> Das Labor in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung

Zukunftsorientierte Ansätze aus dem Projekt IngLab

A. Erman Tekkaya, Uwe Wilkesmann, Claudius Terkowsky, Christian Pleul, Monika Radtke, Frauke Maevus (Hrsg.)

acatech STUDIE
September 2016

acatech
DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN

Autorinnen und Autoren:
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h.
A. Erman Tekkaya
Technische Universität Dortmund
Institut für Umformtechnik und Leichtbau
Baroper Straße 303
44227 Dortmund

Dipl.-Päd. Claudius Terkowsky
Technische Universität Dortmund
Zentrum für HochschulBildung
Vogelpothsweg 78
44227 Dortmund

Monika Radtke, Dipl.-Phys.
Technische Universität Dortmund
Zentrum für HochschulBildung
Vogelpothsweg 78
44227 Dortmund

Prof. Dr. Uwe Wilkesmann
Technische Universität Dortmund
Zentrum für HochschulBildung
Hohe Straße 141
44139 Dortmund

Christian Pleul, M. Sc., M. Eng.
Technische Universität Dortmund
Institut für Umformtechnik und Leichtbau
Baroper Straße 303
44227 Dortmund

Dr.-Ing. Frauke Maevus
Technische Universität Dortmund
Institut für Umformtechnik und Leichtbau
Baroper Straße 303
44227 Dortmund

Reihenherausgeber:
acatech – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN, 2016

Geschäftsstelle
Karolinenplatz 4
80333 München

T +49 (0) 89 / 5 20 30 90
F +49 (0) 89 / 5 20 30 99 00

Hauptstadtbüro
Pariser Platz 4a
10117 Berlin

T +49 (0) 30 / 2 06 30 96 0
F +49 (0) 30 / 2 06 30 96 11

Brüssel-Büro
Rue d'Egmont/Egmontstraat 13
1000 Brüssel
Belgien

T +32 (0) 2 / 2 13 81 80
F +32 (0) 2 / 2 13 81 89

E-Mail: info@acatech.de
Internet: www.acatech.de

Empfohlene Zitierweise:
Tekkaya, A. Erman/Wilkesmann, Uwe et al.: *Das Labor in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung. Zukunftsorientierte Ansätze aus dem Projekt IngLab* (acatech STUDIE), München: Herbert Utz Verlag 2016.

ISSN 2192-6174/ISBN 978-3-8316-4499-5

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.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH • 2016

Koordination: Dr. Thomas Lange, Susanne Schröder
Lektorat: Ralf Sonnenberg
Layout-Konzeption: acatech
Konvertierung und Satz: Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS, Sankt Augustin

Gedruckt auf säurefreiem Papier

Printed in EC
Herbert Utz Verlag GmbH, München
T +49 (0) 89 / 27 77 91 00
Internet: www.utzverlag.de

> DIE REIHE acatech STUDIE

In dieser Reihe erscheinen die Ergebnisberichte von Projekten der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften. Die Studien haben das Ziel der Politik- und Gesellschaftsberatung zu technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen.

Alle bisher erschienenen acatech Publikationen stehen unter www.acatech.de/publikationen zur Verfügung.

> INHALT

KURZFASSUNG 9

PROJEKT 11

1 EINLEITUNG 13
- 1.1 Hintergrund und Relevanz 13
- 1.2 Defizite 14
- 1.3 Resümee 15

2 STAND DER FORSCHUNG UND EIGENE VORARBEITEN 17
- 2.1 Stand der Forschung 17
- 2.2 Eigene Vorarbeiten 18

3 ZIELSTELLUNG UND ARBEITSSCHRITTE 19
- 3.1 Zielstellung 19
- 3.2 Methodische Arbeitsschritte im Projekt 20
  - 3.2.1 Entwicklung eines Kriterienkataloges zur Laborausbildung 20
  - 3.2.2 Ermittlung bestehender Angebote in der Fertigungstechnik 20
  - 3.2.3 Befragung von Expertinnen und Experten 20
  - 3.2.4 Qualitative Untersuchung von Best-Practice-Beispielen 20
  - 3.2.5 Empfehlungen zur Gestaltung von Laborausbildung 21
  - 3.2.6 Labordidaktisches Weiterbildungsangebot 21

4 MERKMALIDENTIFIKATION FÜR DIE LEHR-LERN-UMGEBUNG „LABOR“ 23
- 4.1 Datenbasis 23
- 4.2 Vorbetrachtungen zur Ermittlung der Merkmale 23
  - 4.2.1 Fertigungstechnik und Fertigungsverfahren 24
  - 4.2.2 Laborausbildung in der Ingenieurwissenschaft 24
  - 4.2.3 Employability im Kontext der Ingenieurwissenschaften 25
- 4.3 Ergebnisse 30
  - 4.3.1 Allgemeine Aspekte 30
  - 4.3.2 Fallspezifische Merkmale 32
- 4.4 Fazit 39

5 METHODISCHES VORGEHEN 41

5.1 Austausch und Interviews mit Expertinnen und Experten 41

5.1.1 Qualitative Expertinnen- und Experteninterviews 42

5.1.2 Schriftlicher Expertinnen- und Expertenaustausch 44

5.1.3 Auswertung der Befragungen mit „MAXQDA“ 44

5.2 Qualitative Inhaltsanalyse von bestehenden Laborangeboten 45

5.2.1 Methodische Eignung – oder: warum qualitativ? 46

5.2.2 Anpassung der Inhaltsanalyse auf das „fertigungstechnische Labor“ 47

5.3 Teilnehmende Beobachtung 52

5.3.1 Qualitative Beobachtung 52

5.3.2 Stichprobenbeschreibung – Auswahl von Best-Practice-Laboren 52

5.3.3 Erstellen eines Beobachtungsbogens 53

6 EXPERTINNEN- UND EXPERTENAUSTAUSCH MIT INGENIEURINNEN UND INGENIEUREN 61

6.1 Datenbasis 61

6.2 Ergebnisse 63

6.3 Fazit 71

7 ANALYSE BESTEHENDER LABORANGEBOTE 73

7.1 Auswertung der Daten 73

7.2 Allgemeine Probleme bei der Durchführung der Inhaltsanalyse 73

7.3 Befunde der qualitativen Inhaltsanalyse 74

7.3.1 „Didaktische Rampe“ 75

7.3.2 „Parameterstudie“ 78

7.3.3 „Handlungs- und Problemorientierung“ 78

7.3.4 „Methodisch-grundlagenorientiert“ 78

7.3.5 „Inhaltlich-anwendungsorientiert“ 78

7.3.6 „Inhaltlich-grundlagenorientiert“ 79

7.3.7 „Konstruktiv“ 79

7.4 Fazit 79

8 MERKMAL-BASIERTE ANALYSE DER BEST-PRACTICE-LABORE 81
8.1 Datenbasis und methodisches Vorgehen 81
8.2 Ergebnisse der Merkmal-basierten Analyse 81
8.2.1 Labor-Typ 81
8.2.2 Didaktische Organisation der Lehr-/Lernaktivitäten im Labor 87
8.2.3 Offenheit der Aufgabenstellung und Selbstständigkeit der Bearbeitung 88
8.2.4 Problemtyp der Aufgabenstellung 90
8.2.5 Verstehensebenen im Labor 91
8.2.6 Kompetenzen im Labor 92
8.2.7 Struktur von Laborphasen und Lernzielen 93
8.2.8 Das „IngLab" – Integrierende Darstellung aller 18 Best-Practice-Labore 105
8.3 Fazit 109

9 RESÜMEE 117
9.1 25 Gestaltungsempfehlungen zur Verbesserung der Laborausbildung 117
9.2 Gestalten von Laborveranstaltungen mit Constructive Alignment 122
9.3 Checklisten zum Gestalten und Überarbeiten von Laborveranstaltungen 122
9.4 Weiterbildung zur Gestaltung und Umsetzung von Laboren 136

LITERATUR 137

ABBILDUNGSVERZEICHNIS 147

KURZFASSUNG

Im ingenieurwissenschaftlichen Studium ist die Laborausbildung ein traditionsreiches Instrument. In Deutschland ist sie besonders umfangreich: Nur wenige ingenieurwissenschaftliche Studiengänge weltweit haben das bewährte Lehrformat mit so vielen Wochenstunden in den Curricula verankert. In Zukunft wird die ingenieurwissenschaftliche Laborausbildung noch weiter an Bedeutung gewinnen. Der technologische Wandel und die Transformation der Wirtschaft durch Industrie 4.0 und Smart Services schaffen eine neue, digitale Arbeitswelt, auf welche die angehenden Ingenieurinnen und Ingenieure vorbereitet werden müssen. In diesem Zusammenhang ergeben sich innovative Einsatzmöglichkeiten für virtuelle und teleoperative Labore. Zeitlich und örtlich ungebunden können die Studierenden im softwarebasierten virtuellen Labor selbstständig Experimente simulieren oder reale Experimente ferngesteuert durchführen – eine hilfreiche Ergänzung und Unterstützung des realen Laborangebots.

Das bereits bestehende Angebot ist sowohl in anwendungs- als auch in forschungsorientierten ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen von großer Relevanz: Die Laborausbildung ermöglicht den Studierenden die praktische Umsetzung theoretischer Zusammenhänge sowie das Kennenlernen von Geräten und Verfahren aus der späteren Berufswelt. Durch Experimentieren, anschließende Ergebnisinterpretation und Anwendung der Resultate eignen sich die Studierenden zudem ingenieurwissenschaftliches Fachwissen und praktische Fertigkeiten an. So lässt sich bereits während des Studiums berufsbezogene Erfahrung sammeln, von der die angehenden Ingenieurinnen und Ingenieure im zukünftigen beruflichen Alltag profitieren werden.

Allerdings schöpfen die Hochschulen das Potenzial ingenieurwissenschaftlicher Laborveranstaltungen in der Lehre nicht ausreichend aus. Die fachliche sowie lernförderliche didaktische Ausgestaltung bleibt häufig hinter ihren Möglichkeiten zurück. Unter anderem sind die Anforderungen, die an erfolgreiche forschungs- und anwendungsorientierte Laborveranstaltungen gestellt werden müssen, oft unzureichend formuliert, charakteristische Merkmale von Laboren nicht bekannt, oder die Möglichkeiten fachbezogener didaktischer Gestaltung bleiben ungenutzt.

Das Institut für Umformtechnik und Leichtbau (IUL) sowie das Zentrum für HochschulBildung (zhb) an der Technischen Universität Dortmund haben gemeinsam ein interdisziplinäres Projekt zum Labor in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung ins Leben gerufen. Ziel des Projektes „IngLab" ist die Verbesserung des anwendungs- und kompetenzorientierten Einsatzes von Laborveranstaltungen in den ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen der Fertigungstechnik. Die vorliegende acatech STUDIE erarbeitet zu diesem Zweck einen Merkmalkatalog, anhand dessen Laborveranstaltungen spezifiziert werden können. In dieser umfassenden Zusammenstellung charakteristischer Merkmale sind inhaltliche und strukturelle Aspekte sowie Merkmale zum technologischen Charakter und zur didaktischen Konzeption enthalten. Sie dienen der Beschreibung und Einschätzung von Laboren und ermöglichen somit eine gezielte Modifikation bestehender sowie die Entwicklung neuer Laborveranstaltungen.

Das IngLab-Projektteam untersuchte bestehende Laborveranstaltungen und identifizierte anhand des Merkmalkataloges Best-Practice-Labore der Fertigungstechnik. Diese wurden mittels teilnehmender Beobachtung entsprechend ihrer Ausgestaltung eingeschätzt und die curriculare Einbindung geprüft. Parallel fanden Gespräche mit Expertinnen und Experten für die Entwicklung, Durchführung und Betreuung ingenieurwissenschaftlicher Labore statt. Sie sehen das Labor primär im Praxisbezug und sind in diesem Zusammenhang der Meinung, dass es Aspekte der Berufsvorbereitung, das Sammeln von Erfahrungen, das Umsetzen von Theorie im Anwendungsbezug sowie den Umgang mit Maschinen und Methoden des Experimentierens adressiert. Die tatsächliche Ausgestaltung der beobachteten Labore bestätigte diese Einschätzung teilweise, wich in einigen Fällen jedoch auch davon ab.

Anhand der erarbeiteten Wissensbasis und unter Einbeziehung zukünftiger Entwicklungen formulierte das Projektteam 25 fachlich, didaktisch und organisatorisch orientierte Gestaltungsempfehlungen für die Entwicklung und Überarbeitung von Laboren im Fokus der Fertigungstechnik. Auf diese Weise sollte die Laborausbildung Theorie und Praxis besser verknüpfen und erfahrungsbasiertes Lernen fördern. Experimente mit unerwartetem Ausgang erzeugen Aha-Effekte, welche die Auseinandersetzung mit dem Sachverhalt verstärken. Um einen Bezug zum späteren Berufsleben herzustellen, sind Kooperationen mit Wirtschaft und Industrie sinnvoll. Vor dem Hintergrund der Digitalisierung der Wirtschaft und des Arbeitsumfelds sollte die Laborausbildung digitale Lehrmaterialien, teleoperative Versuche oder virtuelle Labore einsetzen. Zur didaktischen Gestaltung der Labore wird die Anwendung des Konzeptes „Constructive Alignment" vorgeschlagen, dem zufolge die Lehrinhalte entsprechend den gewünschten Lernergebnissen und Prüfungsmethoden ausgewählt werden.

Die sich anschließenden Checklisten dienen der Konzeption von Laborveranstaltungen unter Berücksichtigung aufeinander abgestimmter beabsichtigter Lernergebnisse, dafür notwendiger studentischer Lernaktivitäten sowie der kompetenzorientierten Prüfung. Der zuvor entwickelte und sukzessiv erweiterte Merkmalkatalog sowie die Gestaltungsempfehlungen sind in dieser Studie als labordidaktisches Weißbuch integriert. Auch Weiterbildungsangebote im Workshop-Format werden dargestellt.

Die Studie dient der nachhaltigen Verbesserung der Laborveranstaltungen und -experimente sowie labordidaktischen Vorgehensweisen in der wissenschaftlichen Ingenieurausbildung.

> acatech – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN

acatech vertritt die deutschen Technikwissenschaften im In- und Ausland in selbstbestimmter, unabhängiger und gemeinwohlorientierter Weise. Als Arbeitsakademie berät acatech Politik und Gesellschaft in technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Darüber hinaus hat sich acatech zum Ziel gesetzt, den Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft zu unterstützen und den technikwissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern. Zu den Mitgliedern der Akademie zählen herausragende Wissenschaftler aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen. acatech finanziert sich durch eine institutionelle Förderung von Bund und Ländern sowie durch Spenden und projektbezogene Drittmittel. Um den Diskurs über technischen Fortschritt in Deutschland zu fördern und das Potenzial zukunftsweisender Technologien für Wirtschaft und Gesellschaft darzustellen, veranstaltet acatech Symposien, Foren, Podiumsdiskussionen und Workshops. Mit Studien, Empfehlungen und Stellungnahmen wendet sich acatech an die Öffentlichkeit. acatech besteht aus drei Organen: Die Mitglieder der Akademie sind in der Mitgliederversammlung organisiert; das Präsidium, das von den Mitgliedern und Senatoren der Akademie bestimmt wird, lenkt die Arbeit; ein Senat mit namhaften Persönlichkeiten vor allem aus der Industrie, aus der Wissenschaft und aus der Politik berät acatech in Fragen der strategischen Ausrichtung und sorgt für den Austausch mit der Wirtschaft und anderen Wissenschaftsorganisationen in Deutschland. Die Geschäftsstelle von acatech befindet sich in München; zudem ist acatech mit einem Hauptstadtbüro in Berlin und einem Büro in Brüssel vertreten.

Weitere Informationen unter www.acatech.de