verknüpfung zur Industrie 4.0 hergestellt. Das Ergebnis zeigt, dass das Remote-Labor VISIR zwar grundsätzlich Potential hinsichtlich der für die Industrie 4.0 geforderten Kompetenzen aufweist, es bislang aber von der VISIR-Community nur im geringen Maße und weniger im Bereich der fachspezifischen, sondern vor allem der fachübergreifenden Kompetenzen ausgeschöpft wird. Zur Lösung dieses Problems wird ein Austausch innerhalb der Community vorgeschlagen, um wechselseitig von den Erfahrungen der jeweils anderen zu profitieren und so das gesamte Potential der VISIR-Technologie nutzen zu können.

Schlüsselwörter: VISIR, Remote-Labore, Labordidaktik, Industrie 4.0, Lehr-Lernziele

1 Einleitung

Obwohl Remote-Labore (online fernsteuerbare Laboreinrichtungen) seit einigen Jahrzehnten in der Ingenieurausbildung eingesetzt werden, sind sie als digitales Tool nur begrenzt an Hochschulen verbreitet. So gibt es zwar eine feste internationale Community, die sich unter anderem in der International Association of Online Engineering (IAOE)¹ organisiert, dennoch haben sich entsprechende Labore in der Breite bislang nicht durchgesetzt (siehe hierzu insbesondere Ergebnisse der Ex-

¹ Vgl. <http://online-engineering.org/>

pert*inneninterviews im finalen Kapitel des Sammelbands). Darüber hinaus handelt es sich bei den wissenschaftlich dokumentierten Laboren in vielen Fällen um maßgeschneiderte technologische Entwicklungen einzelner Einrichtungen, ohne über den Heimatstandort hinaus zu wirken (siehe hierzu auch den Beitrag von Ortelt und Terkowsky in diesem Band zur Motivation und Entstehung der Community Working Group „Remote-Labore“ in Deutschland). Die VISIR-Plattform (Virtual Instrument Systems in Reality) ist in diesem Zusammenhang eine Ausnahme (Alves et al., 2018). Inzwischen verwenden internationale Hochschulen das gleiche Equipment, teilen darüber Ressourcen und treiben das gemeinsame Beforschen dieses Remote-Labors voran (Lima et al., 2017; Viegas, Lima, Alves, & Gustavsson, 2014). Unter der Prämisse, dass Remote-Labore Standort-, Zeit- und Kapazitätsbeschränkungen in der Laborausbildung lösen können, stellt VISIR im besonderen Maße sowohl didaktisch als auch wirtschaftlich eine interessante Lösung dar.

VISIR ist ein Remote-Labor für das Lehren und Lernen von Grundlagen der Elektronik, Elektrotechnik und Informationstechnik in Bildungseinrichtungen wie Schulen und Hochschulen. Mit dem vorliegenden Beitrag werden VISIR und seine Potentiale vor dem Hintergrund der Industrie 4.0 genauer beleuchtet. Auf den ersten Blick ergibt dieser Zusammenhang sich nicht unmittelbar, da es sich bei VISIR um ein Labor zur Grundlagenausbildung der Elektrotechnik und bei der Industrie 4.0 um das Thema digital vernetzte Produktion handelt. Dennoch treffen beide Bereiche sich in dem Punkt der Digitalisierung im Allgemeinen und der Fernsteuerbarkeit von technischem Equipment im Speziellen. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, welchen Beitrag aktuelle Entwicklungen in der Laborausbildung leisten können, um Studierende technischer Fächer auf eine durch Industrie 4.0 geprägte Produktion vorzubereiten. Dieser Beitrag widmet sich daher der folgenden Forschungsfrage:

Inwiefern bieten Remote-Labore einen geeigneten Kontext, um Kompetenzen für die Industrie 4.0 auszubilden, und in welchem Maße wird dies am Beispiel von VISIR bereits dokumentiert?

Auf Basis wissenschaftlicher Publikationen wird in einem ersten Schritt untersucht, welche Lehr-Lernziele beim Einsatz des Remote-Labors VISIR adressiert werden. In einem zweiten Schritt werden diese Ziele dann den Anforderungen der Industrie 4.0 an Hochschulabsolventinnen und -absolventen gegenübergestellt. Ausgehend davon werden abschließend Herausforderungen, aber auch Potentiale abgeleitet, welche die Nutzung von Remote-Laboren für eine Ausbildung im Kontext von Industrie 4.0 bieten.

2 Das Remote-Labor VISIR

Die VISIR-Plattform wurde zwischen 1999 und 2005 an der Technischen Hochschule Blekinge in Südschweden entwickelt (Gustavsson, Zackrisson, & Olsson, 2004). Ziel war es, allen Studierenden der Elektro- und Informationstechnik einen Lernarbeitsplatz zu ermöglichen – ungeachtet der möglicherweise beschränkten Ausstattung der jeweiligen Institution. VISIR gilt derzeit als das am weitesten entwickelte und verbreitete Remote-Labor und wurde 2015 vom Global Online Laboratory Consortium (GOLC) als weltweit bestes Remote-Labor ausgezeichnet.² Aktuell existieren eigenständige VISIR-Systeme an sechzehn Hochschulen auf vier Erdteilen, darunter etwa die Universidad Deusto in Spanien, die University of Georgia in den USA sowie die Technische Universität Dortmund in Deutschland.

2.1 VISIR-Technik

VISIR ermöglicht das Aufbauen von grundlegenden Schaltungen bzw. Schaltkreisen, bestehend aus Komponenten wie Widerständen, Kondensatoren, Dioden, Operationsverstärkern oder Transistoren, deren Verhalten per Multimeter und Oszilloskop beobachtet und gemessen werden kann. Über Computermaus oder Touchpad können die Schaltungen auf einem grafischen User-Interface (GUI) virtuell gesteckt werden, das einen typischen Versuchsplatz zur Realisierung elektronischer Schaltkreise nachbildet (siehe Abb. 1).

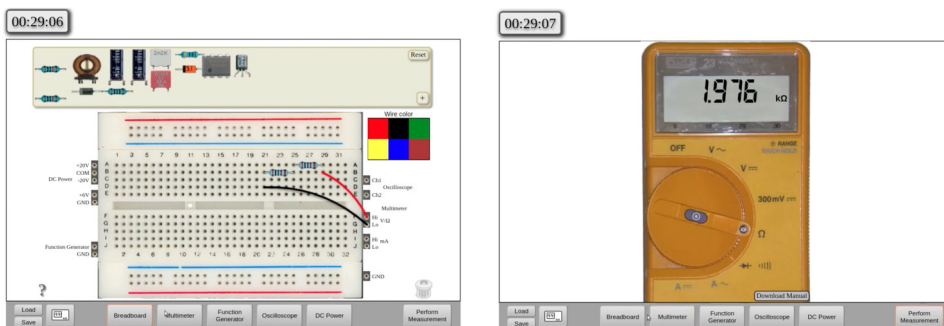


Abbildung 1: Grafisches User-Interface des VISIR-Remote-Labors mit Steckbrett und Multimeter

Während die Benutzeroberfläche auf Basis von LabView einen computergenerierten Versuchsplatz darstellt, werden die eigentlichen Schaltungen durch Relais auf der sogenannten „Matrix“ real umgesetzt (siehe Abb. 2).

² www.online-lab.org/GOLC_about.php.

Ein Batch-Algorithmus ermöglicht es, dass viele Nutzende gleichzeitig auf das Equipment zugreifen und experimentieren können. Da das Experiment mit VISIR in Bruchteilen von Sekunden durchgeführt wird, kann die Zahl parallel experimentierender Personen hoch sein. Erfahrungen zeigen, dass eine VISIR-Instanz in der Lage ist, einen Kurs von 40 Lernenden gleichzeitig zu bedienen, ohne dass diese eine Verzögerung erkennen. Die Auswahl der elektronischen Komponenten ist durch die jeweilige Bestückung der Matrix vorkonfiguriert und damit limitiert. Durch Einbindungen weiterer VISIR-Instanzen anderer Standorte lassen sich die Varianten der realisierbaren Schaltkreise erhöhen, die mit einer einzelnen Instanz nicht ohne manuellen Umbau der Matrix umsetzbar wären. Damit ist die Basis für ein Resource Sharing zwischen den verschiedenen Standorten gegeben.

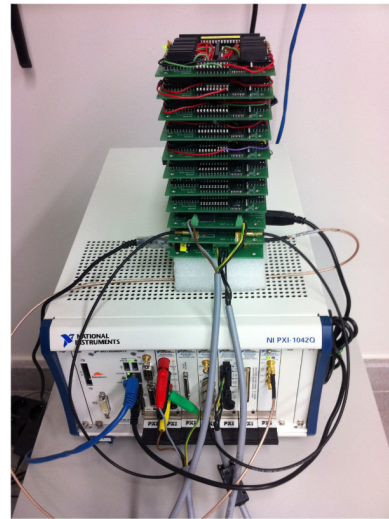


Abbildung 2: VISIR-Matrix

Da bereits zahlreiche Publikationen über die technische Ebene von VISIR existieren, wird an dieser Stelle auf die vorhandene Literatur verwiesen (Gustavsson et al., 2009; Gustavsson et al., 2006).

2.2 Forschung zu VISIR

Die bisherige Forschung zu VISIR konzentrierte sich auf die technische Entwicklung. Die Hauptmotivation für die Entwicklung von VISIR war es, die Möglichkeiten Lernender zu erweitern, ihr eigenes Experiment durchzuführen, entweder im physisch realen Klassenzimmer oder in digital umgesetzter Distanzlehre (Gustavsson et al., 2004). Die frühen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten konzentrierten sich daher darauf, die Immersion während der Nutzung der Plattform zu verbessern und Wege zu finden, VISIR als kollaboratives Remote-Labor für Lernende aus verschiedenen Ländern zu nutzen (Gustavsson et al., 2009; Nafalski, Machotka, & Nedic, 2011). VISIR wurde von Hochschulen in verschiedenen Ländern adaptiert, sodass sich der Forschungsbereich diversifizierte (Alves et al., 2016; Castro, Tawfik, Garcia-Loro, et al., 2014; Evangelista et al., 2017; Kulesza et al., 2017). Nichtsdestotrotz bleibt die technische Entwicklung und Evaluation von VISIR im Klassenzimmer der Kern der Arbeit einer inzwischen globalen Forschungsgemeinschaft. In den letzten Jahren haben weitere Studien gezeigt, wie VISIR zur Verbesserung der analytischen Fähigkeiten und zur Kontextualisierung der Mathematik in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen eingesetzt werden kann (Lima et al., 2017). Andere Forschungsgruppen konzentrierten sich auf die Frage, wie Online-Labore im Vergleich zu realen und virtuellen Laboren in der Wahrnehmung und Leistung der Lernenden abschneiden

(Viegas et al., 2014). Die technische Umsetzung des Labors (real oder virtuell) und die Art der Integration in den Lehrplan sind dabei von zentraler Bedeutung. Hier knüpft dieser Beitrag an und stellt sich der Frage, wie die Nutzung von VISIR mit Hinblick auf aktuelle Ausbildungsziele erfolgt bzw. erfolgen kann.

3 Industrie 4.0 als Kontext der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung

Allgemein wird unter der vierten industriellen Revolution (Industrie 4.0) die zunehmende wechselseitige Annäherung von industriellen Produktionstechniken (operational technology, OT) und digitalen Informationstechniken (information technology, IT) verstanden. Dabei konvergieren virtuelle und reale Prozesse auf der Basis sogenannter cyber-physischer Systeme (CPS) (Broy, 2011; Lee, Bagheri, & Kao, 2015). Dies sind technische Systeme aus vernetzten Geräten, Maschinen und beweglichen Gegenständen, die mithilfe von IT und einem kontinuierlichen Datenaustausch zwischen allen am Produktionsprozess beteiligten Entitäten und Komponenten gesteuert werden bzw. sich sogar autonom und dezentral selbst steuern. Geräte und Objekte sind dazu mit Sensoren ausgestattet, die kontinuierlich Daten über Zustand, Standort, Prozessfortschritt, aber auch Nutzungsverhalten produzieren (Hirsch-Kreinsen, 2014; Spath et al., 2013).

3.1 Lernen 4.0 im Labor

Die digitale Transformation hin zu einer Arbeitswelt 4.0 im industriellen Kontext hat weitreichende Konsequenzen für das Lehren und Lernen und im Speziellen für labor-didaktische Formate (Haertel, Terkowsky, Dany, & Heix, 2019; Kommer, 2020). Unter den Stichworten „Laboratory as a Service“ (LaaS) und „smart devices“ spielen die für die Industrie 4.0 genannten Gestaltungsprinzipien bei der Planung, Entwicklung und Inbetriebnahme von Laboren als cyber-physische Systeme – sog. cyber-physische Labore – eine zunehmende Rolle (Tawfik et al., 2014). Daher stellen cyber-physische Labore einen Spezialfall von cyber-physischen Systemen dar, die in der Lehre unter anderem als Remote-Labore zum Einsatz kommen (Auer, Azad, Edwards, & De Jong, 2018). Fast alle Definitionen von cyber-physischen Laboren umfassen entweder die Überwachung, Steuerung oder Erstellung eines digitalen Zwillings eines Objekts aus der physischen Welt mithilfe von Softwarealgorithmen, die kabelgebunden oder drahtlos über Computersysteme die dynamische Interaktion zwischen diesem Objekt und der realen Welt ermöglichen (Auer & Ram B., 2019).

3.2 Kompetenzen für die Arbeitswelt 4.0

Für die vorliegende Untersuchung ist es von Bedeutung, Kompetenzen zu identifizieren, die im besonderen Maße relevant für ein erfolgreiches Arbeiten im Kontext der Industrie 4.0 sind und daher eine besondere Relevanz für die Ausbildung im Labor haben. Grundlage hierfür bilden Studien, die auf unterschiedlichem Abstraktionsniveau Hinweise darauf geben, welche Kompetenzen von zukünftigen Inge-

nieur*innen erwartet werden. Auf Basis des „Hochschul-Bildungs-Reports 2020“ des Stifterverbandes (Dauchert et al., 2017), des Positionspapiers „Kompetenzen für die Industrie 4.0 – Qualifizierungsbedarfe und Lösungsansätze“ der Akademie der Technikwissenschaften (acatech, 2016), einer Studie des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswissenschaft und Organisation (Schlund & Pokorni, 2016), einer Interviewstudie „Industrie 4.0 – Qualifizierung 2025“ des Verbandes Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (Pfeiffer, Lee, Zirnig, & Suphan, 2016) sowie einer Metaanalyse über 24 Studien aus den Jahren 2014 bis 2016 (Hartmann, 2017) kann eine Zusammenfassung der benötigten Kompetenzen gegeben werden. Die Darstellung und Gliederung der Kompetenzen in Tabelle 1 orientiert sich am Rahmenmodell des Deutschen Qualifikationsrahmens für lebenslanges Lernen (DQR, 2011). Demzufolge ergibt sich das folgende Raster (Tabelle 1) der 18 im Kontext von Industrie 4.0 besonders relevanten Kompetenzen (K1 bis K18).

Tabelle 1: Kompetenzraster für die Arbeitswelt 4.0

<p>Im Kontext der fachspezifischen und fachübergreifenden technischen Kompetenzen sollten Lernende in Bezug auf die Anforderungen der Industrie 4.0 in der Lage sein.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • (K1) ... interdisziplinär zu denken, zu handeln und zusammenzuarbeiten. • (K2) ... Unternehmensprozesse sich verändernden Rahmenbedingungen flexibel anzupassen (z. B. in Bezug auf den Einsatz neuer Technologien wie etwa der additiven Fertigung oder Augmentation). • (K3) ... IT-Prozesse im Kontext von Produktion zu gestalten sowie IT-Komponenten zur Mensch-Maschine-Interaktion zu nutzen. • (K4) ... ganzheitliche und komplexe Produktionsprozesse und vernetzte Produktionsstrukturen zu gestalten und zu steuern sowie entsprechende Schnittstellen zu managen (inkl. der Umsetzung von Problemlösungs- und Optimierungsprozessen). • (K5) ... einen Zusammenhang zwischen einem digitalen Abbild und einer physischen Realität herzustellen. • (K6) ... mit großen Datenmengen umzugehen und entsprechende statistische Fähigkeiten einzusetzen (inkl. dem Erkennen der Bedeutung von Algorithmen und dem Management sensibler Daten). • (K7) ... Systemkompetenz zu zeigen, indem sie Funktionselemente erkennen, Systemgrenzen identifizieren und Vorhersagen über Systemverhalten treffen. • (K8) ... Innovationsprozesse anzustoßen und umzusetzen. • (K9) ... den rechtlichen Kontext der unternehmerischen Handlung zu beherrschen. • (K10) ... unternehmensbezogen strategisch zu denken bzw. zu handeln und in komplexen Entscheidungssituation entsprechende Tools zur Bewertung nutzen.
<p>Im Kontext der Sozialkompetenz sollten Lernende in Bezug auf die Anforderungen der Industrie 4.0 in der Lage sein ...</p>
<ul style="list-style-type: none"> • (K11) ... sowohl intern (in Bezug auf Prozessabläufe) als auch extern (In Bezug auf Kunden und Zulieferer) sicher zu kommunizieren und zu kooperieren. • (K12) ... in sozialen (auch interkulturellen) Kontexten sicher und effektiv zu agieren. • (K13) ... Produktionseinheiten und Teams zielorientiert zu führen. • (K14) ... digital gestützte Interaktions- und Kooperationsprozesse zu gestalten.
<p>Im Kontext der Selbstkompetenz sollten Lernende in Bezug auf die Anforderungen der Industrie 4.0 in der Lage sein ...</p>
<ul style="list-style-type: none"> • (K15) ... den Wert des eigenen subjektiven Erfahrungswissen realistisch einzuschätzen und entsprechend in die eigene Handlung mit einzubeziehen. • (K16) ... selbstbestimmt und selbstorganisiert zu handeln. • (K17) ... auf Basis der eigenen Offenheit und Kreativität zu handeln. • (K18) ... eigenes lebenslanges Lernen zu gestalten und umzusetzen.

4 Förderung von Kompetenzen für die Industrie 4.0 mit VISIR

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurde eine Analyse von wissenschaftlichen Publikationen zu VISIR vorgenommen. Dabei wurde untersucht, welche Lehr-Lernziele von der Community mit der Nutzung von VISIR in der Lehre verknüpft werden und in entsprechenden Veröffentlichungen einschlägiger Publikationsorgane der internationalen Engineering Education Community dokumentiert sind. Aufbauend darauf wurde untersucht, welche Industrie-4.0-spezifischen Kompetenzen mit den dokumentierten Lehr-Lernzielen in Zusammenhang gebracht und somit potentiell mithilfe von VISIR gefördert werden können. An dieser Stelle soll ausdrücklich festgehalten werden, dass die Datenbasis für das Vorgehen ausschließlich aus wissenschaftlichen Publikationen zu VISIR besteht. Auf Einschränkungen, welche dieses Vorgehen hinsichtlich der Belastbarkeit der Forschungsergebnisse impliziert, wird im Fazit eingegangen. Gleichwohl lassen sich mithilfe dieses Vorgehens Rückschlüsse darauf ziehen, in welcher Tiefe die VISIR-Community ihre eigene Praxis vor dem Hintergrund ingenieurdidaktischer Theorien und Modelle beschreibt, analysiert und publiziert. Ein vergleichbares Vorgehen wurde von den Autorinnen und Autoren dieses Beitrags bereits bei der Analyse eines Labors aus der Umformtechnik erfolgreich umgesetzt. Dabei konnte gezeigt werden, dass Remote-Labore Potential aufweisen, die Komplexität der Arbeitswelt 4.0 didaktisch reduziert in der hochschulischen Ausbildung zu berücksichtigen (Terkowsky, Frye, & May, 2019; Terkowsky, May, & Frye, 2019). Im Folgenden werden das methodische Vorgehen und die Ergebnisse im Detail vorgestellt.

4.1 Methode – Analytisches Vorgehen in zwei Schritten

Die Identifikation der mit dem Einsatz von VISIR adressierten Lehr-Lernziele erfolgt in einem qualitativ orientierten inhaltsanalytischen Vorgehen. Es handelt sich konkret um eine Kategorien entwickelnde und kategoriengeleitete Textanalyse, bei der schriftsprachliches Material systematisch zusammengefasst und theorie- und regelbasiert eng am Text analysiert wird (Mayring, 2015). Als Datenbasis wird auf eine offene Mendeley-Plattform zugegriffen, in der in einer gemeinsamen Forschungsbibliothek wissenschaftliche Publikationen der VISIR-Community gesammelt und geteilt werden (Salah, Alves, Abdulazeez, Guerreiro, & Gustavsson, 2015). Gegenstand der Analyse sind ausschließlich englischsprachig publizierte Konferenz- und Journalbeiträge.³ Ausgewertet wurden insgesamt 97 Publikationen aus den Jahren 2006 bis 2018. Keiner der untersuchten Beiträge thematisierte den Themenbereich Industrie 4.0 explizit.

In einem ersten Schritt wurde eine strukturierende Inhaltsanalyse angewendet, um in den Texten explizit und implizit genannte Lehr-Lernziele mit unmittelbarem

³ Mendeley Public Group VISIR SIG (Researchers and Contributions), [https://www.mendeley.com/community/visir-sig\(researchers-and-contributions\)/](https://www.mendeley.com/community/visir-sig(researchers-and-contributions)/), Stand: 16.05.2019.

Bezug zum Einsatz von VISIR zu identifizieren. In 35 der 97 untersuchten Publikationen wurden Aussagen zu Zielsetzungen des Einsatzes von VISIR in der Lehre gefunden. Insgesamt wurden 162 inhaltlich relevante und eindeutig allein auf die Zielsetzungen des Einsatzes von VISIR bezogene Textstellen generalisiert, aus denen nach einer ersten Reduktion 30 Lehr-Lernziele kodiert werden konnten (Z1 bis Z30; siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Adressierte Lehr-Lernziele und Zielsetzungen des Einsatzes von VISIR (Anzahl der Nennungen)

Fachbezogene (elektrotechn.) Grundlagen	Allgemeine technische Aspekte
<ul style="list-style-type: none"> • (Z1) Aufbau/Entwicklung elektr. Schaltkreise (28x) • (Z2) Auswahl elektronischer Bauteile (3x) • (Z3) Funktionen von elektronischen Bauteilen (1x) • (Z4) Arbeit mit echten Schaltungen (6x) • (Z5) Durchführung von Messungen (18x) • (Z6) Schaltungen testen (2x) • (Z7) Verhalten elektrotechn. Basisschaltungen (11x) • (Z8) Schaltungen berechnen (2x) 	<ul style="list-style-type: none"> • (Z18) Einsatz neuer Technologien (2x) • (Z19) Berücksichtigung sicherheitstechnischer Aspekte (1x) • (Z20) Technische Kommunikation (1x) • (Z21) Interesse für MINT wecken (1x)
Experimentelles Arbeiten	Fachübergreifende Ziele
<ul style="list-style-type: none"> • (Z9) Naturwissenschaftliche Arbeitsweise (4x) • (Z10) Entwicklung eines experimentellen Vorgehens (12x) • (Z11) Verwendung von Labormaterial und Equipment (8x) • (Z12) Vorbereitung auf Hands-on-Arbeiten (1x) 	<ul style="list-style-type: none"> • (Z22) Selbstständiges Arbeiten (9x) • (Z23) Orts- und zeitunabhängiges Arbeiten (5x) • (Z24) Selbstorganisation (4x) • (Z25) Motivation (7x) • (Z26) Teamwork und Kooperation (6x) • (Z27) Kommunikation (1x) • (Z28) Lernen aus Fehlern (3x) • (Z29) Kritisches Denken (4x) • (Z30) Fähigkeiten zur Problemlösung (1x)
Mathematische Aspekte und Umgang mit Daten	
<ul style="list-style-type: none"> • (Z13) Datenaufnahme, -analyse und -interpretation (6x) • (Z14) Vergleich mathem. Modelle mit Experiment (7x) • (Z15) Evaluation mathematischer Modelle (4x) • (Z16) Unterschiede zwischen Simulation und Realität erkennen (3x) • (Z17) Vergleich von Tabellen- und Messwerten (1x) 	

In einem zweiten Schritt wurde untersucht, inwieweit die im Rahmen der Analyse identifizierten Lehr-Lernziele und Zielsetzungen bereits eine Vorbereitung der Studierenden auf die Arbeitswelt 4.0 erkennen lassen, also inwiefern die Ziele den Kompetenzen zuzuordnen sind beziehungsweise diese explizit adressieren. Als Basis hierfür dient die Zusammenfassung der Kompetenzen für ein erfolgreiches Handeln in der der Arbeitswelt 4.0 (K1 bis K18), wie sie bereits im vorherigen Abschnitt in Tabelle 1 dargelegt wurde.

4.2 Ergebnisse – Lehr-Lernziele und Kompetenzen mit VISIR fördern

In den untersuchten Publikationen werden besonders häufig Zielsetzungen zu fachbezogenen, also elektrotechnischen Grundlagen formuliert. Diesem Bereich können

insgesamt 8 Codes zugeordnet werden. Am häufigsten angeführt (28 Textstellen) wird der „Aufbau und die Entwicklung von elektrischen Schaltkreisen“:

“VISIR has also been used twice as the practical part of the first completely free MOOC **dedicated to learn how building electrical and electronics circuits** (3,000 students).” (Kulesza et al., 2017)

Als weitere fachbezogene Grundlagen werden u. a. die korrekte „Durchführung von Messungen“ (18 Textstellen) und das Verständnis des „Verhaltens elektrotechnischer Basisschaltungen“ (11 Textstellen) angeführt:

“Visualizing waves and **performing measurements in VISIR** and in the Falstad simulator, using the function generator and the oscilloscope.” (Lima, Alves, Viegas, & Gustavsson, 2015)

“Making students gain competence in **interpretation of the behavior of basics circuits and electronic components** in different experimental condition.” (Evangelista et al., 2018)

Insgesamt sind 71 der 162 generalisierten Textstellen dem Bereich der elektrotechnischen, also rein fachlichen Grundlagen zuzuordnen.

Als weitere Gruppe können vier Codes zusammengefasst werden, die sich auf das experimentelle Arbeiten mit VISIR beziehen. Beispielsweise wird in zwölf Textstellen die „Entwicklung eines experimentellen Vorgehens“ als Zielsetzung formuliert:

“It is helpful for **developing experimental competences** and for fostering autonomous work as well as for arousing enthusiasm about learning DC Circuits topics.” (Evangelista et al., 2018)

Fünf Codes beziehen sich auf mathematische Aspekte und den Umgang mit Daten. Beispiele hierfür sind die „Aufnahme, Analyse und Interpretation von Daten“

“... **demonstrate the ability to collect, analyse and interpret data**, and to form and support conclusions.” (García-Zubía, Henandez-Jayo, Gustavsson, & Alves, 2011)

oder der „Vergleich von Tabellen- und Messwerten“:

“The experiments enable: [...] **using manufacturers’ datasheets and comparing them with measured values** [...].” (Castro, Tawfik, & Tovar, 2014)

Darüber hinaus können vier Codes weiteren allgemeinen, aber technisch orientierten Zielsetzungen zugeordnet werden. Dazu gehört etwa der „Einsatz neuer Technologien“:

“In sum, this experience brings together several important aspects of science teaching: motivation, teamwork, active learning, experimentation and **the use of new technologies**.” (Evangelista et al., 2018)

Abschließend konnten neun Codes identifiziert werden, die sich nicht konkret auf technische Elemente und Arbeitsweisen beziehen, sondern fachübergreifende Dispositionen abbilden. Dazu gehören u. a. das „selbstständige Arbeiten“

“It is helpful for developing experimental competences and for **fostering autonomous work** as well as for arousing enthusiasm about learning DC Circuits topics.” (Evangelista et al., 2018)

und das „orts- und zeitunabhängige Arbeiten“ als typisches und häufig angeführtes Merkmal von Remote-Laboren:

“With VISIR, the students **can do their activities when is most convenient for them, from their homes or mobile devices**; with teachers’ support via email or during classroom consulting.” (Marchisio et al., 2018)

Die 30 identifizierten Lehr-Lernziel-Codes (*Z1 bis Z30*) sind in Tabelle 2 dargestellt. Die Zusammenfassung in fünf Gruppen dient dabei ausschließlich der Strukturierung und für einen Überblick über die Schwerpunkte im analysierten Material. Zu jedem Code ist die Anzahl der identifizierten Textstellen angegeben, die diesem zuzuordnen sind.

Die identifizierten Lernziel-Codes erlauben es, im Vergleich mit den aufgezeigten Kompetenzen für die Industrie 4.0 (Tabelle 1) Rückschlüsse zu ziehen, inwiefern VISIR potentiell genutzt werden kann, um Lernende auf eine Arbeitswelt 4.0 vorzubereiten (Tabelle 3). Ob dies in der Lehrpraxis auch wirklich geschieht, kann auf Basis dieser Daten nicht nachgewiesen werden. Allerdings besteht, ausgehend vom allgemeinen Grundsatz einer „guten wissenschaftlichen Praxis“, eine berechtigte Hoffnung zu der Annahme, dass ein in einer Publikation dokumentiertes Lehr-Lernziel in der Lehrpraxis auch verfolgt wird. Dennoch muss an dieser Stelle einschränkend angemerkt werden, dass dieser Vergleich ausschließlich auf Basis der in den Publikationen sprachlich formulierten Lehr-Lernziele stattfindet. Dies schließt auf der einen Seite nicht aus, dass ein anderes Codieren bzw. Clustern zu abweichenden Ergebnissen führen könnte; auf der anderen Seite finden im Rahmen des Labors verfolgte, aber nicht ausdrücklich in den wissenschaftlichen Publikationen dargelegte Lehr-Lernziele ebenfalls keine Berücksichtigung.

Tabelle 3: Vergleich von Kompetenzen für die Industrie 4. mit den identifizierten Lehr-Lernzielen

Kompetenzen	Lehr-Lernziele
K3	Z1–Z8, Z18, Z20
K5	Z16
K6	Z13, Z14
K11 + K12	Z26, Z27
K15 + K18	Z28 – Z30
K16	Z22 – Z24

Beim Vergleich der formulierten Lehr-Lernziele und der Industrie-4.0-spezifischen Kompetenzen zeigt sich, dass lediglich drei der zehn fachspezifischen und fachübergreifenden technischen Kompetenzen (K3, K5 und K6) entsprechende Zielsetzungen zugeordnet werden können. Dazu gehören der Einsatz neuer Technologien (Z18) und die technische Kommunikation (Z20), welche bspw. der Gestaltung von Mensch-Maschine-Interaktionen zugeordnet werden kann (K3). Als notwendige Basis für die Gestaltung kann auch die gesamte Gruppe der fachbezogenen elektrotechnischen Grundlagen (Z1–Z8) dieser Kompetenz zugeordnet werden. Das Erkennen von Unterschieden zwischen Simulation und Realität (Z16) entspricht der Kompetenz, einen Zusammenhang zwischen einem digitalen Abbild und einer physischen Realität herzustellen (K5). Die Datenaufnahme, -analyse und -interpretation (Z13), der Vergleich mathematischer Modelle mit Experimenten (Z14) sowie der Vergleich von Tabellen- und Messwerten können als Zielsetzung der Kompetenz zugeordnet werden, mit Daten umzugehen und statistische Fähigkeiten einzusetzen (K6).

Ebenfalls nur im begrenzten Maße, mit zwei von vier Kompetenzen, wird der Bereich der Sozialkompetenzen adressiert (K11 und K12). Hier werden Kommunikation und Kooperation (K11) sowie das sichere Agieren in sozialen Kontexten (K12) durch Zielsetzungen wie etwa Teamwork und Kooperation (Z26) oder die Förderung der Kommunikation (Z27) angesprochen. Offen bleiben jedoch das zielorientierte Führen von Teams (K13), und auch der Aspekt der digital gestützten Interaktion und Kommunikation (K14) kann keine der identifizierten Zielsetzungen zugeordnet werden.

Darüber hinaus zeigt sich, dass mit den formulierten Zielsetzungen des Einsatzes von VISIR der Bereich der Selbstkompetenz mit drei von vier adressierten Kompetenzen angesprochen wird (K15, K16 und K18). Dem selbstbestimmten und selbstorganisierten Handeln (K16) können z. B. die Zielsetzungen des selbstständigen Arbeitens (Z22), des orts- und zeitunabhängigen Arbeitens (Z23) und der Selbstorganisation (Z24) zugeordnet werden. Auch dem Einschätzen und Berücksichtigen des Werts des eigenen Erfahrungswissens (K15) und dem Bereich des Gestaltens und Umsetzens des eigenen lebenslangen Lernens (K18) können mit dem Lernen aus Fehlern (Z28), dem kritischen Denken (Z29) sowie der Fähigkeit zur Problemlösung (Z30) einige identifizierte Zielsetzungen zugeordnet werden. Lediglich auf Basis der eigenen Offenheit und Kreativität zu handeln, wird nicht explizit als Lehr-Lernziel des Einsatzes von VISIR in der untersuchten Literatur ausgewiesen.

Abschließend ist festzuhalten, dass 19 der codierten Ziele keiner der Kompetenzen für die Industrie 4.0 zugeordnet werden konnten. Dabei handelt es sich insbesondere um alle Zielsetzungen, die in der Gruppe des experimentellen Arbeitens (Z9–Z12) zusammengefasst wurden. Dies verwundert jedoch nicht, da diese Lehr-Lernziele sich vor allem aus dem didaktischen Kontext von VISIR als Remote-Labor zum aktiven Experimentieren motivieren. Je nach Freiheitsgrad der Experimente lassen sich hier noch Verbindungen zur Kompetenz, auf Basis der eigenen Offenheit und Kreativität zu handeln (K17), herstellen, allerdings lässt sich dies auf Basis der analysierten Publikation nicht hinreichend fundiert beurteilen.

5 Diskussion und Fazit

Die Diskussion der oben aufgezeigten Ergebnisse erfolgt in zwei Schritten. Zunächst wird auf die im Rahmen der analysierten Publikationen identifizierten Lehr-Lernziele Bezug genommen. In einem zweiten Schritt wird dann die eigentliche Forschungsfrage erörtert und es werden hierfür die identifizierten Lehr-Lernziele mit den Kompetenzen für die Industrie 4.0 in Bezug gesetzt.

Bei der Betrachtung der Lehr-Lernziele und ihrer Häufigkeit fällt auf, dass von allen 162 identifizierten relevanten Textstellen bzw. den 30 definierten Codes lediglich sechs Codes für über die Hälfte der Nennungen in den Publikationen verantwortlich sind. Dies sind in Abhängigkeit der absteigenden Häufigkeit ihrer Nennung die Codes Z1, Z5, Z10, Z7, Z22 sowie Z11. Bis auf eine sind alle Nennungen den Bereichen der fachbezogenen elektrotechnischen Grundlagen und dem experimentellen Arbeiten zuzuordnen. Dies scheint wenig zu überraschen, da diese Bereiche als Fokus für den Einsatz von VISIR gesehen werden können. Interessant ist jedoch das andere Ende der Auflistung nach Häufigkeit der Nennungen: 19 Lehr-Lernziele werden in den 97 untersuchten Publikationen lediglich fünfmal oder seltener erwähnt. Das heißt, dass diese zwar vereinzelt mit VISIR in Verbindung gebracht, aber nicht in der Breite adressiert werden. VISIR hat also grundsätzlich das Potential, eine Fülle der genannten Lehr-Lernziele zu adressieren, allerdings nutzt die VISIR-Community dies bislang nicht in der Breite. Sie bleibt weitgehend bei den klassischen, praktisch orientierten Lehr-Lernzielen. Hier wäre ein stärkerer, z. B. hochschuldidaktisch moderierter Austausch innerhalb der Community notwendig, um wechselseitig von den Erfahrungen der jeweils anderen zu profitieren und so das gesamte Potential der VISIR-Technologie nutzen zu können.

Die Beantwortung der Forschungsfrage muss zweigeteilt geschehen. Der Vergleich der mit VISIR verbundenen Lehr-Lernziele und den aufgezeigten Kompetenzen für die Industrie 4.0 wirkt ernüchternd, da lediglich drei der zehn technischen Kompetenzen mit VISIR in Verbindung gebracht werden konnten. Das bedeutet, dass sieben fachspezifisch technische Kompetenzen gar nicht berücksichtigt oder zumindest nicht in den wissenschaftlichen Publikationen entsprechend dokumentiert werden. Daher wäre es denkbar, die Forschungsfrage negativ zu beantworten und Remote-Laboren am Beispiel von VISIR kein hohes Potential zur Vorbereitung auf die Arbeitswelt 4.0 zu attestieren. Allerdings werden im Bereich der Sozial- und Selbstkompetenzen jeweils die Hälfte der ausgewiesenen Kompetenzen angesprochen. Auch hier gilt jedoch die Einschränkung, dass die Anzahl der gefundenen relevanten Textstellen, die auf die jeweiligen Kompetenzen hinweisen, gering ist und daher eher von Potential zur Ausbildung denn von bereits gängiger Praxis die Rede sein kann.

Ein Blick in die bislang nicht adressierten Kompetenzen macht weitere Potentiale deutlich. Exemplarisch kann hier die Kompetenz „interdisziplinär zu denken, zu handeln und zusammenzuarbeiten“ genannt werden. Hier wäre es bspw. möglich, nicht nur den fachlichen Kontext, sondern auch den technischen Aufbau der

Labore zu thematisieren. Am Beispiel von VISIR können nicht nur der Aufbau elektrischer Schaltungen, sondern auch deren IT-technische Repräsentation in der Web-Nutzungsoberfläche sowie die Kommunikation zwischen Versuchsequipment und Webserver gezielt in die Lehre eingebunden werden. Auch für die weiteren, bisher nicht angesprochenen Industrie-4.0-spezifischen Kompetenzen erscheint es möglich, durch eine geeignete didaktische Einbettung eine entsprechende Zielorientierung zu schaffen.

Abschließend lässt sich feststellen, dass Remote-Labore durchaus einen geeigneten Kontext für die Ausbildung von Kompetenzen für die Industrie 4.0 bieten, auch wenn sie nicht unter dieser Prämisse entwickelt wurden. Nicht zuletzt die Eigenschaft, dass es sich um tele-operativ nutzbares Equipment handelt, das in der Web-Nutzungsoberfläche eine digitale Entsprechung des Equipments aufweist, bietet Anknüpfungspunkte für aktuelle und zukünftige Arbeitsrealitäten. Allerdings, so zeigt auch das untersuchte Beispiel, hängt die Anbindung im Bereich der technischen Kompetenzen stark von der jeweiligen fachlich-technischen Ausrichtung des Labors selbst ab.

Bei der vorgelegten Studie handelt es sich auch um den Ansatz, auf Basis von wissenschaftlichen Publikationen die Verbindung von industrieseitig benötigten Kompetenzprofilen und in der aktuellen Bildungspraxis verfolgten Lehr-Lernzielen herzustellen und diese abzugleichen. Unter der Prämisse, dass die untersuchten Publikationen ein realistisches Abbild der gängigen Lehrpraxis mit dem entsprechenden Remote-Labor bieten, kann das methodische Vorgehen als erfolgreich erachtet werden. Allerdings hinterlässt diese induktive Vorgehensweise auch deutliche Erkenntnislücken. So ist z. B. nicht zu klären, ob weitere Lehr-Lernziele bzw. Kompetenzen im Rahmen der Labornutzung adressiert werden, diese jedoch keine Erwähnung in den untersuchten Publikationen gefunden haben. Es ist umgekehrt ebenso denkbar, dass im Rahmen der untersuchten Publikationen Lehr-Lernziele formuliert wurden, diese aber keinen Eingang in die konkrete Lehrpraxis fanden. Das hier vorgestellte Vorgehen kann also nur einen ersten Einblick in den Zusammenhang zwischen Lehr-Lernzielen in Remote-Laboren und Kompetenzen für die Industrie 4.0 bieten. Das weitere Vorgehen bedarf einer tiefergehenden qualitativen Auseinandersetzung, etwa in Form von Interviews mit den Betreuenden der Labore. Diese Fragen gilt es in weiteren Untersuchungen zu erörtern, um Erkenntnislücken in Bezug auf die hier betrachtete VISIR-Plattform und auch auf weitere Remote-Labore zu schließen.

Literaturverzeichnis

- acatech (Ed.) (2016). *Kompetenzen für die Industrie 4.0. Qualifizierungsbedarfe und Lösungsansätze*. München: Herbert Utz Verlag.
- Alves, G. R., Fidalgo, A., Marques, A., Viegas, C., Felgueiras, M. C., Costa, R., . . . Ruiz, E. S. C. (2016). *Spreading remote lab usage a system—A community—A Federation*. Paper presented at the 2016 2nd International Conference of the Portuguese Society for Engineering Education (CISPEE).
- Alves, G. R., Fidalgo, A. V., Marques, M. A., Viegas, M. C., Felgueiras, M. C., Costa, R. J., . . . SanCristóbal-Ruiz, E. (2018). International cooperation for remote laboratory use. In *Contributions to Higher Engineering Education* (pp. 1–31): Springer.
- Auer, M. E., Azad, A. K., Edwards, A., & De Jong, T. (Eds.). (2018). *Cyber-physical laboratories in engineering and science education*. New York: Springer.
- Auer, M. E., & Ram B., K. (Eds.). (2019). *Cyber-physical Systems and Digital Twins: Proceedings of the 16th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation* (Vol. 80): Springer.
- Broy, M. (2011). *Cyber-physical systems: Innovation durch softwareintensive eingebettete Systeme*: Springer-Verlag.
- Castro, M., Tawfik, M., Garcia-Loro, F., Sancristobal, E., Mur, F., & Diaz, G. (2014). *Combining Remote Laboratories and Massive Open Online Courses (MOOCs) for Teaching Electronics*. Paper presented at the Society for Information Technology & Teacher Education International Conference.
- Castro, M., Tawfik, M., & Tovar, E. (2014). *Internationalization & globalization of engineering*. Paper presented at the Twelfth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology, (LACCEI 2014).
- Dauchert, A., Krempkow, R., Krume, J., Meyer-Guckel, V., Schneider, M., Schröder-Kralemann, A.-K., . . . Ana, N. (2017). *Hochschul-Bildungs-Report 2020: Höhere Chancen durch höhere Bildung? Jahresbericht 2017/18 – Halbzeitbilanz 2010 bis 2015*.
- DQR, A. (2011). *Deutschen Qualifikationsrahmens für lebenslanges Lernen*. Retrieved from https://www.dqr.de/media/content/Der_Deutsche_Qualifikationsrahmen_fue_lebenslanges_Lernen.pdf
- Evangelista, I., Cadierno, M., Farina, J., Roldán, G., Pozzo, M. I., Dobboletta, E., . . . Concari, S. (2018). *Active learning of DC circuits: spreading the use of the VISIR remote lab in Argentina*. Paper presented at the 2018 IEEE World Engineering Education Conference (EDUNINE).
- Evangelista, I., Farina, J. A., Pozzo, M. I., Dobboletta, E., Alves, G. R., García-Zubía, J., . . . Gustavsson, I. (2017). *Science education at high school: A VISIR remote lab implementation*. Paper presented at the 2017 4th Experiment@ International Conference (expat'17).
- García-Zubía, J., Henandez-Jayo, U., Gustavsson, I., & Alves, G. R. (2011). *Academic Effectiveness of VISIR remote lab in analog electronics*. Paper presented at the 1st Experiment@ International Conference (expat2011).

- Gustavsson, I., Nilsson, K., Zackrisson, J., Garcia-Zubia, J., Hernandez-Jayo, U., Nafalski, A., . . . Pettersson, M. I. (2009). On objectives of instructional laboratories, individual assessment, and use of collaborative remote laboratories. *IEEE transactions on learning technologies*, 2(4), 263–274.
- Gustavsson, I., Zackrisson, J., Bartunek, J. S., Åkesson, H., Håkansson, L., & Lagö, T. L. (2006). *An instructional electronics laboratory opened for remote operation and control*. Paper presented at the International Conference on Engineering Education.
- Gustavsson, I., Zackrisson, J., & Olsson, T. (2004). *Traditional lab sessions in a remote laboratory for circuit analysis*. Paper presented at the 15th EAEEIE Annual Conference on Innovation in Education for Electrical and Information Engineering.
- Haertel, T., Terkowsky, C., Dany, S., & Heix, S. (Eds.). (2019). *Hochschullehre & Industrie 4.0*. Bielefeld: wbv Publikation.
- Hartmann, F. (2017). Zukünftige Anforderungen an Kompetenzen im Zusammenhang mit Industrie 4.0 - Eine Bestandsaufnahme. *Facharbeit und Digitalisierung*, 19.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2014). Wandel von Produktionsarbeit–„Industrie 4.0“. *WSI-Mitteilungen*, 67(6), 421–429.
- Kommer, S. (2020). Lernen 4.0. In W. Frenz (Ed.), *Handbuch Industrie 4.0: Recht, Technik, Gesellschaft* (pp. 1261–1272). Berlin: Springer.
- Kulesza, W., Gustavsson, I., Garbi-Zutin, D., Auer, M., Marques, A., Fidalgo, A., . . . Hernandez-Jayo, U. (2017). *A federation of VISIR remote laboratories through the PILAR Project*. Paper presented at the 2017 4th Experiment@ International Conference (exp. at'17).
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2015). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing letters*, 3, 18–23.
- Lima, N., Alves, G., Viegas, C., & Gustavsson, I. (2015). *Combined Efforts to develop students experimental competences*. Paper presented at the 2015 3rd Experiment International Conference (exp. at'15).
- Lima, N., Zannin, M., Viegas, C., Marques, A., Alves, G., Felgueiras, M. C., . . . Pozzo, M. I. (2017). *The VISIR+ project-helping contextualize math in an engineering course*. Paper presented at the 2017 4th Experiment@ International Conference (exp. at'17).
- Marchisio, S. T., Crepaldo, D., Del Colle, F., Lerro, F., Concari, S. B., Leon, D., . . . Plano, M. A. (2018). *VISIR lab integration in Electronic Engineering: An institutional experience in Argentina*. Paper presented at the 2018 XIII Technologies Applied to Electronics Teaching Conference (TAEE).
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. 12., überarbeitete Auflage. Beltz. In: Weinheim.
- Nafalski, A., Machotka, J., & Nedic, Z. (2011). Collaborative remote laboratory NetLab for experiments in electrical engineering. *Using Remote Labs in Education. Two Little Ducks in Remote Experimentation*, 177–199.
- Pfeiffer, S., Lee, H. S., Zirnig, C., & Suphan, A. (2016). *Industrie 4.0: Qualifizierung 2025*. Frankfurt am Main: VDMA.

- Salah, R. M., Alves, G. R., Abdulazeez, D. H., Guerreiro, P., & Gustavsson, I. (2015). Why VISIR? Proliferative activities and collaborative work of VISIR system. *EDULE-ARN15*.
- Schlund, S., & Pokorni, B. (2016). *Industrie 4.0–Wo steht die Revolution der Arbeitsgestaltung*. Stuttgart.
- Spath, D., Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T., & Schlund, S. (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft-Industrie 4.0* (Vol. 150). Stuttgart: Fraunhofer Verlag Stuttgart.
- Tawfik, M., Salzmann, C., Gillet, D., Lowe, D., Saliyah-Hassane, H., Sancristobal, E., & Castro, M. (2014). Laboratory as a service (LaaS): a novel paradigm for developing and implementing modular remote laboratories. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*, 10(4), 13–21.
- Terkowsky, C., Frye, S., & May, D. (2019). Online engineering education for manufacturing technology: Is a remote experiment a suitable tool to teach competences for “Working 4.0”? *European Journal of Education*, 54(4), 577–590.
- Terkowsky, C., May, D., & Frye, S. (2019). Labordidaktik: Kompetenzen für die Arbeitswelt 4.0. In T. Haertel, C. Terkowsky, S. Dany, & S. Heix (Eds.), *Hochschullehre & Industrie 4.0 - Herausforderungen, Lösungen, Perspektiven* (pp. 89–103). Bielefeld: wbv Publikation.
- Viegas, C., Lima, N., Alves, G., & Gustavsson, I. (2014). *Improving students experimental competences using simultaneous methods in class and in assessments*. Paper presented at the Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Grafisches User-Interface des VISIR-Remote-Labors mit Steckbrett und Multimeter	213
Abb. 2	VISIR-Matrix	214

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Kompetenzraster für die Arbeitswelt 4.0	216
Tab. 2	Adressierte Lehr-Lernziele und Zielsetzungen des Einsatzes von VISIR	218
Tab. 3	Vergleich von Kompetenzen für die Industrie 4. mit den identifizierten Lehr-Lernzielen	220