

IMPULS



INGENIEURINNEN UND INGENIEURE
FÜR INDUSTRIE 4.0



Stiftung für den Maschinenbau,
den Anlagenbau und die Informationstechnik

STUDIE DES
INSTITUTS FÜR SOZIALWISSENSCHAFTLICHE FORSCHUNG E.V. — ISF MÜNCHEN
JAKOB-KLAR-STR. 9
80796 MÜNCHEN
E-MAIL ZENTRALE@ISF-MUENCHEN.DE
TELEFON +49 (0)89 272921-0

UNTER ZUARBEIT DES
FORSCHUNGSTEAMS INTERNATIONALER ARBEITSMARKT (FIA) GMBH
JÄGERSTR. 56
10117 BERLIN
E-MAIL FIA@FIA-INSTITUT.DE
TELEFON +49 (0)30 20647726

ECKHARD HEIDLING, PAMELA MEIL, JUDITH NEUMER, STEPHANIE PORSCHEN-HUECK,
KLAUS SCHMIERL, PETER SOPP, ALEXANDRA WAGNER

INGENIEURINNEN UND INGENIEURE
FÜR INDUSTRIE 4.0

DIESES FORSCHUNGSVORHABEN WURDE GEFÖRDERT
VON DER IMPULS-STIFTUNG DES VDMA

MÜNCHEN, JANUAR 2019

ZU DIESER STUDIE

Industrie 4.0 ist für den Maschinen- und Anlagenbau ein Chancenthema. In Produktion, Produkten und Dienstleistungen wird die digitale Vision zunehmend industrielle Realität. Die Dynamik ist hoch – die Maschinenbau-Industrie, größter industrieller Arbeitgeber in Deutschland, arbeitet intensiv an neuen Lösungen.

Der digitale Wandel ist natürlich kein Selbstläufer: Über das Gelingen entscheiden maßgeblich die Menschen in den Unternehmen. Neben den qualifizierten Facharbeitern spielen dabei die Ingenieurinnen und Ingenieure eine besondere Rolle, gerade im Maschinen- und Anlagenbau als wichtigstem deutschen Ingenieurarbeitgeber.

Neue Qualifikationen und Kompetenzen werden gebraucht – bei den Ingenieuren in den Unternehmen genauso wie im Zuge der Ingenieurausbildung an den Hochschulen. Aber was sich hinter dem „Neuen“ verbirgt, das bleibt oft nebulös und für Unternehmen wie Hochschulen wenig handhabbar.

Nichts lag für die IMPULS-Stiftung also näher, als diejenigen zu befragen, die unmittelbar betroffen sind: Führungskräfte und Ingenieure aus dem Maschinen- und Anlagenbau genauso wie Vertreter von Hochschulen. Erstmals wird somit das „Neue“ konkret: mit einem „Soll-Profil Ingenieurinnen und Ingenieure 4.0“ aus der Perspektive der Maschinenbau-Industrie.

Die vorliegende Studie leistet noch mehr: Auch Stand und Anpassungsbedarf der Ingenieurausbildung in Bezug auf Industrie 4.0 werden aufgezeigt, ebenso bestehende Hürden an den Hochschulen. Ein neues Online-Tool (www.ingenieure40-online-tool.vdma.org) gibt Studierenden sowie Ingenieurinnen und Ingenieuren in den Unternehmen Hinweise, wie es mit den eigenen Industrie-4.0-Fertigkeiten bestellt ist.

Wir bedanken uns herzlich bei Herrn Prof. Kottkamp, bei der VDMA-Abteilung Bildung, namentlich bei Frau Dr. Schmid und Herrn Dr. Friedrich, sowie Herrn Weber, die als Themenpaten maßgeblich zum Gelingen der Studie beigetragen haben. Unser Dank gebührt auch dem Studienteam für die geleistete hervorragende Arbeit sowie den zahlreichen Vertreterinnen und Vertretern aus Maschinenbau und Hochschulen, auf deren Sichten und Expertise diese Studie gründet.

Die digitale Transformation steht für einen Zeitenwechsel. Klar ist: Wir müssen frühzeitig den Wandel selbst antreiben, um nicht Getriebene zu sein. Mit der vorliegenden Studie wollen wir unseren Beitrag leisten, zum Nutzen für die Unternehmen wie auch für die Hochschulen – es sind die punktgenau qualifizierten Menschen, die über den Erfolg von Industrie 4.0 entscheiden.

Frankfurt, Januar 2019



Dr. Thomas Lindner
Vorsitzender des Kuratoriums
IMPULS-Stiftung



Dr. Manfred Wittenstein
Stellv. Vorsitzender des Kuratoriums
IMPULS-Stiftung



Dr. Johannes Gernandt
Geschäftsführender Vorstand
IMPULS-Stiftung



Stefan Röger
Geschäftsführender Vorstand
IMPULS-Stiftung

INHALT

ZU DIESER STUDIE	2
INHALT	3
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	6
TABELLENVERZEICHNIS	8
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	9
EXECUTIVE SUMMARY	10
I. EINLEITUNG	13
1. Technisch-organisatorische Entwicklungen und neue Geschäftsfelder des Maschinen- und Anlagenbaus im digitalen Wandel	14
2. Ausbildung an den Hochschulen für Ingenieure „Industrie 4.0“	15
3. Aufbau der Studie	16
4. Ziele der Studie	17
5. Methoden	17
5.1 Unternehmen: Qualitative Erhebung	17
5.2 Unternehmen: Quantitative Erhebung	19
5.3 Hochschulen	20
II. UNTERNEHMEN	21
1. Die Auseinandersetzung der Unternehmen mit Industrie 4.0	21
1.1 Aktuelle Perspektiven auf Technikentwicklung	21
1.2 Aktuelle Perspektiven auf Organisationsentwicklung	24
2. Neue Anforderungen an ein Qualifikations- und Kompetenzprofil „Ingenieure 4.0“	25
2.1 Stand der Qualifikation in den befragten Unternehmen	25
2.2 Welche Ingenieure werden für Industrie 4.0 benötigt?	27
2.3 Soll-Profil „Ingenieure für Industrie 4.0“: Elemente und wesentliche Struktur	46
3. Rekrutierungsbedarf und Rekrutierungsstrategien für Industrie 4.0	48
3.1 Elemente einer proaktiven Personalpolitik	49
3.2 Rekrutierung von Hochschulabsolventen	50
3.3 Duale Hochschulausbildung als wichtige Rekrutierungsform der befragten Unternehmen	51
4. Kooperation zwischen Unternehmen und Hochschulen	54
4.1 Kooperation zum Kompetenzaufbau der Studierenden	54
4.2 Kooperation zum Technologieaustausch und Technologietransfer	57
4.3 Lern- und Praxisfabriken als neue Kooperationsform zwischen Unternehmen und Hochschulen	60

III. HOCHSCHULEN	63
1. Umgang der Hochschulen mit den Anforderungen durch Industrie 4.0 und Digitalisierung	63
2. Fortbestand der Grundlagenvermittlung in der Lehre für Industrie 4.0	65
3. Neue fachliche Lehrinhalte aufgrund von Industrie 4.0	66
3.1 Neue Lehrinhalte durch Modularisierung	67
3.2 Neue Lehrinhalte durch die Etablierung neuer Lehrstühle	67
3.3 Aktuelle Lehrinhalte bezüglich Industrie 4.0	68
3.4 Aktuelle lehrinhaltliche Lücken bezüglich Industrie 4.0	69
3.5 Aktuelle organisationsstrukturelle Ansätze zur Schließung lehrinhaltlicher Lücken	69
4. Herausforderungen bei erweiterten Lehrinhalten	70
4.1 Integration „neuer“ und Streichung „alter“ Lehrinhalte	70
4.2 Hürden bei interfakultativer Studienorganisation	72
5. Überfachliche Kompetenzen für Industrie 4.0	73
6. Neuausrichtung von Lehr-/Lernformaten und Methoden	75
6.1 Aktualisierung der Lehr-/Lernformate und Methoden	76
6.2 Herausforderungen bei der Umsetzung interaktiver und praxisorientierter Lehr-/Lernformate	83
IV. HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN	84
1. Ingenieurwissenschaftliches Grundlagenstudium und Grundlagenkurse entwickeln	84
2. Hochschulen im Change-Prozess unterstützen	84
3. Kooperationen zwischen Unternehmen und Hochschulen ausweiten	85
4. Fort- und Weiterbildung für Digitalisierung und Industrie 4.0 als lebenslanges Lernen organisieren	85
5. Online-Kompetenz-Check Industrie 4.0	86

LITERATUR	87
DANKSAGUNG	89
ANHANG	90
Bericht über die quantitative Befragung im Rahmen der Studie „Ingenieurinnen und Ingenieure für Industrie 4.0“	
1. Methode: Erhebung und Fragebogen	90
2. Stand der Entwicklung Industrie 4.0	91
3. Einsatz von Ingenieuren 4.0	91
4. Was brauchen Unternehmen? – Anforderungen an Ingenieure 4.0	92
4.1 Ingenieurwissenschaftliche Grundlagenkompetenzen	92
4.2 Ingenieurwissenschaftliche Methodenkompetenz	93
4.3 Spezialkenntnisse	94
4.4 Kenntnisse in speziellen Gebieten der Industrie 4.0	96
4.5 Ergänzende Kenntnisse aus angrenzenden bzw. anderen Fachgebieten	97
4.6 Überfachliche Kompetenzen	97
4.7 Spezialisten oder Generalisten	97
5. Wie sichern die Unternehmen die notwendigen Kompetenzen?	99
5.1 Wahl bei Einstellung	99
5.2 Zufriedenheit mit der Qualifikation von Absolventen ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge	100
5.3 Kooperation mit Hochschulen	101
5.4 Erwerb überfachlicher Qualifikationen	102
5.5 Hybride oder modulare Ausbildung?	102

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Kernbereiche von Industrie 4.0, nach Lichtblau et al. 2015, 12	21
Abbildung 2: Für wie notwendig halten Sie die folgenden ingenieurwissenschaftlichen Grundlagenkompetenzen für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten?	28
Abbildung 3: Für wie notwendig halten Sie die folgenden Spezialkenntnisse für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten?	29
Abbildung 4: Wie notwendig bzw. nützlich sind Ihrer Meinung nach die folgenden Kenntnisse in speziellen Gebieten der Industrie 4.0 für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten?	29
Abbildung 5: Für wie notwendig halten Sie die folgenden ingenieurwissenschaftlichen Methodenkompetenzen für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten?	34
Abbildung 6: Welche ergänzenden Kenntnisse aus angrenzenden bzw. anderen Fachgebieten sind für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten notwendig?	37
Abbildung 7: Was sehen Sie für Ihr Unternehmen als sinnvoll an: eher eine Erweiterung von ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen oder neue sogenannte „hybride“ Studiengänge, die zwei (oder mehr) Fächer kombinieren?	37
Abbildung 8: Welche überfachlichen Kompetenzen sind Ihrer Meinung nach insbesondere für Industrie-4.0-Projekte notwendig?	45
Abbildung 9: Kern und Satelliten im Sollprofil von Industrie-4.0-Ingenieuren	46
Abbildung 10: Wie kooperiert Ihr Unternehmen/der Bereich, für den Sie die Aussagen treffen können, mit Hochschulen?	61
Abbildung 11: Bewertung fachlicher ingenieurwissenschaftlicher Kompetenzen aus Sicht der befragten Hochschulen (Maschinenbau, Elektrotechnik) in der qualitativen Befragung (N = 20)	65
Abbildung 12: Bewertung der überfachlichen Kompetenzen aus Sicht der befragten Hochschulen (Maschinenbau, Elektrotechnik) in der qualitativen Befragung (N = 27)	74
Abbildung A-1: Für wie notwendig halten Sie die folgenden ingenieurwissenschaftlichen Grundlagenkompetenzen für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten?	92
Abbildung A-2: Für wie notwendig halten Sie die folgenden ingenieurwissenschaftlichen Grundlagenkompetenzen für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten (nach Bereichen)?	93
Abbildung A-3: Für wie notwendig halten Sie die folgenden ingenieurwissenschaftlichen Methodenkompetenzen für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten?	93
Abbildung A-4: Für wie notwendig halten Sie die folgenden ingenieurwissenschaftlichen Methodenkompetenzen für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten (nach Bereichen)?	94
Abbildung A-5: Für wie notwendig halten Sie die folgenden Spezialkenntnisse für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten?	94

Abbildung A-6: Für wie notwendig halten Sie die folgenden Spezialkenntnisse für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten (nach Bereichen)?	95
Abbildung A-7: Wie notwendig bzw. nützlich sind Ihrer Meinung nach die folgenden Kenntnisse in speziellen Gebieten der Industrie 4.0 für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten?	95
Abbildung A-8: Wie notwendig bzw. nützlich sind Ihrer Meinung nach die folgenden Kenntnisse in speziellen Gebieten der Industrie 4.0 für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten (nach Bereichen)?	96
Abbildung A-9: Welche ergänzenden Kenntnisse aus angrenzenden bzw. anderen Fachgebieten sind für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten notwendig?	96
Abbildung A-10: Welche ergänzenden Kenntnisse aus angrenzenden bzw. anderen Fachgebieten sind für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten notwendig (nach Bereichen)?	97
Abbildung A-11: Welche überfachlichen Kompetenzen sind Ihrer Meinung nach insbesondere für Industrie-4.0-Projekte notwendig?	98
Abbildung A-12: Welche überfachlichen Kompetenzen sind Ihrer Meinung nach insbesondere für Industrie-4.0-Projekte notwendig (nach Bereichen)?	98
Abbildung A-13: Welche ingenieurwissenschaftliche Qualifikationsgruppe würden Sie, wenn Sie die Wahl hätten, einstellen?	99
Abbildung A-14: Wie kooperiert Ihr Unternehmen/der Bereich, für den Sie die Aussagen treffen können, mit Hochschulen?	101
Abbildung A-15: Wenn Sie an die überfachlichen Qualifikationen denken, wo werden diese Ihrer Meinung nach am besten eingeübt bzw. vermittelt?	102
Abbildung A-16: Was sehen Sie für Ihr Unternehmen als sinnvoll an: eher eine Erweiterung von ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen oder neue sogenannte „hybride“ Studiengänge, die zwei (oder mehr) Fächer kombinieren?	103
Abbildung A-17: Vergleich der Präferenz für hybride oder modulare Studiengänge nach ausgewählten Merkmalen	104

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Übersicht über die Auswahl der Unternehmen	18
Tabelle 2: Stand bei der Umsetzung von Industrie 4.0, quantitative Befragung (Antwortverteilung in Prozent)	24
Tabelle A-1: Stand bei der Umsetzung von Industrie 4.0, quantitative Befragung (Antwortverteilung in Prozent)	90
Tabelle A-2: Wie zufrieden sind Sie insgesamt mit der Qualifikation von Absolventen ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge für Industrie-4.0-Projekte (Antwortverteilung in Prozent)?	100
Tabelle A-3: Wie zufrieden sind Sie insgesamt mit der Qualifikation von Absolventen ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge für Industrie-4.0-Projekte (Nach Umsetzungsstand von Industrie 4.0, Antwortverteilung in Prozent)?	100

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

B2B:	Business-to-Business
BDE:	Betriebsdatenerfassung
BMWi:	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BWL:	Betriebswirtschaftslehre
CAD:	Computer-Aided Design
CAM:	Computer-Aided Manufacturing
CIM:	Computer-Integrated Manufacturing
CNC:	Computerized Numerical Control
ERP:	Enterprise Resource Planning
F&E:	Forschung und Entwicklung
FFS:	Flexibles Fertigungssystem
FH:	Fachhochschule
FIA:	Forschungsteam Internationaler Arbeitsmarkt
HAW:	Hochschule(n) für angewandte Wissenschaften
HRK :	Hochschulrektorenkonferenz
HSU:	Universitäten
I 4.0:	Industrie 4.0
IHK:	Industrie- und Handelskammer
IoT:	Internet of Things
ISF:	Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung e.V.
IT:	Informationstechnik
Kap. :	Kapitel
KMU:	Kleine und mittlere Unternehmen
N:	Grundgesamtheit/Stichprobengröße
NC:	Numerical Control
OPC UA:	Open Platform Communications – Unified Architecture
PC :	Personal Computer
PPS:	Produktionsplanung und -steuerung
SCM :	Supply Chain Management
TH:	Technische Hochschule
TU:	Technische Universität
U:	Unternehmen
VDI:	Verein Deutscher Ingenieure
VDMA:	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.

EXECUTIVE SUMMARY

Der Maschinen- und Anlagenbau in Deutschland steht vor großen Herausforderungen. Als Anbieter und Anwender digital unterstützter und vernetzter Produkte, digitaler Technologien und digitaler Dienstleistungen ist er ein wesentlicher Akteur im digitalen Wandel hin zur Industrie 4.0. Zu seinen traditionellen Stärken gehören seine qualifizierten Fachkräfte und akademisch ausgebildeten Ingenieurinnen und Ingenieure; auf die Ingenieurinnen und Ingenieure bezieht sich die vorliegende Studie. Im Zuge der rasanten technologischen Entwicklung und der zunehmenden organisatorischen Vernetzung, die zusammen Industrie 4.0 ausmachen, kommt den Fähigkeiten dieser Berufsgruppe eine besondere Bedeutung zu: den klassischen Ingenieurkompetenzen, aber auch darüber hinaus neuen fachlichen, methodischen und sozialen Kompetenzen. Welche Anforderungen die Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus an die bei ihnen beschäftigten Ingenieurinnen und Ingenieure sowie an die Ausbildung von „Ingenieurinnen und Ingenieuren 4.0“ haben und welche Aktivitäten die Hochschulen unternehmen, um diesen Anforderungen gerecht zu werden, untersucht diese Studie.

Dazu wurden qualitative Experteninterviews mit 39 Führungskräften und Ingenieurinnen und Ingenieuren aus sieben Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus geführt und ausgewertet, die sich nach Unternehmensgröße, Grad der Digitalisierung und Art der Industrie-4.0-Nutzung unterscheiden. Hinzu kamen Experteninterviews mit 32 Vertreterinnen und Vertretern von neun Hochschulen, darunter Universitäten, Hochschulen für angewandte Wissenschaften sowie eine duale Hochschule. Ergänzend fand eine quantitative Online-Befragung von Mitgliedsunternehmen des VDMA statt, an der insgesamt 224 Unternehmen teilnahmen (siehe Kap. I.5).

Die Ergebnisse zu den Anforderungen aus Sicht der befragten Unternehmen lassen sich in einem **Soll-Profil für Ingenieurinnen und Ingenieure 4.0** zusammenfassen, das fünf Bestandteile aufweist:

- Fachliche Grundlagen in einer Ingenieurdisziplin (siehe Kap. II.2.2.1)

- Methodische Kompetenzen, insbesondere Prozess- und Systemdenken (siehe Kap. II.2.2.2)
- Querliegende fachliche Grundlagen für Maschinenbau und Elektrotechnik in Informatik und Data Science bzw. für Informatik Grundlagen in Maschinenbau und Elektrotechnik sowie Data Science (siehe Kap. II.2.2.3)
- Kontextwissen, d. h. Wissen über Gegebenheiten, Anforderungen und Perspektiven in anderen Unternehmensbereichen und Disziplinen (siehe Kap. II.2.2.4)
- Überfachliche Kompetenzen, insbesondere Teamfähigkeit, Selbstständigkeit und Eigenmotivation, Problemlösungskompetenz, Lern- und Anpassungsfähigkeit, Offenheit und Kommunikationsfähigkeit (siehe Kap. II.2.2.5)

Diese Kompetenzen lassen sich in ihrem Zusammenwirken zu einem **Kern-Satelliten-Modell** (siehe Kap. II.2.3) verdichten.

Ein **fachlich-methodischer Kern** besteht aus

- dem Studium einer etablierten fachlichen Disziplin, insbesondere Maschinenbau, Elektrotechnik oder Informatik,
- den fachlich-methodischen Grundlagen des Prozess- und Systemdenkens, die bereits in der Ausbildung systematisch angelegt sein müssen,
- einer Integration von Grundlagen der Informatik und Data Science (bzw. beim Informatikstudium: Grundlagen von Maschinenbau, Elektrotechnik, Data Science) in die Ausbildung.

Notwendige flexible Ergänzungen bestehen aus

- Vertiefungswissen in konkreten Anwendungsbereichen und Kontextwissen über andere Unternehmensbereiche,
- spezifischen überfachlichen Kompetenzen je nach Stellung im Unternehmen.

Ingenieurinnen und Ingenieure 4.0 müssen also aus Sicht der Unternehmen über einen soliden fachlich-methodischen Kompetenzkern und flexibel anpassbare „Kompetenzsatelliten“ verfügen. So sind sie den sich rasch entwickelnden technischen und organisatorischen Anforderungen von Industrie 4.0 gewachsen. Geeignet und praktikabel erscheint die Integration neuer Inhalte in der organisatorischen Form einer modularen Erweiterung (siehe Kap. II.2.2.3).

Die quantitative Untersuchung trägt Erkenntnisse zu den konkreten Elementen sowohl der benötigten ingenieurwissenschaftlichen Grundlagenkompetenzen als auch der ingenieurwissenschaftlichen Spezialkompetenzen für Industrie 4.0 bei. Sie bietet auch Befunde zu den spezifischen ingenieurwissenschaftlichen Methodenkompetenzen und den überfachlichen Kompetenzen, die für Industrie 4.0 benötigt werden (siehe Kap. II.2.2.1, II.2.2.2 und II.2.2.5).

Bei der **Rekrutierung** von Ingenieurinnen und Ingenieuren für Industrie 4.0 (siehe Kap. II.3) lässt sich festhalten: In den Unternehmen besteht ein weitreichendes Einverständnis, dass vor dem Hintergrund des angespannten Arbeitsmarkts und der derzeit starken Konkurrenz bei der Nachfrage nach qualifizierten Arbeitskräften eine **proaktive Personalpolitik** (siehe Kap. II.3.1) erforderlich ist. Dazu gibt es bereits vielfältige pragmatische Ansätze: Unternehmen arbeiten an ihrer Attraktivität durch die Präsentation interessanter Arbeitsplätze, sinnstiftende Arbeitsinhalte und eine ausgewogene Work-Life Balance, und sie erproben neue Personalbeschaffungsstrategien, etwa über soziale Netzwerke oder Blogs.

Bezüglich der **Ausbildungsinstitutionen und Abschlüsse** bevorzugen die Unternehmen einen **ausgewogenen Mix** zwischen praxis- und theoriegeprägten Studiengängen (siehe Kap. II.3.2). Universitätsabsolventinnen und -absolventen werden besonders wegen ihres breiten und tiefen Grundlagenwissens geschätzt, bei Hochschulen für angewandte Wissenschaften und dualen Hochschulen ist die Verbindung von Theorie und Praxis ein Pluspunkt. Fast alle befragten Unternehmen engagieren sich in der Ausbildung dual Studierender. **Duale Hochschulen** sind sowohl für das Finden als auch für das Binden

von Ingenieurinnen und Ingenieuren von großer Bedeutung. Besonders wird der unmittelbare Praxisbezug der Absolventinnen und Absolventen hervorgehoben (siehe Kap. II.3.3).

Es existieren vielfältige und kreative Ansätze von Unternehmen, **mit Hochschulen zu kooperieren**, wie sich sowohl in der qualitativen als auch in der quantitativen Untersuchung zeigt (siehe Kap. II.4). Ziele sind zum einen der Kompetenzaufbau der Studierenden (siehe Kap. II.4.1) und zum anderen der Austausch und Transfer von Technologie (siehe Kap. II.4.2). Die Unternehmen präferieren hier eine **klare Arbeitsteilung**: Hochschulen sollen vornehmlich die Grundlagen vermitteln, Unternehmen den Praxisbezug einbringen. Auf dieser Basis werden zahlreiche Kooperationsformen realisiert: Gespräche mit den Bildungsinstitutionen, Einbindung von Studierenden in Praktika oder Unternehmensprojekte, Lehrtätigkeiten von Unternehmensvertretern und -vertreterinnen, gemeinsame Projekte, ja sogar die Etablierung eines unternehmenseigenen Forschungscampus. Auf regionaler Ebene werden zudem zunehmend gemeinsame Lern- und Praxisfabriken (siehe Kap. II.4.3) realisiert, meist öffentlich finanziert und unter Beteiligung von Kommunen und Industrie- und Handelskammern. Sie werden häufig auch von größeren Unternehmen initiiert und getragen, bleiben aber zugänglich für KMU.

Aus Sicht der **Hochschulen** hat die **Vermittlung fachspezifischer Grundlagen** in einer etablierten Disziplin auch in Zukunft einen sehr hohen Stellenwert (siehe Kap. III.2). Ebenso erkennen die befragten Hochschulvertreter und -vertreterinnen die Notwendigkeit **neuer fachlicher Lehrinhalte** (siehe Kap. III.3). Hier ist eine **interdisziplinäre Verschränkung von Studieninhalten** gefragt, bei der die Hochschulen vielfach noch am Anfang stehen. Ausgehend von den fachspezifischen Grundlagen bevorzugen die Hochschulvertreter durchgängig den Weg der **Modularisierung**, sowohl wegen der ansonsten bestehenden Gefahr des Verlusts von Grundlagenwissen als auch aus praktischen Gründen. Dies harmoniert im Wesentlichen mit den Äußerungen der Unternehmensvertreter und -vertreterinnen in der qualitativen Befragung (siehe Kap. II.2.2.3). Bestehende hybride Studiengänge wie Wirtschaftsingenieurwesen oder Mechatronik

werden partiell als hilfreich eingeschätzt, eine weitere Hybridisierung wird aber durchgängig nicht für sinnvoll gehalten. Bei der modularen Integration insbesondere von Grundlagen der Informatik, aber auch von systemischem Wissen sind bereits erfolversprechende Wege beschritten worden; datenwissenschaftliche Studienangebote sind bislang noch weitgehend im Planungsstadium.

Die Integration neuer Studieninhalte stellt die Hochschulen allerdings vor **Herausforderungen** (siehe Kap. III.4): Da eine einfache Addition kaum praktikabel ist, müssen im Gegenzug bestehende Studieninhalte wegfallen. Zudem erweist sich eine interfakultative Studienorganisation als schwierig, sie steht vor hohen administrativen und organisatorischen Hürden. Diese Probleme wurden erkannt und es gibt einen intensiven, aber auch kontroversen Diskussionsprozess an den Hochschulen.

Überfachlichen Kompetenzen, insbesondere **personellen und sozialen Kompetenzen**, weisen die befragten Hochschulvertreter und -vertreterinnen einen sehr hohen Stellenwert in der Hochschulausbildung zu, konstatieren hier aber noch Nachholbedarf (siehe Kap. III.5). Selbstlernkompetenz, Teamfähigkeit und Kommunikationsfähigkeit gelten als besonders wichtig. Mit Seminaren zum separaten Erwerb dieser Kompetenzen gibt es keine sonderlich ermutigenden Erfahrungen, hingegen hat sich eine integrierte Vermittlung im Zusammenhang mit fachlichen Aufgabenstellungen als wirkungsvoll erwiesen und wird vielfach praktiziert.

Bei den **Lehr- und Lernformaten** (siehe Kap. III.6) spielt der **Präsenz- und Frontalunterricht** weiterhin eine zentrale Rolle. Die Untersuchungsergebnisse zeigen jedoch, dass **interaktive Formate mit intensiveren Theorie-Praxis-Verschrankungen** an zahlreichen Hochschulen existieren und durchgängig ausgebaut werden (siehe Kap. III.6.1). Fakultätsintern sind verschiedene Ansätze sichtbar: Hackathons, Projekt- und Teamarbeit mit Integration von Inhalten verschiedener Fachdisziplinen, direkt von Unternehmen beauftragte Projektaufgaben unter Realbedingungen und andere Kooperationen mit Unternehmen spielen mittlerweile eine wichtige Rolle. Auch eine Hochschule mit vollständiger

Umstellung der Studienorganisation auf Projektarbeit fand sich im Sample, stellte in der Hochschullandschaft aber noch eine Ausnahme dar. Fakultätsübergreifende Formate stehen in der Lehre noch ganz am Anfang, doch in der Forschung sind sie weitgehend etabliert und strahlen von dort, gemäß dem Leitsatz „Lehre folgt Forschung“, auch auf die Lehre aus, etwa durch Integration von Studierenden in Forschungsprojekte. Auch der Fall einer Lern- und Praxisfabrik in Kooperation mit regional ansässigen Industrieunternehmen ist im Sample vertreten und wurde dort als ausbaufähig und zukunftssträftig eingeschätzt.

Aus den Ergebnissen der Befragungen in Unternehmen und Hochschulen werden **Handlungsempfehlungen** (siehe Kap. IV) abgeleitet. Eine wichtige Perspektive besteht in der Entwicklung eines **zweiemestrigen ingenieurwissenschaftlichen Grundlagenstudiums**, das den Studierenden Einblick in die Einzeldisziplinen bietet und die Verschränkung von Fachwissen, Methodenwissen und überfachlichen Kompetenzen sicherstellt. Zudem sollten die Bereiche **Informatik** und **Data Science** zu einem **obligatorischen Bestandteil ingenieurwissenschaftlicher Curricula** werden (siehe Kap. IV.1). An den **Hochschulen** ist ein **Wandlungsprozess** erforderlich, der auf eine stärkere Vernetzung zwischen den Fakultäten zielt (siehe Kap. IV.2). Die bereits heute vielversprechenden **Kooperationen zwischen Unternehmen und Hochschulen sind auszuweiten**, wobei insbesondere auch KMU eingebunden werden sollten (siehe Kap. IV.3). Und schließlich muss **Fort- und Weiterbildung** stärker **systematisch** mit einem Anspruch an **lebenslanges Lernen** verbunden werden, sowohl durch die Ermöglichung von mehrfachen Wechseln zwischen Bildungs- und Arbeitsphasen als auch durch die Förderung von Lernen im Prozess der Arbeit (siehe Kap. IV.4). Mithilfe eines eigens entwickelten Online-Kompetenzchecks „Industrie 4.0“ erhalten Unternehmen, Beschäftigte und Studierende die Möglichkeit, Lücken, Bedarfe und Stärken in ihren Kompetenzen für Industrie 4.0 zu identifizieren. Dies kann ihnen eine wichtige Orientierungshilfe bieten (siehe Kap. IV.5).

Die Adresse des Kompetenzchecks lautet:

WWW.INGENIEURE40-ONLINE-TOOL.VDMA.ORG

I. EINLEITUNG

Der Maschinen- und Anlagenbau ist der größte industrielle Arbeitgeber in Deutschland. Im Jahr 2017 arbeiteten hier über 1,3 Millionen Erwerbstätige (VDMA 2018, 12). Im Frühjahr 2016 waren im Maschinen- und Anlagenbau über 190.000 Ingenieure¹ tätig (VDMA 2016, 2). Mit rund 226 Milliarden Euro Umsatz war der Maschinen- und Anlagenbau 2017 abermals wichtigster Wachstumstreiber der deutschen Industrie. Die Exportquote lag mit 78,6 % weit über der Importquote von 60,2 %. Mit 5,8 Milliarden Euro internen Forschungs- und Entwicklungsausgaben ist er eine der forschungstärksten Industriebranchen in Deutschland. Dabei ist der Maschinen- und Anlagenbau überwiegend mittelständisch geprägt. Die Durchschnittsgröße der Unternehmen beträgt knapp 180 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter (VDMA 2018).

Gerade für den Maschinen- und Anlagenbau als einen der größten Ingenieurarbeitgeber Deutschlands (VDMA 2016) ist Industrie 4.0 Herausforderung und Chance zugleich. Die Anforderungen an Qualifikationen und Kompetenzen der Ingenieure wandeln sich im Zuge der digitalen Transformation. Es ist bislang noch weitgehend offen, wie im Zuge dieses Wandels Arbeit gestaltet wird und welche Kompetenzen erforderlich sein werden. Die vorliegende Studie untersucht diese Fragen empirisch. Sie fragt einerseits danach, welche Anforderungen die Unternehmen des Anlagen- und Maschinenbaus an die Ausbildung von „Ingenieurinnen und Ingenieuren 4.0“ stellen. Andererseits untersucht sie auch die Bildungsseite: Welche Aktivitäten unternehmen die Hochschulen, um diesen Anforderungen gerecht zu werden? Daraus leitet sie Empfehlungen ab, wie sich die Schlüsselbranche Maschinen- und Anlagenbau und die Bildungsinstitutionen auf den digitalen Umbruch einstellen können.

In der aktuellen Umbruchsituation wirkt die Digitalisierung als ein zentraler Treiber und Enabler für neue Entwicklungen von Produktions- und Dienstleistungsprozessen in deutschen Unternehmen. Aufgrund der sich schnell

verändernden Markt- und Kundenanforderungen in einem internationalen Wettbewerbsumfeld sind die Unternehmen gefordert, ihre Innovationsfähigkeiten zu stärken, die Flexibilität ihrer Arbeitsprozesse zu erhöhen und entsprechende Qualifikationen und Kompetenzen aufzubauen. Industrie 4.0 zeichnet sich durch neue Kombinationen aus Produkten und Dienstleistungen aus, die auf die individuellen Bedürfnisse der Kunden zugeschnitten sind. Das führt auch zu neuen Geschäftsmodellen. Auf Basis digitaler Technologien sollen im Leitbild einer Industrie 4.0 dynamische, echtzeitoptimierte und sich selbst organisierende unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke entstehen (Plattform Industrie 4.0 2015). Die Stärken im Umgang mit diesen neuen Herausforderungen liegen in einem robusten industriellen Kern, insbesondere in den Bereichen des Maschinenbaus, der Elektronikindustrie und der Automobilproduktion.

In diesen industriellen Branchen ist der Digitalisierungsgrad bislang vergleichsweise unterdurchschnittlich, gemessen am Umfang der Geschäftsaktivitäten, die mit digitalen Technologien verknüpft sind, und der Rolle, die das Internet als Basistechnologie für die Unternehmen spielt. Zwischen 2015 und 2017 hat er sich jedoch erhöht, was auf intensiviertere Aktivitäten bei der Digitalisierung verweist (Stettes 2018). Vorliegende Untersuchungen zur Umsetzung digitaler Produktions- und Dienstleistungsprozesse zeigen, dass große Unternehmen gegenüber kleinen Unternehmen einen Vorsprung bei der Implementierung digitaler Technologie haben, da für viele kleine und mittlere Unternehmen (KMU) der Nutzen ungewiss ist und die Investitionskosten nur schwer kalkulierbar sind (Arntz et al. 2016; acatech 2016; Bischoff 2015). Diese Tendenzen gelten ebenfalls für den Maschinen- und Anlagenbau (Lichtblau et al. 2015; Kinkel et al. 2016).

¹ Hier wie im Folgenden wird aus Gründen der Lesbarkeit die männliche Sprachform verwendet, was geschlechtsneutral zu verstehen ist.

1. TECHNISCH-ORGANISATORISCHE ENTWICKLUNGEN UND NEUE GESCHÄFTSFELDER DES MASCHINEN- UND ANLAGENBAUS IM DIGITALEN WANDEL

Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus treten als Nachfrager und Anbieter von digital erweiterten oder unterstützten Produkten, digitaler Technologie und digitalen Dienstleistungen auf, wobei sie sich besonders als Anbieter profilieren. Die Angebote an die Kunden umfassen insbesondere datenbasierte Dienstleistungen und neue Services (Predictive Maintenance, Condition Monitoring, Teleservice, Echtzeit-Datenanalyse, modulare Apps u. a.) beim Betrieb ihrer Maschinen und Anlagen (Kinkel et al. 2016; Bitkom 2016). Embedded Systems und Künstliche Intelligenz spielen hierfür eine zunehmend wichtige Rolle. Auf der Grundlage bisher vorliegender Studien sind kennzeichnend für Industrie 4.0 vier technische Felder (Lichtblau et al. 2015; Kinkel et al. 2016):

- „Smart Products“ (Sammlung und Kommunikation von Daten für eigene Herstellungs-/Betriebsprozesse),
- „Data-driven Services“ (neue, datenbasierte Geschäftsmodelle),
- „Smart Factory“ (dezentrale, hochautomatisierte Produktionsumgebungen),
- „Smart Operations“ (neue Formen der Produktionsplanung und -steuerung PPS und des Supply-Chain-Managements SCM).

Industrie-4.0-Lösungen werden in allen vier Feldern vorangetrieben, weshalb erwartet wird, dass die Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus in ihrer Rolle eines „Leitanbieters im deutschen Verarbeitenden Gewerbe“ zukünftig eine noch „stärkere Integration in die Wertschöpfungsprozesse des Kunden“ erfahren werden (Kinkel et al. 2016, 72). Hervorgehoben wird, dass es über die technischen Nutzevorteile durch Industrie 4.0 hinaus zunehmend um die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle geht und dabei unternehmensübergreifende Kollaborationen sowie Projekte immer wichtiger werden. Allgemein wird davon ausgegangen,

dass „die kluge Kombination aus digitaler und industrieller Kompetenz [...] über die Wettbewerbschancen der Zukunft“ entscheidet (BMW 2017, 29). Für die Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus ist dies besonders wichtig, da für die Branche prognostiziert wird, „dass digitale Innovationen immer mehr an Grenzflächen zwischen verschiedenen Disziplinen stattfinden“ (Kinkel 2016, 37). Allerdings sind „vernetzte“ Anwendungen mit dem Ziel der Integration horizontaler und vertikaler Wertschöpfungsketten“ im verarbeitenden Gewerbe bisher kaum realisiert (Bitkom 2016, 20; siehe auch Bienzeisler 2009). Dies hängt mit der erheblichen Komplexität industrieller Wertschöpfungsprozesse und unterschiedlichen Entwicklungsgeschwindigkeiten von traditionellem Maschinenbau und agiler Softwareentwicklung zusammen (Baums et al. 2015; Kinkel et al. 2016). Am Beginn der „zweiten Digitalisierungswelle“ (BMW 2017, 2) des Business-to-Business (B2B) im produzierenden Sektor ist deshalb weitgehend offen, wie neue Geschäftsmodelle aussehen, wie Arbeit gestaltet wird und welche Kompetenzen erforderlich sind. Als erfolgversprechend werden Strategien gesehen, die auf die Ermöglichung von Kollaborationen und die Gestaltung von Geschäftsmodellen zielen (Gausemeier et al. 2016, 30). Vorliegende Forschungsergebnisse zeigen, dass die Vernetzung von Arbeitsinhalten und Informationsflüssen zu einer erhöhten „Kollaborationsproduktivität“ führt (Schuh et al. 2014, 280; siehe auch Abramovici/Herzog 2016; Voegelé 2013). Erwartet wird, dass beim Aufbau vernetzter, digital geprägter Produktionssysteme und Wertschöpfungsketten verstärkt flexible Formen der Projektarbeit realisiert werden (Ittermann/Niehaus 2015; Apt et al. 2016; Spath et al. 2013). Ausgehend von meist technischen Aufgabenstellungen geht es bei der Organisation der Projektarbeit um die Herstellung gemeinsamer Arbeitsprozesse (Heidenreich et al. 2016; Kalkowski/Mickler 2015; Wald et al. 2015; Heckscher 2007; Meil et al. 2004; Rochelle/Teasley 1995). Um entstehende Potenziale zu nutzen, sollen „neue, kollaborative Formen der Arbeitsorganisation“ entwickelt werden (Deuse et al. 2015, 103). Als besonders erfolgreich eingeschätzt werden „agile Lernprozesse nach dem Scrum- oder Lean-Prinzip“ (Kinkel et al. 2016, 75), wenn sie an den praktischen Bedarfen der Beschäftigten ausgerichtet sind (Sauer/Pfeiffer

2014). Eine weitere wichtige Voraussetzung ist die Gestaltung lernförderlicher Arbeitsstrukturen, die auch bei hochqualifizierten Tätigkeiten keineswegs selbstverständlich vorausgesetzt werden können (Heidling et al. 2018; Sauer et al. 2018).

Im Folgenden wird auf die Hochschulen als diejenigen Institutionen eingegangen, die Ingenieure ausbilden, und es wird gefragt, wie sich diese Institutionen auf die Anforderungen von Industrie 4.0 einstellen.

2. AUSBILDUNG AN DEN HOCHSCHULEN FÜR INGENIEURE „INDUSTRIE 4.0“

Über die für die Umsetzung der Industrie 4.0 erforderlichen Qualifikationen und Kompetenzen verfügen vor allem Ingenieure² mit Schwerpunkten in den Bereichen Maschinenbau und Elektrotechnik sowie Informatiker. Die Ausbildung findet in Deutschland in den Hochschulen statt, die im Wesentlichen die Universitäten, die Hochschulen für angewandte Wissenschaften (HAW) und die dualen Hochschulen umfassen. Untersuchungen zur Ausbildung von Ingenieuren (allerdings ohne Bezug zum Industrie-4.0-Kompetenzdiskurs) zeigen unterschiedliche Einschätzungen hinsichtlich methodischer Kompetenzen und des Praxisbezugs des Studiums (VDI et al. 2016). Aus Sicht der Hochschullehrenden und der Absolventen werden beide Elemente eher als positiv eingeschätzt. Dagegen werden aus Unternehmenssicht methodische Kompetenzen, der Praxisbezug und fachübergreifende Fähigkeiten der Absolventen als eher unzureichend bewertet. Eher positiv werden diese Elemente von allen Gruppen bei dualen Studiengängen gesehen (VDI et al. 2016). Hinsichtlich der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung wird erwartet, dass das „Verständnis für die Modellierung sowie die Fähigkeit zur Bewertung der Ergebnisse“ eine größere Bedeutung erlangen werden (Hesse et al. 2018, 47). Stichworte sind hier unter anderem:

digitaler Zwilling, Augmented Reality, Virtual Reality. Gefordert wird eine stärkere Verbindung zwischen Grundlagenwissen in ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen und digitalen Domänen (VDI 2018). Methodisch soll stärker auf kollaboratives und interaktives Lernen gesetzt werden und die Lehrveranstaltungen sollen interaktiver gestaltet werden (HRK 2017).

Eine ganze Reihe von Hochschulen arbeitet gegenwärtig daran, ihre Curricula an den neuen digitalen Anforderungen auszurichten. Beispiele sind etwa ingenieurwissenschaftliche Curricula, die Themen wie künstliche Intelligenz, objektorientierte Programmierung und verteilte Systeme integrieren, die Zusammenfassung der Lehrangebote zu Cyber Physical Systems in einem Kompetenzzentrum oder das Angebot neuer Lerninhalte wie Embedded Systems. Auch neue Methoden der agilen Arbeitsorganisation können etwa in Studiengängen zum Informationsmanagement zum Lehrangebot gehören. Von besonderer Bedeutung ist die Förderinitiative „Curriculum 4.0 – Auswirkungen der Digitalisierung auf die Gestaltung von Studiengangreformen an deutschen Hochschulen“ der Carl-Zeiss-Stiftung.³ Neue Studiengänge werden seit 2016 an einigen Statistikfakultäten zur Ausbildung von „Data Scientists“ implementiert, die die Studierenden zum Umgang mit Big Data befähigen sollen. Schließlich sind verstärkte Kooperationen von Hochschulen mit Unternehmen zu verzeichnen. Dies gilt etwa für das Projekt „Industrie 4.0 Curriculum“, das gemeinsam von einem großen Softwarehersteller und mehreren Hochschulen entwickelt wird, oder ein Netzwerk mit Unternehmen zur Erarbeitung produktionslogistischer Innovationen im Kontext von Industrie 4.0. Ganz neue Wege in der digitalen Ausbildung beschreitet eine Hochschule für angewandte Wissenschaft mit einem projektorientierten Studienansatz, der erfahrungsbasiertes Lernen in den Mittelpunkt stellt.

2 Natürlich spielen gerade im Maschinen- und Anlagenbau auch die Qualifikationen der beruflich ausgebildeten Fachkräfte eine große Rolle. Sie sind jedoch in dieser Studie nicht Gegenstand der Untersuchung.

3 Seit Oktober 2016 werden Initiativen an zwölf Universitäten und Hochschulen gefördert, die neue Kursinhalte zu Industrie 4.0 und Digitalisierung in ihren Studiengängen verankern.

3. AUFBAU DER STUDIE

Vor dem Hintergrund dieser Diskussionen zu den Anforderungen der Unternehmen an ihre zukünftigen Beschäftigten einerseits und den Angeboten der Hochschulen im Zusammenhang mit Industrie 4.0 und Digitalisierung andererseits wurde eine thematisch und methodisch umfassende Studie zu beiden Bereichen durchgeführt. Die Studie besteht im Schwerpunkt aus qualitativen Interviewdaten, die durch eine quantitative Online-Befragung ergänzt wurden.

Die Einleitung (Teil I) gibt die Problemstellung, den Stand der Forschung, die Ziele und Methoden der Studie sowie das Sample der Befragung wieder.

Teil II, der Hauptteil der Studie, behandelt die Auswertung der Forschungsergebnisse zu den Anforderungen und Bedarfen der Unternehmen an Ingenieure, die sich aus den Entwicklungen im Kontext von Industrie 4.0 ergeben. Zunächst geht es um die Auseinandersetzung der Unternehmen mit dem Konzept Industrie 4.0 und ihr Verständnis dieses Konzepts, wobei nicht nur ihre Perspektive auf die Technikentwicklung, sondern auch auf die damit verbundene Organisationsentwicklung umrissen wird (Abschnitt II.1). Im Folgenden werden, nach einem kurzen Überblick über den Stand der Qualifikationen in den Unternehmen, die Befragungsergebnisse zu den neuen Anforderungen an Qualifikationen und Kompetenzen für Ingenieure 4.0 ausgewertet und strukturiert, die durch qualitative Interviews mit Führungskräften und Ingenieuren aus verschiedenen Unternehmensbereichen gewonnen wurden. Dies geschieht in fünf Dimensionen: fachliche Grundlagen in einer Kerndisziplin, methodische Grundlagen, querliegende fachliche Grundlagen in Informatik und Data Science, Kontextwissen und überfachliche Kompetenzen. Diese Ergebnisse werden sodann zu einem Soll-Profil für Ingenieure 4.0 verdichtet (Abschnitt II.2). Rekrutierungsbedarf und Rekrutierungsstrategien für Industrie 4.0 sind das Thema des nächsten Abschnitts. Hier spielen proaktive Personalpolitik und die Kriterien für die Rekrutierung von Hochschulabsolventen sowie das Engagement in der dualen Hochschulbildung eine wesentliche Rolle (Abschnitt II.3). Schließlich werden Kooperationen zwischen

Hochschulen und Unternehmen aus der Sicht der Letzteren betrachtet. Sie dienen im Wesentlichen dem Kompetenzaufbau der Studierenden sowie dem Technologieaustausch und -transfer; auch neuartigen Kooperationsformen wie etwa Lern- und Praxisfabriken ist ein Unterabschnitt gewidmet (Abschnitt II.4). Die ergänzenden Ergebnisse der quantitativen Befragung werden jeweils als Exkurse eingeschoben.

Teil III umfasst die Auswertung der Befragungsergebnisse an den Hochschulen. Nach einem einleitenden Teil zum Umgang der Hochschulen mit den Anforderungen aus Industrie 4.0 (Abschnitt III.1) wird zunächst das Thema der Vermittlung von Grundlagen in der Lehre vertieft (Abschnitt III.2). In der Folge geht es um die Notwendigkeit der Vermittlung neuer fachlicher Lehrinhalte für Industrie 4.0, die Frage, in welcher Form das aus Sicht der Hochschulen anzugehen ist, und die genauere Bestimmung der notwendigen Inhalte, aber auch der noch bestehenden Lücken (Abschnitt III.3). In einem eigenen Abschnitt werden die Herausforderungen benannt, denen sich die Hochschulen bei dieser Erweiterung der Lehrinhalte stellen müssen, insbesondere die kompensierende Kürzung von Lehrinhalten an anderer Stelle und die Hürden einer inter fakultativen Studienorganisation (Abschnitt III.4). Der folgende Abschnitt diskutiert die Frage der Vermittlung überfachlicher Kompetenzen in der hochschulischen Ausbildung (Abschnitt III.5). Schließlich werden neue, stärker interaktive Lehr- und Lernformate und -methoden vorgestellt und die Chancen und Probleme solcher neuen Vorgehensweisen in der Lehre besprochen (Abschnitt III.6).

Ein abschließender Teil gibt Handlungsempfehlungen auf Basis der Forschungsergebnisse, eines Workshops mit Unternehmensvertretern sowie der Rückmeldungen auf die Präsentation von Zwischenergebnissen der Untersuchung bei weiteren Veranstaltungen (Teil IV).

In einem Anhang werden die Ergebnisse der ergänzenden quantitativen Befragung im Zusammenhang wiedergegeben.

4. ZIELE DER STUDIE

Die Ziele der Studie bestehen darin, die neuen Anforderungen der Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus an Qualifikationen und Kompetenzen durch Industrie 4.0 zu erheben und ein Soll-Profil für Ingenieure für die Industrie 4.0 zu entwickeln. Darüber hinaus sollen die Angebote zu Industrie 4.0 in der Ausbildung der Studierenden seitens der Hochschulen untersucht und Hinweise für eine Weiterentwicklung der Studienangebote erarbeitet werden.

Es liegt bereits eine Reihe von Studien über die Charakteristika von Industrie 4.0 in Deutschland vor, die ein breites Themenspektrum erfassen: welche Unternehmenstypen den zukünftigen Einsatz von Industrie-4.0-Anwendungen planen, wie weit sie bisher mit der Umsetzung gekommen sind, und bis zu einem gewissen Grade auch, welche Anforderungen diese Entwicklungen an die Qualifikationen und Kompetenzen der Arbeitskräfte stellen. Die hier vorgelegte Studie erweitert die bisherigen Erkenntnisse in zwei wichtigen Punkten: Erstens geben die qualitativen Intensivinterviews, die in ausgesuchten Unternehmen mit einem breiten Spektrum von Unternehmensvertretern geführt wurden, einen tieferen Einblick in die mit Industrie 4.0 verbundenen Unternehmensprozesse und organisationalen Verschiebungen sowie ihre Folgen für die Qualifikations- und Kompetenzprofile von Ingenieuren. Zudem untersucht die Studie die Rekrutierungspraktiken und -strategien von Unternehmen – und die Gründe für die Entscheidungen, die diese bei der Einstellung von Ingenieuren treffen. Damit stehen die empirischen Grundlagen zur Verfügung, um die Anforderungen, Wünsche und Realitäten zu untersuchen, mit denen die Unternehmen bei der Einstellung und Beschäftigung von Ingenieuren und ihrer Integration in die industrielle Praxis konfrontiert sind. Der zweite wichtige Beitrag der Studie ist es, die Angebotsseite der Ingenieurqualifikationen in den Blick zu nehmen. So wird untersucht, ob und in welchem Umfang die Hochschulen Maßnahmen treffen und Initiativen ergreifen, um neue Kompetenzprofile für Ingenieure im Licht der Industrie-4.0-Anforderungen zu entwickeln, und wenn ja, welche das sind. Eine genauere Betrachtung beider Seiten zeigt auf, wie gut die Angebots- und die Nachfrageseite

für Ingenieurqualifikationen zusammenpassen, wo Lücken vorhanden sind und wie die Kommunikation, Koordination und Kooperation zwischen den Unternehmen und Hochschulen funktioniert.

5. METHODEN

Qualitative Intensivinterviews bildeten den Kern des Forschungsdesigns. Die Erhebungen in den Unternehmen und Hochschulen wurden zwischen November 2017 und März 2018 durchgeführt. In sieben Unternehmen, die sich auf unterschiedliche Regionen innerhalb Deutschlands verteilen, wurden 29 Einzel- und vier Gruppeninterviews (ab zwei Personen) durchgeführt und insgesamt 39 Unternehmensvertreter befragt. Ergänzend fand eine quantitative Online-Erhebung bei den Mitgliedsunternehmen des VDMA statt. Insgesamt haben 224 Unternehmensvertreter den Fragebogen für jeweils einzelne oder mehrere Bereiche ausgefüllt. In neun Hochschulen wurden deutschlandweit 27 Einzel- und drei Gruppeninterviews (ab zwei Personen) mit insgesamt 32 Hochschulvertretern durchgeführt. Die Interviews dauerten zwischen einer und eineinhalb Stunden und wurden ganz überwiegend vor Ort durchgeführt. Sie bilden die Grundlage für die vorliegende Darstellung der qualitativen Ergebnisse. Die Interviews wurden transkribiert und mit der qualitativen Datenanalyse-Software MAXQDA inhaltsanalytisch ausgewertet. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in anonymisierter Form.

5.1 UNTERNEHMEN: QUALITATIVE ERHEBUNG

Auf der Unternehmensseite wurden Fälle aus den drei Bereichen Werkzeugmaschinen/Fertigungssysteme, Komponentenfertigung und IT/Automatisierungstechnik ausgewählt (vgl. Tab. 1). Diese Bereiche bilden wichtige Abschnitte von Wertschöpfungsketten ab, in denen heute industrielle Produkte und Dienstleistungen hergestellt werden. Der Auswahlprozess der Unternehmen fand in intensiver Abstimmung mit Industrieexperten des VDMA statt. Die Unternehmensbereiche, die in die Untersuchungen einbezogen wurden, umfassten Forschung & Entwicklung, Fertigung, Personal/Human

Tabelle 1: Übersicht über die Auswahl der Unternehmen												
Branche	Unternehmensgröße			Grad der Digitalisierung		Art der I4.0-Nutzung		Unternehmensbereich				
	bis 500	bis 3000	3000 und mehr	Einsteiger	Fortgeschrittene	Anwender	Anbieter	F&E	Produktion	Service	Personal/Bildung	
Werkzeugmaschinen/Fertigungssysteme:												
• Spritzguss (U4)		x			x	x	x	x	x	x	x	
• Druck- und Papiertechnik (U5)			x		x	(x)	x	x	x	x	x	
Komponenten:												
• Antriebs- und Fluidtechnik (U7)			x			x	x	x	x		x	
• Pumpen, Druckluft (U2)	x			x	x	x	(x)	x	x	x		
• Industrielle Bildverarbeitung (U1)	x			x		x	(x)	x	x	x	x	
IT/Automatisierungstechnik:												
• Embedded Software und elektr. Automation (U6)			x		x	x	x	x	x	x	x	
• Fertigungs- und Unternehmenssoftware/MES u. ERP (U3)	x			x			x	x	x	x		

Resources und Bildung, Service und in ausgewählten Fällen zusätzlich entweder Vertrieb oder Einkauf. Zudem war das qualitative Forschungsdesign darauf ausgerichtet, weitere potenziell relevante Faktoren zu berücksichtigen. Um den Einfluss der *Unternehmensgröße* zu erfassen, wurden drei Größenkategorien in die Untersuchungen einbezogen: drei KMU (bis 500 Beschäftigte), ein mittelgroßes (bis 3.000 Beschäftigte) und drei großindustrielle Unternehmen (mit mehr als 3.000 Beschäftigten). Bezüglich des *Entwicklungsstands von Industrie 4.0* und Digitalisierung enthielt das Sample zwei Kategorien: „Einsteiger-Unternehmen“, die mindestens mit der Entwicklung von Industrie-4.0-Anwendungen oder -Produkten begonnen hatten, und „fortgeschrittene Unternehmen“, die bereits erste Industrie-4.0-Anwendungen umgesetzt oder Produkte für Industrie 4.0 am Markt platziert hatten. Die weitere Unterscheidung zwischen *Anwendern* und *Anbietern* von Technologie und Produkten für Industrie 4.0 orientiert sich an Kategorisierungen früherer Studien (Lichtblau et al. 2015; Kinkel et al. 2016).

In Tabelle 1 wird die Auswahl der in die Untersuchung einbezogenen Unternehmen nach Branchen, Unternehmensgröße, Umsetzungsstand von Industrie-4.0-Anwendungen, Nutzerkategorie (Anwender/Anbieter) und einbezogenen Unternehmensbereichen dargestellt. Die Zuordnungen in den Kategorien „Grad der Digitalisierung“ und „Art der I4.0-Nutzung“ beruhen auf eigenen Einschätzungen der befragten Unternehmensvertreter.⁴

In der Vorbereitungsphase für die empirischen Erhebungen in den Unternehmen wurde ein strukturierter Interviewleitfaden als Grundlage für die qualitativen Experteninterviews (Bogner et al. 2014) entwickelt. Es wurden überwiegend Führungskräfte des oberen und mittleren Managements befragt. Dazu gehörten unter anderem Produktionsleiter, Leiter der F&E-Abteilung, Ausbildungsleiter, Personalleiter usw. Zudem wurden Ingenieure befragt, deren Hochschulabschluss nicht länger als vier Jahre zurücklag. Dazu gehörten Personen aus den

4 Die Bezeichnungen in Klammern (x) heißen, dass Unternehmen mit einem kleineren Teil ihrer Aktivitäten im Feld Industrie 4.0 aktiv sind. Die Markierung sowohl bei „Einsteiger“ als auch bei „Fortgeschrittene“ bedeutet, dass sich das Unternehmen als auf dem Weg zum „Fortgeschrittenen“ im Umgang mit Industrie 4.0 sieht.

Bereichen Produktentwicklung, Konstruktion und Vertrieb. Die Mehrzahl der Fragen zielte auf detaillierte Antworten, die Interviewer fragten aber auch gezielt nach zusätzlichen Erklärungen und beispielhaften Entwicklungsprozessen. Der Leitfaden deckte folgende Themenbereiche ab:

- *Persönliche Hintergrundinformationen und allgemeine Informationen zum Unternehmen.* Hier wurden Informationen zu den Qualifikationsprofilen und Erfahrungen der Interviewten sowie grundlegende Informationen zum Unternehmen gesammelt (Struktur, Produktspektrum, Qualifikationsstruktur und Beschäftigtenzahlen). Zudem wurde nach wichtigen Entwicklungen und Veränderungsprozessen der letzten Jahre im Unternehmen gefragt. Dies zielte insbesondere auf neue Entwicklungen im Zusammenhang mit Industrie 4.0 und Digitalisierung.
- *Bestandsaufnahme von Konzepten zur Industrie 4.0 in der Wirtschaft und im Unternehmen.* In diesem Abschnitt des Leitfadens konzentrierten sich die Fragen auf das Verständnis und den Umsetzungsstand von Industrie 4.0. Um das Verständnis von Industrie 4.0 zu präzisieren, wurde die Übersicht von Lichtblau et al. 2015 eingesetzt (siehe Abschnitt II.1.1). Es ging um die mit Industrie 4.0 verbundenen Herausforderungen und die darauf bezogenen Strategien und Prozesse der Unternehmen.
- *Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die Qualifizierung/Kompetenzentwicklung und die Rekrutierung.* Dieser Leitfadenabschnitt umfasste die Kernthemen der Studie. Die Fragen zielten auf die Veränderungen von Qualifikation, Kompetenzen und Qualifizierung infolge von Industrie 4.0. Dabei wurde erhoben, welche Kompetenzen (sowohl fachlicher als auch überfachlicher Art) infolge der Umsetzung von Industrie 4.0 an Bedeutung gewinnen und wie ein neuer Mix verschiedener Disziplinen aussehen kann, um Industrie-4.0-Anforderungen zu entsprechen. In den Fragen zur Rekrutierung ging es um veränderte Strategien der Personalpolitik im Kontext von Industrie 4.0.

- *Kooperation zwischen Unternehmen und Hochschulen.* Bei dieser Fragenserie wurde erhoben, in welchen Formen sich die Unternehmen mit den Hochschulen austauschen und wie sie zusammenarbeiten. Dabei sollte auch herausgearbeitet werden, wie sie das Angebot der Hochschulen zu Industrie 4.0 sehen und welche neuen Anforderungen sie in der industriellen Praxis zukünftig erwarten.

5.2 UNTERNEHMEN: QUANTITATIVE ERHEBUNG

Ergänzend zu den qualitativen Untersuchungen fand eine quantitative Online-Erhebung bei den Mitgliedsunternehmen des VDMA statt.⁵ An der Befragung beteiligten sich insgesamt 224 Unternehmensvertreter. Da es nicht Ziel der freiwilligen quantitativen Erhebung war, einen repräsentativen Überblick über Stand und Entwicklung von Industrie 4.0 in den Unternehmen zu erlangen, sondern in Kombination mit den qualitativen Interviews ein Gesamtbild über die Anforderungen an im Bereich Industrie 4.0 tätige Ingenieure zu gewinnen, ist der Rücklauf sowohl in Bezug auf die Zahl der Befragten als auch in Bezug auf die Struktur der Befragungsteilnahme für die Zielsetzung ausreichend.

Die Befragung zielte darauf, quantifizierbare Informationen über die aus Sicht der Unternehmen erforderlichen Kompetenzen und Kenntnisse für „Ingenieure 4.0“ zu erheben. Für die Entwicklung des Fragebogens wurde auf die Ergebnisse der qualitativen Expertenbefragungen zurückgegriffen und eine entsprechende Gliederung der Befragung gewählt: Gefragt wurde nach ingenieurwissenschaftlichen Grundlagenkompetenzen, ingenieurwissenschaftlichen Methodenkompetenzen, Spezialkenntnissen, Kenntnissen in speziellen Gebieten von Industrie 4.0 sowie überfachlichen und ergänzenden Kompetenzen.

Da die Anforderungen je nach Tätigkeitsbereich unterschiedlich ausfallen (können), wurden diese zudem für die verschiedenen

⁵ Die Befragung war freiwillig und erfolgte online. Die knapp über 3.270 Mitgliedsbetriebe des VDMA erhielten ein Anschreiben mit einer Beschreibung des Anliegens und dem Link zum Online-Fragebogen.

Bereiche – Einkauf, Forschung/Entwicklung/Konstruktion, Produktion, Service/Dienstleistungen/Inbetriebnahme sowie Vertrieb – separat erhoben. Die Mehrheit der mit der Befragung erfassten Unternehmen – fast zwei Drittel (61 %) – ist Anbieter von Maschinen/Systemen, 25 % sind Hersteller von Komponenten, 8 % sind im Bereich der Automatisierungstechnik tätig, weitere 7 % konnten sich keinem dieser drei Bereiche zuordnen.

5.3 HOCHSCHULEN

Für die Auswahl der Hochschulen wurde ein Set von Kriterien entwickelt, das darauf abzielte, verschiedene institutionelle Typen, verschiedene geografische Regionen und unterschiedliche Kooperationsbeziehungen mit Unternehmen zu erfassen. Ausgewählt wurden neun Hochschulen: fünf Universitäten und vier Hochschulen für angewandte Wissenschaften, darunter eine duale Hochschule. Ähnlich wie bei den Unternehmen wurden schwerpunktmäßig solche Hochschulen einbezogen, die an der Anpassung ihrer Lehrpläne an die neuen Anforderungen im Kontext von Industrie 4.0 arbeiten und in einem Austausch mit der industriellen Praxis stehen.

Bei vier der fünf ausgewählten Universitäten wurden schwerpunktmäßig Vertreter der Ingenieurfächer Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik befragt (HSU1–HSU4). Zudem wurde ein Statistiklehrstuhl einer Universität mit einem Masterstudiengang in Data Science einbezogen (HSU5), um Einschätzungen zu dieser neuen Ausbildungsrichtung in ihrer Bedeutung für Industrie 4.0 und die Ingenieurausbildung zu erhalten. Alle fünf Universitäten sind für hohe Forschungsleistungen ausgewiesen und ihnen wird durchweg akademische Exzellenz zuerkannt. Sie liegen in drei Regionen Deutschlands (Nord-, Ost- und Süddeutschland).

Die ausgewählten Hochschulen für angewandte Wissenschaften (HAW1–HAW4) haben ihren Sitz in zwei verschiedenen Regionen (Nord- und Süddeutschland). Eine von ihnen ist eine duale Hochschule mit engen Verbindungen zur Unternehmenspraxis (HAW2). Eine neu gegründete Hochschule verfolgt einen ganz neuen Ansatz zur Ausbildung und Lehrplanentwicklung, um auf die neuen Anforderungen zu reagieren, die sich aus der Digitalisierung ergeben (HAW4).

Wie in den unternehmensbezogenen Erhebungen wurden auch hier intensive Experteninterviews mit verschiedenen Interviewpartnern aus jeder Bildungsinstitution geführt. Wie in den Unternehmen umfasste der Leitfaden für die Hochschulen als Schwerpunkte Hintergrundinformationen (befragte Person und Hochschule bzw. Fakultät), das Verständnis der begrifflichen Grundlagen des Konzepts Industrie 4.0, die Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die Hochschulbildung der Studierenden sowie die Kooperation zwischen Hochschulen und Unternehmen. Da in den Ingenieurprofilen für Industrie 4.0 ein Mix von Disziplinen wachsende Bedeutung erhalten hat, wurden pro Institution in acht der neun Hochschulen Vertreter des Maschinenbaus, der Elektrotechnik und der Informatik, wiederum mit Unterstützung des VDMA, als Interviewpartner ausgewählt, um ein umfassendes Bild davon zu erhalten, welche Rolle welche Disziplin spielt, wie sie aufeinander abgestimmt sind und wie sie zusammenarbeiten. Zusätzlich wurde an universitären Veranstaltungen teilgenommen, in denen die Resultate neuer Lehr- und Lernformate präsentiert wurden.

II. UNTERNEHMEN

1. DIE AUSEINANDERSETZUNG DER UNTERNEHMEN MIT INDUSTRIE 4.0

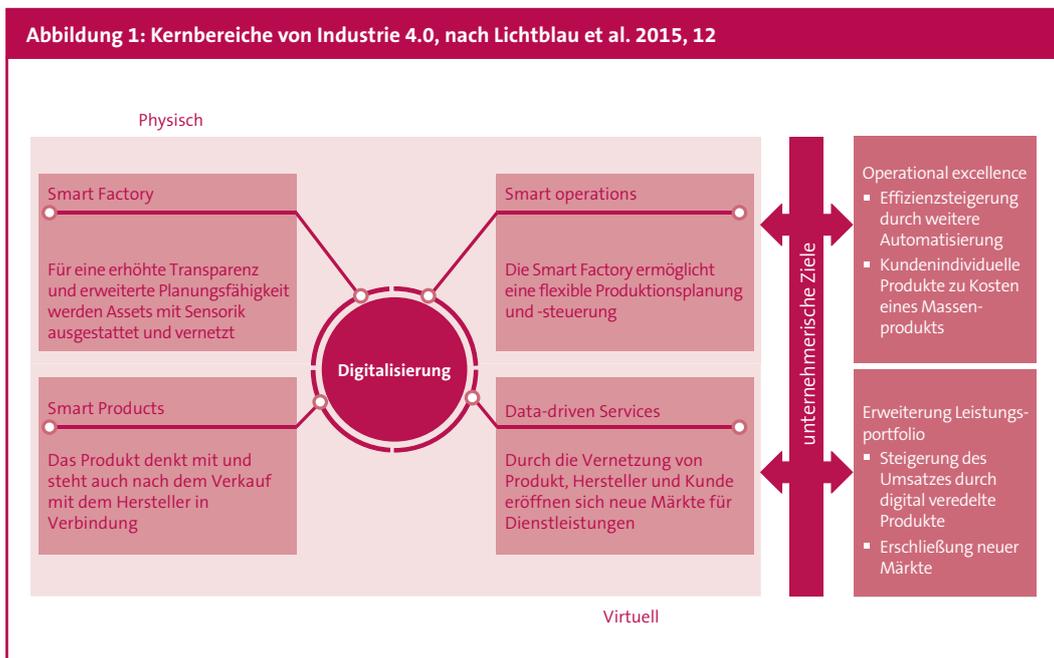
Es ist von zentraler Bedeutung zu erfassen, was Unternehmen unter Industrie 4.0 verstehen und auf welchem Entwicklungsstand sie sich befinden. Auf dieser Grundlage sind Entwicklungsperspektiven der Nachfrage nach den Qualifikations- und Kompetenzprofilen für Ingenieure derzeit und für zukünftige Trends der nächsten fünf bis zehn Jahre erkennbar. Im Folgenden werden die unternehmensinternen Einschätzungen zu Industrie 4.0 und die damit verbundenen technischen und organisatorischen Entwicklungen und Anforderungen überblicksartig dargestellt, wie sie in den Erhebungen mit Unternehmensvertretern erfasst wurden.

1.1 AKTUELLE PERSPEKTIVEN AUF TECHNIKEWICKLUNG

Industrie 4.0 umfasst die Fähigkeit, Maschinen in und zwischen Fabriken digital zu verbinden, so dass zwischen ihnen ein automatisierter Informationsfluss möglich ist. So können beispielsweise Planungssysteme entwickelt werden, die permanent vielfältige Arbeitsgänge automatisch berechnen, aufeinander abstimmen und die resultierenden Informationen

an Fertigungssteuernde übermitteln. Dazu gehört auch die Möglichkeit, Fertigungsbetriebe digital mit vorgelagerten und nachgelagerten Akteuren (insbesondere Zulieferern und Kunden) zu verbinden. Ferner kann Industrie 4.0 einen verstärkten Einsatz von Sensoren umfassen, die Daten über sämtliche Aspekte einer Fertigungslinie sammeln, vom zeitlichen Verzug zwischen unterschiedlichen Produktionsstadien über automatisierte Fehlererkennung und -behebung sowie Identifizierung von Wartungsbedarf bis hin zu feingranularen Details der Outcomes, was ein erhöhtes Niveau des Qualitätsmanagements ermöglicht. Schließlich kann Industrie 4.0 bedeuten, dass durch Einsatz von Rechenkapazität sehr große Datenmengen analysiert werden, um auf Basis dieser Analysen automatisierte Entscheidungen bezüglich der Fertigung zu treffen.

Die befragten Unternehmensvertreter erwähnten durchgängig, dass sie sich in der einen oder anderen Form in den genannten Entwicklungen engagieren. Erste Reaktionen zeigten, dass unter Industrie 4.0 unterschiedlichste Aspekte subsummiert werden. Dies geht auch mit der Wahrnehmung einher, dass der Begriff unzureichend definiert sei. So meinte ein Interviewpartner:



„Ich glaube, die ultimative einheitliche Beschreibung gibt es so nicht. Jedes Unternehmen muss das für sich letztendlich definieren. [...] Und ich sag immer, wenn Sie 20 Leute fragen, kriegen Sie 25 Antworten zum Thema Industrie 4.0“ (U7).⁶

Als gehaltvoller und relevanter erschienen den Interviewpartnern techniknähere Begriffe, wie beispielsweise „Digitalisierung“, „digitale Transformation“ und „vernetzte Produktion“, sowie Umschreibungen, die mit konkreten Umsetzungsanwendungen digitaler Technologien im Zusammenhang stehen, etwa „produktgetriebene Fertigung“, „neue Produkt- und Systemlösungen“, Abbau von „transaktionalen, über Hierarchien und Genehmigungsprozesse gesteuerten Vorgängen“, „Entscheidungsvereinfachungen“, „Optimierung von Prozessen und Produkten“ und „Geschäftsmodellentwicklungen“. Die individuellen Definitionen und Beschreibungen, die die Gesprächspartner im Interviewverlauf lieferten, sind einander wiederum bemerkenswert ähnlich und lassen sich zum Großteil den vier Bereichen Smart Factory, Smart Products, Smart Operations und Data-driven Services zuordnen, wie Lichtblau et al. (2015) sie als Kernbereiche von Industrie 4.0 identifiziert haben (siehe Abbildung 1).

Die meisten befragten Unternehmen sind unterwegs zur *Smart Factory*, d. h. sie sind zumindest in bestimmten Abteilungen (etwa Logistik oder Fertigung) im Begriff, digitale Verbindungen zwischen ihren Maschinen und Prozessen zu schaffen. Häufig benannt wurden Aktivitäten zur Etablierung „intelligenter Abläufe“ oder „in Richtung der Automatisierung von Fertigungsprozessen und Fertigungsabläufe von CAD abgeleitet, auch in Richtung von Prozessen, die die Rückverfolgbarkeit von Fertigungsschritten ermöglichen“. Industrie 4.0 wird außerdem mit der Möglichkeit verbunden, die Attraktivität von Produkten zu erhöhen („intelligente Produkte“), etwa durch

„individuelle produktgetriebene Fertigung“ und beispielsweise den Einsatz von Sensoren für Zustandsüberwachung (Condition Monitoring) oder vorausschauende Wartung (Predictive Maintenance). Bei einigen dieser Entwicklungen von *smarten Produkten* wird deutlich, dass sie bereits im Umsetzungsstadium, jedoch mit diversen Hindernissen konfrontiert sind, die den Fortschritt auf diesem Gebiet bremsen, etwa mit Problemen der technischen Inkompatibilitäten zwischen Unternehmen, aber auch der Cybersecurity oder des Datenschutzes. Hierzu erläutert ein Interviewpartner die Frage des Zugriffs auf Maschinendaten beim Kunden:

„Wenn Sie dann sehen, dass diese Maschine von sieben Tagen die Woche vielleicht nur an zwei Tagen produziert, dann könnten Sie daraus Rückschlüsse auf die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens ziehen. Also wem gehören diese Daten? Darf ich die sehen? Und was mache ich damit? Wenn diese Maschine sieben Tage die Woche rund um die Uhr agiert, dann können Sie vielleicht hingehen und sagen: Hast du Bedarf für eine neue Maschine, eine größere, eine schnellere, eine breitere Maschine? Das ist schon ein Regelungsgebiet, in dem wir Klarheit brauchen, weil die Daten eigentlich dem gehören, dem die Maschine gehört. Ich brauche dafür eine Vereinbarung“ (U5).

Ansätze zu *Data-driven Services* und Data Analytics befinden sich im Erhebungssample teilweise noch in frühen Entwicklungsstadien, gelten aber als attraktiv für eine Zukunft, in der viel engere und digital ausgestaltete Beziehungen zwischen Herstellern und Kunden bestehen werden.

„Diese Data-driven Services sind Dinge, die technologisch da sind, aber wir haben noch wenig Erfahrung, wie das in der Kunden-Lieferanten-Beziehung funktioniert und was Kunden erlauben werden oder nicht erlauben werden. [...] Und in den Data-driven Services definieren wir gerade Aufgaben, wie wir in einer plattformgelagerten IT-Welt unseren Kunden weitere Applikationsservices anbieten können, die außerhalb der Maschine liegen“ (U4).

⁶ Bei den angeführten Zitaten handelt es sich um wörtliche Rede, die entsprechend den Gütekriterien qualitativer Forschung und zum Zweck der besseren Lesbarkeit nur minimal überarbeitet wurde. Der Sinngehalt der Aussagen wurde dabei nicht verändert. Auslassungen in Zitaten sowie klärende Einschübe der Studienautoren stehen in eckigen Klammern. Zu Anonymisierungszwecken wurden Orts- und andere Angaben durch [XY] ersetzt.

Zum einen bestehen momentan große Herausforderungen bei der Frage der Datensicherheit. So meint ein Interviewpartner:

„Big Data ist eine Herausforderung vor dem Hintergrund der IT-Sicherheit und vor dem Hintergrund der Akzeptanz auch bei den Kunden. Dinge in einer Cloud, in großen Systemen überhaupt abzulegen, da hat jeder erst mal Angst“ (U6).

Zum anderen befindet sich der entsprechende Markt noch in einem Anfangsstadium, so die Einschätzung eines weiteren Interviewpartners:

„Wir haben uns an den Data-driven Services versucht, aber das ist nicht unbedingt das, was ich unter einer umfangreichen Industrie-4.0-Implementierung verstehe, weil das bei unseren Kunden einfach realistischerweise noch nicht zur Anwendung kommt. Das ist nicht so, dass wir das nicht machen, sondern dass unsere Kunden das im Moment noch nicht im großen Umfang wollen“ (U3).

Data Analytics spielen aber auch eine Rolle in der Erfassung und Auswertung von Daten, die durch Maschinenfunktionen und Prozessverbindungen im Bereich der „intelligenten Fabrik“ und der „intelligenten Abläufe“ bzw. *Smart Operations* erzeugt werden. Die diesbezügliche Nutzung von Daten und Algorithmen wurde von den Gesprächspartnern häufig thematisiert; sie stellt eine Herausforderung für Unternehmen dar, deren Produktportfolio und Orientierung eigentlich hauptsächlich auf dem Gebiet des Maschinenbaus oder verwandter Felder liegen. Ein Befragter meint dazu: *„Das heißt, dort entstehen neue Anforderungen [...]. Und das sind aber alles hochqualifizierte Stellen. Und die haben wir heute teilweise gar nicht“ (U7).* Data Analytics wurde häufig als vielversprechendes Zukunftsfeld bezeichnet: die durch digitale Technik ermöglichte Generierung und Sammlung von Daten, neue Möglichkeiten ihrer Integration, Auswertung und Nutzung zu verschiedensten Zwecken im Produktions- und Wertschöpfungsprozess, von der verbesserten Abstimmung interner Abläufe über organisatorische Verschlinkungen von Prozessen bis hin zur Etablierung neuer Geschäftsmodelle durch datenbasierte Services. Hier entsteht für den Maschinenbau ein ganz

neues Aufgabengebiet, es wird *„mehr Intelligenz in Maschinen verlagert“* und mit dem Einsatz von Cloud-Lösungen für eine Kommunikation zwischen Maschinen über Unternehmensgrenzen hinweg verbunden. Diesbezüglich ist übergreifender Tenor in den Interviews, dass erst mit der Etablierung künstlicher Intelligenz zur Steuerung von Abläufen der revolutionäre und disruptive Schritt zu einer Industrie 4.0 tatsächlich vollzogen sein werde.

Die in der vorliegenden Studie untersuchten Unternehmen präsentierten zahlreiche Pläne und Strategien, die sich auf Industrie 4.0 beziehen und sowohl in der Anwender- als auch in der Anbieterperspektive mit der Annahme weitreichender Veränderungen verbunden sind. Gleichzeitig war eine dominante Position, dass das Konzept Industrie 4.0 weitaus weniger disruptiv ist, als es in der öffentlichen Debatte erscheint. *„Und ich persönlich für meinen Teil muss sagen, diese angekündigte Revolution ist doch eine Evolution“ (U7).* Eine Reihe von Interviewpartnern betonte, dass viele der mit Industrie 4.0 assoziierten Prozesse in früheren Entwicklungen wurzelten. Besonders die Automatisierung von Fertigungsprozessen wurde hier genannt: *„Da waren wir historisch schon immer gut [...], da hatte man schon immer sehr viel in die IT [investiert], um die ganzen Fertigungsprozesse automatisiert zu fahren“ (U4).* Digitalisierung sei nichts genuin Neues und bringe nicht ausschließlich neue Möglichkeiten mit sich:

„Wir hatten ja in den 80er Jahren geglaubt, da gab es ja dieses CIM-Projekt, Computer Integrated Manufacturing hieß das, da haben wir damals gedacht, wir kriegen alles mit Algorithmen gelöst. Im Prinzip ist diese Industrie 4.0 eigentlich so eine Fortführung von diesem CIM-Gedanken, heute natürlich mit anderen Möglichkeiten“ (U2).

Exkurs: Quantitative Befragung

Die *quantitative Befragung* spiegelt dieses Ergebnis der qualitativen Studie: Die Unternehmen sehen sich überwiegend auf dem Weg zur Industrie 4.0, d. h. der größte Teil der Unternehmen hat bereits diverse Schritte in diese Richtung unternommen, hat sich mit diesem Thema beschäftigt und es spielt auf verschiedenen Ebenen eine Rolle. 56 % schätzten ein, dass ihr Unternehmen bei der Umsetzung von Industrie 4.0 auf einer Skala von 0 (gar nicht begonnen) bis 10 (an der Spitze) im Bereich von 3 bis 5 liegt, 36 % der Unternehmen sahen sich bei Stufe 6 bzw. 7 und 8 % der Unternehmen bei Stufe 8 bis 10, d. h. weit vorangeschritten bzw. an der Spitze (Tabelle 2). Durchschnittlich befanden sich die Unternehmen nach eigener Einschätzung bei einer Stufe von 5,2.

	Gesamt	Maschinen/ Systeme	Komponenten	IT/Automatisie- rungstechnik	Anderes/Keine Angabe
Am Anfang (0,1,2)	–	–	–	–	–
Begonnen (3,4,5)	56	59	64	22	40
Entwickelt (6,7)	36	34	33	50	47
Weit, an der Spitze (8,9,10)	8	7	4	28	7
Gesamt	100	100	100	100	100
Durchschnitt	5,2	5,1	4,8	6,7	5,6

Quelle: IMPULS Erhebung: Ingenieurinnen und Ingenieure für Industrie 4.0, 2018

1.2 AKTUELLE PERSPEKTIVEN AUF ORGANISATIONSENTWICKLUNG

Die mit Industrie 4.0 verbundenen technischen Entwicklungen sind eng mit organisationalen Entwicklungen verschränkt, die einen entscheidenden Einfluss auf die Kompetenzanforderungen ausüben, die in den befragten Unternehmen an Ingenieure gestellt werden, insbesondere im Bereich der fachlichen, fachlich-methodischen und überfachlichen Fähigkeiten. Viele unmittelbare Antworten auf die Frage nach einer Definition von Industrie 4.0 verweisen auf Formen der Automatisierung oder selbststeuernder Prozesse: „Im Prinzip die Modernisierung und Automatisierung der gesamten SCM-Kette von allen Unternehmen“, oder: „Alles Händische raus. Alles digitalisieren, alles miteinander verknüpfen.“ Solche Kennzeichnungen von Industrie 4.0 könnten zu dem Schluss verleiten, dass die Entwicklungen bezogen auf die Beschäftigten von einer Dequalifizierung oder zumindest Polarisierung von Kompetenzanforderungen geprägt sind und sein werden. Doch die fortlaufenden Beschreibungen der organisatorischen Veränderung und der organisationsseitigen Erwartungen an den Arbeitsprozess legen das genaue Gegenteil nahe, nämlich steigende Anforderungen an

Kompetenzen von Ingenieuren in fachlichen, methodischen und überfachlichen Dimensionen. Fast in jeder Beschreibung von Industrie-4.0-Anwendungen werden Handlungsanforderungen betont wie Vernetzung, Systemintegration, Beschreiten neuer Informationswege, Generieren neuen Informationsaustauschs, Systems Engineering, direkter Austausch zwischen einzelnen Fertigungsschritten und -bereichen und der Wegfall von hierarchisch gesteuerten Vorgängen. Hier wird die begleitende, planerische, analytische Rolle des Ingenieurs im Prozess hervorgehoben. Zweck der Digitalisierung sei es unter anderem, „dem Mitarbeiter oder dem Ingenieur oder dem Entscheider alle Dinge an die Hand zu geben, um seine Entscheidung perfekt treffen zu können“ (U4).

„Ja klar, das sind schon Dinge, wo wir die eine oder andere Überraschung auch erleben werden oder wo der eine oder andere Roboter auch vielleicht zukünftig in unserer Fertigung das eine oder andere tun wird. Aber geschenkt bekommen Sie das auch nicht. Dem müssen Sie das auch irgendwie beibringen und der Mensch ist in vielen Dingen doch gerade jetzt [in Bezug] auf sich verändernde und schnell verändernde Prozesse nach wie vor deutlich

flexibler, glaube ich, als jede Maschine. Wenn er natürlich die Unterstützung hat, er hat die Auswertung, er hat die Daten, wird er bessere Entscheidungen treffen. Und in dem Sinne wollen wir den Menschen hier doch als Steuerer und denjenigen, der alles in der Hand hat, behalten und wollen uns nicht komplett fremdbestimmen lassen“ (U2).

Weil Industrie 4.0 grundsätzlich eine Vernetzung von Prozessen und Systemen bedeutet, werden die Grenzen zwischen Unternehmensfunktionen und spezialisierten Ingenieur Tätigkeiten sowie zwischen Kunden und Herstellern zunehmend durchlässiger. Ingenieure verschiedener Fachbereiche müssen zusammenarbeiten, um eine Komplettlösung für eine vernetzte Produktion zu erarbeiten, und diese dann auch aufrecht erhalten. Zwar sind Projektteams schon seit einiger Zeit charakteristisch für Industriearbeit, aber bei Industrie-4.0-Anwendungen geht es nicht darum, dass einzelne Entwickler aus verschiedenen Abteilungen ihre Expertise oder ihr Spezialwissen zur Produktentwicklung beitragen und dann wieder in ihre „eigenen“ Abteilungen zurückkehren. Vielmehr sind Ingenieure mit potenziell unterschiedlichen Spezialkenntnissen aus Maschinenbau, Anwendungstechnik, Elektrotechnik und anderen Disziplinen permanent damit befasst, gemeinsam einen integrierten, vernetzten Prozess zu gestalten und zu betreiben. Zudem hat der Anteil von Software-Anwendungen enorm zugenommen und diese bilden eine Hauptkomponente jedes Industrie-4.0-Prozesses. Entsprechend legen die Softwareabteilungen selbst in traditionellen Maschinenbau-Unternehmen rasch an Umfang und Einfluss zu und werden immer mehr in die Fertigung oder die F&E-Abteilungen der Unternehmen integriert, statt getrennt davon zu arbeiten. Software-Ingenieure oder IT-Spezialisten sind daher ebenfalls unverzichtbare integrierte Mitglieder von Produktionsprozessen, gemeinsam mit Maschinenbauern, Elektrotechnikern und anderen Ingenieuren. Eine Beschreibung des Typs von Fachkräften, die in Verbindung mit Industrie 4.0 gebraucht und gesucht werden, lautet entsprechend:

„Leute, die über ihren kleinen Anteil dessen, was sie konstruieren, was sie entwickeln, hinausschauen können und sich ein globales Bild für den gesamten Prozess verschaffen können [...], sich also auch in Prozessgeschehen der Kunden hineinversetzen können“ (U4).

All diese Entwicklungen haben Folgen für die fachlichen Qualifikationsprofile künftiger Ingenieure. Zugleich führen insbesondere die kritische Haltung gegenüber der politisch induzierten öffentlichen Debatte zu Industrie 4.0 und die Einschätzung, dass es sich weniger um einen disruptiven als vielmehr um einen evolutionären Wandel handelt, zu einer gewissen Vorsicht, was das Über-Bord-Werfen und Umstürzen vorhandener Strukturen angeht – und diese Vorsicht betrifft auch die Ingenieurtypen und die Kenntnisse und Fähigkeiten, die in Zukunft gebraucht werden.

2. NEUE ANFORDERUNGEN AN EIN QUALIFIKATIONS- UND KOMPETENZPROFIL „INGENIEURE 4.0“

2.1 STAND DER QUALIFIKATION IN DEN BEFRAGTEN UNTERNEHMEN

Den Ergebnissen der quantitativen Befragung zufolge sind Ingenieure am häufigsten im Bereich Forschung, Entwicklung und Konstruktion mit Aufgaben und Fragestellungen betraut, die im Zusammenhang mit Industrie 4.0 stehen, gefolgt von Service/Dienstleistung/Inbetriebnahme, Vertrieb und Produktion (vgl. Anhang, Punkt 3). Dem steht die faktische Qualifikationsstruktur in einzelnen Unternehmensbereichen gegenüber. In den qualitativen Interviews weisen die befragten Unternehmen eine durchaus gemischte Qualifikationsstruktur auf, die an den vorhandenen Kategorien traditioneller Berufsausbildungen und akademischer Profile orientiert ist. Fertigungs- und Logistikabteilungen beschäftigen hauptsächlich Facharbeiter und Techniker sowie eine Minderheit von Ingenieuren, die planende oder optimierende Tätigkeiten ausüben. Forschungs- und Entwicklungsabteilungen, Softwareabteilungen und andere spezialisierte Bereiche wie strategische

Entwicklung weisen eine Mehrheit von Ingenieuren oder sonstigen akademisch ausgebildeten Beschäftigten auf. Die Abschlüsse wurden auf verschiedenen Feldern des Maschinenbaus (Automatisierungstechnik, Produktionstechnik, Konstruktionsingenieure – mechanisch und elektrisch), im Wirtschaftsingenieurwesen, auf verschiedenen Gebieten von Elektrotechnik und Mechatronik und zunehmend auch auf dem Gebiet der Informatik oder anderen Feldern des Software-Ingenieurwesens erworben. Je nach Unternehmen und Produktportfolio können auch Beschäftigte mit naturwissenschaftlicher Ausbildung (Physik, Chemie, Mathematik) vertreten sein. Zudem sind zum Teil Abteilungen für strategische Geschäftsentwicklung oder Innovation entstanden. Sie sind meist noch recht neu und relativ klein. Diese Abteilungen stellen oft jenseits der üblichen Kategorien ein und suchen weniger bestimmtes akademisches Spezialwissen als Fähigkeiten auf neuen Gebieten wie Innovation Studies oder Entrepreneur(ial) Studies. Besonders Software-Abteilungen legen oft Wert auf den Qualifikationsmix ihrer Beschäftigten.

Die meisten Unternehmen in unserem Sample weisen eine Mischung von Abschlusstypen auf: an Universitäten (Bachelor, Master, promoviert), an Hochschulen für angewandte Wissenschaften, im dualen Studium. Das wird teilweise mit strategischen, teilweise mit praktischen Erwägungen begründet.

„Wir sehen einen Vorteil [darin], einen Mix davon zu haben. Der eine ist sehr sicher in der Theorie, der andere kennt mehr den praktischen Nutzen, und wenn man das richtig kombiniert, sehen wir den größten Effekt. Nicht jeder Kandidat kann alles mitbringen“ (U4).

Hinsichtlich der praktischen Implementation und Anwendung digitaler Technologien im Produktions- und übergreifenden Geschäftsprozess können die befragten Unternehmen bis dato keine spezifische Qualifikationsstruktur vorweisen. So spielte der digitale technologische Wandel in der Ausbildung der bereits in den Unternehmen beschäftigten Ingenieure überwiegend keine Rolle, selbst in den jüngeren Kohorten nicht. Zum einen, weil die entsprechenden Inhalte zu Zeiten der Ausbildung noch

nicht angeboten wurden. Ein Gesprächspartner, der sein Studium vor vier Jahren beendet hat, meint dazu:

„Man hat vielleicht zweimal etwas darüber gelesen [...], aber nicht in dem Sinn, dass 4.0 oder diese Vernetzung im Unterricht angesprochen wurde. Man befasst sich dann eher mit kleineren Punkten aus dieser Vernetzung. Irgendeine Kommunikation oder irgendeine Programmierung oder so was halt in den einzelnen Fächern, aber als großer, übergreifender Punkt war es eigentlich im Studium nicht vorhanden“ (U2).

Zum anderen, weil vorhandene Angebote (noch) nicht ausreichend aufgegriffen werden. Ein Ingenieur, der jüngst nach seinem dualen Studium übernommen wurde, meint hierzu:

„Also ehrlich gesagt, hat sich keiner dafür ausgesprochen. Also man wird ja auch irgendwie ein bisschen da rangeführt. Wenn mir jetzt einer gesagt hätte, das ist total wichtig, dann hätte ich das auch gewählt wahrscheinlich“ (U2).

Insgesamt zeigt sich in den befragten Unternehmen das Bild, dass die Entwicklung hin zur Industrie 4.0 als besondere Herausforderung wahrgenommen wird, die mit spezifischen Anforderungen an Qualifikations- und Kompetenzprofile betroffener Ingenieure einhergeht. Diesbezüglich sehen sich alle Unternehmen unter Druck, entsprechende personelle Ressourcen weiter aufzubauen, da der bisherige Stand als nicht ausreichend erachtet wird. Gleichzeitig rekurrieren alle Gesprächspartner darauf, dass die vorhandene Qualifikationsstruktur eine sehr gute Basis darstellt und in vielerlei Hinsicht eine erfolversprechende „Ausbaufähigkeit“ aufweist – und dieser Ausbau werde schon längst in den Unternehmen selbst vorangetrieben. Dies bedeutet zum einen, dass die Frage nach Ingenieuren für Industrie 4.0 aus Sicht der Unternehmen sich nicht allein auf Absolventen und Inhalte der hochschulischen Erstausbildung beziehen kann, sondern den Aspekt der beruflichen Weiterbildung und des lebenslangen Lernens zwingend umfassen muss. Dies deckt sich auch mit dem Ergebnis der quantitativen Befragung, dass 79 % der befragten

Unternehmen die Qualifikation der Absolventen ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge hinsichtlich der Anforderungen für Industrie 4.0 immerhin als ausreichend (in Abgrenzung zu „nicht zufriedenstellend“, „zufriedenstellend“ und „sehr zufriedenstellend“) einschätzen (vgl. Anhang, Punkt 5.2). Zum anderen verweist es auf die durchgehend getätigte Aussage, dass das Herzstück einer Ingenieurausbildung nach wie vor der jeweilige fachliche Kern ist und bleiben muss, unabhängig davon, ob ein Mitarbeiter in erster Linie mit Industrie-4.0-spezifischen Anforderungen konfrontiert ist oder nicht. Denn auch diese Aussage wurde durchgängig getroffen: Bei aller Vielfältigkeit und Durchschlagskraft der digitalen Transformation werden Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus auch weiterhin klassisch ausgebildete und fachlich hochspezialisierte Ingenieure benötigen. Das breite Spektrum neuer Anforderungen an Ingenieure für Industrie 4.0 wird im Folgenden dargestellt.

2.2 WELCHE INGENIEURE WERDEN FÜR INDUSTRIE 4.0 BENÖTIGT?

Bei einer ersten kursorischen Bestimmung dessen, welches Qualifikations- und Kompetenzprofil ein Ingenieur für den Umgang mit Industrie 4.0-geprägten Arbeitskontexten aufweisen sollte, zeigte die Auswertung der erhobenen Daten zunächst das Bild einer Art „Superingenieur“: interdisziplinäres Grundwissen, ausgeprägte Methodenkompetenz, umfassende Kenntnisse in einem speziellen ingenieurwissenschaftlichen Anwendungsbereich, zusätzliche fundierte Kenntnisse in Informatik und Softwareentwicklung, mit der besonderen Fähigkeit zu Prozess- und Systemdenken sowie einer ganzen Reihe an überfachlichen Kompetenzen, wie beispielsweise selbstständiges Arbeiten, Lernorientierung, Teamfähigkeit und dergleichen mehr. Im Lauf der Analyse bot sich ein differenzierteres Bild, was die inhaltlichen Anforderungen sowie ihr spezifisches Zusammenspiel anbelangt. Dies wird im Folgenden ausgeführt.

2.2.1 FACHLICHE GRUNDLAGEN IN EINER KERNDISZIPLIN

Einhellige Meinung aller Befragten ist, dass für Ingenieure, die im Maschinen- und Anlagenbau Anwendungen der Industrie 4.0 maßgeblich gestalten und umsetzen, die Notwendigkeit einer fundierten Ausbildung in einer der klassischen Kerndisziplinen Maschinenbau, Elektrotechnik oder Informatik weiterhin bestehen bleiben wird. Die Beherrschung der Grundlagen einer fachlichen Kerndisziplin sei unumgängliches Fundament, auf dem spezifischeres Wissen erst aufgebaut werden könne. Ein Interviewpartner drückt es so aus:

„Meiner Meinung nach ist trotzdem das Grundlagenwissen, das Fachwissen immer noch notwendig, damit das Verständnis überhaupt da ist von dem Neuingenieur, was er mit der Technologie machen kann, welche Möglichkeiten sich ergeben“ (U4).

Ein anderer Interviewpartner beginnt seine Ausführungen dazu, wie er sich den idealen Hochschulabsolventen für den Maschinen- und Anlagenbau in fünf Jahren vorstellt, folgendermaßen:

„Ich fokussiere jetzt mal gerade auf technische Berufe, Maschinenbau. Das ist ein sicherer Umgang mit den physikalischen Grundgesetzen. Ich meine also wirklich nicht Advanced Technology, sondern ich meine so was wie Allgemeinbildung. Maschinenbautechnische Allgemeinbildung. Das ist eine Grundlage“ (U6).

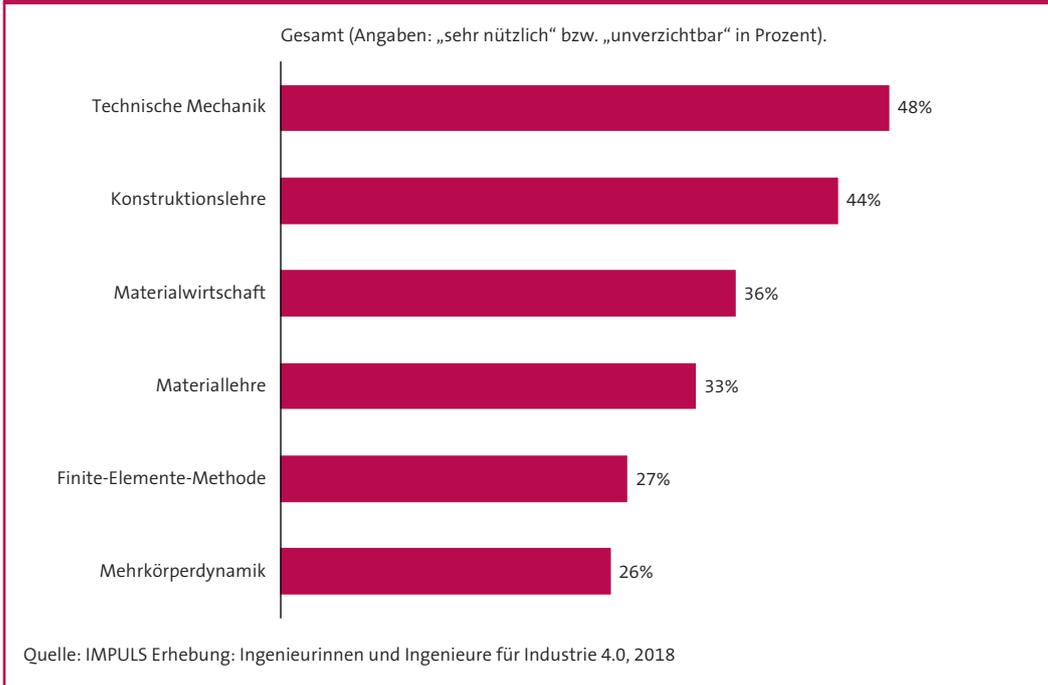
Ein weiterer Gesprächspartner antwortet auf die Frage, ob zukünftig mehr hybride Disziplinen entwickelt werden sollten:

„Also ich würde eher favorisieren [...] eine gute Basisausbildung in den Basiswissenselementen, weil diese ausschließlich hybriden Themen oftmals die Qualität in dem Basiswissen zu wenig wirksam ausbringen. Wenn jemand mit einem guten Basiswissen aus einer Fachdisziplin kommt und sich dann über seine tägliche Arbeit oder über Zusatzqualifikation noch in den einen oder anderen Bereich weiter hineinentwickelt, muss er in diesen erweiterten

Exkurs: Quantitative Befragung

Die quantitative Befragung zielte im Wesentlichen auf die Erhebung konkreter Elemente der ingenieurwissenschaftlichen Grundlagen- und Spezialkompetenzen. Bei den Grundlagenkompetenzen zeigte sich die in Abbildung 2 dargestellte Rangfolge der Bedarfe. Weit an der Spitze stehen aus Sicht der Befragten die Technische Mechanik und die Konstruktionslehre, eher seltener benötigt werden hingegen die Mehrkörperdynamik und die Finite-Elemente-Methode.

Abbildung 2: Für wie notwendig halten Sie die folgenden ingenieurwissenschaftlichen Grundlagenkompetenzen für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten?



Je nach Einsatzbereich schätzten die Unternehmen die Anforderungen jedoch deutlich unterschiedlich ein (vgl. Abbildung A-2):

- Im Einkauf bzw. Vertrieb wurden die einzelnen Kompetenzen tendenziell weniger genannt. Dies gilt insbesondere für Finite-Elemente-Methode (9 %) und Materiallehre (11 %).
- Im Bereich Forschung, Entwicklung und Konstruktion ist das Gewicht der einzelnen Grundlagenkompetenzen mit Ausnahme der Materialwirtschaft dagegen tendenziell höher.
- Im Bereich der Produktion sticht die Materialwirtschaft klar (76 %) und die Materiallehre etwas (41 %) hervor.
- Im Bereich Service und Inbetriebnahme wurden die Kompetenzen bis auf Technische Mechanik und Mehrkörperdynamik eher weniger häufig genannt.

Auch der Schwerpunkt des Unternehmens spielte bei den genannten Grundlagenkompetenzen eine Rolle: Von den Unternehmen mit Schwerpunkt IT/Automatisierungstechnik werden die Grundlagenkompetenzen zumeist weniger häufig als unverzichtbar angesehen – eine Ausnahme bildet hier die Materialwirtschaft (33 %).

In der Online-Erhebung wurde zudem nach der Bedeutung von Ingenieurwissen in Spezialgebieten gefragt, die in mehr oder weniger engem Verhältnis zur Industrie 4.0 stehen (Abbildung 3). Das kann vertiefende Kenntnisse in fachlichen Spezialgebieten sowie über bestimmte Unternehmensbereiche umfassen. Hier wurden Kenntnisse im Bereich der Automatisierung und der Sensorik am häufigsten als „sehr nützlich“ oder „unverzichtbar“ genannt. Im Ranking folgen darauf Kenntnisse in vernetzter Produktion, Systems Engineering und Robotik. Vergleichsweise selten wurden Kenntnisse in den Bereichen Energiesysteme, Motorentechnik und Werkzeugmaschinen als notwendig für die Ingenieure im Bereich der Umsetzung von Industrie 4.0 angesehen – also eher klassische maschinenbautechnische Schwerpunkte. Bezogen auf die Bereiche (vgl. Abbildung A-6) sind die Bedarfe von Forschung/Entwicklung/Konstruktion und Service/Inbetriebnahme sehr ähnlich und haben die Schwerpunkte bei Automatisierung und Sensorik. In der Produktion werden vor allem Spezialkenntnisse in Logistik und vernetzter Produktion benötigt. Der Einkauf/Vertrieb hat mit Ausnahme der Spezialkenntnisse für den (technischen) Vertrieb tendenziell einen deutlich geringeren Bedarf an Spezialkenntnissen. Es dominieren hier somit Kenntnisse, die direkt mit den Anforderungen der Digitalisierung verbunden sind.

Abbildung 3: Für wie notwendig halten Sie die folgenden Spezialkenntnisse für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten?

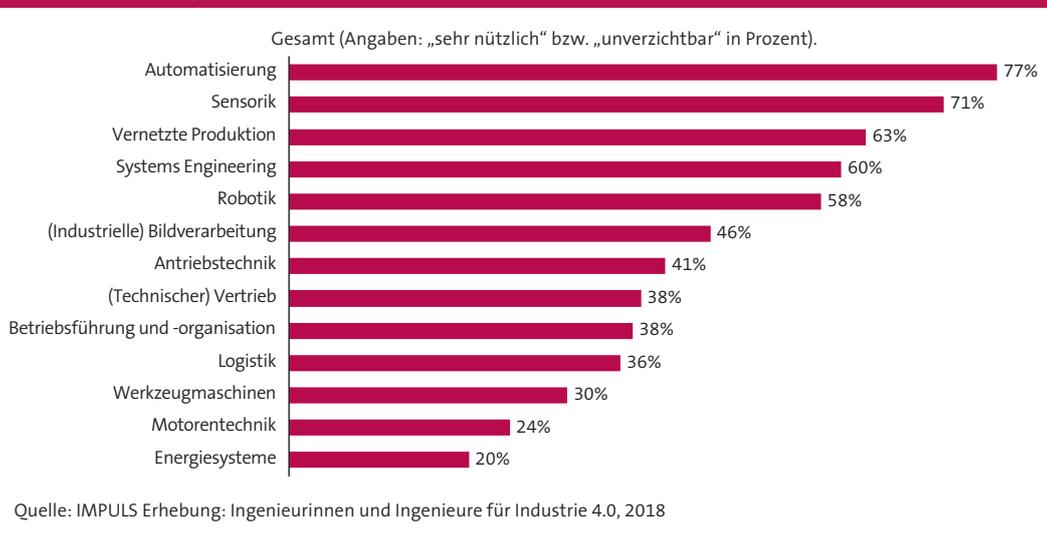
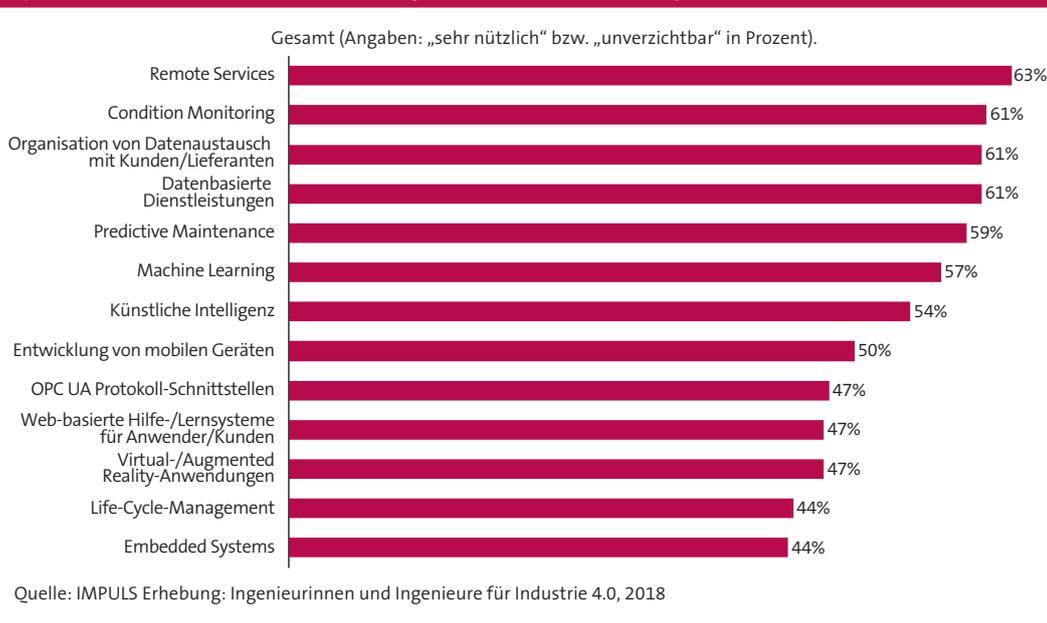


Abbildung 4: Wie notwendig bzw. nützlich sind Ihrer Meinung nach die folgenden Kenntnisse in speziellen Gebieten der Industrie 4.0 für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten?



Dieses Ergebnis wird bestätigt durch die Antwort auf die Frage, welche Kenntnisse aus dem Bereich von Industrie 4.0 aus Sicht der Unternehmen erforderlich sind (Abbildung 4). Nahezu alle Themen wurden von den Befragten als sehr nützlich bzw. unverzichtbar angesehen: Remote Services, Condition Monitoring, Organisation von Datenaustausch mit Kunden bzw. Lieferanten und datenbasierte Dienstleistungen galten für mehr als 60 % der Befragten als sehr nützlich bzw. unverzichtbar: Predictive Maintenance, Machine Learning, Künstliche Intelligenz sowie Entwicklung von mobilen Geräten zur Maschinensteuerung für mehr als 50 %. Weitere Themen wurden immerhin noch von jeweils über 40 % als sehr nützlich bzw. unverzichtbar angesehen: OPC-UA-Schnittstellen-Protokoll, web-basierte Hilfe-/Lernsysteme für Anwender, Virtual-/Augmented-Reality-Anwendungen, Life-Cycle-Management und Embedded Systems.

Die Bewertungen gelten prinzipiell für alle Bereiche (vgl. Abbildung A-8), auch wenn sie beim Einkauf bzw. Vertrieb weniger stark ausgeprägt sind. Umgekehrt zeigt sich hier aber auch, dass das Thema Industrie 4.0 stark mit Service und Inbetriebnahme gekoppelt ist. So gelten Predictive Maintenance (89 %), Remote Services (84 %), datenbasierte Dienstleistungen (84 %) und Life-Cycle-Management (71 %) sehr vielen Befragten als unverzichtbar.

Bereichen nicht so tief fundierte Kenntnisse haben. Aber er hat immer ein gutes Fundament, auf dem er grundsätzlich überleben kann in so einer Disziplin. [Besser als] wenn er von allem nur ein bisschen weiß, aber das dafür komplett querbeet. Weil, dann braucht er eigentlich durch alle Disziplinen noch Unterstützung“ (U4).

Diese Haltung zur weiteren Hybridisierung von Studiengängen war kennzeichnend für die Interviews (siehe auch Abschnitt II.2.2.3). Gleichzeitig wurde durchgehend betont, dass es immer wichtiger wird, über fachliches Grundlagenwissen auch in anderen Disziplinen und bezüglich unterschiedlichster Unternehmensbereiche zu verfügen. In den weiteren Abschnitten wird deutlich, dass es sich hierbei nicht um einen Widerspruch handelt, sondern hierfür überwiegend andere Wege als der der Hybridisierung als sinnvoll erachtet werden.

2.2.2 METHODISCHE GRUNDLAGEN: PROZESS- UND SYSTEMDENKEN

Zu den klassischen methodischen Grundlagen der Ingenieurausbildung, wie beispielsweise Simulation und Modellierung, müssen nach Meinung der Befragten die methodischen Kompetenzen Prozess- und Systemdenken hinzutreten, um Anwendungen der Industrie 4.0 sinnvoll und umfänglich implementieren und nachhaltig nutzen zu können. Diese Anforderung findet bereits erste Entsprechungen in der Hochschulausbildung mit der Etablierung von Seminaren, Modulen und Master-Studiengängen zu Themenfeldern wie Systems Engineering, Integrated Engineering oder Digital Engineering (siehe Abschnitt III.3.3).

Die Aspekte Prozessdenken und Systemdenken sind eng miteinander verknüpft und gehen im praktischen Tun oft nahtlos ineinander über. Dennoch bedarf es einer analytischen Trennung, um die Vielschichtigkeit der Anforderungen an diese methodische Kompetenz erfassen zu können.

2.2.2.1 PROZESSDENKEN

Prozessdenken betont den Blick auf Abläufe und die Frage, wie einzelne Schritte in Abläufen zueinander geordnet sein müssen, damit sie reibungslos funktionieren. Es geht zum einen darum, einen optimalen Workflow zu bestimmen, indem geklärt wird, wann wer was und warum an welcher Stelle im Arbeitsprozess beisteuern muss. Diese Zielsetzung ist in Arbeitsorganisationen natürlich ein klassisches Moment und ist nicht in erster Linie mit der digitalen Transformation verbunden, sie erhält aber durch die Digitalisierung von Geschäftsprozessen einen neuen Schub. Die Analyse von Prozessen und deren optimale Abstimmung werden als Voraussetzung der Digitalisierung beschrieben:

„Nicht zu meinen: ‚Ich löse jegliche Art an Komplexität, ich muss nur genügend Algorithmen da drauf schmeißen‘, sondern eigentlich die Kombination, erst mal seine Prozesse ordnen, vereinfachen, sinnig digitalisieren, weil Digitalisierung kostet auch richtig Geld“ (U2).

Es geht dabei zunehmend darum, Abläufe nicht aus Abteilungs- oder Bereichsperspektive zu betrachten, sondern als Gesamtprozesse, die quasi durch das ganze Unternehmen „durchgehen“ (von der Produktion über den

Servicebereich bis hin zum Vertrieb und zum Controlling) und darüber hinaus auch den Kunden einschließen. Ein Interviewpartner formuliert es so:

„[...] versuchen, in Prozessen zu denken. Also weg vom reinen Produktdenken oder dem ‚nur in seinem Inselchen denken‘, sondern wirklich [...] über den gesamten Wertstrom, vom Kunden, bis das Produkt wieder beim Kunden ist, vom Wareneingang bis zum Warenausgang. Und der Kunde, da schließt sich ja der Kreis“ (U2).

Ein Interviewpartner aus einem anderen Unternehmen geht noch etwas konkreter darauf ein, inwiefern die unternehmensübergreifende Kundenperspektive für die eigenen Prozesse relevant ist:

„Was wir in den letzten Jahren, egal, ob da jetzt I 4.0 drüber steht oder nicht, mehr gebraucht haben, sind Leute, die über ihren kleinen Anteil dessen, was sie konstruieren, was sie entwickeln, hinausschauen können und sich ein globales Bild für den gesamten Prozess verschaffen können. Also auch verstehen, warum man jetzt in einer Maschine bestimmte Dinge macht oder warum man sie so macht, weil für den Kunden auch ein Prozess, ein Arbeitsschritt, irgendeine Technologie dahintersteht. Das, denke ich, ist eine große Herausforderung für den einzelnen Konstrukteur, sich einfach von seinem ‚ja, ich brauch jetzt hier ein spezielles Bauteil‘ [zu lösen und] auch dem Gedanken zu[zuwenden]: ‚Wo ist die Wirkung dieses kleinen Bauteils im gesamten Prozessgeschehen?‘ Sich also auch in Prozessgeschehen der Kunden hineinversetzen zu können. Also nicht nur zu sagen: ‚Wir wissen, wie unsere Maschine aussieht, wir wissen, wie die funktioniert‘, sondern es wird auch wichtiger, den Prozess des Kunden zu verstehen, um die Maschine richtig zu bauen und auch richtig zu modifizieren. Diese Offenheit, sich mehr vorzustellen als nur die eigentliche Konstruktionsaufgabe, das ist sicher eine wesentliche Anforderung an Qualifikationen, die jemand mitbringen muss. Weil er sich dann einfach auch schneller ein Bild für

die komplette Geschichte machen kann und dann auch qualitativ hochwertiger entscheidet, weil er den Prozess verstanden hat“ (U4).

Die Ordnung und Vereinfachung von Prozessen zum Zweck ihrer Digitalisierung hat aber nicht zwangsläufig zur Folge, dass an jedem Arbeitsplatz Vereinfachungen erfolgen. Im Gegenteil beschreibt ein Interviewpartner aus einem ERP-Systeme entwickelnden Unternehmen:

„Wenn ich so einen Gesamtprozess gestalte, kann es durchaus sein, dass an dieser Stelle nach der Umstellung mehr Arbeit anfällt, weil die sich hier deutlich verringert. Und demjenigen das nachvollziehbar beizubringen, warum der jetzt mehr machen muss als vorher oder mehr Dinge beachten muss als vorher. Das muss ihn ja nicht unbedingt mehr Zeit kosten, aber er muss vielleicht mehr Verantwortung übernehmen, weil hinten der Prozess schlanker durchläuft. Das Verständnis dafür muss ich wecken. Und wenn ich das nicht tue, dann habe ich ein großes Problem, den Gesamtprozess zu steuern. [...] Deswegen ist es ganz wichtig, zu zeigen, was die Vorteile von dem Ganzen sind. [...] Und da weiß ich jetzt nicht, ob das überall so passiert. Also ich weiß definitiv, dass es nicht so ist. Punkt“ (U3).

Für Gestalter und Implementierer von Industrie-4.0-Anwendungen kommt es also nicht nur darauf an, selber ein Prozessdenken zu etablieren, sondern dieses zusätzlich auch an Beschäftigte zu vermitteln, die von Umstrukturierungen durch Digitalisierung betroffen sind und mit Industrie-4.0-Anwendungen arbeiten.

2.2.2.2 SYSTEMDENKEN

Systemdenken betont den Blick auf die Einbettung einzelner Komponenten in größere Zusammenhänge, deren wechselseitige Beeinflussung und ihr Zusammenwirken. Je höher der Vernetzungsgrad und die Unvermitteltheit der Vernetzung sind, desto relevanter wird Systemdenken. Ein Interviewpartner meint hierzu:

„Und auch das ist natürlich nichts Neues [...], aber das wird jetzt immer wichtiger, dieser Systemgedanke. Also nicht nur ein komplett reiner Fachidiot zu sein, sag ich jetzt mal, sondern immer zu wissen: ‚In welchem Zusammenhang wende ich das jetzt gerade an?‘ Das wird definitiv wichtiger. Da kommen wir ja wieder zum Thema Vernetzung, alles ist miteinander vernetzt: mechanische Komponenten, Softwarekomponenten und so weiter. Und da braucht man einfach dieses Systemwissen immer mehr“ (U7).

Ein anderer Interviewpartner aus demselben Unternehmen sieht hier noch große Defizite im Kompetenzportfolio:

„Wenn wir jetzt mal in den Bereich der Forschung und Entwicklung gehen [...], da hatten wir ja früher immer den klassischen Ingenieur mit einem großen Tiefgang fachspezifisch in einem Thema. Und da musste sich was verändern. [...] Das muss breiter werden letztendlich. Wir müssen in Systemen denken. Und das ist heute das Problem. Wir finden letztendlich aufgrund der Ausbildung sehr gute Fachexperten, ins letzte Detail, aber um Systeme zu gestalten, wie wir sie für Industrie 4.0 brauchen? Wir brauchen ein Fahrzeug, das hat Mechanik, das hat Antriebstechnik, Traktionsantriebe. Das muss aber gesteuert und geregelt werden, das muss übergeordnet letztendlich seine Befehle kriegen. Und das muss ich eigentlich durchdenken, wenn ich so Produkte gestalte. Und da sage ich ganz einfach, da brauchen wir mehr die Systemlösungskompetenz“ (U7).

Es besteht mehr und mehr die Notwendigkeit, die eigene Arbeit als Teil eines umfassenden Arbeitssystems zu begreifen, das zunehmend digitalisiert wird. Dies umfasst mehrere Dimensionen. Zunächst ist die Implementation von

systemisch angelegten digitalen Lösungen komplex und bedarf der Entwicklung eines gewissen Systemverständnisses sowohl auf der Anbieter- als auch auf der Anwenderseite. Ein Interviewpartner aus einem ERP-Systeme entwickelnden Unternehmen:

„So ein ERP-System ist ein unglaublich komplexes Thema. Und man kann solch ein komplexes System nicht auf Basis von Dokumentation und Literatur einführen. Das funktioniert nicht. Man muss die Spezialitäten eines jeden Systems erklären, definieren und einen Weg zeigen, um so ein System Schritt für Schritt richtig aufzusetzen und einzuführen, sonst funktioniert nichts“ (U3).

Des Weiteren müssen digitale Systeme, mit denen gearbeitet wird, beispielsweise ein Auftragsabwicklungssystem, nicht nur fehlerfrei bedient, sondern auch in ihren Zusammenhängen und Wirkungsweisen verstanden werden. Dies erfordert mitunter nicht nur ein abstraktes Systemverständnis, sondern sehr konkretes technisches Wissen, so die Aussage eines Interviewpartners aus einem Maschinenbauunternehmen:

„Das ganze Thema Vernetzen, Schnittstellen, Interfaces, jetzt diese so genannte OPC-UA-Schnittstelle, die man haben will, damit man Maschinen zusammensteckt, also diese Grundlagen an IT-Kompetenz. Die wir nicht nur bei den Ingenieuren eigentlich haben wollen, sondern die wir eigentlich auch schon auf der Facharbeiterebene haben wollen, dass die nachher im Prinzip wissen, was passiert: ‚Mein Sensor spinnt, wie stecke ich den denn zusammen, wie kriege ich denn meine Information von A nach B?‘ Also das halten wir für sehr, sehr wichtig“ (U2).

In diesem Sinne umfasst die methodische Anforderung, in Systemen zu denken, sowohl die Fähigkeit, einen systemischen Blick anzuwenden, als auch konkretes Wissen im Bereich der ingenieurwissenschaftlichen Systemtheorie zur mathematischen Modellierung von physikalischen Systemen. Derselbe Interviewpartner:

„Es ist schon sehr wichtig, dass, was man unter Systemtheorie versteht: ‚Ich hab ein System, ich gebe da was rein, wie antwortet das?‘, dass auch die Maschinenbauer sich damit auseinandersetzen. Wir hatten jetzt ein Beispiel, ich war an der TU [XY], da haben wir einen Sägeprozess begutachtet, wo man gesagt hat: ‚Ich lasse die Säge lernen, wann geht denn das Sägeblatt kaputt?‘ Derjenige, der das gemacht hat, war Maschinenbauer, der hatte sich dann mit Sensoren noch auseinandersetzen müssen, und auf einmal musste der sich eigentlich auch mit einem Nyquist-Kriterium auseinandersetzen: ‚Wie oft muss ich denn pro Minute mein Signal abtasten?‘ Eine Abtastrate. Die muss natürlich dann Minimum doppelt so hoch sein wie das, was ich normalerweise im Zeitbereich sehe, damit ich da noch ein Signal ausgewertet bekomme. Also auch die Maschinenbauer müssen sich ein bisschen mit diesen Dingen auseinandersetzen, um dann ein Gefühl zu haben: ‚Was brauch ich denn, wie setze ich denn so einen Prozess auf?‘“ (U2).

Aber nicht nur der Umgang mit digitalen Anwendungen erfordert Systemdenken, sondern auch die zunehmend komplexer organisierte Integration einzelner Arbeitsprozesse. Ein Interviewpartner aus einem Unternehmen im Bereich der Antriebstechnik beschreibt dies folgendermaßen:

„Früher hatten wir die Fachdisziplinen: den Mechaniker, den Elektriker, den Informatiker oder sonstwen. Jeder hat eine Teilaufgabe in der Entwicklung gekriegt. Und dann hat man nachher versucht, es zusammenzusetzen und zusammenzubauen, und hat gemerkt, es knirscht. Darum sind ja auch diese ganzen agilen Entwicklungsteams gekommen. [...] Wichtig ist, dass man eine Entwicklungsaufgabe sehr gut zerlegt in einzelne Arbeitspakete. Und diese Arbeitspakete so timet, dass das dann auch gut passt, wenn wir sie letztendlich zusammensetzen. Und damit kämpfen wir heute noch. Darum auch mein Systemansatz. In Systemen denken und handeln, da hab ich sehr wenige Ingenieure in der F&E“ (U7).

Komplexe Entwicklungsaufgaben müssen nach wie vor in Teilaufgaben zerlegt werden, dies darf aber nicht in isolierte Siloperspektiven münden.

Die Herausforderung liegt darin, die Arbeitsprozesse so zu integrieren, dass Teilaspekte aus jeder Einzelperspektive immer vor dem Hintergrund der Gesamtlösung als komplexes System betrachtet werden können. In diesem Sinne muss die Fähigkeit von Ingenieuren, in Systemen zu denken, immer auch organisational ermöglicht und unterstützt werden. Die agile Gestaltung von Arbeitszusammenhängen kann hierfür ein Ansatz sein.

Letztlich geht es beim Systemdenken auch darum, das eigene Produkt zunehmend als System zu verstehen. Ein zentraler Trend der Digitalisierung ist, dass technische Produkte sich verändern: weg vom fixen Standardprodukt hin zum wandelbaren flexiblen System. So beschreibt es ein Interviewpartner:

„Früher hatten wir nur einen Getriebemotor gebaut und heute baue ich mobile Systeme. Intelligente Fahrzeuge, Assistenzsysteme, die frei im Raum navigieren. [...] Das heißt, Lösungen zu schaffen, die wandelbar sind. Die veränderbar sind. Die anpassbar sind. Und das hat auch dazu geführt, dass wir unser Produktportfolio verändern müssen. Es wird noch einige Jahre dauern, aber es wird nicht mehr so viele starre Förderstrecken geben, sondern es wird mobile Systeme geben. Und diese mobilen Systeme haben dann eben genau diese Intelligenz, sich selbst einen Weg durch die Fabrik zu suchen“ (U7).

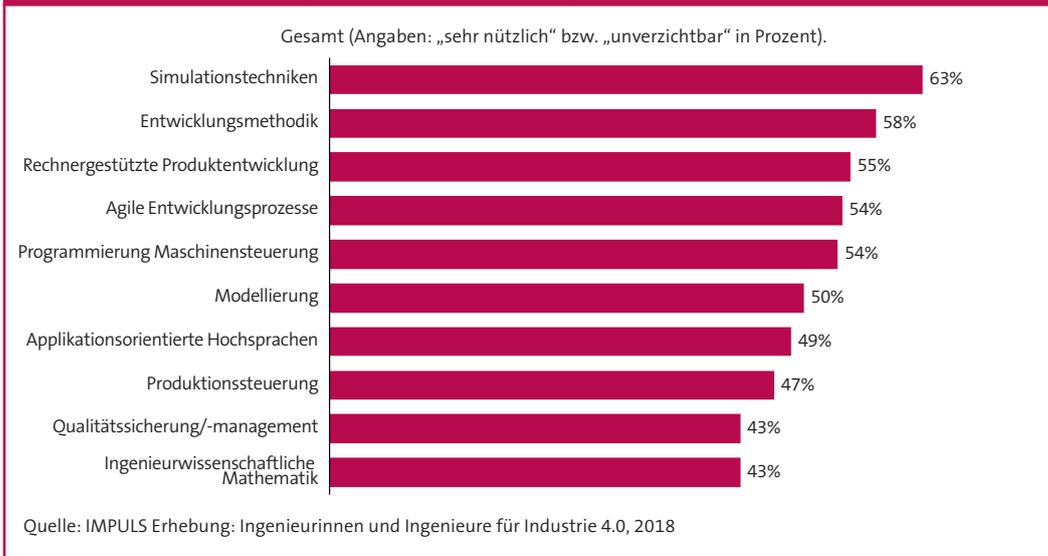
Dieser Trend zu technischen Produkten als komplexen und wandelbaren Systemen erfordert bereits in der Herstellung nicht nur neue technische, sondern wiederum auch arbeitsorganisatorische Lösungen, die einen engen Wissens- und Erfahrungsaustausch ermöglichen, so ein Interviewpartner aus einem Anbieterunternehmen:

„Komplexe Systeme kann man nicht am Schreibtisch entwickeln. Man braucht den Partner, den Austausch, die Erfahrung, das Wissen unseres Kunden, der das hinterher anwenden muss, und der Mitarbeiter, denn man kann so ein komplexes Produkt nicht theoretisch entwickeln. Das funktioniert nicht. Man braucht den Partner, der das wirklich einsetzt und sagt, ‚das muss so sein, weil!‘“ (U3).

Exkurs: Quantitative Befragung

Die quantitative Befragung zielte auf den Bedarf an eher klassischen Methodenkompetenzen. An der Spitze standen hier Simulationstechniken, Entwicklungsmethodik und rechnergestützte Produktentwicklung (Abbildung 5). Insgesamt lässt sich sagen, dass die Unterschiede nicht sehr markant sind.

Abbildung 5: Für wie notwendig halten Sie die folgenden ingenieurwissenschaftlichen Methodenkompetenzen für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten?



Etwas anders sieht es aus, wenn man die Verteilung nach den Bereichen betrachtet (Abbildung A-4):

- Im Bereich Forschung, Entwicklung und Konstruktion stechen Simulationstechnik (76 %), Entwicklungsmethodik (75 %), rechnergestützte Produktentwicklung (74 %) sowie bedingt auch agile Entwicklungsmethoden (65 %) und Modellierung (60 %) hervor.
- Im Bereich Produktion sind es vor allem Produktionssteuerung (85 %) und Qualitätssicherung (73 %) sowie Programmierung und Maschinensteuerung (68 %).
- Bei Service und Inbetriebnahme wird Mathematik unterdurchschnittlich häufig genannt (21 %).
- Generell werden für Einkauf bzw. Vertrieb die ingenieurwissenschaftlichen Methodenkenntnisse seltener als notwendig angesehen. Dies gilt insbesondere für Programmierung und Maschinensteuerung (17 %).

Bei Unternehmen mit dem Schwerpunkt IT/Automatisierungstechnik wurde mehr Gewicht auf agile Entwicklungsmethodik (77 %), applikationsorientierte Hochsprachen und Entwicklungsmethodik gelegt (jeweils 72 %) und etwas weniger auf ingenieurwissenschaftliche Mathematik und Qualitätssicherung/-management (jeweils 33 %). Dagegen benannten Unternehmen mit dem Schwerpunkt Komponenten eher seltener Modellierung (33 %), applikationsorientierte Hochsprachen (42 %) sowie agile Entwicklungsprozesse (46 %) als für den Betrieb unverzichtbare Kompetenzen.

2.2.3 QUERLIEGENDE FACHLICHE GRUNDLAGEN: INFORMATIK UND DATA SCIENCE

Grundlagenwissen in den Disziplinen Informatik und Data Science ist, so zeigen die Erhebungen, obligatorisch für den Umgang mit und die Gestaltung von Industrie-4.0-Anwendungen. Dies bedeutet, dass zusätzlich zur oben angesprochenen jeweiligen fachlichen Kerndisziplin die Ausbildung in Grundlagen der Informatik und Data Science zukünftig erforderlich ist, unabhängig davon, welche Kerndisziplin ein Absolvent gewählt hat und in welchem Vertiefungsgebiet er sich spezialisieren wird. Wie die Aussagen der meisten Unternehmensvertreter zeigen, verweist dies weniger auf eine Hybridisierung im Sinne der Verschmelzung von vormalig getrennten Disziplinen wie beispielsweise der Mechatronik als Zusammenführung von Mechanik und Elektronik. Vielmehr wird die systematische Erweiterung von traditionellen Kerndisziplinen um Module in den genannten spezifischen Themenbereichen Informatik und Data Science für erforderlich gehalten. Mit der Informatik ist ein breit erschlossenes

thematisches Feld adressiert, das als eigenständige Disziplin etabliert ist und auch als Anwendungsbereich im Maschinenbau bereits Eingang gefunden hat. Nichtsdestotrotz befindet sich letztere Entwicklung noch am Anfang und muss nach Meinung der Interviewpartner verstärkt vorangetrieben werden. Demgegenüber handelt es sich bei dem Themenfeld Data Science um ein neu zu etablierendes Lehr- und Forschungsgebiet mit den Schwerpunkten Mathematik, Statistik, Datenmanagement und -aufbereitung. Auch hier gibt es bereits vereinzelte Angebote im Hochschulbereich (siehe Abschnitt III.3.4), die jedoch sowohl quantitativ als auch inhaltlich noch massiv ausgeweitet werden müssen, um die Bedarfe auf Unternehmensseite abdecken zu können. In den Interviews wurde durchgängig betont, dass Informatik und Data Science „*sicher die Bereiche [sind], die am stärksten steigen, weil bezogen auf uns im Maschinenbau waren das bisher eher die schwächeren Bereiche*“ (U4).

Ein Interviewpartner beschreibt, welchen Stellenwert informationstechnisches Wissen bereits heute in der Produktion hat:

Informatik und Data Science

Informatik umfasst Grundlagen der Informationsverarbeitung in mathematischer und technischer Hinsicht. Hierauf bauen verschiedene Bereiche wie die angewandte Informatik, die Wirtschaftsinformatik oder die Technische Informatik auf. Dieser letzte Bereich ist für Ingenieure des Maschinen- und Anlagenbaus im Kontext von Industrie-4.0-Anwendungen besonders relevant. Bei der Technischen Informatik geht es um die Software-Entwicklung für vernetzte, eingebettete Systeme. Entwickelt wird Software für den Einsatz bei Cyber-Physischen Systemen sowie zur Nutzung und Bereitstellung von Schnittstellen zu Hardware- und Infrastrukturkomponenten. Anwendungsbereiche sind etwa die Steuerung automatisierter Fertigungsanlagen sowie autonomer Geräte im Zusammenhang mit der Automatisierung von Gebäuden und Entwicklungen zur Smart City. Erforderlich sind grundlegende Kenntnisse digitaler Informationsverarbeitung und Informationsdarstellung sowie zur Problemstellung und Entwicklung von Echtzeitsystemen. In den entsprechenden Studiengängen liegen die Schwerpunkte bei der Vermittlung von Kompetenzen zu Programmiermethodiken, zum Software Engineering für eingebettete Systeme, zum Aufbau und zur Funktionsweise von Betriebssystemen und Rechnernetzen, zur Sensorik sowie zur Entwicklung und Gestaltung von Algorithmen.

Data Science ist eine neue Forschungsrichtung, die aus Daten Wissen und Informationen zieht. Data Science umfasst jeweils Teilgebiete der Statistik und der Informatik. Damit entwickelt sich das neue Forschungsfeld aus einer Schnittmenge zwischen diesen beiden etablierten Disziplinen. Gegenwärtig ist der Prozess der Entwicklung zu einer eigenständigen Disziplin mit klar umrissenen Inhalten offenbar noch nicht abgeschlossen. Vorläufig lässt sich festhalten, dass zu Data Science verschiedene Bereiche wie etwa Datenmanagement, Datenbanken, numerische Optimierung, Maschinenlernen und künstliche Intelligenz zählen. Um den damit verbundenen Anforderungen zu entsprechen, sind Kenntnisse in der Sammlung und Verarbeitung großer und vielfach unstrukturierter Datenbestände erforderlich. Entsprechende Kompetenzen umfassen etwa die statistische Datenanalyse, ihre numerische Umsetzung sowie das Management großer Datenmengen. Als zukünftig wichtiges methodisches Handwerkszeug zum Umgang mit großen Datenmengen gelten etwa Kenntnisse zur Funktionsweise von Algorithmen sowie Technologien wie Web Scraping, Pattern Recognition, Machine Learning oder Text Mining.

„In dem Bereich Produktion und Produktionslogistik [...] schauen wir schon generell immer darauf, dass die Leute technisch fit sind, auch so in dem Bereich Optimierung. Wenn es viel um Systeme geht, da muss man immer so ein bisschen auch IT-Denken mitbringen als Neuer, als neuer Ingenieur, als neuer Technikermeister. Das gehört einfach ein Stück weit heute mit dazu. Das ist neu. Also unsere Arbeitsplaner, die müssen auch teilweise in einer SAP-Programmiersprache programmieren [...], so dass wir jetzt heute bei der Rekrutierung von neuen Leuten schon ein Stück weit mit darauf achten“ (U4).

Ein Interviewpartner aus einem anderen Unternehmen sieht hier bei den aktuellen und zukünftigen Hochschulabsolventen allerdings grundlegenden fachlichen Nachholbedarf:

„Sie müssen sich dann auch mit den Tools auseinandersetzen, dass sie auch dann mal für sich lernen: Was ist eine Schnittstelle, was ist eine Datenbank, was bedeutet das überhaupt?“ (U2).

Noch deutlicher werden Anforderungen an zusätzliche Kenntnisse im Bereich Data Science formuliert, da hier bisher kaum tragfähige Strukturen zum Wissenserwerb und -einsatz etabliert sind. So meint ein weiterer Interviewpartner: *„Ich sehe halt einen weißen Fleck auf der Landkarte, was Datenmanagement, Datenmodellierung angeht“ (U6).* Denn *„diese ganze Flut von Daten, die entsteht, die macht ja auch nur dann Sinn, wenn man sie sinnbringend auch wieder auswerten kann oder über künstliche Intelligenzprozesse anders auswerten kann“ (U4)*, so ein anderer Gesprächspartner. Dieses Wissen muss zu den klassischen Inhalten eines maschinenbauzentrierten Studiums hinzutreten. Zukünftige Absolventen brauchen ...

„[...] neben dem klassischen Maschinenbau, wo sie Maschinenelemente, Konstruktionselemente, Konstruktionslehre haben, schon auch eine Mathematik [...]. Also sich durchaus auch mal stärker mit Numerik und Datenverarbeitung und letztendlich Statistik und Auswertungen und so Verfahren dann beschäftigen. Die brauchen sie natürlich für verschiedene Probleme“ (U2).

Insbesondere aus einer KMU-Perspektive kann es nicht darum gehen, ausgebildete Spezialisten im Bereich Data Science zu rekrutieren. Es wird als wichtig beschrieben, klassisch ausgebildete Ingenieure zu haben, die basales Wissen auch in diesem Bereich mitbringen, um ...

„[...] dann ein Gefühl zu haben: ‚Was brauch ich denn? Wie setze ich denn so einen Prozess auf und wann brauch ich jetzt den Spezialisten, der meine Daten auswertet? Aber wie muss ich die Daten auch aufbereiten, dass nachher ein Spezialist mit Big Data und Algorithmen da draufgehen kann?‘“ (U2).

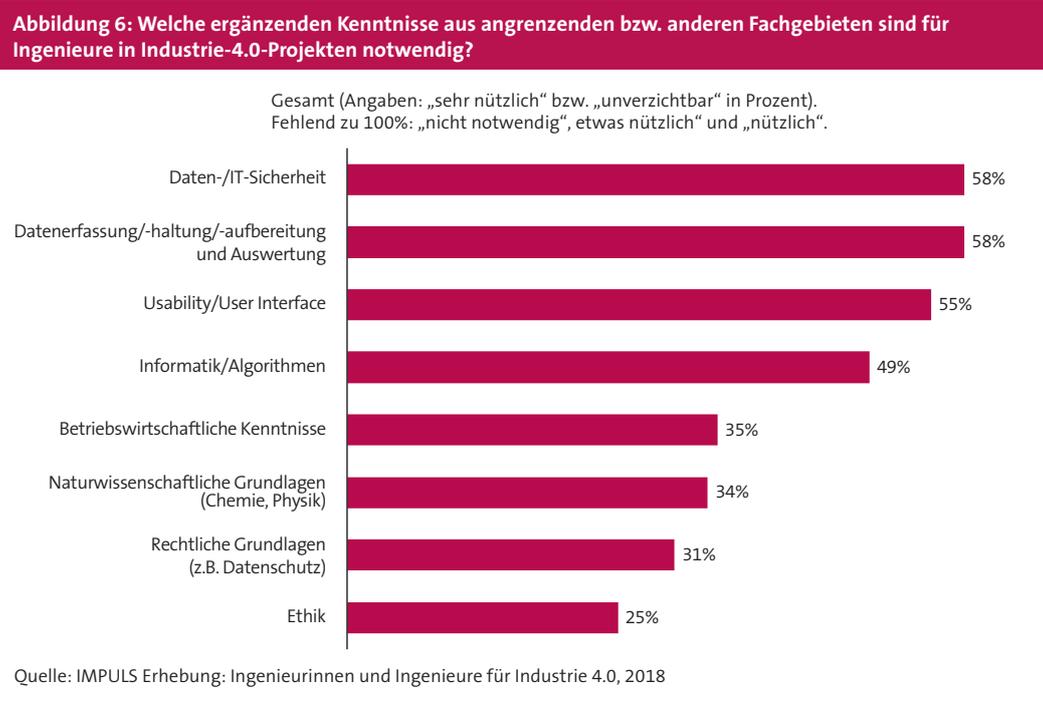
Der Umgang mit großen Datenmengen und die Fähigkeit, professionell mit Spezialisten auf diesem Feld zu kooperieren, werden für eine wachsende Gruppe von Ingenieuren im Maschinen- und Anlagenbau zu einer alltäglichen Anforderung werden, der sie nur auf Basis entsprechenden Fachwissens gerecht werden können.

Ein Ingenieur mit grundlegendem Fachwissen in den Bereichen IT und Data Science *„fühlt sich in Datenbanken und Cloud und Big-Data-Lösungen wohl. Er weiß, wo er passende Software findet, auch in offenen Plattformen, die er nutzen kann, und sei es nur zu Testzwecken erst mal, damit er schnell eine Lösung generieren kann, sehr agil dabei“ (U6)*, so ein Interviewpartner aus dem Vertriebsbereich. Ein Interviewpartner beantwortet die Frage nach dem idealen Absolventen folgendermaßen:

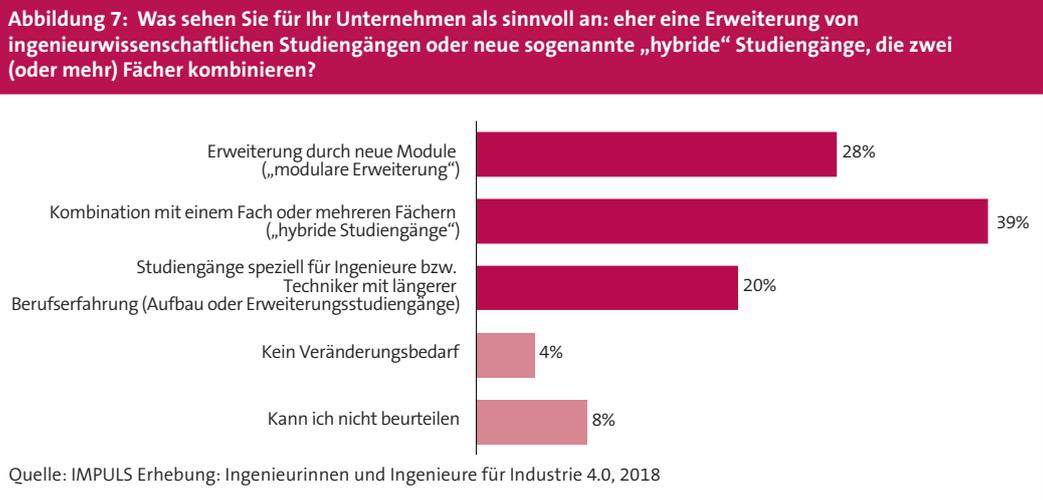
„Hauptsächlich [...] ist das ein Absolvent, der die Grundlagen von Maschinenbau und Wirtschaft hat, also wie heute ein Wirtschaftsingenieur, als Basis mit Kenntnissen in der IT, also in der Anwendungsprogrammierung, und auch das Thema Daten, Big Data ein Stück weit schon mitbringt“ (U4).

Exkurs: Quantitative Befragung

Die hohe Bedeutung von Kompetenzen für den Umgang mit Daten wurde auch in der quantitativen Befragung als äußerst relevant eingeschätzt (Abbildung 6).



In der quantitativen Online-Befragung wurde zudem danach gefragt, ob die Unternehmensvertreter eher eine Erweiterung ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge um neue Module oder eher sogenannte „hybride“ Studiengänge präferieren. Bei dieser Frage gaben die Unternehmen, abweichend von den qualitativen Experteninterviews, den „hybriden“ Studiengängen eine leichte Präferenz (Abbildung 7). 28 % der Befragten nannten die modulare Erweiterung als bevorzugte Lösung gegenüber 39 %, die eher eine hybride Lösung angaben. Darüber hinaus wird die zunehmende



Nachfrage nach Weiterbildungsangeboten im Zusammenhang mit Industrie 4.0 deutlich. 20 % der Befragten sehen Angebote für berufstätige Ingenieure zum Aufbau entsprechender Kompetenzen als wichtig an.⁷

Nach interessanten Fächerkombinationen für „hybride“ Studiengänge gefragt, wurde vor allem die Kombination des ingenieurwissenschaftlichen Studiums mit der Informatik genannt (Mittelwert von 4,4 auf einer Skala von 0 = vollkommen uninteressant bis 5 = sehr interessant). Eine Kombination mit Statistik bzw. Mathematik wurde mit einem Mittelwert von 3,6 als etwas weniger, aber dennoch interessant eingeschätzt. Dieses Ergebnis unterstützt die große Bedeutung, die dem Grundlagenwissen in Informatik und Data Science aus Sicht der qualitativ befragten Unternehmen in der Ingenieurausbildung zukommt. Statistik und Mathematik wurden hier durchgängig als grundlegender Bestandteil von Informatik und Data Science thematisiert. Informatik und Data Science sollten daher zu obligatorischen Bestandteilen ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge werden, also nicht nur fakultativ, sondern verpflichtend integriert werden.

Die Unterschiede zwischen der qualitativen und der quantitativen Erhebung, was Modularität oder Hybridisierung angeht, können im Zusammenhang stehen mit den unterschiedlichen Schwerpunkten der Befragten: In der Online-Befragung ist deutlich zu erkennen, dass vor allem im Bereich der IT/Automatisierung eine hybride Ausbildung als wünschenswert angesehen wird, während im „klassischen“ Maschinenbaubereich ein Gleichgewicht besteht (vgl. Anhang, Punkt 5.5). Ausschlaggebender scheint jedoch der Umstand der unterschiedlichen Erhebungsarten. In den qualitativen Intensivinterviews wurden Einzelaspekte tiefgehend und in ihrer Vielschichtigkeit sowie Ambivalenz erörtert. Dies ist im Rahmen einer Online-Befragung nicht möglich. Vor allem dürfte es eine erhebliche Rolle spielen, dass in der quantitativen Befragung keine konkreten Angebote für oder Anforderungen an Hybridstudiengänge zur Auswahl gestellt wurden. Die Ergebnisse der quantitativen und qualitativen Erhebungen stimmen in der zentralen Frage nach den zukünftigen Anforderungen eines Profils für Ingenieure Industrie 4.0 überein: Die obligatorische Ergänzung ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung um Informatik und Data Science wird aus Sicht der Unternehmen für besonders wichtig gehalten.

7 Diese Antwort verweist darauf, dass die Unternehmen angesichts der Qualifikations- und Kompetenzanforderungen durch Industrie 4.0 einen grundsätzlichen Bedarf an Fort- und Weiterbildung sehen. Dieses Ergebnis konnte in der vorliegenden Untersuchung nicht weiter vertieft werden. Es zeigt jedoch, dass es ein wichtiges Desiderat ist, weitergehende Fragen zu diesem Bereich in zukünftigen Untersuchungen zu klären (siehe auch Abschnitt IV).

2.2.4 KONTEXTWISSEN

Die wachsende, zunehmend auch digital gestützte vernetzte Zusammenarbeit erfordert, dass Beschäftigte Kenntnisse über andere Arbeitsbereiche haben und Sichtweisen anderer Arbeitsbereiche und Disziplinen bei ihrer eigenen Arbeit berücksichtigen können. In Abhängigkeit von der eigenen beruflichen Position, der Aufstellung des Unternehmens (Abteilungen, Standorte, Fertigungstiefe etc.) und der Verortung in unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsketten ergeben sich unterschiedliche inhaltliche Anforderungen an dieses Kontextwissen.

Ein Interviewpartner beschreibt, dass Kontextwissen für die Ingenieurarbeit nicht erst mit der Digitalisierung relevant wird:

„Im Ingenieurbereich mischen sich Themen, da kommt der Werkstoffspezialist, da kommt der Mechaniker, da kommen Mathematikkenntnisse, da kommen Kenntnisse über Zeichnungen. Also da mischen sich rein

fachliche Themen. Und mit dieser fachlichen Vermischung vermischen sich auch noch ganz andere Dinge, denn das sind Menschen, die heute verschiedenen Abteilungen zugeordnet sind. Der eine arbeitet im Produktionsumfeld, der andere in der Büroumgebung, in der Entwicklung, im Forschungsumfeld, aber die treffen sich dann auch wieder an einem Tisch. [...] Es ist einfacher, wenn ich vorher verschiedene Perspektiven mal selbst kennengelernt hab, weil mir dann natürlich das Verständnis leichter fällt. Ich bin einfach in der Lage, zu sagen: ‚Oh stimmt, ich hab es schon mal aus deinem Blickwinkel gesehen, jetzt ist es mir auch klar.‘ Es ist effektiver, wenn man andere Denkweisen auch versteht“ (U5).

Hier klingt bereits an, dass Kontextwissen mehrdimensional ist und sich sowohl auf Produkte und Arbeitsgegenstände als auch auf Arbeitsprozesse bezieht, aber auch auf Arbeitskulturen und soziale Zusammenhänge im Arbeitskontext. Diese Anforderung, andere Sichtweisen in mehrfacher Hinsicht (Produkt, Prozess, Kultur, Soziales) nachvollziehen zu können, nimmt

mit den Entwicklungen hin zu einer Industrie 4.0 merklich zu, da die prozessuale Vernetzung immer umfänglicher wird und somit in immer mehr Unternehmensbereichen eine praktische Rolle in der täglichen Arbeit spielt. So meint ein Gesprächspartner, „dass die Vernetzung eine Riesen-Rolle spielt, dass übergreifende Kompetenzen da sein müssen, Transfervermögen ist ganz, ganz wichtig“ (U6). Ein weiterer Interviewpartner erläutert dieses Transfervermögen, das ein Maschinenbauingenieur für Industrie 4.0 mitbringen muss, noch einmal konkreter:

„Meine Erfahrung ist, dass es immer gut ist, wenn man so eine Art Übersetzer hat [...]. Der kann dann beide Welten, der kann dann vermitteln. Der kann einem Anwendungsentwickler, der irgendwo extern sitzt, eine Anforderung so formulieren, dass der als Programmierer was damit anfangen kann. [...] Umgekehrt kann er die Anregungen aus der Produktion oder aus welchem Umfeld auch immer aufnehmen und versteht die auch. Der versteht das Problem, das die an der Maschine haben. Aber wenn jetzt einer der Bediener an der Maschine mit dem Anwendungsentwickler redet, dann reden die unterschiedliche Sprachen“ (U2).

Es wird zu einer genuinen Anforderung an Ingenieure, die mit der Gestaltung der Digitalisierung beschäftigt sind, zwischen unterschiedlichen Bereichen übersetzen und vermitteln zu können. Dies wird umso dringlicher vor dem Hintergrund, dass Belegschaften in digital vernetzten Arbeitszusammenhängen des Maschinen- und Anlagenbaus tendenziell heterogener werden und zunehmend heterogene Personengruppen an der Entwicklung eines entsprechenden Produkts sowie der gewinnbringenden Platzierung am Markt beteiligt sind. Die damit zusammenhängenden Anforderungen an inhaltlich-fachliche sowie kulturelle Vermittlung und zielführende Kommunikation werden daher sowohl unternehmensintern als auch unternehmensübergreifend in Richtung Kunde immer relevanter. Ein Interviewpartner formuliert es folgendermaßen:

„Um mal ein Stereotyp zu bedienen, ich muss den klassischen ‚Informatik-Nerd‘ haben. Ich muss aber auch den Projektleiter haben, der sowohl den Kunden versteht als auch die

Schnittstelle zu diesem Informatiker hin bilden kann. Also es fällt mir sehr schwer, zu sagen, ich kann nur diese eine Personengruppe weiterhin beschäftigen oder benötigen. Das hängt stark von dem Einsatzgebiet ab. Und da brauche ich ganz unterschiedliche Personen. Umso wichtiger wird das Thema Kommunikation im Unternehmen und das Gesamtverständnis, wo sich etwas hinbewegt in einem Unternehmen, und zwar über alle Disziplinen oder Denktiefen hinweg“ (U6).

Ein weiterer Befragter erklärt, dass es um das Kontextwissen für solche heterogenen Arbeitszusammenhänge aktuell noch nicht zum Besten bestellt ist:

„Ein technikaffiner Mensch weiß, wann Bauteile kaputt gehen, der weiß, was ein E-Modul ist, der weiß, wie sich Konstruktionselemente darstellen. Klassischer Maschinenbau von früher, sage ich mal. Und ein IT-lastiger Mensch, der kann in Oberflächen denken, der kann in Datenbanken denken, der weiß, wie man Datenbanken vernetzt. Und [ich brauche] welche, die das quasi übersetzen können: eine technische Anforderung in eine IT-technische Lösung. Ich kriege zurzeit entweder Leute, die total Spaß an IT haben, da reibe ich mich dran auf, denen zu erklären, dass Stahl nicht Alu ist, oder technische Leute, die verstehen halt nicht mal im Ansatz Datenbanken. Das ist die Herausforderung“ (U6).

Fehlendes Kontextwissen über andere Disziplinen und Arbeitsbereiche bedeutet also einen gesteigerten Kommunikationsaufwand durch die Führung und geht letztlich auch mit einem gesteigerten Fehlerrisiko einher. Es ist essenziell, zu wissen, welche Prozesse und Bedarfe in angrenzenden Arbeitsbereichen bestehen, um diese in der eigenen Arbeit adäquat berücksichtigen zu können, so dass die vernetzten Prozesse gut ineinandergreifen. Ein Interviewpartner meint hierzu:

„Der kann jetzt ein Mechanikkonstrukteur sein, ein exzellenter Mann, und der muss halt auch ein Stück weit lernen, rechts blicken zu können und links blicken zu können, weil das in Zukunft alles zusammengeht zu mechatronischen Systemen. Und deshalb braucht er

den Blick über den Tellerrand und muss das in Bezug setzen können, ‚was passiert rechts und links von mir, dass das in meinen mechanischen Ansatz gut reinkommt‘“ (U7).

Gerade bei der digitalen Automatisierung von Prozessen wird aus Sicht vieler Befragter das Wissen der Beschäftigten nicht an Bedeutung verlieren. Im Gegenteil wird für die digitale Automatisierung das bereits angesprochene methodische Prozessdenken verstärkt benötigt, das in enger Verknüpfung mit dem inhaltlichen Kontextwissen steht. Ein Interviewpartner meint:

„Bevor man diese ganzen Automatisierungen anstrebt, muss man natürlich erst mal noch viel mehr im Detail verstehen, was man da genau macht, und auch eine genaue Idee von den Prozessen haben, die ablaufen. Also ich glaube nicht, dass das mit weniger Erfordernissen an Know-how an die Mitarbeiter einhergeht, sondern ich glaube eher, dass das andersherum ist. Man muss viel mehr im Detail verstehen, um das dann automatisch abbilden zu können“ (U2).

Dieses Wissen über konkrete Prozesse und diese Kenntnisse über Vorgehensweisen und Arbeitsperspektiven in anderen Bereichen bleiben auch notwendig, wenn die Digitalisierung von Abläufen bereits vorangeschritten ist. Zum einen können die Abläufe sonst nicht adäquat bedient werden, zum anderen unterliegen auch digital erfasste und abgebildete Abläufe ihrerseits immer wieder dynamischen Veränderungen, die wiederum verstanden werden müssen.

Die Dynamik der Entwicklungen einer Industrie 4.0 macht Kontextwissen zu einem basalen Bestandteil des Kompetenzprofils eines Ingenieurs für die Industrie 4.0. Gleichzeitig ist Kontextwissen selbst mehrdimensional zu verstehen. Dies macht es erforderlich, dass Kontextwissen nicht allein an den Hochschulen vermittelt, sondern überwiegend auch erfahrungsbasiert im laufenden Arbeitsprozess angeeignet wird. Ein Interviewpartner meint hierzu:

„Also wir haben Schnittstellen, wo es toll ist, wenn man auch versteht, was der Nachbar da irgendwie sagt. Und es wird in manchen

Positionen immer relevanter, dass man einfach ein übergreifendes Verständnis hat. Das heißt, man soll miteinander reden können und muss miteinander kommunizieren können. Wenn mir ein Mechaniker sagt, wo er gerade Toleranzprobleme hat, weil der Elektroniker ihm ein anderes Platinendesign gegeben hat, dann sollte ich als Softwerker nicht sagen: ‚Was ihr da schon wieder habt, keine Ahnung‘, sondern man muss ein gewisses Grundverständnis auch für andere Ingenieurwissenschaften, für andere produktionsrelevante Wissenschaften mit bringen. Das kann man aber auch im Alltag erwerben und auch in dem Berufsbild hier. Insofern ist das nicht notwendig, dass man alles von der Uni mitbringt. Man muss ein gewisses Interesse mitbringen, auch über den Tellerrand rauszugucken. Dieses Interesse daran, das sollte man trainieren und muss nicht schon über ganz viel Wissen aus allen anderen Richtungen verfügen“ (U1).

Der Erwerb erfahrungsbasierten Kontextwissens ist jedoch kein Selbstläufer, im Gegenteil können gerade auch bei hochqualifizierter Arbeit einige Lernhindernisse im Weg stehen, die durch die Etablierung lernförderlicher Arbeitsstrukturen abgebaut werden können.

2.2.5 ÜBERFACHLICHE KOMPETENZEN

Überfachliche Kompetenzen waren in Arbeitszusammenhängen schon immer relevant, erhalten seit den ersten Umstrukturierungsmaßnahmen in Richtung Selbstorganisation eine besondere Bedeutung und gewinnen aktuell im Zusammenhang mit Industrie 4.0 nochmals an Bedeutung hinzu. Ein Interviewpartner formuliert es so:

„Ich glaube schon, dass wir durch den gesamten Trend, in Information und in Vernetzung zu denken, neue Kompetenzen brauchen werden oder diese Kompetenzen mehr ausbilden müssen. Den komplexen Zusammenhängen nicht mehr nur rein in singulärerer Problemlösung [zu begegnen], also nicht mehr nur: ‚Ich habe ein Problem, ich muss in der Lage sein, genau für dieses eine Problem eine Lösung zu finden [...], und wenn ich die hab, dann passt es oder passt es nicht.‘ Sondern in Strukturen zu

denken, in neuem Miteinander zu denken, und das auf allen Ebenen. [...] Und dass wir dem offen gegenüber sind, dass wir uns da nicht abschotten und dass wir eben da auch ein anderes Mindset brauchen, mit solchen Dingen zu arbeiten, als wir das klassischerweise in den letzten Jahrzehnten gewohnt waren. Das heißt auch, soziale Kompetenzen, mit anderen Menschen, mit anderen Fähigkeiten umgehen zu können, werden viel mehr erwartet und gebraucht, als das vielleicht früher der Fall war. Also der Entwickler so als Stereotyp – der im einsamen Kämmerlein sitzt, und solange er Cola und Pizza bekommt, kann er am Rechner sitzen und programmieren – dieses Stereotyp, das wird immer mehr in den Hintergrund treten. Wir brauchen eher vernetzte Leute, die sich mit anderen austauschen, die in Open Spaces Themen adressieren, die Wissen generieren, die Wissen vermitteln. Also die Herausforderungen sind weniger nur rein technischer Natur, dass ich einfach neue Programmiersprachen lernen muss oder neue Elektronik beherrschen muss. [...] Sie liegen vielmehr darin, wie ich mit Wissen umgehe und wie ich in einer vernetzten Welt aufwache und wie ich die neuen Möglichkeiten, die erst in den letzten Jahren gekommen sind, bestmöglich nutzen kann, um für mich selbst und für das Unternehmen davon zu profitieren“ (U1).

Der Leiter eines Ausbildungsbereichs macht deutlich, dass insbesondere im Bereich der überfachlichen Kompetenzen zur teambasierten Arbeitsorganisation und Selbstorganisation der aktuell größte Weiterbildungsbedarf bei den beschäftigten Ingenieuren besteht:

„Meistens schulen wir sie in diesen sogenannten Soft Skills. Technisch auch, aber die Defizite [liegen bei] Teamfähigkeit, Projektmanagement, Scrum-Methode, ‚Wie organisiere ich mich?‘, Zeitmanagement ist auch so ein Thema [...], Kreativitätsmethoden [...]. Es geht gar nicht so um das Produkt. Aber es kommt auch kein gutes Produkt raus, wenn sie nicht zusammenarbeiten“ (U6).

In den qualitativen Erhebungen wird die Relevanz überfachlicher Kompetenzen von allen Interviewpartnern als überaus hoch bewertet. Sie spielen aktuell in der Personalrekrutierung

teilweise bereits eine ebenso wichtige Rolle wie fachliche Qualifikationen. „Ich würde mal sagen, fast 50 Prozent ausschlaggebend für die Einstellung. Also Fachidioten brauchen wir nicht, um das böse zu sagen“ (U6), so beispielsweise die plakative Aussage eines Interviewpartners. Aspekte wie Selbstständigkeit und Eigenmotivation, Lern- und Anpassungsfähigkeit, Offenheit gegenüber Neuem, Kreativität, Teamfähigkeit und Kommunikationsfähigkeit, Erfahrungen mit Projekt- und Netzwerkarbeit sowie Umgang mit Komplexität werden durchweg als sehr wichtig erachtet, um Industrie-4.0-Anwendungen zu entwickeln, zu implementieren und an den Markt zu bringen. Insbesondere die zunehmende Vernetzung und der schnelle technologische Wandel stehen im Mittelpunkt der Argumentation der Interviewpartner.

2.2.5.1 TREIBER „ZUNEHMENDE VERNETZUNG“

Die neuen Technologien bringen neue Arbeitsanforderungen und auch neue Organisationsstrukturen mit sich. So arbeitet man z. T. unvermittelter, z. T. technisch vermittelt in Echtzeit zusammen. Diese intensiviertere Vernetzung ist ein zentraler Ausgangspunkt für den zunehmenden Bedarf an vielen überfachlichen Kompetenzen, die in den Interviews in der Regel im Zusammenhang mit Teamfähigkeit thematisiert wurden. So meint ein Interviewpartner:

„Wenn sich die Form der Zusammenarbeit ändert von ‚festen Teams‘ zu plötzlich sehr vernetzten Teams, die nur über einen gewissen Zeitraum bestehen, brauche ich die Fähigkeit, mich regelmäßig auf neue Kollegen oder ein neues Umfeld einlassen zu können, also besser mit Veränderungen umgehen zu können. Es gibt auch einen Internationalisierungstrend bei uns. Das heißt also, interkulturelle Fähigkeiten werden immer wichtiger für uns. Dann alles, was mit Kollaboration [zu tun hat], also in Teams zusammenarbeiten, Konflikte lösen. Das sind alles Themen, an denen wir, auch wenn wir schon eine Weile dabei sind, weiter arbeiten müssen“ (U1).

Der Interviewpartner benennt eine zunehmende Vernetzung bei gleichzeitig zunehmender Wandelbarkeit der vernetzten Strukturen. Die

Fähigkeit zum Umgang mit permanenten Veränderungen und mit interkulturellen Unterschiedlichkeiten und auch mit Konfliktsituationen wird hierdurch zu einem immer entscheidenderen Erfolgsfaktor bei Teamarbeit. Die gesteigerte Vernetzung in praktischen Arbeitszusammenhängen erfordert auf Seiten der Beschäftigten außerdem, mit Konflikten umgehen zu können. In der Verbesserung des Umgangs mit Konflikten sieht ein Interviewpartner besonderes Potenzial hinsichtlich der Effizienz bei zunehmender Vernetzung:

„Wir sehen, dass wir besser sein können, wenn wir zum Beispiel die Fähigkeit haben, Konflikte schneller zu lösen als andere. [...] Jeder, der schon mal in irgendwelchen Projekten mit Menschen zusammengearbeitet hat, weiß, Konflikte sind unvermeidlich. Die Frage ist, wie schnell schafft man es, oder schafft man es überhaupt, die Konflikte zu lösen?“ (U1).

Ein Interviewpartner aus einem anderen Unternehmen stellt eine Verbindung her zwischen Konflikt- und Kommunikationsfähigkeit einerseits und der Digitalisierung von Unternehmensprozessen andererseits. Die technisch-organisatorische Veränderung von Arbeitsabläufen und Prozessen kann entwicklungsseitig nicht einfach Bereichen und Beschäftigten ‚übergestülpt‘ werden, sondern erfordert eine gelungene Kommunikation zwischen Entwicklern und Betroffenen:

„Ich hab hier einen Prozess, ich habe ihn analysiert, ich hab eine tolle Lösung, um ihn zu verbessern. Aber jetzt muss das umgesetzt werden mit den Mitarbeitern, nicht gegen die Mitarbeiter, die damit arbeiten. Das kann ich an der Uni nicht lernen. Das ist eigentlich so der Hauptknackpunkt, die Teamarbeit [...], die Kommunikation, ‚wie bringe ich das dann rüber?‘“ (U2).

Ein Interviewpartner begreift Vernetzungsfähigkeit selbst als notwendige überfachliche Kompetenz im Umgang mit Industrie-4.0-geprägten Arbeitszusammenhängen:

„Das Wissen steckt einfach in Systemen, wenn ich einen PC anmache, im Netz ist das Wissen. [...] Wo wir in der Zukunft hin müssen, ist genau, Wissen zu vernetzen, Erkenntnisse

zu vernetzen. Und das hat auch was [...] mit Eigenverantwortung zu tun. Sich wirklich für Dinge verantwortlich zu erklären, zu sagen: ‚Ah, das kenne ich nicht, das ist spannend, da fuchse ich mich mal rein. Wen kann ich denn noch fragen?‘ Und das ist etwas, woran wir stark arbeiten müssen in der beruflichen Bildung, aber auch in der Ausbildung von Ingenieuren, weil die Themen werden immer spezifischer [...]. Und wie gesagt, mit Wissen brauch ich nicht konkurrieren, Wissen haben die Systeme. Sondern: Wer kann Wissen am besten vernetzen und wer kann was draus machen und wer erkennt die Chancen?“ (U5).

Der Interviewpartner zielt mit seiner Aussage darauf ab, dass Vernetzung nicht nur auf technischer Ebene, sondern auch auf personeller Ebene funktionieren muss. Voraussetzungen hierfür sind unter anderem die Übernahme von Verantwortung und Möglichkeiten zur adäquaten Selbstorganisation. Letztere findet zunehmend in veränderter organisatorischer Ausgestaltung statt. So hält auch im Maschinen- und Anlagenbau der Trend zur agilen Organisation seit einiger Zeit Einzug:

„Was bei uns in den letzten Jahren zunehmend zum Einsatz kam und kommt, ist eine interdisziplinäre, agile Arbeitsweise. Das heißt, wir versuchen seit einiger Zeit, uns in interdisziplinären Teams aufzustellen. Das heißt, der Softwerker arbeitet nicht mehr für sich an der Software, sondern er arbeitet als Teil eines Teams, das ein Produkt entwickelt. Und dazu gehören alle Disziplinen inklusive Mechanik, Optik, Elektronik und Ähnlichem. [...] Und das erfordert durchaus eine andere Herangehensweise, als nur in einem Gewerk oder in einer Disziplin mit anderen Kollegen, die genau das Gleiche tun, zusammenzuarbeiten“ (U1).

Bereichsübergreifende Projektarbeit ist mittlerweile in Industrieunternehmen eine weit etablierte Arbeitsform, der Einzug agiler Methoden sowie der Einbezug auch der Softwareentwicklung führen jedoch zu neuen Strukturen und einer Ausweitung der interdisziplinären Zusammensetzung von Projektgruppen. Agile Methoden kommen dabei nicht nur im Bereich der reinen Produktentwicklung, sondern vor allem

auch bei der Entwicklung und Implementierung von Industrie-4.0-Anwendungen zum Einsatz. Der Leiter einer Softwareabteilung erklärt:

„Wir versuchen auch, agile Methoden einzusetzen, um schrittweise in ein Thema reinzukommen und nicht zu sagen: ‚Wir sehen nur das große Ganze und es geht nicht voran.‘ Wir versuchen, schrittweise das Thema zu erarbeiten, und dann sind agile Methoden eigentlich für uns sehr wichtig“ (U4).

Ein anderer Interviewpartner adressiert einen weiteren Aspekt im Zusammenhang mit teambasierter Selbstorganisation und agiler Arbeitsweise:

„Teamfähigkeit war schon immer wichtig im Sinne von ‚Fügt sich jemand gut in ein Team ein?‘. Aber definiere Team! Das Team verändert sich. Das Team besteht heute nicht mehr aus einer Zusammenarbeit auf gleicher Ebene, das Team besteht aus einer gemischten, teilweise über mehrere Hierarchiestufen hinweg zusammengesetzten Projektgruppe. Also Teamfähigkeit ist nicht mehr horizontal ausgeprägt, sondern hat eine vertikale Komponente gekriegt. Und das ist ein entscheidender Unterschied, ob ich mit diesen Dingen klarkomme oder ob ich in einer Hierarchieverhaftung bleibe und damit nicht in der Lage bin, in diesen agilen Strukturen zu arbeiten“ (U5).

Neue Formen der Selbstorganisation, wie die agile Arbeitsweise, erfordern neue prozessuale Vernetzungen auch zwischen Hierarchiestufen. Teamfähigkeit schließt also mehr und mehr auch die kollegiale Zusammenarbeit zwischen Mitarbeitern und Führungskräften ein. Eine Führungskraft eines anderen Unternehmens beschreibt den gesteigerten Kommunikations- und Austauschbedarf zwischen Führung und Mitarbeitern:

„Wenn Industrie 4.0 alles für mich macht, dann muss ich meine Mitarbeiter ganz anders betrachten oder darf ich auch ganz anders betrachten. [...] Muss ich vielleicht viel mehr sprechen? Muss ich mich viel mehr mit ihnen abstimmen?‘ Als ich vor 31 Jahren die Lehre begonnen habe, da hat man gesagt: ‚Lieber hier nicht rum – arbeite!‘ Heute motiviere ich

ganz häufig meine Mitarbeiter: ‚Stimmt euch ab, macht einen Projektplan, definiert das Ziel, spricht, trinkt eine Tasse Kaffee‘, und dann geht es in die richtige Richtung“ (U6).

Für Ingenieure bedeutet das, eine neue Kommunikations- und Kooperationsfähigkeit in Richtung Vorgesetzte zu entwickeln, die zum einen klassische Hemmnisse in der hierarchieübergreifenden Kommunikation überwindet und zum anderen spezifische Erfordernisse der Selbstorganisation klar adressiert, so dass auch die Führung adäquat damit umgehen kann. So erklärt ein Interviewpartner:

„Das sind noch Puzzlesteine, die zusammenwachsen müssen [...]. Das betrifft jetzt nicht nur digitale Technologie, sondern auch digitale Arbeitsweisen. Agile Arbeitsweisen. Wir sind gerade dabei, so ein Design Thinking Lab aufzubauen. Wir haben diese Scrum-Projekte laufen, und das muss ich auch Menschen zeigen, wie da gearbeitet wird. Wir sind gerade dabei, ein Führungskräfteprogramm aufzubauen, [um] wirklich anhand ganz konkreter Situationen deutlich zu machen, dass das was anderes ist. Können Sie sich vorstellen, dass Sie einen Bereich leiten, von dem Sie nicht alle Informationen haben? Ein Vorstand fragt Sie: ‚Ah, Herr Schmidt, Frau Müller, wo steht denn das Projekt?‘ Sie sagen, ‚Gute Frage, ich weiß nicht, ich hab in zwei Wochen wieder einen Termin, dann kann ich Ihnen mehr sagen, aber momentan machen die gerade ihren Sprint.‘ Und dann wird es plötzlich fassbar“ (U5).

Vernetzung nimmt also in vielerlei Hinsicht zu, sowohl zwischen Kollegen, Abteilungen, Disziplinen und Kulturen als auch zwischen Vorgesetzten und Mitarbeitern. Entsprechende neue Arbeitsorganisationsformen sind Ausdruck veränderter Anforderungen an Entwicklungs- und Produktionsprozesse im Zusammenhang mit Industrie 4.0. Dies verleiht überfachlichen Kompetenzen zur Zusammenarbeit eine besondere Relevanz. So zieht ein Interviewpartner das Fazit: *„Wie schaffe ich es, dass ich mich nicht auf mich konzentriere, meine Fähigkeiten, sondern in Netzwerken und Kooperationen denke? Ich werde es nicht mehr hinkriegen als Einzelkämpfer“ (U5).*

2.2.5.2 TREIBER „BESCHLEUNIGUNG DES TECHNOLOGISCHEN WANDELS“

Ein weiterer zentraler Ausgangspunkt für den zunehmenden Bedarf an überfachlichen Kompetenzen ist die aktuelle Beschleunigung des technologischen Wandels:

„Was da drin steckt an Kompetenzanforderungen, ist nicht nur fachlicher Natur. Bei den fachlichen Themen wird man die Fähigkeit brauchen, sehr, sehr schnell mit dem Technologiewandel mithalten zu können. Man merkt, dass die Verfügbarkeit von neuen Technologien wesentlich rasanter ist, als das vielleicht vor 20 Jahren noch der Fall war. Insofern braucht man einen ungeheuren Lernwillen, um bei den fachlichen Weiterentwicklungen mitzuhalten“ (U1).

Ein anderer Interviewpartner erachtet Lernorientierung als Handlungsfrage:

„Das ist eine spannende Frage, was ist eigentlich Digitalisierung, wofür steht Digitalisierung? Steht Digitalisierung dafür, dass ich einen PC bedienen kann, ein Smartphone und noch irgendwie ein paar nette Apps? Das sind kognitive Geschichten, das muss ich halt lernen. Ich glaube, was viel schwieriger ist, ist die Haltung, die dahinter steht. [...] Wie schaffe ich es, eine Haltung zu erzeugen, die durch Lernwilligkeit gekennzeichnet ist? ‚Ah, großartig, das ist ja neu! Chic, neu, damit kann ich umgehen!‘ Also ja, wie erschaffe ich eine Haltung, die offen und neugierig ist?“ (U5).

Diese Handlungsfrage ist keinesfalls trivial und kann kaum als ‚individuelles Problem‘ behandelt werden. Lernorientierung, Offenheit und Neugierde gewinnen unter Bedingungen schnellen technologischen Wandels als Anforderungen an Beschäftigte eine zunehmende Bedeutung und bleiben für die Dauer des ganzen Arbeitslebens relevant. Ein weiterer Interviewpartner meint hierzu:

„Wer weiß, was noch kommt. Und deswegen wird das sicher eine ganz wichtige Grundhaltung, nicht zu sagen: ‚Ich hab einmal etwas gelernt, darauf ruhe ich mich aus, und es wird mir auch reichen, bis zum Ende des

Berufslebens.‘ Nein, das ist es genau nicht. Das ist halt der Punkt, wie man diese Veränderungsbereitschaft [etabliert]. Das bedarf sicher auch gewisser Techniken, die man lernen kann“ (U5).

Die Etablierung von Veränderungsbereitschaft und Lernförderlichkeit liegt – über eine entsprechend angemessene Ausbildung und persönliche Fähigkeiten und Interessen hinaus – zu erheblichen Teilen auch in der Verantwortung der Unternehmen selbst. Wichtige Rahmenbedingungen einer lernförderlichen Arbeitsgestaltung sind etwa zeitliche Ressourcen und eine offene Austausch- und Feedbackkultur.

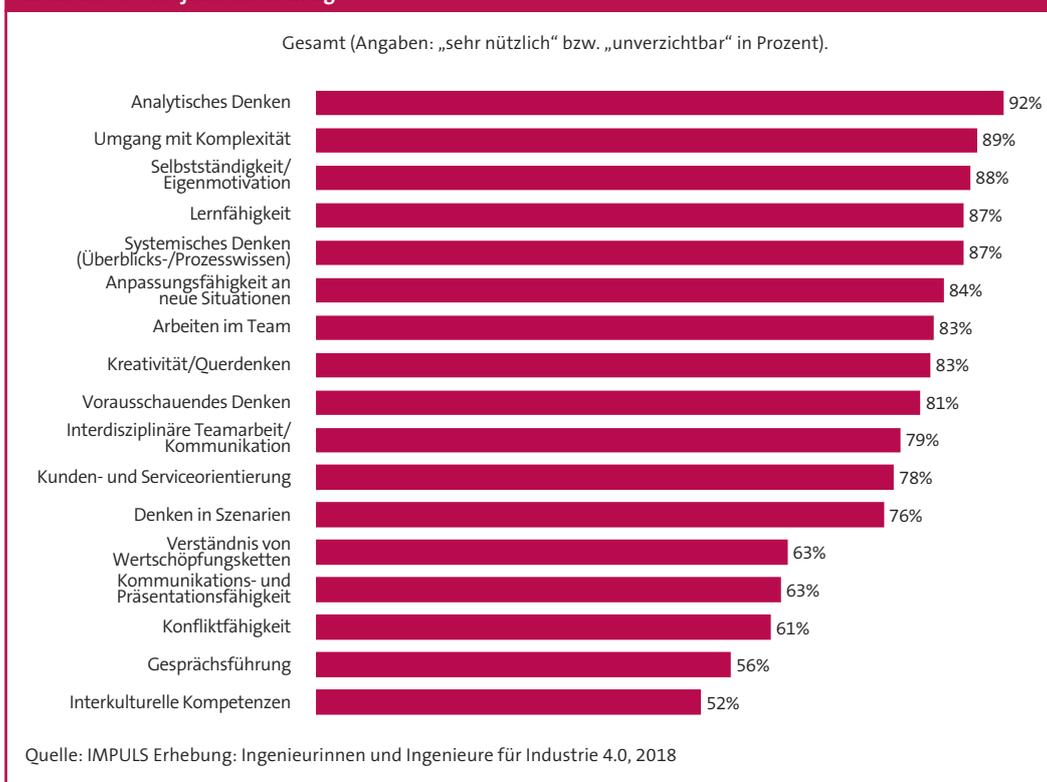
Allgemeiner Tenor in den Interviews war, dass die Relevanz überfachlicher Kompetenzen im Zusammenhang mit Industrie 4.0 kaum überschätzt werden kann. Sie gilt außerdem, der Logik der zunehmenden Vernetzung folgend, tendenziell für alle Unternehmensbereiche, so eine Führungskraft:

„Ich kann mir nicht vorstellen, dass das jetzt etwas ist, was nur die Entwicklung oder nur den Einkauf betrifft, sondern um das gut machen zu können, müssen sich jeweils ganz stark vernetzte Teams herausbilden, die dann zusammenarbeiten. Und deswegen wird es eine Änderung in den Kompetenzen in allen Bereichen geben müssen“ (U1).

Gleichzeitig wurde immer wieder darauf hingewiesen, dass der Bedarf in verschiedenen Unternehmensbereichen dennoch wiederum unterschiedlich gelagert sein wird. Dies zeigt sich etwa in einer Antwort auf die Frage, welche Relevanz die überfachliche Kompetenz der Kreativität und der Fähigkeit zum „Querdenken“ für die Beschäftigten habe. Dabei verweist der Interviewpartner darauf, dass der Stellenwert dieser Kompetenz je nach Bereich unterschiedlich ist:

Exkurs: Quantitative Befragung

Abbildung 8: Welche überfachlichen Kompetenzen sind Ihrer Meinung nach insbesondere für Industrie-4.0-Projekte notwendig?



Auch bei der quantitativen Befragung zeigen die Antworten der Unternehmen, dass es einen breiten Bedarf an überfachlichen Kompetenzen für Industrie-4.0-Projekte gibt. Im Ranking ganz oben stehen das analytische Denken, der Umgang mit Komplexität, die Selbstständigkeit/Eigenmotivation und das systemische Denken – Kompetenzen, die im Zuge von Industrie-4.0-Projekten offensichtlich stark gefragt sind. Am unteren Ende des Rankings stehen interkulturelle Kompetenzen, die jedoch dennoch von über 50 % der teilnehmenden Unternehmen als „sehr nützlich“ oder „unverzichtbar“ erachtet werden, was angesichts der starken Exportausrichtung des Maschinen- und Anlagenbaus möglicherweise zukünftig wichtiger wird (Abbildung 8).

Auffällig ist, dass es im Hinblick auf überfachliche Kompetenzen nur geringe Unterschiede zwischen den Bereichen gibt (vgl. Abbildung A-12). Kompetenzen, die im Kontext von Kommunikation, Gesprächsführung und Konfliktmanagement stehen, werden insbesondere im Bereich Einkauf/Verkauf als wichtig erachtet, d. h. in dem Bereich, der stark mit Externen (Lieferanten, Kunden) zu tun hat.

„Für manche wichtig, für andere hinderlich. [...] Also wichtig ist es für den, der sich das Gesamtkonzept überlegt, und eher hinderlich ist es für den Entwickler, der nachher im Detail die technische Lösung in einem bestimmten Fachgebiet machen soll. Dort muss ich mit anderen zusammenarbeiten und auf bereits Entwickeltes zurückgreifen, damit ich meine restliche Performance für neue, weitere Entwicklung nutzen kann. Wenn ich dort den Individualisten hab, der jedes Mal alles wieder neu macht, dann komme ich nie weiter. Dann habe ich tolle individuelle Lösungen, aber nie ein Serienprodukt, das ich ausbauen kann“ (U4).

Überfachliche Kompetenzen müssen also notwendigerweise den Bedarfen spezifischer Bereiche und Arbeitsplätze entsprechen.

2.3 SOLL-PROFIL „INGENIEURE FÜR INDUSTRIE 4.0“: ELEMENTE UND WESENTLICHE STRUKTUR

Ingenieure des Maschinen- und Anlagenbaus, die für eine Industrie 4.0 adäquat vorbereitet sind, benötigen aus Sicht der befragten Unternehmen

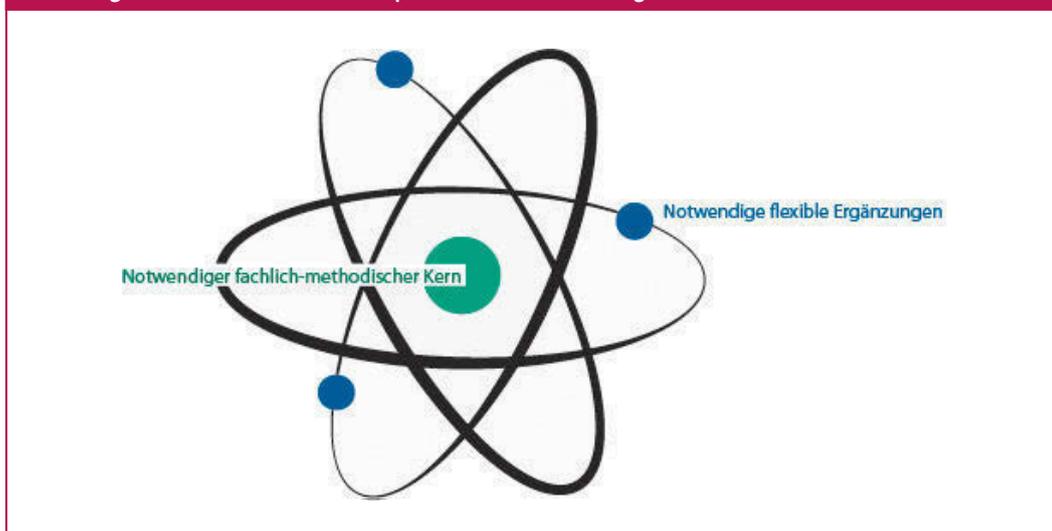
- solide Kenntnisse und Kompetenzen in einer fachlichen Kerndisziplin,

- in der Methode des Prozess- und Systemdenkens und
- in den Fachbereichen Informatik und Data Science, zudem
- Kontextwissen und
- überfachliche Kompetenzen.

Diese fünf Elemente eines Soll-Profiles von Ingenieuren für eine Industrie 4.0 lassen sich jedoch nicht einfach aufaddieren, sondern stehen in einem spezifischen Verhältnis zueinander. So ist die wesentliche Struktur des Soll-Profiles geprägt von einem **grundlegenden fachlich-methodischen Kern** und ebenfalls **notwendigen, aber inhaltlich flexiblen fachlichen und überfachlichen Ergänzungen**.

Zum **grundlegenden Kern** zählt nach wie vor das Studium in einer etablierten Fachrichtung, in erster Linie Maschinenbau, Elektrotechnik oder Informatik. Ebenso notwendig ist der Erwerb der spezifischen Methodenkompetenz des Prozess- und Systemdenkens, der im Studium systematisch angelegt sein muss. Dies gilt obligatorisch für alle Kerndisziplinen und Anwendungsbereiche. Außerdem zeigen die Untersuchungsergebnisse die Notwendigkeit, das Studium des Maschinenbaus und der Elektrotechnik um die Vermittlung von Grundlagenkenntnissen in den

Abbildung 9: Kern und Satelliten im Sollprofil von Industrie-4.0-Ingenieuren



Fachbereichen Informatik und Data Science zu erweitern sowie im Informatikstudium entsprechende Grundlagen des Maschinenbaus, der Elektrotechnik und der Data Science als Anwendungsfelder zu etablieren.

Notwendige flexible Ergänzungen umfassen die Vertiefung von fachlichem Wissen in Anwendungsbereichen des Maschinen- und Anlagenbaus, den Erwerb von Kontextwissen bezüglich anderer Unternehmensbereiche (z. B. Vertrieb) und Disziplinen (z. B. BWL) sowie den Erwerb überfachlicher Kompetenzen. Die jeweiligen Inhalte sind abhängig davon, in welchem Unternehmen und Unternehmensbereich sich die berufliche Position der jeweiligen Beschäftigten befindet und welche Arbeitsaufgaben mit ihr verbunden sind. Ein Ingenieur in der Produktionsplanung eines großen Verbrennungsmotorenherstellers mit internationalem Kundenstamm wird anderes Vertiefungs- und Kontextwissen und zum Teil andere überfachliche Kompetenzen benötigen als ein Entwicklungsingenieur eines mittelständischen Werkzeugmaschinenherstellers mit Kunden ausschließlich im deutschsprachigen Raum.

Des Weiteren befinden sich die Entwicklungen rund um eine Industrie 4.0 erst am Anfang und sind verbunden mit einem auf Dauer gestellten Veränderungsprozess. Ein Personalleiter fasst die daraus resultierenden Anforderungen an zukünftige Absolventen folgendermaßen zusammen:

„Das Abschlusswissen des Berufsanfängers von heute wird nicht 50 Jahre halten. Sondern es wird sich permanent verändern müssen, [er wird] permanent dazulernen müssen und auch permanent mit anderen Umgebungen klarkommen müssen. Das gilt für nahezu alle Disziplinen“ (U5).

Das Soll-Profil von Ingenieuren für die Industrie 4.0 muss also notwendigerweise inhaltlich flexibel und über die Zeit veränderbar angelegt sein. Ingenieure, die die Industrie 4.0 maßgeblich voranbringen und gestalten, müssen daher über einen *soliden fachlich-methodischen Kern und flexibel anpassbare „Wissens- und Kompetenzsatelliten“* verfügen (Abbildung 9).

Mit Blick auf die Ausbildung im Studium zielt das hier vorgestellte Soll-Profil darauf, dass sowohl tiefgehende Kenntnisse in einer etablierten ingenieurwissenschaftlichen Disziplin als auch Grundlagenkenntnisse insbesondere in den Fachbereichen Informatik und Data Science zu vermitteln sind. Diese Kenntnisse gehören heute aus Sicht der Unternehmen zum *notwendigen fachlichen Kern des Ingenieurprofils*. Die Auswertung der qualitativen Interviews macht deutlich, dass die organisatorische Lösung einer weiteren Hybridisierung von Studiengängen im Allgemeinen nicht den fachlichen Anforderungen der Unternehmen genügen dürfte, da die Gefahr eines Verlusts an grundlegendem disziplinärem Fachwissen gesehen wird. Eine modulare Integration dieser Wissensgebiete in die Ingenieurstudiengänge ist eher geeignet und praktikabel, wie auch die Auswertung der Interviews mit den Hochschulvertretern zeigt. Das Soll-Profil verweist perspektivisch auf einen weiteren Ausbau neuer Lehr- und Lernformate an den Hochschulen für den systematischen Erwerb methodischer und überfachlicher Kompetenzen (vgl. Abschnitt III). Und es betont die Notwendigkeit lebenslangen Lernens, was nicht zuletzt den Blick in die Unternehmen selbst und auf die lernförderliche Gestaltung von hochqualifizierter Arbeit richtet.

3. REKRUTIERUNGSBEDARF UND REKRUTIERUNGSSTRATEGIEN FÜR INDUSTRIE 4.0

Die Unternehmen stehen bei der Rekrutierung qualifizierter Fachkräfte für Industrie 4.0 und Digitalisierung vor einer Reihe von Herausforderungen. Der Arbeitsmarkt für bestimmte Ingenieurtypen und insbesondere für Informatiker und Software-Entwickler ist für die befragten Unternehmen aufgrund der steigenden Nachfrage nach solchen Qualifikationen enger geworden. Vor dem Hintergrund der bereits seit einigen Jahren anhaltenden positiven ökonomischen Entwicklung im Maschinen- und Anlagenbau sind die Aussichten für Bewerber, relativ schnell eine geeignete Stelle in einem Unternehmen zu finden, positiv. Besonders gut stellt sich die Arbeitsmarktsituation für Bewerber mit einer ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung und zusätzlichen Qualifikationen bzw. Kenntnissen in der Informatik sowie in neuen Feldern wie Big Data dar. Für die Unternehmen bedeutet dies eine deutliche Änderung ihrer Position auf dem Arbeitsmarkt. Die Unternehmen können nicht mehr selbstverständlich davon ausgehen, dass sie die Besten aus einer Vielzahl von Bewerbungen auswählen können. Vielmehr sind sie gefordert, sich als interessante und attraktive Arbeitgeber darzustellen und von sich aus um potenzielle Bewerber zu werben.

„Wir müssen uns ganz stark darauf fokussieren, dass wir [...] eine Verkäuferrolle einnehmen [...], unser Unternehmen auch als attraktiven Arbeitgeber präsentieren müssen. Eine ganz starke Bedeutung hat bei uns das Thema Employer Branding bekommen, Personalmarketingmaßnahmen, dann die Art, Kandidaten anzusprechen, Stichwort Direct Sourcing [...]. Dass wir unsere am Recruitment-Prozess beteiligten Fachbereiche und Führungskräfte dahingehend sensibilisieren mussten, dass die halt mehr diese Verkäuferrolle in Interviews [...] mit den Kandidaten haben [...]; ‚friss oder stirb‘, wie es vor zehn Jahren noch war, das funktioniert ja nicht mehr, sondern jeder Kandidat hat mindestens drei, vier weitere Unternehmen, wo er einen Vertrag unterschreiben kann“ (U1).

Weitere Hinweise deuten darauf hin, dass die Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus sehr viel stärker als bisher ihre wachsende Nachfrage nach informationstechnischen Stellenprofilen herausstellen müssen. Bisher, so der Eindruck aus den Experteninterviews, werden sie seitens der Bewerber mit Qualifikationen und Kompetenzen in den Feldern Informatik oder Big Data eher den traditionellen Industriezweigen zugerechnet und deshalb als potenzielle Arbeitgeber zu wenig wahrgenommen.

„Berufsbilder [...], die wir in der Metall- und der Elektroindustrie so nicht hatten, nicht kennen, wie zum Beispiel einen Scrum Master oder wie einen Web Front-End Designer oder einen E-Shop-Menschen oder so was, sondern wir kennen den Maschinenschlosser, den Ingenieur und den Oberingenieur, und dann war es das. [...] Also der IT-Softwareentwickler, der E-Channel und Search Engine Optimization oder was er auch immer macht, der muss erst bewegt werden, dass er überhaupt U5 als Arbeitgeber empfindet. Und nicht sagt: Na, Google oder Web.de oder Yahoo oder SAP – aber [...] U5, Old School, Old Economy, Heavy Metal, was soll das [...]? Und dieses Portfolio deutlich zu zeigen, klarzumachen, das ist, glaube ich, die Hauptherausforderung“ (U5).

Im Zusammenhang mit Industrie 4.0 und Digitalisierung sind zugleich die Berufsbilder und Jobprofile in Bewegung. Aufgrund der beschleunigten technologischen Entwicklungen entstehen aktuell inhaltlich noch nicht präzise gefasste neue Tätigkeitsfelder. Daraus resultieren Suchprozesse auf Seiten der Unternehmen wie der potenziellen Bewerber.

„Es werden teilweise neue Berufsbilder kreiert. Wir nennen das Cloud Engineer. Wenn Sie auf Jobbörsen nach Cloud suchen, gibt es die verschiedensten Konstrukte, die Unternehmen sich da überlegen, wie das Kind heißen soll. Also es sind auch wirklich neue Berufsbezeichnungen, wonach kein Bewerber sucht, weil er das bisher gar nicht kannte“ (U6).

Hinzu kommt, dass nicht alle Unternehmen über die gleichen Rekrutierungsmöglichkeiten und -fähigkeiten verfügen, besonders wenn es um Disziplinen geht, die auch in anderen

Branchen stark nachgefragt werden. Kleinere Unternehmen, die entweder in nicht-städtischen Regionen oder in Regionen mit großer Konkurrenz um qualifizierte Arbeitskräfte angesiedelt sind, müssen oft Kompromisse zwischen ihren Wunschprofilen und realistischen Rekrutierungspraktiken eingehen.

„Wir trennen jetzt zwischen Wunsch und Realität. Ich würde sehr gern Bachelor oder Master einstellen, ist aber nicht realistisch, weil die, wenn sie qualifiziert sind, hier [Stuttgarter Raum] genügend Möglichkeiten haben, zu anderen Gehältern anzufangen“ (U3).

Aufgrund dieser Gemengelage – enger Arbeitsmarkt bei der Suche der Unternehmen des Anlagen- und Maschinenbaus nach Arbeitskräften aus den Bereichen Informatik und Big Data, neu entstehende, jedoch noch nicht klar konturierte Berufsprofile und Tätigkeitsfelder sowie der Umstand, dass die Unternehmen des Anlagen- und Maschinenbaus bei IT- und Software-Spezialisten bisher eher nicht als potenzielle Arbeitgeber wahrgenommen werden – verfolgen die befragten Unternehmen Rekrutierungsstrategien mit verschiedenen Elementen.

In ihrer Suche nach potenziellen Bewerbern richten sie ihre Strategien stärker proaktiv aus. Bei der Auswahl von Hochschulabgängern zielen sie auf einen Mix von Absolventen aus allen Hochschultypen, um eine ausgewogene Mischung zwischen eher theoretisch und eher praktisch ausgerichteten Profilen zukünftiger Beschäftigter in ihre Belegschaften zu integrieren. Eine besondere Rolle spielt dabei die Ausbildung von dual Studierenden, wobei in diesem Bereich die Mehrzahl der untersuchten Unternehmen aktiv ist.

3.1 ELEMENTE EINER PROAKTIVEN PERSONALPOLITIK

In den befragten Unternehmen, die ganz überwiegend den traditionellen Industrien zuzurechnen sind, besteht über alle Größen und Regionen hinweg ein klares Einverständnis, dass zur Rekrutierung von guten Ingenieuren und

besonders von Informatikern, die zunehmend nachgefragt werden, eine proaktive Personalpolitik entwickelt werden muss.

„Der sogenannte War for Talents ist ja nicht vorbei [...]. Im Bereich der Softwareentwickler, also alles, was Informatiker sind, ist es wirklich schon sehr schwer geworden. Und das wird zunehmend schwerer [...]. Das heißt, motivierte, vernetzt denkende Entwickler, die sowohl mit klassischen als auch modernen Sprachen umgehen können, das ist tatsächlich enorm herausfordernd im Moment“ (U1).

Der Kern einer proaktiven Personalpolitik besteht darin, sich gegenüber potenziellen Bewerbern als attraktiver Arbeitgeber darzustellen. Dazu müssen die Unternehmen ein Verständnis davon gewinnen, was einen Arbeitsplatz heute für junge Ingenieure attraktiv macht und was sich gegenüber früher verändert hat. Wie die Aussagen der Unternehmensvertreter zeigen, spielt bei aktuellen Rekrutierungsstrategien das Angebot *interessanter Arbeitsplätze* mit technisch herausfordernden Inhalten eine wichtige Rolle.

„Früher waren wir als Platzhirsch, als Maschinenbau, attraktiv, heute wird tatsächlich über den technischen Reiz der Aufgabe rekrutiert. [...] Da muss man auch gewisse Attraktivität bieten den Neulingen. Bisher versuche ich das immer mit der Technologie, zu zeigen, dass U4 Stand der Technik macht und neueste Technologie einsetzt, was den Bewerbern eigentlich auch am wichtigsten ist“ (U4).

Ein weiterer großer Bereich, der von den Bewerbern immer wieder nachgefragt wird, ist die Unternehmensorganisation. Nach Aussage der befragten Unternehmen ist ein wachsendes Interesse an *flachen Hierarchien und sinnhaften Arbeitsinhalten* zu verzeichnen.

„Unser Unternehmen [muss sich] auch als attraktiver Arbeitgeber präsentieren. Gerade bei den jungen Absolventen, die wollen auch früh schon Verantwortung übernehmen, spannende Projekte bekommen, Abwechslung bekommen und eine Unternehmenskultur, die auf Wertschätzung, Vertrauen und [...] Augenhöhe basiert. Das ist so das Wichtigste, was wir so feststellen. Und so Prestigeobjekte

wie Einzelbüro, Firmenfahrzeug und so weiter, das steht nicht so im Vordergrund. Oftmals auch Titel schon gar nicht mehr so, also bei der jüngeren Generation jetzt. Wichtig ist die Aufgabe, die sie kriegen, was kann man bewirken, Sinnhaftigkeit in der Tätigkeit, das ist wichtig“ (U1).

Ein weiteres Element einer proaktiven Personalpolitik sind Angebote einer ausgewogenen *Work-Life Balance* und einer erhöhten Flexibilität der Arbeitsbedingungen für die zukünftigen Beschäftigten.

„Die größte Herausforderung ist, dass wir eine [...] Unternehmenskultur schaffen, [...] eine Transparenz haben, sowohl in der Technik als auch in dem anderen strukturellen Umfeld. Und dass wir [...] diese *Work-Life-Balance*, also Arbeitszeitmodelle und so weiter, dass wir das in Einklang kriegen“ (U6).

Maßnahmen für eine ausgewogene *Work-Life Balance* umfassen unter anderem attraktive, flexible Arbeitszeitmodelle, die etwa einen Verzicht auf Kernarbeitszeiten, das Angebot von Lebensarbeitszeitkonten, flexible Angebote ortsunabhängigen Arbeitens oder Möglichkeiten längerer Freistellungen wie *Sabbaticals* einschließen können.

Zu einer proaktiven Personalpolitik gehören schließlich auch veränderte *Sourcing-Strategien*. Jüngere Beschäftigte und Studienabgänger nutzen heute bei der Suche nach potenziellen Arbeitgebern für ihre Bewerbungen vielfältige digital gestützte Portale. Bei einer proaktiven Personalpolitik ist es für die Unternehmen deshalb wichtig, in solchen Portalen ebenfalls präsent zu sein.

„Einerseits *Active Sourcing*, über *Xing*, *LinkedIn*, sonstige Datenbanken, selbst *Google* teilweise findet man interessante Kandidaten, die man identifiziert und anspricht. Andererseits, es gibt ja ein Konzept vom *VDI*, aktuell aufgesetzt, ‚*Passion Recruiting*‘, wo Interessenten so eine Art *Blog-Beiträge* lesen, also ganz verschiedene Beiträge zu technischen Themen. Und dann steht da unten: Haben Sie Interesse daran, mitzuarbeiten? Wir laden Sie zu einem unverbindlichen Gespräch ein“ (U6).

Daneben sind besonders kleinere Unternehmen mit Nachteilen gegenüber größeren Unternehmen bei der Suche nach gut qualifizierten Beschäftigten auf weitere, eher unkonventionelle Wege einer proaktiven Personalpolitik bei der Suche nach gut qualifizierten Beschäftigten angewiesen. Sie müssen ihre Such- und Auswahlstrategien den jeweiligen Umständen anpassen. Bei der Suche nach geeigneten Arbeitskräften setzen einige Unternehmen auch auf Ingenieure und Informatiker, die gute akademische oder fachliche Qualifikationen besitzen, aber weniger stark in der Vermittlung fachlicher Inhalte sind.

„*Fachinformatiker* oder *Studienabgänger Fachinformatik*, das würden wir gerne haben, kriegen wir nicht. Wir sind nicht attraktiv genug. [...] Ich sage jetzt mal, wir unterhalten uns gerne mit den Besonderen. Solche, die vielleicht [...] ein Kommunikationsproblem haben [...], da gibt es sehr, sehr Gute drunter. Das sind unsere Besten in der Entwicklung jetzt. Ich sage mal, auf Kundenkontakt macht das keinen Sinn, aber in der Entwicklung hervorragende Leute“ (U3).

3.2 REKRUTIERUNG VON HOCHSCHULABSOLVENTEN

Aus den Interviews geht der nachhaltige Eindruck hervor, dass die Unternehmen bei ihren Rekrutierungsstrategien sehr pragmatisch vorgehen. Es gibt kaum Neigungen, idealisierte Profile des perfekten Ingenieurkandidaten zusammenzustellen. Aus den geplanten technischen Entwicklungen und den damit verbundenen organisatorischen Wandlungen und Veränderungen von Arbeitsstrukturen und Prozessen ergibt sich für die Unternehmen, wie gezeigt, zwar ein Bild zukünftiger Anforderungen an Kompetenzprofile für Ingenieure in der Industrie 4.0 (siehe Abschnitt II.2). Aber je nach Größe, Region, Arbeitsmarktbedingungen und den Angeboten unterschiedlicher Bildungs- und Ausbildungsinstitutionen stimmen die Unternehmen ihre Rekrutierungsstrategien auf die gegebenen Realitäten ab.

Die Rekrutierungsstrategien der befragten Unternehmen adressieren die verschiedenen Arten der bestehenden akademischen

Ausbildungsinstitutionen: Universitäten, Hochschulen für angewandte Wissenschaften und duale Hochschulen. Die Unternehmen zielen bei ihren Rekrutierungsstrategien von Studienabsolventen darauf ab, einen ausgewogenen Mix zwischen stärker praxis- und stärker theoriegeprägten Studienabschlüssen herzustellen.

„Das Wissen, was die Kollegen im dualen Studium aufbauen, und das, was die Universität aufbaut, ist nicht identisch. Da ist einfach eine große Lücke, weil die Kollegen hier natürlich viel Praxistätigkeit machen, dadurch bleibt vieles von der Theorie [...] nicht behandelt“ (U4).

Diese breit angelegte strategische Ausrichtung entspricht der Nachfrage der Unternehmen nach einer Mischung von Qualifikationen und Kompetenzen ihrer akademisch ausgebildeten Fachkräfte mit unterschiedlichen Schwerpunkten in Bezug auf Theorie und Praxis. Mit einer einseitig ausgerichteten Strategie etwa in Richtung der Absolventen dualer Studiengänge könnten negative Konsequenzen für die Innovationspotenziale der Unternehmen verbunden sein.

„Also grundsätzlich sehen wir das Konzept des dualen Studiengangs sehr positiv, sehen aber auch einen Mangel, dass es dann doch schon sehr stark auf das Unternehmen fokussiert ist [...] und [...] ich sehr schnell in einen [...] Tunnelblick, in Firmenblindheit auch reingelange. Das ist durchaus eine Gefahr, die da passieren kann“ (U6).

Wichtig für die Unternehmen sind deshalb Ingenieure aus allen Ausbildungsinstitutionen, die akademische Bildung vermitteln. Im Allgemeinen gelten aus Sicht der befragten Unternehmensvertreter die Hochschulen für angewandte Wissenschaften und die dualen Hochschulen als praxisnäher, und es wird auch die Position vertreten, dass sie schneller in der Lage sind, ihre Lehrpläne und -programme an neue Trends in der Wirtschaft anzupassen.

„Die Fachhochschulen [Hochschulen für angewandte Wissenschaften] setzen ja viel auf aktuellen Technologien auf und schauen, dass man das, was jetzt vorhanden ist und was jetzt am Entstehen ist, auch praktisch benutzen kann, praktisch einsetzen kann und

dann ein Stück weit mehr Handwerk, ein Stück weit mehr also mit Praxiswissen verbunden ist“ (U1).

Universitäten wiederum gelten als forschungsorientierter und eher imstande, die theoretischen Grundlagen von Ingenieurfächern in der Tiefe abzudecken. Mit diesen Kompetenzen ist diese Gruppe ausgebildeter Ingenieure wichtig für die Unternehmen zur Bewältigung des technologischen Wandels.

„Es ist einfach noch wichtig, theoretische Grundlagen zu schaffen und selbstständiges Erarbeiten von Problemen. Das lernt man in der Universität einfach noch am besten. Die [...] Fachhochschulen sind schon eher so ein Schulbetrieb, und duales Studium ist noch mehr wie der klassische Schulbetrieb, wo man einfach so getaktet ist. Und in der Universität muss man wirklich selbstständig arbeiten und selbstständig auch das Lernen lernen. [...] Und dann bleibt das Wissen auch besser erhalten“ (U4).

Die Universitätsabsolventen werden für ihr breites Grundlagenwissen in ingenieurwissenschaftlichen Methoden hoch geschätzt, vor allem in den F&E-Abteilungen.

„Universität ist nach wie vor sicherlich etwas in der Tiefe, wo wir sicherlich mehr haben, die im Entwicklungsbereich, also mehr in der Forschung [...] zu Hause sind“ (U6).

3.3 DUALE HOCHSCHULAUSBILDUNG ALS WICHTIGE REKRUTIERUNGSFORM DER BEFRAGTEN UNTERNEHMEN

Fast alle, d. h. sechs der sieben in die Untersuchungen einbezogenen Unternehmen sind aktiv in der Ausbildung dual Studierender tätig. Dies bezieht sich schwerpunktmäßig auf Bachelor-Studiengänge und -Abschlüsse. Angesichts der großen Nachfrage ist das Rekrutierungsinteresse der Unternehmen an Absolventen mit Schwerpunkten in informationstechnischen und ganz neuen Studienrichtungen wie Data Science besonders ausgeprägt.

„Wir machen sehr viel mit der dualen Hochschule. Also da bieten wir verschiedene Ausbildungsgänge an, und das ist für uns auch eine gute Methode, um an eine gewisse Menge von Personal zu kommen, weil, wenn wir uns jetzt alle am freien Markt suchen müssten, würden wir die nicht bekommen hier. Also es ist schon schwer genug, wenn wir Softwareentwickler suchen, das ist fast unmöglich. Das sind dann mehr oder weniger Zufallstreffer, dass sich mal jemand hier verirrt und dann auch sagt, ich möchte hier bleiben. Deshalb haben wir auch ein hohes Engagement für diese duale Ausbildung“ (U4).

Ingenieure von dualen Hochschulen werden positiv bewertet und als bedeutsamer Faktor für den Unternehmenserfolg betrachtet, und zwar vor allem wegen ihrer Vertrautheit mit Prozessen und Produkten infolge des starken Bezugs zur Unternehmenspraxis, die bereits während der Ausbildung beginnt.

„Also ich halte das duale Studium generell schon für ein gutes Studium, einfach, weil man sehr viel dann schon Einblick bekommt in die Fabrik, in Industrie-4.0-Themen, und nicht nur Theorie. [...] Man hat sehr viele Vorteile im dualen System, dass ein Student einfach schon viel gesehen hat, dass er einfach mehr Wissen mitbringt auch aus der Praxis, was in unserem Bereich halt eben sehr wichtig ist. Ein reiner Theoriemensch, der nur alles theoretisch rechnet, aber noch nie in einer Fertigung war, bringt uns an der Stelle nicht unbedingt weiter“ (U4).

Durch diese frühzeitige, bereits im Studium beginnende Verknüpfung zwischen theoretischen, praktischen und unternehmensspezifischen Kompetenzen wird aus Sicht der Unternehmen der bekannte „Praxisschock“ vermieden oder doch deutlich abgemildert, den Studierende ohne vorherige Praxiserfahrungen beim erstmaligen Eintritt in ein Beschäftigungsverhältnis und bei der Begegnung mit betrieblichen Realitäten häufig erleben. Besondere Merkmale der Kompetenzbildung von dual Studierenden sind für die Unternehmen, dass sie unter realen Bedingungen mit zeitlichen Restriktionen und Vorgaben qualitativer Standards an Produkten und Dienstleistungen arbeiten und lernen, mit

diesen vielfältigen Anforderungen umzugehen. Durch die Praxisphasen werden schon während des Studiums selbstständiges Handeln und die Vernetzung mit anderen Abteilungen und Standorten des jeweiligen Unternehmens gefördert.

„Ja, insofern, dass die [dual Studierenden] schon eine andere Berufsreife [...] haben, weil die natürlich schon drei Jahre oder dreieinhalb Jahre voll im Berufsleben neben dem Studium auch bei uns standen. Auch anders gefordert wurden, auch natürlich einen viel höheren Stresslevel hatten, weil [...] ein Student, der normal eingeschrieben an der Uni ist, der kann seine vorlesungsfreie Zeit für sich gestalten, wie er möchte. Das kann natürlich ein dualer Student nicht, der hat hier dann zu arbeiten, in Projekten zu arbeiten, Arbeit abzuliefern, und das stellt schon in der Regel einen höheren Grad an Selbstständigkeit dar. [...] Die haben einfach den Vorteil, dass sie bei uns im Unternehmen auch schon integriert sind, vernetzt sind“ (U1).

Gleichwohl deuten einzelne Äußerungen der Gesprächspartner darauf hin, dass auch für dual Studierende ein weiterer Einarbeitungsbedarf in den Bereichen besteht, in denen sie nach Studienende ihre erste Stelle im Unternehmen antreten.

„Wenn der duale Student nach vier, fünf Jahren bei mir dann aufschlägt, muss er erst noch mal richtig durchstarten, was so die Betriebsabläufe betrifft. Also da brauchen wir dann noch mal so zwei bis drei Jahre. Kann ich ganz gut beurteilen, weil der [Herr XY] ist eigentlich jetzt so nach zwei Jahren erst richtig up to date. Und jetzt ist es ein richtig gefragter Mann. Also da brauche ich mir gar keine Sorgen machen. Da muss ich eher dran arbeiten, dass der bei mir bleibt [...]. Ausbildung, Studium und tägliches Business, wenn man diese drei Sachen hat, dann kann man wirklich loslaufen“ (U6).

Die Nachfrage in den Unternehmen nach den zukünftigen dual Studierenden geht innerbetrieblich von den jeweiligen Fachabteilungen aus. Es wird also bedarfsorientiert ausgebildet. Auf Grundlage mittelfristiger Einschätzungen zum jeweiligen Fachkräftebedarf melden die Abteilungen ihren Bedarf an, anhand dessen

die dual Studierenden rekrutiert werden. Dies bedeutet für die Unternehmen und die Studierenden eine gegenseitige längerfristige Bindung über mehrere Jahre, die mindestens die Ausbildungszeit von in der Regel etwa vier Jahren umfasst. Deshalb besteht die Perspektive der Unternehmen ganz eindeutig darin, die große Mehrheit der dual Studierenden nach Studienende in ein festes Arbeitsverhältnis zu übernehmen. *„Das ist für uns eigentlich ein kontinuierlicher Basis-Personalbeschaffungs-Sockel, auf dem wir grundsätzlich aufbauen. [...] Wir haben Interesse, alle zu übernehmen, außer sie arbeiten aktiv dagegen“* (U4).

Organisiert werden die Studiengänge meist in enger Kooperation mit Hochschulen für angewandte Wissenschaften, die in regionaler Nähe der Unternehmen angesiedelt sind.

„Wir unterstützen duales Studium, bieten auch hier Studienplätze dafür an in Kooperation mit den Hochschulen, zum Teil bei uns zu arbeiten und dann auch an der Hochschule einen Studienabschluss zu bekommen. Wir kooperieren mit den Hochschulen hier im Umkreis“ (U1).

Dual ausgebildet werden die Studierenden schwerpunktmäßig in technischen Ausbildungsberufen (Industriemechaniker, Mechatroniker, Elektroniker) und den entsprechenden Studienrichtungen (Maschinenbau, Mechatronik, Elektrotechnik). Immer wichtiger für die Unternehmen werden außerdem IT-Ausbildungen und die entsprechenden Studiengänge. Die beruflichen Abschlüsse werden von der IHK zertifiziert, an den Hochschulen erwerben die Studierenden die Abschlüsse in ihren jeweiligen Fachrichtungen.

In einzelnen Unternehmen werden über den Bachelor hinaus zusätzlich dual organisierte Masterstudien angeboten. Voraussetzung ist auch in diesen Fällen eine konkrete Nachfrage für einen späteren Einsatz aus einer Fachabteilung des Unternehmens.

„Von der Basis aus, Bachelor, kommunizieren wir dann mit dem Studenten, [...] wir sprechen mit der Abteilung, wie seine Entwicklung aussieht, und dann entscheiden wir und sagen, ja, wir setzen [...] noch mal zwei Jahre drauf, und dann macht der seinen Master. Oder wir

sagen, jetzt holst du erst mal Erfahrung rein und wir machen dann noch mal einen Master on the Job. [...] er wird dann von der Arbeitszeit ein bisschen zurückgenommen und kann dann on the Job, ein bisschen mit Freizeit investiert, auch seinen Master machen“ (U6).

Bei der Variante „Master on the Job“ verlängert sich die Studienzeit auf vier Jahre. Aus Unternehmenssicht ist eine solche Verlängerung der Studiendauer unproblematisch, wichtiger ist eine vertiefte Unternehmensbindung.

„Wir versuchen aber auch immer die Betriebsnähe zu haben. Weil wir auch eine Bindung haben wollen. Sie verlieren schnell einen Studenten. Und auch da ist der Wettbewerb während des Studiums groß, dass wir [...] so drei, vier Leute immer wieder an andere Firmen verlieren“ (U6).

Für solche Masterstudien wird überregional mit verschiedenen Hochschulen kooperiert. Ausgewählt werden die kooperierenden Hochschulen nach den Studieninhalten, die einen Zusammenhang mit den betrieblichen Einsatzfeldern haben sollen, sowie nach der Qualität des Studienangebots.

Nach Aussage der Unternehmensvertreter werden seitens der kooperierenden Hochschulen die dual Studierenden generell positiv beurteilt, weil sie immer wieder ihre praktischen Erfahrungen in den Studienalltag einbringen und weil sie besonders motiviert sind.

„Jetzt hatten wir wieder ein paar Studiengangsbeste dabei oder Hochschulbeste. Weil sie einfach diesen Bezug zwischen Praxis und zwischen Theorie letztendlich dann ganz gut auf die Reihe bekommen. Weil sie bei uns auch gefördert werden durch Projekte, in die sie eingebunden sind“ (U7).

4. KOOPERATION ZWISCHEN UNTERNEHMEN UND HOCHSCHULEN

Neben der dargestellten Kooperation im Zusammenhang mit der Ausbildung dual Studierender stehen alle befragten Unternehmen auch auf anderen Ebenen mit den Hochschulen in einem engen Austausch. Die meist langjährig gewachsenen Kooperationsbeziehungen haben sich im Zusammenhang mit Industrie 4.0 und Digitalisierung nochmals intensiviert. Die Unternehmen bewerten die Zusammenarbeit mit den Hochschulen durchgehend positiv. Es wird eine große Bereitschaft seitens der Hochschulen an einer Zusammenarbeit in den Themen und Fragestellungen zu Industrie 4.0 und Digitalisierung konstatiert. Dabei verweisen einige Unternehmensvertreter darauf, dass funktionierende Kooperationsbeziehungen kein Selbstläufer, sondern von den Aktivitäten beider Seiten abhängig sind und die Hochschulen nicht auf ihre Rolle als ‚Kompetenz-Zulieferer‘ zu reduzieren sind.

„Wenn man als Unternehmen auf die Hochschule aktiv zugeht und denen entsprechende Angebote macht, dann funktioniert das auch. [...] Ich hab Kollegen, die da sehr, sehr aktiv sind, auch ein super Netzwerk zu den verschiedensten Hochschulen haben, und [...] das funktioniert sehr gut. Aber da sind wir Unternehmen auch ganz stark in der Pflicht [...]. Das ist nicht nur [...] eine einseitige Holschuld, Fachhochschule oder Hochschule, liefere mal, sondern [...] Unternehmen müssen da auch aktiv dann reinsteigen“ (U1).

Ein Nachholbedarf im Austausch mit den Hochschulen besteht offenbar im KMU-Bereich, wobei, so die Einschätzung, dies nicht am fehlenden Angebot der Hochschulen, sondern eher an einer zu geringen Nachfrage der KMU liegt.

„Ich weiß aus diesen Kontakten auch, dass die Hochschulen sehr gerne bereit sind, diese Leistung zu erbringen. Sie wird aber nicht abgefordert von den KMUs“ (U3).

Wie dargestellt, ist die duale Hochschulausbildung für die Unternehmen ein wichtiges Kooperationsfeld mit den Hochschulen. Darüber hinaus bieten die Unternehmen den Studierenden

weitere Möglichkeiten der praktischen Mitarbeit an, was ebenfalls zum Kompetenzaufbau beiträgt. Ein weiteres Kooperationsfeld ist der Informationsaustausch zu bestimmten Technologien und der Technologietransfer. Ein neues Kooperationsfeld mit den Hochschulen entsteht aktuell insbesondere in den regionalen Zentren des Maschinen- und Anlagenbaus durch die Gründung von Lern- und Praxisfabriken (siehe auch Abschnitt III.6.1.3). Entlang dieser Kooperationsfelder bieten die Unternehmen einen ganzen Strauß von Kooperationsformen an, in die Hochschulvertreter und Studierende in unterschiedlicher Weise eingebunden sind und die auch die Übernahme von Lehrveranstaltungen durch Beschäftigte der Unternehmen in den Hochschulen umfassen.

4.1 KOOPERATION ZUM KOMPETENZAUFBAU DER STUDIERENDEN

Aus Sicht der Unternehmen ist die Mitarbeit an der Ausbildung von Qualifikationen und Kompetenzen der Studierenden ein zentrales Feld der Kooperation mit den Hochschulen. Die Aussagen der Unternehmensvertreter verweisen darauf, dass eine zeitlich versetzte Theorie-/Praxisvermittlung, wie sie vielfach traditionell praktiziert wurde und weiterhin wird – also erst Studium und daran anschließend die Aufnahme einer Tätigkeit in einem Unternehmen –, im Zeitalter von Industrie 4.0 und Digitalisierung für nicht mehr angemessen gehalten wird. Vielmehr sollten schon während der Studienphase frühzeitig Praxis und Theorie verschränkt und den Studierenden entsprechende Praxiserfahrungen in einer realen Unternehmensumgebung vermittelt werden, um so einen umfassenden Kompetenzaufbau für die neuen Herausforderungen zu gewährleisten. Dabei verweisen die Aussagen der Unternehmensvertreter auf eine klare Vorstellung der Aufgabenteilung mit den Hochschulen. Aus Sicht der Unternehmen sind die Hochschulen für das wissenschaftliche „Handwerkszeug“ zuständig, das heißt, die Vermittlung der erforderlichen theoretischen und methodischen Grundlagen für die späteren beruflichen Tätigkeiten der Studierenden. Ihre eigene Rolle sehen die befragten Unternehmensvertreter vorrangig in der Vermittlung des Praxisbezugs.

„Einfach aufgrund der Sache ist natürlich eine Hochschule immer einen Schritt abstrakter, als es im Unternehmen ist. Von daher [...] ist die Verzahnung da ganz wichtig, dass die Grundlagen an der Hochschule gelegt werden. Dass man das Ganze dann aber im Unternehmen mit Inhalt unterfüttert. Und das wird dann natürlich absolut individuell von Unternehmen zu Unternehmen sein“ (U6).

Weiter zeigen die Aussagen der Unternehmensvertreter, dass sie ein klares Bild der unterschiedlichen Hochschultypen und ihrer jeweils besonderen Ausbildungsschwerpunkte haben. Die Universitäten sollen fachliche Grundlagen vertieft vermitteln. *„Sie brauchen die Leute aus der Uni. Da achte ich unheimlich drauf. Die viel tiefer runter gehen“ (U7).*

Die Hochschulen für angewandte Wissenschaften sehen die Unternehmen eher in der Rolle, theoretische Grundlagen und ihre praktische Anwendung zu verbinden.

„Wenn wir in Richtung Umgang mit großen Daten, Analyse von großen Datenmengen bzw. Interpretation von irgendwelchen Algorithmen aus diesen großen Datenmengen, [...] vielleicht Architekturen, so Themen wie künstliche Intelligenz [gehen], ist es so, dass das eher an den Universitäten ausgeprägter ist. [...] Und [dass] Themen [...] so in Richtung Anwendung von digitalen Tools, benutzerorientiertes IT-Design, Cloud Computing [...] an den Fachhochschulen, also mit mehr Praxisbezug besser oder vielleicht auch ausreichender [...] zu vermitteln sind“ (U5).

Diese Aussagen deuten darauf hin, dass die systematisch anders gelagerten Aufgabenstellungen der Unternehmen auf der einen und der Hochschulen auf der anderen Seite gesehen und anerkannt werden. Dies zeigen auch die Antworten auf die Frage nach einer Mitwirkung an den curricularen Inhalten der Lehre an den Hochschulen. Ein direkter Einfluss auf die Gestaltung der Curricula wird von der großen Mehrzahl der befragten Unternehmensvertreter nicht gewünscht.

„Die theoretischen Grundlagen sind aus meiner Sicht ganz klar an den Hochschulen anzusiedeln [...]. Also für mich gilt weiterhin, dass Ausbildung auch Ausbildung ist und Lehre auch Lehre. Da müssen Grundlagen gelernt werden, da sollte auch nicht zu viel Einfluss genommen werden. [...] die Studenten müssen in geschützter Umgebung lernen können“ (U6).

In einer kooperativen Aufgabenteilung sehen die Unternehmen ihre Rolle vor allem darin, sich mit den Hochschulen zu den inhaltlichen Anforderungen an die Studierenden bzw. ihre zukünftigen Beschäftigten abzustimmen und praxisbezogene Frage- und Aufgabenstellungen in die Lehre einfließen zu lassen.

„Mit Hochschulen sprechen, wie ändern wir, oder was wollt ihr ändern, um die Bedarfe zu treffen. Das hängt ja dann wieder stark von dem Unternehmen ab, die Unternehmen sind ja die Abnehmer der Hochschulabsolventen“ (U5).

Inhaltlich werden bei diesem Austausch mit den Hochschulen Fragen der technologischen Entwicklung mit den aus Unternehmenssicht wichtigen Kompetenzanforderungen für die zukünftigen Absolventen verknüpft.

„Wir haben zum Beispiel hier eine Verbindung zu der Technischen Universität, und da finden auch regelmäßig Treffen statt, und da wird auch darüber geredet, wo sehen wir für uns wichtige Entwicklungen, was Kompetenzen angeht, und da ist die Hochschule TU [...] sehr, sehr offen. [...] Wo man merkt, das Interesse der Wissenschaft ist da, sich zu vernetzen mit der Industrie und zu sehen, was wird denn tatsächlich gebraucht. Da merke ich schon, dass das sehr gut passt“ (U1).

Den Schwerpunkt ihrer Beteiligung an der Ausbildung sehen die einbezogenen Unternehmen darin, den Studierenden schon während des Studiums praktische Kompetenzen und Erfahrungen zu vermitteln. Die meisten Befragten sehen dafür die Mitarbeit von Studierenden in Unternehmensprojekten als geeignete Form an.

„[...] eine Praxiszusammenarbeit beinhaltet enorm viel Potenzial, ob das jetzt Praktika sind oder ob das einfach gemeinsame Projekte sind, wo man mit Studierendengruppen [...] zusammen an einem Projektinhalt arbeitet“ (U1).

In die Unternehmensprojekte sind die Studierenden in unterschiedlichen Formen eingebunden, etwa indem sie als Praktikanten oder als Werkstudenten temporär über mehrere Wochen oder Monate mitarbeiten oder auch dadurch, dass sie ihre Abschlussarbeiten thematisch mit Teilaspekten der Projekte verbinden.

„Was dort wichtig ist, auch Ausbildungsinhalte reinzubringen, wo man an praktischen Beispielen [lernt] oder auch wirklich mal Projekte macht mit der Industrie zusammen, die einfach mal so ein bisschen Vorgriff auf so reale Industrieumgebung bringen können“ (U4).

Durch die Mitarbeit in den Projekten erhalten die Studierenden Einblicke in die in den Unternehmen eingesetzten Technologien, Methoden, Prozesse und deren Umsetzung in Produkte und Dienstleistungen.

„Alle, die ich jetzt hatte, haben auch bei mir die Bachelor- oder ihre Diplomarbeiten gemacht. Das machen wir gerne. Weil wir sie dann gleich schon in [...] Projekten, die zeitlich nicht so kritisch sind [...], gut mit reinsetzen, und wir haben sie dann schon ein Stück weit auf den Technologien und in den Tools drin, die wir nutzen. Und das ist super“ (U6).

Ein zusätzliches Interesse der Unternehmen besteht darin, den Studierenden durch die unterschiedlichen Formen der Einbindung in die betriebliche Projektarbeit über die technischen Aktivitäten hinaus eine erweiterte Perspektive ihrer zukünftigen Tätigkeiten zu vermitteln. Eine solche Perspektivenerweiterung gewinnt durch die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten von Industrie-4.0-Technologien ein besonderes Gewicht.

„Also ich bin Fan von Praktika in Unternehmen, weil da wirklich noch stärker dieses betriebswirtschaftliche Denken mit reinkommt, [...] was bei diesen Praktika an der Hochschule [...] nicht so im Vordergrund steht. [...] Im

Betrieb wird dann eben doch auch eher die Komponente, ist das wirtschaftlich sinnvoll, mit reingebracht“ (U1).

Damit die Studierenden einen realistischen Eindruck von den Praxisanforderungen bekommen, äußern die Unternehmensvertreter ihr Interesse an generell länger andauernden, mehrmonatigen Praktikumszeiten.

„Lieber ein, zwei Mal ein richtiges, umfangreiches Praktikum in dem Sinne, dass ich wirklich für ein Semester in ein Unternehmen gehe. [...] Man muss mal durch, [...] wo dann wirklich eine konkrete Fragestellung, die abgearbeitet werden muss [...], vor allem auch wirklich über einen längeren Zeitraum mal ein Problem durchgestanden wird in einer Firma“ (U2).

Insgesamt sehen sich die befragten Unternehmen hinsichtlich ihrer Praxisangebote durch positive Rückmeldungen der Studierenden bestätigt.

„Die Universitäten vermitteln die Theorie deutlich besser, wir übermitteln keine Theorie. Die Praxis, den Nutzen von der Theorie, das kann natürlich das Unternehmen, das Industrieunternehmen viel besser übermitteln. Das bekommen wir auch immer als Feedback von den Studenten und die sagen, jetzt weiß ich endlich, warum ich das so intensiv studieren musste bei dem Professor, was der Nutzen ist. Jetzt kann ich das tatsächlich auch mal anwenden“ (U4).

Eine andere Form der kooperativen Ausbildung von Qualifikationen und Kompetenzen besteht darin, dass die Unternehmen direkte Beiträge zu einer stärker praxisorientierten Studiengestaltung leisten. Dabei bearbeiten einige Unternehmen bestimmte Fragestellungen ihrer internen Entwicklungsprozesse in direkter Kooperation mit Lehrstühlen an den Hochschulen, wobei die Studierenden durch praktische Übungen als Teil der jeweiligen Lehrveranstaltungen einbezogen sind.

„Da ist die Hochschule gerade in diesem Status, [...] wo ich noch nicht weiß, kann ich diese Anwendung wirklich entwickeln, ist die Hochschule natürlich prädestiniert dafür,

solche Dinge mal aufzubauen und zu testen und, wenn es ein bisschen länger dauert, mal da Bachelor-Arbeiten zu machen. Oder wir machen in der Stadt [XY] gerade die Funkausleuchtung, macht der Professor [XY] innerhalb seines Praktikums, da lernen die Studenten dran, wie man so was tut. Und wir haben auch gleich das Ergebnis noch daraus, dass wir sehen, wo müssen wir die Hotspots hinsetzen“ (U6).

Daneben werden Aufträge aus Unternehmensprozessen an die Praxislabors kooperierender Hochschulinstitutionen gegeben und dort bearbeitet. Dabei geht es aus Sicht der Unternehmen darum, die Lehrveranstaltungen durch reale Aufträge und wirklichkeitsnahe Rahmenbedingungen, die die Einhaltung zeitlicher und qualitativer Vorgaben verlangen, um einen möglichst engen Praxisbezug zu erweitern, der über rein technische Simulationen hinausreicht. Solche Anstöße zum Aufbau stärker praxisbezogener Lehrformen kommen in letzter Zeit verstärkt von Hochschuleite (siehe auch Abschnitt III.6). Im konkreten Fall wurde die entsprechende Initiative der Hochschule vom befragten Unternehmen aufgenommen und ein Ausschnitt des realen Produktionsprozesses des Unternehmens wurde mit dem Testaufbau im Praxislabor der Hochschule verknüpft.

„Das haben wir gemeinsam hergestellt. Das heißt, wir liefern dort [an die Hochschule] nicht mal ein paar Produkte an, an denen Studierende – ich sage jetzt mal ein bisschen provokant – ein bisschen rumspielen dürfen, sondern die Produkte, die dort montiert werden und die dem zeitlichen, wirtschaftlichen wie auch qualitativen Druck hier aus dem Unternehmen ausgesetzt sind, werden dort für Lern- und Forschungszwecke tatsächlich verwendet. [...] Man muss dort den tatsächlichen Wirtschaftsdruck dann auch spüren“ (U6).

4.2 KOOPERATION ZUM TECHNOLOGIEAUSTAUSCH UND TECHNOLOGIETRANSFER

Die Unternehmen haben einen umfangreichen Bedarf, durch den Austausch mit den Hochschulen aktuelle Hinweise zur Entwicklungsrichtung von Industrie 4.0 und digitalen Technologien zu erhalten und für sich zu nutzen. Ähnlich wie beim Qualifikations- und Kompetenzaufbau vermitteln die Aussagen der Unternehmensvertreter eine klare Vorstellung der Aufgabenteilung mit den Hochschulen. Eine zentrale Aufgabe der Hochschulen besteht aus Sicht der Unternehmen darin, durch Forschung neue Grundlagen in wichtigen Feldern der Digitalisierung zu erarbeiten.

„Also gerade solche Dinge im Bereich Big Data. Was ich im Laborumfeld erfassen kann und muss, da sind die Universitäten mit ihren Labors einfach besser bestückt, und auch die Möglichkeit, dort einmal freie Forschung zu betreiben [...]. Da ist ja noch gar nicht klar, wohin der Weg geht“ (U4).

Darüber hinaus sollen die Hochschulen die theoretischen Grundlagen und das Überblickswissen zu den vielfältigen Einsatz- und Anwendungsmöglichkeiten der neuen Technologien vermitteln.

„Auf der Uni [...] ist das Thema, für Industrie 4.0 gewisse Standards zu entwickeln [...], ganz, ganz wichtig, dass man da in der Theorie überbringt, wie es im Großen und Ganzen funktionieren soll, was für Möglichkeiten es gibt“ (U3).

Ihre Rolle in der Kooperation mit den Hochschulen sehen die befragten Unternehmensvertreter vorrangig in der Vermittlung des Praxis- und Umsetzungsbezugs sowie der Anforderungen von Kundenseite, die bei der Entwicklung von Produkten und Dienstleistungen frühzeitig zu berücksichtigen sind.

„In der Praxis ist dann eher so das Thema, was ist überhaupt anwendbar, was ist sinnvoll, was ist wirtschaftlich einsetzbar. [...] Also auf der Universität, was gibt es, und in dem Betrieb, wie kann ich es kostengünstig oder optimal oder wirtschaftlich einsetzen“ (U4).

Die Kooperationsformen umfassen ein breites Spektrum. Dies reicht von einem allgemeinen Informationsaustausch und themenbezogenen Veranstaltungen zu Anwendungsmöglichkeiten bestimmter Technologien bis zum Technologietransfer in Form gemeinsamer Forschungs- und Entwicklungsprojekte zwischen Unternehmen und Hochschulen.

4.2.1 ALLGEMEINER INFORMATIONS-AUSTAUSCH ZU TECHNOLOGISCHEN ENTWICKLUNGEN

Viele der befragten Unternehmen bieten unterschiedliche Formen eines allgemeinen Informationsaustauschs mit Hochschulen an. Diese niedrigschwelligen Aktivitäten umfassen Angebote an Hochschulen, regelmäßig die Tätigkeitsschwerpunkte der Unternehmen für Gruppen von Studierenden zu präsentieren, bei Veranstaltungen wie Hochschultagen als Aussteller aufzutreten, Gastvorträge an den Hochschulen zu halten oder neue Formate wie Hackathons, die im Zusammenhang mit Digitalisierung und Industrie 4.0 immer mehr an Bedeutung gewinnen (siehe auch Abschnitt III.6.1), gemeinsam zu organisieren. Dieses Engagement dient dazu, den Kontakt zu den Hochschulen zu initiieren sowie regelmäßig zu aktualisieren. In der Kooperation mit den Lehrstuhlinhabern geht es um den Austausch innovativer Ideen mit der Perspektive, diese mittel- und längerfristig in gemeinsame Projektaktivitäten umzusetzen. Den Studierenden soll gezeigt werden, in welchen Anwendungsfeldern die Unternehmen bei der Verknüpfung der analogen mit der digitalen Welt aktiv sind.

„Das fordern und fördern wir, um den Studenten auch mitzugeben, was an High-Tech dahinter steckt, um solche Maschinen zu produzieren, um den Bereich Maschinenbau dort ein bisschen attraktiver zu gestalten, dass es nicht dieses ‚Old School‘ ist [...]. Speziell im Bereich Informatik, weil wir wenig Bewerber haben, und [wir] haben dann entsprechend die Hochschulen kontaktiert, damit das Semester mal [...] einen Ausflug macht und hier mitbekommt, was U4 alles an Möglichkeiten bietet im Bereich Informatik. Und das hat auch funktioniert, das hat auch positive Auswirkungen gehabt“ (U4).

Besonders wichtig sind solche Aktivitäten für Unternehmen in ländlich strukturierten Räumen. Obwohl diese Unternehmen in einer ganzen Reihe von Branchen häufig zu den Weltmarktführern zählen, sind sie in der breiten Öffentlichkeit genauso wie unter den Studierenden vielfach wenig bekannt. Deshalb dienen diese Kooperationsangebote dazu, sich den späteren Studienabgängern gerade in neuen Technologiefeldern wie Industrie 4.0 als potenziell attraktive zukünftige Arbeitgeber zu präsentieren (siehe auch Abschnitt II.3).

„Wir kooperieren mit den Hochschulen hier im Umkreis [...], um schon interessante Werkstudenten zu finden, Studierende auf uns aufmerksam zu machen, auch in den entsprechenden Hochschulveranstaltungen, dann auszustellen oder mal Gastvorträge zu halten, mit den Professoren Kontakt zu bekommen. [...] Da sind wir präsent, machen bei den Robotertagen mit. Versuchen hier mit Hackathons auch die Leute und die Studenten herzuholen [...], zu animieren, hier bei uns was zu basteln, die Kreativität bei uns zu erleben und dann quasi frühzeitige Bindung an ein Unternehmen herzustellen, zumindest erst mal uns kennenzulernen, damit man überhaupt weiß, dass es uns gibt. Das ist, glaube ich, eins der wichtigsten Dinge“ (U1).

4.2.2 INHALTLICH-THEMATISCHE KOOPERATIONEN

Themenbezogene Veranstaltungen zwischen Unternehmen und Hochschulen in verschiedenen Bereichen digitaler Technologien finden in einzelnen Regionen in bestimmten Abständen statt, so dass dieser Austausch auf Dauer gestellt ist.

„Und da ist dann auch regelmäßiger Austausch zwischen den Firmen und der Hochschule. [...] Also es gibt die Initiative [im Themenfeld XY] von der Hochschule [XY], alle zwei Monate gibt es ein Treffen, wo dann neue Themen vorgestellt werden, neue Ergebnisse von Bachelorarbeiten oder Promotionen [...], um das Ergebnis darzustellen, um anderen die Technologie zur Verfügung zu stellen“ (U1).

Ein weiteres Austauschformat sind bilaterale Kooperationen von Unternehmen mit unterschiedlichen Hochschulen entlang fachlicher Schwerpunkte.

„[...] wir haben klare Zusammenarbeitsvereinbarungen mit verschiedenen Universitäten. Einmal natürlich hier mit dem Bereich [XY]-Technologien in der Stadt [XY]. Wir arbeiten ständig mit der Hochschule [XY] zusammen, wir arbeiten mit der Universität in der Stadt [XY] zusammen in Richtung digitaler [XY]-Technologie. Wir fahren das vom Prinzip her, indem wir hier aus unserem Technologiebereich Ansprechpartner haben, die dort als Ansprechpartner für die Universitäten zur Verfügung stehen. [...] Wir versuchen mindestens mal den einen oder anderen wissenschaftlichen Mitarbeiter mit zu beschäftigen und mit zu finanzieren. Natürlich mit Themen, die uns dann entsprechend auch weiterbringen“ (U5).

Zu den bilateralen Kooperationen zählt daneben das Engagement in der Hochschullehre, indem Beschäftigte der Unternehmen thematisch einschlägige Lehrveranstaltungen an kooperierenden Hochschulen übernehmen. *„Dass Mitarbeiter als Dozenten tätig sind und dort diesen [XY]-Fertigungsbereich zum Beispiel auch abdecken können“ (U4).* Die Dozenten aus den Unternehmen vermitteln auf diese Weise Praxiswissen in der Hochschullehre, gleichzeitig erhalten sie durch diese kontinuierliche Einbindung Einblicke in die aktuellen Forschungsergebnisse der Hochschulen zu den Bereichen Industrie 4.0 und Digitalisierung. *„Und das ist ein ganz wichtiges Format, da solche Austausch zu fahren“ (U5).*

4.2.3 KOOPERATIONEN ZUM TECHNOLOGIETRANSFER

Der Technologietransfer zwischen Unternehmen und Hochschulen wird in erster Linie durch gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsprojekte realisiert. *„Wir machen Forschungsprojekte mit Hochschulen zusammen, einige sind durch die Entwicklung getrieben, dann auch durch die Anwendungsentwicklung“ (U4).* Im Rahmen von Industrie 4.0 und Digitalisierung umfasst dies auch gemeinsame Entwicklungsaktivitäten

im IT-Bereich, ein Technologiefeld, in dem die Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus gegenwärtig eine hohe Nachfrage haben.

„Sonst hätte man das ja gar nicht abbilden können, diese ganzen Software- und Zusatzprogramme, die wir geschrieben haben. Auch haben wir uns halt Universitäten, der TU [XY] [...], bedient, weil wir das im Haus gar nicht machen können. Während des Tagesgeschäfts haben wir ja überhaupt keine Zeit dazu“ (U2).

Der gegenseitige Nutzen einer solchen Zusammenarbeit wird darin gesehen, dass Unternehmen am Know-how der Hochschulen partizipieren und ihnen durch ihre Mitarbeit im Gegenzug wichtige Hinweise dazu geben, welche praktischen Anforderungen für die spätere Nutzung der Produkte bereits im Entwicklungsprozess zu berücksichtigen sind.

„Zum Beispiel bei der Hochschule in [XY], wenn wir Teilbereiche haben, wo wir für Kunden was entwickeln, dass wir sagen, Mensch, ein Student muss irgendeine Semesterarbeit schreiben [...], dass man mit denen kooperiert, dass die uns da unterstützen im Algorithmus [...] und gleichzeitig aber auch mitkriegen bei dem Kunden, was wirkt denn da in der Praxis“ (U3).

Wie diese Aussage zeigt, ist das Interesse, durch eine enge Kooperation am jeweils aktuellen Stand der technologischen Entwicklung zu partizipieren, nicht auf die Zusammenarbeit mit Lehrstuhlinhabern und dem wissenschaftlichen Personal an den Hochschulen begrenzt, sondern bezieht ebenso Studierende als wichtige Kompetenzträger und potenzielle Innovationsakteure in den neuen digitalen Technologiefeldern mit ein. Die Unternehmen beobachten die Entwicklungen zu Industrie 4.0 und Digitalisierung an den Hochschulen und bieten Studierenden an Hochschulstandorten, die sie als besonders fortgeschritten einschätzen, gezielt unternehmensinterne Praktika an.

„Dann muss man [...] sich oftmals Studenten holen, die man im Praktikum hier hat, um mal zu gucken, was die gut können und was es da vielleicht an Technologien gibt, von denen wir noch gar nichts gehört haben. Also wir binden auch immer ganz frische oder auch

themenfremde Leute in unsere Innovationsarbeit ein, damit wir diese Impulse kriegen können, damit wir sehen, das geht auch ganz anders“ (U1).

Eine besondere Form des Know-how-Transfers durch die Kooperation mit den Studierenden hat eines der befragten Unternehmen entwickelt. In einem unternehmenseigenen Forschungscampus, der als Ableger der unternehmensinternen F&E-Abteilung organisiert ist, beschäftigen sich verschiedene Teams mit bestimmten Themenstellungen im Umfeld von Industrie 4.0 und Digitalisierung. Die Mitarbeiter des Unternehmens am Forschungscampus arbeiten in diesem Zusammenhang mit Studierenden regional ansässiger Hochschulen zusammen, entwickeln gemeinsam neue Produkte und betreuen darüber hinaus die Studien- und Abschlussarbeiten der Studierenden.

„[...] ich hab dann die Forschung und Entwicklung so umgebaut, dass ich eigentlich einen Forschungscampus abgespalten habe [...]. Dort sind 40 Mitarbeiter aus meinem Entwicklungsbereich [...]. Und jetzt kommt's. Die Pumpe ich auf, auf 120 zurzeit aktuell. Mit den jungen Wilden da, Generation Z. Die studieren in Stadt [A, B, C] und kommen abends noch zu mir und machen so einen Studenten Nebenjob. Wenn man denen Aufgabenpakete gibt, entwickeln die was“ (U7).

In der zeitlich begrenzten Zusammenarbeit mit Studierenden sehen die Unternehmen die Möglichkeit, mit potenziell interessanten Kandidaten für spätere Stellenbesetzungen nach dem Studienabschluss in einen intensiven Austausch einzutreten und sie an das Unternehmen zu binden (siehe auch Abschnitt II.3).

„Wo wir durchaus Kooperationen haben mit der Universität [X] oder der Universität [Y], um einfach mit diesen Maschinenbaulehrstühlen oder anderen Lehrstühlen in Kontakt zu treten, auch über Bachelor- oder Masterarbeiten den Zugang zu haben, Praktikumsplätze anzubieten und zu sagen [...]: ‚Da gibt es eine faszinierende Technik, könntest du dir nicht vorstellen, dann hinterher da zu arbeiten?‘“ (U5).

Nach den Erfahrungen der befragten Unternehmen steigen im Anschluss an diese Praxisphasen die Bewerberzahlen. Die inhaltliche Bearbeitung unternehmensspezifischer Themen und die häufig mehrwöchige bis mehrmonatige Mitarbeit führen dazu, dass sich die Studierenden anschließend in den Unternehmen für eine Stelle bewerben. *„Und wir haben dann viel mehr Bewerbungen auch für Praktika bekommen und für Masterarbeiten, was dann wieder dazu führt, dass die Studenten dann auch sich bei U4 bewerben am Ende ihrer Thesis“ (U4).* Deshalb sehen die befragten Unternehmensvertreter einen positiven Zusammenhang zwischen ihrem Engagement zur Einbindung von Studierenden in ihre Unternehmen während der Studienzeit und der anschließenden Übernahme in ein Beschäftigungsverhältnis.

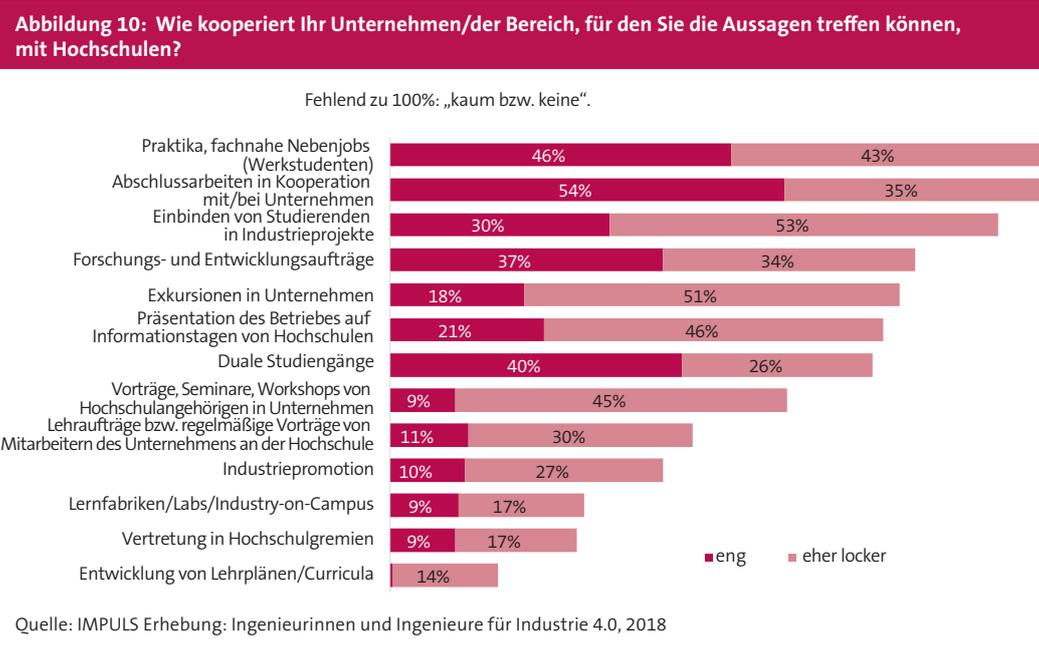
„Und jetzt kommen die Leute zu mir, schreiben eine Diplomarbeit, machen studentische Tätigkeiten [...]. Ich lerne darüber die Besten kennen, [...] die nehme ich auch zu U7 rüber. Und das ist die beste Rekrutierung, die ich kenne“ (U7).

4.3 LERN- UND PRAXISFABRIKEN ALS NEUE KOOPERATIONSFORM ZWISCHEN UNTERNEHMEN UND HOCHSCHULEN

Um mit der hohen Geschwindigkeit der technologischen Entwicklungen in den Bereichen Industrie 4.0 und Digitalisierung Schritt zu halten, entstehen aktuell neue Lern- und Praxisfabriken in der Kooperation zwischen Unternehmen und Hochschulen. Diese werden absehbar auch eine zunehmend wichtige Rolle in der Ausbildung der Studierenden der Ingenieurwissenschaften spielen (siehe auch Abschnitt III.6). Eine Reihe der befragten Unternehmen ist in diese meist regional verankerten Aktivitäten eingebunden. Neben den Unternehmen sind häufig Hochschulen und außeruniversitäre Forschungsinstitute sowie die Industrie- und Handelskammern im regionalen Umfeld beteiligt. Ein weiterer Akteur sind die jeweiligen Städte und Gemeinden. In der Kooperation dieser Akteure werden gemeinsam Infrastrukturen errichtet mit der zentralen Zielsetzung, innovative Lösungen in den Bereichen Industrie 4.0 und Digitalisierung zu entwickeln und umzusetzen. Die Kommunen stellen die Grundstücke zur Verfügung,

Exkurs: Quantitative Befragung

In der quantitativen Befragung wurden verschiedene Formen der Kooperation zwischen Hochschulen und Unternehmen erhoben (Abbildung 10). Dabei wurde zudem jeweils unterschieden, ob diese Kooperation eng oder eher locker ist. Es dominieren die klassischen und schon lange etablierten Kooperationsformen wie Praktika bzw. die Betreuung von Werkstudenten und Abschlussarbeiten mit annähernd 90 % der antwortenden Unternehmen. Ebenfalls etabliert ist die Einbindung von Studierenden in Industrieprojekte. Enge Kooperationsbeziehungen bestehen auch im Zusammenhang mit dualen Studiengängen. Deutlich weniger verbreitet sind andere Formen der Kooperationen von Hochschule und Unternehmen, wie z. B. die Zusammenarbeit im Hinblick auf die Entwicklung von Lehrplänen und Curricula, die Vertretung in Hochschulgremien sowie der Betrieb von Lernfabriken, Labs, Industry-on-Campus.



die Gebäude werden von den Unternehmen errichtet und gemeinsam mit den Hochschulen ausgestattet (z. B. durch Roboter, CNC-Maschinen, Zugänge zu Großrechnern). Daneben stellen die Hochschulen und die Forschungsinstitute wissenschaftliches Know-how, Lehr- und Wissenschaftspersonal sowie Studierende zur Durchführung gemeinsamer Forschungs- und Entwicklungsprojekte. Diese Initiativen gehen häufig von den in einer Region vertretenen größeren und großen Unternehmen aus, bieten aber auch Zugänge für kleine und mittlere Unternehmen, die in den Themen Digitalisierung und Industrie 4.0 einen besonders umfangreichen Bedarf an Beratung und Unterstützung haben. Dabei verweisen die Gesprächspartner darauf, dass es besonders für KMU wichtig ist, bereits in der Planungs- und Entwicklungsphase solcher Lern- und Praxisfabriken einbezogen zu

werden, damit ihre spezifischen Bedarfe und Perspektiven Berücksichtigung finden. „Wenn wir an der Entwicklung mitarbeiten können, dann macht das [für uns] auch einen Sinn“ (U3).

Durch die Zusammenführung traditionell getrennter Bereiche kooperieren in den Lern- und Praxisfabriken räumlich nahe Innovationsakteure aus Unternehmen sowie Forschung und Wissenschaft, um das vorhandene Know-how zu bündeln und gemeinschaftlich zu nutzen. Getragen wird diese kooperative Forschungs- und Entwicklungspraxis von der gemeinsam geteilten Überzeugung, dass technischer Fortschritt und schnellere Innovationszyklen zukünftig nur durch die enge Zusammenarbeit zwischen Wirtschaft und Wissenschaft gelingen können. Darüber hinaus werden in den Praxisfabriken und Laboren innovative Formen in der Ausbildung

von Studierenden umgesetzt, die durch einen neuen Theorie-Praxis-Mix gekennzeichnet sind (siehe auch Abschnitt III.6). So werden Studieninhalte gezielt und in enger Zusammenarbeit mit der Wirtschaft praxisnah erarbeitet und vermittelt.

„Die Universität [XY] macht ja gerade [...] einen Campus hier in der Nähe [...] für einen Masterstudiengang, für eine Vertiefung. [...] Ein paar große Firmen haben sich da zusammengeschlossen und treiben das Ganze mit an“ (U4).

In den Studiengängen werden etwa Kompetenzen zur Digitalisierung der Produktion und zur wirtschaftlichen Nutzung von Daten für Produktionsprozesse an konkreten Beispielen der beteiligten Unternehmen vermittelt. Dies ist insbesondere die Aufgabe von Dozenten aus den Unternehmen, die neben dem Lehrpersonal der Hochschulen die Lehrveranstaltungen in den Lern- und Praxisfabriken für die Studierenden durchführen. Aufgrund dieser Kooperationen ergeben sich vielfältige Möglichkeiten für die Mitarbeit der Studierenden in Unternehmensprojekten während des Studiums. Insgesamt wird davon ausgegangen, dass mit diesen neuen Kooperationsformen ein neuer Grad des Technologietransfers zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Lehre erreicht wird.

III. HOCHSCHULEN

1. UMGANG DER HOCHSCHULEN MIT DEN ANFORDERUNGEN DURCH INDUSTRIE 4.0 UND DIGITALISIERUNG

Die Untersuchungsergebnisse zu den Anforderungen und Herausforderungen von Industrie 4.0 und Digitalisierung zeigen auf der einen Seite, dass sich die Hochschulen gegenüber den technologischen Neuerungen gut aufgestellt sehen. Auf der anderen Seite werden Herausforderungen darin gesehen, die mit den neuen Technologien entstehenden neuartigen Wissensdomänen so in die Ausbildung zu integrieren, dass die Studierenden die vielfältigen Potenziale der neuen Technologien entfalten und in ihren zukünftigen Beschäftigungsfeldern umsetzen können.

Für die mit den neuen Entwicklungen verbundenen technischen Herausforderungen sehen sich die Interviewpartner aus den Hochschulen gut vorbereitet.⁸ Dies hängt damit zusammen, dass sie Digitalisierung und Industrie 4.0 in eine Entwicklungslinie technischer Innovationen stellen, mit denen sie sich in Forschung und Lehre schon seit längerer Zeit auseinandersetzen und an deren Weiterentwicklungen sie auch selbst aktiv beteiligt waren und sind. Deutlich wird dies in den Reaktionen der Interviewten auf die Vorlage der Übersicht zu den wichtigsten Feldern der Digitalisierung (vgl. Abschnitt II.1.1, Lichtblau et al. 2015). Ähnlich wie die Befragten aus den Unternehmen stimmen die Hochschulvertreter weitgehend darin überein, dass mit der Benennung der vier Felder *Smart Factory*, *Smart Products*, *Smart Operations* und *Data-driven Services* die gegenwärtig zentralen Bereiche von Industrie 4.0 und Digitalisierung erfasst sind. Entlang dieser Felder ergibt sich aus den Aussagen der Gesprächspartner das Bild einer Phaseneinteilung dazu, welche Bausteine von Industrie 4.0 in der industriellen Praxis sowie der Hochschulausbildung und -forschung weiter und welche weniger weit fortgeschritten sind und somit aktuell erst in Angriff genommen werden. Die Hochschulvertreter der einschlägi-

gen Fakultäten Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik heben hervor, dass sowohl die Industrie als auch die Hochschulen am weitesten bei der Realisierung von Lösungen in den Feldern *Smart Factory* und *Smart Operations* sind. Vor dem Hintergrund der beginnenden Informatisierung industrieller Prozesse seit den 1970er Jahren liegen schon seit langem Anwendungen und mehr oder weniger umfangreiche Digitalisierungslösungen vor, die auch heute für Industrie 4.0 relevant sind. Bereits seit der CIM-Debatte zu Beginn der 1990er Jahre wurden die beiden Felder *Smart Factory* und *Smart Operations* zum Gegenstand von industrieller Produktionsplanung sowie Forschung und Hochschulausbildung gemacht. Dabei haben sich spezifische Zuständigkeiten zwischen den Disziplinen und Fakultäten herausgebildet. Während die Fakultäten des Maschinenbaus und der Elektrotechnik in der Vergangenheit ihre Stärke bei Lösungen zur *Smart Factory* umsetzen konnten und dort schon fortgeschrittene Lösungen erarbeitet hatten (CAM, CAD, BDE, FFS u. a.), konzentrierte sich die Informatik bereits in dieser Zeit auf die Fortschreibung von Anwendungslösungen für die *Smart Operations* (PPS). In diesen beiden Segmenten liegen demzufolge die meisten bewährten und getesteten sowie elaboriertesten Beispiele vor, die in der industriellen Praxis auch angewendet werden. So heben die Interviewpartner hervor, dass das, was im Moment unter *Smart Operations* verstanden wird, schon seit langem als *Lean Production* praktiziert wird, mit den damit verbundenen PPS-Systemen, BDE etc. Die Prozesse und technischen Anforderungen an solche Systeme der *Smart Operations* sind also schon lange, mindestens seit der CIM-Debatte in den 1980er/1990er Jahren, bekannt und geschärft.

„Wenn ich jetzt mich an mein Berufsleben zurückerinnere, 1980 hatten wir über Computerintegriertes Manufacturing geträumt [...]. Die Frage ist, warum hat CIM nicht geklappt? Weil es damals die technischen Voraussetzungen nicht gab. Es gab kein Internet, es gab keine großen Datenspeicher, es hat viel zu lange gedauert, bis ich die Information von A nach B hatte. Deshalb ist es damals gescheitert. Aber die grundlegenden Ideen sind eigentlich heute in Industrie 4.0 wieder voll da“ (HSU1).

⁸ Zur Darstellung der Auswahl der in die Untersuchung einbezogenen Hochschulen und der Anzahl der befragten Hochschulvertreter siehe Abschnitt I.5.

Deshalb werden die im Zusammenhang mit Industrie 4.0 stehenden Prozesse in erster Linie als eine evolutionäre und weniger als eine disruptive Entwicklung gesehen. Die technische Landschaft zeichnet sich weniger durch Sprunginnovationen, sondern stärker durch punktuelle graduelle Innovationen und „Steigerungen“ aus. Diese Einschätzung zieht sich durch die gesamten Erhebungen im Hochschulbereich.

Vor dem Hintergrund dieser Einordnung in längere technologische Entwicklungslinien stehen die Interviewpartner einem Begriffsverständnis von Industrie 4.0 als einem geschlossenen und klar definierten Konzept eher skeptisch gegenüber. Vorherrschend ist vielmehr die Auffassung, dass es keine einheitliche Lehrbuchdefinition gibt und wohl auch zukünftig keine geben kann.⁹ Die Aussagen verweisen darauf, dass die Vielzahl der unter dem Begriff Industrie 4.0 ablaufenden Prozesse zu komplex und fluide ist, als dass man eine abgeschlossene Definition abgeben könnte. Zudem wirft jede Profession und Disziplin ihren jeweils eigenen Blick auf den Begriff – mit jeweils unterschiedlicher Schwerpunktsetzung. Jede Fachdisziplin setzt ihre Schwerpunkte zu Industrie 4.0 fachspezifisch und arbeitsteilig und nimmt bei der Definition, bei der Benennung von Kernelementen und der eigenen Verortung disziplinäre Zuständigkeiten wahr. Diese Äußerungen stehen in Verbindung mit der weitgehend geteilten Überzeugung, dass die fachlichen und disziplinären Kerne der einzelnen Fakultäten weiterhin Bestand haben werden.

Nun ist es keineswegs so, dass die Hochschulvertreter mit diesen eher zurückhaltenden bis skeptischen Einschätzungen zur inhaltlichen Aussagekraft des Begriffs Industrie 4.0 das Ausmaß und die Bedeutung des digitalen Wandels unterschätzen. Vielmehr steht für die Befragten außer Zweifel, dass der mit diesem Begriff verbundene technologische Wandel sehr wohl zukunfts-trächtig ist und die digitalen Technologien in immer schnellerer Folge und größerem Ausmaß neue technische Möglichkeiten hervorbringen werden. In diesem Sinne ist die Bestimmung und

Ausschöpfung der technischen Möglichkeiten sowie der Blick auf veränderte Unternehmens- und Geschäftsprozesse wichtiger als eine neue, scheinbar klar definierte Bezeichnung einer neuen Produktionsweise.

Das Hauptaugenmerk in der Hochschulforschung und -ausbildung sowie in der Kooperation mit den Unternehmen wird gegenwärtig auf die Weiterentwicklung von *Smart Products* gelegt. Insbesondere mit Fortschritten in der Sensorik und Chiptechnologie werden Anwendungen erkennbar, die derzeit und in den nächsten Jahren nach Einschätzung der Befragten quantitativ deutlich zunehmen werden. Die Kernbestandteile des neuen Charakters von Industrie 4.0 im Vergleich zu den Vorgängerlösungen wie etwa CIM werden von den Hochschulvertretern mit Hinweisen zu ganz neuen Möglichkeiten der „Vernetzung“ und „Echtzeitabbildung“ der Abläufe umrissen. *„Das Produkt denkt mit und steht auch nach dem Verkauf mit dem Hersteller in Verbindung. Das ist der eigentliche Punkt, wo ich wirklich einen Nutzen sehe“* (HSU1). Aufgrund der sehr stark gesteigerten Speicherkapazitäten ist es erstmals möglich, jegliche digital erfassbaren Abläufe abzubilden und die erfassten Daten zu speichern. Das gilt selbst dann, wenn eine Auswertung aus technischen, organisatorischen, personellen, Kapazitäts- oder Interessengründen erst in einigem zeitlichen Abstand vorgenommen wird. Eine sofortige Datenerfassung und -speicherung eröffnet die Möglichkeit, mit oftmals erst zukünftig zu entwickelnden Programmen angemessene, effektive und effiziente technische Auswertungen durchzuführen und neue Lösungen zu erarbeiten. Gegenwärtig sind außerdem starke Aktivitäten im Feld *Data-driven Services* erkennbar. Hier werden zukünftig neue Potenziale mit einer erheblichen Erweiterung des Leistungsspektrums von Produkten und Prozessen erwartet. Zudem, so eine weitere Erwartung, wird sich der Anbieterkreis von gegenwärtig stärker aktiven Großunternehmen zunehmend auch auf KMU ausweiten.

⁹ Dabei wird diese Aussage durchaus bewusst in Kenntnis der Definition von Industrie 4.0 getroffen, die von der Plattform Industrie 4.0 (2015) gegeben wurde.

2. FORTBESTAND DER GRUNDLAGENVERMITTLUNG IN DER LEHRE FÜR INDUSTRIE 4.0

Die Befragungsergebnisse zeigen durchgehend den weiter bestehenden hohen Stellenwert der Vermittlung wesentlicher Grundlagen, Methoden und Systematiken in einer fachlichen Disziplin, also dem Maschinenbau, der Elektrotechnik und der Informatik. Mit diesen Grundlagen wird aus Sicht der befragten Hochschulvertreter weiterhin die erforderliche Wissensbasis gelegt, die die Studierenden für den Umgang mit Industrie 4.0 und Digitalisierung befähigt. Zugleich wird auf den wachsenden Stellenwert von Lehrinhalten verwiesen, die Methoden und Systematiken zur Schulung des Denkens und Handelns in Systemen umfassen, da diese Fähigkeiten für den Umgang mit den neuen Technologien immer wichtiger werden.

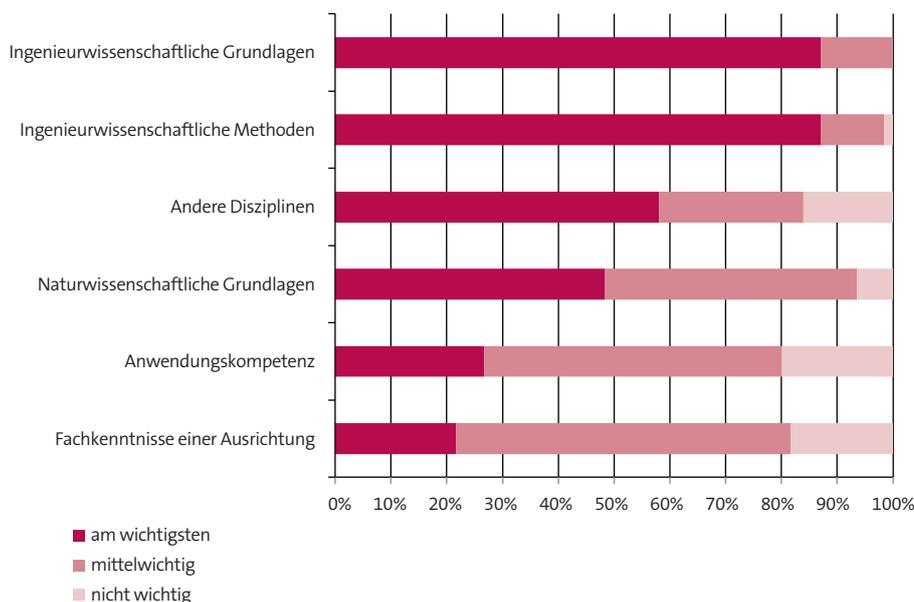
„Das ist einmal eine sehr solide grundlagenorientierte Ausbildung [...] in dem Stammfach, zum Beispiel Maschinenbau, Elektrotechnik

und Informatik, und [...] darüber die Schnittstellenkompetenz, das heißt, das Miteinander-kommunizieren-Können. Und für mich ist eigentlich der Kernpunkt [...] stärkeres Denken in Systemen, also Systemtheorie und Systems Engineering, weil [...] diese ganzen Produktlösungen werden immer definiert aus der Fachexpertise der verschiedenen Fächer“ (HSU1).

Abbildung 11 zeigt eine Übersicht der grundlegenden Kenntnisse, die aus Sicht der befragten Hochschulvertreter in einem Studium des Maschinenbaus und der Elektrotechnik vermittelt werden sollten.

Für die Mehrheit der befragten Hochschulvertreter zählen zu diesen Kenntnissen insbesondere ingenieurwissenschaftliche Grundlagen und Methodiken sowie naturwissenschaftliche Grundlagen. Ingenieurwissenschaftliche Grundlagen umfassen etwa Kenntnisse in den Bereichen Technische Mechanik, Thermodynamik oder Konstruktionslehre. Im Bereich der ingenieurwissenschaftlichen Methoden

Abbildung 11: Bewertung fachlicher ingenieurwissenschaftlicher Kompetenzen aus Sicht der befragten Hochschulen (Maschinenbau, Elektrotechnik) in der qualitativen Befragung (N = 20).



werden beispielsweise methodische Kenntnisse der Simulation und Modellierung genannt. Außerdem wird für diesen Bereich immer wieder unterstrichen, dass Kenntnisse des Systems Engineering zunehmend an Bedeutung gewinnen. Methoden und Kenntnisse dieser Querschnittsdisziplin werden zur Entwicklung von komplexen Systemen eingesetzt und erhalten im Zusammenhang mit Industrie 4.0 und Digitalisierung eine zunehmende Aufmerksamkeit der befragten Hochschulvertreter. Ein weiterer Bereich umfasst die wachsende Bedeutung grundlegender Kenntnisse weiterer Disziplinen. Von den Interviewpartnern hervorgehoben werden in diesem Zusammenhang insbesondere mathematische und statistische Kenntnisse zur Entwicklung von Algorithmen und zur Auswertung großer Datenmengen (vgl. dazu auch die Ergebnisse der quantitativen Befragung der Unternehmen, Abschnitt II.2.2.1 und II.2.2.2).

Der Fortbestand fachspezifischer Schwerpunktsetzungen in der Ausbildung gründet auf der durchgängig geäußerten Überzeugung, dass die Kernaufgabe der Hochschulen darin besteht, den Studierenden die wesentlichen Grundlagen und Systematiken der jeweils eigenen Disziplin fundiert beizubringen. *„Wir versuchen ja stärker [...] auf so eine Beruflichkeit [hin] Leute auszubilden, dass die dann in diesem Bereich lange, lange arbeiten können, möglichst ihr ganzes Leben, 40 Jahre“* (HSU4). Erst diese guten Grundlagenkenntnisse erlauben den Absolventen die Anwendung des eigenen Wissens bezogen auf unterschiedliche Anforderungen aus der Industrie 4.0 und weiteren zukünftigen technologischen Entwicklungen in der späteren beruflichen Praxis. Grundlagenkenntnisse, so die Bewertung von Hochschuleseite, haben eine andere Qualität als jeweils aktuelle technologische Entwicklungen und müssen von diesen unterschieden werden. Wichtig ist und bleibt eine solide Grundlagenausbildung, die die Absolventen für ihre zukünftigen beruflichen Tätigkeiten mit dem notwendigen Handwerkszeug ausrüsten soll. Ob die heute aktuellen Themen in 30 bis 40 Jahren noch relevant sein werden oder was stattdessen wichtig sein wird, ist kaum abschätzbar. *„Vielleicht [...] reden wir in fünf Jahren noch einmal, und [...] dann von Industrie*

5.0 oder 6.0“ (HSU3). Damit wird die langfristige Perspektive unterstrichen, die die Hochschulen mit ihrem Bildungsauftrag verbinden.

„Es gibt einen guten Kern an Grundlagen, die man zumindest in unserem Fach immer gebrauchen kann [...], wenn man sagt: jetzt für Industrie 4.0, und das kann man wahrscheinlich in 20 Jahren auch gebrauchen, wenn das nächste große spannende Thema [...] am Horizont auftaucht“ (HAW1).

3. NEUE FACHLICHE LEHRINHALTE AUFGRUND VON INDUSTRIE 4.0

Neben der Betonung zentraler Grundlagenkenntnisse wird in den Hochschulen aber ebenso gesehen, dass die Entwicklungen in Industrie 4.0 und Digitalisierung mit neuen inhaltlichen Orientierungen der fachspezifischen Curricula verbunden werden müssen. Hier sehen sich die befragten Hochschulvertreter teilweise auf einem guten Weg, weil schon seit geraumer Zeit neue Lehrinhalte aufgenommen und entsprechend der technischen Entwicklung sukzessive weiterentwickelt wurden und werden. Darüber hinaus wird anerkannt, dass die Expertise in der Heimatfakultät bzw. der eigenen Studienrichtung um Wissen und Kompetenzen aus Nachbardisziplinen angereichert und erweitert werden muss. Die meisten grenz- und disziplinüberschreitenden Qualifikationsüberlappungen müssen zwischen der IT und insbesondere der Softwareentwicklung einerseits und den materiell-technischen Disziplinen des Maschinenbaus und der Elektrotechnik sowie des Wirtschaftsingenieurwesens andererseits stattfinden – und das jeweils in beiden Richtungen. Eine ganz neue Herausforderung für die Ausbildung der Ingenieure stellen zusätzliche Kenntnisse im Bereich Data Science dar. Die Hochschulen stehen erst am Anfang einer intensiveren Zusammenarbeit der Ingenieurwissenschaften mit den Nachbardisziplinen und entsprechend sehen die Vertreter der Ingenieurwissenschaften in der stärker interdisziplinären Verschränkung von Studieninhalten unterschiedlicher fachlicher Disziplinen die derzeit größten Herausforderungen, um den Anforderungen von Industrie 4.0 und Digitalisierung gerecht zu werden.

3.1 NEUE LEHRINHALTE DURCH MODULARISIERUNG

Von den befragten Hochschulvertretern wird grundsätzlich die modulare Erweiterung der jeweiligen Grundlagendisziplinen bevorzugt. Als besonders wichtig wird von den Ingenieurwissenschaften gegenwärtig die Integration von Modulen aus der Informatik und dem neu entstehenden Bereich Data Science benannt. Im Zusammenhang mit der Akzentuierung einer disziplinenorientierten Schwerpunktsetzung werden bestehende hybride Studienrichtungen wie etwa Wirtschaftsingenieurwesen oder Mechatronik als partiell hilfreich gesehen. Eine weitergehende Hybridisierung vor dem Hintergrund von Industrie 4.0 und Digitalisierung wird jedoch durchgängig eher abgelehnt. Dabei ist das Hauptargument, dass durch eine weitgehende Hybridisierung von Studiengängen der erforderliche Tiefgang spezialisierten Fachwissens verloren ginge – und dieses ist, so die durchgängige Überzeugung der Hochschulvertreter, weiterhin unabdingbar.

„Wir haben den Effekt der Mechatroniker ja erlebt. [...] Es verwässert, es ist dann nicht Fisch, nicht Fleisch. Es gibt sicherlich, und da komme ich auch auf das Thema Wirtschaftsingenieure [...], Anwendungsfelder, wo man diese Bindestrich-Studiengänge oder Zwitter gut einsetzen kann. Es gibt aber auch die Berechtigung, und die wird es langfristig geben, dass man ein Themengebiet wirklich vollständig beherrscht, und das ist im Rahmen eines Studiums Maschinenbau oder Elektrotechnik oder Informatik sehr gut möglich [...], also in einer grundständigen Disziplin absolviert [...]. Man hat immer die Home Base, man hat sich durch die ersten Semester gequält und hat irgendwo die Technische Mechanik richtig verstehen müssen [...], was wirklich zeigt, man hat da die Wurzel verstanden“ (HAW3).

3.2 NEUE LEHRINHALTE DURCH DIE ETABLIERUNG NEUER LEHRSTÜHLE

Deshalb geht die weit überwiegende Mehrheit der befragten Hochschulvertreter davon aus, dass es keine Neugründungen von Industrie-4.0-Lehrstühlen geben wird. Damit wird allerdings nicht ausgeschlossen, dass es zukünftig neue

Lehrstühle geben wird, die in spezifischen Themenschwerpunkten der Digitalisierung angesiedelt sein werden.

„Die Leute, die so aus der Softwarecke kommen [...], die erkennen, dass sie Wachstumspotenzial haben, wenn sie mehr Daten kriegen. Um an die Daten ranzukommen, müssen die immer näher in die Ebene der Physik. Die wollen jetzt also in den Fabriken Daten abzapfen. Die Maschinenbauer, die sich nur traditionell mit ihren Maschinen beschäftigen und den Daten, die in der Fabrik entstehen, die sehen, wenn sie nicht Zugang zu einer Cloud kriegen oder im Internet Konnektivität machen, können sie da auch nicht weiter wachsen. [...] Also die Maschinenbauer versuchen, das Physikalische zu cyberizen, und die anderen, die vom Cyber kommen, die wollen es physikalizen. [...] Wenn es Lehrstühle gibt, dann werden die überall entstehen, sowohl in der Elektrotechnik als in der Informatik als auch im Maschinenbau“ (HSU1).

Solche Neugründungen sind bisher offensichtlich erst in Ansätzen erfolgt. Ein Beispiel ist etwa ein Lehrstuhl für digitale photonische Produktion.

„Das ist so Industrie 4.0 und 3D-Druck [...]. Das Spannende auch am 3D-Druck ist nicht unbedingt, dass wir die Sachen jetzt 3D drucken können, sondern sind die neuen Möglichkeiten; die Philosophie dieses Lehrstuhls ist, das Bit direkt in ein Produkt umzuwandeln“ (HSU2).

Weitere Beispiele umfassen gerade gegründete oder in Gründung befindliche Lehrstühle und neue Fachgebiete in Bereichen wie Cyber Physical Systems, Machine Learning oder Data Science. Ein weiteres Feld, in dem die Hochschulvertreter zukünftige Neugründungen von Lehrstühlen sehen, ist der Bereich der Datensicherheit im Produktionsumfeld (Data Security and Production).

3.3 AKTUELLE LEHRINHALTE BEZÜGLICH INDUSTRIE 4.0

Bezogen auf die aktuelle Situation sind neue Lehrinhalte zu Industrie 4.0 und Digitalisierung bisher in unterschiedlicher Weise in die weiterhin bestehenden disziplinär orientierten ingenieurwissenschaftlichen Studiengänge und Lehrpläne eingegangen.

„In der Lehre wird schon zunehmend klargestellt, dass es eben nicht nur um die Maschinen geht, sondern auch noch eine Ebene drüber [...] cloud-mäßig Wissensansammlungen, Wissensauswertungsalgorithmen, Dienstleistungen, Apps und so weiter. [...] Damit die jungen Leute sehen, dass eben doch zunehmend die Intelligenz auch in die Software-Ebene abwandert“ (HSU1).

Im Zentrum steht die Aktualisierung bestehender Ausbildungsmodule, die insbesondere in den Masterstudiengängen stattfindet. *„Wir nehmen unsere Strukturen und integrieren in die Module [...] Industrie 4.0“ (HAW1).* Dabei geht es um veränderte thematische Schwerpunktsetzungen hinsichtlich verschiedener Felder von Industrie 4.0, mit einer Konzentration auf neue Anwendungen in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung.

„Diese Grundlagen und diese Methodik, die man den Studenten vermittelt [...], das bleibt eigentlich gleich. Das ändert sich nicht. Aber diese Anwendungsfelder, die ändern sich natürlich vom Computer Integrated Manufacturing über Digitale Fabrik hin zu Smart Factory, Industrie 4.0“ (HSU3).

Ein weiteres Feld ist die zunehmende Bedeutung systemischen Wissens und systemischer Ansätze in den Studieninhalten.

„Die Elektrotechniker, [...] das ist jetzt sieben Jahre her, das war im Wesentlichen Schaltschrankbau, Verkabelung und theoretische Elektrodynamik. Noch ein bisschen Mikro-Controller. Das ist heute tatsächlich Systems Engineering, jedenfalls zu großen Teilen. [...] im Ziel stehen nicht mehr so die normalen Maxwell-Gleichungen rauf und runter, sondern wesentlich stärker I 4.0, vernetzte Produktion,

wie werte ich denn so Daten aus und ähnliches. Maxwell-Gleichungen müssen sie trotzdem noch können, keine Sorge“ (HAW2).

Andere Themen, die in bestehende Studiengänge der Fertigungstechnik integriert werden, umfassen den 3D-Druck und die additive Fertigung. Solche thematischen Veränderungen innerhalb der bekannten Curricula variieren offensichtlich zwischen den ingenieurwissenschaftlichen Schwerpunkten und Lehrstühlen, reichen unterschiedlich weit und können bis zu einer grundlegend veränderten Gestaltung der Studieninhalte gehen.

„So Logistik war vor ein paar Jahren tatsächlich Lkw und Transport und Spedition. Logistik ist heute in der Tat Smart Factory, I 4.0, Smart Operations, Smart Products. Ist also völlig in dieser Welt angekommen. Und das ist ein komplett anderes Studium jetzt. Wenn ich das vergleiche mit vor vier Jahren [...], da haben sich tatsächlich Inhalte komplett verschoben“ (HAW2).

Ein wichtiges Feld sind die Informatikkenntnisse, die querliegend in unterschiedlichen Fachdisziplinen des Maschinenbaus und der Elektrotechnik einen immer größeren Stellenwert gewinnen. Durchgängig verstärkt werden soll die Informatik-Affinität in den Nicht-Informatik-Studiengängen. *„Auch wir bauen unser Studium gerade in der Richtung um, dass wir versuchen, in immer mehr Modulen Informatikanteile reinzukriegen“ (HAW1).* Für die Hochschulvertreter des Maschinenbaus geht es in erster Linie um die Vermittlung eines breiteren Verständnisses von Informatikgrundlagen bei ihren Studierenden.

„Nicht weil jeder Student oder Studentin Spezialisten in der Informatik werden müssen, aber dass sie zumindestens sprechfähig sind, dass sie urteilsfähig sind, dass sie sich darüber im Klaren sind, was heißt das eigentlich, wenn ich Maschinen vernetze, was heißt das für Sicherheit [...]. Die sollen urteilen können [...], ob Programme vernünftig laufen, ob die die Bedürfnisse erfüllen, also Anforderungen definieren“ (HSU2).

Dabei verdeutlichen die Aussagen einzelner Hochschulvertreter, dass sie reagiert und die informationstechnischen Schwerpunkte ihrer Lehrinhalte vor dem Hintergrund von Industrie 4.0 und Digitalisierung verstärkt haben.

„Ein Schwerpunkt, den wir aktiv gesetzt haben in der Ausbildung, ist, jeder Elektroingenieur muss programmieren können. Der muss mit einem Mikro-Controller umgehen können, der muss dann ein Programm schreiben können. Weil die Wahrscheinlichkeit, dass später im Berufsleben so was gefordert ist, ist sehr hoch. [...] Und [...] dann auch noch Echtzeit-Betriebssysteme. Also das geht praktisch sechs Semester“ (HAW3).

3.4 AKTUELLE LEHRINHALTLICHE LÜCKEN BEZÜGLICH INDUSTRIE 4.0

Es bestehen allerdings Lücken bei der modularen Integration informationstechnischer Lehrinhalte in ingenieurwissenschaftliche Studiengänge, die die befragten Hochschulvertreter auch selbstkritisch benennen.

„Die Informationstechnik kommt bei uns deutlich zu kurz [...]. Das Interesse an Industrie 4.0 ist schon da [...], aber die Verschiebung hin zu Informations- und Kommunikationstechnologien gerade in diesen klassischen Maschinenbau-fächern ist einfach nicht ausgebildet. Also Programmiergrundkenntnisse fehlen“ (HSU3).

Ein ganz neuer Bereich ist das Feld Big Data, welches in der gesamten Hochschullandschaft bisher nur wenig vertreten ist. In den Untersuchungsergebnissen finden sich in den einbezogenen Studiengängen der Ingenieurwissenschaften und der Informatik bisher nur wenige Beispiele für eine entsprechende Schwerpunktsetzung.

„Wir haben jetzt eine Studienrichtung Data Science etabliert. Also um dem Rechnung zu tragen, dass das jetzt wichtiger wird [...], und weil ich Studenten brauche, die in diesem Bereich mehr Wissen haben, hat man diese Schwerpunkte des Studiums dorthin verschoben“ (HAW2).

Überwiegend deuten die Aussagen der Hochschulvertreter darauf hin, dass gegenwärtig solche Studieninhalte erst vereinzelt in den Lehrveranstaltungen angeboten werden. *„Wo wir etwas getan haben [...], das ist sicherlich so ein bisschen die Lehrveranstaltung als Möglichkeit mit aufzunehmen, wie mathematische Methoden zum Umgang mit Big Data [...] in der Produktentwicklung“ (HSU1).*

Neben diesen ersten Ansätzen deuten weitere Aussagen darauf hin, dass die Aufnahme entsprechender Studienangebote gegenwärtig häufig noch im Planungsstadium ist.

„Themen der großen Datenmengen, der Anomaliebewältigung, des Wissensaufbaus, des Data Minings, das vermitteln wir nicht. Da wollen wir jetzt [...] alles, was Data-driven bedeutet, viel stärker noch in die Ausbildung hineinnehmen. Aber vor 2019 wird da nichts passieren“ (HSU1).

Perspektivisch werden dabei auch entsprechende neue Schwerpunktsetzungen im ingenieurwissenschaftlichen Studium gesehen. *„Wenn du die entsprechende Basis hast [...], kannst du auch Informationsmanagement für Ingenieure studieren [...] mit dem Master in Data Engineering“ (HAW2).*

3.5 AKTUELLE ORGANISATIONSSTRUKTURELLE ANSÄTZE ZUR SCHLISSUNG LEHRINHALTLICHER LÜCKEN

Um die aufgezeigten Lücken zu schließen, sehen die befragten Hochschulvertreter eine stärker interdisziplinäre und interfakultative Studiengestaltung als eine wichtige Perspektive.

„Eine große Herausforderung besteht darin, die verschiedensten Grundlehrfachinhalte zusammenzubringen und abzugleichen [...]. Aus meiner Sicht spielt im Prinzip die Mathematik eine riesengroße Rolle, um zu Algorithmen zu kommen. [...] Dann die Informatiker, die im Prinzip wieder mit ganz anderen Ansätzen kommen, und dann letztendlich die Maschinenbauer, die im Prinzip dort ganz andere Bedarfe zusammenbringen müssen. Dort ist eine riesengroße Herausforderung“ (HSU3).

Folgt man den Aussagen der Hochschulvertreter, steht die Kooperation mit anderen Fakultäten zur Vermittlung interfakultativer Studieninhalte gegenwärtig noch am Anfang.

„Es gibt einige ausgesuchte Veranstaltungen, wo wir ganz bewusst systemisch denken, also den Maschinenbau und die Elektrotechnik zusammenbringen, aber das Lehrangebot ist, wenn man ehrlich ist, 95 % fakultätsbezogen“ (HSU1).

Gleichwohl wird beispielhaft angedeutet, wie interfakultativ organisierte Lehrveranstaltungen durch eine disziplinübergreifende Zusammenarbeit gestaltet werden können. *„Dieses Seminar [...] Digital Engineering [...] ist offen für alle verschiedenen Studiengänge. Aufgebaut worden ist es von den Studiengängen Elektrotechnik, Informatik und Wirtschaftsingenieurwesen“ (HAW2).* Ein anderer Ansatz besteht darin, Experten der Nachbardisziplinen zu punktuell ausgewählten Themen in Seminaren der eigenen Fakultät hinzuzuziehen. *„Komponenten halte ich da wieder für sehr sinnvoll [...], ein Informatiker und ein Produktentwickler wie ich machen jetzt zusammen mal eine Veranstaltung, wie kann ich mit Big Data die Produktentwicklung verfeinern“ (HSU1).* Eine weitere Organisationsform besteht darin, dass zwischen den Fakultäten, die einen entsprechenden Bedarf bzw. ein entsprechendes Angebot haben, sogenannte „Lehrimporte“ und „Lehrexporte“ definiert und durch einen Austausch von den Dozenten der Nachbarfakultäten übernommen werden.

„Wir importieren sehr viel aus Elektrotechnik, und wir importieren sehr viel aus Informatik. Andererseits geben wir wieder Fahrzeugtechnikvorlesungen oder Dinge, die im Maschinenbau beheimatet sind, in die anderen Fakultäten“ (HAW3).

Ähnlich wie bei der modularen Intergration fachlicher Inhalte anderer Disziplinen ist die gegenwärtige Situation auch in diesem Feld vor allem durch erste Ansätze und zukünftige Planungen gekennzeichnet. So ist in einem Fall an einer Hochschule eine Fakultät für interdisziplinäre Studien geplant, an der in Zusammenarbeit unterschiedlicher Disziplinen (Maschinenbau, Informatik, Elektrotechnik, Betriebswirtschaft,

Sozialwissenschaft) schwerpunktmäßig an Themenstellungen zu Industrie 4.0 und Digitalisierung gearbeitet werden soll.

Eine weitere Zukunftsperspektive wird darin gesehen, die Interdisziplinarität durch gemeinsame Aktivitäten von Studierenden unterschiedlicher Fakultäten zu fördern.

„Wir wollen das fördern, dass man auch als Student schon sich vielleicht eine Studienarbeit zusammen mit einem Informatiker sucht, was heutzutage dann doch selten passiert, weil es auch ein bisschen zeitaufwändiger ist, weil es auch ein bisschen länger dauert“ (HSU2).

4. HERAUSFORDERUNGEN BEI ERWEITERTEN LEHRINHALTEN

Wenn neue Studieninhalte in bestehende Studiengänge integriert werden sollen, müssen bei einer begrenzten Studiendauer alte Lehrinhalte wegfallen, da eine einfache Addition kaum praktikabel ist. Welche neuen Lehrinhalte in die bestehenden disziplinären Curricula zusätzlich aufgenommen werden sollen und in welchen veränderten bzw. neuen Formen dies umzusetzen ist, ist derzeit in den befragten Hochschulen ein wichtiges Thema. Es stellt sich hierbei eine ganze Reihe erheblicher Herausforderungen, sowohl was die inhaltlichen Schwerpunktsetzungen als auch was eine zukünftig stärker interfakultative Studienorganisation zur übergreifenden Vermittlung disziplinärer fachlicher Studieninhalte betrifft.

4.1 INTEGRATION „NEUER“ UND STREICHUNG „ALTER“ LEHRINHALTE

Eine Ausweitung der Studiendauer wird überwiegend als nicht umsetzbar gesehen. Somit ist mit der Integration neuer Lehrinhalte aus Industrie 4.0 und Digitalisierung in den etablierten ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen die zentrale Frage verbunden, welche anderen dafür gestrichen werden sollen. Eine weitere Ausdifferenzierung von Lehrinhalten durch eine erhöhte Zahl von Modulen führt zudem bei den Lehrenden und den Studierenden an den Hochschulen zu Problemen in der Zusammenstellung

eines inhaltlich sinnvollen und arbeitsmarkt-gängigen Qualifikationsprofils. Im Kontext rascher Veränderungen durch Digitalisierung und Industrie 4.0 ist es dann umso schwieriger, bei der Entscheidung für einen Studiengang und im Verlauf eines Studiums „auf das richtige Pferd zu setzen“. Die Aussagen der befragten Hochschulvertreter verweisen auf einen derzeit intensiven Diskussionsprozess in den ingenieurwissenschaftlichen Fakultäten, wobei die Positionen offenbar ein breites Spektrum abbilden. Während sich die befragten Interviewpartner durchgängig mit diesem Themenkomplex beschäftigen, deuten ihre Aussagen darauf hin, dass es auch andere Sichtweisen und Positionen in den jeweiligen Fakultäten gibt.

„Das ist ein wirkliches Problem. Das Wegfallen von alten Lehrinhalten ist schon auf einer Fakultätsebene schwierig, weil da sich jeder drüber definiert. Curriculare Änderungen werden nur ganz behutsam gemacht“ (HSU1).

Entsprechend wird bezogen auf die Ansätze einer stärkeren Integration fachlicher Inhalte anderer Fakultäten in die Lehrveranstaltungen des Maschinenbaus darauf verwiesen, „dass das aber eben 80 % der Kollegen noch nicht bewusst ist“ (HSU3).

Im Unterschied dazu betonen die Interviewpartner einen deutlichen Handlungsbedarf in dieser Frage.

„Also es muss was wegfallen, aber was fällt weg? Das wird schwer [...] und da sind wir gerade glaube ich auf einem Scheideweg, im Maschinenbau, in Ingenieurwissenschaften, was wir wegfallen lassen können. [...] Das ist eine Diskussion, in der wir gerade sind, das war auch in diesem [...] Strategietag ein Thema, [...] mit dem wir uns im Moment auch auseinandersetzen. Wir haben da aber noch keine wirkliche Lösung“ (HSU2).

Aussagen zur möglichen Streichung „alter“ Lehrinhalte

„Zum Beispiel, ohne jetzt dem Kollegen wehtun zu wollen, wenn es zu sehr in Halbleiterei hineingeht.“

„Vielleicht auch bei Felder und Wellen. Also Felder und Wellen, da quälen wir auch unsere Studierenden hier. Da bin ich ein bisschen hin- und hergerissen, weil das auch das abstrakte Denkvermögen schult.“

„NV-Leute schon, also elektromagnetische Verträglichkeit, aber welcher Prozentsatz der Studierenden macht denn das hinterher?“

„Darstellende Geometrie [...], das macht halt jetzt der Rechner. Also man muss schon ein bisschen gucken, dass man nicht mit lauter alten Grundlagen, Sachen die ganze Vorlesung zupflastert.“

„Da kann man dann die eine oder andere Differenzialgleichung höherer Ordnung vielleicht mal weglassen oder nur für den Master verschieben.“

„Ja, zum Teil veraltete Sachen aus der Getriebelehre. Also jetzt bei den Werkzeugmaschinen. Wir haben jetzt keine Herleitung gemacht, wie aus einer mechanischen Maschine mit Zug- und Leitspindel wir uns dann zu einer NC-Steuerung entwickelt haben und so weiter, sondern diese mechanische Herkunft, die hat man deutlich gekürzt oder rausgenommen und hat dafür ein bisschen Platz geschaffen für die Weiterentwicklung mehr in die Zukunft.“

„Müssen wir noch Maschinen zeichnen lernen? Das tun wir. Der [...] Student zeichnet noch mit Bleistift [...], es ist ja zu Lehrzwecken gedacht. Es ist nicht dafür gedacht, dass der nachher noch zeichnen muss, das ist klar [...]. Lässt man so was jetzt wegfallen? [...] Ist das gut, wenn der Ingenieur gar keine technische Zeichnung mehr lesen kann nachher? Das wäre auch fatal.“

Auf die konkrete Frage, welche der bisher gelehrt Studieninhalte zukünftig eher verzichtbar wären, wurde nach einigem Zögern eine ganze Reihe inhaltlicher Bereiche benannt. Dabei scheint bei den Antworten durch, wie schwierig Abgrenzungen von „neuen“ und „alten“ Inhalten zu treffen sind, wenn weiterhin eine solide ingenieurwissenschaftliche Ausbildung gewährleistet werden soll. Eine Übersicht zu den Antworten gibt die Auswahl der entsprechenden Zitate unter der Überschrift „Aussagen zur möglichen Streichung ‚alter‘ Lehrinhalte“. Die Zusammenstellung kann als Anregung für den weiteren Diskussionprozess dieses für die zukünftige curriculare Entwicklung in den Ingenieurwissenschaften wichtigen Feldes genutzt werden.

4.2 HÜRDEN BEI INTERFAKULTATIVER STUDIENORGANISATION

Neben diesen Fragen nach einer Umstrukturierung der Lehrinhalte stehen einer zukünftig stärker inter fakultativen Studienorganisation eine Reihe administrativer Hürden gegenüber, die die befragten Hochschulvertreter als vergleichsweise hoch einschätzen. Auf übergeordneter Ebene sind Änderungen von Studiengängen nach den Erfahrungen der Hochschulvertreter schwer umzusetzen, da die Kultusministerien der Bundesländer für die Genehmigung von Curricula verantwortlich sind. Ein umfangreicher und vor allem zeitaufwändiger Akkreditierungsprozess bei Änderungen der Studienorganisation wird daher möglichst vermieden.

„Derjenige, der einmal einen Studiengang durch eine Akkreditierung durchgekriegt hat, der hat kein Interesse, daran was zu ändern. Und derjenige, der was ändern möchte, hat kein Interesse, das durch eine Akkreditierung durchzukriegen“ (HSU5).

Innerhalb der Hochschulen ist die Intensität einer inter fakultativen Zusammenarbeit in erster Linie von der Positionierung der jeweiligen Fakultät abhängig, was mit ihrer starken Stellung im institutionellen Gefüge der Hochschulen zusammenhängt. „Die Fakultäten, das sind Königreiche“ (HSU2). Wie gezeigt, ist die fakultätsübergreifende Zusammenarbeit bei der Vermittlung neuer Lehrinhalte zu Industrie 4.0

und Digitalisierung bisher erst punktuell realisiert. Ähnlich wie bei der Frage nach Streichung „alter“ und Aufnahme „neuer“ Studieninhalte deuten auch die Antworten der Interviewpartner zu einer Intensivierung der inter fakultativen Zusammenarbeit in der Lehre auf einen derzeit im Fluss befindlichen Diskussionsprozess hin. „Dass vielleicht 50 % der Kollegen da offen sind [...] und die anderen 50 % wollen eigentlich eine fachdisziplinorientierte Aufstellung der Fakultäten“ (HSU1). Schließlich verweisen die Erfahrungen der befragten Hochschulvertreter bei den Bemühungen, Lehrveranstaltungen fakultätsübergreifend zu organisieren und durchzuführen, auf eine ganze Reihe organisatorischer und administrativer Hürden. So sind etwa die Stundenpläne der unterschiedlichen Studiengänge zwischen den einzelnen Disziplinen nicht abgestimmt. Wenn Veranstaltungen der eigenen und der Nachbarfakultät zum gleichen Zeitpunkt in der Woche stattfinden, können inhaltlich passende Ergänzungen nicht realisiert werden.

„Es fängt mit so etwas an wie, in der Informatik finden alle studentischen Projekte im fünften Semester immer am Montag statt. [...] Wenn das nicht zu den Randbedingungen im Maschinenbau passt, dann kann ich kein gemeinsames Projekt aufbauen, weil dann die Studierenden des Maschinenbaus am Montag einfach nicht können. [...] Die Organisation des Studiums ist manchmal einfach ein Hindernis für solche Aktivitäten“ (HAW1).

Weitere Probleme ergeben sich aus unterschiedlichen Zuweisungen der Wertigkeit von Lehrveranstaltungen zwischen den verschiedenen Fakultäten. Dies hat zur Folge, dass Credit Points zwischen den Fakultäten nicht einfach miteinander verrechnet werden können. So berichtet ein Interviewpartner aus dem Bereich Maschinenbau von einer Kooperation mit einem Lehrstuhl der Wirtschaftswissenschaften, der sich auch mit Datenanalysen und Big Data beschäftigt:

„Da haben wir gesagt: Wir haben vielleicht einen passenden Anwendungsfall dafür aus der Fabriklogistik, der Instandhaltung. Aber da [die kooperierende Professur] zur Fakultät Wirtschaftswissenschaften gehört [...], ist es per se nicht vorgesehen, dass überhaupt Studenten zu uns kommen oder dass die das dann auch abrechnen dürfen“ (HSU 3).

5. ÜBERFACHLICHE KOMPETENZEN FÜR INDUSTRIE 4.0

Die Hochschulen stellen die Vermittlung fachlicher, disziplinerorientierter Kernkompetenzen mit den dazu gehörenden methodischen Grundlagen in den Mittelpunkt ihrer ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung. Neben einer Ausweitung des fachlichen Kanons insbesondere in Richtung IT und Data Science rücken die überfachlichen Kompetenzen verstärkt ins Blickfeld. Ähnlich wie von den Unternehmensvertretern hervorgehoben (vgl. Abschnitt II.2.2.5), wird es auch von Hochschuleseite als wichtig erachtet, bereits in der Ausbildung die Vermittlung fachlichen Wissens und fachlicher Kompetenzen mit überfachlichen Kompetenzen zu verknüpfen. Die Lehrkräfte an den Hochschulen begründen den zunehmenden Stellenwert überfachlicher Kompetenzen vor allem mit zwei Einschätzungen, die sich beide auf Erwartungen von Anforderungen an die Absolventen in ihren jeweiligen zukünftigen Tätigkeitsfeldern beziehen. Einmal wird davon ausgegangen, dass die Art und Weise der Zusammenarbeit in den Unternehmen, in denen die Absolventen arbeiten werden, durchgängig von Interdisziplinarität geprägt sein wird. Die andere Zukunftserwartung hängt mit der Einschätzung zusammen, dass die berufsbioграфischen Verläufe der Absolventen zukünftig von Arbeitsplatzwechseln in und zwischen Unternehmen, einem Wechsel zwischen selbstständigen und unselbstständigen Beschäftigungsverhältnissen und somit auch wechselnden Arbeitsinhalten geprägt sein werden. Deshalb müssen die Studierenden durch die Ausbildung in die Lage versetzt werden, flexibel mit neuen Anforderungen umzugehen, sich schnell in neuen Arbeitsumgebungen zurechtzufinden und sich rasch in neue Themenstellungen einzuarbeiten.

Die Hochschulvertreter räumen ein, dass bei der Vermittlung überfachlicher Kompetenzen ein deutlicher Nachholbedarf besteht.

„Sich als Ingenieur in irgendeiner Ecke zu vergraben und irgendwas vor sich hin zu tüfteln, ist nicht mehr das Bild des Ingenieurs, was man heutzutage braucht [...]. Wir Hochschulen, Fachhochschulen und Universitäten [konzentrieren uns] noch sehr stark darauf [...],

fachliches Wissen und teilfachliche Fertigkeiten zu vermitteln, aber nicht so sehr, diese persönlichen Kompetenzen zu fördern“ (HSU4).

Bei der Entwicklung erweiterter Perspektiven für ihre Studierenden sehen die Hochschulvertreter angesichts der neuen technologischen Entwicklungen besondere Herausforderungen.

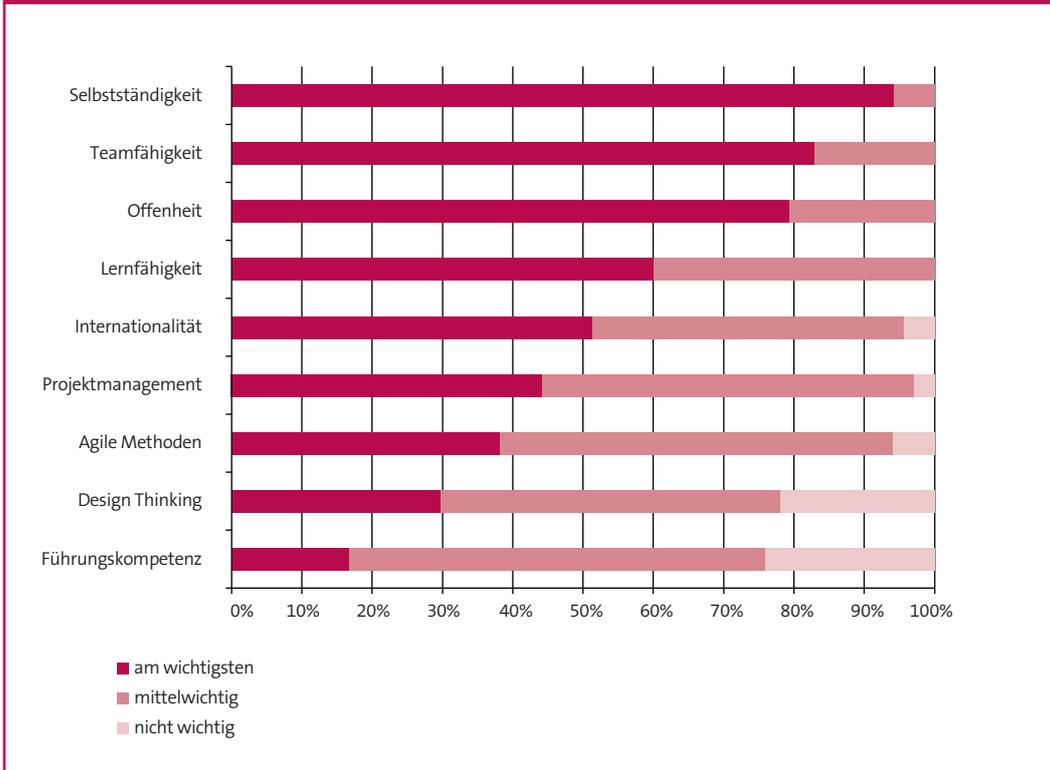
„Wer Maschinenbau studiert, hat wahrscheinlich im Abitur in Mathe und Physik gute Noten gehabt. Und der hat [...] geschätzt, dass es da klare, eindeutige Antworten gibt [...], und das waren ja auch Technische Mechanik und Mathematik im Grundstudium. Es gibt eine klare, eindeutige Antwort immer noch. Ja ist ja und nein ist nein. Wenn wir jetzt aber raus in Richtung Industrie 4.0 in einen suchenden Zustand gehen, [...] wir haben ein offenes Feld, es gibt gute und schlechte Antworten. Man kann nicht sagen, das ist die einzige, das ist die beste, und mit dieser Öffnung des Gestaltungsraums, was einerseits für manche ein Riesenreiz ist, haben die anderen Schwierigkeiten“ (HSU1).

Für eine im Zusammenhang mit Industrie 4.0 verstärkt erforderliche Öffnung des Blicks und für Fähigkeiten zur Verknüpfung der eigenen mit anderen Disziplinen sowie zur Verbindung technischer und nichttechnischer Elemente spielen aus Sicht der befragten Hochschulvertreter überfachliche Kompetenzen eine zentrale Rolle.

„Es kommen eben auch andere Aspekte dazu, eher so aus der Sozialkompetenz heraus und vor allem aus dem ganzheitlichen Denken [...]. Es geht dann bei Industrie 4.0 in erster Linie darum, Menschen mit Maschinen zu vernetzen. Das ist also der Kernaspekt, und das muss irgendeine Person im Unternehmen mit einem relativ generalistischen Blick überblicken können, wer da wie miteinander vernetzt ist“ (HSU3).

Die Antworten auf die Frage, welche überfachlichen Kompetenzen als besonders wichtig eingeschätzt werden, verweisen auf die besondere Betonung von Personalkompetenzen und Sozialkompetenzen. In den qualitativen Befragungen wurden beide Kategorien sowie zusätzlich die

Abbildung 12: Bewertung der überfachlichen Kompetenzen aus Sicht der befragten Hochschulen in der qualitativen Befragung (N = 27)



Kategorie überfachlicher Methodenkompetenzen nach ihrer Wichtigkeit abgefragt (Abbildung 12).

Die Entwicklung und Förderung personeller und sozialer Kompetenzen stößt bei den Befragten auf sehr hohe Zustimmungswerte. Beide Kategorien werden überwiegend mit „am wichtigsten“ bewertet. Die hohe Zustimmung zur Entwicklung personeller Kompetenzen umfasst verschiedene Elemente. Dazu zählen die Fähigkeit zu Selbstständigkeit und Eigenmotivation, Lernbereitschaft und Lernfähigkeit sowie die Offenheit gegenüber neuen Entwicklungen und Ideen. Die Anforderung, neuen Herausforderungen offen gegenüberzutreten, wird auch mit dem Bild von Ingenieuren veranschaulicht, die zukünftig viel „*anknüpfungsfähiger sein müssen*“ (HSU4). Beim Lernen werden insbesondere die Entwicklung von „Selbstlernkompetenz“ und „Selbstlernfähigkeit“ als bedeutsam gesehen. Dadurch sollen die Studierenden in die Lage versetzt werden, mit sich ständig verändernden Anforderungen in konkreten Arbeitsprozessen umzugehen, und sie sollen – in einer längerfristigen Perspektive – für lebenslanges Lernen in einer sich rasch und dauerhaft wandelnden (Arbeits-)Welt befähigt werden. Zu den Sozialkompetenzen zählen die Teamfähigkeit, die Kommunikationsfähigkeit sowie interkulturelle Kompetenzen etwa im internationalen

Austausch und Führungskompetenzen. Angesichts des hohen Exportanteils des Maschinen- und Anlagenbaus werden die Fähigkeiten, sich in einem internationalen Umfeld zu bewegen, für eine wachsende Gruppe von Absolventen immer wichtiger. Durchgängig gefordert wird eine stärker ausgeprägte Kommunikationsfähigkeit. Dies soll auch dazu befähigen, sich schneller in andere und neue fachliche Domänen einzuarbeiten „*wie zum Beispiel als Maschinenbauer in Informatikfragen [...], das ist eine neue Herausforderung [...], die müssten wir alle noch mehr fördern*“ (HSU4). Als ebenfalls wichtig bewerten die Befragten die Beherrschung überfachlicher Methodenkompetenzen. Dabei geht es um Kenntnisse und Erfahrungen mit Design Thinking, Projektmanagement und agilen Methoden. Die etwas geringere Bewertung von Führungskompetenzen hängt vor allem damit zusammen, dass aus Sicht der Befragten solche Anforderungen für eine vergleichsweise kleinere Gruppe zukünftiger Beschäftigter relevant sein werden (vgl. dazu auch die Ergebnisse der quantitativen Befragung der Unternehmen, Abschnitt II.2.2.3).

Überfachliche Kompetenzen werden in den Hochschulen teilweise in eigenständigen Seminaren angeboten, etwa zum Methodentraining oder zu Arbeitstechniken in den Ingenieurwissenschaften mit Themen wie Kommunikation, Präsentationstechniken,

Projektmanagement oder Selbststeuerung. Allerdings wird diese Art der Vermittlung von der Mehrzahl der befragten Hochschulvertreter eher skeptisch eingeschätzt. „*Da ist kein Mensch hingegangen*“ (HSU1). Sehr viel positiver ist die Bewertung einer integrierten Vermittlung überfachlicher Kompetenzen, d. h. in der Kombination mit fachlichen Inhalten. „*Im besten Falle integrativ [...] Denn so etwas lernt sich am besten, indem man es tatsächlich tut und reflektiert. [...] Aber man muss in der Hochschule auch die Möglichkeit schaffen, es zu tun*“ (HAW4). Die wichtigste Form einer integrativen Vermittlung überfachlicher Kompetenzen besteht in Aufgabenstellungen, die in Projekten sowie Teams von Studierenden bearbeitet werden. Eingebettet sind solche Projekte und Teamarbeiten meist in praxisbezogene Lehr-/Lernformate (siehe dazu Abschnitt III.6.1). Als besonders förderlich zur Entwicklung überfachlicher Kompetenzen werden interdisziplinäre Projekte bewertet, in denen Studierende des Maschinenbaus mit Studierenden anderer Disziplinen wie etwa der Informatik zusammenarbeiten.

„Das ist auch der Weg, wie wir Disziplinen gut zusammen bekommen, dann merkt auch zum Beispiel der Informatiker, er braucht auch die Maschinenbauer im Team und umgekehrt [...], dadurch entwickeln die Leute ein ganz gutes Bewusstsein“ (HSU1).

Eine weitere Form, in der überfachliche Kompetenzen erworben werden, sind selbstständig organisierte studentische Projekte an den Hochschulen außerhalb der Lehrveranstaltungen. Beispielhaft sind Studierendenprojekte, in denen etwa Rennwagen und Fußballroboter entwickelt oder Zeitschriften für Konstrukteure erstellt werden. Solche Aktivitäten werden von den Lehrenden positiv bewertet und unterstützt, da in solchen Projekten gelernt wird, „*wie kommuniziere ich, wie stimme ich mich ab, [...] auch wenn das Meeting per Skype stattfindet. Und das sind sicherlich alles die Soft-Skill-Kompetenzen für Industrie 4.0*“ (HAW1).

6. NEUAUSRICHTUNG VON LEHR-/LERNFORMATEN UND METHODEN

Im Unterschied zur mittlerweile durchgängigen Nutzung digitaler Geräte und Anwendungen in vielen gesellschaftlichen Lebensbereichen zeigen die Befunde aus den Hochschulen, dass bei den Lehrmethoden der tradierte Präsenz- und Frontalunterricht nach wie vor eine zentrale Stellung hat. Zur Vermittlung von fachlichen Grundlagen und Kerndomänen eines Fachs gilt er als Mittel der Wahl. Allerdings spielen mittlerweile auch veränderte Lehr- und Lernformate eine zunehmend wichtige Rolle bei der Vermittlung neuer Qualifikationen und Kompetenzen in den Bereichen Industrie 4.0 und Digitalisierung. Durch diese neuen Formate werden in den ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen neue Lehrinhalte vermittelt und zudem wird die Zusammenarbeit von Studierenden unterschiedlicher Disziplinen eingeübt. Auf diese Weise werden fachliche und überfachliche Kompetenzen integriert vermittelt. Kennzeichnend sind eine interaktive Gestaltung von Lehrveranstaltungen und eine stärkere Verschränkung von Theorie und Praxis. Die Verknüpfung von Theorie und Praxis ist für die ingenieurwissenschaftliche Lehre keineswegs grundsätzlich neu, da in die Ausbildung immer schon Praxisphasen integriert waren, die zum Teil in den hochschuleigenen Einrichtungen wie Werkstätten und Laboren und zum Teil in Kooperation mit Unternehmen durchgeführt wurden. Gleichwohl verweisen die Untersuchungsergebnisse auf eine Intensivierung dieser Theorie-Praxis-Verschränkungen, teilweise Neuerungen dieser Formate, Ansätze einer engeren interfakultativen Kooperation sowie eine intensiviertere Zusammenarbeit mit Unternehmen vor dem Hintergrund der neuen technologischen Entwicklungen.

Im Zentrum einer stärker kompetenzorientierten Lehre steht die Verknüpfung von konkreter Problemerkennung und selbstständiger Erarbeitung von Lösungsansätzen durch die Studierenden, was dann zu entsprechenden Lernprozessen führt. Aus Sicht der Lehrenden besteht der Anspruch darin, in der Vermittlung fachtheoretischer Inhalte immer Bezüge zu den konkreten Umsetzungsprozessen und Anwendungsmöglichkeiten herzustellen. Durch eine „lehrende Forschung“ oder „forschende

Lehre“ sollen die Studierenden im Unterschied zu vorgegebenen Lehrinhalten zum „Selber-Machen“ angeregt und verstärkt motiviert werden, selbstständig Probleme zu lösen, Erkenntnisse zu gewinnen, selbst zu forschen, die dabei erhobenen Daten und Informationen auszuwerten und prototypisch in Lösungen zu übersetzen. Die Studierenden sollen in die Lage versetzt werden, sich stärker eigenständig Sachverhalte anzueignen und zu lernen, was angesichts der deutlich beschleunigten Wissensvermehrung für ihre zukünftige berufsbiografische Entwicklung immer wichtiger wird.

In diesem Zusammenhang betonen die befragten Hochschulvertreter die zunehmende Bedeutung der Weiterbildung. Dazu gibt es an einer Reihe der befragten Hochschulen bereits unterschiedliche Angebote. Es wird durchgängig darauf verwiesen, dass die Nachfrage der Unternehmen nach angepassten, d. h. modular aufgebauten und berufsbegleitend organisierten Weiterbildungen für ihre Beschäftigten in Themenstellungen von Industrie 4.0 und Digitalisierung steigt. Die Aussagen verweisen auf eine große Offenheit, sich mit diesen neuen Aufgaben auch über die bereits bestehenden Weiterbildungsangebote hinaus zu beschäftigen. Zugleich sehen die Hochschulen aufgrund dieses wachsenden Bedarfs zukünftig erhebliche Herausforderungen. Neben inhaltlichen und organisatorischen Anforderungen stellt sich die grundsätzliche Frage, wie und in welchen Formen die Hochschulen neben ihren zentralen Aufgabenfeldern in der Erstausbildung von Studierenden und der Forschung zusätzlich weitere Aufgaben in der Weiterbildung übernehmen können.¹⁰

6.1 AKTUALISIERUNG DER LEHR-/LERNFORMATE UND METHODEN

Bei der Aktualisierung der Lehr- und Lernformate geht es zum einen um eine interaktivere Gestaltung von Lehrveranstaltungen, indem Vorlesungen durch Seminare und ganz neue Formen ergänzt werden, in denen die Studierenden stärker einbezogen sind. Zum anderen ist eine stärkere Verschränkung theoretischer und praktischer Anteile kennzeichnend. Ein übergreifendes Format ist das „Lernen durch Projektarbeit“ im Studienverlauf, wobei unter diesem Oberbegriff eine große Vielfalt praktizierter Formen besteht. Dazu zählen Veranstaltungen wie „projektbasiertes Arbeiten“, „Fallstudien“, „Vorlesungsergänzung durch Workshops und Tutorials“ sowie „praktische Entwicklungsaufgaben von Unternehmen“.

Ähnlich wie bei den Lehrinhalten finden sich diese aktualisierten Lehr- und Lernformate in größerer Zahl auf *fakultätsinterner* Ebene. Änderungen auf dieser Ebene können durch die Lehrstühle, Fakultäten und Disziplinen selbst entschieden und ohne größere Zeitaufwände oder externe Akkreditierungsanforderungen umgesetzt werden. Ebenfalls ganz ähnlich wie bei den Lehrinhalten ist die *fakultätsübergreifende* Organisation neuer Lehr- und Lernformate deutlich voraussetzungsvoller, da hier über die historisch gewachsenen organisatorischen und arbeitsteiligen wissenschaftlichen Grenzziehungen hinweg kooperiert werden muss und gemeinsame Lehrveranstaltungen und Lehrmethoden organisiert und praktiziert werden müssen. Eine zunehmende Bedeutung bei der Theorie-Praxis-Verschränkung in der Ausbildung hat die Kooperation zwischen Hochschulen und Unternehmen. Aktuell entstehen *neue Lern- und Praxisfabriken*, in denen auch für die Studierenden neue Ausbildungsorte entstehen. Schließlich sind mit den neuen Lehr-/Lernformaten wiederum einige zentrale *Herausforderungen* verbunden. Fakultätsinterne und -übergreifende Lehr- und Lernformate sowie diesbezügliche Herausforderungen werden im Folgenden konkreter erläutert.

10 In der vorliegenden Untersuchung wurde den Hochschulvertretern nur die Frage gestellt, ob es einen grundsätzlichen Bedarf an Weiterbildung gibt. Die Antworten verweisen durchgängig auf einen zukünftig steigenden Weiterbildungsbedarf. Alle daraus resultierenden weitergehenden Fragen nach Art, Umfang sowie inhaltlichen und organisatorischen Gestaltungsmaßnahmen zukünftiger Weiterbildungsaktivitäten sind durch weitere Untersuchungen zu klären (siehe auch Abschnitt IV).

6.1.1 FAKULTÄTSINTERNE LEHR- UND LERNFORMATE

Bei den fakultätsinternen Lehr- und Lernformaten setzen alle in die Untersuchung einbezogenen Hochschulen in den letzten Jahren, unbeschadet der Dominanz des Präsenz- und Frontalunterrichts, auf eine intensiviertere Mischung aus Theorie- und Praxisbestandteilen. Dabei wird der Präsenzunterricht stärker interaktiv gestaltet und um Praxisphasen ergänzt.

„Generell ist es so, dass der Trend natürlich eben von Frontalvorlesungen weggeht [...]. Es gibt viele [...] Lehrangebote, die seminaristisch sind [...], dass [...] die Studenten [...] selbst irgendwas erarbeiten“ (HAW2).

Ein Mix aus theoretischen und praktischen Phasen ist in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung nicht neu, hat sich zusammenhängend mit Digitalisierung und Industrie 4.0 jedoch in seinen konkreten Ausformungen wesentlich erweitert und beschleunigt. *„Was wir sehr viel stärker bei uns in den letzten sechs Jahren gemacht haben, ist, dass wir die Kompetenzorientierung stärker in den Fokus genommen haben“ (HSU4).*

(1) Kennzeichnend für neue und andere Formen von *Lehrveranstaltungen* ist ihre interaktivere Ausrichtung.

„Es gibt nicht mehr die Frontbeschallung, dass vorne einer steht. Viel mehr Gespräch, viel mehr Reflektieren. [...] Die Leute müssen reflektieren, was sie da sehen. [...] In den Köpfen der Leute müssen Konzepte entstehen, und das kriegt man über Gespräche, über Seminarcharakter viel besser hin, als wenn es eine Frontbeschallung gibt und irgendwelche Methoden da durchgenommen werden, und irgendwann ist man fertig“ (HAW3).

Dazu zählen etwa Formate wie Flipped Classroom, Inverted Classroom, Blended Learning oder Problem-based Learning. Die methodische Neuerung bei solchen Ansätzen besteht in einer Umkehrung der aus dem Präsenzunterricht bekannten Rollenverteilung.

„Man versucht, die Lernenden in die Rolle des Lehrenden zu bringen, lässt die Themen vorbereiten, lässt das dann dem Rest der Mannschaft vorstellen. [...] Es gibt Kollegen, die [...] dann das ganze Thema Digitalisierung mal aufzeichnen in einer Lehrveranstaltung, dass es auch später [...] noch mal nachgearbeitet werden kann“ (HSU3).

Die fachlich-inhaltlichen Grundlagen eignen sich die Studierenden mit Hilfe von bereitgestellten Materialien wie Lehrblättern oder Lehrvideos der Dozenten in Heimarbeit an. Die Präsenzphasen in der Hochschule dienen zur Präsentation, Diskussion und Reflexion der von den Studierenden erarbeiteten Ergebnisse sowie zur gemeinsamen Klärung von Fragen und Unklarheiten. Damit sollen die Studierenden motiviert werden, sich stärker eigenständig neben den Lehrinhalten der eigenen auch solche aus benachbarten Fachgebieten anzueignen, wenn dies zur Lösung spezifischer Fragestellungen erforderlich ist.

„Ein Kollege [...] hat ein Brain-Computer-Projekt aufgesetzt, und dann haben die Studierenden, die das sehr spannend fanden natürlich, mitbekommen, dass es notwendig ist, sich in dem Zusammenhang mit Regelungstechnik auseinanderzusetzen“ (HAW1).

Darüber hinaus wird mit ganz neuen Lehrformen experimentiert, indem etwa Hackathons in Zusammenarbeit mit Unternehmen veranstaltet werden. Nach den bisherigen Erfahrungen könnten solche Formate in der Ausbildung zukünftig einen größeren Stellenwert einnehmen, weil Studierende unterschiedlicher Disziplinen neben der kreativen Lösungsfindung gleichzeitig die interdisziplinäre Zusammenarbeit einüben.

„Wir haben [...] mit der Firma [XY] im Sommer einen Hackathon veranstaltet. [...] Ein völlig neues Lehrkonzept. [...] Die jungen Leute werden eingesperrt 24 Stunden, kriegen Pizza und Cola frei, und die kriegen im Prinzip gesagt, wir haben folgende mechanischen Elemente, die machen so Robotergreifer, und jetzt macht ihr einfach da mal was draus. [...] In einer Kreativitätsübung [...] hat man ihnen so und so viel Chips, Sensoren, Aktoren [...], Bauteile auf den Tisch geschmissen und gesagt, ihr könnt euch daraus jetzt was basteln. [...] Und

da waren Teams, [...] da waren Softwareleute dabei, da waren Maschinenbauer, die haben sich da alle eingebracht, und manche waren eher softwarelastiger unterwegs, andere haben die Aufgabenstellungen mehr mechanisch gelöst, und jeder hatte auch andere Ergebnisse, aber es war so dieser Spirit. [...] Und dann sind auf einmal neue Produktideen entstanden, die dann auch schnell in diesen 24 Stunden so als ganz rohe Prototypen von denen aufgebaut wurden“ (HSU1).

(2) Ein weiterer Schwerpunkt sind *Projekte* und praktische Übungen, die in die Lehrveranstaltungen der jeweiligen Fakultäten integriert und häufig in den Laboren der Hochschulen durchgeführt werden. Sie sind darauf ausgerichtet, Industrie-4.0-Anwendungen einzuüben.

„Sowohl von den Inhalten [...] mehr Richtung [...] Industrie 4.0 als auch von den Lehrformen, weil wir die Frontalvorlesungen oftmals ersetzt haben durch Lehrlabore und Seminare“ (HAW2).

Dabei wird explizit hervorgehoben, dass die mit Industrie 4.0 verbundenen Änderungen durch praktische Übungen verdeutlicht und veranschaulicht werden müssen, damit sie von den Studierenden tatsächlich verstanden werden.

„Industrie 4.0 begreift man nicht über klassische Vorlesungen, sondern ich muss da viel mehr Laborübungen, Case Studies, Use Cases machen [...], wo wir wirklich diese cyber-physischen Dinge in einem Mix von ‚wir bringen neue Theorie rein‘ plus ‚wir lassen die Leute dann selber damit Erfahrungen sammeln‘, die sollen selber Aufgaben lösen in heterogenen Teams, das zu machen. [...] Also sonst ist es nicht so verständlich“ (HSU1).

Durchgängig betont wird, dass für die Studierenden die Erweiterung der in den Vorlesungen vermittelten theoretischen Wissensgrundlagen durch praktische Erfahrung von zentraler Bedeutung ist und dies durch die Übungen im Labor vermittelt wird. Diese Erfahrungen sollen dann in prototypische Lösungen umgesetzt werden.

„Da gehört natürlich in der Tat die Stärkung von einer Transferkompetenz dazu. Deswegen Labor, deswegen Dinge selber erarbeiten, deswegen Gruppenarbeiten, deswegen sehr intensiv die auch nach eigenen Lösungen suchen lassen und es im Idealfall natürlich auf ihre konkrete Umgebung anzuwenden“ (HAW2).

Erforderlich ist dafür eine spezifische Gestaltung solcher Lernorte. Die Gestaltung soll darauf ausgerichtet sein, dass konzeptuelle Ideen und Überlegungen entwickelt und unmittelbar praktisch umgesetzt werden können.

„Was wir versuchen, ist, gerade in den Laboren sowas wie Lernorte zu kreieren [...], wo Studierende nicht mehr in Vorlesungen sitzen, sondern im Labor an einem Arbeitstisch wie diesem [...], und die klassischen Bretter, wo man dann seine Ideen anbringt. Aber die Werkzeugmaschine steht direkt daneben. [...] Allein durch die Nähe zu den Gerätschaften, um die es hier eigentlich geht, ist so die Atmosphäre eine ganz andere [...]. Es geht nicht mehr um ein Modul, es geht nicht mehr um ein einziges kleines Themenfeld. Sondern man denkt dann immer gleich breiter“ (HAW1).

Eine wichtige Anforderung an die Gestaltung solcher Lernorte besteht außerdem darin, dass sie den Studierenden einen angemessenen Freiraum für den Aufbau eigener Erfahrungen bieten. *„Meines Erachtens ist es ein Labor genau dann, wenn der Student auch Fehler macht und einfach was nicht hinkriegt, weil, da lernt man am meisten davon. Und eine recht offene Aufgabenstellung“ (HAW2).*

In einem breiten Spektrum geht es in diesen praktischen Lehr-/Lerneinheiten um Inhalte, die in einem engen Zusammenhang zu Industrie 4.0 und Digitalisierung stehen. Dabei werden Gruppen von etwa fünf bis zehn Studierenden mit dem Lehrplan zusammenhängende Aufgaben gestellt, die dann selbstständig gelöst werden.

„Was wir auch noch nutzen, also projekt- oder problembezogenes Lernen. Also da gibt's einerseits eine Fabrik, eine Fallstudie, wo man auch die Teams arbeiten lässt mit Zwischenpräsentationen [...]: Teamselbstorganisation. Und dann haben wir gerade aktuell noch ein

Fach, nennt sich Tracked Systems Engineering, [...] da arbeiten wir mit Lego Mindstorms [...], ein Produktions-Logistiksystem [...], haben wir [...] eine Aufgabe gestellt [...]. Die eine Gruppe [...] hat eine bestimmte Fläche zur Verfügung, muss flach bauen, die andere Gruppe hat wenig Fläche, darf in die Höhe bauen, wo man [...] auch Systementwicklungsmethoden, Planungsmethoden, Projektmanagementmethoden [...] ausprobieren lässt und das Ganze aber auch coacht“ (HSU3).

Eine für Industrie 4.0 und Digitalisierung weitere wichtige Kompetenzanforderung ist etwa die Verknüpfung von Hardware- und Softwareelementen, was wiederum im Rahmen von praktischen Aufgabenstellungen gut vermittelt werden kann.

„Das kann ein Entwurf einer Schaltung sein [...] bis zur Realisierung. Sie machen eine Leiterplatte, die löten das größtenteils selber, bestücken, nehmen das in Betrieb. Häufig ist dann Software dabei. [...] Und da bearbeiten wir alle möglichen Themen [...]. Diese Infrarot-Fernbedienung selbstständig erstellt und die Leute mit der Kodierung von Infrarotsignalen beschäftigt. [...] Das ist ein Touch Display, eine Ampel, da kann man eine Zeit einstellen“ (HAW3).

Darüber hinaus werden Programmierkenntnisse in den praktischen Studienabschnitten erworben und der Umgang mit Sensoren eingeübt. In der praktischen Arbeit können zudem Berührungängste zu Nachbardisziplinen abgebaut werden. Die Studierenden erhalten damit Einblicke in die mit Industrie 4.0 verbundenen vielfältigen Themenstellungen.

„Diese Prozessoren, die kann ein Student programmieren. Und dann kann er zum Beispiel mit diesem System hier und einer kleinen Batterie dazu den Abstand messen. Und dann ist dieses System in der Lage, mit Ihrem Handy zu kommunizieren. [...] Sobald Sie sich diesem System nähern, wird auf Ihrem Handy ein Signal kommen. Und ich kann jegliche Form von Sensor da ranbringen; ob das Temperatur und was auch immer ist. Und [...] der didaktische Gag ist: Die Studenten kriegen so eine Bastelkiste sozusagen in die Hand gedrückt [...], da drin

finden [...] sie sämtliche notwendigen Teile [...], das ist der Clou, wie ich die Studenten dazu kriege, dass sie plötzlich anfangen zu sagen, ja, so schwierig ist das ja gar nicht, ich fange an zu programmieren“ (HAW1).

Dabei sind die Themenstellungen der Praxisprojekte häufig durch eine Verbindung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse und konkreter Fragestellungen von Unternehmen gekennzeichnet.

„Wir machen aber hauptsächlich eben Lehraspekte, [...] neue Aspekte für Industrie 4.0 von der digitalen Transformation, die aus der Wissenschaft heraus kommen, umzusetzen in die Lehre und die Studenten sozusagen auch als Multiplikatoren für die Unternehmen zu schulen“ (HAW2).

Teilweise geht es dabei um Themenstellungen, die direkt von Unternehmen beauftragt werden.

„Letztes Semester waren es sechs Leute. Und die arbeiten dann an einer Thematik, die von einem Unternehmen vorgeschlagen ist [...], eine kleine Start-up-Firma [...], das ist eine Projektarbeit [...]. Die haben das gebastelt. Und die haben ein Protokoll hier, das die Daten transferiert [...] von diesem Knoten auf die Bridge. Und dann zu einer Cloud. Und das haben die alles jetzt in einem Semester gebaut“ (HAW3).

Diese praktisch orientierten Lehr- und Lernformate werden im Zusammenhang mit Anwendungen im Bereich Industrie 4.0 und Digitalisierung weiter ausgebaut.

„Wir kriegen ein 3D-Druckzentrum, das ist genau die Baustelle, über der wir uns gerade befinden. [...] Wir wollen, dass die Studierenden in den ersten Semestern zeichnen, konstruieren, entwickeln und dann [...] das Bauteil auch produzieren können“ (HAW1).

Die Simulation realer Projektbedingungen von Arbeitsprozessen ist ein weiterer wichtiger Bestandteil der praktischen Lehr-/Lernformate an den Hochschulen.

„Wir tun an der Hochschule viel. Wir arbeiten sehr viel projektorientiert, weil wir auch glauben, wenn heute in der Wirtschaft irgendwie Entwicklung stattfindet, ist es immer in Projekten. Es wird immer in Projekten gedacht“ (HAW1).

Wie bei Projekten in der späteren Berufstätigkeit orientieren sich die Vorgaben der Übungsaufgaben an begrenzten Ressourcen und zeitlichen Limits, in denen Ergebnisse unter Berücksichtigung festgelegter Qualitätsstandards erstellt und geliefert werden müssen.

„Es geht nicht bloß drum, [...] was Funktionsfähiges zu bauen. Sondern auch zu sagen, na ja, es funktioniert und wir sind in der Zeit geblieben, wir sind mit den Ressourcen hingekommen [...]“ (HSU3).

Sehr weit entwickelte Beispiele praxisorientierter Lehr-/Lernformate umfassen mehrmonatige Semester-Projekte, in denen Entwicklungsaufgaben gemeinsam mit Industriepartnern gestellt und Lösungen in Teams von sechs bis sieben Studenten erarbeitet werden. In solchen Projekten werden neben fachlichen auch überfachliche Kompetenzen integriert vermittelt.

„Wo wir mit [...] 40 Studierenden und einem Industriepartner [...] innerhalb von vier Monaten von der Marktanalyse, Kundenanalyse, Kundenprofile definieren bis hin zu prototypischen Lösungen so einen kompletten Entwicklungsprozess durchmachen [...], die lernen dort auch das Project Planning, also nach Stage-Gate mit integrierten Scrum-Elementen. Wir nennen das Agile Systems Design. [...] Und da gehört es natürlich dazu, dass man bestimmte Meilensteine hat, wo dann wieder immer vor Kunden auch präsentiert wird“ (HSU1).

Eine vollständige Umstellung der Studienorganisation auf solche projektförmigen Lehr-/Lernformate ist an einer der befragten Hochschulen realisiert. In enger Zusammenarbeit mit kooperierenden Unternehmen definieren Studierende dort eine Aufgabenstellung, beschaffen sich die notwendigen Ressourcen und realisieren das Projekt.

„Projekte sind genau der Ort, wo wir versuchen, Theorie und Praxis zu verknüpfen. Sprich: einen praktischen Zusammenhang zu schaffen, in dem Fragen aufkommen, die wir dann mit Theorie versuchen zu beantworten, die Studenten aber gleichzeitig in die Lage versetzen, das sofort wieder praktisch auszuprobieren. Also im Grunde ist es für den Studenten ein ständiges Hin und Her zwischen Theorie und Praxis“ (HAW4).

6.1.2 FAKULTÄTSÜBERGREIFENDE FORSCHUNG UND AUSWIRKUNGEN AUF DIE LEHRE

Im Vergleich zu neuen inter fakultativen Lehr-/Lernformaten ist die forschungsseitige Verschränkung mit anderen Fakultäten bei den befragten Hochschulen entsprechend der Richtschnur „Lehre folgt Forschung“, die besonders für Universitäten gilt, weiter fortgeschritten. Die thematische Beschäftigung mit Industrie 4.0 und Digitalisierung wird an den Hochschulen stark durch Forschungsaktivitäten getrieben. *„Die Themen [...] sind ungefähr fast 50 % des Institutsbudgets in Industrie 4.0 oder Industrie-4.0-verbunden“ (HSU1).* Forschung findet mehr und mehr an den Disziplingrenzen statt, was sich positiv auf die inter fakultativen Kooperationsaktivitäten auswirkt. Dies gilt verstärkt auch für die Hochschulen der angewandten Wissenschaften. Deshalb werden Industrie 4.0 und Digitalisierung bei den Forschungsaktivitäten auch als Treiber einer intensivierten interdisziplinären Vernetzung gesehen.

„[...] bei uns [...] in der Professur und auch übergreifend im Institut hat das im Bereich der Forschung schon zu durchaus gravierenden Veränderungen geführt. Also das ist bei uns auf jeden Fall ein Schwerpunktbereich, und wir haben dort auch eine Vielzahl von Verbundprojekten, [...] die direkt Industrie 4.0 oder Digitalisierung [...] zum Gegenstand haben. [...] Das war auch mit ein Grund, dass wir eins von diesen zehn Kompetenzzentren Industrie 4.0 als Transfereinrichtung bekommen haben. Also das hat bei uns schon Dinge wesentlich geprägt“ (HSU3).

Dabei wird durchgängig festgestellt, dass die Abgrenzungen insbesondere bei gemeinsamen Forschungsaktivitäten zwischen Fakultäten und Disziplinen geringer geworden sind. „Früher waren die Mauern schon höher. Aber heute haben wir doch relativ viele Dinge, die über die Department-Grenzen hinweggehen“ (HAW1). Dieses ist keineswegs selbstverständlich, weil die Sichtweisen und Perspektiven der Disziplinen weiterhin als sehr unterschiedlich eingeschätzt werden.

„[...] ein Maschinenbauer und ein Informatiker, das sind schon zwei sehr verschiedene Welten [...]. Der eine ist sehr mathematisch geprägt, der andere sehr produktionstechnisch [...], das eine ist ganz virtuell, da kann man nichts anfangen, da dreht sich nichts, da rumpelt nichts, da quietscht nichts [...]. Das sind eigentlich zwei Universen. Und man muss dazwischen stehen“ (HAW2).

Disziplinübergreifende Verständigungsprozesse sind deshalb an spezifische Voraussetzungen gebunden, wobei die Bereitschaft, sich darauf einzulassen, insbesondere in der Perspektive gemeinsamer Forschungsaktivitäten durchweg positiv eingeschätzt wird.

„Man muss bereit sein, [...] sich auf andere Terminologien einzulassen, auf andere methodische Ansätze, [...] das kostet Zeit [...]. Aber [...] die Kollegen sind sehr offen. Ich erfahre auch im Maschinenbau ein hohes Verständnis, dass man sich stärker mit Informatikthemen auseinandersetzen muss, so dass man da an der Stelle jetzt nicht als Prediger auftreten muss, sondern das Bewusstsein ist eigentlich schon da bei den Kollegen, und man will auch gerne mit uns zusammenarbeiten“ (HSU1).

Disziplinübergreifende Forschungsaktivitäten hängen in erster Linie von der Identifikation gemeinsamer Interessen an bestimmten Themenstellungen ab, sind also inhaltlich definiert. Sie hängen nicht von administrativen Vorgaben ab und können deshalb einfacher und schneller umgesetzt werden. „In Forschungsprojekten findet man da relativ leicht zusammen“ (HSU3). An einem der befragten Standorte geht die disziplinäre Vernetzung über die Grenzen einzelner Hochschulen hinaus und umfasst mehrere der

örtlichen Hochschulen. Dadurch soll eine intensive Beschäftigung mit Industrie-4.0-Themen gefördert werden.

„Es gibt tatsächlich eine Vernetzung mit den Informatikkollegen dieser drei Hochschulen, wo wir wirklich zusammenarbeiten und wo es jetzt auch eine Förderlinie gibt [...]. Es gibt kooperative Projekte zu eben genau so Themen wie Industrie 4.0 zwischen den Hochschulen“ (HAW1).

In vielen dieser durch Industrie 4.0 verstärkten Forschungsaktivitäten sind Studierende eingebunden, meist als studentische Hilfskräfte und häufig mit der Option auf Studienabschlussarbeiten in den entsprechenden Themenfeldern. „Ein Großteil der Studierenden, jetzt sage ich mal, 60 % der Studenten arbeiten live an Forschungsprojekten mit“ (HSU2). Daneben wirkt sich diese forschungsbasierte intensivierte interdisziplinäre Zusammenarbeit, wenn auch teilweise zeitlich verzögert, auf die Lehre aus, indem etwa bestimmte Elemente in die jeweiligen Lehrveranstaltungen einfließen. So berichtet ein Interviewpartner, die Themen der Masterarbeiten und Seminare bewegten sich mittlerweile viel stärker im Bereich der Cyber-Physical Systems und beschränkten sich nicht mehr auf reine Softwareentwicklung.

„Es wirkt sich auch auf die Beispiele in den softwaretechnischen Vorlesungen aus, dass man nicht mehr nur rein über Softwaresysteme redet, sondern auch verdeutlicht, dass viele Fragen in einem breiteren Kontext von Cyber-Physical Systems, Industrie 4.0 zu sehen sind“ (HSU1).

Darüber hinaus verweisen die Untersuchungen auf einige Beispiele punktuell praktizierter fakultätsübergreifender Lehr- und Lernformate. An einer der befragten Hochschulen wurde ein Innovationslabor eingerichtet, in dem Teams von fünf bis sieben Studierenden der Informatik und der Elektrotechnik bestimmte Aufgabenstellungen gemeinsam mit Unternehmen im Themenfeld Internet of Things (IoT) bearbeiten. Jährlich durchlaufen 55 von insgesamt 200 Studierenden unterstützt durch einen Scrum-Coach dieses Innovationslabor.

„Ich hab ein Modul, das biete ich Studierenden an. Es ist auch projektorientiert. Wir holen ein Unternehmen, das die Projekte vorstellt. Und ich hole dann auch wirklich Studierende aus der Elektrotechnik, die dann mitarbeiten in dem Projekt. [...] Der Bedarf ist sehr groß. Und die Studierenden möchten das auch. Die Elektrotechniker kommen zu mir, viele, und die denken, ja, IoT möchte ich lernen. Natürlich, die haben keine Softwarekenntnisse, aber die sagen, na ja, da könnte ich was machen. Eine App, eine kleine App oder so. [...] Und wir versuchen, [...] es interdisziplinär voranzutreiben. Das ist momentan die Vorgehensweise“ (HAW3).

An einer anderen Hochschule werden auch Projekte im Feld Big Data mit Studierenden unterschiedlicher Disziplinen durchgeführt.

„Im klassischen Schnittpunkt, wo ich einen Mechatroniker brauche, einen Elektrotechniker brauche und dann vielleicht noch einen Informatiker [...], dann etabliere ich so Projektgruppen [...], wenn ich [...] eine Datenanalyse oder ein Big-Data-Verfahren auswerten will. Dann setze ich eine Gruppe von vier oder fünf Wirtschaftsinformatikern hin und sage, jetzt probiert mal, kriegt was raus, dann brauchen die noch ein bisschen Wissen von den Daten, dann brauche ich da noch irgendjemand, der sich im Maschinenbau auskennt, und dann hab ich so eine Projektgruppe“ (HAW2).

Die Aussagen der Hochschulvertreter weisen darauf hin, dass disziplinübergreifende Aktivitäten zukünftig in der Lehre intensiviert werden sollen und in Planung sind.

„Wir sind stärker dabei als in der Vergangenheit, die interdisziplinäre Zusammenarbeit bereits in frühen Praktika zu schulen. Wir setzen jetzt gerade eine Software im Innovation Lab auf mit dem Ziel, 2019 ein kreatives Kleinprojekt zu machen [...] mit fünf Studierenden, einem Maschinenbauer, einem Wirtschaftswissenschaftler und drei E-Technikern. [...] Der Tisch ist voll mit lauter kleinen Möglichkeiten, und dort wird dann eine Drohne oder ein kleines Platoon von Modellautos oder sonst etwas aufgebaut, wo jeder seinen Anteil bringt“ (HSU1).

6.1.3 NEUE FORMEN DER KOOPERATION ZWISCHEN HOCHSCHULEN UND UNTERNEHMEN

Wie angedeutet, zeichnet sich in den letzten Jahren eine verstärkte Dynamik in der direkten Zusammenarbeit zwischen Hochschulen und Unternehmen ab. Es wird betont, dass jegliche Form der Kooperation und Zusammenarbeit für beide Seiten Vorteile und Lernmöglichkeiten eröffnet. Die Hochschulen lernen den Bedarf der Industrie in der praktischen Anwendung besser kennen, in der Bearbeitung von gemeinsamen Projekten werden die vermittelten theoretischen Konzepte unmittelbar an der Praxis erprobt und die Studierenden und das akademische Personal lernen realitätsnah den Umgang mit praktischen Umsetzungsanforderungen und -bedingungen, wie begrenzten Ressourcen, zeitlichen Limitierungen und Kundenanforderungen. Die Unternehmen erkennen den Möglichkeitsraum einer Hochschulunterstützung und der damit verbundenen intellektuellen und personellen Ressourcen. Eine neue, seit etwa zwei bis drei Jahren im Entstehen begriffene Form sind die von Unternehmen und Hochschulen gemeinsam errichteten Technologiezentren und die darin integrierten Lern-, Muster-, Forschungs- und Praxisfabriken (siehe auch Abschnitt II.4.3). In einer der untersuchten Hochschulen wurde im Rahmen einer solchen Lern- und Praxisfabrik in Kooperation mit regional ansässigen Industrieunternehmen eine komplette interne Wertschöpfungskette aufgebaut. Solche Lern- und Praxisfabriken bilden eine wichtige Schnittstelle zwischen Lehre, Forschung und praktischer Anwendung. Dort werden Aufträge aus den Unternehmen bearbeitet und zugleich Studierende ausgebildet. Jährlich nehmen an den praktisch ausgerichteten Lehrveranstaltungen etwa 120 Studierende teil.

„Wir haben gerade unser [...] neu eröffnetes Technologiezentrum [...], wo wir eine Musterfabrik haben, wo wir sehr viele Elemente aus Industrie 4.0 auch wirklich zum Begreifen ausgestellt haben [...] und [...] unsere beiden Masterstudiengänge dort sehr eng verankert sind“ (HAW3).

Positiv eingeschätzt werden die engen Bezüge zwischen theoretischer Vermittlung und praktischer Umsetzung von Lehrinhalten.

Angestrebt wird deshalb eine Ausweitung dieser Kooperation zwischen Hochschulen und Unternehmen, um eine größere Zahl von Studierenden unterschiedlicher Fachrichtungen einbeziehen zu können.

6.2 HERAUSFORDERUNGEN BEI DER UMSETZUNG INTERAKTIVER UND PRAXISORIENTIERTER LEHR-/LERNFORMATE

Von den Hochschulvertretern wird betont, dass die Zunahme praktisch und interaktiv ausgerichteter Lehr- und Lernformate deutlich betreuungsintensiver und mit sehr viel Aufwand bei der Vor- und Nachbereitung der Veranstaltungen für die Dozenten verbunden sind. „Ich weiß, dass hinter neuen Lehrkonzepten immer relativ viel Aufwand steckt“ (HAW2). Neben dem erhöhten zeitlichen Aufwand ist auch ein höherer Ressourceneinsatz erforderlich. Dies umfasst neben einem umfangreicheren Materialeinsatz besonders die Einbindung einer größeren Zahl wissenschaftlichen Personals, um die erforderliche individuelle Betreuung der studentischen Projekte und Teams sicherzustellen.

„Der Kernpunkt, das ist auch so das Problem mit der Finanzierung [...]. Du brauchst wahn-sinnig viel Hands-on, und das ist natürlich sehr betreuungsintensiv und materialintensiv. [...] Und also man braucht quasi viel Betreuung von qualifizierten Leuten“ (HSU1).

Bei einer steigenden Anzahl von Studierenden ist diese Kostenfrage kritisch und begrenzt eine Ausweitung solcher Lehr-/Lernformate. „Herausforderung ist einfach, dass die Politik tatsächlich das auch als eine Entwicklung der Hochschulen akzeptiert und entsprechend durch räumliche und finanzielle Ausstattung unterstützt“ (HAW1).

Eine weitere Herausforderung bei der Durchführung dieser stärker auf die Selbstlernfähigkeit der Studierenden orientierten Lehr-/Lernformate besteht darin, dass die Lehrkräfte eine neue Rolle ausfüllen müssen. Neben ihrer traditionellen Rolle der Lehrenden, in der sie den Studierenden die Lehrinhalte vorgeben, kommt verstärkt die Anforderung hinzu, Lernbegleiter und Coach zu sein. Im Mittelpunkt steht dabei, die Studierenden in ihren eigenständigen Lernprozessen zu

unterstützen und zu begleiten. Dies bedeutet für die Lehrenden eine veränderte Aufgabenstellung.

„Es ist immer die Gestaltungsaufgabe, wie viel coacht man die Leute, wie setzt man die Leitplanken, eng oder weit. [...] wo man doch tatsächlich probieren muss. [...] Dann lernen wir selber auch nach der Zeit immer noch viel [...]. Es ist einerseits auch das Erleben, also das Selber-Tun, und die Herausforderung besteht dann natürlich immer noch drin zu sagen, jetzt reflektieren wir [...] auf die Vorlesungsinhalte [...], also, die Reflexion herzustellen, es gelingt dann vielleicht nicht jedem, aber das ist dann [...] unsere Aufgabe als Coaching oder Begleitung“ (HSU3).

Von zentraler Bedeutung für den Lernerfolg ist dabei eine angemessene Gestaltung der jeweiligen Rollenwechsel im Verhältnis zu den individuellen Bedarfen der Studierenden.

„Unsere Professoren müssen ständig im Dialog mit den Studierenden entscheiden, welche Rolle sie gerade einnehmen. Ob sie sich raus-halten, weil sie sagen, das ist ein sehr sinnvoller Lernprozess, den der Studierende jetzt mit sich selber ausmachen muss, ob sie unterstützen, also eher als Mentor und Coach agieren, oder ob sie sagen [...], da kann ich dir einfach helfen, indem ich dir diesen Zusammenhang jetzt erkläre in Form eines Seminars“ (HAW4).

Um diesen neuen Anforderungen gerecht zu werden, haben einzelne Hochschulen entsprechende Fort- und Weiterbildungen organisiert, die offensichtlich auf eine breite Resonanz bei den Lehrkräften stoßen.

„Wenn man jetzt solche Formate macht wie mediengestütztes Lernen, wie problembasier-tes Lernen oder projektbasiertes Lernen und so weiter, dann braucht man natürlich das Know-how dafür. Dafür haben wir ein sehr, sehr umfangreiches Qualifizierungssystem bei uns aufgebaut, [...] von diesen Formaten haben wir jetzt in den letzten sechs Jahren Größen-ordnung 65 % unserer Professoren teilnehmen lassen, freiwillig“ (HSU4).

IV. HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Die vorgestellten Ergebnisse weisen auf umfassenden Handlungsbedarf in der Ausbildung von Ingenieuren für Industrie 4.0 hin, zeigen aber gleichzeitig, dass bereits wichtige Grundlagen gelegt und zentrale Entwicklungen in den Unternehmen und im Hochschulbereich im Gang sind. Es wird zukünftig zum einen darauf ankommen, diese weiter institutionell und bildungspolitisch zu verankern sowie ihre Reichweite deutlich zu erhöhen. Zum anderen wird es zunehmend relevant, die Frage eines adäquaten Bildungsprofils übergreifend zu betrachten, indem auch die Rolle von Fort- und Weiterbildung in und außerhalb von Unternehmen in den Blick genommen wird. Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse und im Zuge der Diskussion dieser Ergebnisse mit einem breiten Fachpublikum im Rahmen unterschiedlicher Vortrags- und Workshopveranstaltungen zeigen sich folgende Handlungsempfehlungen als zentral.

1. INGENIEURWISSENSCHAFTLICHES GRUNDLAGENSTUDIUM UND GRUNDLAGENKURSE ENTWICKELN

Eine wichtige Perspektive besteht in der Entwicklung eines zweisemestrigen ingenieurwissenschaftlichen Grundlagenstudiums. Die Inhalte sollten den Studierenden gleichermaßen a) erste Einblicke in die Kerndisziplinen Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik geben, b) deren zunehmende praktische Verschränkung und c) die Relevanz des Zusammenspiels von Fachwissen, Methodenwissen und überfachlichen Kompetenzen transportieren. Übergreifende Ziele sind:

- die Entwicklung einer besseren Entscheidungsbasis für die Wahl einer Kerndisziplin,
- die frühzeitige und nachhaltige Verankerung einer Perspektive auf fachliche Themengebiete, die fachliche Verschränkungen und das Zusammenspiel mit methodischen und überfachlichen Aspekten erkennt und anerkennt, sowie hieraus resultierend
- eine Sensibilisierung und Befähigung zu umfassendem, den Anforderungen der Industrie 4.0 entsprechendem Lernen. Umfassendes Lernen bedeutet, fachliche Elemente mit

methodischen und überfachlichen Elementen sinnvoll integrieren und dies als einen auf Dauer gestellten Prozess im Sinne des lebenslangen Lernens permanent aktualisieren zu können.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen außerdem, dass erweiterte fachliche Grundlagen in den Studiengängen Maschinenbau und Elektrotechnik vor allem die Bereiche Informatik und Data Science umfassen sollten und im Fall der Informatik Grundlagen in Maschinenbau, Elektrotechnik sowie Data Science. Ein wichtiger inhaltlicher Aspekt ist dabei eine stärkere Adressierung von IT-Sicherheitsfragen, weil dies nach übereinstimmender Einschätzung der befragten Hochschul- und Unternehmensvertreter ein bisher zu wenig bearbeitetes Thema, für eine erfolgreiche Verbreitung von Industrie 4.0 jedoch von zentraler Bedeutung ist.

Zur Entwicklung und Implementierung eines ingenieurwissenschaftlichen Grundlagenstudiums gibt es bereits erste Ansätze und praktische Erkenntnisse im Hochschulbereich (beispielsweise TH Köln, TU Ilmenau), auf denen zukünftig weiter aufgebaut werden kann. Hierfür und auch für die Entwicklung weiterführender Grundlagenkurse bietet sich eine intensive Kooperation zwischen Hochschulen und Unternehmen an, wobei letztere praktische Beispiele für veränderte und digitalisierungsspezifische Anforderungen einbringen können. Durch eine solche Kooperation wird den Studierenden außerdem die Möglichkeit gegeben, sich gleich zu Beginn des Studiums einen breiteren Überblick über praktische Arbeitsbereiche und -anforderungen zu verschaffen und somit jeweils eine gezieltere Auswahl von Kerndisziplin und Vertiefungsgebieten im Studium zu treffen.

2. HOCHSCHULEN IM CHANGE-PROZESS UNTERSTÜTZEN

Ein entsprechender Grundlagenkanon kann nicht „von extern“ konzipiert, sondern muss im Schwerpunkt innerhalb der Hochschulen entwickelt und bezogen auf den beschleunigten technologischen und arbeitsorganisatorischen Wandel dauerhaft weiterentwickelt werden. Dies setzt einen Change-Prozess im Hochschulbereich

voraus. Eine wichtige Herausforderung besteht darin, eine Verständigung über eine Mischung „neuer“ und „alter“ Studieninhalte unter der Bedingung einer zeitlich begrenzten Studiendauer zu finden. Dafür notwendig ist eine stärkere strukturelle, kooperative und kommunikative Vernetzung zwischen den Fakultäten und Fachbereichen, indem insbesondere die jeweiligen Curricula gemeinsam betrachtet und miteinander in Abgleich gebracht werden. In der Überwindung eines disziplinären und fachbezogenen Silodenkens liegt der Schlüssel zu einem strukturierten interdisziplinären und auf Dauer angelegten Prozess der Entwicklung eines angemessenen Grundlagenkanons, der auch den jeweils unterschiedlichen Bildungszielen verschiedener Hochschultypen entspricht. Zwingende Voraussetzung hierfür ist die ausreichende Ausstattung mit relevanten Ressourcen wie Zeit, Geld und Beratungsleistungen von externer Seite. Notwendig ist zudem die institutionelle Gleichstellung von Forschung und Lehre, um Anreize zu einem adäquaten Engagement bei der Entwicklung und Pflege eines Grundlagenkanons zu bieten.

3. KOOPERATIONEN ZWISCHEN UNTERNEHMEN UND HOCHSCHULEN AUSWEITEN

Die bestehenden hochschulischen Angebote bezüglich neuer Lehr- und Lernformate sollten inhaltlich und quantitativ deutlich ausgeweitet werden. Disziplinübergreifende Labs, Lehr-/Lernfabriken und weitere Formen der Kooperation von Hochschulen und Unternehmen im Lehrbereich bieten effektive und effiziente Kontexte für die Einübung des Umgangs mit digitalen Anwendungen und die Lösung von Entwicklungsaufgaben bezüglich Industrie 4.0. Um die Transparenz neuer Lehr-/Lernformate für Lehrende und Studierende an den Hochschulen zu gewährleisten, sollten entsprechende Good-Practice-Beispiele in die „Toolbox“ der Maschinenhaus-Initiative des VDMA aufgenommen werden. Es ist zielführend, derlei Angebote zügig auszubauen und sie zudem mit institutionalisierten „Lernnetzwerken“ zu flankieren, in denen Unternehmen und Hochschulen gemeinsam an konkreten Problem- und Fragestellungen arbeiten. Besonders wichtig ist die Einbeziehung

von KMU, damit sie ihre spezifischen Bedarfe in diesen Vernetzungsprozess einbringen können. Zugleich erhalten sie durch die Einbindung in diese Netzwerke einen Einblick in die vielfältigen Kooperationsangebote der Hochschulen, die von der Beratung bei spezifischen technischen Fragestellungen bis zur Durchführung gemeinsamer Forschungsprojekte reichen. Zur Organisation solcher Netzwerke bietet es sich an, die regionale Nähe von Unternehmen und Hochschulen zu nutzen und aktuell bestehende Vernetzungen zum Ausgangspunkt zu nehmen. Die Etablierung von Lernnetzwerken, deren Mitgliederzusammensetzung variabel und deren Zugang offen bleiben muss, bietet außerdem den Mehrwert einer auf Dauer gestellten Initiierung wechselseitiger Lernprozesse sowie der frühzeitigen Einbindung von Studierenden in Praktiker-Netzwerke.

4. FORT- UND WEITERBILDUNG FÜR DIGITALISIERUNG UND INDUSTRIE 4.0 ALS LEBENSLANGES LERNEN ORGANISIEREN

Nicht nur, aber insbesondere im Zusammenhang mit Industrie 4.0 zeigt sich, dass Fort- und Weiterbildung stärker systematisch mit einem Anspruch an lebenslanges Lernen verbunden werden müssen. Hierfür muss zum einen eine organisatorische Weiterentwicklung stattfinden: Bildungsangebote dürfen nicht in dem Modell der vereinzelt und „neben“ dem Arbeitsalltag absolvierten Zertifizierung verharren. Fort- und Weiterbildung müssen darüber hinaus systematisch über die gesamte Berufsbiografie hinweg auch in abwechselnden Phasen von Lernen und Arbeiten aufgehen. Ein erster Schritt in diese Richtung ist die zu beobachtende Entwicklung, dass Berufseinsteiger mit Bachelorabschluss nach einigen Jahren im Unternehmen ihr Arbeitsvolumen senken, um an die Hochschule zurückzukehren und einen Masterstudiengang zu absolvieren. Sowohl Beschäftigte als auch Unternehmen profitieren hiervon kurz- und mittelfristig, aber auch die Hochschulen selbst. Die Rückkopplung aus Projekten wie auch die Fort- und Weiterbildung von Ingenieuren mit spezifischen Berufserfahrungen sorgen für stetige Impulse in die Forschungs- und Lehraktivitäten

der Hochschulen. Zur Organisation und Gestaltung solcher Bildungsformen liegt in den Unternehmen und den Hochschulen eine ganze Reihe von Erfahrungen vor, die zusammengeführt und systematisiert werden können, um auf dieser Grundlage weitere Perspektiven zu entwickeln: Über das Modell des Masterstudiengangs hinaus müssen Möglichkeiten geschaffen werden, auch im späteren Berufsleben immer wieder lernfokussiert und auch über einen längeren Zeitraum tiefer in Sachthemen einzusteigen, um neue technisch-methodische Entwicklungen, auch in Grundlagenbereichen, aufzugreifen und neue berufliche Ausrichtungen zu ermöglichen. Idealtypisch sollten den Beschäftigten mehrfache Wechsel zwischen Bildungsphasen an den Hochschulen und praktischen Arbeiten in den Unternehmen ermöglicht werden, um Grundlagen anzuwenden, sich Vertiefungen und Neuorientierungen anzueignen und diese wieder anzuwenden. Daneben muss Lernen im Prozess der Arbeit als relevantem Teil der Fort- und Weiterbildung und des lebenslangen Lernens in Unternehmen mehr Aufmerksamkeit zuteil werden. Die Etablierung lernförderlicher Arbeitsstrukturen ist entgegen der allgemeinen Annahme auch im Bereich der hochqualifizierten Beschäftigung weder eine Selbstverständlichkeit noch ein Selbstläufer. Sie erfordert sowohl arbeitsinhaltliche als auch arbeitsorganisatorische Gestaltungsleistungen durch Führungskräfte und Management. Bildungsprozesse, die den Anforderungen der Industrie 4.0 genügen, erfordern also institutionelle Weiterentwicklungen, vor allem hinsichtlich einer stärkeren Verschränkung von Hochschule und Fort- und Weiterbildung sowie lernförderlicher Arbeitsgestaltung in den Unternehmen selbst.

5. ONLINE-KOMPETENZ-CHECK INDUSTRIE 4.0

Die Ergebnisse der Studie „Ingenieurinnen und Ingenieure für Industrie 4.0“ bilden die Grundlage für den Anforderungs-Check Industrie 4.0 für Unternehmen, Beschäftigte und Studierende. Dieses Online-Tool bietet Unternehmen wie auch Beschäftigten die Möglichkeit, die vorhandenen oder angestrebten Qualifikationen und Kompetenzen mit den Anforderungsprofilen, wie sie Unternehmen im Bereich Industrie 4.0 formulieren, zu vergleichen. Dabei stehen Differenzierungsmöglichkeiten nach Schwerpunkten der Unternehmen (Maschinen/Systeme, Komponenten, IT/Automatisierungstechnik, anderes) und nach Bereichen (Produktion, Entwicklung/Forschung/Konstruktion, Service/Inbetriebnahme, Vertrieb/Einkauf) zur Verfügung.

Das Tool erlaubt es, Lücken, notwendige Qualifikationen und Kompetenzen ebenso wie Stärken in einer Vielzahl ingenieurwissenschaftlicher Grund- und Spezialgebiete, in Methoden, in Spezialbereichen von Industrie 4.0, in angrenzenden Gebieten sowie in den überfachlichen Kompetenzen zu identifizieren. Damit bietet es Unternehmen wie Beschäftigten und Studierenden eine Orientierungshilfe – sowohl generell (größerer Qualifizierungsbedarf, gezielter Qualifizierungsbedarf, gute Voraussetzungen, sehr gute Voraussetzungen) wie auch auf der Ebene detaillierter Qualifikationen und Kompetenzen.

Die Adresse lautet:

WWW.INGENIEURE40-ONLINE-TOOL.VDMA.ORG

LITERATUR

- Abramovici, M.; Herzog, O. (Hrsg.) (2016): Engineering im Umfeld von Industrie 4.0: Einschätzungen und Handlungsbedarf (acatech-STUDIE), München: Herbert Utz Verlag.
- acatech (2016) (Hrsg.): Kompetenzen für Industrie 4.0. Qualifizierungsbedarfe und Lösungsansätze (acatech POSITION), München: Herbert Utz Verlag.
- Apt, W.; Bovenschulte, M.; Hartmann, E.A.; Wischmann, S. (2016): Foresight-Studie „Digitale Arbeitswelt“. In: Bundesministerium für Arbeit und Soziales (Hrsg.), Forschungsbericht 463. Berlin.
- Arntz, M.; Gregory, T.; Jansen, S.; Zierahn, U. (2016): Tätigkeitswandel und Weiterbildung in der digitalen Transformation. Im Auftrag der acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaft in Zusammenarbeit mit dem Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB). ZEW (Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH), Mannheim.
- Baums, A.; Schössler, M.; Scott, B. (2015): Vorwort. Wir müssen die Industrie 4.0 besser verstehen, um sie zu gestalten. In: A. Baums; M. Schössler; B. Scott (Hrsg.): Kompendium Industrie 4.0. Berlin, S. 6-10.
- Bienzeisler, B. (2009): Business Transformation: Neue Organisations- und Geschäftsmodelle. In: D. Spath; W. Ganz (Hrsg.): Die Zukunft der Dienstleistungswirtschaft. München: Carl Hanser Verlag, S. 241-259.
- Bischoff, J. (Hrsg.) (2015): Erschließen der Potenziale der Anwendung von ‚Industrie 4.0‘ im Mittelstand. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMW). Agiplan GmbH, Mülheim.
- Bitkom (Hrsg.) (2016): Industrie 4.0 – Status und Perspektiven. Berlin.
- BMW (Hrsg.) (2017): Weißbuch Digitale Plattformen. Berlin.
- Bogner, A.; Littig, B.; Menz, W. (2014): Interviews mit Experten. Eine praxisorientierte Einführung. Wiesbaden: Springer VS.
- Deuse, J.; Weisner, K.; Hengsterbeck, A.; Busch, F. (2015): Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext von Industrie 4.0. In: A. Botthof; E. A. Hartmann (Hrsg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin, Heidelberg, S. 99-109.
- Gausemeier, J.; Klocke, F.; Dülme, C.; Eckelt, D.; Kabasci, P.; Kohlhuber, M.; Schön, N.; Schröder, S. (2016): Industrie 4.0. Internationaler Benchmark, Zukunftsoptionen und Handlungsempfehlungen für die Produktionsforschung. Paderborn, Aachen.
- Heckscher, C. (2007): The collaborative enterprise. Managing speed and complexity in knowledge-based businesses. New Haven, London: Yale University Press.
- Heidenreich, M.; Mattes, J. (2016): Kollaborative Innovationen. In: M. Heidenreich; J. Kädtler; J. Mattes (Hrsg.): Die innerbetriebliche Nutzung externer Wissensbestände in vernetzten Entwicklungsprozessen. Endbericht zum Projekt „Kollaborative Innovationen“. Oldenburger Studien zur Europäisierung und zur transnationalen Regulierung Nr. 25/2016. Oldenburg, S. 3-27.
- Heidling, E.; Sauer, S.; Böhle, F.; Bolte, A.; Neumer, J. (2018): Kompetenzen für die Gestaltung von Arbeit in der Planung und Entwicklung. In: M. Janneck; A. Hoppe (Hrsg.): Gestaltungs-kompetenzen für gesundes Arbeiten. Arbeitsgestaltung im Zeitalter der Digitalisierung. Berlin: Springer, S. 39-52.
- Hesse, F. W.; Hunger, A.; Kayser, K.-H.; Köhler, J.; Pethe, D.; Post, P.; Salander, C.; Schwarz, B.; Speidel, W.; Stoll, W. (2018): Die Zukunft der Ingenieurwissenschaften. In: VDI nachrichten, Nr. 33-34, S. 47-48.
- HRK (2017): Curriculare Lehre neu gestalten: Chancen und Hindernisse. Empfehlungen des Runden Tisches Ingenieurwissenschaften des Projekts nexus der HRK. Bonn.
- Ittermann, P.; Niehaus, J. (2015): Industrie 4.0 und Wandel von Industriearbeit. In: H. Hirsch-Kreinsen; P. Ittermann; J. Niehaus (Hrsg.) (2015): Digitalisierung industrieller Arbeit – Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. Baden-Baden: Nomos, S. 33-51.

- Kalkowski, P.; Mickler, O. (2015). Kooperative Produktentwicklung. Fallstudien aus der Automobilindustrie, dem Maschinenbau und der IT-Industrie. Baden-Baden: Nomos.
- Kinkel, S.; Rahn, J.; Rieder, B.; Lerch, C.; Jäger, A. (2016): Digital-vernetztes Denken in der Produktion. Frankfurt a. M.: IMPULS-Stiftung.
- Lichtblau, K.; Stich, V.; Bertenrath, R.; Blum, M.; Bleider, M.; Millack, A.; Schmitt, K.; Schmitz, E.; Schröter, M. (2015): Industrie 4.0-Readiness. Frankfurt a. M.: IMPULS-Stiftung.
- Meil, P.; Heidling, E.; Rose, H. (2004): Erfahrungsgeleitetes Arbeiten bei verteilter Arbeit. In: F. Böhle; S. Pfeiffer; N. Sevsay-Tegelhoff (Hrsg.): Die Bewältigung des Unplanbaren. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 180-198.
- Plattform Industrie 4.0 (Hrsg.) (2015): Whitepaper FuE-Themen. Industrie 4.0. o. O.
- Rochelle, J.; Teasley, S. D. (1995): The construction of shared knowledge in collaborative problem solving. In: C. O'Malley (ed.): Computer supported collaborative learning. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 69-97.
- Sauer, S.; Pfeiffer, S. (2014): Balanced Agility – Agiles Projektmanagement flexibel und stabil umsetzen. Eine Handreichung, ISF München.
- Sauer, S.; Neumer, J.; Buschmeyer, J. (2018): Lernförderlichkeit bei wissensintensiven Tätigkeiten. Neue Herausforderungen und Perspektiven. In: BWP, 47. Jg., H. 1, S. 20-24.
- Schuh, G.; Potente, T.; Thomas, C.; Hauptvogel, A. (2014): Steigerung der Kollaborationsproduktivität durch cyber-physische Systeme. In: T. Bauernhansl; M. ten Hompel; B. Vogel-Heuser (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Wiesbaden: Springer, S. 277-295.
- Spath, D.; Ganschar, O.; Gerlach, S.; Hämmerle, M.; Krause, T.; Schlund, S. (Hrsg.) (2013): Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Stettes, O. (2018): Keine Angst vor Robotern. IW-Report 11/2018. Köln.
- VDI (2018): Smart Germany – Ingenieurausbildung für die digitale Transformation. Diskussionpapier zum VDI-Qualitätsdialog. VDI-Thesen und Handlungsfelder März 2018. Düsseldorf.
- VDI; Stiftung Mercator; VDMA (Hrsg.) (2016): 15 Jahre Bologna-Reform. Quo vadis Ingenieurausbildung. Düsseldorf, Essen, Frankfurt a. M.
- VDMA (2016): Ingenieure im Maschinen- und Anlagenbau. Ergebnisse der VDMA-Ingenieurerhebung 2016. Frankfurt a. M.
- VDMA (2018): Maschinenbau in Zahl und Bild 2018. Frankfurt a. M.
- Voegele, A. (2013): Produktentwicklung: Qualitätsperformance und Produktkonzepte. In: A. Voegele; G. Würtz (Hrsg.): Organisierter, strukturierter und methodenunterstützter ProduktEntstehungsprozess. Steinbeis Engineering Studie Teil 2: Best Practice. Stuttgart: Steinbeis Edition, S. 77-87.
- Wald, A.; Spanuth, T.; Schneider, C.; Futterer, F.; Schnellbacher, B.; Schoper, Y. (2015): Makroökonomische Vermessung der Projektstätigkeit in Deutschland. Nürnberg: GPM Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement.

DANKSAGUNG

Die vorliegende Studie wurde beauftragt von der IMPULS-Stiftung des VDMA und durchgeführt vom Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung e. V. – ISF München mit Zuarbeit vom Forschungsteam Internationaler Arbeitsmarkt in Berlin (FIA GmbH).

Großer Dank gilt den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der IMPULS-Stiftung, des VDMA und des ISF München, die neben den Autorinnen und Autoren an der Erstellung dieser Studie beteiligt waren. Besonders erwähnen möchten wir hier Frank Seiß (ISF München), der mit seinem fachkundigen Lektorat und seiner Koordinations- und Kommunikationstätigkeit wesentlich zur Fertigstellung der Studie beigetragen hat.

Vor allem aber möchten wir uns vielmals bei unseren Interviewpartnerinnen und -partnern in den Unternehmen und Hochschulen bedanken, die ihre Erfahrungen, Einschätzungen und Erwartungen in offenem Austausch mit uns geteilt haben und damit diese Studie erst möglich gemacht haben. Ebenso danken wir den Teilnehmerinnen und Teilnehmern eines Workshops mit Unternehmens- und Verbandsvertretern sowie weiterer durch den VDMA organisierten Veranstaltungen für ihre wertvollen Rückmeldungen.

ANHANG

BERICHT ÜBER DIE QUANTITATIVE BEFRAGUNG IM RAHMEN DER STUDIE „INGENIEURINNEN UND INGENIEURE FÜR INDUSTRIE 4.0“

Peter Sopp, Alexandra Wagner (Forschungsteam Internationaler Arbeitsmarkt, FIA)

1. Methode: Erhebung und Fragebogen

Das Ziel der quantitativen Online-Erhebung im Rahmen der Studie „Ingenieurinnen und Ingenieure für Industrie 4.0“ ist es, quantifizierbare Informationen über die aus Sicht der Unternehmen erforderlichen Kompetenzen und Kenntnisse für diese Beschäftigtengruppe zu erheben. Auf diese Weise soll dargestellt werden, welche Anforderungen Unternehmen an die im Rahmen von Industrie 4.0 beschäftigten Ingenieure des Maschinenbaus in den verschiedenen Tätigkeitsbereichen stellen.

Für die Entwicklung des Fragebogens wurde auf die Ergebnisse der qualitativen Expertenbefragungen zurückgegriffen, die das ISF in ausgewählten Unternehmen durchgeführt hat. Weil sich die bei diesen Experteninterviews gewählte Strukturierung von Kompetenzen und Kenntnissen weitestgehend bewährt hatte, wurde sie auch für den standardisierten Fragebogen gewählt. Es wird differenziert nach ingenieurwissenschaftlichen Grundlagenkompetenzen, ingenieurwissenschaftlichen Methodenkompetenzen, Spezialkenntnissen, Kenntnissen in speziellen Gebieten von Industrie 4.0 sowie überfachlichen und ergänzenden Kompetenzen.

Da die Ausprägung der Anforderungen je nach Tätigkeitsbereich unterschiedlich sein kann, wurden diese zudem für die verschiedenen Bereiche – Einkauf, Forschung/Entwicklung/Konstruktion, Produktion, Service/Dienstleistungen/Inbetriebnahme sowie Vertrieb – separat erhoben.

Die Befragung war freiwillig und erfolgte online. Die knapp über 3.270 Mitgliedsbetriebe des VDMA erhielten ein Anschreiben mit einer Beschreibung des Anliegens und dem Link zum Online-Fragebogen. Insgesamt haben 224 Unternehmensvertreter den Fragebogen für jeweils einzelne oder mehrere Bereiche ausgefüllt. Die Mehrheit der mit der Befragung erfassten Unternehmen – fast zwei Drittel (61 %) – ist Anbieter von Maschinen/Systemen, 25 % sind Hersteller von Komponenten, 8 % sind im Bereich der Automatisierungstechnik tätig, und weitere 7 % konnten sich keinem dieser drei Bereiche zuordnen.

Da es nicht Ziel der Erhebung war, einen repräsentativen Überblick über Stand und Entwicklung von Industrie 4.0 zu erlangen, sondern in Kombination mit den Auskünften in den qualitativen Interviews ein Gesamtbild über die Anforderungen an im Bereich Industrie 4.0 tätige Ingenieure zu gewinnen, ist der Rücklauf sowohl in Bezug auf die Zahl der Befragten als auch in

Tabelle A-1: Stand bei der Umsetzung von Industrie 4.0, quantitative Befragung (Antwortverteilung in Prozent)

	Gesamt	Maschinen/ Systeme	Komponenten	IT/Automatisie- rungstechnik	Anderes/Keine Angabe
Am Anfang (0,1,2)	–	–	–	–	–
Begonnen (3,4,5)	56	59	64	22	40
Entwickelt (6,7)	36	34	33	50	47
Weit, an der Spitze (8,9,10)	8	7	4	28	7
Gesamt	100	100	100	100	100
Durchschnitt	5,2	5,1	4,8	6,7	5,6

Quelle: IMPULS Erhebung: Ingenieurinnen und Ingenieure für Industrie 4.0, 2018

Bezug auf die Struktur der Befragungsteilnahme für die Zielsetzung vollkommen ausreichend und zufriedenstellend.

2. Stand der Entwicklung Industrie 4.0

Die Unternehmen sehen sich überwiegend auf dem Weg zur Industrie 4.0, d. h. der größte Teil der Unternehmen hat bereits diverse Schritte in diese Richtung unternommen. 56 % schätzten ein, dass ihr Unternehmen bei der Umsetzung von Industrie 4.0 auf einer Skala von 0 (gar nicht begonnen) bis 10 (an der Spitze) im Bereich von 3 bis 5 liegt, 36 % der Unternehmen sahen sich bei Stufe 6 bzw. 7, und 8 % der Unternehmen bei Stufe 8 bis 10, d. h. weit an der Spitze (vgl. Tabelle A-1).¹

Durchschnittlich befanden sich die Unternehmen nach eigener Einschätzung bei einer Stufe von 5,2. Bei der Einschätzung der Realisierung von Industrie 4.0 ist die Größe des Unternehmens nicht relevant. Wesentlich ist eher die Frage, was das Unternehmen anbietet.

Unter den Anbietern von Automatisierungstechnik ist der Anteil der Unternehmen, die sich an der Spitze der Entwicklung sehen, mit 28 % am größten. Weitere 50 % sehen sich schon auf gutem Weg. Anbieter von Maschinen/Systemen und von Komponenten sehen sich zumeist noch am Anfang der Umsetzung (rund 60 %) oder in der Mitte der Entwicklung (rund ein Drittel).

Durchschnittlich schätzten die Anbieter von IT/Automatisierungstechnik, dass sie sich bei der Umsetzung von Industrie 4.0 auf Stufe 6,7 befinden, während der durchschnittliche Wert bei den Komponentenherstellern bei 4,8 und bei den Anbietern von Maschinen/Systemen bei 5,1 lag.

1 IT/Automatisierungstechnik weist durch ihren Schwerpunkt eine hohe Nähe bzw. eine hohe Überschneidung mit Industrie 4.0 auf, deshalb ist der höhere Grad der Umsetzung von Industrie 4.0 verständlich. Bei Unternehmen mit Schwerpunkt Maschinen/Systemen bzw. Komponenten kann sich jedoch nicht nur eine Erweiterung bzw. Verlagerung des Schwerpunktes ergeben, sondern auch eine „Metamorphose“ – vom Maschinenbauer zum Dienstleister, der auch Maschinen liefert.

Anbieter von IT/Automatisierungstechnik haben folglich einen deutlichen Umsetzungsvorsprung, wenn es um Industrie 4.0 geht.

Die Unterschiede nach Tätigkeitsbereichen sind dagegen eher gering. Leicht überdurchschnittlich (Durchschnitt 5,7) wurde der Umsetzungsstand von Industrie 4.0 im Bereich Einkauf/Vertrieb² eingeschätzt, während Forschung/Entwicklung/Konstruktion, Produktion und Service/Inbetriebnahme jeweils bei 5,1 bzw. 5,2 lagen.³

3. Einsatz von Ingenieuren 4.0

Nach Angaben der Unternehmen sind Ingenieure am häufigsten im Bereich Forschung, Entwicklung und Konstruktion mit Fragestellungen aus dem Bereich Industrie 4.0 (93 %) konfrontiert, gefolgt von Service/Dienstleistungen/Inbetriebnahme (64 %), Vertrieb (59 %), Unternehmensleitung (58 %) und Produktion (57 %). Im Einkauf sind sie in 23 % der Unternehmen am seltensten mit Fragestellungen bezüglich Industrie 4.0 beschäftigt.⁴ In Bezug auf diese Frage antworteten die Unternehmen ähnlich – unabhängig davon, ob sie Maschinen, Komponenten oder Automatisierungstechnik anbieten.

Während in Unternehmen aller Größen der Bereich Forschung, Entwicklung und Konstruktion mit Abstand an der Spitze stand, wenn es um den Einsatz von Ingenieuren mit Schwerpunkt 4.0 geht, gaben Unternehmen ab 1.000 Beschäftigten häufiger als kleinere Unternehmen auch in den anderen Bereichen höhere Anteile an, d. h. Ingenieure mit Schwerpunkt 4.0 werden in den Großunternehmen häufiger auch jenseits von F&E eingesetzt.

Fasst man diese Ergebnisse zusammen, so sind die antwortenden Unternehmen durchgängig in vielen Bereichen mit den Entwicklungen

2 Für den Bereich „Einkauf“ liegen nur wenige Fälle vor, deshalb haben wir diesen Bereich mit „Vertrieb“ zusammengefasst.

3 Die Unterschiede können verschiedene Ursachen haben und sind nur gering ausgeprägt. Deshalb sollen und können sie hier nicht näher interpretiert werden.

4 Diese Angaben beziehen sich nicht auf den Stand der Umsetzung von Industrie 4.0 in den antwortenden Unternehmen, sondern auf die Frage, wie häufig Ingenieure in diesen Bereichen mit Fragen von Industrie 4.0 beschäftigt sind.

bezüglich Industrie 4.0 beschäftigt und müssen entsprechendes Personal einstellen, schulen und weiterbilden. Insofern können die im Folgenden dargestellten Ergebnisse in Bezug auf die erforderlichen Kompetenzen und Kenntnisse als fundiert angesehen werden.

4. Was brauchen Unternehmen? – Anforderungen an Ingenieure 4.0

4.1 INGENIEURWISSENSCHAFTLICHE GRUNDLAGENKOMPETENZEN

Im Hinblick auf die benötigten ingenieurwissenschaftlichen Grundlagenkompetenzen ergeben die Antworten auf die Frage in der Online-Befragung die in Abbildung A-1 dargestellte Rangfolge.

Weit an der Spitze stehen die Technische Mechanik und die Konstruktionslehre, eher seltener genannt werden die Mehrkörperdynamik und die Finite-Elemente-Methode.

Je nach Einsatzbereich (vgl. Abbildung A-2) schätzten die Unternehmen die Anforderungen jedoch deutlich unterschiedlich ein:

- Im Einkauf bzw. Vertrieb wurden die einzelnen Kompetenzen tendenziell weniger genannt. Dies gilt insbesondere für Finite-Elemente-Methode (9 %) und Materiallehre (11 %).
- Im Bereich Forschung, Entwicklung und Konstruktion ist das Gewicht der einzelnen Grundlagenkompetenzen mit Ausnahme der Materialwirtschaft dagegen tendenziell höher.
- Im Bereich der Produktion sticht die Materialwirtschaft klar (76 %) und die Materiallehre etwas (41 %) hervor.
- Im Bereich Service und Inbetriebnahme wurden die Kompetenzen bis auf Technische Mechanik und Mehrkörperdynamik eher weniger häufig genannt.

Abbildung A-1: Für wie notwendig halten Sie die folgenden ingenieurwissenschaftlichen Grundlagenkompetenzen für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten?

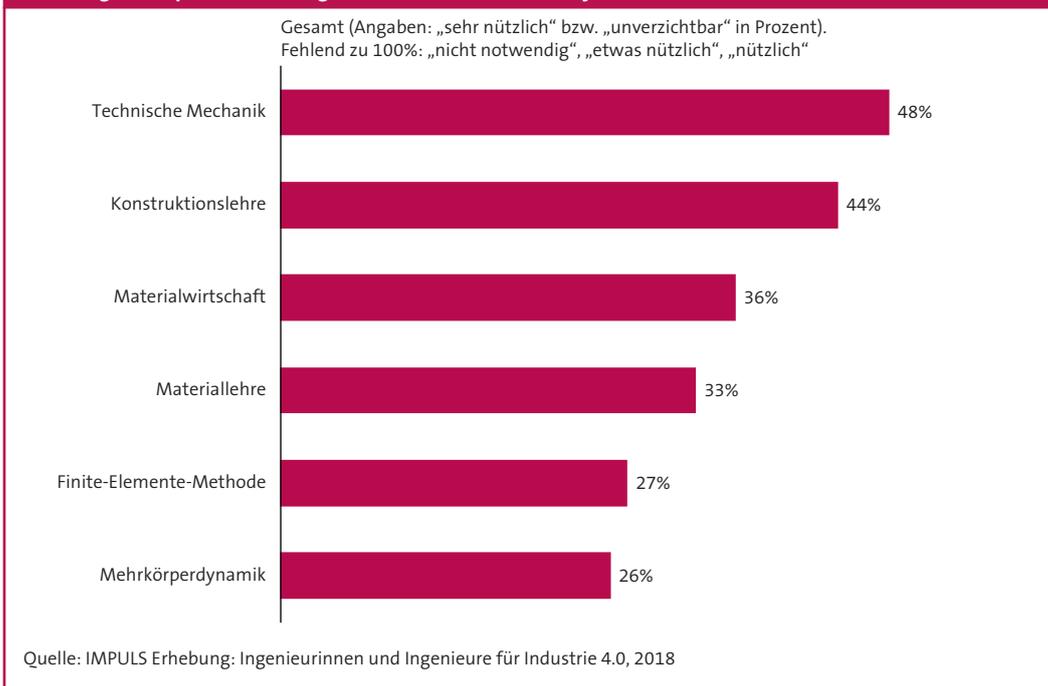
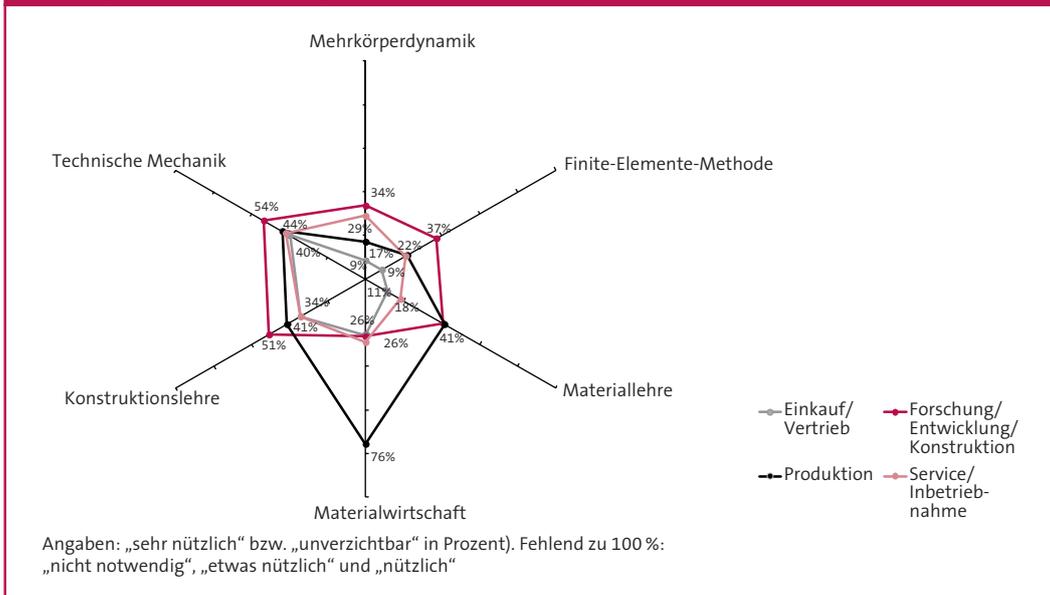


Abbildung A-2: Für wie notwendig halten Sie die folgenden ingenieurwissenschaftlichen Grundlagenkompetenzen für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten (nach Bereichen)?



So wurden die Technische Mechanik und die Konstruktionslehre von Anbietern von Maschinen und Systemen mit einem Mittelwert von 2,5 deutlich wichtiger eingeschätzt als von Anbietern von IT/Automatisierungstechnik (1,5 bzw. 1,6).

4.2 INGENIEURWISSENSCHAFTLICHE METHODENKOMPETENZ

Die Bedarfe in Bezug auf die ingenieurwissenschaftliche Methodenkompetenz sind in Abbildung A-3 und Abbildung A-4 dargestellt. An der Spitze stehen Simulationstechniken, Entwicklungsmethodik und rechnergestützte Produktentwicklung.

Abbildung A-3: Für wie notwendig halten Sie die folgenden ingenieurwissenschaftlichen Methodenkompetenzen für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten?

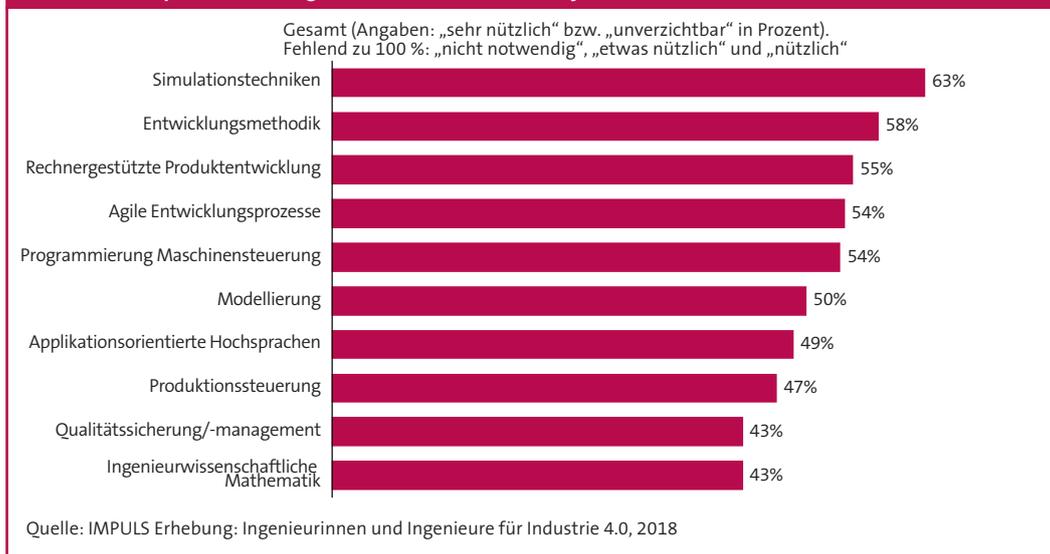
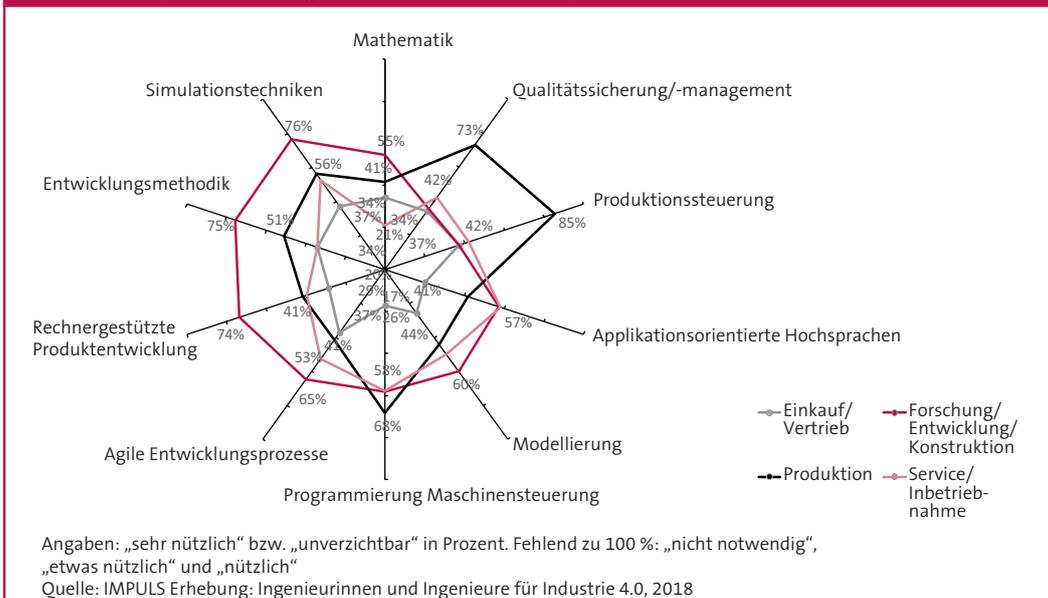


Abbildung A-4: Für wie notwendig halten Sie die folgenden ingenieurwissenschaftlichen Methodenkompetenzen für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten (nach Bereichen)?



Die Anbieter von IT/Automatisierungstechnik halten die ingenieurwissenschaftlichen Methodenkompetenzen tendenziell für etwas notwendiger als die anderen Unternehmen.

Im Vergleich der Bereiche sind die ingenieurwissenschaftlichen Methodenkompetenzen insbesondere in der Forschung/Entwicklung/Konstruktion und in der Produktion von Bedeutung.

4.3 SPEZIALKENNTNISSE

Weitere Spezialkenntnisse wurden von den Unternehmen in unterschiedlichem Ausmaß als notwendig für die Ingenieure im Bereich der Umsetzung von Industrie 4.0 angesehen (vgl. Abbildung A-5).

Unter den in der Befragung aufgeführten Spezialkenntnissen wurden Kenntnisse im Bereich der Automatisierung und der Sensorik am häufigsten als „sehr nützlich“ oder „unverzichtbar“ genannt. Im Ranking folgen darauf Kenntnisse in vernetzter Produktion, Systems Engineering und Robotik.

Abbildung A-5: Für wie notwendig halten Sie die folgenden Spezialkenntnisse für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten?

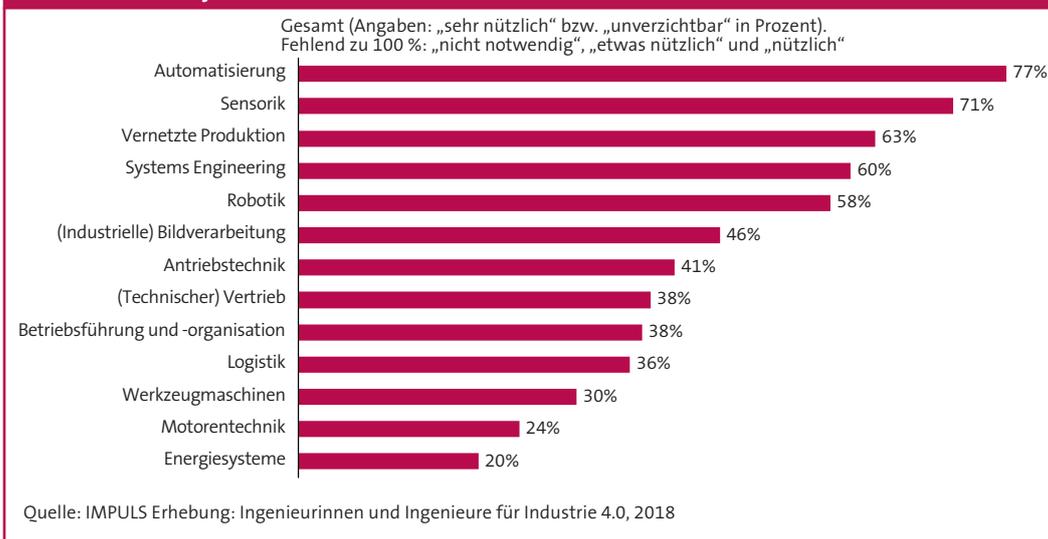
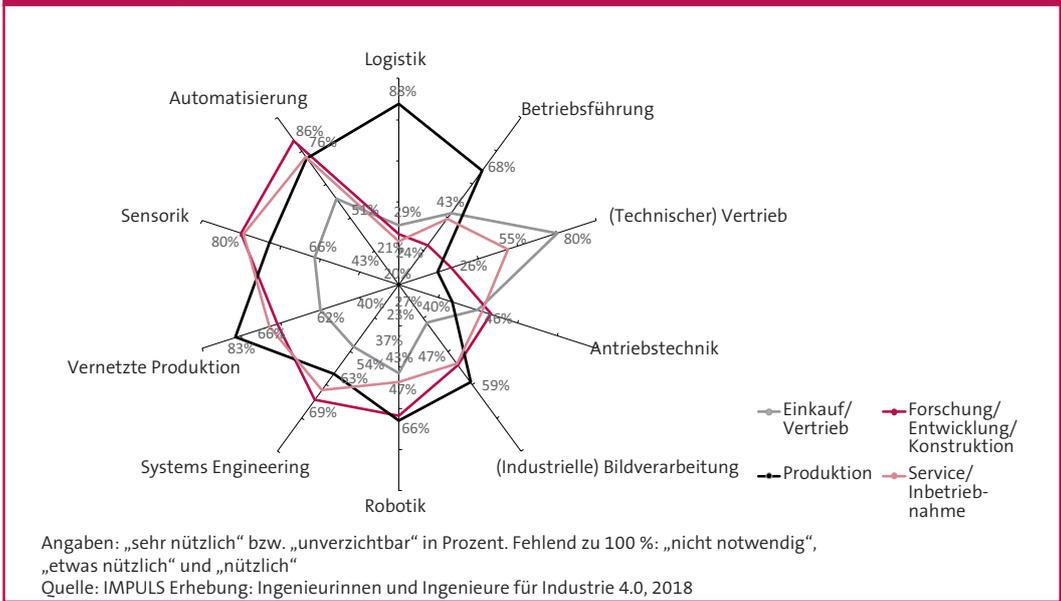


Abbildung A-6: Für wie notwendig halten Sie die folgenden Spezialkenntnisse für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten (nach Bereichen)?



Vergleichsweise selten wurden Kenntnisse in den Bereichen Energiesysteme, Motorentchnik und Werkzeugmaschinen als notwendig für die Ingenieure im Bereich der Umsetzung von Industrie 4.0 angesehen.

Die Bedarfe von Forschung/Entwicklung/Konstruktion und Service/Inbetriebnahme sind sehr ähnlich und haben die Schwerpunkte bei Automatisierung und Sensorik.

Bezogen auf die Bereiche zeigen sich die in Abbildung A-6 dargestellten Unterschiede.

In der Produktion werden vor allem Spezialkenntnisse in Logistik und vernetzter Produktion benötigt.

Abbildung A-7: Wie notwendig bzw. nützlich sind Ihrer Meinung nach die folgenden Kenntnisse in speziellen Gebieten der Industrie 4.0 für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten?

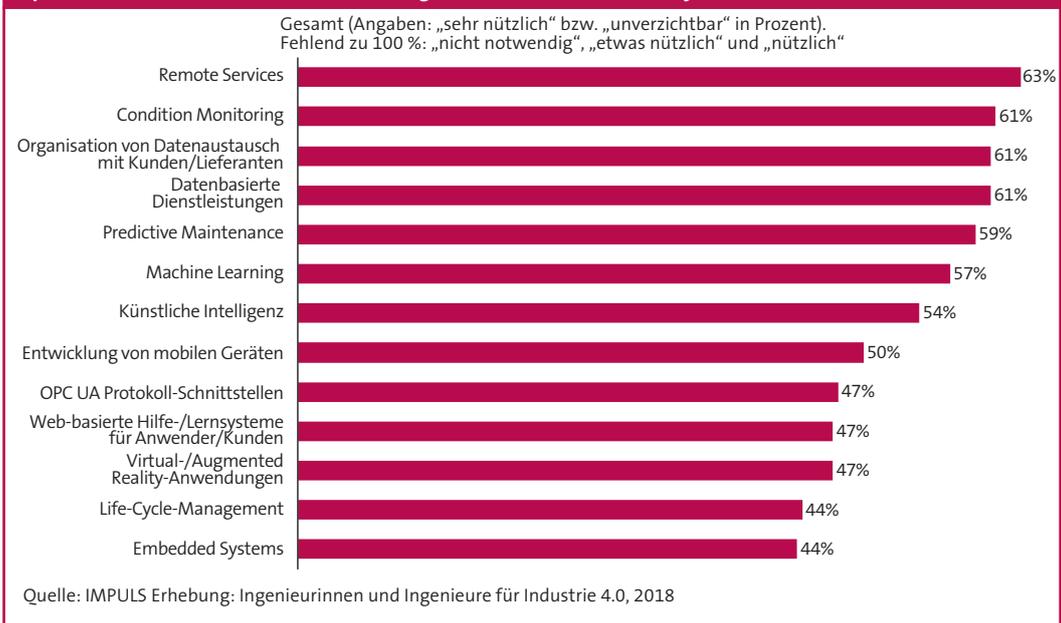
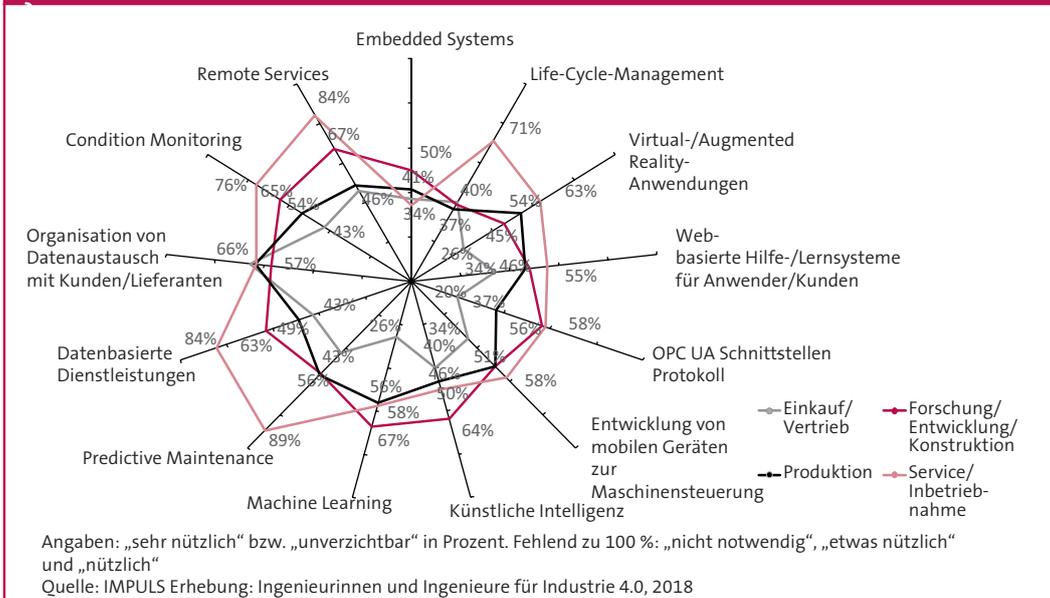


Abbildung A-8: Wie notwendig bzw. nützlich sind Ihrer Meinung nach die folgenden Kenntnisse in speziellen Gebieten der Industrie 4.0 für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten (nach Bereichen)?



Der Einkauf/Vertrieb hat mit Ausnahme der Spezialkenntnisse für den (technischen) Vertrieb tendenziell einen deutlich geringeren Bedarf an Spezialkenntnissen.

4.4 KENNTHNISSE IN SPEZIELLEN GEBIETEN DER INDUSTRIE 4.0

Die Unternehmen gaben für die mit Industrie 4.0 beschäftigten Ingenieure tendenziell einen hohen Bedarf an unterschiedlichen Kenntnissen in speziellen Gebieten der Industrie 4.0 an (vgl. Abbildung A-7).

Abbildung A-9: Welche ergänzenden Kenntnisse aus angrenzenden bzw. anderen Fachgebieten sind für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten notwendig?

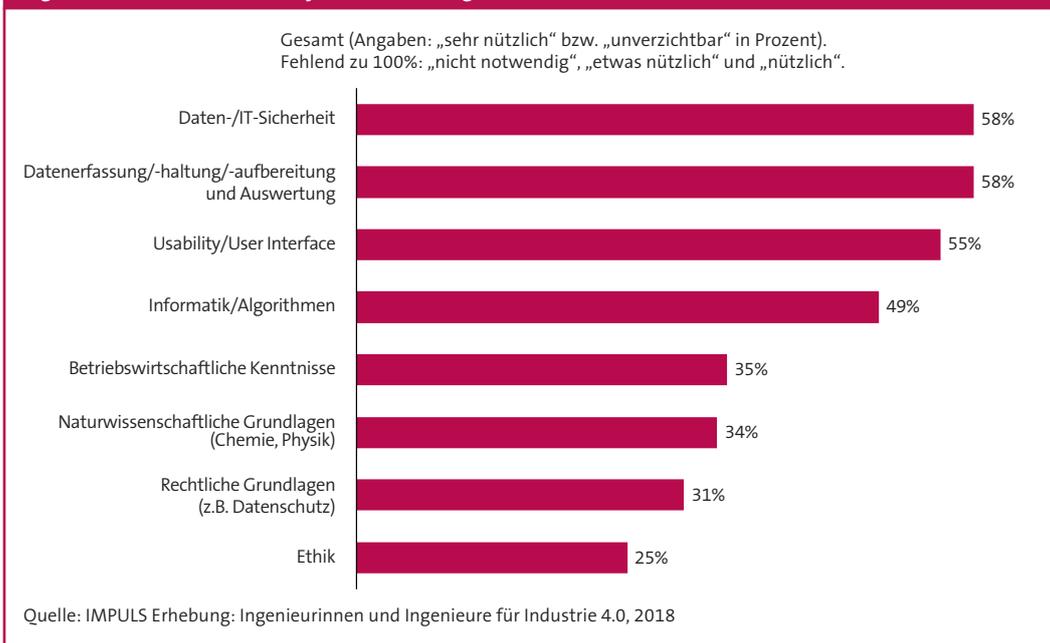
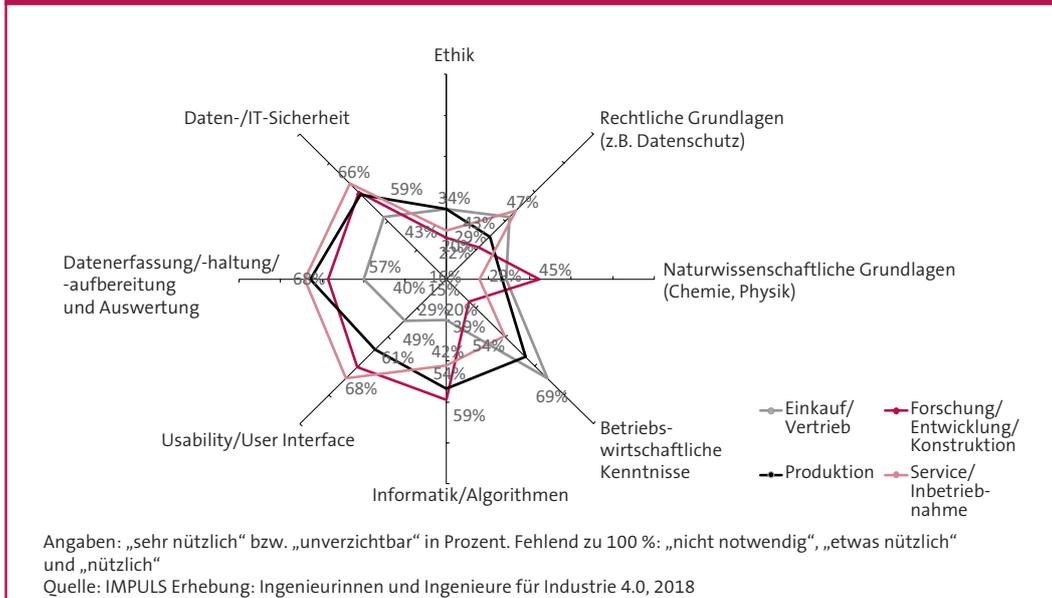


Abbildung A-10: Welche ergänzenden Kenntnisse aus angrenzenden bzw. anderen Fachgebieten sind für Ingenieure in Industrie-4.0-Projekten notwendig (nach Bereichen)?



Bezogen auf die Bereiche (vgl. Abbildung A-8) zeigt sich, dass der Bedarf an Kenntnissen in speziellen Gebieten der Industrie 4.0 insbesondere für Service/Inbetriebnahme hoch und für Einkauf/Vertrieb eher gering ist.

4.5 ERGÄNZENDE KENNNTNISSE AUS ANGRENZENDEN BZW. ANDEREN FACHGEBIETEN

In Bezug auf Kenntnisse aus angrenzenden bzw. anderen Fachgebieten wurden von den Unternehmen am häufigsten die Daten- und IT-Sicherheit bzw. die Datenerfassung/-haltung/-aufbereitung und Auswertung als „sehr nützlich“ bzw. „unverzichtbar“ benannt, gefolgt von der Usability/User interface (vgl. Abbildung A-9). Eher selten werden hingegen Kenntnisse aus dem Bereich der Ethik und der rechtlichen Grundlagen (z. B. Datenschutz) benannt.

Bis auf den Einkauf/Vertrieb gaben die Bereiche zu dieser Frage tendenziell ähnliche Antworten, wenn es um Daten- und IT-Sicherheit bzw. die Datenerfassung/-haltung/-aufbereitung geht. Sehr unterschiedlich werden die Bedarfe im Hinblick auf die betriebswirtschaftlichen Kenntnisse eingeschätzt (vgl. Abbildung A-10).

4.6 ÜBERFACHLICHE KOMPETENZEN

Die Antworten der Unternehmen zeigen, dass es einen breiten Bedarf an überfachlichen Kompetenzen für die Industrie 4.0-Projekte gibt (vgl. Abbildung A-11).

Im Ranking ganz oben stehen das analytische Denken, der Umgang mit Komplexität, die Selbstständigkeit/Eigenmotivation und systemisches Denken – Kompetenzen, die auch jenseits von Industrie 4.0-Projekten in den Unternehmen stark gefragt sein dürften.

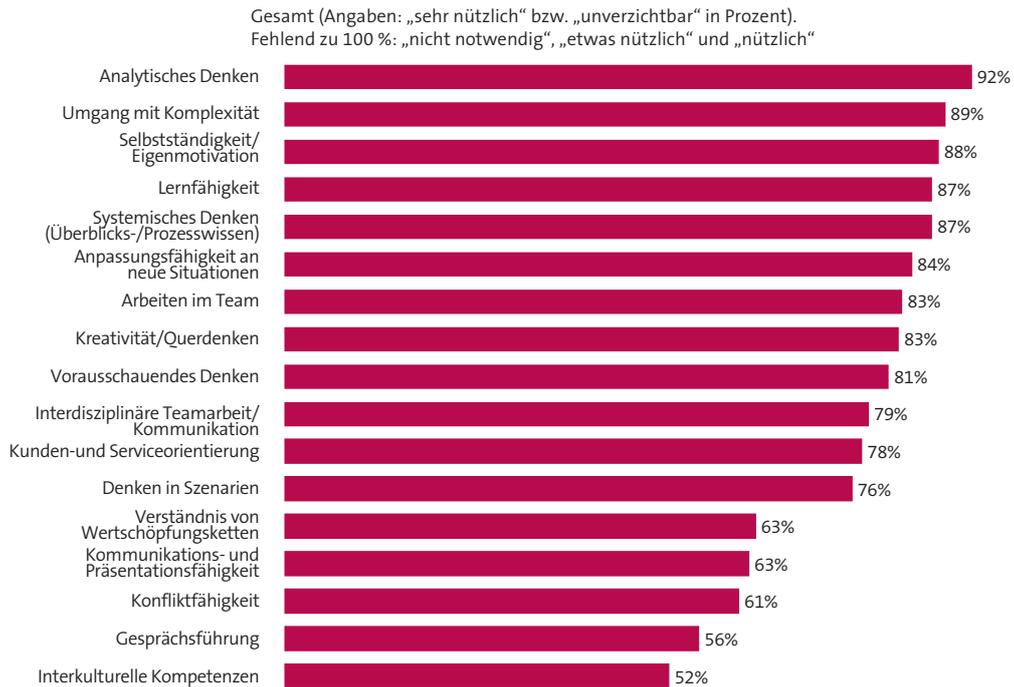
Ganz unten im Ranking stehen interkulturelle Kompetenzen, deren Bedarf vermutlich stark von den konkreten Umsetzungsbedingungen der Projekte zu Industrie 4.0 abhängen dürfte (die in der Befragung nicht erhoben wurden).

Auffällig ist, dass es im Hinblick auf die überfachlichen Kompetenzen nur geringe Unterschiede zwischen den Bereichen gibt (vgl. Abbildung A-12). Kompetenzen, die im Kontext von Kommunikation, Gesprächsführung und Konfliktmanagement stehen, werden insbesondere im Bereich Einkauf/Vertrieb als wichtig erachtet, d. h. in dem Bereich, der stark mit Externen (Lieferanten, Kunden) zu tun hat.

4.7 SPEZIALISTEN ODER GENERALISTEN

Die Frage danach, ob in den Unternehmen eher Spezialisten oder eher Generalisten benötigt werden, beantworteten die Unternehmen zu

Abbildung A-11: Welche überfachlichen Kompetenzen sind Ihrer Meinung nach insbesondere für Industrie-4.0-Projekte notwendig?



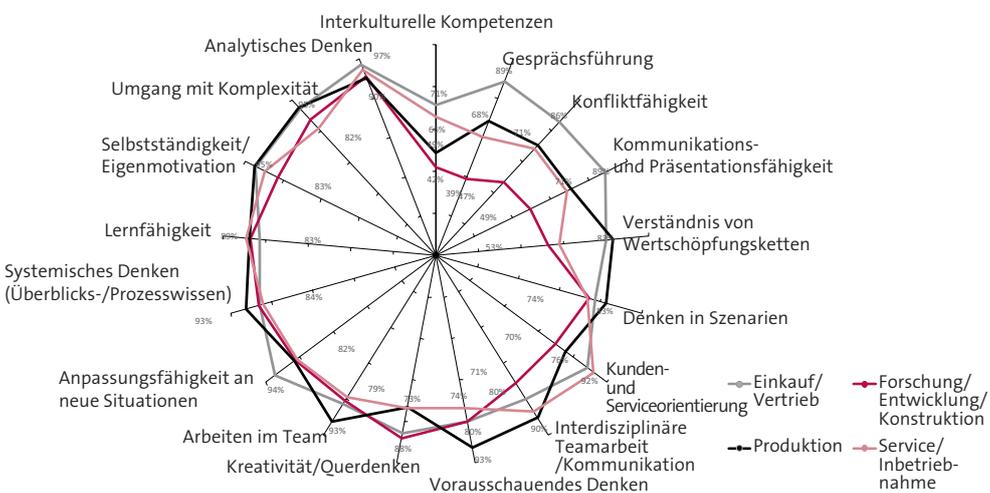
Quelle: IMPULS Erhebung: Ingenieurinnen und Ingenieure für Industrie 4.0, 2018

60 % mit „sowohl als auch“, 24 % antworteten zugunsten der Generalisten und 17 % zugunsten der Spezialisten.

In den Unternehmen mit mittlerem oder höherem Umsetzungsgrad der Industrie 4.0 wurde die Präferenz leicht überdurchschnittlich bei den

Generalisten gesehen (30 %). Gleichwohl ändert dies nichts am Gesamtergebnis, dass die Unternehmen – unabhängig vom Digitalisierungsgrad (über alle Stufen der Umsetzung von Industrie 4.0) – am häufigsten angeben, dass sie *beides* benötigen.

Abbildung A-12: Welche überfachlichen Kompetenzen sind Ihrer Meinung nach insbesondere für Industrie-4.0-Projekte notwendig (nach Bereichen)?

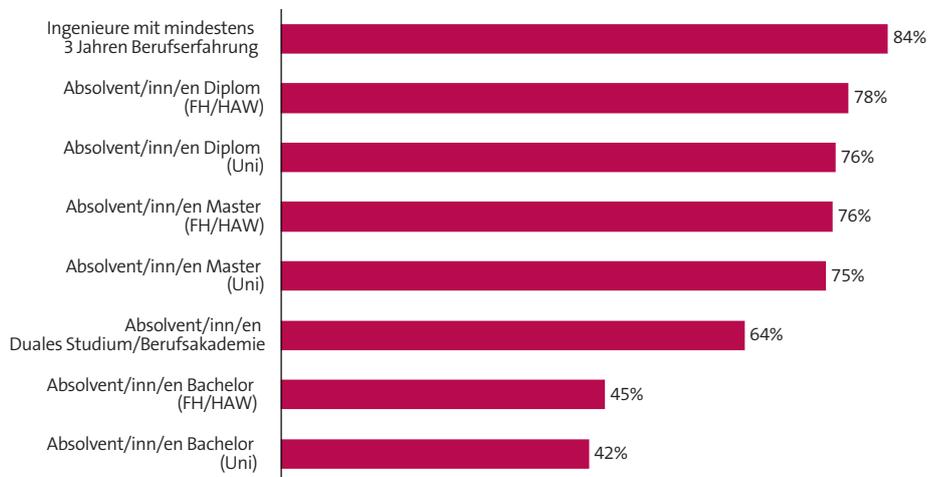


Angaben: „sehr nützlich“ bzw. „unverzichtbar“ in Prozent. Fehlend zu 100 %: „nicht notwendig“, „etwas nützlich“ und „nützlich“

Quelle: IMPULS Erhebung: Ingenieurinnen und Ingenieure für Industrie 4.0, 2018

Abbildung A-13: Welche ingenieurwissenschaftliche Qualifikationsgruppe würden Sie, wenn Sie die Wahl hätten, einstellen?

Gesamt (Anteile: "erste Wahl" bzw. "ausreichend" in Prozent). Fehlend zu 100%: "gar nicht", "nur bedingt" und "keine Angabe"



Quelle: IMPULS Erhebung: Ingenieurinnen und Ingenieure für Industrie 4.0, 2018

5. Wie sichern die Unternehmen die notwendigen Kompetenzen?

5.1 WAHL BEI EINSTELLUNG

Die Unternehmen sind gefragt worden, welche Abschlüsse sie bei der Neueinstellung von Ingenieuren präferieren – sie konnten zwischen berufserfahrenen Ingenieuren (mindestens drei Jahre Berufserfahrung) und Absolventen unterschiedlicher Hochschulen wählen. Die Antworten zeigen:

Ingenieure mit mindestens drei Jahren Berufserfahrung werden bevorzugt. Sie wären für mehr als die Hälfte der Unternehmen (51 %) die „erste Wahl“. Im Bereich IT/Automatisierungstechnik gaben dies mit 78 % überdurchschnittlich viele Unternehmen an. Auch Unternehmen, die sich eher als Vorreiter der Digitalisierung betrachten, wünschen überdurchschnittlich häufig (66 %) Ingenieure mit mindestens drei Jahren Berufserfahrung.

Demgegenüber werden Absolventen von Hochschulen seltener als „erste Wahl“ und tendenziell eher als „ausreichend“ qualifiziert betrachtet. Dies gilt allerdings nur für Absolventen eines Diplom- oder Masterstudiengangs bzw. eines dualen Studiums.

Absolventen eines Bachelorstudiengangs werden mehrheitlich von den Unternehmen gar nicht bzw. nur bedingt eingestellt, wenn es um Einsatzgebiete im Bereich Industrie 4.0 geht.

In Abbildung A-13 ist der Anteil der Unternehmen dargestellt, die die jeweilige Qualifikationsgruppe entweder für besonders geeignet (erste Wahl) oder für ausreichend qualifiziert halten.

Insgesamt sind es 84 % der Unternehmen, die Ingenieure mit mindestens drei Jahren Berufserfahrung als erste Wahl oder ausreichend ansehen. Besonders favorisiert wird diese Gruppe bei Unternehmen mit dem Schwerpunkt IT/Automatisierungstechnik (94 %). Auch Unternehmen, die sich an der Spitze der Umsetzung von Industrie 4.0 sehen, wünschen überdurchschnittlich häufig Ingenieure mit mindestens drei Jahren Berufserfahrung (90 % erste Wahl bzw. ausreichend).

Tabelle A-2: Wie zufrieden sind Sie insgesamt mit der Qualifikation von Absolventen ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge für Industrie-4.0-Projekte (Antwortverteilung in Prozent)?

	Gesamt	Maschinen/ Systeme	Komponenten	IT/Automatisie- rungstechnik	Anderes
keine Angabe	4	5	4	0	7
Unzufrieden (0,1)	4	5	0	6	7
Ausreichend (2,3,4)	79	82	69	78	80
(Sehr) Zufrieden (5,6)	13	7	27	17	7
Gesamt	100	100	100	100	100
Durchschnitt	3,3	3,1	3,8	3,7	3,3

Quelle: IMPULS Erhebung: Ingenieurinnen und Ingenieure für Industrie 4.0, 2018

Umgekehrt wird ein Bachelor-Abschluss von deutlich weniger Unternehmen als erste Wahl bzw. ausreichend eingestuft: 45 % bei Hochschulen für angewandte Wissenschaften und 42 % bei Universitäten.

Eine Zwischenstellung nehmen Absolventen von dualen Studiengängen ein: Annähernd zwei Drittel der Unternehmen bewerten den Abschluss als zumindest ausreichend für Ingenieur Tätigkeiten im Bereich Industrie 4.0. Im Bereich IT/Automatisierungstechnik sind es allerdings nur die Hälfte (50 %), während es bei Unternehmen mit dem Schwerpunkt Komponenten drei Viertel sind (75 %). Nach dem Grad der Umsetzung von Industrie 4.0 gibt es weniger prägnante Unterschiede (70 % bei vorangeschrittenen Unternehmen zu 60 % bei Unternehmen am Anfang oder an der Spitze der Entwicklung).

Es wird deutlich, dass vor allem die praxiserfahrenen Ingenieure für die Unternehmen attraktiv sind, aber auch Absolventen mit Diplom- oder Masterabschluss von der Mehrheit der Unternehmen eingestellt würden, wenn sie die Wahl hätten. Ein Diplom- bzw. Masterabschluss

wird – unabhängig von der Art der Hochschule – als wichtiges Einstiegszertifikat für eine Tätigkeit im Bereich Industrie 4.0 angesehen. Ein Bachelor-Abschluss wird hingegen eher skeptisch betrachtet – wenn überhaupt, dann wird er überwiegend bestenfalls als „ausreichend“ angesehen. Die Einschätzungen differieren dabei weniger nach dem Grad der Umsetzung von Industrie 4.0 als vielmehr in Abhängigkeit vom Schwerpunkt des Betriebs.

5.2 ZUFRIEDENHEIT MIT DER QUALIFIKATION VON ABSOLVENTEN INGENIEURWISSENSCHAFTLICHER STUDIENGÄNGE

Die Unternehmen sind mit der Qualifikation von Absolventen ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge überwiegend zufrieden. Zumindest gibt nur ein sehr kleiner Anteil von 4 % an, damit unzufrieden zu sein. Allerdings ist auch der Anteil der Unternehmen, die tendenziell „sehr zufrieden“ sind, mit 13 % nicht sehr groß. Die Mehrheit der Unternehmen schätzt die

Tabelle A-3: Wie zufrieden sind Sie insgesamt mit der Qualifikation von Absolventen ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge für Industrie 4.0 Projekte (Nach Umsetzungsstand von Industrie 4.0, Antwortverteilung in Prozent)?

	Gesamt	Am Beginn (0-4)	In Umsetzung (5,6)	Umgesetzt (7-10)
keine Angabe	4	7	4	0
Unzufrieden (0,1)	4	6	1	5
Ausreichend (2,3,4)	79	79	82	75
(Sehr) Zufrieden (5,6)	13	8	13	20
Gesamt	100	100	100	100
Durchschnitt	3,3	3,0	3,4	3,7

Quelle: IMPULS Erhebung: Ingenieurinnen und Ingenieure für Industrie 4.0, 2018

Qualifikation von Absolventen ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge tendenziell als „ausreichend“ ein (vgl. Tabelle A-2).

Anbieter von Maschinen/Systemen geben eine leicht kritischere Einschätzung ab als Anbieter von Komponenten und IT/Automatisierungstechnik.

Betrachtet man die Antworten nach Stand der Umsetzung von Industrie 4.0, zeigt sich, dass Unternehmen umso zufriedener mit der Qualifikation von Absolventen ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge sind, je höher der Umsetzungsgrad von Industrie 4.0 ist (vgl. Tabelle A-3).

Eine mögliche Erklärung dieser Differenzen könnte darin liegen, dass diese Unternehmen bei der Rekrutierung von Absolventen stärker auf eine entsprechende Kooperation mit Hochschulen setzen (siehe Abschnitt 5.3) und zugleich für Studierende mit entsprechenden

Qualifikationen attraktiver sind. Inwieweit diese beiden Erklärungen zutreffen, kann durch die vorliegenden Daten nicht geklärt werden.

5.3 KOOPERATION MIT HOCHSCHULEN

Kooperationen mit Hochschulen sind traditionell gerade im Bereich der Ingenieurwissenschaften eine Option, Nachwuchskräfte auszuwählen und zu rekrutieren sowie Entwicklungen zu forcieren oder zu unterstützen. In Abbildung A-14 ist dargestellt, wie die Kooperation mit den Hochschulen von den Unternehmen eingeschätzt wurde.

Am häufigsten nennen die Unternehmen Kooperationen durch die Durchführung von Praktika bzw. die Betreuung von Werkstudenten und Abschlussarbeiten sowie die Einbindung von Studierenden in Industrieprojekte. Sehr selten sind Kooperationen im Hinblick auf die Entwicklung von Lehrplänen und Curricula, die Vertretung in Hochschulgremien sowie der Betrieb von Lernfabriken, Labs, Industry-on-Campus.

Abbildung A-14: Wie kooperiert Ihr Unternehmen/der Bereich, für den Sie die Aussagen treffen können, mit Hochschulen?

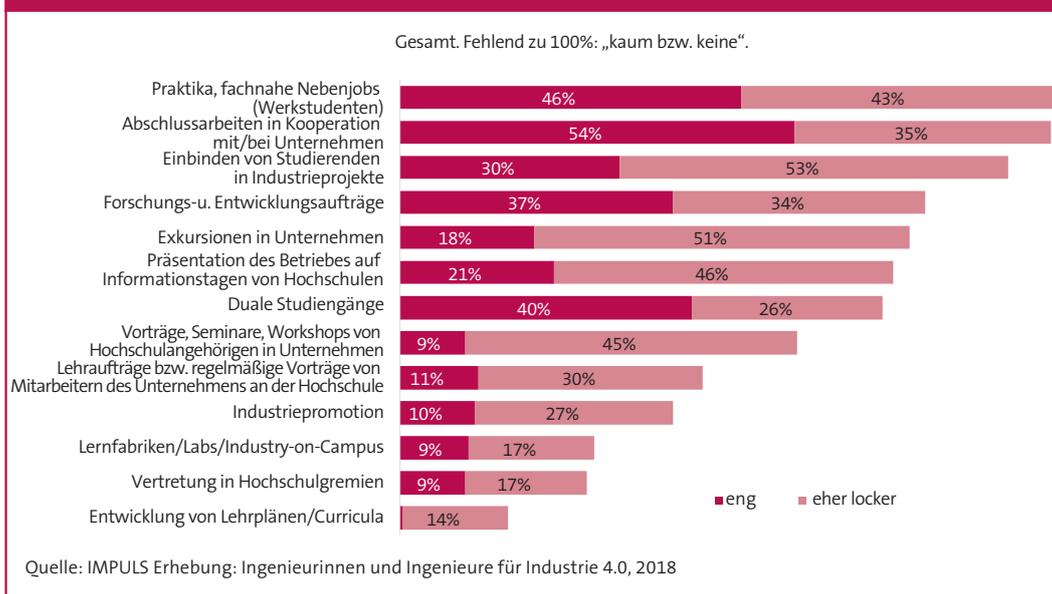
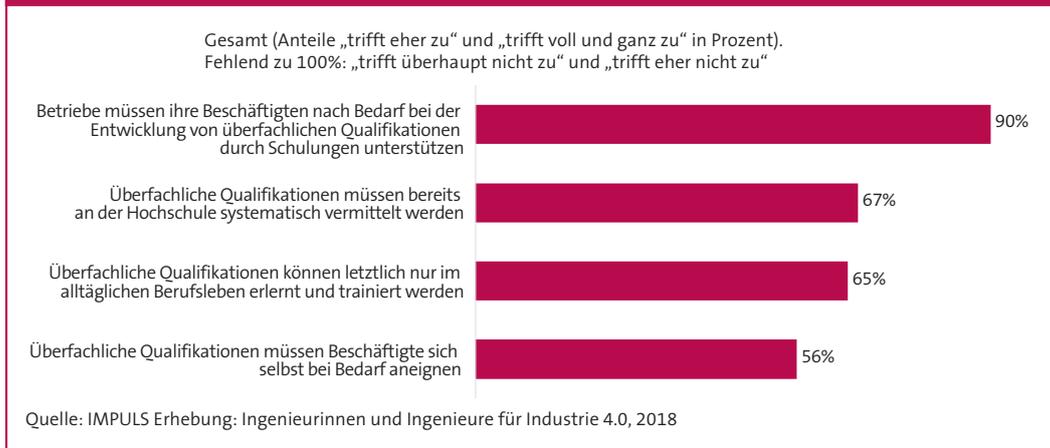


Abbildung A-15: Wenn Sie an die überfachlichen Qualifikationen denken, wo werden diese Ihrer Meinung nach am besten eingeübt bzw. vermittelt?



Bei jeder Kooperationsform wurde nicht nur nach ihrer Häufigkeit gefragt, sondern auch danach, ob die Kooperation „eng“ oder „eher locker“ ist. Dabei korreliert die Häufigkeit nicht unbedingt mit der Intensität der Kooperation. So bestehen bei dualen Studiengängen häufiger enge Kooperationen (40 % eng zu 26 % locker). Ähnlich ist es mit Abschlussarbeiten von Studierenden, die häufiger im Rahmen einer engeren Kooperation stattfinden (54 % eng zu 35 % locker).

Bei anderen Kooperationsformen wurde tendenziell eine „eher lockere“ Intensität der Kooperation angegeben. Dies gilt auch für Kooperationsformen, die eigentlich eine stärkere Involviertheit des Unternehmens voraussetzen (z. B. Einbinden von Studierenden in Industrieprojekte), tendenziell eher vom Unternehmen ausgehen (z. B. Industriepromotion, Präsentation des Unternehmens) sowie Formen der Kooperation, die eigentlich eine engere Zusammenarbeit voraussetzen (z. B. Lernfabriken, Mitarbeit bei Entwicklung von Curriculum). Diese scheinbare Widersprüchlichkeit dürfte damit zusammenhängen, dass diese Formen stärker von den jeweiligen Personen aus den Unternehmen, die die Kooperationsaktivitäten tragen, abhängen als vom Unternehmen selbst.

Ein weiterer Unterschied betrifft die Kooperationsformen nach Stand der Umsetzung von Industrie 4.0. So nennen Unternehmen, die hinsichtlich Industrie 4.0 vorangeschritten sind, viele Kooperationsformen häufiger als andere Unternehmen, z. B. die neuen Kooperationsformen Lernfabriken/Labs/Industry-on-Campus (38 %), Präsentationen des Unternehmens auf Hochschultagen (79 %), Industriepromotion (46 %), Vertretungen in Hochschulgremien (38 %), Entwicklung von Curriculum (26 %). Diese

Unternehmen setzen also stärker auf die Gewinnung von Studierenden und deren Ausbildung als Unternehmen, die in der Umsetzung von Industrie 4.0 noch nicht so weit fortgeschritten sind. Dies führt wiederum dazu, dass sie mit der Ausbildung und der Qualifikation der Absolventen etwas zufriedener sind als die anderen Unternehmen (siehe auch Abschnitt 5.2).

5.4 ERWERB ÜBERFACHLICHER QUALIFIKATIONEN

Was den Erwerb überfachlicher Qualifikationen betrifft (vgl. Abbildung A-15), gibt es bei den Befragten große Übereinstimmung darin, dass die Unternehmen ihre Beschäftigten nach Bedarf bei der Entwicklung von überfachlichen Qualifikationen durch Schulungen unterstützen müssen. Dies gaben 90 % der Unternehmen an. Allerdings wird auch von den Hochschulen erwartet, dass sie systematisch überfachliche Qualifikationen vermitteln (67 %), wengleich diese letztlich nur vertieft im alltäglichen Berufsleben erlernt und trainiert werden können (65 %). Zusätzlich sind die Befragten mehrheitlich der Meinung, dass die Beschäftigten sich überfachliche Qualifikationen auch selbst aneignen müssen.

Die Antworten fielen in den Unternehmen sehr ähnlich aus – unabhängig von der Branche und vom Umsetzungsgrad der Industrie 4.0.

5.5 HYBRIDE ODER MODULARE AUSBILDUNG?

Da im Bereich Industrie 4.0 häufig Anforderungen verschiedener ingenieurwissenschaftlicher Disziplinen und anderer Fächer zusammentreffen, stellt sich die Frage, wie diese Kombinationen in Studiengängen am besten integriert und vermittelt werden. Dabei besteht die Option

eines eher modularen Aufbaus des Studienganges, indem zusätzlich zu einem bestehenden Lehrprogramm im Bereich Maschinenbau ergänzende, überarbeitete oder neue Module (z. B. Datengewinnung und -analyse) angedockt werden. Oder man geht den radikaleren Weg und konzipiert von vornherein einen neuen Studiengang, in dem man aus zwei Fächern einen neuen Studiengang entwickelt.

In den Experteninterviews mit Vertretern von Unternehmen und Hochschulen kristallisierte sich heraus, dass die Befragten stärker für eine modulare Erweiterung plädierten. In der Online-Befragung ist das Verhältnis jedoch umgekehrt: 28 % sehen die modulare Erweiterung als bevorzugte Lösung gegenüber 40 %, die eine hybride Lösung nennen (Abbildung A-16).

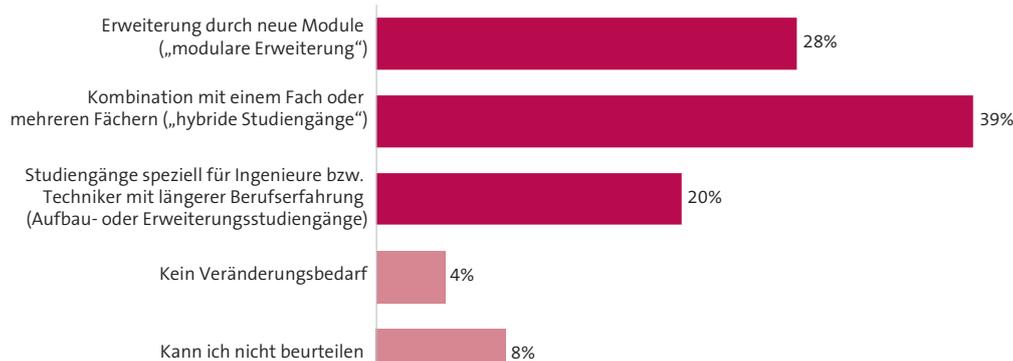
Besonders ausgeprägt ist diese Differenz bei Unternehmen mit dem Schwerpunkt IT/Automatisierung mit 72 % zu 17 %, bei Unternehmen, die bereits weit bei der Umsetzung von Industrie 4.0 sind (46 % zu 26 %), und für Ingenieure im Bereich Einkauf/Vertrieb (46 % zu 17 %). Deutlich geringer fällt der Unterschied bei Unternehmen mit dem Schwerpunkt Komponenten aus (33 % zu 24 %) und kaum besteht er bei Herstellern von Maschinen (36 % zu 32 %) (vgl. Abbildung A-17).

Weiterbildung bereits beschäftigter Ingenieure scheint in Unternehmen mit Schwerpunkt IT/Automatisierungstechnik kein größeres Thema zu sein – im Gegensatz zu Unternehmen mit Schwerpunkt Komponenten. Dies dürfte auch korrelieren mit den Unternehmen, die „in Umsetzung“ von Industrie 4.0 sind. Diese Unternehmen äußern den stärksten Wunsch nach Studiengängen für bereits berufserfahrene Ingenieure. Nach Bereichen differenziert wird der Wunsch nach Studiengängen für berufserfahrene Mitarbeiter am häufigsten in den Bereichen Einkauf und Vertrieb genannt.

Nach interessanten Fächerkombinationen für die „hybriden“ Studiengänge gefragt, wurde vor allem die Kombination des ingenieurwissenschaftlichen Studiums mit der Informatik genannt (Mittelwert von 4,4 auf einer Skala von 0 = vollkommen uninteressant bis 5 = sehr interessant). Dies gaben überdurchschnittlich häufig Anbieter von IT/Automatisierungstechnik und Unternehmen mit hohem Umsetzungsgrad von Industrie 4.0 an (Mittelwert je 4,6).

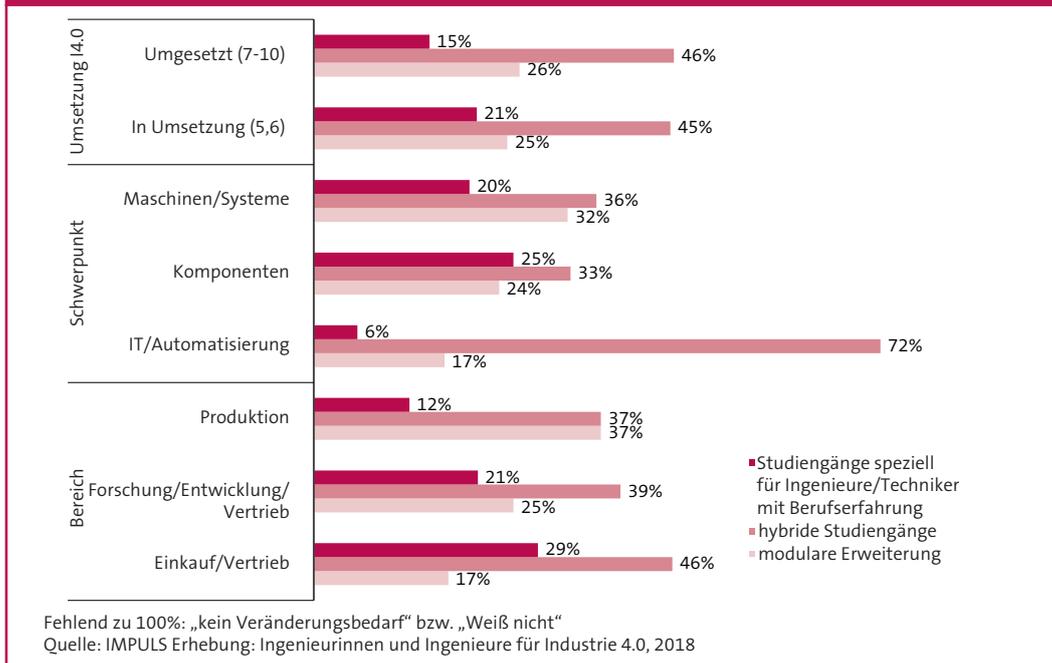
Eine Kombination mit Statistik bzw. Mathematik (Data Science) wurde mit einem Mittelwert von 3,6 als weniger interessant eingeschätzt, ebenso wie eine Kombination mit dem Fach Betriebswirtschaft (Mittelwert 3,0).

Abbildung A-16: Was sehen Sie für Ihr Unternehmen als sinnvoll an: eher eine Erweiterung von ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen oder neue sogenannte „hybride“ Studiengänge, die zwei (oder mehr) Fächer kombinieren?



Quelle: IMPULS Erhebung: Ingenieurinnen und Ingenieure für Industrie 4.0, 2018

Abbildung A-17: Vergleich der Präferenz für hybride oder modulare Studiengänge nach ausgewählten Merkmalen



Eine mögliche Erklärung für die Unterschiede zwischen dem Ergebnis der qualitativen Expertenbefragung und der quantitativen Online-Befragung ist – neben der unterschiedlichen Interviewsituation – möglicherweise der (unterschiedliche) Schwerpunkt der Befragten: In der Online-Befragung ist deutlich zu erkennen, dass vor allem im Bereich der IT/Automatisierung eine stärker hybride Ausbildung als wünschenswert angesehen wird, während im „klassischen“ Maschinenbaubereich ein Gleichgewicht besteht. Das heißt, dass in Bereichen, in denen die ergänzenden Kompetenzen stärker notwendig sind, eher eine hybride Ausbildung präferiert wird als in eher klassisch orientierten Bereichen, in denen die grundlegenden ingenieurwissenschaftlichen Kenntnisse stärker gefragt sind.

In diese Richtung geht auch das Ergebnis, dass eine berufsergänzende Ausbildung eher von Unternehmen nachgefragt wird, die sich als noch nicht so weit in der Umsetzung von Industrie 4.0 einstufen und die ihren Schwerpunkt im Bereich Maschinen bzw. Komponenten sehen. Das heißt, sie haben eher einen Bedarf, dass sich ihre bereits beschäftigten Ingenieure berufsbegleitend in die neuen bzw. ergänzenden Themen von Industrie 4.0 einarbeiten.

IMPULS -
STIFTUNG

Dr. Johannes Gernandt
Geschäftsführender Vorstand

Stefan Röger
Geschäftsführender Vorstand

IMPULS-Stiftung
für den Maschinenbau,
den Anlagenbau und
die Informationstechnik

Lyoner Straße 18
60528 Frankfurt

Telefon +49 69 6603 1332

Fax +49 69 6603 2332

Internet www.impuls-stiftung.de

E-Mail info@impuls-stiftung.de