

Kompetenzprofile von Ingenieurinnen und Ingenieuren im digitalen Wandel

7

Eckhard Heidling, Judith Neumer

Zusammenfassung

Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus sehen sich heute mit einer Reihe neuer Anforderungen durch die Einführung von Industrie 4.0 und Digitalisierung konfrontiert. Es besteht weitgehend Konsens darüber, dass ein Aufbau und Ausbau von Qualifikationen und Kompetenzen von Ingenieurinnen und Ingenieuren erforderlich sind, um diese neuen Anforderungen zu bewältigen und die Vorteile von Industrie 4.0 zu realisieren – beispielsweise erhöhte Flexibilität, schnellere Innovationen sowie die Erschließung neuer Geschäftsfelder. Eine zentrale Fragestellung der gegenwärtigen Diskussion besteht darin, welcher Mix aus klassischen Qualifikationen, neuen fachlichen Kompetenzen sowie methodischen und sozialen Kompetenzen erforderlich ist, damit Beschäftigte und Unternehmen die Chancen der digitalen Transformation nutzen und Hochschulen entsprechend ausbilden können. Im Zuge der beschleunigten technologischen Entwicklung und der zunehmenden organisatorischen Vernetzung, die den digitalen Wandel kennzeichnen, kommt den Fähigkeiten der Ingenieurinnen und Ingenieure eine besondere Bedeutung zu: den klassischen Ingenieurkompetenzen, aber darüber hinaus auch neuen fachlichen, methodischen und sozialen Kompetenzen. Gezeigt wird, welche Anforderungen die Unternehmen des Anlagen- und Maschinenbaus an die Ausbildung der Ingenieurinnen und Ingenieure haben und welche Aktivitäten die Hochschulen unternehmen, um diesen Anforderungen gerecht zu werden.

Eckhard Heidling (✉)

Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung e. V., ISF München, Jakob-Klar-Str. 9, 80796 München
eckhard.heidling@isf-muenchen.de

Judith Neumer

judith.neumer@isf-muenchen.de

© Der/die Autor(en), exklusiv lizenziert durch Springer-Verlag GmbH, DE, ein Teil von Springer Nature 2021

L. Lehmann, D. Engelhardt, W. Wilke (Hrsg.), *Kompetenzen für die digitale Transformation 2020*, 93
https://doi.org/10.1007/978-3-662-62866-9_7

Schlüsselwörter

Industrie 4.0 · Ingenieurinnen und Ingenieure · Kompetenzerwerb · Hochschulen · Maschinen- und Anlagenbau

7.1 Einleitung

In den folgenden Ausführungen geht es vor dem Hintergrund der zunehmenden Bedeutung digitaler Prozesse in Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus um die Entwicklung der Nachfrage nach Qualifikationen und Kompetenzen von Ingenieurinnen und Ingenieuren im digitalen Wandel sowie entsprechenden Ausbildungsinhalten der Hochschulen, um diesem veränderten Bedarf zu entsprechen. Nach einer kurzen Skizze der Ausgangssituation in Unternehmen und Hochschulen (Abschn. 7.2) folgen die Präzisierung der Fragestellungen und methodische Anmerkungen zu den empirischen Grundlagen, die sich auf eine eigene Erhebung beziehen (Abschn. 7.3). Aufbauend auf den Untersuchungen in den Unternehmen werden Anforderungen an digitale Kompetenzen vorgestellt (Abschn. 7.4). Im nächsten Schritt geht es um die Frage, wie die Hochschulen mit den Anforderungen durch Industrie 4.0 und Digitalisierung umgehen (Abschn. 7.5). Abschließend werden die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst (Abschn. 7.6).

7.2 Digitaler Wandel im Maschinen- und Anlagenbau und Ausbildung an den Hochschulen

Die Digitalisierung wirkt gegenwärtig 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. Auf Basis digitaler Technologien sollen in einer Industrie 4.0 dynamische, echtzeitoptimierte und sich selbst organisierende unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke entstehen (Plattform Industrie 4.0 2015). Die Stärken der deutschen Industrie im Umgang mit diesen neuen Herausforderungen liegen in einem robusten industriellen Kern, insbesondere in den Bereichen des Maschinenbaus, der Elektronikindustrie und der Automobilproduktion. Gemessen am Umfang der Geschäftsaktivitäten, die mit digitalen Technologien verknüpft sind, und der Rolle, die das Internet als Basistechnologie für die Unternehmen spielt, ist der Digitalisierungsgrad in diesen Industriebereichen bislang allerdings vergleichsweise unterdurchschnittlich. Zwischen 2015 und 2017 hat er sich jedoch erhöht, was auf intensiviertere Aktivitäten bei der Digitalisierung verweist (Stettes 2018). Vorliegende Untersuchungen zeigen weiter, 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

(acatech 2016; Arntz, Jansen & Zierahn 2016; Bischoff 2015; Kinkel, Rahn, Rieder, Lerch & Jäger 2016; Lichtblau et al. 2015).

7.2.1 Digitaler Wandel in Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus

Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus treten als Nachfrager und Anbietende von digital erweiterten oder unterstützten Produkten, digitaler Technologie und digitalen Dienstleistungen auf, wobei sie sich besonders als Anbietende profilieren. Die Angebote an die Kundinnen und 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). Auf der Grundlage bisher vorliegender Studien sind für Industrie 4.0 vier technische Felder kennzeichnend (Kinkel et al. 2016; Lichtblau et al. 2015): 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 und es wird erwartet, dass die Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus zukünftig in ihrer Rolle eines „Leitanbieters im deutschen Verarbeitenden Gewerbe“ (Kinkel et al. 2016, S. 72) noch umfassender in die Wertschöpfungsprozesse der Kundinnen und Kunden integriert werden. Diese Entwicklung wird verstärkt von unternehmensübergreifenden Kollaborationen sowie Projekten begleitet sein. Deshalb wird davon ausgegangen, dass „die kluge Kombination aus digitaler und industrieller Kompetenz (...) über die Wettbewerbschancen der Zukunft“ (BMWi 2017, S. 29) entscheidet. Für die Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus sind die richtige Wahl und die angemessene Zusammensetzung industrieller und digitaler Elemente deshalb besonders wichtig, weil „digitale Innovationen immer mehr an Grenzflächen zwischen verschiedenen Disziplinen stattfinden“ (Kinkel et al. 2016, S. 37). Allerdings sind „vernetzte“ Anwendungen mit dem Ziel der Integration horizontaler und vertikaler Wertschöpfungsketten“ (Bitkom 2016, S. 20) im verarbeitenden Gewerbe bisher kaum realisiert (Bienzeisler 2009). Dies hängt mit der erheblichen Komplexität industrieller Wertschöpfungsprozesse und unterschiedlichen Entwicklungsgeschwindigkeiten von traditionellem Maschinenbau und agiler Softwareentwicklung zusammen (Baums, Schössler & Scott 2015; Kinkel et al. 2016). Am Beginn der „zweiten Digitalisierungswelle“ (BMWi 2017, S. 2) des Business to Business (B2B) im produzierenden Sektor ist deshalb weitgehend offen, wie Arbeit gestaltet wird und welche Kompetenzen erforderlich sind.

7.2.2 Ingenieurwissenschaftliche Lehre im digitalen Wandel

Über Qualifikationen und Kompetenzen für Digitalisierung und Industrie 4.0 mit einem Hochschulabschluss verfügen vor allem Ingenieurinnen und Ingenieure in den Bereichen

Maschinenbau und Elektrotechnik sowie Informatikerinnen und 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 im Ingenieurbereich (allerdings ohne Bezug zum Industrie 4.0-Kompetenzdiskurs) zeigen unterschiedliche Einschätzungen der methodischen Kompetenzen und des Praxisbezugs des Studiums. Aus Sicht der Hochschullehrenden und der Absolventinnen und Absolventen werden beide Elemente eher als positiv eingeschätzt. Dagegen werden aus Unternehmenssicht methodische Kompetenzen, der Praxisbezug und fachübergreifende Fähigkeiten der Absolventinnen und Absolventen als eher unzureichend bewertet (VDI, Stiftung Mercator & VDMA 2016). Hinsichtlich der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung wird erwartet, dass das „Verständnis für die Modellierung sowie die Fähigkeit zur Bewertung der Ergebnisse“ (Hesse et al. 2018, S. 47) eine größere Bedeutung erlangen werden. Zur Stärkung eines solchen Verständnisses wird eine engere Verbindung zwischen Grundlagenwissen in ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen und digitalen Domänen gefordert. In der ingenieurwissenschaftlichen Lehre soll die Ausbildung der Handlungskompetenzen ein größeres Gewicht erhalten, was mit dem Begriff „Shift from Teaching to Learning“ (Gottburgsen, Wannemacher, Wernz & Willege 2019, S. 32) gekennzeichnet wird. Methodisch ist dies mit einem kollaborativen und interaktiven Lernen sowie interaktiv ausgerichteten Lehrveranstaltungen verbunden (HRK 2017). Eine ganze Reihe von Hochschulen arbeitet gegenwärtig daran, ihre Curricula an den neuen digitalen Anforderungen auszurichten. Beispiele sind ingenieurwissenschaftliche Curricula, die Themen wie künstliche Intelligenz, objektorientierte Programmierung und verteilte Systeme integrieren, die Zusammenfassung der Lehrangebote zu Cyber Physical Systems in entsprechenden Kompetenzzentren oder das Angebot neuer Lerninhalte wie Embedded Systems. Auch neue Methoden der agilen Arbeitsorganisation sind in Studiengängen zum Informationsmanagement ein Teil des Lehrangebots. Förderinitiativen wie das „Curriculum 4.0“ (Stifterverband 2016) sollen helfen, solche Ansätze in den Hochschulen zu verbreiten.

7.3 Fragestellungen und methodische Grundlagen

Vor dem Hintergrund dieser Diskussionen stehen zwei Fragestellungen im Mittelpunkt: Welche Fähigkeiten und Kompetenzen haben die Beschäftigten (Ingenieurinnen und Ingenieure des Maschinenbaus und der Elektrotechnik, Informatikerinnen und Informatiker) in Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus und welche wären erforderlich? Wie ist der aktuelle Stand der Ingenieurausbildung hinsichtlich Digitalisierung und Industrie 4.0 an deutschen Hochschulen?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurde eine eigene empirische Studie durchgeführt mit einem Schwerpunkt bei der Erhebung qualitativer Interviewdaten in ausgewählten Unternehmen und Hochschulen und einer ergänzenden quantitativen Online-Befragung von Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus (Heidling et al. 2019). Die Interviews wurden transkribiert und inhaltsanalytisch ausgewertet (Bogner, Littig & Menz 2014). An

der quantitativen und standardisierten Online-Befragung nahmen 224 Mitgliedsunternehmen des VDMA teil.

Ausgehend von den beruflichen Qualifikationen, stand bei den empirischen Erhebungen die Entwicklung der Kompetenzen der Beschäftigten in den Unternehmen und der Studierenden in den Hochschulen im Zentrum. Qualifikationen bezeichnen die Fertigkeiten und Kenntnisse zur Ausführung beruflicher Tätigkeiten. Die zunehmende Thematisierung von Kompetenzen steht in engem Zusammenhang mit den neuen Anforderungen an Selbstverantwortung und Selbststeuerung in der Arbeitswelt (Sevsay-Tegethoff 2004). Im Unterschied zum Begriff der Qualifikation richtet sich der Begriff der Kompetenz auf die Umsetzung von Kenntnissen und Fertigkeiten in praktisches Handeln und damit auf die Befähigung zum erfolgreichen Handeln in konkreten Arbeitsprozessen. Grundlegend ist dabei die Unterscheidung zwischen Fach-, Methoden- und Sozialkompetenzen (Kauffeld 2006; Erpenbeck & Rosenstiel 2003).

In die qualitativen Erhebungen im Maschinen- und Anlagenbau waren sieben Unternehmen einbezogen, darunter zwei Unternehmen aus den Bereichen Werkzeugmaschinen/Fertigungssysteme, drei Unternehmen aus dem Bereich Komponenten und zwei Unternehmen aus dem Bereich IT/Automatisierungstechnik. Drei der Unternehmen hatten bis zu 500 Beschäftigte, ein Unternehmen bis zu 3.000 Beschäftigte und drei Unternehmen mehr als 3.000 Beschäftigte. Hinsichtlich des Digitalisierungsgrads ihrer Aktivitäten sehen sich drei Unternehmen nach eigener Einschätzung als Einsteiger und vier Unternehmen als fortgeschritten. Ganz überwiegend sind die Unternehmen sowohl Anbietende als auch Anwendende von Industrie 4.0-Technologien. Die befragten Expertinnen und Experten verfügen schwerpunktmäßig über Abschlüsse in verschiedenen Feldern des Maschinenbaus (Automatisierungstechnik, Produktionstechnik, Konstruktion), der Elektrotechnik, des Wirtschaftsingenieurwesens sowie der Informatik. Insgesamt wurden leitfadengestützte Interviews mit 39 Ingenieurinnen und Ingenieuren geführt und ausgewertet. An der quantitativen Online-Befragung beteiligten sich mehrheitlich Unternehmen, die Maschinen/Systeme produzieren (61 %), gefolgt von Komponentenherstellern (25 %) sowie Produzenten und Dienstleistern von IT/Automatisierungstechnik (8 %). Sie sehen sich überwiegend auf dem Weg zur Industrie 4.0. Auf einer Skala von 0 (den Weg zur Industrie 4.0 noch gar nicht begonnen) bis 10 (bei Industrie 4.0 an der Spitze) befanden sich die Unternehmen nach eigener Einschätzung durchschnittlich bei einem Wert von 5,2.

Auf der Hochschuleseite wurden Experteninterviews mit 32 Hochschulangehörigen aus neun Hochschulen geführt, darunter fünf Universitäten, vier Hochschulen für angewandte Wissenschaften sowie eine duale Hochschule. Ähnlich wie bei den Unternehmen wurden solche Hochschulen ausgewählt, 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. In den Hochschulen wurden schwerpunktmäßig Vertreterinnen und Vertreter der Ingenieurfächer Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik befragt. Zudem wurde eine Universität mit einem Masterstudiengang in Data Science einbezogen, um Einschätzungen zu dieser neuen Ausbildungsrichtung in ihrer Bedeutung für Industrie 4.0 und die Ingenieurausbildung zu erhalten. Die thematische Gliederung der leitfaden-



Abb. 7.1 Ingenieurwissenschaftliche Grundlagenkompetenzen Industrie 4.0 (Heidling et al. 2019, S. 28)

gestützten Interviews folgte der Struktur des qualitativen Leitfadens für die Erhebungen in den Unternehmen.

7.4 Anforderungen der Unternehmen an digitale Kompetenzen

Industrie 4.0 umfasst technische und organisatorische Entwicklungen, die die Kompetenzanforderungen entscheidend beeinflussen. Ein Kernelement digitaler Entwicklungen im industriellen Bereich ist eine verstärkte Vernetzung von Prozessen und Systemen. Damit werden die Grenzen zwischen Unternehmensfunktionen und spezialisierten Ingenieur Tätigkeiten sowie zwischen Herstellerinnen sowie Herstellern und Kundinnen bzw. Kunden zunehmend durchlässiger. Ingenieurinnen und Ingenieure unterschiedlicher Fachbereiche müssen zusammenarbeiten, um Komplettlösungen für eine vernetzte Produktion zu erarbeiten, und diese dann auch aufrechterhalten. Zwar sind Projektteams schon seit einiger Zeit charakteristisch für Entwicklungsarbeiten in der Industrie, aber bei Industrie 4.0-Anwendungen geht es nicht nur darum, dass einzelne Beschäftigte aus verschiedenen Abteilungen ihre Expertise oder ihr Spezialwissen zur Produktentwicklung beitragen und dann wieder in ihre „eigenen“ Abteilungen zurückkehren. Vielmehr sind Ingenieurinnen und Ingenieure mit potenziell unterschiedlichen Spezialkenntnissen aus Maschinenbau, Anwendungstechnik, Elektrotechnik und IT dauerhaft damit befasst, gemeinsam einen integrierten, vernetzten Prozess zu gestalten und zu betreiben.

7.4.1 Fachliche und methodische Grundlagen als Fundament

Um diesen Herausforderungen gerecht zu werden, ist aus Sicht der Unternehmen eine fundierte Ausbildung in einer der klassischen Kerndisziplinen Maschinenbau, Elektrotechnik oder Informatik weiterhin erforderlich. Die Beherrschung der Grundlagen einer fachlichen Kerndisziplin wird als unumgängliches Fundament gesehen, auf dem dann spezifischeres Wissen aufgebaut werden kann. Wie die quantitative Befragung zeigt, umfassen ingenieurwissenschaftliche Grundlagenkompetenzen aus Sicht der Unternehmen vor allem die Bereiche technische Mechanik, die 48 % der Befragten nannten, Konstruktionslehre (44 %) sowie Materialwirtschaft (36 %) und Materiallehre (33 %) (Abb. 7.1).

Ein weiteres Element des fachlichen Kerns sind spezifische fachliche Methodenkompetenzen, wobei es insbesondere um Fähigkeiten geht, Prozesse und Systeme zu erkennen

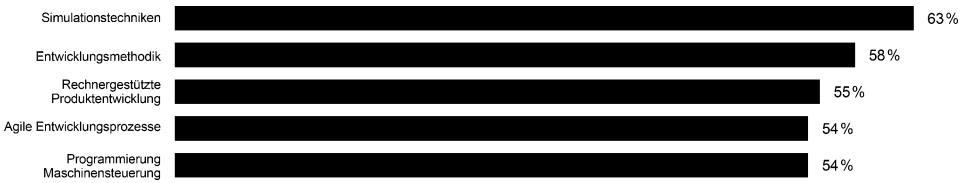


Abb. 7.2 Ingenieurwissenschaftliche Methodenkompetenzen Industrie 4.0 (Heidling et al. 2019, S. 34)

und in ihrer Logik und Komplexität zu verstehen. Aus Sicht der Unternehmen ist dies grundlegend dafür, Anwendungen der Industrie 4.0 sinnvoll und umfanglich zu implementieren und nachhaltig zu nutzen. Wie die qualitativen Erhebungen zeigen, wird von den Beschäftigten gefordert, „in Prozessen zu denken. Also weg vom reinen Produktdenken (...), sondern wirklich über den gesamten Wertstrom“ (Interviewtranskript 2018, eigene Erhebung). Bei der Frage nach den wichtigsten Methodenkompetenzen sehen 63 % der Befragten die Simulationstechniken an erster Stelle. Als ebenfalls wichtig erachtet werden Kenntnisse zu Entwicklungsmethoden, die rechnergestützte Produktentwicklung, die agile Gestaltung von Entwicklungsprozessen sowie Programmierkenntnisse zur Maschinensteuerung (Abb. 7.2).

7.4.2 Notwendige Erweiterungen des fachlichen Kerns

Die Nachfrage nach Programmierkenntnissen verweist auf einen weiteren, wachsenden Kompetenzbereich, der für die Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus immer wichtiger wird: Grundlagenwissen in den Bereichen Informatik und Data Science. Deutlich wird dies in der pointierten Aussage eines Interviewpartners: „Die IT-ler verstehen nicht, dass Stahl nicht Alu ist und die Techniker verstehen nicht, was eine Datenbank ist.“ Maschinenbauerinnen bzw. Maschinenbauer sowie Elektrotechnikerinnen und Elektrotechniker sollen über ein deutlich erweitertes Wissen im Bereich Informatik verfügen, als dies bisher der Fall ist. Sie müssen wissen, was eine Schnittstelle ist und wie eine Datenbank funktioniert, sowie über Kenntnisse in Programmiersprachen verfügen. Und umgekehrt brauchen Informatikerinnen und Informatiker deutlich mehr Wissen über die IT-Anwendungsbereiche des Maschinenbaus und der Elektrotechnik in den Unternehmen. Entsprechend stehen, wie die quantitativen Erhebungen zeigen, Informatikkenntnisse zum Umgang mit der Erhebung, Aufbereitung und Sicherheit der Daten bei der Frage nach ergänzenden fachlichen Kompetenzen im Mittelpunkt (Abb. 7.3).

Weiter erfordert die zunehmend digital gestützte vernetzte Zusammenarbeit, dass Beschäftigte über Kontextwissen verfügen. Dies umfasst Kenntnisse über andere Arbeitsbereiche und Sichtweisen anderer Disziplinen. Abhängig von der eigenen beruflichen Position, der Struktur des Unternehmens (Abteilungen, Standorte, Fertigungstiefe etc.) und der Verortung in unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsketten ergeben sich



Abb. 7.3 Ergänzende Kenntnisse anderer Fachgebiete Industrie 4.0 (Heidling et al. 2019, S. 37)

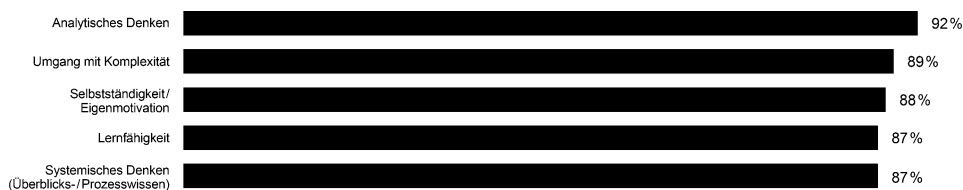


Abb. 7.4 Überfachliche Kompetenzen Industrie 4.0 (Heidling et al. 2019, S. 45)

unterschiedliche inhaltliche Anforderungen an dieses Kontextwissen. Entsprechende Kompetenzen ermöglichen es den Beschäftigten, Denk- und Handlungsweisen anderer Bereiche mit den eigenen Arbeitsaufgaben zu verbinden sowie zwischen Bereichen wie Maschinenbau und IT vermitteln und übersetzen zu können. Um dies zu gewährleisten, ist es aus Sicht der Unternehmen erforderlich, dass „ein Maschinenbauingenieur eine Anforderung so formulieren kann, dass der Programmierer was damit anfangen kann“ (Interviewtranskript 2018, eigene Erhebung).

Und schließlich gewinnen die im Kompetenzdiskurs seit längerer Zeit bekannten überfachlichen Kompetenzen im Zusammenhang mit der digitalen Transformation nochmals an Bedeutung. Sowohl in den qualitativen als auch in den quantitativen Erhebungen messen die Befragten personale und sozialen Kompetenzen eine große Bedeutung für erfolgreiches Arbeiten im Kontext von Industrie 4.0 zu (Abb. 7.4).

7.4.3 Soll-Kompetenzprofil für Ingenieurinnen und Ingenieure Industrie 4.0

Zusammenfassend umfasst das Soll-Kompetenzprofil für Ingenieurinnen und Ingenieure Industrie 4.0 folgende Elemente: fachliche Grundlagen in einer Ingenieurdisziplin; methodische Kompetenzen (Prozesse und Systeme); querliegende fachliche Grundlagen für Maschinenbau und Elektrotechnik in Informatik und Data Science, und für die Informatik Grundlagen in Maschinenbau und Elektrotechnik sowie Data Science; Kontextwissen über Anforderungen und Perspektiven in anderen Unternehmensbereichen und Disziplinen; überfachliche personale und soziale Kompetenzen. Diese fünf Elemente stehen in einem spezifischen Verhältnis zueinander. Die Struktur des Soll-Profiles ist geprägt von einem grundlegenden fachlich-methodischen Kern und ebenfalls notwendigen, aber inhaltlich

flexiblen fachlichen und überfachlichen modularen Ergänzungen. In der Perspektive der gesamten Erwerbsbiografie ist diese Struktur gleichzeitig offen für inhaltliche Weiterentwicklungen ihrer Elemente.

7.5 Der Umgang der Hochschulen mit den Anforderungen durch Industrie 4.0 und Digitalisierung

Die Herausforderungen von Industrie 4.0 und Digitalisierung werden seitens der Hochschulen 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. Jede der einbezogenen Disziplinen (Maschinenbau, Elektrotechnik, Informatik) setzt ihre Schwerpunkte zu Digitalisierung und Industrie 4.0 fachspezifisch und arbeitsteilig und nimmt bei der Definition, bei der Benennung von Kernelementen und der eigenen Verortung disziplinäre Zuständigkeiten wahr. Dies steht in Verbindung mit der weitgehend geteilten Überzeugung, dass die fachlichen und disziplinären Kerne der einzelnen Fakultäten weiterhin bestehen bleiben. In der Lehre hat die Vermittlung wesentlicher Grundlagen, Methoden und Systematiken in der jeweiligen fachlichen Disziplin einen unverändert hohen Stellenwert. Mit diesen Grundlagen wird aus Sicht der befragten Hochschulvertreterinnen und Hochschulvertreter die erforderliche Wissensbasis gelegt, die die Studierenden für den Umgang mit Industrie 4.0 und Digitalisierung befähigt. Zugleich wird – ähnlich wie seitens der Unternehmen – 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. Dies umfasst etwa methodische Kenntnisse der Simulation und Modellierung. Zunehmend an Bedeutung gewinnen darüber hinaus Kenntnisse des Systems Engineering.

7.5.1 Erweiterung der Lehrinhalte durch digitale Module

Die Hochschulen sehen eine wichtige Aufgabe darin, die Entwicklungen in Industrie 4.0 und Digitalisierung mit neuen inhaltlichen Orientierungen der fachspezifischen Curricula zu verbinden. Von den befragten Hochschulvertreterinnen und Hochschulvertretern wird grundsätzlich die modulare Erweiterung der jeweiligen Grundlagendisziplinen bevorzugt. 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 andererseits stattfinden – und das jeweils in beiden Richtungen. Eine neue Herausforderung in der Ausbildung der Ingenieurinnen und 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 wird eine stärker interdisziplinäre Verschränkung von Studieninhalten als derzeit größte Herausforderung gesehen.

Bisher sind neue Lehrinhalte zu Industrie 4.0 und Digitalisierung in unterschiedlicher Weise in die ingenieurwissenschaftlichen Studiengänge und Lehrpläne eingegangen. 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.“ (Interviewtranskript 2018, eigene Erhebung). Dabei geht es um veränderte thematische Schwerpunktsetzungen zu verschiedenen Feldern von Industrie 4.0, mit einer Konzentration auf neue Anwendungen in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung. Es bestehen allerdings Lücken bei der modularen Integration informationstechnischer Lehrinhalte, die die befragten Hochschulvertreterinnen und Hochschulvertreter auch selbstkritisch benennen. „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.“ (Interviewtranskript 2018, eigene Erhebung). Um diese Lücken zu schließen, ist eine stärker interdisziplinäre Studiengestaltung eine wichtige Perspektive. Allerdings steht die Kooperation mit anderen Fakultäten zur Vermittlung inter fakultativer Studieninhalte gegenwärtig noch am Anfang. „Es gibt einige ausgesuchte Veranstaltungen, wo wir (...) den Maschinenbau und die Elektrotechnik zusammenbringen, aber das Lehrangebot ist, wenn man ehrlich ist, 95 % fakultätsbezogen.“ (Interviewtranskript 2018, eigene Erhebung).

Die zentrale Herausforderung bei einer begrenzten Studiendauer besteht darin zu entscheiden, welche neuen Lehrinhalte in die bestehenden disziplinären Curricula aufgenommen und welche bisherigen weggelassen 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 arbeitsmarktgängigen Qualifikationsprofils. Die Aussagen der befragten Hochschulvertreterinnen und Hochschulvertreter verweisen auf einen derzeit intensiven Diskussionsprozess in den ingenieurwissenschaftlichen Fakultäten, wobei es insbesondere darum geht, strukturierte Entscheidungsprozesse zum Verhältnis „Integration neuer Inhalte versus Streichung alter Inhalte“ zu erarbeiten.

7.5.2 Neue Lehr- und Lernformate zur Vermittlung digitaler Lehrinhalte

Die erst in Ansätzen erkennbare intensivere fakultätsübergreifende Zusammenarbeit wird in gewissem Umfang kompensiert durch neue Lehr- und Lernformate. Kennzeichnend sind eine stärkere Verschränkung von Theorie und Praxis und unterschiedliche Formate, die den Präsenz- und Frontalunterricht ergänzen. „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.“ (Interviewtranskript 2018, eigene Erhebung). 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 Werkstätten und Laboren und zum Teil in Kooperation mit Unternehmen durchgeführt wurden. Gleichwohl verweisen die

Untersuchungsergebnisse auf eine Intensivierung dieser Theorie-Praxis-Verschänkungen und eine engere Zusammenarbeit mit Unternehmen vor dem Hintergrund der neuen technologischen Entwicklungen.

Einen wichtigen Stellenwert hat dabei eine stärker kompetenzorientierte Lehre, die durch die Verknüpfung von konkreter Problemerkfahrung und selbstständiger Erarbeitung von Lösungsansätzen durch die Studierenden gekennzeichnet ist. Aus Sicht der Lehrenden besteht der Anspruch darin, in der Vermittlung fachtheoretischer Inhalte immer Bezüge zu den konkreten Umsetzungsprozessen und Anwendungsmöglichkeiten herzustellen. „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.“ (Interviewtranskript 2018, eigene Erhebung). Durch eine „forschende Lehre“ oder eine „lehrende Forschung“ sollen die Studierenden im Unterschied zu vorgegebenen Lehrinhalten zum „Selbermachen“ angeregt und verstärkt motiviert werden, selbstständig Probleme zu lösen, Erkenntnisse zu gewinnen und prototypisch in Lösungen zu übersetzen. Die Studierenden sollen lernen, sich eigenständig Sachverhalte anzueignen, was angesichts der beschleunigten Wissensvermehrung für ihre zukünftige berufsbiografische Entwicklung immer wichtiger wird.

Darüber hinaus ist in jüngster Zeit eine verstärkte Dynamik in der direkten Zusammenarbeit zwischen Hochschulen und Unternehmen erkennbar, was ebenfalls zu veränderten Lehr- und Lernformen beiträgt. 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 die Möglichkeiten einer Hochschulunterstützung und der damit verbundenen intellektuellen und personellen Ressourcen. Eine neue, seit etwa zwei bis drei Jahren verstärkt zu beobachtende Kooperationsform sind die von Unternehmen und Hochschulen gemeinsam errichteten Technologiezentren und die darin integrierten Lern-, Muster-, Forschungs- und Praxisfabriken. In einer der einbezogenen Hochschulen wurde im Rahmen einer solchen Lern- und Praxisfabrik zusammen mit regional ansässigen Industrieunternehmen eine komplette interne Wertschöpfungskette aufgebaut. Diese Lern- und Praxisfabriken bilden eine wichtige Schnittstelle zwischen Lehre, Forschung und praktischer Anwendung.

Die Herausforderungen solcher praktisch und interaktiv ausgerichteten Lehr- und Lernformate bestehen darin, dass sie deutlich betreuungsintensiver und mit sehr viel Aufwand bei der Vor- und Nachbereitung der Veranstaltungen für die Lehrenden verbunden sind. Neben dem erhöhten zeitlichen Aufwand ist auch ein höherer Ressourceneinsatz erforderlich. Dies bezieht sich zum einen auf einen umfangreicheren Materialeinsatz und zum anderen auf die Einbindung einer größeren Zahl wissenschaftlichen Personals, um die erforderliche individuelle Betreuung der studentischen Projekte und Teams sicherzustellen. Bei einer

steigenden Anzahl von Studierenden ist deshalb fraglich, ob und in welchem Umfang diese innovativen Lehr- und Lernkonzepte weiterverbreitet werden können.

7.6 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass in der Ausbildung von Ingenieurinnen und Ingenieuren für Digitalisierung und Industrie 4.0 wichtige Grundlagen gelegt und zentrale Entwicklungen in den Unternehmen und in den Hochschulen im Gang sind. Zugleich wird Handlungsbedarf in unterschiedlichen Bereichen deutlich. Eine wichtige Perspektive kann die Entwicklung eines zweisemestrigen ingenieurwissenschaftlichen Grundlagenstudiums sein, das den Studierenden Einblick in die Einzeldisziplinen bietet und die Verschränkung von Fachwissen, Methodenwissen und überfachlichen Kompetenzen sicherstellt. Aufgrund ihrer zunehmenden Bedeutung sollten die Bereiche Informatik und Data Science zu einem obligatorischen Bestandteil ingenieurwissenschaftlicher Curricula werden. Die Ergebnisse legen nahe, dass die erst beginnende Vernetzung an den Hochschulen zwischen den Fakultäten verstärkt und ausgebaut werden sollte, um die gegenseitigen disziplinorientierten Sichtweisen auf Digitalisierung und Industrie 4.0 intensiver auszutauschen. Die bereits heute vielversprechenden Kooperationen zwischen Unternehmen und Hochschulen sollten ausgeweitet und dabei insbesondere KMU verstärkt eingebunden werden. Angesichts der schnellen technologischen Entwicklungen liegt ein zukünftiger Forschungsbedarf darin zu untersuchen, wie Fort- und Weiterbildung systematisch mit einem Anspruch an lebenslanges Lernen verbunden und abwechselnde Phasen von Lernen und Arbeiten berufsbiografisch ermöglicht werden können. Bildungsprozesse, die den Anforderungen von Digitalisierung und Industrie 4.0 genügen sollen, erfordern also institutionelle Weiterentwicklungen mit einer stärkeren Verschränkung von Hochschule und Fort- und Weiterbildung.

Literaturverzeichnis

- acatech (Hrsg.). (2016). *Kompetenzen für Industrie 4.0. Qualifizierungsbedarfe und Lösungsansätze (acatech POSITION)*. München: Herbert Utz Verlag.
- 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)*. Mannheim: ZEW (Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH).
- 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* (S. 6–10). Berlin: HP Deutschland. <http://plattform-maerkte.de/wp-content/uploads/2015/11/Kompendium-High.pdf>. Zugegriffen: 21. August 2020.
- Bienzeisler, B. (2009). Business Transformation: Neue Organisations- und Geschäftsmodelle. In D. Spath & W. Ganz (Hrsg.), *Die Zukunft der Dienstleistungswirtschaft* (S. 241–259). München: Hanser.
- Bischoff, J. (Hrsg.). (2015). *Erschließen der Potenziale der Anwendung von ‚Industrie 4.0‘ im Mittelstand. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi)*. Mülheim: Agiplan GmbH.

- Bitkom (Hrsg.). (2016). *Industrie 4.0 – Status und Perspektiven*. Berlin: Bitkom. <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Industrie-40-Status-und-Perspektiven.html>, Zugegriffen: 21. August 2020.
- Bogner, A., Littig, B. & Menz, W. (2014). *Interviews mit Experten*. Wiesbaden: Springer VS.
- BMWi (Hrsg.). (2017). *Weißbuch Digitale Plattformen*. Berlin: BMWi. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/weissbuch-digitale-plattformen.html>, Zugegriffen: 21. August 2020.
- Erpenbeck, J. & Rosenstiel, L. (2003). *Handbuch Kompetenzmessung. Erkennen, verstehen und bewerten von Kompetenzen in der betrieblichen, pädagogischen und psychologischen Praxis*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Gottburgsen, A., Wannemacher, K., Wernz, J. & Willige, J. (2019). *Ingenieurausbildung für die digitale Transformation*. VDI-Studie, Bd. 2019. Düsseldorf: VDI. <https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details/vdi-studie-ingenieurausbildung-fuer-die-digitale-transformation>, Zugegriffen: 21. August 2020.
- Heidling, E., Meil, P., Neumer, J., Porschen-Hueck, S., Schmierl, K., Sopp, P. & Wagner, A. (2019). *Ingenieurinnen und Ingenieure für Industrie 4.0*. Frankfurt a.M.: IMPULS-Stiftung.
- 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. *VDI nachrichten*, 33–34, 47–48.
- HRK (2017). *Curriculare Lehre neugestalten: Chancen und Hindernisse. Empfehlungen des Runden Tisches Ingenieurwissenschaften des Projekts nexus der HRK*. Bonn: HRK. <https://www.hrk-nexus.de/fileadmin/redaktion/hrk-nexus/07-Downloads/07-02-Publikationen/2017-Ing-Handreichung-Curriculare-Lehre.pdf>, Zugegriffen: 21. August 2020.
- Kauffeld, S. (2006). *Kompetenzen messen, bewerten, entwickeln*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- 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.
- Plattform Industrie 4.0 (Hrsg.). (2015). Whitepaper FuE-Themen. Industrie 4.0. <https://www.din.de/blob/67744/de1c706b159a6f1baceb95a6677ba497/whitepaper-fue-themen-data.pdf>. Zugegriffen: 22. Aug. 2020.
- Sevsay-Tegethoff, N. (2004). Ein anderer Blick auf Kompetenzen. In F. Böhle, S. Pfeiffer & N. Sevsay-Tegethoff (Hrsg.), *Die Bewältigung des Unplanbaren* (S. 267–286). Wiesbaden: VS.
- Stiftungsverband (2016). Curriculum 4.0. Konsequenzen der Digitalisierung für Studiengangsreformen an deutschen Hochschulen. <https://www.stiftungsverband.org/curriculum-4-0>. Zugegriffen: 4. Okt. 2020.
- Stettes, O. (2018). *Keine Angst vor Robotern*. IW-Report, Bd. 11/2018. Köln: IW Köln. <https://www.iwkoeln.de/studien/iw-reports/beitrag/oliver-stettes-beschaeftigungseffekte-der-digitalisierung.html>, Zugegriffen: 21. August 2020.
- VDI, Stiftung Mercator & VDMA (Hrsg.). (2016). 15 Jahre Bologna-Reform. Quo vadis Ingenieurausbildung. Düsseldorf, Essen & Frankfurt a.M.: VDI, Stiftung Mercator, VDMA. <http://www.vdma.org/documents/105628/12588337/Studie%20Quo%20vadis%20Ingenieurausbildung.pdf/78a72bf7-eae6-4c63-95b9-1cf02c2445f4>. Zugegriffen: 21. Aug. 2020.



Dr. Eckhard Heidling ist seit 1989 Wissenschaftler am ISF München. Nach seiner Ausbildung zum Industriekaufmann studierte er Politische Wissenschaft, Wirtschaftswissenschaft und Soziologie an der Freien Universität Berlin, wo er auch promovierte. Forschungsaufenthalte machte er an der Rutgers University, USA (7/2010) und der Université Nanterre Paris X, Frankreich (2002–2003). Außerdem arbeitete er als Projektleiter für die Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) (Algier, 1998–2001). Seine Forschungsschwerpunkte sind: Globalisierung und international verteilte Arbeit, Projektarbeit, Qualifikation und Kompetenzentwicklung.



Judith Neumer ist seit 2009 Wissenschaftlerin am ISF München. Nach einem Studium der Soziologie, Sozialpsychologie und Politikwissenschaften an der Ludwig-Maximilians-Universität München arbeitete sie dort als wissenschaftliche Mitarbeiterin. Ihre Forschungsschwerpunkte sind: Digitalisierung und Industrie 4.0, Gute Arbeit und agiles Projektmanagement, lernförderliche und gesundheitsförderliche Arbeitsgestaltung.