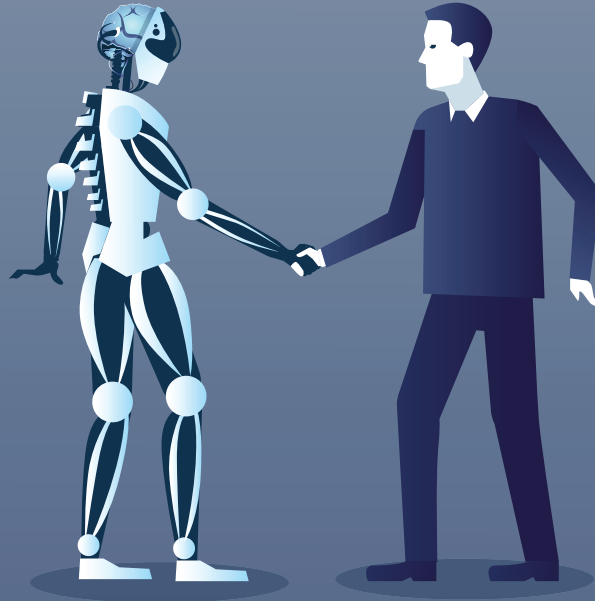


Tobias Haertel, Claudius Terkowsky, Sigrid Dany, Sabrina Heix (Hg.)



# Hochschullehre & Industrie 4.0

Herausforderungen – Lösungen – Perspektiven



Tobias Haertel, Claudius Terkowsky, Sigrid Dany, Sabrina Heix (Hg.)

# Hochschullehre & Industrie 4.0

Herausforderungen – Lösungen – Perspektiven



© 2019 wbv Publikation  
ein Geschäftsbereich der  
wbv Media GmbH & Co. KG, Bielefeld

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

Umschlagmotiv: gmast3r/iStockphoto

Bestellnummer: 6004633  
ISBN (Print): 978-3-7639-5934-1  
ISBN (E-Book): 978-3-7639-5935-8  
Printed in Germany

Das Werk einschließlich seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Insbesondere darf kein Teil dieses Werkes ohne vorherige schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (unter Verwendung elektronischer Systeme oder als Ausdruck, Fotokopie oder unter Nutzung eines anderen Vervielfältigungsverfahrens) über den persönlichen Gebrauch hinaus verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

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 verfügbar 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

Editorial: Hochschullehre & Industrie 4.0: Herausforderungen – Lösungen – Perspektiven .....	5
<b>Teil I: Kreativität und Entrepreneurship</b> .....	11
<i>Tobias Haertel, Claudius Terkowsky, Silke Frye</i> Kreativität in der Industrie 4.0: Drei zentrale Thesen für die Ingenieurdidaktik	13
<i>David H. Cropley, Arthur J. Cropley</i> Industrie 4.0 und Kreativität im Ingenieurwesen: Folgen für die Hochschullehre	27
<i>Andreas Liening, Jan-Martin Geiger, Tim Haarhaus, Ronald Kriedel</i> Entrepreneurship Education und Industrie 4.0 aus hochschuldidaktischer Perspektive .....	41
<b>Teil II: Gender</b> .....	57
<i>Susanne Ihssen</i> Analoge Erkenntnisse, Erfolge und Widerstände für genderspezifische Chan- cengleichheit in MINT: Auf der Schwelle zur Digitalisierung und Industrie 4.0	59
<i>Christina Krins</i> Frauen in der digitalen Arbeitswelt: Geschlechtsspezifische Effekte und emanzipatorische Chancen des digitalen Wandels .....	73
<b>Teil III: Remote Labs und Lernfabriken</b> .....	87
<i>Claudius Terkowsky, Dominik May, Silke Frye</i> Labordidaktik: Kompetenzen für die Arbeitswelt 4.0 .....	89
<i>Reinhard Langmann</i> Industrial Internet of Things und Remote Labs in der Lehre für Automatisie- rungsingenieurinnen und -ingenieure .....	105
<i>Joshua Grodotzki, A. Erman Tekkaya</i> Eine Lehre für die Zukunft? Wie Technologie von heute das Lernen von morgen verändert .....	127

---

<i>Simone Kauffeld, Nine Reining</i> Agiles Arbeiten in der Industrie 4.0: Herausforderungen für die Hochschul- lehre der Zukunft am Beispiel einer Lehr-Lernfabrik . . . . .	137
<i>Nicolina Praß, Marco Saggiomo, Gesine Köppe</i> Digital Capability Center: Industrie 4.0 in der Lernfabrik . . . . .	153
<i>Daniel Pittich, Ralf Tenberg, Karsten Lensing</i> Technikdidaktische Herausforderungen im Übergang zu Industrie 4.0 . . . . .	167
<i>Daniela Schmitz, Daniel Al-Kabbani</i> Flipped Classroom, Microlearning und Mobile Learning: Was Lehrende jetzt wissen müssen . . . . .	183
Autorinnen und Autoren . . . . .	199

# Editorial: Hochschullehre & Industrie 4.0: Herausforderungen – Lösungen – Perspektiven

Die Industrie 4.0 verändert alles, sie hat Auswirkungen auf unser Arbeitsleben, unser Privatleben und alle Bereiche der Gesellschaft – und das mit einer sehr hohen Dynamik, die wenig Zeit zur Vorbereitung auf diese Veränderungen gibt. Umso wichtiger ist es, dass alle Bildungsträger jetzt dazu beitragen, die Gesellschaft mit gezielten Bildungsangeboten auf die Industrie 4.0 vorzubereiten.

Auch Hochschulen stehen in diesem Zusammenhang vor massiven Umbrüchen: Nicht nur müssen sie neue Inhalte der Industrie 4.0 in ihre curricularen Strukturen integrieren (es gibt kaum eine Disziplin, die nicht davon betroffen ist), um auf sich verändernde Kompetenzanforderungen zu reagieren. Auch die Art, wie Lernende lernen, wird sich nachhaltig verändern. In der digitalen Hochschule wird es nicht mehr darum gehen, Vorlesungen als Video aufzuzeichnen oder Skripte im Moodle-System abzulegen, auf dass die Studierenden regen Gebrauch davon machen mögen. Virtual Reality und Augmented Reality werden ganz andere Möglichkeiten eröffnen: Simulationen, cyber-physikalische Systeme, Remote-Labore und internationale Studierendengruppen, die über Webkonferenzen zusammenarbeiten, werden bald in der Lehre alltäglich sein. Darüber hinaus stehen Durchbrüche bei der künstlichen Intelligenz vor der Tür. Schon heute unterstützt sie Studierende bei der Organisation ihres Studiums. Künstliche Intelligenz wird Lernende bei Lernprozessen zur Seite stehen und in letzter Konsequenz die Lehrenden ersetzen. Der erste humanoide Roboter durfte im Wintersemester 2017/18 an der Universität Marburg eine Vorlesung übernehmen.

Hochschulen müssen zeitnah auf diese Entwicklungen reagieren. Lehrende sollten in der Lage sein, auf die neuen Herausforderungen einzugehen, mit möglichst positiven Lernerfahrungen für die Studierenden, die Lust machen, sich auf die Techniken der Industrie 4.0 einzulassen und sie zu gestalten – und damit die eigene und die gesellschaftliche Zukunft zu formen.

Lust an der Industrie 4.0 in der Lehre fördern – das ist ein zentrales Anliegen dieses Sammelbandes. Alle Beiträge greifen die neuen Herausforderungen auf und bieten Lösungen an, mit denen Lehrende ihre Studierenden auf die Industrie 4.0 vorbereiten können.

Den Auftakt machen drei Beiträge aus dem Bereich **Kreativität und Entrepreneurship**: In den Beiträgen wird deutlich gemacht, wie sehr diese Kompetenzen als Schlüsselkompetenz in der Industrie 4.0 benötigt werden.

*Tobias Haertel, Claudius Terkowsky und Silke Frye* formulieren in ihrem Text „Kreativität in der Industrie 4.0: Drei zentrale Thesen für die Ingenieurdidaktik“ drei zentrale Aspekte zur Förderung der Kreativität von Studierenden. Ingenieurinnen

und Ingenieure werden maßgeblich dazu beitragen, die Techniken der Industrie 4.0 zu gestalten und nicht antizipierte Probleme der soziotechnischen Systeme zu lösen. Kreativität kommt dabei eine Schlüsselrolle zu. Die Autorin und die Autoren zeigen drei konkrete Maßnahmen auf, mit denen Lehrende vor allem (aber nicht ausschließlich) in den Ingenieurwissenschaften die Kreativität ihrer Studierenden fördern können. Behandelt werden in diesem Zusammenhang Lernziele zur Kreativität und ihre Einbindung in Veranstaltungen (1), neue Ansätze der Maker Education zur Habitualisierung der Studierenden als Gestaltende von Technik (2) und Methoden zur (Selbst-)Motivierung von Lernenden (3).

Dass Kreativität in Zeiten der Industrie 4.0 eine für Ingenieurinnen und Ingenieure unverzichtbare Kompetenz ist, arbeiten auch *David und Arthur Cropley* in ihrem Beitrag „Industrie 4.0 und Kreativität im Ingenieurwesen: Folgen für die Hochschullehre“ heraus. Deswegen schlagen sie vor, die bestehenden Ansätze der MINT-Didaktik gezielt um Kreativität zu ergänzen und eine MINKT-Didaktik in den Fokus zu rücken. Die MINKT-Didaktik integriert kreative kognitive Faktoren (z. B. Denkstrategien), persönliche Faktoren (Motivation, Selbstbild) und soziale Faktoren (Einstellungen, Werte), die von den Autoren anschaulich beschrieben werden. David und Arthur Cropley zeigen, wie diese Aspekte von Lehrenden mit geeigneten Aufgaben kreativitätsförderlich (oder mit nicht geeigneten Aufgaben kreativitätshemmend) angesprochen und entsprechende kreative Leistungen von Studierenden bewertet werden können.

Eine weitere wichtige Kompetenz ist für *Andreas Liening, Jan-Martin Geiger, Tim Haarhaus und Ronald Kriedel* das unternehmerische Denken von Studierenden. In ihrer Arbeit „Entrepreneurship Education und Industrie 4.0 aus hochschuldidaktischer Perspektive“ belegen die Autoren die gesellschaftliche Bedeutung von Startups in Zeiten der Industrie 4.0. Um den Kompetenzbedarf der Studierenden in der Hochschullehre zunächst inhaltlich aufzugreifen, skizzieren sie einen Ansatz der Entrepreneurship Education mit seinen spezifischen Herausforderungen. Mit sehr konkreten Beispielen zu Methoden und Formaten einer Entrepreneurship Education geben sie Lehrenden Hinweise, wie sie das unternehmerische Denken ihrer Studierenden fördern können.

Ein in der öffentlichen Debatte oft geführtes Argument lautet, zur Abmilderung des Fachkräftemangels in technischen Berufen müsste der Anteil der Frauen in technischen Studiengängen und Ausbildungen stark erhöht werden. Tatsächlich sind Frauen in vielen klassisch technischen Berufen stark unterrepräsentiert, und der Fachkräftemangel ist ein reales und bedeutendes Problem. Es gibt jedoch noch ein viel stärkeres Argument, sich Gedanken zur Förderung von Frauen in technischen Studiengängen zu machen: Die Zukunft in Zeiten der Industrie 4.0 ist technisch, und es geht um nichts weniger als die gesellschaftliche Teilhabe. Nur diejenigen, die über die Kompetenzen verfügen, die Techniken der Industrie 4.0 in ihrem Beruf zu beherrschen, werden zukunftssichere Arbeitsplätze bekommen. Deswegen ist der geringe Anteil von Studentinnen z. B. im Maschinenbau nicht nur aus volkswirt-

schaftlicher Sicht ein Problem, sondern aus gesamtgesellschaftlicher Sicht nicht akzeptabel. Einen digital divide darf es in einer Gesellschaft, die ubiquitär technisch geprägt sein wird, nicht mehr geben. Aus diesem Grund beschäftigen sich zwei Beiträge explizit mit der Rolle von **Gender** bzw. Frauen in der Industrie 4.0.

Den Auftakt macht hier *Susanne Ihlen*, die in ihrem Beitrag „Analoge Erkenntnisse, Erfolge und Widerstände für genderspezifische Chancengleichheit in MINT – auf der Schwelle zur Digitalisierung und Industrie 4.0“ zunächst zielgenau formuliert, was in den vorhergehenden Beiträgen ebenfalls konstatiert wird: Außerfachliche Kompetenzen werden in der Industrie 4.0 zu neuen fachlichen Kompetenzen, in ihrer Betrachtung bei der Arbeit außerhalb homosozialer Gruppen und in diversen Arbeitszusammenhängen. Vor diesem Hintergrund beschreibt Susanne Ihlen die Anforderungen an Lehrende auf den Ebenen einer gendersensiblen Fach-, Methoden-, Sozial- und Selbstkompetenz und veranschaulicht nachdrücklich, dass in der digitalen Welt noch viel getan werden muss, um die Chancenungleichheiten aus der analogen Welt nicht zu übernehmen.

Dass die Digitalisierung eine große Chance für Frauen ist, die es nun aber auch zu nutzen gilt, ist ebenfalls der Grundtenor im Beitrag von *Christina Krins*, „Frauen in der digitalen Arbeitswelt – Geschlechtsspezifische Effekte und emanzipatorische Chancen des digitalen Wandels“. Sie analysiert die Chancen und Risiken der Digitalisierung auf den Ebenen geschlechtsspezifischer Beschäftigungseffekte, Arbeitsformen und relevanter Kompetenzen in der Industrie 4.0. So bergen z. B. die neuen digitalen Techniken Chancen für flexiblere Arbeitszeiten und die Vereinbarkeit von Beruf und Familie und damit gleichzeitig aber auch das Risiko der Entgrenzung des Privaten oder der Ausgrenzung bei vor Ort getroffenen Entscheidungen. Für alle drei Perspektiven stellt Christina Krins konkrete Ansätze zu einer geschlechterorientierten Gestaltung des digitalen Wandels auf und schließt, wie Susanne Ihlen und ganz im Sinne dieses Sammelbandes, mit der Ermutigung, die aktuellen Entwicklungen zur Förderung der Chancengleichheit zu nutzen.

Kreativität, Entrepreneurship, genderorientierte Gestaltung des digitalen Wandels – damit werden zentrale Herausforderungen der Industrie 4.0 für die Hochschullehre aufgegriffen. Die schöne Formulierung von Susanne Ihlen fasst dies gut zusammen: Außerfachliche Kompetenzen werden neue fachliche Kompetenzen. Über diese Veränderung der Lerninhalte hinaus führt die vierte industrielle Revolution auch zu weiteren notwendigen Neuerungen in der Lehre – insbesondere auf der Ebene, wie in Zukunft gelehrt und gelernt wird.

Die weiteren Beiträge im Sammelband befassen sich daher insbesondere mit innovativen Lehrformaten, den **Remote Labs und Lernfabriken**.

Den Anfang machen hier *Claudius Terkowsky, Dominik May und Silke Frye* mit ihrer Arbeit „Labordidaktik: Kompetenzen für die Arbeitswelt 4.0“. Die Autorin und die Autoren verfolgen mit ihrem Beitrag das Ziel, den hochschulischen Lehr-Lernort Labor auf seine Passung zur Ausbildung relevanter Kompetenzen für die Industrie 4.0 hin zu überprüfen und mögliche Potenziale für die künftige Entwicklung von



Kompetenzen für die Arbeitswelt 4.0 zu identifizieren. Zwar ist ein Labor an sich kein innovatives Lehrformat – auf die über 150-jährige Geschichte des Labors weisen die Autorin und Autoren zu Recht hin. Jedoch ist ein mittels Industrie-4.0-Technologie cyber-physikalisiertes Labor, das durch eine innovative Labordidaktik gezielt die Kompetenzen der Arbeitswelt in der Industrie 4.0 in den Blick nimmt, gegenüber den auf induktiv-instruktiven Ansätzen verharrenden Grundlagenlaboren eine dringlich notwendige Neuerung für die Lehre. Aus diesem Grund arbeiten Claudius Terkowsky, Dominik May und Silke Frye zunächst die für die Industrie 4.0 relevanten fachspezifischen und fachübergreifenden technischen, sozialen und Selbstkompetenzen heraus und zeigen dann entlang eines konkreten Fallbeispiels eines cyber-physikalisierten teleoperativen Labors, wie diese Kompetenzen in die Laborlehre integriert werden können, oder, wie sie es zutreffend beschreiben, das Digitale in das Labor gebracht werden kann.

In dieselbe Richtung geht auch *Reinhard Langmann* mit seinem Beitrag „Industrial Internet of Things und Remote Labs in der Lehre für Automatisierungsingenieurinnen und -ingenieure“, allerdings nimmt er stärker die technischen Aspekte in den Fokus. Anhand des FlexIOT-Portals zeigt er, wie leicht sich für die Industrie 4.0 kontextualisierte Remote Labs für die Lehre erstellen lassen und veranschaulicht dies mit mehreren Beispielen.

Ebenfalls mit Laboren befassen sich *Joshua Grodotzki und A. Erman Tekkaya* in ihrem visionären Beitrag „Eine Lehre für die Zukunft? Wie Technologie von heute das Lernen von morgen verändert.“ Mit Anna und Martin, zwei hypothetischen Studierenden der Zukunft, zeigen sie am Beispiel der Umformtechnik, wie Lernen in der Industrie 4.0 bald aussehen wird. Im Zentrum der Vision steht ein Lab Space, der alle Geräte einer Fakultät vereint und Lernenden physisch und vor allem virtualisiert zur Verfügung steht. Virtuelle Brillen, haptische Tools und Laufbänder gewähren einen Immersionsgrad, der die Grenzen zwischen realem und virtuellem Labor verwischt. Vorlesungen finden ebenfalls im virtuellen Hörsaal statt, für Arbeitsgruppen gibt es virtuelle Lernräume. Das gibt Anna und Martin viel Zeit, sich mit den Maschinen auseinanderzusetzen, zu experimentieren, Erfahrungen zu sammeln und sich mit ihren Kommilitoninnen und Kommilitonen auszutauschen. Die Vision einer Lehre, die Studierende perfekt auf die Anforderungen der Industrie 4.0 vorbereitet, und in deren Kern mit Anna eine kreative Maschinenbauingenieurin steht, die gerade ihr eigenes Unternehmen gründet und damit wieder an Susanne Ihlen erinnert: Außerfachliche Kompetenzen werden zu neuen fachlichen Kompetenzen.

Als spezielle Form von Laboren, die ebenfalls innovativ die Kompetenzen der Industrie 4.0 aufgreifen können, zählen Lernfabriken. Zunächst befassen sich damit *Simone Kauffeld und Nine Reining* in ihrer Arbeit „Agiles Arbeiten in der Industrie 4.0: Herausforderungen für die Hochschullehre der Zukunft am Beispiel einer Lehr-Lernfabrik“. Sie schauen sich die neuen Anforderungen in der Arbeitspraxis an und identifizieren vor allem Agilität und Flexibilität als wichtige Merkmale. Am Beispiel

der Lehr-Lernfabrik in Braunschweig zeigen sie auf, wie Agilität als Kompetenz von den Studierenden erworben werden kann.

*Nicolina Praß, Marco Saggiomo und Gesine Köppe* stellen unter der Überschrift „Digital Capability Center: Industrie 4.0 in der Lernfabrik“ mit dem DCC (Digital Capability Center) eine weitere Lernfabrik vor. Das DCC bildet eine realitätsgetreue Modellfabrik aus dem Bereich der Textilproduktion ab. Lernende können dabei zunächst die konventionelle Arbeitswelt kennenlernen. Mit wenigen Handgriffen kann das DCC anschließend jedoch in eine komplett mit allen verfügbaren Techniken der Industrie 4.0 ausgestatteten Produktionsanlage umgewandelt werden. Große Datenmengen aus vielzähligen Sensoren, Automatisierungstechniken, digitale Assistenzsysteme und Augmented Reality Tools zeigen eine Fabrik, die sich grundlegend von der bisherigen Produktion abgrenzt und auch ganz andere Kompetenzen erfordert. Industrie 4.0 wird im DCC erlebbar. Mit diesem spannenden Ansatz richtet sich das DCC an Unternehmerinnen und Unternehmer, Technikerinnen und Techniker, aber auch Studierende des entsprechenden Studiengangs der RWTH Aachen, die mit ihrer Arbeit im DCC optimal auf die Industrie 4.0 vorbereitet werden.

Die Arbeitsanforderungen in den Unternehmen, aus denen die notwendigen Kompetenzen abgeleitet werden – auch *Daniel Pittich, Ralf Tenberg und Karsten Lensing* folgen dieser Vorgehensweise in ihrem Beitrag „Technikdidaktische Herausforderungen im Übergang zu Industrie 4.0“. Auf Grundlage der umfassenden Antizipation neuer Kompetenzbedarfe kommen sie zu dem Ergebnis, dass Wissensarbeit und Prozessorientierung in Kombination mit sozialen Kompetenzen an Bedeutung gewinnen und einen Ansatz des handlungsorientierten Unterrichts für die Lehramtsausbildung in technischen Fächern notwendig machen.

Konkrete Hinweise, wie Lehrende ihre Veranstaltungen im Sinne der Industrie 4.0 umgestalten können, liefern *Daniela Schmitz und Daniel Al-Kabbani* in ihrem Beitrag „Flipped Classroom, Microlearning und Mobile Learning: Was Lehrende jetzt wissen müssen“. Mit einer Art FAQ-Liste stellen sie zunächst das Konzept des Flipped Classrooms vor und legen dabei ein besonderes Augenmerk auf die Gelingensbedingungen. Darüber hinaus werden Just in Time Teaching, Microlearning und Mobile Learning anschaulich beschrieben. Eine Bewertungsmatrix unterstützt die Lehrenden bei der Auswahl des für sie am besten geeigneten digitalen Lehr-/Lernszenarios. Dieser Beitrag beendet unseren Sammelband.

Wir möchten uns bei allen Autorinnen und Autoren für ihre Arbeit ganz herzlich bedanken. Die gemeinsamen Diskussionen mit allen Beteiligten waren stets sehr inspirierend. Die Arbeit an dem Sammelband ist aber auch verbunden mit einem sehr schmerzlichen Ereignis: Mit großer Bestürzung mussten wir zur Kenntnis nehmen, dass unsere sehr geschätzte Autorin Susanne Ihsen am 20. August 2018 verstorben ist. Das macht uns fassungslos. Susanne Ihsen war eine großartige Wissenschaftlerin und Pionierin, sie hat die so wichtige Geschlechterforschung in den Ingenieurwissenschaften und die konkrete Förderung von Frauen in MINT-Berufen entscheidend vorangetrieben. Unser Mitgefühl gilt ihren Angehörigen und Kolleginnen und

Kollegen. Wir möchten uns ganz herzlich bei ihrem Lebensgefährten Klaus Siebertz bedanken, der es uns in einer Zeit, in der es für ihn ganz andere Herausforderungen gegeben hat, trotzdem ermöglicht hat, den Beitrag von Susanne Ihsen, der für diesen Sammelband so wichtig ist, zu veröffentlichen.

Dortmund, März 2019

Tobias Haertel  
Claudius Terkowsky  
Sigrid Dany  
Sabrina Heix

# **Teil I: Kreativität und Entrepreneurship**



# Kreativität in der Industrie 4.0: Drei zentrale Thesen für die Ingenieurdidaktik

TOBIAS HAERTEL, CLAUDIUS TERKOWSKY, SILKE FRYE

## Abstract

Kreativität gilt als Schlüsselkompetenz in der Arbeitswelt der Industrie 4.0, in der es sehr viel stärker darum gehen wird, Probleme zu lösen und neue soziotechnische Systeme zu gestalten – nicht nur, aber insbesondere auch in den Ingenieurwissenschaften. In diesem Beitrag werden drei zentrale Thesen aufgestellt, die Voraussetzungen für eine effektive Förderung der Kreativität in der Hochschullehre bilden. Dabei geht es um die folgenden Punkte: (1) Die Einbindung von Kreativität ins Design von Lehrveranstaltungen im Sinne des Constructive Alignments, (2) die möglichst frühe Nutzung von Lehr-/Lernszenarien mit den Merkmalen der Maker Education und (3) die gemeinsame Wahrnehmung der Verantwortung für die (Selbst-)Motivation in Lernprozessen von Lernenden und Lehrenden.

*Schlüsselwörter:* Kreativität, Lernziel Kreativität, Maker Education, Motivation von Studierenden

## 1 Einleitung

Der technische Fortschritt durch Automatisierung verändert schon seit Jahrzehnten die Art, wie wir leben und arbeiten (u. a. Rump & Eilers 2017, S. 42). Spätestens mit der dritten industriellen Revolution verschmelzen IT und Automatisierungstechniken, stets mit dem Ziel der effizienteren, effektiveren und damit optimalen Produktion von Gütern oder der Entwicklung von Dienstleistungen (vgl. Bauernhansl 2017). Der Begriff Industrie 4.0 markiert dabei einen Wendepunkt, ab dem neue technische Fortschritte, wie die Möglichkeit umfassendster Vernetzung von Sensoren und Akteuren in immer kleineren Dimensionen bis zur Nano-Ebene, die Digitalisierung und Automatisierung von jedweden Prozessen extrem beschleunigen (vgl. Roth 2016, S. 5). Die Geschwindigkeit dieser Entwicklung steigt nicht länger linear, sondern seit dem Beginn der Industrie 4.0 exponentiell (vgl. Herlitschka & Valtiner 2017, S. 341). So führen die aktuellen technischen Fortschritte dazu, dass nicht mehr nur einfache kognitive oder physische Arbeiten automatisiert werden, sondern in zunehmendem Umfang auch komplexere Vorgänge. Aktuell befasst sich eine Studie des Stifterverbandes mit sog. „Future Skills“ als „jene[n] nach wie vor nur von Menschen zu erbringenden] Fähigkeiten, die für die Gestaltung von transformativen Technologien notwendig sind“ (Kirchherr, Klier et al. 2018, S. 4).

Galten Expertinnen und Experten, Facharbeiterinnen und Facharbeiter bisher als relativ sicher vor den Umwälzungen der Automatisierung, so werden auch sie spätestens mit den anstehenden Errungenschaften der künstlichen Intelligenz herausgefordert. Es gibt kaum eine Branche und damit kaum eine Arbeitswelt, die nicht in den nächsten Jahren von der Industrie 4.0 grundlegend verändert wird (vgl. Rump & Eilers 2017, S. 20 ff.). Einen Vorsprung werden die Menschen in dieser Arbeitswelt der Zukunft vor allem dort haben und behalten, wo sie sich mit der Gestaltung dieser soziotechnischen Systeme und der Lösung nicht antizipierter sozialer oder technischer Probleme befassen. Gestaltung und Problemlösung sind zentrale Herausforderungen der Zukunft, nicht nur, aber vor allem für Ingenieurinnen und Ingenieure bzw. die Beschäftigten in den MINT-Berufen generell (vgl. Morococz, Levy et al. 2016). Beides erfordert in hohem Maße Kreativität. Das Bildungssystem, insbesondere die Hochschulbildung, ist jedoch nicht auf diese neuen Anforderungen und die Förderung von Kreativität ausgerichtet (vgl. Baumann & Seidl 2018).

Ingenieurstudiengänge sind zumeist immer noch gekennzeichnet durch die Vermittlung von theoretischem Fachwissen in frontalen Lehrformaten und eine Anpassung der Studierenden an die konkreten Erwartungen der Lehrenden und die Spielregeln der Disziplin (vgl. Wagner 2010, S. 16 ff.). Der hohe Druck nach sehr guten oder mindestens guten Noten auf die Studierenden katalysiert diese Anpassung an die Erfüllung von Erwartungen noch einmal. Kreativität, mit ihren Risiken und Unabwägbarkeiten vor allem mit Blick auf die spätere Benotung, wird somit zunächst systematisch verhindert (Haertel & Terkowsky 2016b; Terkowsky, Haertel et al. 2016; Haertel & Terkowsky 2016c; Haertel, Terkowsky & Grams 2013; Haertel, Terkowsky & Ossenberg 2015; Terkowsky & Haertel 2012). Das ändert sich zwar in der Regel mit dem Promotionsstudium, in dem Kreativität nicht nur zugelassen, sondern explizit notwendig ist, um das für die Dissertation neue Wissen zu generieren. Dieser Zeitpunkt ist aber offensichtlich zu spät:

- zu spät, um die sozialisierte Anpassung zu überwinden und die Betreuenden der Dissertationen von neuen Ideen zu überzeugen;
- zu spät, um von bestehenden Lehrstrukturen gelangweilte und frustrierte Studienabbrecherinnen und -abbrecher nicht zu verlieren.

Die Erfolgsgeschichte des Silicon Valley besteht vor allem aus Ikonen der zweiten Kategorie (Krücken 2013, S. 97).

Vor diesem Hintergrund werden an dieser Stelle drei zentrale Thesen aufgestellt (und im Folgenden erläutert), die Voraussetzungen für die effektive Förderung von Kreativität in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen bilden:

- (1) Kreativität muss als Lernziel, Lernmethode und in die Bewertung von Lehrveranstaltungen im Sinne des Constructive Alignments eingebunden werden.
- (2) Zur Habitualisierung von Ingenieurinnen und Ingenieuren als Gestaltende muss die praktische Anwendung des Wissens von Beginn an integraler Bestandteil des Studiums sein (z. B. durch die Möglichkeiten der Maker Education).
- (3) Die Förderung der Motivation von Studierenden ist gemeinsame Aufgabe von Lernenden und Lehrenden.

## 2 Kreativitätsförderung im Constructive Alignment

### 2.1 Constructive Alignment als Verfahren für didaktische Analyse und Gestaltung

Zu den Kernaussagen des Constructive Alignments zählt, dass Studierende sich stets an den Anforderungen der Bewertung orientieren (Biggs 1996, S. 356 f.). Ein in den Ingenieurwissenschaften häufiges Beispiel für eine nicht ausreichend abgestimmte Lehrveranstaltung sind Lernziele, die auf eine höhere kognitive Kompetenzstufe als Anwendung oder Analyse abzielen, die jedoch in einer Vorlesung mit Übung vermittelt werden, wobei in der Vorlesung die Fachinhalte *theoretisch* behandelt und in der Übung (z. B. im Labor) deren *praktische* Anwendung eingeübt und so erlernt werden sollen. Wenn dann die Bewertung in Form einer Klausur vorgenommen wird, die sich lediglich auf die Vorlesung, nicht jedoch auf die Anwendung in der Übung fokussiert, konzentrieren sich, so die Annahme des Constructive Alignments, die Studierenden auf die Vorlesung mit ihrem entsprechenden Skript, das sie für die Klausur auswendig lernen. Das erreichte Kompetenzniveau verharrt dabei auf den Stufen Wissen oder bestenfalls Verstehen. Eine optimal abgestimmte Veranstaltung würde jedoch die Lernprozesse der Übung ebenfalls entscheidend in die Prüfung einbinden. Erst wenn ein Bestehen dieser Prüfung ohne die Prozesse in der Übung mit der praktischen Anwendung nicht möglich ist, befassen sich die Studierenden mit den entsprechenden Lernzielen und erreichen das von den Lehrenden angestrebte Kompetenzniveau (Biggs 1996, S. 353 f.). Wenn Kreativität als Kompetenz erworben werden soll, setzt das in dieser Logik voraus, dass

- Kreativität generell erlernbar ist,
- sie auch als Lernziel bzw. beabsichtigtes Lernergebnis formuliert und den Studierenden explizit kommuniziert wird,
- geeignete Lehrmethoden zur Förderung der Kreativität eingesetzt werden und
- Kreativität Bestandteil der Bewertung wird.

Die ersten beiden Punkte werden mit dem Sechs-Facetten-Modell zur Förderung von Kreativität in der Hochschullehre aufgegriffen (Terkowsky & Haertel 2014, 2015; Haertel & Jahnke 2009, 2011; Haertel & Terkowsky 2012).

### 2.2 Das Sechs-Facetten-Modell zur Förderung von Kreativität in der Hochschullehre

Das Sechs-Facetten-Modell zur Förderung von Kreativität in der Hochschullehre wurde im Rahmen des BMBF-Projekts „DaVinci: Gestaltung kreativitätsförderlicher Lehr-/Lernkulturen in der Hochschule“ (2008–2011) entwickelt (Jahnke & Haertel 2010; Jahnke, Haertel & Wildt 2017) und im Rahmen von ELLI/ELLI 2 („Exzellentes Lehren und Lernen in den Ingenieurwissenschaften“, BMBF-Projekte im Rahmen des Qualitätspakts Lehre, 2011–2020) disziplinär zugeschnitten auf die Ingenieurwissenschaften weiterentwickelt (Haertel & Terkowsky 2016a, 2013; Terkowsky & Haertel 2013) und in weitergehende Lehr-/Lernszenarien (z. B. zum Thema Entrepreneur-



ship in den Ingenieurwissenschaften) erfolgreich übertragen (Terkowsky, Haertel et al. 2018a, 2018b).

Die im Modell vorgenommene Operationalisierung von Kreativität kann zur Formulierung von Lernzielen bzw. beabsichtigten Lernergebnissen genutzt werden:

1. Reflektierendes Lernen:

Nach Besuch der Veranstaltung sind die Studierenden in der Lage, für sie neues und bestehendes Wissen kritisch zu hinterfragen. Sie können die Vor- und Nachteile neuer Zusammenhänge und Ansätze diskutieren. Sie sind in der Lage, falsche Informationen zu erkennen und zu benennen.

2. Selbstständiges Lernen:

Nach Besuch der Veranstaltung sind die Studierenden in der Lage, Lernaufgaben eigenständig zu bearbeiten. Sie sind in der Lage, selbstständig notwendige Informationen zu suchen und zu beschaffen. Sie sind der Lage, sich bei Problemen geeignete Hilfe zu organisieren. Sie sind in der Lage, eigene Entscheidungen im Lernprozess zu treffen und zu verteidigen.

3. Neugier und Motivation:

Nach Besuch der Veranstaltung sind Studierende in der Lage, ihre übergeordneten Interessen am Fach mit dem Thema der Veranstaltung zu verbinden. Sie sind in der Lage, ihre eigenen Interessen an der Veranstaltung zu reflektieren und Widersprüche zu benennen. Sie sind in der Lage, geeignete Methoden zur Überwindung eigener Motivationsdefizite auszuwählen und anzuwenden.

4. Kreierendes Lernen:

Nach Besuch der Veranstaltung sind Studierende in der Lage, Konzepte zu entwickeln. Sie sind in der Lage, Prototypen herzustellen. Sie sind in der Lage, ihre Produkte zu präsentieren und zu erläutern.

5. Vielperspektivisches Lernen:

Nach Besuch der Veranstaltung sind die Studierenden in der Lage, ein fachliches Problem oder eine fachliche Fragestellung aus unterschiedlichen Perspektiven zu betrachten. Sie sind in der Lage, Verknüpfungen zu anderen Disziplinen zu ziehen und diese fruchtbar für eigene Arbeiten zu nutzen. Sie sind in der Lage, ihr fachliches Wissen auf Fragestellungen und Probleme anderer Disziplinen zu übertragen.

6. Entwicklung origineller Ideen:

Nach Besuch der Veranstaltung sind Studierende in der Lage, Kreativitäts- und Denktechniken zur Generierung von Ideen anzuwenden. Sie sind in der Lage, neue Ideen zu kommunizieren und zu bewerten. Sie sind in der Lage, die mit der Überführung von Ideen zu Innovationen verbundenen Unsicherheiten zu beherrschen.

Lehrende können als ersten wichtigen Schritt einzelne oder alle Lernziele in ihre Modul- und Veranstaltungsziele integrieren und ihren Studierenden kommunizieren. Entscheidend ist darauf aufbauend die Implementierung entsprechender Lehrmethoden in die entsprechenden Veranstaltungen. Die Lernenden müssen die Mög-

lichkeit bekommen, mit der Anwendung der Lehrmethode die Lernziele erreichen zu können. Kontextspezifische Methoden lassen sich am besten in ingenieurdidaktischen Weiterbildungsveranstaltungen entwickeln (z. B. Kreativität im Labor [Terkowsky & Haertel 2013; Terkowsky, Haertel et al. 2013; Terkowsky et al. 2016], Kreativität in der Hochschullehre, [Haertel & Terkowsky 2016b; Haertel, Terkowsky & Ossenbegg 2016; Haertel, Terkowsky & Wilkesmann 2017; Haertel, Frye et al. 2017]). Allgemeinere Methoden lassen sich zahlreich in Arbeitsblättern oder geeigneter Literatur finden (z. B. Baumgartner 2002; Krengel 2016; Metzsig & Schuster 2016; Schlag 2013). Damit die Studierenden diese Lehrmethoden tatsächlich bearbeiten und ihre Leistung neben den anderen Lernzielen auch auf die Erreichung der Lernziele zur Kreativität ausrichten, müssen diese im Sinne des Constructive Alignments auch in der Prüfung entsprechend berücksichtigt werden. In mündlichen Prüfungsformaten oder Klausuren mit offenen Fragen lässt sich dies relativ leicht umsetzen, schwieriger, wenn auch nicht unmöglich, wird es bei Multiple-Choice-Klausuren. Auch hier können ingenieurdidaktische oder allgemeine hochschuldidaktische Workshops zur kompetenzorientierten Prüfung dabei helfen, kontextbezogene Lösungen zu entwickeln.

### **3 Maker Education zur Habitualisierung von Technikgestaltenden**

Wenn Technikgestaltung und Problemlösung zu den zentralen Aufgaben angehender Ingenieurinnen und Ingenieure in der späteren Berufstätigkeit zählen, ist es zu spät, diese erst im Master- oder Promotionsstudium curricular zu verankern. Eine besondere Chance bieten daher die Einbindung eines Makerspace bereits ab dem ersten Hochschulsesemester und die Realisierung darauf aufbauender innovativer Lehrveranstaltungen.

#### **3.1 Makerspaces als Lernorte der Technikgestaltung**

Makerspaces sind in den USA spätestens seit der Unterstützung durch Präsident Obama mit der ersten Maker Faire im Weißen Haus 2014 breit akzeptiert (vgl. Longo, Yoder et al. 2016, S. 3) und inzwischen an nahezu jeder Hochschule in den USA implementiert. Longo et al. (2016) konnten die folgenden positiven Effekte hochschulischer Makerspaces in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen nachweisen:

- Makerspaces verbessern den Zugang zu Wissen und fördern die Nachhaltigkeit dort erworbenen Wissens.
- Makerspaces führen in geringerem Umfang zu besseren Leistungen und Noten der Lernenden.
- Makerspaces unterstützen signifikant die Entfaltung von Kreativität, Selbstbewusstsein und unternehmerischem Denken von Studierenden (vgl. Longo et al. 2016, S. 13).

Galaleldin, Bouchard et al. (2016) kommen in einer Untersuchung ihres Makerspace an der University Ottawa zu dem Ergebnis:

„[...] it enabled students to investigate and solve an engineering problem, and to gain more confidence in their engineering knowledge through hands-on experience, prototyping, and continuous iterations of their designs. Furthermore, the Makerspace helped students to be more confident in their design skills, and helped them to finalize their design projects by demonstrating limitations/restrictions of manufacturing methods, prototyping, and providing guidance.“ (Galaleldin et al. 2016, S. 5)

In einer Untersuchung, die an Universitäten in den USA durchgeführt wurde, konnten Morococz et al. (2016) eine Korrelation zwischen der Häufigkeit, in der Studierende im ersten Semester einen Makerspace aufsuchen, und ihrer positiven Selbsteinschätzung zur Bearbeitung von Produktentwicklungs- und Problemlösungsaufgaben nachweisen (Morococz et al. 2016, S. 11). Die positive Selbsteinschätzung hat großen Einfluss einerseits auf die tatsächliche Bereitschaft der Studierenden, praktische Problemlösungs- und Produktentwicklungsaufgaben zu bewältigen, und andererseits auf die Motivation der Studierenden, das begonnene Studium auch zu beenden (Adelman 1998; Brainard & Carlin 1997; Marra, Rodgers et al. 2013). Insbesondere für die untypischen Studierenden in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen, also allen, die nicht zu den „typical-students (männlich, deutsche Hochschulreife und oftmals vorhergehende Berufsausbildung)“ (Arnold, Hiller & Weiss 2010, S. 15) gehören, hat die frühe Einbindung praktischer und kollaborativer Arbeit in einem Makerspace im Studium enorme Vorteile: Sie fühlen sich schneller integriert und dazugehörig zur Gruppe angehender Ingenieurinnen und Ingenieure (vgl. Morococz et al. 2016, S. 5; Blickenstaff 2005; May & Chubin 2003).

Makerspaces sind ein Weg, diese Ziele zu erreichen. Ein weiteres ebenfalls neu nach Deutschland gekommenes innovatives Format zur Einbindung der Maker Education in die hochschulische Lehre in diesem Sinne ist die „Ingenieure ohne Grenzen Challenge“ (IoGC).

### 3.2 „Ingenieure ohne Grenzen Challenge“ als Lehrveranstaltung

Der Verein Ingenieure ohne Grenzen e. V. stellt bei der IoGC in Zusammenarbeit mit dem BMBF-Projekt ELLI/ELLI 2 („Exzellentes Lehren und Lernen in den Ingenieurwissenschaften“, 2011–2020) praktische Aufgabenstellungen aus der Entwicklungszusammenarbeit. Im Wintersemester 2018/19 ging es dabei z. B. um

- die kühle und trockene Lagerung von Saatgut,
- die Verbesserung der Wasserqualität von Zisternen in Mikro-Siedlungen,
- ein Sanitärkonzept für Schulen und
- die Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen jeweils in Kenia.

Den Studierenden kommt dabei die Aufgabe zu, Ideen zur Problemlösung zu entwickeln und prototypisch umzusetzen. Eine besondere Herausforderung liegt darin, dass nur vor Ort verfügbare Materialien und Techniken genutzt werden sollen und

die fertige Lösung, ebenso wie der Prototyp, nicht viel Geld kosten dürfen. Am Ende der jeweils im Wintersemester stattfindenden IoGC präsentieren die Studierenden ihre Lösungen auf einer Abschlusskonferenz und ermitteln das gewinnende Team. Die im Rahmen der Challenge entwickelten Lösungen werden vom Ingenieure ohne Grenzen e. V. aufgegriffen, an die Kontaktgruppen vor Ort zurückgespielt und, sofern sie das Problem praktikabel lösen, auch tatsächlich umgesetzt.

Die Studierenden nutzen zur Realisierung ihres Prototyps einen Makerspace und entwickeln dabei ein Gefühl dafür, dass sie Technik gestalten und mit dieser überdies anderen Menschen helfen. Die Wahrnehmung des sozialen Sinns von Technik ist dabei einer der wirkmächtigsten Ansätze zur Förderung von Frauen in technischen Studiengängen (Arnold et al. 2010, S. 15). Das Konzept der IoGC lässt sich leicht in unterschiedlichste bestehende Veranstaltungen oder Studienleistungen einbauen, z. B. im Kontext von Technikmanagement, Projektmanagement, Fach-, Projekt- oder Bachelorarbeiten.

## 4 Motivationsförderung

Lehre in einem Makerspace und/oder in so innovativen Formaten wie der IoGC fördert die Motivation der Studierenden. Selbstlernkonzepte, Problemlösung, praktische Arbeiten, Teamarbeit und Wettbewerb – dieser Abwechslungsreichtum fordert und aktiviert Studierende auf mehreren Ebenen. Gleichwohl wird in ingenieurdidaktischen Weiterbildungsveranstaltungen zur Labordidaktik oder Kreativität im Labor immer wieder deutlich, dass viele Anstrengungen der Lehrenden, die Motivation der Studierenden zu fördern, nicht den erhofften Erfolg mit sich bringen. Selbst Lehr-/Lernszenarien, die studierendenzentriert und nach dem Ansatz des Constructive Alignments entwickelt wurden, die aktivierende Elemente enthalten und Anwendungsbezüge herstellen, werden von Studierenden nicht immer mit der gleichen Begeisterung wahrgenommen, mit der Lehrende sie konzipiert haben. Das führt bisweilen zu Frustrationsempfindungen bei den Lehrenden und den falschen Rückschlüssen, entweder die eigenen Anstrengungen zu überziehen und ins *Edutainment* zu rutschen oder das eigene Bild von den Studierenden zu verändern („Die Studierenden von heute können das nicht mehr“). Dabei erfordern Lehr-/Lernszenarien mit Phasen des Selbstlernens und -arbeitens die Selbstmotivation von Studierenden (Wolters 2003, S. 190) – eine Fähigkeit, die sie auch im späteren Berufsleben benötigen werden. Motivation beschreibt in diesem Zusammenhang die Bereitschaft der Studierenden, eine Aufgabe zu bearbeiten und wird beeinflusst von ihrem Interesse, ihrer Wahrnehmung des Sinns und der Wirksamkeit der Aufgabe und ihrer Einschätzung, die Aufgabe auch erfolgreich bewältigen zu können. Dabei sind diese Faktoren bei den Studierenden nicht einfach gegeben, sondern durchaus beeinflussbar:

„To the extent that such a strategy is instigated, monitored, and directed by a student, it also can be identified as a self-regulation strategy and one factor in determining whether that student is a self-regulated learner. As conceptualized here, motivational regulation is

one process that operates within the larger system of self-regulated learning. As such it is related to but conceptually distinct from other processes considered critical to self-regulated learning including motivation, volition, and metacognition.“ (Wolters 2003, S. 190 f.)

Studierende, die in der Lage sind, solche Strategien anzuwenden, sind seltener Situationen ausgesetzt, in denen sie mit der Bearbeitung einer Aufgabe gar nicht erst anfangen oder sie aus Langeweile, aus mangelnden Fortschritten oder aus Ablenkungen aus der Umwelt unvollendet abbrechen. Die strategische Steuerung der eigenen Motivation hat damit Einfluss auf die Leistungen der Studierenden und stellt selbst eine studentische Leistung dar, für die wiederum die notwendige Motivation gegeben sein muss (Wolters 2003, S. 191 f.). Aus diesem Grund ist es wichtig, die Beeinflussung der eigenen Motivation als Lernziel für die Studierenden auszugeben (s. o. Sechs-Facetten-Modell Lernziel „Neugier und Motivation“). Eine ausgezeichnete Übersicht über solche Strategien (u. a. zum Umgang mit Faktoren aus der Umwelt, negativer Selbstwahrnehmung oder geeigneter Festsetzung von Zielen) findet sich bei Wolters (2003, S. 195 ff.). Besonders hervorgehoben werden sollen an dieser Stelle Übungen, in denen Studierende sich zu Beginn oder im Verlauf von Lehr-/Lernprozessen Gedanken zur aktiven Förderung des eigenen Interesses gegenüber einer gestellten Aufgabe machen. Die Wirksamkeit dieses Ansatzes haben Sansone et al. (1992; 1999) in mehreren Untersuchungen, bei denen Studierende Interesse bei der Bearbeitung absichtlich langweiliger Aufgaben entwickeln sollten, nachgewiesen. Studierende, die gezielt eine Strategie zur Steigerung ihres Interesses entwickelt und angewendet haben, zeigten dabei signifikant bessere Leistungen bei der Bearbeitung der langweiligen Aufgaben. Mit der Ausgabe solcher Strategien als Lernziel, mit dem Einsatz entsprechender Methoden in der Lehre und der Berücksichtigung entsprechender Leistungen in diesem Bereich bei der Bewertung können Lehrende die Motivation der Studierenden gezielt fördern und zugleich auch fordern. Sie entlassen damit die Studierenden nicht aus der Verantwortung, selbst Motivation für Lernprozesse aufzubringen. Darüber hinaus sollten Lehrende stets sicherstellen, dass die gestellten Aufgaben von den Studierenden als sinnvoll, bearbeitbar und lösbar wahrgenommen werden. Dies kann entweder durch entsprechende Nachfragen der Lehrenden oder wiederum durch angestoßene Reflektionsprozesse der Lernenden erreicht werden, die ggf. zu Handlungen in Form von Rückmeldungen an die Lehrenden führen, falls eine Aufgabe diese Bedingungen nicht mehr erfüllen sollte.

## 5 Fazit

Im Ergebnis sind es drei zentrale Fragen, die sich jede und jeder Lehrende in den Ingenieurwissenschaften stellen muss, wenn die Studierenden mit der Förderung ihrer Kreativität und ihres Selbstverständnisses als Technikgestaltende auf die Anforderungen der Arbeitswelt in der Industrie 4.0 vorbereitet werden sollen: (1) Mit wel-