

Ingrid Isenhardt, Marcus Petermann, Martina Schmohr,
A. Erman Tekkaya, Uwe Wilkesmann (Hg.)



RWTHAACHEN
UNIVERSITY

RUHR
UNIVERSITÄT
BOCHUM

RUB

tu technische universität
dortmund

Lehren und Lernen in den Ingenieurwissenschaften

innovativ – digital – international

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Ingrid Isenhardt, Marcus Petermann, Martina Schmoor,
A. Erman Tekkaya, Uwe Wilkesmann (Hg.)

Lehren und Lernen in den Ingenieurwissenschaften

innovativ – digital – international





GEFÖRDERT VOM



Die vorliegende Publikation wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Förderkennzeichen des Verbundprojekts: 01PL16082A, 01PL16082B und 01PL16082C.

2020 wbv Publikation
ein Geschäftsbereich der
wbv Media GmbH & Co. KG, Bielefeld

Gesamtherstellung:
wbv Media GmbH & Co. KG, Bielefeld
wbv.de

Umschlagmotiv: Rolf Duscha,
Oberhausen

Bestellnummer: 6004805
ISBN (Print): 978-3-7639-6215-0
DOI:10.3278/6004805w

Printed in Germany

Diese Publikation ist frei verfügbar zum Download unter
wbv-open-access.de

Diese Publikation mit Ausnahme des Coverfotos ist unter
folgender Creative-Commons-Lizenz veröffentlicht:
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Für alle in diesem Werk verwendeten Warennamen
sowie Firmen- und Markenbezeichnungen können
Schutzrechte bestehen, auch wenn diese nicht als solche
gekennzeichnet sind. Deren Verwendung in diesem Werk
berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese frei verfü-
gbar seien.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Inhalt

Vorwort	7
Labore in den Ingenieurwissenschaften: Digitale und didaktische Innovationen	13
<i>Oliver Weishaupt, Natascha Strenger, Marcus Petermann, Sulamith Frerich, Joshua Grodotzki, Alessandro Selvaggio, A. Erman Tekkaya</i>	
Remote-Labore in der Ingenieurausbildung – Leitlinien für Erstellung und Betrieb	15
<i>Monika Radtke, Claudius Terkowsky, Tobias Haertel, Tobias R. Ortelt, Dominik May</i>	
Kreativitätsförderung von Studierenden in ingenieurwissenschaftlichen Laboren	33
<i>Thomas Otte, Christian Scheiderer, Max Hoffmann, Ingrid Isenhardt</i>	
Vorbereitung der Ingenieurlehre auf die Industrie 4.0: ein Erfahrungsbericht für Lehrende in den Ingenieurwissenschaften	51
goING abroad! Förderung von Internationalisierung und Auslandsmobilität	59
<i>Johanna M. Werz, Nina Schiffeler, Esther Borowski, Ingrid Isenhardt</i>	
Warum in die Ferne schweifen? – Strategien zur Förderung internationaler Mobilität von Ingenieurstudierenden	61
<i>Laura-Katharina Schiffmann, Natascha Strenger</i>	
GoING Abroad – Informationsprogramm zur frühzeitigen Beratung zu Auslandsaufenthalten im Ingenieurstudium	75
<i>Silke Frye, Monika Radtke, Dominik May</i>	
Grenzen überwinden mit digitalem Lernen und Lehren – Internationalisierung „on the Web“	85
<i>Diana Keddi, Natascha Strenger, Sulamith Frerich</i>	
Internationalisierung in den Ingenieurwissenschaften: Digitale Vorbereitung internationaler Studierender auf Laborarbeit in Deutschland	99

Fokus Entrepreneurship: „Gründer-Spirit“ entwickeln und umsetzen	111
<i>Johanna M. Werz, Dennis Kreutzer, Esther Borowski, Ingrid Isenhardt</i>	
Den Innovationsgeist wecken: Anforderungen und Erfahrungen aus der Vermittlung eines Entrepreneurial Spirit an Ingenieurstudierende	113
<i>Anna-Lena Rose, Liudvika Leisyte, Tobias Haertel, Claudius Terkowsky</i>	
Zur Bedeutung von Emotionen in der hochschulischen Entrepreneurship Engineering Education	129
<i>Magdalena John, Diana Keddi, Andreas Kilzer, Katharina Zilles</i>	
Projektseminar interdisziplinäre Produktentwicklung im Team	145
Studierende im Mittelpunkt: Förderung einer aktiven und kompetenten Studienverlaufsgestaltung	155
<i>Ute Berbuir, Bianca Wolf</i>	
Wie komme ich an die Uni? Passgenaue Angebote für Schüler*innen	157
<i>Julia Knoch, Katharina Zilles</i>	
Talente fördern – Hochschulzugänge ebnen: Beratungs- und Informations- angebote zur Potentialförderung und Profilbildung in den Ingenieurwissen- schaften	171
<i>Jan Bitter-Krahe, Ingrid Isenhardt</i>	
Digitale Studienbegleitung und -unterstützung mithilfe des E-Guide StartING	181
<i>Kate Konkol, Laura-Katharina Schiffmann, Ute Berbuir</i>	
Orientierungsangebote zur aktiven Karrieregestaltung von Masterstudie- renden in den Ingenieurwissenschaften	193
Forschend – Kreativ – Interdisziplinär: Übergreifende Kompetenzentwicklung in „Modulen mit Mehrwert“	205
<i>Ute Berbuir, Magdalena John</i>	
„Not in my backyard!“ Seminar zur Öffentlichkeitsbeteiligung bei Industrie- und Infrastrukturprojekten	207
<i>Dennis Kreutzer, Silke Frye, Jan Bitter-Krahe, Ingrid Isenhardt</i>	
Lehre mit Mehrwert – Die Ingenieure ohne Grenzen Challenge	219
<i>Julia Treek, Sebastian Ostapiuk, Laura Sievers</i>	
Die Forschungswerkstatt von Studierenden für Studierende	233

Professionalisierung von Lehrenden: Methoden- und Technologietrends in Lehre und Fortbildung	243
<i>Kate Konkol, Diana Keddi, Julia Knoch, Ute Berbuir, Sulamith Frerich</i> Fortbildungen für INGs. Bedarfsorientierte Professionalisierungsangebote für Promovierende und Lehrende in den Ingenieurwissenschaften	245
<i>Nina Schiffeler, Esther Borowski, Ingrid Isenhardt</i> Gamification und Mixed-Reality-Training für Lehrende – mehr als nur spielen ..	253
<i>Kathrin Hohlbaum, Esther Borowski, Ingrid Isenhardt</i> Sehen, Hören, Trainieren. Große Räume durch Mixed Reality erfahrbar machen	267
Autorinnen und Autoren	277
BEETBox – Best Practices in Engineering Education Toolbox	283

Vorwort

Die Bildungs- und Arbeitswelten angehender Ingenieur*innen werden geprägt durch die Auswirkungen weltweiter Trends und Entwicklungen wie Digitalisierung, Entrepreneurship-Bewegungen und Globalisierung. In Folge führen arbeitsorganisatorische Herausforderungen und gesellschaftliche Entwicklungen zu mehr Komplexität auf inhaltlicher und methodischer Ebene. Die Lehre in den Ingenieurwissenschaften hat demnach den Anspruch und die Aufgabe, angehende Ingenieur*innen von morgen so vorzubereiten, dass sie diesen Herausforderungen erfolgreich begegnen können. Hierzu ist es notwendig, die ingenieurwissenschaftliche Lehre kontinuierlich zu modernisieren, neu zu denken und die Methoden, Inhalte und Lehr-Lernformate auf die Bedarfe einer digitalisierten und globalisierten Welt anzupassen.

Im Rahmen des Bund-Länder-Programms Qualitätspakt Lehre (QPL) wurden im Zeitraum von 2011 bis 2020 umfangreiche finanzielle Mittel zur Verbesserung der Studienbedingungen und der Lehrqualität an deutschen Hochschulen zur Verfügung gestellt. Ziel war es, eine qualitativ hochwertige Hochschullehre zu sichern und weiterzuentwickeln. Ein weiterer Schwerpunkt des Programms war die (Weiter-)Qualifizierung des Lehrpersonals sowie die Verbesserung der Betreuung und Beratung von Studierenden. Die geförderten gesellschaftlich relevanten Themenfelder und Maßnahmen bilden die komplexen Herausforderungen ab, die an Universitäten und Hochschulen zu bewältigen sind. Zu diesen zählen in besonderem Maße die Digitalisierung, der Umgang mit Heterogenität in Studium und Lehre und die Förderung individueller Studienerfolge. Als übergreifende Zielsetzung des QPL sollte dies durch eine Optimierung der Studieneingangsphase, die Einbindung digitaler Konzepte und Formate sowie durch die Erhöhung von Praxisbezügen im ingenieurwissenschaftlichen Curriculum erreicht werden.

Zur Adressierung der spezifischen Herausforderungen im Kontext der Ingenieurausbildung wurde das Projekt ELLI – „Exzellentes Lehren und Lernen in den Ingenieurwissenschaften“ – im Rahmen des QPL gefördert. Es handelt sich um ein Verbundprojekt der RWTH Aachen University, der Ruhr-Universität Bochum und der Technischen Universität Dortmund. In zwei aufeinander folgenden Förderphasen (ELLI: 2011–2016; ELLI 2: 2016–2020), d. h. über einen Zeitraum von insgesamt neun Jahren hinweg, entwickelte, implementierte und erforschte der Verbund innovative Lehr-Lernkonzepte für die Lehre in den Ingenieurwissenschaften. An allen drei Standorten wurde eine besondere Form der Projektverankerung realisiert. Diese zeichnet sich dadurch aus, dass das Projekt jeweils in der Fachwissenschaft angesiedelt war – unmittelbar an einem ingenieurwissenschaftlichen Lehrstuhl im Maschinenbau – und sowohl strukturell als auch personell mit der jeweiligen zentralen hochschuldidaktischen Einrichtung verknüpft wurde.

Den beantragten ELLI-Maßnahmen im QPL lag eine datengestützte Bestandsaufnahme über die Stärken und Schwächen von Lehrqualität und Betreuung der

Studierenden an den jeweiligen Standorten zugrunde. Durch diese Bestandsaufnahme an drei forschungsstarken Universitäten und ihre Zusammenführung im Verbund wurde im Projekt ELLI eine breite analytische Basis geschaffen, die sowohl konkrete Bedarfe an den Standorten aufzeigen konnte als auch durch die Zusammenschau im Verbund über diese Standorte hinausweist. Aus dem Zusammenspiel von standortspezifischer Betrachtung und standortübergreifender Identifikation genereller Fragestellungen und Erkenntnisse, verbunden mit dem Blick auf technische Entwicklungen und gesellschaftliche Herausforderungen, wurde ein Gesamtbild der relevanten Herausforderungen und Potentiale in der Ingenieurausbildung entwickelt. In diesem Zuge wurde ein bedarfsorientiertes Maßnahmenpaket zur Erforschung und Entwicklung von Lehre und Organisation ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge abgeleitet. Das Projekt gliedert sich dazu in vier Kernbereiche (KB):

- ❖ KB 1 „Remote Labore und virtuelle Lernwelten“ (ehemals „virtuelle Lernwelten“):
Im Zuge der vierten industriellen Revolution, die zu einer fortschreitenden Verschmelzung von digitaler und realer Welt führt, gewinnt ein ausgeprägtes Verständnis von digitalen Technologien insbesondere in Ingenieurberufen an Bedeutung.
- ❖ KB 2 „Globalisierung“ (ehemals „Mobilitätsförderung & Internationalisierung“):
*Die Berufsanforderungen für Ingenieure*innen umfassen zunehmend ein Zurechtfinden in globalisierten Entwicklungs- und Produktionszusammenhängen und eine Sensibilität für interkulturelle Fragestellungen.*
- ❖ KB 3 „Student Life Cycle“:
An den Übergängen im Studienverlauf werden die Weichen für das Studium und auch die berufliche Zukunft aller Studierenden gestellt. Daher wird die Unterstützung der Studierenden in diesen Phasen fokussiert.
- ❖ KB 4 „Entrepreneurship“ (ehemals „Professionelle Handlungskompetenz“):
*Unternehmerisches Denken und Innovationsfreude kristallisieren sich zunehmend als vordringliche Grundhaltungen für Ingenieure*innen heraus, um den vielschichtigen Herausforderungen in einer globalisierten Wirtschaft und der Entwicklung zur Industrie 4.0 kompetent begegnen zu können.*

Nach den ersten vier Jahren Laufzeit wurde eine Zwischenbilanz gezogen und das Aufgaben- und Maßnahmenpaket in Hinblick auf die sich weiter wandelnden Anforderungen neu justiert. Beispielsweise wurden die Maßnahmen im Kernbereich 4, die grundsätzlich auf die Steigerung professioneller Handlungskompetenz zielen, um die explizite Förderung von Entrepreneurship erweitert. Weiterhin wurden qualifikatorische Herausforderungen im Kontext der Industrie 4.0 adressiert. Dabei lagen diesen Anpassungen zwei Gestaltungsprinzipien zugrunde, die auch für die gesamte Projektentwicklung handlungsleitend waren: zum einen die durchgängige Bedarfsorientierung bei der Entwicklung und Umsetzung von Beratungs-, Orientierungs- und Professionalisierungsangeboten und zum anderen das Ziel, die Lehre an technologische Entwicklungen anzupassen. Daher ist das Projekt durch eine kontinuierliche Entwicklung gekennzeichnet, die auch im weiteren Verlauf zu Anpassungen und Aktualisierungen führte.

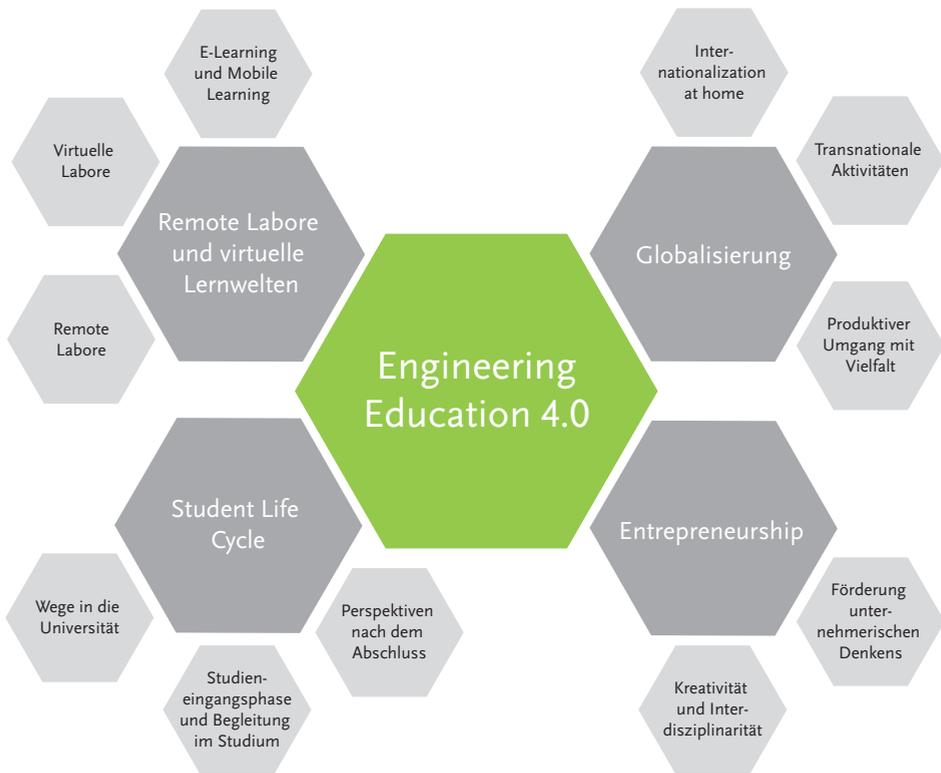


Abbildung 1: Kernbereiche und Handlungsfelder

Die Bandbreite der im Projekt realisierten Ansätze und Maßnahmen, die sich in das Gesamtbild der Entwicklung von Studium und Lehre in den Ingenieurwissenschaften einfügen, spiegelt sich auch in der vorliegenden Handreichung wider. Es finden sich darin Forschungsbeiträge neben Erfahrungsberichten sowie Maßnahmen mit Breitenwirkung neben Darstellungen für spezifische Zielgruppen. Nachvollziehbar verbunden werden diese vielfältigen Ansätze durch ihre thematisch-inhaltliche Einordnung, die sich in die folgenden Kapitel aufgliedert:

- ❖ Labore in den Ingenieurwissenschaften: Digitale und didaktische Innovationen *Vom Aufbau und Betrieb von Remote-Laboren bis hin zu ihrem Einsatz zur Kreativitätsförderung von Studierenden*
- ❖ goING abroad! Förderung von Internationalisierung und Auslandsmobilität *Von Auslandsaufenthalten und internationalen Austauschprogrammen bis hin zu transnationalen Online-Lehrveranstaltungen*
- ❖ Fokus Entrepreneurship: „Gründer-Spirit“ entwickeln und umsetzen *Vom Hands-on-Entrepreneurship bis hin zur Vermittlung des Themas im Rahmen eines interdisziplinären projektbasierten Lehrformats*
- ❖ Studierende im Mittelpunkt: Förderung einer aktiven und kompetenten Studienverlaufsgestaltung

*Vom Praktikum für studieninteressierte Schüler*innen über Studien- und Stipendienberatung bis hin zur Orientierungshilfe nach dem Masterabschluss*

- ❖ Forschend – kreativ – interdisziplinär: Übergreifende Kompetenzentwicklung in „Modulen mit Mehrwert“
Von Modulen zur (Weiter-)Entwicklung von Soft Skills über die Ingenieure ohne Grenzen Challenge bis hin zur Forschungswerkstatt
- ❖ Professionalisierung von Lehrenden: Methoden- und Technologietrends in Lehre und Fortbildung
Von bedarfsorientierten und fachkulturnahen Angeboten bis hin zu Gamification und Mixed Reality in der Hochschullehre

Jedes Kapitel beinhaltet mehrere Einzelbeiträge zum jeweiligen Thema, das zu Beginn des Kapitels kurz erläutert wird. Die Beiträge innerhalb der Kapitel folgen dabei einer übergreifenden Struktur, beginnend mit der Problemstellung bzw. der Forschungsfrage, die im jeweiligen Beitrag zentral bearbeitet oder untersucht wurde. Darauf aufbauend werden Lösungsansätze vorgestellt und anhand von Umsetzungsbeispielen näher erläutert. Die Beiträge schließen jeweils mit sogenannten „Lessons Learned“, die konkrete Anregungen für den Transfer des dargestellten Inhalts an andere Hochschulen oder in weitere Lehrveranstaltungen bieten. Diese Art der Zusammenstellung in kompakten Beiträgen zielt darauf, einer vielfältigen Leserschaft in den Hochschulen zu dienen. Primär richten wir uns an die Lehrenden in den Ingenieurwissenschaften. Ihnen obliegt die inhaltliche Ausgestaltung der Studiengänge, weshalb sie eine besondere Verantwortung tragen. Weiterhin hoffen wir, dass auch Vertreter*innen zentraler Einrichtungen wie hochschuldidaktische Stabsstellen oder International Offices sowie Professor*innen vielfältige Anregungen in diesem Buch finden. Nicht zuletzt richten wir uns mit diesen Beiträgen auch an die Organisations- und Personalentwickler*innen sowohl in den Zentralverwaltungen als auch in den Fakultäten.

Die in diesem Buch zusammengestellten Beiträge stellen einen Auszug der ELLI-Maßnahmen, -Erfahrungen und -Produkte dar. Detailliertere Angaben zu den hier dargestellten Maßnahmen mit systematischen Beschreibungen und Leitfäden zur Umsetzung sowie Beschreibungen weiterer Maßnahmen finden Sie online in der „ELLI BEETBox“ („ELLI Best Practices in Engineering Education Toolbox“). Weitere Informationen zur Toolbox finden Sie auf der Seite „BEETbox“ am Ende dieses Buchs.

Im Namen aller Beteiligten möchten wir an dieser Stelle dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) als Mittelgeber für die Finanzierung dieser vielfältigen und wirkungsvollen Maßnahmen danken. Darüber hinaus gilt unser Dank dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) als Projektträger für die sehr gute lange und vertrauensvolle Zusammenarbeit.

Die beteiligten Verbundpartner werden auch künftig an den beschriebenen Themen arbeiten. Wir freuen uns sehr, weiterhin in Austausch und Kontakt zu weiteren Hochschulen zu kommen und zur Verbreitung innovativer und zukunftsorien-

tierter Lösungen beizutragen. Wir hoffen, dass auch in Zukunft Mittel bereitgestellt werden, die Hochschulen in der Weiterentwicklung der Lehre unterstützen, um die große Bedeutung dieses Themas weiterhin bewusst zu machen. Mit Blick auf die bestehenden Herausforderungen, die von krisenhaften Entwicklungen in Gesellschaft und Umwelt wie bspw. der Corona-Pandemie und der globalen Erwärmung geprägt werden, bedarf es mehr denn je umfassend und exzellent ausgebildeter Fachkräfte mit Weitblick.

Unser herzlicher Dank gilt dem Redaktionsteam, das maßgeblich an der Entwicklung und Veröffentlichung dieses Buchs beteiligt war. Bedanken möchten wir uns ebenfalls bei allen, die inhaltlich und gestalterisch an diesem Buch mitgewirkt haben, sowie bei allen unseren wissenschaftlichen und studentischen Mitarbeitenden an der RWTH Aachen University, der Ruhr-Universität Bochum und der Technischen Universität Dortmund. Mit ihrem Enthusiasmus, ihren interdisziplinären Kompetenzen und ihrer Fähigkeit, über den Tellerrand hinauszuschauen, haben sie einen wichtigen Beitrag zum Erfolg des Projekts ELLI geleistet.

Wir wünschen allen Leser*innen eine anregende Lektüre und hoffen, mit diesem Handbuch die Lust auf Transfer zu fördern und anschlussfähige Impulse für die Weiterentwicklung der Lehre in den Ingenieurwissenschaften zu liefern.

Die Herausgeber*innen

Prof. Dr. phil. Ingrid Isenhardt
Prof. Dr.-Ing. Marcus Petermann
Dr. Martina Schmohr
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. A. Erman Tekkaya
Prof. Dr. Uwe Wilkesmann

Das Redaktionsteam

Dr.-Ing. Ute Berbuir
Dr. rer. nat. Esther Borowski
Prof. Dr.-Ing. Sulamith Frerich
Joshua Grodotzki
Kathrin Hohlbaum
Karsten Lensing
Mario Nolte
Nina Schiffeler

Labore in den Ingenieurwissenschaften: Digitale und didaktische Innovationen

Labore verschiedenster Art sind fester Teil der Lehre in nahezu allen Curricula von ingenieur- und naturwissenschaftlichen Studiengängen. Für angehende Ingenieur*innen bieten praktische Versuche in Laboren die Möglichkeit, die Theorie mit der Praxis zu verknüpfen sowie das Arbeiten mit technischem Equipment und Maschinen „hands on“ zu erlernen. Zumeist konzentrieren sich die bestehenden Labore bzw. Versuche auf ein Nachvollziehen und Abarbeiten bekannter Prozessschritte sowie das Generieren bekannter Ergebnisse. Das didaktische Potential solcher Lehr-Lernformen reicht allerdings weit darüber hinaus, insbesondere im Zusammenhang mit der Integration kreativer Aufgaben sowie digitalisierungsgetriebener Fragestellungen. Im Rahmen des ELLI-Projektes wurden die zuvor erwähnten Aspekte von Laboren intensiv bearbeitet, sodass die resultierenden Forschungsergebnisse und die daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen in den folgenden Beiträgen dargestellt werden können. Den Einstieg in das Kapitel bildet die Essenz einer weitreichenden Untersuchung zum Aufbau und Betrieb von Remote-Laboren. Neben einer Reihe von spezifischen Besonderheiten bieten Remote-Labore – beispielsweise insbesondere in Zeiten weltweiter Pandemien – einen innovativen Ansatz, um Laborveranstaltungen in ein Onlinestudium zu integrieren. In diese Studie sind Erfahrungen aus Aufbau und Betrieb von rund einem Dutzend verschiedener Remote-Labore in ingenieurwissenschaftlichen Fächern eingeflossen. In den beiden weiteren Beiträgen werden sowohl spezifische didaktische Aspekte und technologische Innovationen als auch eine umfassende Untersuchung zeitgemäßer Themen im Labor (z. B. Industrie 4.0) diskutiert. Weiterhin werden Konzepte zur Förderung weiterer Kompetenzen wie Teamfähigkeit und Kreativität vorgestellt.

Die nachfolgenden Beiträge liefern Lehrenden, die ihre Laborveranstaltungen analysieren und fortentwickeln wollen, Impulse und Handlungsempfehlungen, um aktuelle Themen und zukunftsweisende Technologien unter Einbezug moderner, didaktischer Konzepte in ihre Labore zu integrieren.

Remote-Labore in der Ingenieurausbildung – Leitlinien für Erstellung und Betrieb

Die Ergebnisse einer qualitativen Interviewstudie von Laborbetreibenden verschiedener Remote-Labore werden dargestellt. Mit Bezug auf die typischen Herausforderungen bei Erstellung und Betrieb von Remote-Laboren werden umfangreiche konkrete Handlungsempfehlungen für Lehrende mit Laborveranstaltungen abgeleitet.

Kreativitätsförderung von Studierenden in ingenieurwissenschaftlichen Laboren

Neben der Darstellung des Status quo bzgl. der Kreativität in Laboren wird anhand eines umformtechnischen Labors exemplarisch gezeigt, wie Labore diesbezüglich analysiert und kreativitätsförderlich Elemente und Aufgabenstellungen integriert werden können. Weiterhin werden übergreifende (Um-)Gestaltungsempfehlungen für die Betreiber von Laboren formuliert.

Vorbereitung der Ingenieurlehre auf die Industrie 4.0: ein Erfahrungsbericht für Lehrende in den Ingenieurwissenschaften

Lehrende, die das Thema Industrie 4.0 in ihre Veranstaltung integrieren wollen oder eine neue Veranstaltung zu diesem Thema planen, finden hier erfahrungsbasierte Empfehlungen bezüglich theoretischer und praktischer Inhalte, die den Kompetenzerwerb von Studierenden in diesem Themenfeld unterstützen.

Remote-Labore in der Ingenieurausbildung – Leitlinien für Erstellung und Betrieb

OLIVER WEISHAUPT, NATASCHA STRENGER, MARCUS PETERMANN, SULAMITH FRERICH,
JOSHUA GRODOTZKI, ALESSANDRO SELVAGGIO, A. ERMAN TEKKAYA

Auf einen Blick

- ❖ In Zeiten großer Studierendenkohorten und pandemiebedingter geschlossener Campusse ist das Anbieten von Experimenten in realen Versuchslaboren eine Herausforderung für die Laborbetreibenden.
- ❖ Remote-Labore, also über das Internet kontrollierbare Versuchseinrichtungen, bieten die Möglichkeit, diese Probleme zu lösen. Dazu wurden an der RUB und der TU Dortmund verschiedenste Remote-Labore in den Ingenieurwissenschaften geplant, errichtet und betrieben.
- ❖ Aus Experteninterviews mit den Laborbetreibenden lassen sich die Gelingensbedingungen eine erfolgreiche Erstellung und Betrieb solcher Remote-Labore ableiten. Dabei spielen nicht nur technische, sondern auch personelle und finanzielle Voraussetzungen eine Rolle sowie die didaktisch aufbereitete Einbindung in die Lehre.

1 Problemstellung

Remote-Labore sind in Zeiten digitaler Lehre ein entscheidender Grundpfeiler, um die elementar wichtige Laborausbildung in den verschiedenen Ingenieurdisziplinen zu digitalisieren. In diesem Beitrag wird der Begriff Remote-Labore als die Art eines Labors verstanden, bei der Studierende und Lehrende eine reale, physische Maschine oder Apparatur per Internetzugriff ansteuern und so aus der Ferne Experimente durchführen können. Ihren Ursprung haben Remote-Labore in der Elektrotechnik, wo oft skalierte Varianten komplexerer Versuche fundamentale Zusammenhänge anschaulich erfahrbar machen. Im Gegensatz dazu fußt dieser Beitrag auf acht Jahren Planung, Implementierung und Betrieb von Remote-Laboren aus den Bereichen Maschinenbau, Bauingenieurwesen und Elektrotechnik und ermöglicht daher die Bewertung von Remote-Laboren sehr unterschiedlicher Größenordnungen [1, 2]. Somit sind Lehrende aller Ingenieurwissenschaften und anderer Studiengänge angesprochen, in denen physische Labore Teil der Ausbildung bzw. des Studiums sind.

Remote-Labore haben viele Vorteile gegenüber der klassischen Variante, sogenannten Hands-on-Laboren, bei denen die Lernenden physisch in der Laborumgebung anwesend sein müssen. Dominierend ist die Möglichkeit, zeit- und ortsunabhängig Experimente über das Internet durchführen zu können. Hierdurch entfällt die Notwendigkeit, dass der Arbeitsplatz des Experimentierenden zugleich der Ort des realen Labors ist. Nicht zuletzt in Zeiten einer globalen Pandemie gewinnt dieser Aspekt stetig an Bedeutung. Auch zuvor war der Trend des Lernens und Arbeitens aus der Ferne, z. B. von zu Hause aus, schon deutlich sichtbar. Zusätzlich können Remote-Labore Lernenden zur Verfügung gestellt werden, ohne dass diese eine Sicherheitseinweisung für die Maschine und den Arbeitsplatz benötigen. Dies spart Zeit und Personalkosten gleichermaßen. Darüber hinaus entfällt die Verpflichtung, die Nutzenden eines Labors mit einer entsprechenden Sicherheitsausrüstung auszustatten. Hierdurch können über mehrere Jahre des Betriebs und bei immer größeren Studierendenzahlen auch Kosten sowie Personaleinsatz bei der Vorbereitung und Durchführung des Labors eingespart werden. Schließlich kann ein Remote-Labor einen großen Beitrag zur Ressourcenschonung leisten, indem es von mehreren Orten aus gemeinsam genutzt werden kann und so eine Mehrfachnutzung einzelner Maschinen durch unterschiedliche Universitäten ermöglicht.

Den zahlreichen Vorteilen stehen jedoch auch einige Nachteile bzw. Hürden gegenüber, die es zu beachten gilt, sofern man sich als Laborbetreibende*r für die Remotisierung, d. h. die Überführung eines bestehenden Labors in ein Remote-Labor, entscheidet. Neben dem hohen initialen Zeit- und Personaleinsatz gilt es die Frage zu beantworten, ob Remote-Labore zur Erreichung der definierten Lernziele das bestmögliche Tool darstellen und somit die Anfangsinvestitionen rechtfertigen. Zudem ist es bei Remote-Laboren notwendig, die experimentelle Freiheit zu limitieren, was eine Anpassung der Lernziele erfordern kann. Konkret bedeutet dies, dass die Studierenden in der Remote-Variante nur auf einen eingeschränkten Funktionsumfang des Labors zurückgreifen können.

Um die Entscheidung von Laborbetreibenden, ein Labor in ein Remote-Labor umzurüsten, zu unterstützen und ihnen bei der Planung, Umsetzung und dem Betrieb eines solchen Labors nützliche Hilfestellung zu geben, ist es das Ziel dieses Beitrags, drei Leitfragen rund um das Thema Remote-Labore zu beleuchten:

- I) Was spricht für, was gegen die Remotisierung eines bestehenden Labors? Was sind mögliche Alternativen?
- II) Wenn die Eignung eines Remote-Labors festgestellt wurde, welche Aspekte und möglichen Stolperfallen gibt es beim Aufbau zu beachten?
- III) Wie müssen Einsatz und Betrieb in Lehre und Forschung gestaltet werden, um ein einmal erstelltes Remote-Labor erfolgreich zu erhalten?

Hierzu wurden Experteninterviews von erfahrenen Remote-Laborbetreibenden durchgeführt, die anschließend systematisch analysiert wurden. Die dadurch gewonnenen Erkenntnisse wurden kategorisiert und als Grundlage zur Beantwortung der o. g. Leitfragen herangezogen.

Im folgenden Kapitel werden die an der Ruhr-Universität Bochum (RUB) und der Technischen Universität Dortmund (TUD) entwickelten und untersuchten Remote-Labore den beteiligten Ingenieurdisziplinen zugeordnet. Anhand zweier exemplarisch ausgewählter Labore wird eine detailliertere Beschreibung des Aufbaus und Einsatzes in der Lehre gegeben. Diese Labore wurden aufgrund ihres fortgeschrittenen Entwicklungsstandes und des vielfältigen erprobten Einsatzes in der Lehre ausgewählt. In Kapitel 3 wird der gewählte Lösungsansatz vorgestellt. Dieser besteht aus der Durchführung von Experteninterviews und einer qualitativen Inhaltsanalyse. Anschließend werden in Kapitel 4 die durchgeführten Experteninterviews ausgewertet und darauf aufbauend die Erfahrungen und Erkenntnisse aus acht Jahren Aufbau und Betrieb verschiedener Remote-Labore geschildert. In Kapitel 5 werden die Erkenntnisse zu elementaren Stichpunkten zusammengefasst, um die drei o. g. Leitfragen zu beantworten.

2 Untersuchte Remote-Labore

Für einen kurzen Überblick der im ELLI-Projekt entwickelten Remote-Labore werden für diese zehn Remote-Labore die zugehörigen Fakultäten und Forschungsbereiche in Tabelle 1 vorgestellt. Für die zwei ausgewählten Labore „Teleoperative Prüfwelle zur Materialcharakterisierung“ und „Strömungsmessung“, die aufgrund ihres technologischen Entwicklungsstandes und des vielfältigen Einsatzes in der Lehre ausgewählt wurden, wird nachfolgend eine detailliertere Beschreibung gegeben. Eine umfangreichere Übersicht aller Remote-Labore mit zugehörigen Beschreibungen, Aufgabenstellungen und Ansprechpartnern ist im Internet zu finden [3].

Tabelle 1: Übersicht über die entwickelten Remote-Labore

Fachbereich	Labor	Symbol	Lehrstuhl	Forschungsfeld
Bau- und Umwelt-ingenieurwesen	Laborkläranlage		Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik	Siedlungswasserwirtschaft
Elektro- und Informationstechnik	Fahrsimulator		Eingebettete Systeme der Informationstechnik	Elektro- und Informationstechnik, Angewandte Informatik
Maschinenbau	Scheitelrollenprüfstand für Elektrofahrzeuge		Energiesysteme und Leistungsmechatronik	Elektromobilität
	Sil-O-Lab		Hochfrequenzsysteme, Elektronische Schaltungstechnik und Feststoffverfahrenstechnik	Hochfrequenztechnik, Elektronische Schaltungstechnik Mechanische Verfahrenstechnik

(Fortsetzung Tabelle 1)

Fachbereich	Labor	Symbol	Lehrstuhl	Forschungsfeld
Maschinenbau	Strömungsmessung		Feststoffverfahrenstechnik	Verfahrenstechnik, Strömungsmechanik, Messtechnik
	Geräuschmessung		Industrie- und Fahrzeugantriebstechnik	Getriebetechnik, Akustik, Messtechnik, Signalverarbeitung
	Teleoperative Prüfzelle		Umformtechnik und Leichtbau	Materialcharakterisierung in der Umformtechnik
	Temperaturprofil im Wärmeübertrager		Fluidverfahrenstechnik	Energie- und Verfahrenstechnik
	Thermophysikalische Stoffdaten		Experimentelle Thermodynamik der Verfahrenstechnik	Verfahrenstechnik, Thermodynamik
	Virtuelles Labor für SPS-Programmierung		Produktionssysteme	Produktionsautomatisierung

2.1 Remote-Labor zur Strömungsmessung am FVT der Ruhr-Universität Bochum

Das Remote-Labor „Strömungsmessung“ dient der Untersuchung des auftretenden Druckverlustes innerhalb der Einbauten einer verfahrenstechnischen Anlage bzw. einer Partikelschüttung. Der Aufbau ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Anlage umschließt ein Volumen von ca. 45 m³, ist für einen Druck von 16 MPa und für Temperaturen bis zu 200 °C ausgelegt. Innerhalb der Anlage wird von einem Kreiselpumpenmodul (A) mit 18 kW Leistung kinetische Energie auf die Strömung übertragen. Die durch diese Energie in Bewegung gesetzte Strömung verliert beim Durchlaufen der Anlage einen Teil ihrer enthaltenen Energie, was als Verringerung des vorliegenden Drucks messbar ist und daher als Druckverlust bezeichnet wird. Dieser Druckverlust tritt in allen Anlagen auf – von allgegenwärtigen Heizungskreisläufen in Gebäuden bis hin zum großen Industriemaßstab eines Chemieparks. Dementsprechend wichtig ist es für Studierende der Verfahrenstechnik, die Auswirkungen von Rohreinbauten auf den Druckverlust und den sich einstellenden Betriebspunkt einer Kreiselpumpe zu verstehen. Dazu dienen z.B. die pneumatisch regelbare Drossel (B) sowie die Kugelschüttung (C), die je nach angewähltem Strömungspfad untersucht werden können. Anhand einer Veränderung der Anlagenkennlinie, welche durch die Drossel beeinflusst wird, lernen Studierende die Abhängigkeit des optimalen Betriebspunkts der Pumpe vom Druckverlust kennen. Anhand des Differenz-

drucksensors (D) wird der Druckverlust über der Kugelschüttung gemessen und die Gültigkeit verschiedener Vorhersagemodelle untersucht.

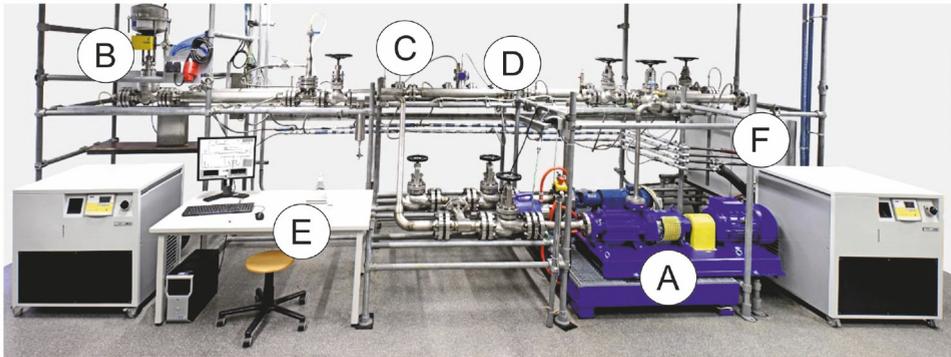


Abbildung 1: Remote-Labor „Strömungsmessung“

Der Aufbau wird mittels eines auf dem Labor-PC (E) installierten LabVIEW-2014-Programms gesteuert, das mit einer übergeordneten Nutzer-Verwaltungsplattform verbunden ist und den Aufbau softwareseitig absichert. Entsprechend können Studierende den Strömungsweg und die Leistung der Pumpe nur innerhalb der von der Software vorgegebenen Grenzen beeinflussen. Die Kommunikation zwischen dem Labor-PC und der Anlage erfolgt über ein NI-cDAQ-System, das zur Erfassung und Ausgabe der verschiedenen Mess- und Steuergrößen mit mehreren NI-Modulen bestückt ist. Mittels der im Schaltschrank (F) verbauten Sicherheitstechnik, z. B. in Form einer Watch-Dog-Schaltung zur automatischen Abschaltung, wird die hardwareseitige Absicherung des Prüfstandes realisiert. Zusätzlich wird die Anlage über das Nutzer-Verwaltungssystem vor Fremdzugriffen auf die Software abgeschirmt. Das Labor ist einerseits in einem Messtechnik-Laborpraktikum im Bachelorstudiengang einsetzbar mit dem Ziel, die allgemeine Arbeitsweise von Kreiselpumpen kennenzulernen, andererseits im Masterstudium zur Analyse des Druckverlusts infolge komplexer Strömungsformen, die bspw. in reaktiven Festbetschüttungen entstehen.

2.2 Remote-Labor zur Materialcharakterisierung in der Umformtechnik am IUL der TU Dortmund

Dieses Remote-Labor ermöglicht, wie in Abbildung 2 gezeigt, die Durchführung verschiedener Experimente mit einer Universal-Prüfmaschine (1) für Remote-Zug- und Druckversuche sowie einer Blechprüfmaschine (2) für Näpfchen-Versuche (Tiefziehen). Beide Maschinen und die an ihnen durchführbaren Experimente sind von grundlegender Bedeutung in der Umformtechnik. Sie liefern Materialkennwerte, die für analytische Berechnungen der Prozesskräfte, Computersimulationen oder Bauteilauslegungen genutzt werden. Die Maschinen, der Roboter (4), der die Proben automatisch in die Maschinen einlegt, und der Mikrocontroller (5), sind durch ein übergeordnetes Steuerungs- und Sicherheitssystem (6) miteinander verbunden, das

auf der Software LabVIEW NXG basiert. Im Falle der Blechprüfmaschine kann das Experiment neben den im Raum verbauten Webcams noch über ein hochauflösendes optisches Messsystem (3) beobachtet und ausgewertet werden. Der Zugriff auf das Remote-Labor erfolgt über eine selbst entwickelte Steuerungs- und Benutzerverwaltungsplattform. Aufgrund der hohen Anzahl an Livestreams musste ein neuer Breitbandanschluss in die Versuchshalle gelegt werden, um die Daten performant verarbeiten zu können. Über den gesamten Entwicklungszeitraum hinweg bestand das multidisziplinäre Team aus Fertigungsingenieuren, Elektrotechnikingenieuren und Automatisierungs- und IT-Spezialisten.

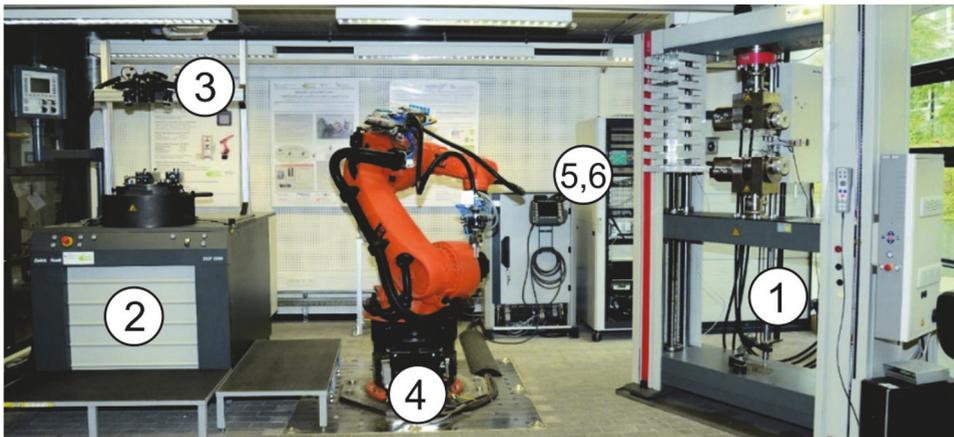


Abbildung 2: Automatisierte, teleoperative Prü fzelle zur Materialcharakterisierung

In den Grundlagenvorlesungen des Bachelorstudiums wird das Remote-Labor für Live-Demonstrationen während Vorlesungen und Übungen genutzt. Die Dozierenden erfragen mit Hilfe von Audience-Response-Systemen die von den Studierenden erwarteten Ergebnisse, z. B. die aufzubringende Kraft oder die erreichte Spannung im Bauteil, die dann direkt live überprüft werden. Im späteren Bachelorstudium wird die Remote-Prü fzelle für selbstständig durchzuführende Experimente von den Studierenden direkt genutzt. Hierbei stehen neben Parametereinflüssen der generelle Ablauf und die Auswertung sowie der Umgang mit experimentellen Messdaten im Vordergrund. Dank des Remote-Labors konnte eine solche Form des selbstständigen Experimentierens erstmals im Bachelorstudium verankert werden. Im Masterstudium wird das Remote-Labor im Zuge der Vorbereitung für die internationalen Studierenden genutzt. Sie nutzen das Equipment von ihren Ländern aus, um ihre erste ingenieurwissenschaftliche Aufgabe noch vor ihrer Ankunft in Deutschland zu bewältigen. Über die letzten sieben Jahre gab es daher Zugriffe aus mehr als zwei Dutzend Ländern weltweit.

3 Lösungsansatz

Zur Sicherung der Erfahrungen, Herausforderungen und Ergebnisse auf den Gebieten der Erstellung und des Betriebs von Remote-Labore wurde eine systematische Befragung der Laborentwickler*innen bzw. der aktuellen Laborbetreiber*innen durchgeführt. In diesen Experteninterviews, in denen die Befragten nicht aufgrund ihrer Person, sondern aufgrund ihres Fachwissens bezüglich des relevanten Fachbereichs befragt werden [4], wurde ein semistrukturierter Interviewleitfaden mit offenen Fragen verwendet. Er wurde unter Einbezug von ehemaligen Studierenden, die jetzt als Mitarbeitende der Lehrstühle arbeiten, optimiert. In einem abschließenden Test wurde der Interviewleitfaden in einem Gespräch mit einem ehemaligen Mitarbeiter, der selbst ein Remote-Labor aufgebaut und Experimente damit durchgeführt hat, erprobt. Die resultierenden fünf Themenfelder des Interviewleitfadens sind in Tabelle 2 aufgeführt. Somit werden alle Phasen von der anfänglichen Planungsphase bis hin zur dauerhaften Implementierung in der Ausbildung abgedeckt. Aufgrund der offenen Fragestellungen wurden immer dann Folgefragen gestellt, wenn nach Meinung der Interviewenden bestimmte Aspekte unerwähnt geblieben waren oder die Antworten weiterer Erklärungen bedurften. Die Interviews wurden sowohl an der RUB als auch an der TUD mit zwei bis drei Interviewpartner*innen, bestehend aus Professor*innen und beteiligten Mitarbeitenden, über einen Zeitraum von 60 bis 90 Minuten durchgeführt. Alle Interviews wurden mit einem Diktiergerät aufgezeichnet, transkribiert und mittels der strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet. Dazu wurden im Vorfeld analytische Kategorien gebildet, denen die Interviewinhalte zugeordnet werden konnten. Infolge der Zuordnungen zu den Hauptkategorien wurden weitere thematische Unterkategorien gebildet, um innerhalb der Kategorien Differenzierungen zu ermöglichen. Diese Kategorien blieben jedoch während der Interviews und der Analyse neu entstehenden Kategorien und Themenfeldern gegenüber offen, um eine dynamische Strukturierung zu ermöglichen [5].

Tabelle 2: Themenfelder des Interviewleitfadens

Themenfeld 1	Allgemeine Fragen und Geschichte des Remote-Labors
Themenfeld 2	Planungsphase des Labors
Themenfeld 3	Entwicklung und Implementierung
Themenfeld 4	Durchführung von Experimenten
Themenfeld 5	Schlussfolgerungen und Ausblick

Im Rahmen der durchgeführten Auswertung der Remote-Labore beider Universitäten wurden vier Hauptkategorien erstellt, anhand derer die „Lessons Learned“ gegliedert wurden.

4 Auswertung der Experteninterviews

Die Kategorisierung der Ergebnisse erfolgte zuerst gemäß den Bereichen: „Technische Herausforderungen“, „Didaktisches Konzept und Lernziele“ und „Projektmanagement“ [7]. Aufgrund der Untersuchungen an der TUD wurde im Rahmen der dynamischen Analyse die vierte Kategorie „Verstetigungsbedingungen“ hinzugefügt, deren Inhalte nicht durch die drei bestehenden Kategorien abgedeckt wurden. Die Ergebnisse bezüglich der teleoperativen Prüfwelle zur Materialcharakterisierung am IUL der TUD werden nachfolgend vorgestellt und mit den Ergebnissen aus der an der RUB durchgeführten Befragung verglichen. Dadurch werden Gemeinsamkeiten und Unterschiede bei der Erstellung mehrerer Remote-Labore im Vergleich zum Fokus auf ein einzelnes, komplexeres Labors aufgezeigt [6].

4.1 Technische Herausforderungen

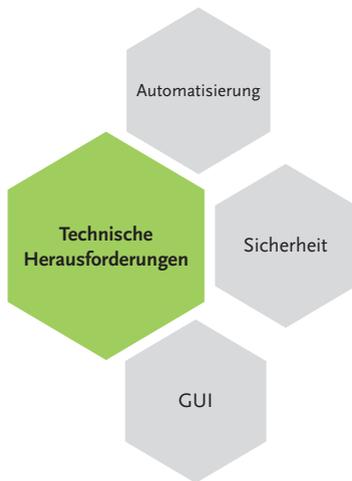


Abbildung 3: Die wichtigsten technischen Herausforderungen bei der Implementierung von Remote-Laboren

In diesem Kapitel werden die Erkenntnisse und Erfahrungen mit der implementierten Technologie vorgestellt. Die wichtigsten technischen Herausforderungen, die in den Interviews benannt wurden, bezogen sich einerseits auf die Automatisierung und Steuerung der Hardwarekomponenten, die zu den Maschinen, Kameras sowie Steuereinheiten gehören, andererseits auf die Softwarekomponenten, die grafische Darstellung des Labors sowie die Sicherheitskonzepte.

Die physischen Komponenten der teleoperativen Prüfwelle wurden aus kommerziell erhältlicher Hardware ausgewählt. Daher wurde die Entwicklung auf die erforderliche Software und Steuerung konzentriert, die in ihrem heutigen Zustand eine mehrjährige Entwicklungszeit beinhaltet. Die Interviewten gaben an, dass die Programmierung der automatisierten Fernsteuerung, insbesondere an den Kommunikationsschnittstellen zwischen den Geräten, stellenweise durch Ausprobieren erfolgen musste, obwohl die installierten Kommunikationsprotokolle bekannt waren. In diesen Fällen waren die Speicherorte bestimmter Daten auf den vorhandenen Steuergeräten nicht bekannt. Dies führte zu individualisierten und hochkomplexen Systemen, welche die Eigenentwicklung einer Verwaltungsplattform verlangten. Diese neu entwickelte Plattform, getauft HALO – **H**aus der **L**abore, fungiert einerseits als Benutzerverwaltungs- und Zeitplanungssystem und ermöglicht andererseits die Kommunikation mit einer beliebigen Anzahl von Experimenten. Für die Interviewten war vor allem die Sicherheit von Mensch und Maschine von Bedeutung. Dazu wurde das Labor unter hohem Aufwand mit einem Sicherheitssystem zur

Vermeidung von Sach- oder Personenschäden ausgestattet. Die Software limitiert ausführbare Befehle innerhalb sicherer Betriebsgrenzen und genehmigter Bewegungsabläufe und dient der Vermeidung von Sachschäden. Zusätzlich ist eine Notabschaltung implementiert. Hardwareseitig wird ein Laservorhang verwendet, um die Sicherheit von Personen zu garantieren. Dieser ist von der Steuerung getrennt und erlaubt die Verwendung des Labors nur bei einem kontinuierlich eingehenden Signal, sodass ein Ausfall oder Bewegungen in der Nähe der Maschinen eine Notabschaltung auslösen. Nach einer Notabschaltung durch eines der beiden Systeme ist eine Analyse der Fehlerquelle und ein manueller Neustart erforderlich. Dies ist nach Meinung der Experten*innen ein wichtiges Merkmal, um den unsachgemäßen Weiterbetrieb nach einer Störung zu unterbinden.

Beim Vergleich der Ergebnisse der Experteninterviews beider Universitäten zeigte sich, dass die Komplexität der Remote-Labore eine Herausforderung darstellt. Dabei wurde zwischen der Komplexität der Benutzerschnittstelle und der Komplexität des zugrunde liegenden Steuerungssystems unterschieden. Um ein stabiles System zu schaffen, mussten an beiden Universitäten Einschränkungen und Vereinfachungen vorgenommen werden. Besonders deutlich wurde dies bei einigen Laboren an der RUB, die ursprünglich konzipiert wurden, um „übliche“ Experimente ferngesteuert durchführen zu können. Diese mussten im Vergleich zu den vor Ort durchgeführten Experimenten verändert bzw. in ihrem Umfang reduziert werden. Das Labor an der TUD wurde explizit aufgrund seiner leichteren Remotisierbarkeit gewählt, da der Messvorgang bereits hochautomatisiert war, sodass fast keine sensorische Rückmeldung verloren ging und es dadurch weniger Anpassungen gegenüber dem realen Labor bedurfte. Dies erlaubte den Erhalt des hohen Realitätsgrades und des Lernpotentials. An der RUB sind die meisten Labore auf eine gewisse Abstraktion der GUI angewiesen, während an der TUD eine GUI gewählt wurde, die den Studierenden unter Einbezug von Videostreams und experimenteller Rohdaten eine möglichst realistische Laborerfahrung ermöglichen sollte. Rückblickend gaben die meisten an der RUB befragten Expert*innen an, sie würden heute auch empfehlen, mehr sensorisches Feedback in die Interfaces zu integrieren. An beiden Universitäten wurden die implementierten Sicherheitskonzepte sowohl auf der Hardware- als auch der Softwareseite umgesetzt. Für alle Labore erlegten diese Konzepte dem Versuchsaufbau Einschränkungen und Restriktionen auf, um die Sicherheit und Stabilität im Remote-Betrieb zu gewährleisten. Die Stabilität der Systeme wurde jeweils durch eine Einschränkung der auswählbaren Parameter erreicht.

4.2 Didaktisches Konzept und Lernziele



Abbildung 4: Die wichtigsten didaktischen Herausforderungen bei der Implementierung von Remote-Laboren

Die in diesem Kapitel vorgestellten didaktischen Elemente berücksichtigen die Einbeziehung der Perspektive der Studierenden, die Zusammenarbeit mit Fachdidaktikern, die für die Lernzielerreichung erforderliche grafische Darstellung, die Vorbereitung der Studierenden auf die Experimente sowie die Nutzung des Remote-Experiments als Lehrmittel.

Die Zielgruppe des Remote-Labors an der TUD sind primär Bachelor-Studierende der Fachrichtungen Maschinenbau, Maschinenbauinformatik, Logistik und Wirtschaftsingenieurwesen. Die Perspektive der Studierenden wurde nur durch die Reflexion und Erfahrung der Entwicklerteams berücksichtigt, da die meisten Mitglieder des Entwicklungsteams mindestens einen vergleichbaren Studiengang belegt hatten. Dennoch empfahl das Team der TUD, mindestens für den letzten Schliff der Entwicklung die Meinung der Studierenden einzuholen. Von Anfang an unterstützte ein fachdidaktisches Team das technische Team, indem es Lernziele analysierte und den Nutzen des Remote-Labors durch eine kontinuierliche Evaluation erhöhte. Dabei wurde die Fähigkeit der eigenständigen Planung und Auswertung von Experimenten zur Beantwortung wissenschaftlicher Fragen als wichtigstes Lernziel definiert, anstatt die Bedienung der Geräte in den Vordergrund zu stellen. Diese letztgenannte Fähigkeit setzt eine haptische Mensch-Maschine-Interaktion voraus und kann nur durch Hands-on-Labore erworben werden. Für die Remotisierung des Labors wurde ein Aufbau gewählt, der hinsichtlich des Funktionsumfangs nur geringfügige Unterschiede zum Hands-on-Labor aufweist. Der Wegfall der manuellen Interaktion lenkt die Konzentration auf die Lernziele, indem nur Aktionen ermöglicht werden, die zur Erreichung dieser Ziele förderlich sind. Darüber hinaus wurde die GUI so getreu wie möglich an das praktische Experiment angelehnt, um einen realistischen Eindruck vom „Arbeiten im Labor“ zu vermitteln. Den Studierenden stehen für die Nutzung des Labors nur begrenzte Zeitfenster zur Verfügung; daher müssen die Gruppen einen Versuchsplan aufstellen und relevante Daten im Team kombinieren, sodass das Erreichen des Lernziels sichergestellt ist. Alle Interviewten empfahlen, erforderliches Hintergrundwissen aus den Vorlesungen vor Beginn der Experimente in einem digitalen Quiz zu überprüfen. Hierzu wird zusätzlich vor der Durchführung des Experiments eine Einführung in die Steuerungs- und Benutzerverwaltungsplattform und die GUI durch Präsentationen und Video-Tutorials angeboten. An der TUD werden diese Einführungen zukünftig durch eine interaktive Demo ersetzt, um Studierende mit der Bedienung des Remote-Labors vertraut zu machen.

Die anfängliche Zielgruppe für das Remote-Labor an der TUD waren ausschließlich Studierende im Bachelor-Studiengang, während die anfängliche Zielgruppe an der RUB auch Studierende im Master-Studiengang einschloss. Das Remote-Labor an der TUD wurde jedoch aufgrund der kleineren Gruppengröße zunächst zu Testzwecken in einem internationalen Master-Vorkurs genutzt. Die Teams an beiden Universitäten bezogen nur selten die Perspektive der Studierenden für die Erstellung der GUI ein – dies führte rückblickend zu einer Erhöhung des Arbeitsaufwandes. Ein Unterschied wurde bei der Zusammenarbeit mit Fachdidaktiker*innen festgestellt. Die Mitarbeiter*innen der RUB gaben an, dass sie selbst ihre Expertise in der Lehre für ausreichend hielten und das erforderliche Verständnis für hochkomplexe Messtechniken für die Entwicklung geeigneter Lehransätze am wichtigsten sei. Dementsprechend wurden kaum Didaktiker*innen zur Erstellung des didaktischen Konzepts einbezogen. Demgegenüber arbeitete das Entwicklungsteam an der TUD von Beginn des Projekts an eng mit einem Team von Fachdidaktiker*innen derselben Universität zusammen. Das didaktische Team unterstützte bei der Auswahl der Experimente, der Definition von Lernzielen und der Formulierung von Aufgaben sowie beim generellen Verständnis der Unterschiede zwischen vor Ort durchgeführten Experimenten und Remote-Experimenten. Der erforderliche Grad an Automatisierung und Benutzerfreundlichkeit war an beiden Universitäten ähnlich hoch. Dies erlaubt es erfahrenen Internetnutzer*innen, Experimente durchzuführen, ohne die beteiligten Mechanismen des Remote-Labors an sich verstehen zu müssen. An der RUB ergab sich daher teilweise im Nachhinein die Notwendigkeit, die Komplexität einiger Laboraufbauten zu reduzieren. Die ursprünglichen Lernziele wurden angepasst, und der Schwerpunkt verlagerte sich weg vom Verständnis und der Durchführung einer Messtechnik hin zum Erzeugen von experimentellen Daten und die anschließende Auswertung. Letztere sind Lernziele, die an der TUD bereits zu Beginn für die schon hoch automatisierte Ausrüstung und weniger anspruchsvollen Messtechniken definiert wurden. Als letzter Punkt wurde von einigen Entwicklern an der RUB geäußert, es sei unwahrscheinlich, dass ein Remote-Experiment ein vor Ort durchgeführtes Experiment vollständig ersetzen könne. Als Gründe wurden die Bedeutung der umfassenderen, aber meist unbemerkten Sicherheitskonzepte, die fehlende Förderung manueller Fertigkeiten und ein falsches Zeitempfinden genannt. Das Team an der TUD betrachtet sein Labor als validen und umfassenden Ersatz, der jedoch am besten in Kombination mit zusätzlichen praktischen Experimenten genutzt werden kann, da nur so alle Lernziele bestmöglich erreicht werden können.

4.3 Projektmanagement

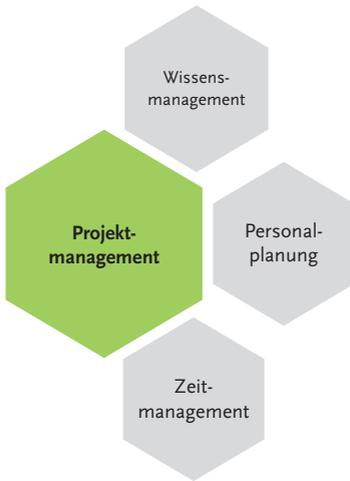


Abbildung 5: Die wichtigsten Herausforderungen für das Projektmanagement bei der Implementierung von Remote-Laboren

Das so verfügbare Wissen erlaubte es, nur erfolgreiche Ideen zu dokumentieren und Ideen auszulassen, die sich wegen ihres zu hohen Aufwandes als nicht realisierbar erwiesen hatten. Das Zeitmanagement wurde oft durch externe Faktoren beeinträchtigt, was manchmal die Reduzierung selbst gesteckter Ziele erforderte, um den Zeitplan einzuhalten. Viele Interviewte gaben an, dass insbesondere nachträgliche Anpassungen des Sicherheitskonzepts zu Verzögerungen im Projektplan geführt hatten. Nach Angaben der Befragten wurde ein volles Arbeitsjahr benötigt, bis das jeweilige Labor mit seinen Basisfunktionen genutzt werden konnte. Im Hinblick auf das Gesamtprojektmanagement musste stets die Verhältnismäßigkeit des Aufwands jedes Entwicklungsschritts sorgfältig geprüft werden. Änderungen an ursprünglichen Konzepten waren nur durchführbar, wenn sie für eine hohe Anzahl von Remote-Experimenten einen reduzierten Aufwand während des Betriebs ermöglichten, sich also rechneten. Teilweise konnte die Entwicklung in Form von wissenschaftlichen Abschlussarbeiten ausgelagert werden, wodurch der Aufwand aufseiten der Mitarbeitenden reduziert wurde. Dabei erhielten Studierende die Möglichkeit, an einem realen Projekt zu arbeiten und zusätzliche Fähigkeiten im interdisziplinären Kontext von Wissenschaft, Didaktik und Industrie 4.0 zu erlangen.

Bei allen Laboren kam es aufgrund unvorhergesehener Herausforderungen in der Entwicklungsphase zu Verzögerungen im ursprünglichen Zeitplan. Die Anforderungen an die Entwicklung von Hardware- oder Softwarelösungen wurden von den Forschungsmitarbeitern oft unterschätzt und führten bei den meisten Projekten zu erheblichen Verzögerungen. Für einige der komplexeren Laboratorien an der RUB mussten sowohl die Lerninhalte als auch die Hardware während der Entwicklung mehrfach angepasst werden. Die Wahl eines technisch und didaktisch geeigne-

Erkenntnisse zum Projektmanagement, d. h. insbesondere zur Teamarbeit, zum Wissensmanagement, zum Zeitmanagement und zu unvorhergesehenen Verzögerungen, werden in diesem Abschnitt zusammengefasst.

Die Auswertung aller Interviews zeigte, dass sich während der Entwicklungsphasen sowohl an der RUB als auch an der TUD die Teamarbeit weg von überwiegend individueller Arbeit hin zu gemeinsamer Projektarbeit wandelte. Regelmäßige Teamsitzungen wurden genutzt, um aktuelle und anstehende Entwicklungen zu besprechen. Dies hat sich besonders in Zeiten als nützlich erwiesen, in denen Mitarbeiter*innen wegen auslaufender Verträge das Team verlassen oder andere sich ihm neu angeschlossen haben. Darüber hinaus haben einige Teammitglieder nahezu von Anfang an das Projekt bearbeitet.

ten Labors an der TUD machte diese Iterationen überflüssig. Der Aufbau eines dezentralen Labors erfordert generell ein interdisziplinäres Zusammenwirken von Kompetenzen aus dem jeweiligen Fachgebiet jener Ingenieurdisziplin, in der das Remote-Labor genutzt werden soll, mit der Elektro- und Regelungstechnik, Automatisierungstechnik sowie der Informatik. Die Befragten erwähnten oft, dass deshalb zusätzliches Fachwissen erworben werden musste. In den Interviews an der RUB wurde empfohlen, dass mindestens eine Person das Projekt während der gesamten Entwicklungszeit betreut und daran arbeitet, um Kenntnisse in den erforderlichen Bereichen zu erwerben und zusätzlich als eine Form der Dokumentation zu dienen. Als Gegenbeispiel dient das Remote-Labor an der TUD, da das gemischte Team hier aus Maschinenbauern, Informatikern sowie Automatisierungs- und Elektrotechnikern keine derartigen Probleme meldete. Das multidisziplinär aufgestellte Team ermöglichte einen einfacheren Aufbau der Experimente und eine strikere Konzentration auf das Steuerungssystem und didaktische Aspekte. Für alle Labore erwähnten die Befragten, dass Standardverfahren für die Dokumentation ungeeignet waren und angepasst werden mussten.

4.4 Verstetigungsbedingungen



Abbildung 6: Die wichtigsten Verstetigungsbedingungen bei der Implementierung von Remote-Laboren

Dieser vierte und letzte Absatz enthält die Erkenntnisse, die aus dem Übergang zu einem dauerhaft betriebenen und gewarteten Remote-Labor gewonnen wurden sowie andere nützliche Aspekte hinsichtlich der Entwicklung und Synergien.

Das voll ausgebaute Remote-Labor, das anfänglich einen enormen Aufwand erforderte, reduziert die Arbeitsbelastung des Personals und die Betriebskosten erheblich, da keine Sicherheits- und Betriebsanweisungen und keine persönliche Schutzausrüstung für die Teilnehmenden erforderlich sind. Aufgrund seiner Einschränkungen bezüglich der Sicherheitskonzepte und Lernziele erwies sich das Remote-Labor als alleiniges Mittel zur Durchführung wissenschaftlicher Forschung jedoch als ungeeignet. Dennoch wird die Ausrüstung in ihrer Vor-Ort-Version, die nur geringfügige Modifikationen erfordert, im großen Umfang für wissenschaftliche Forschung und Studienarbeiten genutzt. Dadurch entstehen Synergieeffekte bzw. ein „zweiter Anwendungsfall“. Dieser trägt dazu bei, das Remote-Labor über die Finanzierungsphase hinaus zu erhalten, da die Geräte auch in ihrer normalen, nicht ferngesteuerten Betriebsart einen wissenschaftlichen Mehrwert generieren. Daher müssen Vereinbarungen zwischen Auszubildenden und Forschenden bezüglich der Abstimmung von Remote-Experimenten und wissenschaft-

licher Forschung getroffen werden. Dazu muss die Remote-Konfiguration des Labors nach jeder Forschungsphase wiederhergestellt werden. Die Interviewten empfehlen, das Wechseln zwischen der Remote-Konfiguration für die Ausbildung von Studierenden und der regulären Konfiguration zum Einsatz im wissenschaftlichen Forschungsbetrieb, von Anfang an zu berücksichtigen. Nach ihrer Meinung sollte die Beantragung von Forschungsgeldern mit der Nutzung im Ausbildungskontext kombiniert werden, um die Erfolgsaussichten zu erhöhen. Die Entwicklung eines Remote-Labors auf der Basis bereits vorhandener Ausrüstung sollte sich auf solche Geräte konzentrieren, die wissenschaftlich genutzt werden, gleichzeitig aber eine ausreichende Stillstandzeit aufweisen und über Steuereinheiten verfügen, die leicht für die Remote-Steuerung konfiguriert werden können.

5 Lessons Learned

Die Erkenntnisse aus acht Jahren Entwicklung, Betrieb und Beforschung von Remote-Laboren an den Standorten Dortmund und Bochum werden im Folgenden zusammengefasst. Als Grundlage dient die Auswertung der Experteninterviews, die im vorangegangenen Kapitel erläutert wurden. Dabei wird auf die drei eingangs definierten Leitfragen Bezug genommen. Die allgemeingültigen Vor- und Nachteile von Remote-Laboren wurden bereits im ersten Kapitel behandelt.

Was spricht für, was gegen die Remotisierung meines bestehenden Labors? Was sind mögliche Alternativen?

Für die Remotisierung spricht, wenn ...

- ❖ die Lernziele klar definiert und durch Wegfall der physischen Anwesenheit nicht gefährdet sind. Es sollten frühzeitig Ingenieurdidaktiker*innen konsultiert werden, um diese Diagnose zu bestätigen und ggf. beim Feinschliff der Lernziele zu unterstützen.
- ❖ Sicherheitsbedenken seitens der Studierenden in Bezug auf die physische Durchführung der Labore vorliegen.
- ❖ Ressourcen durch gemeinsame, ortsübergreifende Nutzung der Labore geschont werden sollen.
- ❖ die Kapazität des klassischen Labors mit ca. 6 Stunden/Tag nicht ausreicht bzw. Personalengpässe bestehen (durch einen 24-Stundentag im Remote-Betrieb wird die Kapazität ohne zusätzliches Personal vervierfacht).
- ❖ die Maschine bzw. das Labor entsprechende technische Voraussetzungen liefert, z. B. Schnittstellen. Daher sollten neue Remote-Labore mit Hardware entwickelt werden, die bereits viele Funktionen für einen Remote-Betrieb unterstützt. Es muss generell bewertet werden, wie hoch der technische Aufwand der Remoti-