



INSTITUT FÜR
TECHNIKFOLGEN
ABSCHÄTZUNG

Auswirkungen von Industrie 4.0 auf Aus- und Weiterbildung

ÖAW ÖSTERREICHISCHE
AKADEMIE DER
WISSENSCHAFTEN

MANU:SCRIPTS

www.oeaw.ac.at/ita

Wien, Oktober/2015
ITA-15-03
ISSN: 1681-9187

Auswirkungen von Industrie 4.0 auf Aus- und Weiterbildung

Sabine Pfeiffer
Universität Hohenheim

Keywords

Industrie 4.0, Produktionsarbeit, Ausbildung, Weiterbildung, Qualifikation, duales System, Partizipation

Kurzfassung

Der Beitrag beschäftigt sich mit neuen Kompetenzen und Qualifizierung im Kontext von Industrie 4.0. Einführend wird der Forschungsstand skizziert und die Defizite in der bestehenden Datenlage deutlich gemacht. Obwohl Industrie 4.0 auch viele Dienstleistungs- und Logistikbereiche tangiert, konzentriert sich die Studie auf Veränderungen in den Kernbereichen industrieller Produktionsarbeit und legt einen Schwerpunkt auf das System der dualen Aus- und Weiterbildung, da dieses in Deutschland wie in Österreich eine hohe und fast einmalige Bedeutung hat. Ausgehend von derzeit diskutierten Gestaltungsszenarien einerseits und der Innovationsfähigkeit des dualen Systems andererseits werden Kompetenz- und Qualifikationsanforderungen entlang von vier qualifikationsrelevanten Dimensionen von Industrie 4.0 konkretisiert und schließlich Handlungsempfehlungen für Politik, Unternehmen und Sozialpartner abgeleitet.

IMPRESSUM

Medieninhaber:

Österreichische Akademie der Wissenschaften
Juristische Person öffentlichen Rechts (BGBl 569/1921 idF BGBl I 130/2003)
Dr. Ignaz Seipel-Platz 2, A-1010 Wien

Herausgeber:

Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA)
Strohgasse 45/5, A-1030 Wien
www.oeaw.ac.at/ita

Die ITA-manu:scripts erscheinen unregelmäßig und dienen der Veröffentlichung von Arbeitspapieren und Vorträgen von Institutsangehörigen und Gästen. Die manu:scripts werden ausschließlich über das Internetportal „epub.oeaw“ der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt:

<http://epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript>

ITA-manu:script Nr.: ITA-15-03 (Oktober/2015)
ISSN-online: 1818-6556
http://epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_15_03.pdf

© 2015 ITA – Alle Rechte vorbehalten

Inhalt

1	Zur Einleitung: Industrie 4.0 und Qualifizierung.....	5
1.1	Industrie 4.0 und Qualifizierung im bisherigen Diskurs	6
1.2	Grenzen der vorhandenen Datenbasis	9
1.3	Aufbau und Fokus dieser Expertise.....	11
2	Einflüsse und Rahmen: Gestaltungsoptionen und -grenzen.....	13
3	Zur Innovationsrelevanz und -fähigkeit des dualen Systems	16
3.1	Das duale System als wichtiger Träger des Innovationsgeschehens.....	16
3.2	Das duale System ermöglicht innovative Organisationsformen	17
3.3	Komplexe Ökonomien brauchen vielfältige berufliche Qualifizierungswege	18
3.4	Akademische und berufliche Qualifikation sind kein Gegensatz	18
3.5	Erfahrung ist innovationsrelevant – auch bei den akademisch Qualifizierten	19
4	Vom Defizitblick zur Ressource	20
4.1	Zu den Grenzen des Routine-Ansatzes	21
4.2	Arbeitsvermögen: Garant für den Umgang mit Komplexität und Wandel.....	23
5	Qualifikationsrelevante Dimensionen von Industrie 4.0	26
5.1	Socialmedia@production: Mobile Web-Kommunikation in der Produktion	27
5.2	data@production: Vernetzung der stofflichen Produktion	28
5.3	nextGEN Production: Neuartige Produktionsverfahren	29
5.4	automation@ body & mind – Datengestützter Zugriff auf Körper und Wissen	30
6	Qualifikationsbedarfe und -zielgruppen entlang der Industrie 4.0-Dimensionen	31
6.1	Socialmedia@production: Vergleichsweise unproblematisch	32
6.2	data@production: Vernetzung der stofflichen Produktion	33
6.3	nextGEN Production: Neue Fachinhalte, andere Player, verkannte Chancen.....	35
6.4	automation@ body & mind – Datengestützter Zugriff auf Körper und Wissen	37
6.5	Querliegende Kompetenzen, neue Formen des Lernens, neue Zielgruppen	37
7	Zusammenfassung und Handlungsoptionen.....	40
7.1	Qualifizierungsanforderungen durch Industrie 4.0	40
7.2	Querliegende Kompetenzanforderungen als Teil einer modernen Beruflichkeit brauchen die Dualität der Lernorte.....	41
7.3	Lebendiges Arbeitsvermögen als Ressource für die Gestaltung von Industrie 4.0 anerkennen und nutzen und Rahmenbedingungen für Partizipation schaffen	42
7.4	Facharbeit und das duale System der Erst- und Weiterbildung attraktiver machen und stärken... ..	43
7.5	Den Wandel gestaltbar machen: Rahmenbedingungen, die Wandlungsfähigkeit erleichtern	44
8	Literatur	45

Dieser Beitrag entstand als Vertiefungspapier zu einem ausgewählten Wirkungsfeld im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprojekts des Instituts für Technikfolgen-Abschätzung und des Austrian Institute of Technology über Chancen und Risiken von Industrie 4.0.

1 Zur Einleitung: Industrie 4.0 und Qualifizierung

Industrie 4.0 ist eine systemische Veränderung und verändert Arbeit umfassend. Es geht nicht um die Einführung *einer* neuen Technologie verbunden mit einer inkrementellen Anpassung von Arbeitssystemen, sondern um eine Vielzahl neuer Technologien und Anwendungsformen von unterschiedlichem technischen Reifegrad und systemischen Effekten. Mit Industrie 4.0 verlaufen Automatisierungsschritte disruptiver und risikoreicher (acatech, 2015; Bauernhansl u. a., 2014), das Spektrum der *sozialen* Herausforderungen ist entsprechend breit (vgl. Hirsch-Kreinsen u. a., 2015). Industrie 4.0 stellt damit selbst die Unternehmen vor eine qualitativ neue Herausforderung, die seit Jahrzehnten Erfahrung mit der Einführung neuer Automatisierungstechnik haben. Die qualitativ neue Anforderung besteht darin, wettbewerbstaugliche Industrie 4.0-Lösungen *und* gute – d. h. qualifizierte, lernförderliche und gesundheitserhaltende – Arbeit in der Produktion und im Engineering zu gestalten. Vor dem Hintergrund eines solch grundsätzlichen Wandels ist noch offen, wie dafür qualifiziert werden muss, wenn tatsächlich „der Mensch im Mittelpunkt“ stehen soll (vgl. Kagermann u. a., 2013).

Unsere Lebens- und unsere Arbeitswelt haben sich in den letzten Jahren stark verändert. Nach der Informatisierung beobachten wir seit 2010 einen starken Schub von Digitalisierung, die über mobile Geräte und Cloud-Dienste Arbeit weitergehend unabhängig macht von Ort und Zeit. Mit dieser verstärkten Digitalisierung der Arbeits- und der Geschäftsprozesse gewinnen nicht nur webbasierte und mobile Anwendungen sowie zunehmend auf intelligenten Analysen großer Datenbestände basierende Dienste (Big Data, intelligente Algorithmen) an Bedeutung. Gerade im Zuge der Szenarien von Industrie 4.0 und neuer Ansätze in der Robotik werden starke bis disruptive Veränderungen erwartet. Auf Basis der bisherigen Entwicklungen lässt sich von widersprüchlichen Effekten ausgehen: Chancen und Risiken liegen nah beieinander. Bisherige Formen der Regulierung und Gestaltung greifen teils nicht mehr, neue Prozesse und Mechanismen der Gestaltung zeichnen sich erst in Ansätzen ab.

Die Digitalisierung der Arbeit steht nicht nur vor uns, sie hat Arbeit schon in den vergangenen Jahren zunehmend verändert und u. a. mobiler gemacht. Eine aktuelle Auswertung der neuesten Massendatensätze zur Situation von Erwerbstätigen in Deutschland (Klein u. a., 2015) zeigt das. Ausgewertet wurde die BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung, (Erhebungsjahr 2012; n=20.036), der DGB-Index Gute Arbeit (Erhebungsjahre 2012 bis 2014; n jeweils = 4.000), die IG Metall Beschäftigtenbefragung (Erhebungsjahr 2013; n = 514.134) sowie der Fehlzeitenreport der Krankenkasse AOK und diverse Daten des Statistischen Bundesamts. Am Beispiel für die Automobilbranche konnten dabei anhand von vier Gestaltungs koordinaten Veränderungsprozesse der vergangenen Jahre nachgezeichnet werden, die im engen Zusammenhang mit der Digitalisierung von Arbeit stehen. Zunächst lässt sich für die Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) sagen: In den großen Unternehmen sind klassische IKT-Nutzungsformen (Computer, E-Mail, ERP-Systeme) etc. weitreichend etabliert und gehören zum Arbeitsalltag der meisten Beschäftigten. Digitalisierungsformen, die im Produktionsbereich eine zentrale Rolle spielen (wie Embedded Systems, CNC-Steuerungen, SPS, Bussysteme etc.), werden als solche in den bestehenden und hier ausgewerteten Daten nicht explizit abgefragt (kritisch dazu Pfeiffer/Suphan, 2015) – insofern ist anzunehmen, dass der Digitalisierungsgrad im produzierenden Sektor vielfältiger und durchgängiger und damit generell höher ist als dies in den meisten Statistiken sichtbar werden kann.

Aus den Auswertungen der o. g. Datensätze sind zwei Aussagen für den Zusammenhang von Digitalisierung und Qualifikation im produzierenden Sektor von besonderer Bedeutung:

- Für den Bereich Bildung (Klein u. a., 2015: S. 61ff.) lässt sich der hohe Anteil praktischer Berufsabschlüsse herausstellen. Beim Thema Weiterbildung ergibt sich ein widersprüchliches Bild: Zwar werden Weiterbildungen zu berufsfachlichem Wissen von den Beschäftigten als vorrangig priorisiert, andererseits Fortbildungen zum Umgang mit IKT eher wenig genutzt. Dabei lässt die Datenlage offen, warum dies so ist. Der hohe Digitalisierungsgrad der Branche und die Dominanz beruflicher Qualifikationen legen nahe, dass die notwendigen IKT-Kompetenzen bislang auf dieser Basis gut bewältigt werden konnten. Ob dies auch zukünftig so bleiben wird, ist damit aber noch nicht gesagt.
- Für die beispielhaft untersuchte Automobilbranche lässt sich anhand der ausgewerteten Daten zudem zeigen, dass der erlebte und zu bewältigende Wandel der Arbeit in den letzten Jahren massiv war und in starkem Maße mit der Digitalisierung einherging: Allein in einem Zeitraum von nur zwei Jahren war nicht nur deutlich mehr als die Hälfte der Beschäftigten mit neuen Computerprogrammen konfrontiert, sondern auch mit neuen Fertigungs- oder Verfahrenstechnologien sowie Maschinen oder Anlagen, die selbst wiederum üblicherweise auch mit neuen Steuerungssystemen ausgestattet sein dürften (Klein u. a., 2015: S. 75ff.)

1.1 Industrie 4.0 und Qualifizierung im bisherigen Diskurs

So vielfältig und interessengesteuert der Diskurs um Industrie 4.0 ist (vgl. Pfeiffer, 2015a), so unübersichtlich und gleichzeitig wenig konkret sind Aussagen zu den möglichen Qualifizierungsanforderungen in Folge von Industrie 4.0. Insbesondere die Einschätzungen zur Bedeutung – und monetären Anerkennung – qualifizierter Arbeit sind aus Sicht von Unternehmensberatungen häufig sehr widersprüchlich: So sieht etwa Deloitte (2010) zwar „talent-driven innovation“ als den wichtigsten Treiber im globalen Produktionswettbewerb, im Ranking an zweiter Stelle gefolgt von den Kosten für Arbeit – qualifizierte Arbeit wird also als zentral eingeschätzt, gleichzeitig aber soll sie möglichst wenig kosten.

Die Bedeutung von Qualifizierung und Kompetenzentwicklung für die Einführung von Industrie 4.0 wird – so eine Studie des Fraunhofer Instituts IAO – als durchgängig sehr hoch eingeschätzt. Insbesondere werden die Bereitschaft zum lebenslangen Lernen (86 Prozent), stärkeres interdisziplinäres Denken und Handeln (77 Prozent) und höhere IT-Kompetenz (76 Prozent) als notwendig angesehen (Schlund u. a., 2014: S. 6–7). Solch eher allgemeine Aussagen, die einerseits eher Soft Skills und soziale Kompetenzen aufgreifen und andererseits in sehr allgemeiner Form IT-Kompetenzen adressieren, sind durchgängig das bisherige Bild zum Thema Qualifizierung und Industrie 4.0.

Einig ist sich die Debatte weitgehend, dass es zu einer Zunahme von Anforderungen kommt, die sich aus der „convergence between mechanical/electronic/software-based components or systems (...) occurring across scale levels (macro/meso/micro), ergibt und dass mehr Umgang mit Robotik erforderlich sein wird (Hartmann/Bovenshulte, 2013: S. 33–34). Selbst die Umsetzungsempfehlungen der Verbändeplattform Industrie 4.0 sind auffällig vage in der Beschreibung der Qualifikationsanforderungen: es ist die Rede von „deutlich erhöhte[n] Komplexitäts-, Abstraktions- und Problemlösungsanforderungen“ und von einem sehr hohen Maß „an selbstgesteuertem Handeln, kommunikativen Kompetenzen und Fähigkeiten zur Selbstorganisation“, vor allem also seien die „subjektiven Fähigkeiten und Potenziale der Beschäftigten

(...) noch stärker gefordert“ (Kagermann u. a., 2013: S. 57). Die Promotorengruppe fordert für die Aus- und Fortbildung zudem ein verstärktes Zusammenwachsen von IKT, Produktions- und Automatisierungstechnik und Software (ebd.: S. 59) – eine Forderung, die für die berufliche Aus- und Weiterbildung bereits 2008 und damit vor dem Beginn der Debatte um Industrie 4.0 mit dem Berufsbild des Produktionstechnologen eigentlich längst Realität wurde (vgl. Müller, 2012).

Eine andere Unternehmensberatung (Blanchet u. a., 2014: S. 12–13) schätzt ein, dass die industrielle Produktion zwar an strategischer und ökonomischer Bedeutung gewinnt; dabei scheinen aber produktionsbezogene Qualifikationen keine große Rolle zu spielen: Denn auch in der Produktion käme es zu einem „shift toward design thinking instead of production thinking“, zentraler werde die Anforderung an interdisziplinäres Denken und die Bereitschaft zu lebenslangem und interkulturellem Lernen. Auch die technischen Kompetenzen würden mehr „T-shaped and interdisciplinary than specialized“, Ingenieure und Informatiker stünden zunehmend vor der Herausforderung „to think across business models, production processes, machine technology and data-related procedures“ (ebd.). Die eigentliche Produktionsarbeit findet hier anscheinend nicht mehr statt oder wird als Arbeit betrachtet, über deren Qualifikation man sich keine weiteren Gedanken mehr machen müsse – das lässt die Studie offen.

Andere sehen den Menschen in einer überwiegend strategischen Rolle: „Der Mitarbeiter in einer Industrie 4.0 wird die übergeordnete Produktionsstrategie festlegen, die Umsetzung dieser Strategie überwachen und im Bedarfsfall intervenierend in das Cyber-Physische Produktionssystem (CPPS) eingreifen (Gorecky, 2014: S. 527).“ Der Mensch trete aber dann als kreativer Problemlöser in Erscheinung, „wenn es eine vorliegende Störung zu beheben oder ein implizites Optimierungspotential zu erschließen gilt“ (ebd. S. 256). Notwendig sei dafür das „Wissen zu den Methoden und Technologien (z. B. das Wissen wie TCP/IP funktioniert), die zur Implementierung von cyber-physischen Produktionssystemen (CPPS) unabdingbar sind“ (ebd.: S. 527). Woher die Qualifikation kommt, die der Mensch braucht, um neben der „planerisch-schöpferische[n] Tätigkeiten („Kopfarbeit“), „am Ort des Geschehens mit seinen Fertigkeiten in die Prozesse ein[zugreiffen] („Handarbeit“), um beispielsweise ein defektes Feldgerät auszutauschen“ (ebd. S. 527) – das bleibt offen bzw. wird schlicht als gegeben vorausgesetzt. Etwas konkreter – wenn auch nur für die Ingenieur- und nicht für die Facharbeitsebene – benennt Lüder folgende neuen Anforderungen im Kontext von Industrie 4.0: Die Fähigkeit, (Artefakt-)Bibliotheken erstellen und anpassen zu können, der Umgang mit virtuellen Tools zur Anlagenplanung und das interdisziplinäre Arbeiten im Entwurfsprozess.

Picot und Neuburger (2014: S. 9–10) benennen ein ganzes Bündel aus technischen und sozialen Kompetenzen, gehen aber dabei weitgehend davon aus, dass nur kommunikative Aspekte nicht automatisierbar sind und die mittlere Qualifikationsebene bislang weitgehend nur Arbeit nach Anweisung macht (kritisch zu diesen Grundannahmen vgl. Pfeiffer/Suphan, 2015b und Kap. 4); aufgeführt werden von den Autoren einerseits vor allem IT-bezogene Kompetenzen wie der „technische Umgang mit digitalen Medien sowie die Fähigkeit, diese Medien in den Arbeitsprozessen sinnvoll und effizient einzusetzen“, MINT-Fähigkeiten und Software-Kompetenzen auf dem Gebiet der virtuellen Modellierung, Wissen über den Produktionsprozess und seine Veränderungen durch die Digitalisierung, Umgang mit Informationskomplexität und Datenmanagement. Aber auch Soft Skills wie Selbstmanagement und Selbstorganisationsfähigkeiten, Kommunikations-, Interaktions- und Problemlösungsfähigkeiten sowie „Fähigkeiten der visuellen Wahrnehmung komplexerer Sachverhalte“ und Projektmanagement spielen eine Rolle (ebd.).

Häufig wird also eine Zunahme an Fähigkeiten prognostiziert, die sich mit „Überwachen/Steuern, Messen/Prüfen, Organisieren/Planen“ umschreiben ließe – außer Acht gelassen wird dabei, dass es eine Bewegung hin zu solchen Tätigkeitsanforderungen schon seit den 1990er Jahren in den meisten Facharbeitsberufen längst gab – das wurde etwa für den Beruf des Schlossers anhand der Tätigkeitsveränderung über mehrere Befragungswellen der BiBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung nachgewiesen (Tiemann, 2014: S. 151–152).

Einen systematischen Überblick zum bisherigen Stand der Qualifikationsdebatte zu Industrie 4.0 geben jüngst Ahrens und Spöttl (2015: S. 196–200). Sie generieren in Anlehnung an Weiland (2013) die folgenden fünf Parameter für die Anforderungen an die Qualifikation von Fachkräften durch Industrie 4.0 (ebd.: S. 198):

- „durchgehende Vernetzung und Informationstransparenz,
- steigende Automatisierung von Produktionssystemen,
- Selbststeuerung und Entscheidungsfindung von Objekten,
- digitale Kommunikation und interaktive Managementfunktionen,
- Flexibilisierung des Mitarbeitereinsatzes“.

Weiland geht davon aus, dass „der Grad der Spezialisierung der Arbeitsorganisation in der Industrie 4.0 grundsätzlich gering zu gestalten sei“, allerdings die Trennung zwischen direkten und indirekten Stellen weiterhin nötig bleibe (2013: S. 65). Diese Einschätzungen sind allerdings mit gewisser Vorsicht zu beurteilen. Betont der Autor doch an anderer Stelle, dass „direkte Stellen nicht mehr nur physische Tätigkeiten beinhalten, sondern durch Entscheidungsaufgaben sowie ein großes zu bedienendes Spektrum an fachlichen Tätigkeiten anspruchsvoller werden“ (ebd.). Das ist insofern eine erstaunliche Aussage, da auf Facharbeiterniveau schon seit Jahrzehnten die Bedeutung physischer Tätigkeiten gerade dort längst dem gewichen ist, was als Gewährleistungsarbeit bezeichnet wird. Das Bild aktueller Qualifikationsanforderungen scheint hier also nicht stimmig. Für die Zukunft kommt der Autor auf Basis einer Delphi-Befragung zu dem Schluss: „Die Qualifikationsanforderungen unterscheiden sich hinsichtlich direkter und indirekter Stellen. Grundlegende funktionale und extrafunktionale Qualifikationen sind hohe informationstechnische Kenntnisse, weitgehende Lern- und Kooperationsbereitschaft, Flexibilität und Eigenverantwortung sowie eine ganzheitliche Sichtweise und Entscheidungsfreude (Weiland, 2013: S. 81). Auch Ahrens und Spöttl kritisieren die Darstellung von Weiland, in dessen Darstellung kämen „sehr spezifische Herausforderungen bei den einzelnen [o.g.] Parametern nicht zum Tragen“, stattdessen würde „eher der Qualifikationsbedarf auf einer Überblicksebene diskutiert“ (2015: S. 198). Ahrens und Spöttl gehören zu den ganz wenigen, die einen Zusammenhang aufzeigen zwischen den diskutierten Qualifikationsanforderungen durch Industrie 4.0 und bestehenden Berufsbildern. So kommen sie zu dem Schluss dass „Qualifikationsdimensionen wie Teamfähigkeit, Zuverlässigkeit, Mobilität, Präzisionsvermögen, Verhandlungsfähigkeit, Lernbereitschaft, Kooperationsbereitschaft“ längst „fester Bestandteil von Metall- und Elektroberufen seit den Neuordnungen von 2003 und 2004“ seien.

Nur ganz wenige Qualifikationsanforderungen seien als wirklich neu und spezifisch für Industrie 4.0 zu bewerten, dabei nennen sie (ebd.):

- „generelles Verständnis für Maschineninteraktionen,
- allgemeine interdisziplinäre Methodenkenntnisse,
- grundlegende statistische Kenntnisse (Datenanalyse/-interpretation) (Ahrens/Spöttl, 2015: S. 198)“.

Eine der wenigen Studien, die sich an einem Durchbrechen der ansonsten weitgehend an sozialen und generischen Kompetenzen orientierten Qualifikationsdebatte zu Industrie 4.0 versuchen, beschäftigt sich mit den Auswirkungen zunehmender Digitalisierung in unterschiedlichen Bereichen der Logistik und sie kommt beispielsweise für die Intralogistik im Automobilbau zu dem Schluss: Während „die Anforderungen an die höher qualifizierten Tätigkeiten (Ingenieure, Meister) wachsen“ seien auf der operativen Ebene weniger Qualifikationsanforderungen erforderlich und die „Bedienung der verwendeten IT-Technik nähme „kaum Einarbeitungszeit in Anspruch“ (Windelband u. a., 2010: S. 42).

Insgesamt kann gesagt werden: die bisherige Debatte zu den Qualifikationsanforderungen durch Industrie 4.0 steht erst am Anfang. Die meisten Anforderungsnennungen adressieren soziale und generische Kompetenzen und koppeln dies mit einem weitgehend unspezifischen Anspruch an „mehr“ IT-Kompetenzen, die teils bis zu einem verallgemeinerten Anspruch an die Programmier- und Modellierungsfähigkeiten aller Fachkräfte reichen. In der Debatte wird kaum ein expliziter Rückgriff auf konkrete Tätigkeiten, Arbeitsplätze oder Qualifikationsniveaus gemacht. Auch fehlen bislang branchenspezifische Betrachtungen und die notwendigen Differenzierungen nach Erst- und Weiterbildung, nach akademischen und beruflichen Ausbildungswegen. Mit ganz wenigen Ausnahmen wird überhaupt auf bestehende Curricula und Berufsbilder verwiesen und deren aktuelle Inhalte mit den vermeintlichen Zukunftsanforderungen in Zusammenhang gebracht. Dieses anhaltende Defizit kann diese kurze Vertiefungsstudie nicht kompensieren, in der hier komprimierten Darstellung des Forschungsstands kann allenfalls resümiert werden: es gibt noch viel zu tun.

1.2 Grenzen der vorhandenen Datenbasis

Bevor über zukünftige Qualifizierungsanforderungen Einschätzungen sinnvoll möglich sind, gilt es, einen Blick auf den vorhandenen Kenntnisstand über die aktuelle Entwicklung zu werfen. Wie die voran gegangenen Kapitel gezeigt haben: An weitreichenden Visionen zur Zukunft mangelt es nicht. Will man diese aber konkretisieren wird schnell deutlich, dass wir insbesondere im Bereich der Produktionsarbeit – aber bei weitem nicht nur da – ein erhebliches Forschungsdefizit konstatieren können. *Um den Wandel unserer Arbeitswelt fundiert einschätzen zu können, wäre zunächst eine detaillierte Kenntnis des Ist-Stands notwendig. Davon sind wir weit entfernt.* Zwar gibt es eine Vielzahl thematisch einschlägiger Studien, diese aber reichen nicht aus, um seriöse, ausreichend breite wie detaillierte Aussagen zur aktuellen Arbeitswelt zu treffen. Und sie sind nicht in der Lage, den aktuellen und erwarteten Wandel in seiner Vielschichtigkeit, Ungleichzeitigkeit und Widersprüchlichkeit ausreichend zu erfassen, auf deren Basis dann konkrete Ableitungen für Qualifizierungsanforderungen möglich wären. Die Defizite zur Datenlage in Kürze:

- Regelmäßig erhobene Massendatensätze (bspw. des IAB oder der Statistischen Landes- und Bundesämter, aber auch die BIBB/BAuA-Daten) bilden neuere technische Entwicklungen und Spezifika von Arbeitsinhalten sowie von Betriebs- und Wertschöpfungsstrukturen nicht ausreichend detailliert ab, zudem hinken die Erhebungsintervalle der schnellen Entwicklung hinterher.
- Qualitative Unternehmensfallstudien aus unterschiedlichen Disziplinen der Arbeitsforschung, ebenso wie quantitative Unternehmens- oder Beschäftigtenbefragungen, sind thematisch oder in Bezug auf das Forschungsfeld oft eng fokussiert, ein systematischer Rückbezug auf andere Erhebungsergebnisse ist methodisch und systematisch oft nicht möglich.

- Studien zum Wandel von Arbeit innerhalb der Produktion sind in den letzten Jahren – zum Teil als Folge der Förderstrukturen und -themen – immer seltener geworden. Studien mit dem Anspruch, für größere Branchenbereiche eine Art systematischer Bestandsaufnahme von Produktionsarbeit zu leisten, hat es seit dem Trendreport (Schumann u. a., 1994) nicht mehr gegeben.
- Das Thema des technischen Wandels als einem relevanten Treiber des Wandels von Arbeit ist als Topos der Arbeitsforschung seit den 1990er Jahren zugunsten einer subjekt- und organisationsbezogenen Betrachtung weitgehend verschwunden. Die früheren Debatten um eine berechtigte Kritik an technikdeterministischen Deutungen haben fast zu einer kompletten Abkehr der systematischen Erforschung des Zusammenhangs von Technisierung und Arbeit geführt. Dies hat dazu geführt, dass die technischen Entwicklungen im Zuge der Informatisierung seit den 1990er Jahren weitgehend nur von ihrem „Ende“ her erforscht wurden – also etwa Entgrenzung und Subjektivierung als Ausdruck und Folge (vgl. Pfeiffer, 2010a).
- Viele Studien werden durch Verbände oder Unternehmensberatungen nur im Bereich der eigenen Klientel (z. B. Mitgliedsfirmen, Kunden) durchgeführt. Deren Aussagekraft ist oft eingeschränkt, nicht immer sind die Methoden nachvollziehbar. Vor allem fehlt dort fast durchgängig der Blick aus der Perspektive der Beschäftigten und auf die Ebene konkreter Arbeit.

Es gibt damit keine repräsentativen Zahlen, die verlässlich den Ist-Stand von Produktions- und Montagearbeit abbilden: Wie viele Menschen arbeiten an hochautomatisierten Arbeitsplätzen, wie viele in hybriden Montagesystemen, wie viele überwachen Roboter, wie viele arbeiten im Zerspanungsbereich? Wo und warum hat sich seit den 1980er Jahren die CNC-Werkstattprogrammierung durchgesetzt und wo nicht? Wo findet sich heute schon eine Daten-Durchgängigkeit ohne Medienbrüche über den Produktlebenszyklus hinweg? Wo haben wir heute schon enge Datenkopplungen zwischen PPS-Systemen über Wertschöpfungsketten hinweg? Welche typischen Arrangements von IT-Anbindung, produktionstechnologischen Verfahren, Losgrößen und Variantenvielfalt, Produktkomplexität sowie erforderlicher und vorhandener Qualifikation finden sich in den wettbewerbsrelevanten Bereichen der gewerblichen Wirtschaft in Deutschland? All das wissen wir nicht. All das aber wäre wichtig, um mögliche Auswirkungen unterschiedlicher Industrie 4.0-Szenarien in der Tiefe und Breite einigermaßen einschätzen zu können und um daraus Konsequenzen für Bildung und Qualifizierung abzuleiten. Dieser kurze Abriss zeigt: wir wissen kaum etwas über die empirischen Zusammenhänge von Arbeit und Technisierung. Wir wissen erst recht nichts über die Vielfalt von Produktionsarbeit, die wir heute haben. Es fehlen Forschungsstrukturen, die einen systematischen Zusammenhang herstellen zwischen qualitativ beobachtetem Wandel *innerhalb* von Betrieben und deren Relevanz in der Breite. Datenbasiert lassen sich daher heute schon nur selten Ergebnisse ableiten, die branchenspezifisch und tragfähig genug sind um für (interessen-)politisches Handeln eine ausreichende Orientierungshilfe zu bieten.

1.3 Aufbau und Fokus dieser Expertise

Der noch bestehende Mangel an konkreten Aussagen über zukünftige Qualifikationsanforderungen (vgl. Kap. 1.1) und das systematische Forschungsdefizit zu bisherigen Auswirkungen der Digitalisierung auf Arbeit (vgl. Kap. 1.2) sollen hier – soweit das aktuell möglich ist, konkretisiert werden. Um möglichst konkrete Einschätzungen zum Thema Qualifizierung vornehmen zu können, nimmt die folgende Darstellung zwei Schwerpunktsetzungen vor:

- Zum einen liegt der Fokus bewusst auf den *Kernbereichen industrieller Produktionsarbeit*. Es kann hier zwar nicht mit bearbeitet werden, ist aber für die Einschätzung der gesamten Veränderungsdynamik von Arbeit höchst relevant, dass mit den Szenarien von Industrie 4.0 nicht nur die Produktionsarbeit oder die produzierenden Branchen im engeren Sinne betroffen sind, sondern: die vielfältige und systemische Qualität neuer Vernetzung und bspw. kostengünstigere Roboter werden auch Randbereiche des industriellen Sektors und andere Branchen verändern.
- Eine zweite Schwerpunktsetzung liegt auf dem *System der dualen Aus- und Weiterbildung*, akademische Formen der Qualifizierung und der klassische Weiterbildungssektor werden nur gestreift. Der Grund für diese Fokussierung liegt darin, dass die duale Ausbildung in Deutschland wie in Österreich eine hohe und im globalen Wettbewerb fast einmalige Stellung einnimmt. Insbesondere im gewerblich-technischen Bereich kommt der Facharbeiterebene traditionell eine Schlüsselstellung in der Qualifikationsstruktur der Beschäftigten der produzierenden Branchen zu.

Die Studie gliedert sich in mehrere Schritte. Zunächst werden die diskutierten Gestaltungsszenarien dargestellt – denn mit der Entscheidung für bestimmte Formen der Arbeitsorganisation oder für Kriterien der Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen werden Rahmenseetzungen geschaffen, die Qualifikationsanforderungen zwar nicht determinieren, aber doch in starkem Maße prägen. In diesem zweiten Kapitel (→ Kap. 2) werden auch weitere Einflussfaktoren, die neben Industrie 4.0 eine Rolle spielen, skizziert und auch Grenzen der Gestaltbarkeit thematisiert.

Das dritte Kapitel (→ Kap. 3) widmet sich dem bisherigen und weitgehend unterschätzten Beitrag des dualen Systems beruflicher Bildung *für* die Innovationsfähigkeit in wettbewerbsrelevanten Branchen; diskutiert wird dabei auch die Innovationsfähigkeit *des* Qualifizierungssystems selbst – diese Fokussierung ist im Kontext von Industrie 4.0 von besonderer Bedeutung, da bislang die Facharbeiterebene – und damit die Erstausbildung im dualen System – eine zentrale Rolle in der Qualifizierungsstruktur der industriellen Produktionsarbeit darstellt. Zudem stellt sich angesichts des erwarteten disruptiven Wandels die Frage, inwieweit das historisch gewachsene System mit seinen eingespielten Akteuren und stark institutionalisierten Strukturen ausreichend agil und pro-aktiv ist um den Wandel von der Qualifikationsseite her ausreichend zu begleiten.

Wer über die Qualifizierung der Zukunft sprechen will, muss auch den Diskurs über die Auswirkungen von Industrie 4.0 auf Beschäftigung in den Blick nehmen. Nur für die Arbeit schließlich, die nicht neuen Automatisierungsoptionen zum Opfer fällt, stellt sich zukünftig die Frage nach einer Re- oder De-Qualifizierung und möglicherweise nach neuen Qualifizierungsinhalten und -wegen. Bei der Einschätzung, welche Arbeit bestehen bleibt und welche automatisiert werden wird, werden jedoch oft unzureichende Annahmen über den Routinegrad, insbesondere von Arbeit im Produktionsumfeld, vorgenommen. Diese oft zu kurz greifende und oft irreführende Sichtweise wird im vierten Kapitel (→ Kap. 4) dargestellt und der in der Arbeitsmarktforschung vorherrschende Defizitblick mit einem auf die Ressource menschlichen Arbeitsvermögens erweitert.

Das fünfte Kapitel (→ 5) betrachtet spezifisch vier qualifikationsrelevante, technische Dimensionen von Industrie 4.0. Diese führen explizit nicht zu einem technikedeterministischen Blick, sondern sollen der Vielfalt und der Heterogenität all der Entwicklungen gerecht werden, die unter dem Label Industrie 4.0 diskutiert werden. Wenn man zu Einschätzungen über Qualifikationsanforderungen kommen will, macht es einen Unterschied, ob von einem Schicht-Doodle oder von additiven Verfahren die Rede ist. Diese Differenzierung wird zunächst anhand von konkreten Einsatzszenarien beschrieben, um dann im sechsten Kapitel (→ 6) im Hinblick auf Qualifikationsanforderungen und -zielgruppen konkretisiert zu werden. Daran anschließend diskutiert das letzte Kapitel (→ 7) zentrale Handlungsoptionen.

2 Einflüsse und Rahmen: Gestaltungsoptionen und -grenzen

Mit Szenarien der Cyber-Physical Systems (CPS) und der Smart Factory (Kagermann u. a., 2013: S. 5ff.) verbindet sich die Vision eines „völlig neue[n] Konzept[s] der Produktionsautomatisierung“ (Hirsch-Kreinsen, 2014a). Was die Entwicklung für die Beschäftigten in der Produktion bedeutet, ist noch nicht klar umrissen. So wird zwar betont, dass der Mensch nicht zu „biologischen Robotern degradiert“ werde (Bauer u. a., 2014: S. 18) und allenfalls repetitive und körperlich belastende Arbeiten verschwinden – zu Gunsten kreativer Wissensarbeitsplätze in der Produktion (Neumann, 2014; Spath, 2013: S. 20ff.). Andererseits zeigt die bisherige Geschichte der Digitalisierung von Arbeit, dass mögliche positive Auswirkungen für Arbeit nicht automatisch eintreten oder gar quasi naturwüchsig in die Technik „eingebaut“ sind, sondern bewusst gestaltet werden müssen. Das zeigen etwa Phänomene von Entgrenzung und Arbeitsverdichtung, der Standardisierung von Wissensarbeit aber auch der erleichterten globalen Arbeitsteilung.

Insgesamt herrschen in der Diskussion diametrale Szenarien vor, die jeweils suggerieren, es gäbe den einen oder den anderen Weg und die jeweils ein Positiv- und ein Negativszenario unterscheiden und zwar auf den Ebenen der Arbeitsorganisation, der Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine und im Hinblick auf Beschäftigungseffekte:

- So bewegen sich Einschätzungen zur **Arbeitsorganisation** im Zuge von Industrie 4.0 überwiegend zwischen zwei Polen: einer *Polarisierung* zwischen qualifizierten Experten auf dispositiver und einfachen, angelernten Tätigkeiten auf operativer Ebene und einer *Schwarm-Organisation*, die qualifiziertes Personal mit hohen Autonomiespielräumen auf der dispositiven und der operativen Ebene verortet (Hirsch-Kreinsen, 2014b: S. 23ff.).
- Einer letztlich ähnlichen Logik folgen die als alternativ diskutierten Konzepte in der Qualifikationsdebatte, die stärker unterschiedliche Szenarien der **Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine** in den Blick nehmen. Dabei wird das *Werkzeugszenario* (Expertensysteme für qualifizierte Fachkräfte) einem *Automatisierungsszenario* (Einschränkung der Autonomie von Fachkräften) gegenübergestellt (Windelband/Spöttl, 2012: S. 217).
- Ebenso diametral zeigen sich die Einschätzungen zu **Beschäftigungseffekten**: Während Unternehmensberatungen für Deutschland einen Zuwachs an Beschäftigung prognostizieren – etwa die Boston Consulting Group, die von 390.000 zusätzlichen Arbeitsplätzen ausgeht (Rüßmann u. a., 2015), prognostizieren Frey und Osborne (2013) für 47 Prozent der Beschäftigten in den USA ein hohes Risiko der Rationalisierung durch Big Data, Robotik und intelligente Algorithmen; mit dem gleichen methodischen Ansatz berechnet Bowles auf Basis der ILO Daten für Deutschland ein Automatisierungsrisiko von sogar 51 Prozent (Bowles, 2014). Ein Abbau von Beschäftigung – so die Einschätzung zumindest für die Automobilindustrie – sei auch in Deutschland nicht vermeidbar, werde aber aufgrund des demografischen Wandels sozialverträglich gestaltet werden können (Neumann, 2014).

Solche Gegenüberstellungen nach Schwarz-Weiß-Manier suggerieren, wir stünden an einer eindeutig auszumachenden Wegscheide, an der es gelte, sich alternativlos für den einen oder anderen Pfad zu entscheiden. Die Realität wird vielschichtiger sein, die Entwicklungen widersprüchlich und höchst ungleichzeitig. Diametrale Szenarien sind Zuspitzungen, die im Diskurs über Industrie 4.0 helfen zu klären, was auf dem Weg in die Zukunft der Arbeit gestaltet werden soll. Die dafür notwendigen Entscheidungen aber müssen aktiv und oft kleinteilig und mühsam auf betrieblicher und gesellschaftlicher Ebene ausgehandelt – möglicherweise auch ausgestritten – werden. Was Industrie 4.0 am Ende ist, ob der Prozess den Namen „Industriel-

le Revolution“ verdient haben wird, ob technologische Optionen so gestaltet werden, dass Arbeit und Leben für viele besser wird oder ob wir alle neben dem Roboter zum ununterscheidbaren Element einer global vernetzten „Blended Workforce“ werden (vgl. dazu kritisch Pfeiffer, 2015b) – das liegt in unser aller Hände. Eine einfache Ableitung von den o.g. Szenarien auf Konsequenzen für die Aus- und Weiterbildung ist daher wenig zielführend. Hinzu kommt, dass einige andere Entwicklungen den Pfad in die Industrie 4.0 beeinträchtigen können, ihn holpriger und kaum zu bewältigen oder besser und schneller gehbar machen. Einige weitere Einflussfaktoren für die Entwicklung von Industrie 4.0 haben teils verstärkende, teils konterkarierende Effekte, sie sind selbst widersprüchlich und komplex und lassen sich ebenfalls nicht seriös in die Zukunft zu prognostizieren. Es sollen hier nur drei genannt werden, die für den Verlauf von Industrie 4.0 und die Frage der Qualifizierung besonders relevant sein könnten:

- Disruptive Veränderungen auf der **Produktebene**: Gerade beim Thema *Elektromobilität* wird das am deutlichsten. Verändern sich hier die Nutzungsformen ausreichend für eine disruptive Zunahme an Elektrofahrzeugen mit großen Einschnitten in der Produktion von Automobilen mit Verbrennungsmotoren, hätte das möglicherweise mehr Auswirkungen auf Beschäftigung und Qualifikation als Industrie 4.0. Mit abnehmenden Anteilen von Mechanik im Massenprodukt Auto ändern sich nicht nur die Produktionsprozesse bei den fokalen Herstellerunternehmen, sondern ganze Wertschöpfungsketten bis zu kleinsten Zulieferern würden sich neu konfigurieren und es gäbe immense Effekte auf die Ausrüsterbranchen: Die Bedeutung spanender und umformender Metallverarbeitung würde sich massiv verändern mit nicht absehbaren Effekten für Beschäftigung und Qualifizierung.
- Disruptive Veränderung auf der **Materialseite**: Während im aktuellen Diskurs vor allem IT-getriebener Wandel als innovativ und besonders wettbewerbsrelevant eingeschätzt wird, erweisen sich möglicherweise Innovationen im Bereich Materialien und Werkstoffe als mindestens genauso veränderungsrelevant. Für den Bereich Industrie 4.0 wird dabei wohl vor allem der Werkstoff Graphen eine zentrale Rolle spielen. Gelingt es etwa im kommenden Jahrzehnt, additive Verfahren mit dem Werkstoff *Graphen* für den industriellen Alltagseinsatz zu entwickeln, könnte dies einen Großteil der bislang vorherrschenden Fertigungsverfahren obsolet machen oder zumindest radikal verändern. Auch hier könnten die Effekte auf Beschäftigung und Qualifikation dramatischer sein als in den bislang unter dem Stichwort Industrie 4.0 diskutierten Szenarien.
- Veränderungen im **Arbeitskraftangebot**: Einige Volkswirtschaften in Europa leiden an einer *demografischen Entwicklung*, die mit einer rasanten Zunahme älterer Menschen im Erwerbsleben einhergeht und neben dem Gesundheits- und Pflegesektor insbesondere in den MINT-Bereichen (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik) in manchen Gegenden und Branchen heute schon zu einem spürbaren *Fachkräftemangel* führt. Auf der anderen Seite beobachten wir beharrlich hohe Quoten bei der *Jugendarbeitslosigkeit* in Südeuropa und zum Beispiel in Deutschland, dass trotz guter Arbeitsmarktkonjunktur ein erschreckend hoher Anteil von Jugendlichen nicht in den Arbeitsmarkt und in Ausbildungsangebote integriert wird. Die jungen Menschen, die vor kurzem oder gerade erst im Arbeitsmarkt ankommen – die *Millennials* und die Generation Z – scheinen, das zumindest legen aktuelle Studien nahe, andere Ansprüche an Arbeit vor allem in puncto Vereinbarkeit zu haben. Unternehmen können aus vielerlei Gründen das Angebot auf dem Arbeitsmarkt nicht mehr so gut kalkulieren wie früher und müssen in Teilarbeitsmärkten mehr als in den vergangenen Jahrzehnten unterschiedliche Strategien entwickeln – mit offenem Ausgang. Gleichzeitig bietet die Globalisierung und die Digitalisierung den Unternehmen neue Möglichkeiten, sich vom lokalen Arbeitskraftangebot noch unabhängiger zu machen: Sei es durch weiter getriebenes *Offshoring* oder durch neue Modelle wie Crowd Working oder die On demand- oder Sharing-Ökonomie.

Schließlich sind in einer globalen und zunehmend ökonomisch wie technisch aufs engste vernetzten Welt, **globale und gesellschaftliche Veränderungen** – auch solche in anderen Orten der Welt – ebenfalls wirkmächtig und teils weniger national gestaltbar als heute. Der Klimawandel, neue geo-politische Konflikte, eine sich immer weiter dramatisierende soziale Ungleichheit in den entwickelten Volkswirtschaften und die zunehmende Bedeutung wie Verwundbarkeit der globalen Infrastrukturen – diese historisch in größeren Phasen verlaufenden Veränderungen können ebenfalls alle heute diskutierten Industrie 4.0-Szenarien in einem Handstreich ad absurdum führen. In diesen Kontext einer globalen Betrachtung gehört auch: Themen wie Qualifizierung und Arbeit, die bislang weitgehend im nationalen Kontext gestaltet und von nationalen Akteurkonstellationen ausgehandelt wurden, zunehmend durch globale Akteure und transnationale Strategien strukturiert werden: Insbesondere IT-Technik und Datenstrukturen werden durch die *global player* aus dem Silicon Valley und zukünftig wohl auch zunehmend von IT-Unternehmen in Asien bestimmt. Transnationale Handelsabkommen und damit verbundene Rechtslagen zielen explizit auf die Aushebelung nationaler Regulierungsmodelle. Wer zukünftig Arbeit und Qualifizierung im lokalen Kontext gestalten will, muss die Veränderung der Grenzen von Gestaltung auf dieser Ebene im Blick haben.

3 Zur Innovationsrelevanz und -fähigkeit des dualen Systems

Das Fach- und Erfahrungswissen der im dualen System qualifizierten Beschäftigten hat im Bereich des produzierenden Sektors eine besondere Bedeutung, nicht nur kulturell und traditionell, sondern auch ganz faktisch innovationsrelevant und wettbewerbsentscheidend. Diese Ausgangssituation ist anzuerkennen und zu berücksichtigen, wenn es um Abschätzungen zur zukünftigen Entwicklung geht. Der dazu einschlägige Forschungsstand wird nachfolgend entlang von sechs Thesen zusammengefasst.

3.1 Das duale System als wichtiger Träger des Innovationsgeschehens

Jenseits der volkswirtschaftlichen Kennzahlen zeigen auch die Ergebnisse der qualitativen Innovationsforschung: Innovation macht nicht an den FuE-Abteilungsgrenzen Halt. Sie entsteht im Zusammenspiel unterschiedlichster Disziplinen, Abteilungen und über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg. Und auch hier finden sich neben den akademisch Qualifizierten ebenso Beschäftigte mit einer Qualifikation im dualen System. So wirken Beschäftigte mit technischen oder naturwissenschaftlich orientierten Berufsabschlüssen wesentlich an Innovationsprojekten mit, und zwar innerhalb von FuE-Abteilungen, als Facharbeiterinnen und Facharbeiter im Prototypenbau, im Bereich Versuch oder Inbetriebnahme, als technische Zeichnerinnen und Zeichner in der Konstruktion oder als Laborantinnen und Laboranten verschiedener Fachrichtungen (Kädtler u. a., 2013). Schon diese Aufzählung zeigt: Innovative Produkte benötigen zunehmend Wissen aus verschiedenen Engineering-Phasen (von der Entwicklung bis zur Wartung) und Engineering-Disziplinen (Maschinenbau, Elektrotechnik, Softwaretechnik), die in jeweils unterschiedlich langen Lebenszyklen zum Einsatz kommen (Li u. a., 2012).

In ausgesprochen innovativen Unternehmen des Maschinenbaus etwa zeigt sich die besondere Rolle beruflich Qualifizierter für ein umfassendes Innovationsgeschehen entlang des gesamten Produktlebenszyklus: in der auftragsspezifischen Entwicklung, Produktion und Montage, aber auch in den Bereichen Vertrieb, Prozessplanung, Beschaffung sowie Service und Instandhaltung (Wühr u. a., 2012). Damit leisten gerade auch solche Bereiche unverzichtbare Beiträge zum betrieblichen Innovationserfolg, in denen der Anteil beruflich Qualifizierter gegenüber akademisch Qualifizierten üblicherweise stark dominiert. Auch in der Automobilindustrie arbeiten gerade an der Schnittstelle zwischen Produktinnovation, Produktionstechnologie sowie Anlagen- und Prozessplanung Ingenieurinnen und Ingenieure sowie Facharbeiterinnen und Facharbeiter eng zusammen. Innovative Prozessverbesserungen und damit verknüpfte Innovationsideen leiten sich dort häufig aus den Erfahrungen der Facharbeiterinnen und Facharbeiter ab (Schulze, 2000). Eine Schlüsselrolle spielt dabei der Werkzeugbau und die manuelle Arbeit der dort tätigen Facharbeiterinnen und Facharbeiter (Haasler, 2004).

3.2 Das duale System ermöglicht innovative Organisationsformen

Neben Produkt- und Prozessinnovationen werden innovative, das heißt bewegliche, partizipative und schlanke Formen der Organisation zunehmend wettbewerbsentscheidend. Gemeinhin wird angenommen, dass eine höhere formale und stärker akademisierte Qualifikation besser auf eine Tätigkeit in Organisationszusammenhängen vorbereiten würde, die mehr Autonomiespielräume zugestehen, aber eben auch zumuten. Die Empirie aber belegt: Offenbar macht auch das Modell der dualen Berufsausbildung Beschäftigte, Unternehmen und ihre Arbeitsorganisationen fit für die Zukunft. Ein europäischer Vergleich von Arbeitsorganisationsformen in der produzierenden Industrie etwa zeigt nicht nur, dass sich in Deutschland signifikant häufiger lernende Organisationsformen (definiert nach Kriterien wie Lernanforderungen, Aufgabenkomplexität oder Problemlösungsaktivität) finden, sondern dass es hier auch einen klaren Zusammenhang gibt mit dem System der beruflichen Ausbildung (Lorenz/Valeyre, 2005). Je mehr Fachkräfte mit beruflicher Ausbildung sich in der Produktion finden, desto schlanker können die Führungsebenen gestaltet sein. Dies bestätigen Vergleiche des deutschen Maschinenbaus mit dem Maschinenbau in der Schweiz und in Großbritannien (Ryan u. a., 2011) ebenso wie in Frankreich (Harzing/van Ruysseveldt, 2005).

Interessant ist aber nicht nur der Zusammenhang zwischen beruflicher Bildung und effektiveren und innovativeren Arbeitsorganisationsformen in der Produktion, sondern auch die damit verbundene höhere Fähigkeit von Unternehmen, das Potenzial neuer Produktionstechnik auch auszuschöpfen: So haben zwar alle in der Studie verglichenen Länder ab Ende der 1970er Jahre begonnen, elektronisch gesteuerte Werkzeugmaschinen (CNC-Maschinen) einzuführen, nur in Deutschland aber gelang es, das Potenzial der Produktionsplanung und -steuerung von Maschinen zielgerichteter zu verwerten (ebd.: 126). Eine Feststellung, die gerade angesichts der aktuellen Debatten um die Umsetzung von Industrie 4.0 verdeutlicht, wie entscheidend berufliche Qualifikation für Innovationen ist. Berufe reagieren offensichtlich nicht nur auf veränderte technische Anforderungen, sondern auch – und dies scheint zukünftig mindestens genauso wichtig – auf veränderte Formen der Arbeitsorganisation. Berufsausbildung sozialisiert heute schon immer weniger auf hierarchische Formen der Arbeitsorganisation, sondern auf Selbstorganisation und auf flexible Formen der Arbeitsorganisation (Bosch, 2014). Die Fähigkeit, sich veränderte Organisationsformen anzueignen, um in ihnen schnell und umfassend zu agieren, wird in einer sich rasant wandelnden Arbeitswelt immer relevanter. Notwendig ist dazu ein komplexes Bündel an informellen und habituellen Fähigkeiten, die als »organisationales Arbeitsvermögen« bezeichnet werden können. Um dieses zu entwickeln, erweist sich eine dreijährige Berufsausbildung mit ihrem »Lernort Betrieb« als ein fruchtbares Umfeld (Pfeiffer u. a., 2014). Gerade um partizipative Arbeitsstrukturen aufzubauen, müssen Kompetenz- und Organisationsentwicklung miteinander verknüpft werden. Dabei leisten Beschäftigte, die sich mit dem Produkt identifizieren, einen wesentlichen Beitrag (Antoni u. a., 2013).

Innovative und sich immer dynamischer wandelnde Arbeitswelten fordern von Fachkräften vor allem einen souveränen Umgang mit Komplexität. Wie das Bildungssystem darauf am besten vorbereitet, wird aktuell kontrovers unter dem Stichwort der Akademisierung (Nida-Rümelin, 2014) diskutiert und steht im Mittelpunkt der nächsten drei Thesen. Dabei wird insbesondere die übliche Unterscheidung zwischen Theoriewissen und praxisgebundenem Erfahrungswissen kritisch diskutiert. Und es wird gezeigt: Komplexe Ökonomien wie Deutschland oder Österreich sind auf vielfältige Qualifikationsinhalte, -orte und -wege angewiesen und werden dies zukünftig noch stärker sein. Akademisches Wissen gegen praktische Erfahrung auszuspielen, ist daher kontraproduktiv. Notwendig ist vielmehr, dass beide, also berufliche *und* hochschulische Aus- und Weiterbildungswege mehr Meta- und Theoriewissen vermitteln sowie die Fähigkeit zu erfahrungsbasierten und praktischen Lösungen.

3.3 Komplexe Ökonomien brauchen vielfältige berufliche Qualifizierungswege

Neuere volkswirtschaftliche Betrachtungen zur Komplexität von Ökonomien zeigen: Je mehr unterschiedliche Produkte exportiert werden können, desto komplexer ist eine Volkswirtschaft und desto mehr nicht handelbare Güter, wie Eigentumsrechte, Regulierungen, Infrastrukturen und spezifische Qualifikationen der Arbeitskräfte, sind entstanden – Ressourcen also, die nicht einfach von anderen Ländern importiert oder kopiert werden können (Hidalgo/Hausmann, 2009). Ein zentraler Indikator für die Fähigkeiten komplexer Ökonomien ist dabei die Anzahl der Beschäftigungskategorien, die in ein Produkt einfließen (ebd.: 10573). Offensichtlich entscheidet die Differenziertheit und hohe Spezialisierung von beruflichen Profilen wesentlich über die Entwicklung komplexer Ökonomien – und ist gleichzeitig deren Effekt. Deutschland führt vor Japan und der Schweiz das weltweite Ranking an: Hier werden mit Abstand die meisten hochkomplexen Produkte hergestellt. Aber gerade deshalb wird Deutschland am unteren Ende der Skala zu den Zukunftsaussichten verortet (Hausmann/Hidalgo, 2014): Deutschland könne nur dann neue Wachstumschancen generieren, wenn vorhandene und entstehende Fähigkeiten neu kombiniert und auf dieser Basis völlig neue Produkte entwickelt würden. Diese Berechnungen des Massachusetts Institute of Technology (MIT) zeigen: Differenzierte berufliche Fähigkeiten sind Folge und Voraussetzungen komplexer und daher erfolgreicher Ökonomien. Deutschland ist hier besonders gut aufgestellt, kann aber aus dieser Spitzenposition heraus nur dann weitere Erfolge erzielen, wenn die vorhandenen Fähigkeiten in ihrer Vielfalt aus beruflicher und akademischer Qualifikation systematischer genutzt werden.

3.4 Akademische und berufliche Qualifikation sind kein Gegensatz

Qualifizierungseinsteiger, Berufstätige und etablierte Führungskräfte sind zu hohen Anteilen im Dualen System und akademisch qualifiziert. Beschäftigte reagieren schon heute auf den Bedarf, unterschiedliche Lehrformen, -orte und -inhalte zu verbinden. Oft wird übersehen, dass in Deutschland neben dem »rein beruflichen« und dem »rein akademischen« immer schon der »beruflich-akademische« Bildungstyp eine hohe Bedeutung hatte: So nimmt zwar der Anteil ausschließlich beruflich qualifizierter Führungskräfte zwischen 1984 und 2008 ab und der Anteil rein akademisch qualifizierter Führungskräfte im selben Zeitraum zu. Gleichzeitig aber hält sich der Anteil von Führungskräften mit einem beruflichen und einem akademischen Abschluss seit 1993 relativ konstant bei knapp unter 20 Prozent. Insgesamt hat weit mehr als die Hälfte aller Führungskräfte in der deutschen Privatwirtschaft eine duale Berufsausbildung absolviert (Franz/Voss-Dahm, 2011). In besonders innovativen Branchen wie dem Maschinenbau und der Automobilindustrie liegt ihr Anteil mit 21 Prozent am höchsten, obwohl in diesem Bereich auch der höchste Anteil von rein akademisch qualifizierten Führungskräften zu finden ist (ebd.).

Viele Schulabgängerinnen und -abgänger scheinen wenig Lust zu spüren, sich frühzeitig auf den einen oder anderen Weg festzulegen: Im Jahr 2012 ist über die Hälfte der Jugendlichen, die eine berufliche Ausbildung beginnen, studienberechtigt. Umgekehrt verfügt ein Fünftel der Studienanfängerinnen und Studienanfänger bereits über eine abgeschlossene berufliche Ausbildung. Dabei führt der sogenannte dritte Bildungsweg, der ja gerade beruflich Qualifizierten den Einstieg in die akademische Weiterqualifizierung erleichtern soll, bislang ein Schattendenda-

sein (BMBF, 2014). Allerdings entscheiden sich Studienberechtigte heute nur selten für Ausbildungsberufe im gewerblich-technischen Bereich (Ahrens/Spöttl, 2014). Sollten die Maßnahmen einer forcierten Durchlässigkeit zukünftig verstärkt greifen und duale Studienmodelle weiter zunehmen, bei denen Berufsausbildung und Studium kombiniert werden, ist eine klare Trennung des beruflichen und des akademischen Pfades beruflicher Qualifizierung umso mehr hinfällig. Schließlich wird ein hoher Praxisanteil auch innerhalb der akademischen Ausbildung immer mehr geschätzt: In Baden-Württemberg wird schon jetzt ein Viertel der Bachelor-Abschlüsse an Fachhochschulen als duales Studium angeboten (BMBF, 2014).

3.5 Erfahrung ist innovationsrelevant – auch bei den akademisch Qualifizierten

In den letzten Jahren ist zunehmend eine Debatte um die Akademisierung der beruflichen Qualifizierung entbrannt. Die einen fordern vehement, Erfahrungswissen durch »systematisches«, also theoretisches und wissenschaftliches Wissen zu ersetzen (Baethge u. a., 2007). Die Gegenposition betont die eigenständige und gesellschaftliche (wie ökonomische) Bedeutung des praktischen, »propositionalen« Wissens, wie es der »gute Handwerker« habe, »der nicht in der Lage ist, mit Worten zu erläutern, warum der Handgriff genau in dieser Weise richtig« sei, zur Vermittlung dieses Wissens aber reiche in »vielen Fällen [...] das Zeigen« (Nida-Rümelin, 2014: S. 89). Ein paar Jahre vorher argumentierten auch Sennett (2009) oder Crawford (2009) wie Nida-Rümelin zu Recht gegen die so alte wie falsche Gegenüberstellung von *knowing that* und *knowing how*.

Beide Positionen – die geforderte verstärkte Akademisierung wie die Rückbesinnung auf das einseitig verstandene Handwerkliche – zelebrieren letztlich ein historisch längst überholtes Bild des Handwerks. Dieses entspricht weder modernen Handwerksberufen noch anderen Berufen mit einem hohen Anteil an manuellen, leiblich gebundenen Formen des Wissens und Könnens – seien es gewerblich-technische Berufe im industriellen Bereich oder pflegerisch-soziale Berufe. Auch diese Berufe sind längst und notwendigerweise angereichert mit gestiegenen Anforderungen an theoretisch-abstraktes Wissen sowohl in der Ausbildung wie in der beruflichen Praxis. Das gilt selbst für sogenannte »einfache Arbeit« (Pfeiffer, 2007). Umgekehrt geht es gerade in innovativen Bereichen nicht um ein »Ende des Erfahrungswissens« (Baethge u. a. 2007), sondern um die Verbindung von produktionstechnologischem Theoriewissen und dem Praxiswissen der Fachkräfte in der Produktion mit dem ingenieurwissenschaftlichen Theorie- und dem ingenieurpraktischen Erfahrungswissen der Entwicklungsingenieurinnen und -ingenieure (Pfeiffer, 2010b). Dieses fruchtbare Zusammenspiel ist gefährdet, wenn akademische Qualifizierung nur noch »Moderations-Mechatroniker« für ein »Engineering by Powerpoint« ausbildet, so beschreiben betriebliche Akteure die zu wenig mit betrieblicher Praxis geerdeten Absolventinnen und Absolventen aus ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen (Pfeiffer u. a. 2012). Facharbeiter und Ingenieure brauchen – je spezifisches, aber in der Zusammenarbeit kompatibles – Erfahrungswissen und Theoriewissen, gerade in innovativen und technologiegetriebenen Unternehmen. Dabei wird die praxisgebundene Erfahrung zur entscheidenden Ressource im Umgang mit Unwägbarkeiten und Komplexität (Böhle u. a., 2004) und in digitalisierten Arbeitswelten (Pfeiffer, 2014).

4 Vom Defizitblick zur Ressource

Die Qualifizierungsfrage lässt sich nicht losgelöst sehen von Einschätzungen zu den Beschäftigungseffekten, die mit Industrie 4.0 einhergehen bzw. erwartet werden. Es handelt sich um eine Frage von gesellschaftlicher Brisanz, ob und welche menschliche Tätigkeiten wegfallen bzw. entstehen werden. Und es liegt auf der Hand, dass es darauf keine einfachen Antworten geben kann. Zum einen weil wir es mit disruptiven technischen Veränderungen zu tun haben. Zum anderen, weil das Ergebnis der Entwicklung keine sich aus der Technik kausal ableitende Folge ist. Trotzdem sind wir aktuell mit diametralen Prognosen konfrontiert: Während die einen für Deutschland 390.000 neue Jobs prognostizieren (Rüßmann u. a., 2015), rechnen andere auf Basis der Methodik von Frey/Osborne (2013) für Deutschland mit dem Verlust von über 51 Prozent der Arbeitsplätze (Bowles, 2014).

Basis solcher Einschätzungen ist jeweils, ob Tätigkeiten als Routinearbeit betrachtet werden, wird diese doch als besonders anfällig für Automatisierung gesehen. Angesichts der neuen technischen Szenarien sind zukünftig auch Tätigkeiten jenseits der ‚üblichen Verdächtigen‘ betroffen: mit dem fahrerlosen Auto oder mit Expertensystemen auf Basis von Big Data und intelligenten Algorithmen zu deren Auswertung könnte es nicht nur repetitive, einfache Industrie- oder Administrationsarbeit treffen, sondern auch die Paketfaherin oder den Facharzt – so zumindest aktuelle Einschätzungen (Brynjolfson/McAfee, 2014; Pistono, 2014). Trotz dieser möglichen Erweiterung eines technisch induzierten Rationalisierungspotenzials auf menschliche Arbeit, bleibt weiterhin die Unterscheidung zwischen Routine und Nicht-Routine leitend bei der Abschätzung der Betroffenheit unterschiedlicher Berufe und Tätigkeiten. Während Routinearbeit als automatisierbar und damit ersetzbar gilt, werden bspw. interaktive oder analytische sowie pflegende Tätigkeiten tendenziell als technisch nur schwer substituierbar gesehen. Bei allen Studien dieser Art ist das Vorgehen ähnlich: Zunächst werden einzelne Tätigkeiten als Routine oder als Nicht-Routine eingeordnet, um auf dieser Basis dann für unterschiedliche Berufe oder Qualifikationsniveaus das quantitative Ausmaß der Betroffenheit hochzurechnen. Während der zweite Schritt ein reiner Rechenschritt ist, ist der erste alles andere als trivial: Er ist methodisch nur tragfähig, wenn a) Routine klar definiert ist und b) die Zuordnung von Routine/Nicht-Routine zu einzelnen Tätigkeiten empirisch basiert, eindeutig und hinreichend trennscharf zu treffen ist. Nur wenn diese Annahmen und Schritte plausibel, valide und methodisch nachvollziehbar sind, erlauben sie Einschätzungen zu einer *potenziellen* Betroffenheit. Diese wäre immer noch zu unterscheiden von einer Prognose zur *realen* Betroffenheit – schließlich lehrt uns die Geschichte der ersten drei Industrialisierungs-Stufen: Welche menschlichen Tätigkeiten ersetzt (oder bspw. verlagert werden) – das wird sich auch in der vierten industriellen Revolution letztlich entlang ökonomischer Kriterien und nicht schlicht auf Basis der technischen Machbarkeit entscheiden.

4.1 Zu den Grenzen des Routine-Ansatzes

Alle Einschätzungen zu Beschäftigungseffekten in Folge neuer Digitalisierungswellen nehmen ihren Ausgang in der Unterscheidung von Routine- und Nicht-Routine-Tätigkeiten, wobei Routine als technisch ersetzbar gilt und Nicht-Routine als (noch) nicht automatisierbare Sphäre menschlichen Arbeitshandelns. So basal und relevant diese Unterscheidung für alle weiteren Ableitungen und Hochrechnungen also ist, so wenig klar und eindeutig ist sie. In ihrer vielzitierten Studie bewerteten („subjectively hand-labelled“) Frey und Osborne (2013: S. 30) 70 Tätigkeiten im Rahmen eines Workshops entlang einer Automatisierungswahrscheinlichkeit zwischen 1 und 0. Dies tun sie immerhin nicht alleine, sondern gemeinsam mit Forschern aus dem Bereich lernender Systeme. Allerdings sind dies keine Experten für Arbeit, sondern Experten der *leading edge*-Technikentwicklung. Experten also, die möglicherweise als Folge einer *déformation professionnelle* die stofflichen Besonderheiten und die Komplexität von Arbeitssituationen systematisch unterschätzen. Welche Experten dies waren, wie genau die Einschätzung zur Automatisierbarkeit vorgenommen wurde und welches Verständnis von Routine dabei leitend war – all das legt die Studie nicht offen (vgl. Pfeiffer/Suphan, 2015).

Für Deutschland bspw. werden ähnliche Einschätzungen üblicherweise auf Basis der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung vorgenommen – der mit über 20.000 repräsentativ Befragten größten und wiederholt durchgeführten tätigkeitsbasierten Erhebung in Deutschland. Es gibt eine ganze Reihe von Studien, die anhand dieser Daten in den letzten Jahren Zusammenhänge zwischen technischer Entwicklung und Beschäftigungseffekten herausgearbeitet haben (etwa Alda, 2013; Antonczyk u. a., 2008; Spitz-Oener, 2007). Dabei werden üblicherweise keine Technikexperten hinzugezogen, die Zuordnung von Tätigkeiten entlang von Routine/Nicht-Routine erfolgt jedoch auch hier, ohne dass der Begriff der Routine – theoretisch oder empirisch – hergeleitet und ohne dass die Entscheidung der jeweiligen Einordnung nachvollziehbar gemacht würde. Sie beruht damit wohl ebenfalls auf subjektiven Einschätzungen – eine möglicherweise nicht ausreichende Basis, will man anhand ihrer zu quantitativen Aussagen über Beschäftigungseffekte in Folge von denkbarer technischer Automatisierung kommen.

Sehen wir uns das an einem Beispiel an, das für das Thema Industrie 4.0 besonders relevant ist – die Arbeit an, mit oder in Bezug zu Maschinen. In der aktuellen BIBB/BAuA-Befragung von 2012 findet sich lediglich ein einziges Tätigkeits-Item, bei dem das Wort „Maschine“ vorkommt: Gefragt wird wie oft „Überwachen, Steuern von Maschinen, Anlagen, technischen Prozessen“ in der eigenen Tätigkeit vorkommt. Darauf kann geantwortet werden: häufig, manchmal oder nie (Rohrbach-Schmidt/Hall, 2013). Die o.g. Studien sind sich alle einig, dass die Tätigkeit an Maschinen als manuelle Routine-Tätigkeit einzuordnen ist. Dass diese direkte Gleichsetzung von Arbeit an Maschinen mit manueller Routinearbeit deutlich zu kurz greift, zeigen zwei Beispiele aus eigener, aktueller Empirie. Beide Beispiele stammen bewusst aus bereits hoch automatisierten Bereichen der Automobilindustrie: sie stehen mit einem Automatisierungsgrad von weit über 90 Prozent für Arbeitsplätze, die sich jetzt schon durch einen hohen Vernetzungsgrad, einen starken Robotik-Einsatz und durch die IT-gestützte Identifizierung jedes Produkts auszeichnen – also technologisch bereits eine hohe Industrie 4.0-*Readiness* aufweisen:

- *Beispiel 1:* Ein Facharbeiter überwacht acht, in einer Prozessabfolge untereinander kooperierender Produktionsroboter innerhalb einer eng getakteten Serienfertigung – das typische Bild eines »Roboterballetts«. Kommt es zu Störungen oder Stillständen, behebt der Beschäftigte diese entweder selbst oder ruft – auf Basis seiner eigenen Einschätzung – die entsprechenden Spezialisten aus der Instandhaltung hinzu. Auch während einer normalen und ohne jegliche Störung verlaufenden Schicht greift er 20 bis 30 Mal an ganz unter-

schiedlichen Stellen in den Prozess ein, um sich anbahnende Störungen bereits präventiv zu vermeiden. Dafür muss der Anlagenführer eine Vielzahl unterschiedlicher technischer Zusammenhänge in ihrer Eigenlogik und in ihrem Zusammenwirken verstehen – von den Produktmaterialien über Verschleißprozesse bis zur Robotersteuerung. Sein häufiges, präventives Eingreifen wird auch im betrieblichen Umfeld erst sichtbar, wenn es nicht oder ungenügend passiert, wenn also die sich anbahnende Störung nicht antizipiert und durch angemessenes Handeln situativ vermieden würde.

- *Beispiel 2:* In einer Fertigung kommen Roboter zum Einsatz, die nicht stationär sind, sondern axial beweglich. Die Zahnstangen dieser dafür nötigen Querachsen verschmutzen im laufenden Prozess und erfordern eine regelmäßige und aufwändige Reinigung. Ein Team von Produktionsarbeitern sucht selbstorganisiert (und selbst motiviert) nach einer Lösung. In einem über Wochen verfolgten Projekt erfindet das Schichtteam ein selbst völlig verschleißfreies Reinigungszahnrad, das im laufenden Betrieb für eine permanente Reinigung sorgt. Das Team setzt dabei alles – von der Idee über die Konstruktion bis zur Suche des passenden Materials – selbst um. Das Unternehmen ermöglicht die dafür nötigen Zeitressourcen. Die gefundene Lösung wird nach einem Testeinsatz in alle Bereiche ausgerollt, das Unternehmen spart vom ersten Tag an große Summen ein.

Würden die Beschäftigten aus diesen realen Beispielen alltäglicher Produktionsarbeit in Deutschland an der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung teilnehmen, würden mangels Alternativen beim Item »Überwachen, Steuern von Maschinen, Anlagen, technischen Prozessen« wohl alle »häufig« angeben. Damit gälte ihre Arbeit entlang der oben dargestellten Kategorisierungen, wie sie in Beschäftigtenstudien üblicherweise vorgenommen werden, als Routinetätigkeit, die leicht zu automatisieren und damit ersetzbar ist. Sie zählten nach Frey/Osborne (2013) automatisch zu den rd. 50 Prozent der Tätigkeiten, die in den kommenden Jahren der Digitalisierung zum Opfer fielen. Diese Beispiele zeigen, wie wenig die tätigkeitsbasierten Massendatensätze die Vielfalt und Komplexität realer Arbeit an und mit Maschinen und Anlagen abbilden – und sie verdeutlichen, dass eine empirisch nicht fundierte Vorstellung von Arbeit an Maschinen und den dort vermuteten Routineanteilen zu erheblichen Fehlschlüssen führen kann. Beide Beispiele, das sollte die kurze Schilderung deutlich machen, stehen sicher nicht für dumpfe Routine oder repetitive Arbeit, sondern im Gegenteil: für eine Verschränkung von Fach- und Erfahrungswissen.

4.2 Arbeitsvermögen: Garant für den Umgang mit Komplexität und Wandel

Erfahrung als ‚dynamische Schwester‘ statischer Routine zeigt ihre Bedeutung gerade in komplexen und stark automatisierten sowie digitalisierten Arbeitsumgebungen. Das ist keine neue Erkenntnis in der Arbeits- und Industriesozio­logie: Schon Ende der 1980er Jahre wurde die Rolle von Erfahrung und *subjektivierendem Arbeitshandeln* beim Übergang von konventionellen auf computergesteuerte Werkzeugmaschinen entdeckt (Böhle/Milkau, 1988), später für die hochautomatisierte Prozesschemie (Bauer u. a., 2006) und die Montage (Pfeiffer, 2007) bestätigt. Das Konzept des subjektivierenden Arbeitshandelns sieht den Menschen mit allen Sinnen bei der Arbeit. Nicht nur Verstand und Logik helfen, in (zeit-)kritischen Situationen die richtige Entscheidung zu treffen, sondern auch Intuition, Bauchgefühl und Emotion. Diese Fähigkeiten bilden sich erst im Lauf der Zeit aus und finden sich daher vor allem bei erfahrenen Beschäftigten. Theoretisches Fachwissen und Routine helfen bei standardisierten Prozessen und gleichbleibenden, wiederkehrenden Anforderungen. Erfahrung aber hilft, auch unter Zeitdruck mit Unvorhergesehenem umzugehen und dabei, wenn nötig, ad hoc auch neue Handlungsmuster an den Tag zu legen (Böhle u. a., 2009). *Lebendiges Arbeitsvermögen* (Pfeiffer, 2004) versteht Erfahrung nicht als eine statische Ansammlung von Routinen, sondern als eine besondere Art, mit Dingen, Menschen und Situationen umzugehen. Auch und gerade in Arbeitsumgebungen von hoher Digitalisierung und Automatisierung spielen diese Qualitäten eines dynamischen Erfahrungswissens eine besondere Rolle, insbesondere in komplexen und unübersichtlichen Arbeitssituationen und im Umgang mit Unwägbarkeiten (Böhle u. a., 2004). Mit zunehmender Automatisierung und Digitalisierung steigt zwangsläufig die Systemkomplexität und der (noch) nicht automatisierte oder algorithmisierte Umgang mit Störungen erfordert gerade deshalb umso mehr – und nicht wie oft angenommen – weniger lebendiges Arbeitsvermögen zu ihrer situativen Bewältigung.

Erfahrung ist also deutlich vielschichtiger und nicht allein mit den Kategorien Routine oder Nicht-Routine zu beschreiben. Und sie wird gerade auf dem Weg zu Industrie-4.0-Szenarien eine große Rolle spielen. Es lohnt sich daher, die oben kritisierte, stark defizitgetriebene Perspektive auf Routine und deren Automatisierbarkeit um einen ressourcenorientierten Blick auf Erfahrung zu ergänzen. Auf Basis der BIBB/BAuA-Befragung aus dem Jahr 2012 geht es nachfolgend nicht um die Frage, welche Jobs wir in der Zukunft durch Industrie 4.0 verlieren könnten, sondern um die Frage: Haben wir heute ausreichende Kompetenzen für die *Gestaltung* von Industrie 4.0? Im Fokus steht dabei nachfolgend nicht die Frage nach neuen formalen Wissensanforderungen, sondern es geht um die notwendigen Kompetenzen, um Wandel und Komplexität zu bewältigen. Dazu haben wir, wie an anderer Stelle nachzulesen (Pfeiffer/Suphan, 2015), die Qualitäten des subjektivierenden Arbeitshandelns und lebendigen Arbeitsvermögens auf Items der BIBB/BAuA-Daten übertragen und in einem Index abgebildet. Dieser Arbeitsvermögen-Index (AV-Index) erfasst sowohl situative und strukturelle Anforderungen durch Komplexität und Unwägbarkeit als auch die Notwendigkeit subjektivierenden Arbeitshandelns im Umgang damit. Der Gesamtindex wird auf Basis des oben skizzierten Forschungsstands aus 18 Items normativ gebildet und setzt sich aus drei gewichteten Teilkomponenten und einem Multiplikator zusammen (zu den methodischen Schritten und zur Indexberechnung vgl. Pfeiffer/Suphan, 2015): Drei Items bilden *situatives Umgehen mit Komplexität* ab, sieben weitere bilden die Indexkomponente *situativer Unwägbarkeiten*, sieben Items generieren den Index zu *struktureller Komplexitätszunahme* und ein Multiplikator-Item steht für die *Relevanz von Erfahrungslernen*. Je näher der berechnete Index-Wert an 1 liegt, desto stärker benötigt die befragte Person lebendiges Arbeitsvermögen um mit situativen Unwägbarkeiten, Komplexität und Wandel umzugehen. Für 19,7 Prozent der Erwerbstätigen ist der Wert des AV-Index bei 0, bei

den restlichen 80,3 Prozent der Befragten folgt der AV-Index einer Normalverteilung. *Die große Mehrheit erreicht einen AV-Indexwert über 0,50: über 71 Prozent aller Erwerbstätigen bewältigen* also alltäglich Komplexität, Unwägbarkeiten und Wandel. In der Branche Maschinen- und Anlagenbau sind es sogar 81 Prozent. Sie können situativ handeln, auch wenn dafür nicht alle Informationen zur Verfügung stehen. Sie sind in der Lage, Erfahrungen zu machen und jederzeit anzuwenden, wenn komplexe Arbeitssituationen dies erfordern – sie tun damit das Gegenteil von Routine.

Tabelle: AV-Werte zu ausgewählten und für Industrie 4.0 besonders relevanten Berufen

Auswahl aktueller Erwerbsberufe	AV-Index [Mittelwert]	N	Std.-Abw.
Elektroberufe	0,613	365	0,272
Industrie-, Werkzeugmechaniker/-innen	0,622	346	0,267
Ingenieure/-innen	0,673	518	0,216
Techniker/-innen	0,674	680	0,214
IT-Kernberufe	0,691	504	0,188

Der Blick auf für Industrie 4.0 besonders relevante Berufe zeigt darüber hinaus überdurchschnittlich hohe AV-Indexwerte (siehe Tabelle). Demnach sind für die meisten der mit dem Industrie-4.0-Diskurs verknüpften Berufsfelder hohe Anforderungen an Komplexität und Unwägbarkeiten sowie subjektivierendes Arbeitshandeln heute schon charakteristisch. An der Spitze stehen dabei IT-Kernberufe, gefolgt von Technikern/-innen, Ingenieuren/-innen und dann bereits von den dualen Metallberufen (die Tabelle zeigt nur eine Auswahl von Industrie 4.0 relevanten, produktionsnahen Berufen mit einem dreistelligen N). Ob beruflich oder akademisch qualifiziert: In diesen Bereichen scheinen die Erwerbstätigen in ähnlichem Ausmaß ihr leistungsfähiges Arbeitsvermögen im Umgang mit Komplexität einzubringen – auch heute schon. Das gilt ebenfalls überdurchschnittlich für Industrie- und Werkzeugmechaniker/-innen – also Berufsgruppen, die in den oben dargestellten Studien zu Beschäftigungseffekten aufgrund ihrer Arbeit an Maschinen als reine Routinearbeit und damit als technisch leicht ersetzbar eingestuft wurden. Nur zum Vergleich: die Berufsgruppe „Geschäftsführung, Unternehmensberatung und Wirtschaftsberatung“ – also eine Gruppe, der üblicherweise ein besonders hohes Maß an Komplexitätsanforderungen zugeschrieben wird – erreicht einen AV-Indexwert von 0,662. Diese Gruppe liegt damit nur ganz leicht vor den Industrie- und Werkzeugmechaniker/-innen. Die nachfolgende Grafik zeigt die Mittelwerte und Streuungen für die drei Qualifikationsniveaus *low* (keine Ausbildung), *medium* (berufliche Aus- und Weiterbildung) und *high* (akademischer Abschluss).

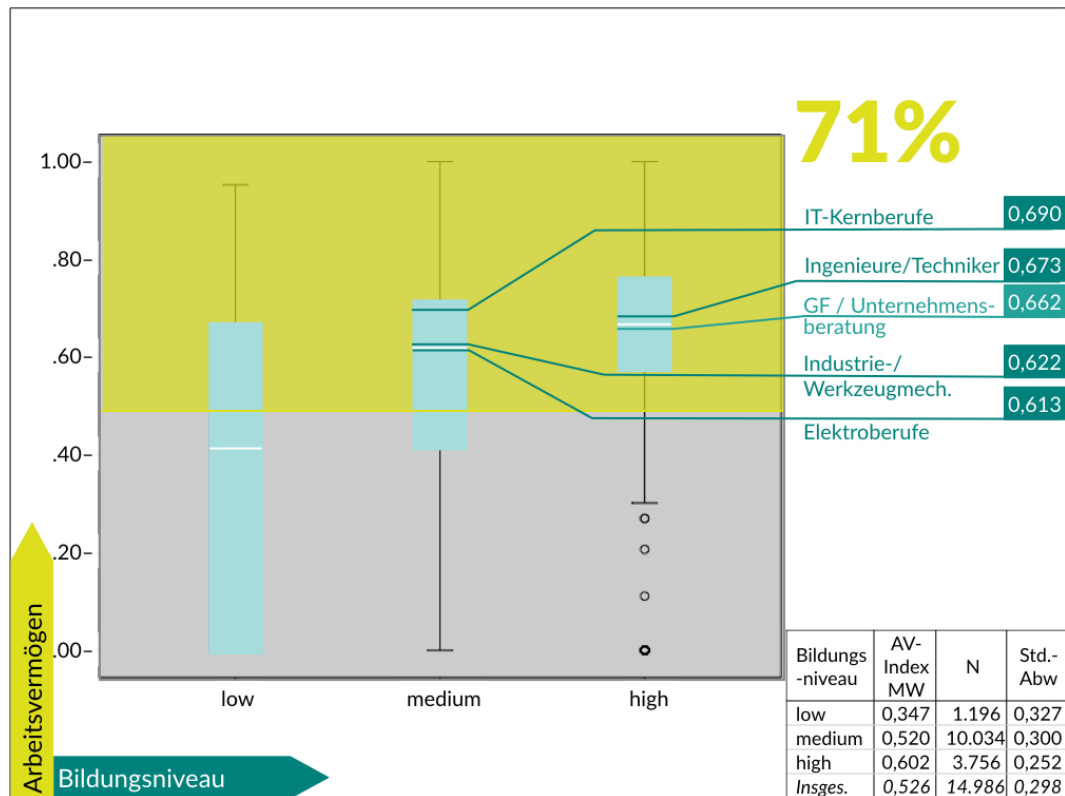


Abbildung 1: AV-Index für Bildungsniveau und ausgewählte Berufe.

Am 03. März 2015 titelt die *Wirtschaftswoche* „Industrie 4.0 scheitert am Menschen“. Ohne Frage ist es notwendig für Unternehmen angesichts von Industrie 4.0 mehr in die Aus- und Weiterbildung zu investieren – hier gab es in den letzten Jahren auch ohne die Herausforderung von Industrie 4.0 erheblichen Nachholbedarf auf Seiten der Unternehmen. Darüber hinaus aber lohnt der Blick auf die vorhandenen Ressourcen:

- 71 Prozent der Erwerbstätigen in Deutschland besitzen lebendiges Arbeitsvermögen im Umgang mit Komplexität und Unwägbarkeiten. Sie bewältigen vielfachen Wandel und bringen das dafür nötige Erfahrungswissen in ihre Tätigkeit ein.
- In den Berufen, die für die Umsetzung der Szenarien von Industrie 4.0 in erster Linie gefordert zu sein scheinen, finden sich vergleichsweise hohe Werte im AV-Index. Dabei mischen sich Berufe akademischer Ausbildung und solche mit beruflicher Aus- und Weiterbildung im Ranking. Beide Ausbildungswege münden also in Tätigkeiten, in denen im hohen Maße die Fähigkeit zum Umgang mit Komplexität heute schon verlangt wird.

Wenn bereits heute 71 Prozent der Erwerbstätigen in Deutschland in hohem Maße befähigt sind, häufig mit Komplexität und Wandel umzugehen, ist auf dieser Seite das Potenzial für größere Veränderungen also längst da. Wer den erfahrungsbasierten Umgang mit Komplexität beherrscht und dies im alltäglichen Arbeitshandeln beweist, wird die für Industrie 4.0 notwendige formale Weiterqualifizierung und informelle Kompetenzentwicklung ohne Probleme bewältigen können. Die Wege der entsprechenden beruflichen und akademischen Weiterbildung müssen aber für den Einzelnen gangbar gemacht und die Wege zwischen verschiedenen Ausbildungssträngen noch durchlässiger werden.

5 Qualifikationsrelevante Dimensionen von Industrie 4.0

Es gibt nicht *die* Industrie 4.0 und daher auch nicht *eine* Antwort auf die Frage nach den passenden Qualifikationen. Will man mögliche Qualifikationsbedarfe diskutieren, ist Differenzierung und Konkretheit notwendig. Weiter oben (→ Kap. 1.1) konnte bereits gezeigt werden, dass genau diese Schritte – Differenzierung und Konkretisierung – bislang nicht ausreichend geleistet sind. Neben grundsätzlichen branchenspezifischen Unterschieden ist davon auszugehen, dass es divergierende Bedarfe geben wird je nachdem, ob es sich um Ausrüster- oder Anwenderunternehmen handelt oder um fokale Hersteller, Systemlieferanten oder nachgelagerte Zulieferunternehmen. Weitere Differenzierungen werden zukünftig notwendig sein nach den Phasen des Umsetzungsprozesses und abhängig von der jeweils vorhandenen Ausgangsbasis. Nicht zu vergessen ist zudem, dass Qualifikationsanforderungen am leichtesten und besonders treffsicher zu identifizieren sind – und zwar durch partizipative Beteiligung der Beschäftigten in der Umsetzung von Industrie 4.0. Und Qualifizierung ist letztlich auch eine Frage des Wollens: wollen Unternehmen zukünftig eine breite Qualifikationsbasis oder soll Technik so gestaltet werden, dass man sich durch Automatisierung vermeintlich davon unabhängig machen kann. Wie diese gesellschaftlichen und betrieblichen Aushandlungsprozesse ausgehen, ist eine offene Frage; deswegen konzentriert sich die nachfolgende Darstellung auf die technischen Ausprägungen von Industrie 4.0. Dahinter steckt nicht die Vorstellung, dass sich Qualifikationsanforderungen von diesen Gegebenheiten ableiten ließen – Qualifikation ist immer weit mehr als das und dies wird sich auch in einer möglichen neuen industriellen Revolution nicht ändern. Leitend für diese Betrachtungsweise ist vielmehr, dass auch auf dieser Ebene notwendige Differenzierungen und Konkretisierungen nicht ausreichend geleistet sind. Nicht alle technischen Entwicklungen jedoch, die unter dem Label Industrie 4.0 diskutiert werden, werden überall in vollem Umfang Einzug halten. Und nicht alle technischen Entwicklungen werden die gleichen Folgen für Qualifikation nach sich ziehen. Die in der nachfolgenden Abbildung im Überblick gezeigten und – nach allem, was wir heute wissen – qualifikationsrelevanten Dimensionen von Industrie 4.0 werden in den nachgelagerten Unterkapiteln erklärt und mit typischen Einsatzbereichen kurz illustriert. Damit legt dieses Kapitel die Basis, um dann für jede dieser vier Dimensionen möglicherweise resultierende Qualifikationsanforderungen zu diskutieren (→ Kap. 6).

Qualifikationsrelevante Dimensionen von Industrie 4.0		
social media @PRODUCTION	Web 2.0. Schicht-Doodle. Tablets.	Ansätze, bei denen Web2.0-Nutzungsszenarien in der Fertigung ankommen. D.h. dabei geht es um webbasierte – und damit auf jeder Plattform – nutzbare Anwendungen zur Kommunikation zwischen Menschen, also etwa ein Doodle zur Absprache über Schichteinsätze oder webbasierte Kommunikation zwischen Instandhaltern.
d a t a @PRODUCTION	CPS. Internet of Things. Big Data.	Qualitativ neue datentechnische Verknüpfungen von physischen Gegenständen, die bislang ohne Datenverbindung waren und auf deren Basis sich neue Potenziale der selbstorganisierten Produktionssteuerung, der Instandhaltung und der logistischen Vernetzung ergeben. Internet of Things und Big Data zu Maschinenverschleiß, Logistik etc.
n e x t G E N P R O D U C T I O N	2-Arm Roboter. Leichtbauroboter. Adaptive Robotik. 3D Printing.	Technologisch neue Automatisierungsansätze wie Leichtbaurobotik, neue Ansätze in der Robotik, die bspw. zweiarmig agieren, mehr und feinfühliger – adaptive – Sensorik mitbringen oder auch additive Verfahren wie das 3D-Printing.
AUTOMATION @body & mind	Wearables. Quantify-me. Big Data Zugriff auf Körper- und Vitalfunktionen.	Wearables und Quantify-me Applikationen kombiniert mit Big Data und intelligenten Algorithmen erweitern Zugriff und Kontrolle bis in Körper- und Vitalfunktionen der Arbeitenden.

Abbildung 2: Übersicht zu qualifikationsrelevanten Dimensionen von Industrie 4.0

5.1 Socialmedia@production: Mobile Web-Kommunikation in der Produktion

Ansätze, bei denen Web-2.0-Nutzungsszenarien in der Fertigung ankommen, also webbasierte – und damit auf jeder Plattform und den entsprechenden mobilen Devices – Anwendungen zur Kommunikation zwischen Menschen wie etwa ein Doodle zur Absprache über Schichteinsätze. Diese Ansätze sind eher ein nachholendes Vordringen von Social-Media-Nutzung in Unternehmensbereiche, in denen dies bislang keine Rolle spielte. Es handelt sich damit im engeren Sinne nicht um Industrie 4.0, denn es ändern sich nur die Kommunikationsmedien. Nutzungsangepasste Social-Media-Anwendungen können den Austausch von Erfahrungswissen zwischen Beschäftigten situativ und direkt erleichtern. Damit dürften eher Effekte für die Unternehmenskultur als für Beschäftigung und Qualifikation verbunden sein. Möglicherweise verschärfen sich dadurch die generellen Trends der Entgrenzung von Arbeit und Leben, ein im engeren Sinne branchenspezifischer Effekt für Arbeit zeichnet sich bislang hierbei nicht ab. Typische Szenarien in der nahen Zukunft und teils schon realisierte Anwendungsfälle wären:

- **Schicht-/Doodle und Web 2.0:** Mitarbeiter stimmen sich in der Gruppe oder auch schichtübergreifend mit einer App ab, wer bspw. am Samstag zu einer nötigen Sonderschicht ins Unternehmen kommt. Auch für das Ideenmanagement und für KVP-Prozesse werden webbasierte Tools genutzt. Jeder greift darauf zu – egal wo er gerade ist und egal mit welchem Gerät: ob am Arbeitsplatz vom Werkstatt-PC, ob aus der Fertigung mit dem Tablet oder von zu Hause mit dem Smartphone. Auch die Servicetechniker stimmen sich weltweit ab, wer den nächsten Kundendienstesatz in Brasilien übernehmen wird oder unterstützen sich bei der Fehlersuche.

- **Mobile Devices zur Produktionsüberwachung (in-house oder beim Kunden):** Die Produktionsabläufe sind dank neuer weitgehend selbst steuernder Vernetzung nicht mehr so betreuungsintensiv wie vorher. Mitarbeiter müssen nicht mehr ständig dabei sein. Es sind weniger Mitarbeiter nötig, die aber höher qualifiziert sind. Die vielen Sensoren im Ablauf zeigen auf mobilen Geräten ständig den Zustand der Anlage an und melden, wenn der Bedarf zum Eingriff besteht.

5.2 data@production: Vernetzung der stofflichen Produktion

Qualitativ neue datentechnische Verknüpfungen physischer Gegenstände, die bislang ohne Datenverbindung waren und auf deren Basis sich neue Potenziale der selbstorganisierten Produktionssteuerung, der Instandhaltung und der logistischen Vernetzung ergeben (*Cyber-Physical Systems*), ergänzen und erweitern bisherige Informatisierungsschritte (wie etwa ERP- oder PPS-Systeme) und integrieren diese enger mit der Realebene der Wertschöpfung (innerhalb des Unternehmens) und der Realebene von Logistikprozessen (über globale Wertschöpfungsketten bis hin zum Endkunden). Mit dem Potenzial einer neuen Qualität datentechnischer Durchdringung der physischen Welt ergeben sich daran anknüpfend Szenarien auf Basis von Big Data und intelligenten Algorithmen. Auf dieser Ebene kann es zu größeren Veränderungen kommen, die zu veränderten Produktionsabläufen, neuen Geschäftsmodellen und fluideren Wertschöpfungsketten führen. Diese Entwicklung ist zunächst in Bereichen mit bereits hohen Informatisierungs- und Automatisierungsgraden denkbar und wird vor allem zu einer immensen Steigerung der Komplexität der Gesamtsysteme führen. Effekte für Beschäftigung und Qualifikation lassen sich nicht pauschal abschätzen, sondern treten dann und sehr spezifisch auf, wenn sich Inhalte von und Schneidungen zwischen Tätigkeiten ändern. Typische Szenarien sind beispielsweise:

- **Cyber-physische Systeme/Internet der Dinge:** In einem mittelständischen Unternehmen werden technisch extrem anspruchsvolle Zahnräder in kleinen Losgrößen gefertigt. Der Stand verschiedener Arbeitsschritte (Fräsen, Schleifen, Härten etc.) unterschiedlicher Lose und der jeweilige Ort der Teile wird mit Hilfe von QR-Codes erfasst, die Daten an einen externen Dienstleister gegeben, der auf dieser Basis optimierte Routen für den so genannten Milkrunner (also die Person, die für die Intralogistik zuständig ist und Teile rechtzeitig an die jeweiligen Maschinen anliefert) vorschlägt – diese kann der qualifizierte Logistiker auf seinem Tablet einsehen.
- **Echtzeit Teile-/Dienstetracking durch Kunden:** Alle Abläufe sind so digitalisiert, dass immer einsehbar ist, wie weit eine Maschine bereits montiert ist oder an welchem Meilenstein die Engineering-Schritte für eine Kundenentwicklung gerade stehen. Nicht nur alle Mitarbeiter sehen in der entsprechenden App, wo welche Prozesse gerade stehen – auch dem Kunden kann ein Tracking der Prozesse für ihn in Echtzeit angeboten werden.
- **Big Data-Analytics in der Instandhaltung/Fernwartung:** Die unzähligen Sensoren in den Maschinen und Anlagen – ob in der eigenen Fertigung oder beim Einsatz der Maschinen/Anlagen beim Kunden – generieren permanent unzählige Daten. Was früher schon erfolgreich zur vorausschauenden Instandhaltung oder zur Fernwartung beim Kunden genutzt wurde, ist nun weiterentwickelt. Die Daten werden mit Hilfe von Big Data Anwendungen und intelligenten Algorithmen permanent ausgewertet. Damit können Anlagenstillstände in-house und beim Kunden deutlich vermindert werden und Ersatzteile rechtzeitig vor Verschleißerscheinungen produziert und bereitgestellt werden. Das spart intern Kosten und ermöglicht neue Geschäftsmodelle.

- **Personalisierung der Produkte bis Losgröße 1:** Durch zunehmende Vernetzung und intelligenterere Produktionsabläufe wurde es möglich, noch kundenspezifischer zu produzieren. Heute können alle Produkte in Losgröße eins angeboten werden – und das bei einer Kostenstruktur, die früher nur bei größeren Losgrößen denkbar war und bei relativ standardisierten Produkten. Kunden können heute sehr spezifische Wünsche teils bereits im Netz selbst konfigurieren. Dabei gehen die Daten direkt für alle weiteren Schritte in die Engineering- und dann die Produktionsdaten ein.
- **Produktionssteuerung durch das Produkt:** Die Produktionsfeinsteuerung konnte deutlich optimiert werden. Sie erfolgt jetzt dezentral. Das zu fertigende Produkt steuert sich praktisch selbst durch den gesamten Prozess. Jeder Bearbeitungsschritt, jede Qualitätsprüfung – alles erfolgt weitgehend automatisch, weil Teile und Maschinen direkt miteinander ihre Daten austauschen. In den ganzen Prozess muss sehr viel seltener durch Menschen eingegriffen werden. Die Mitarbeiter stehen immer seltener in der lauten Werkhalle, sie überwachen den Prozess nebenbei in einer Leitwarte und haben Zeit, sich in einer kommunikationsfördernden Kreativecke anstehenden KVP-Fragen zu widmen oder sich den Prototyp für ein neues Produkt anzusehen. Auch die jüngeren Mitarbeiter haben nun wieder Lust auf dem *shop floor* zu arbeiten – es ist ein richtig attraktiver Arbeitsplatz geworden

5.3 nextGEN Production: Neuartige Produktionsverfahren

Neue Ansätze in der Produktions- und/oder Handling-Technik sind etwa Leichtbauroboter oder Robotik-Konzepte, bei denen Roboter bspw. zweiarmig agieren und/oder mehr und feinfühliger – adaptive – Sensorik mitbringen, additive Verfahren wie das 3D-Printing oder der Einsatz von Drohnen. Mit kostengünstigen Robotern und Drohnen sind wohl am ehesten einschneidende Veränderungen in Bereichen zu erwarten, die bislang aus ökonomischen Gründen vergleichsweise hohe Anteile menschlicher Arbeit aufwiesen, etwa in Transport- und Logistikbereichen, in Pack-, Liefer- und Versanddienstleistungen oder in der manuellen oder hybriden Montage. Das 3D-Printing oder andere additive Verfahren werden in absehbarer Zeit zwar in der produzierenden Industrie Innovationszyklen beschleunigen (etwa beim Rapid Tooling) und für unternehmensinterne Bereiche wie Werkzeugbau oder Versuch eine Rolle spielen, damit aber in nächster Zeit eher zu inkrementellen Veränderungen führen und auf bestimmte Berufsgruppen beschränkte Effekte für Arbeit haben. Für den Bereich der industriellen Produktion typische Szenarien könnten sein:

- **Additive Verfahren/3D-Druck:** In nur wenigen Jahren ist 3D-Druck von einer Spielerei zu einer ernstzunehmenden Anwendung geworden. Alle benötigten Materialien können mit ausreichender Maßhaltigkeit damit heute hergestellt werden. Das hat die Prozesse im Werkzeugbau deutlich verändert – Rapid Tooling wird dort zunehmend eingesetzt. Bei den großen Vertriebs- und Servicestandorten, bspw. in Asien und in den USA, stehen nun auch 3D-Drucker und erlauben die schnelle Produktion einzelner kleinerer Ersatzteile, die damit in kürzester Zeit zum Kunden geliefert werden können. Und die Entwicklung zusammen mit Kunden – aber auch abteilungsübergreifend im eigenen Haus – ist besser und schneller geworden: Um bspw. montage- oder servicegerechter zu entwickeln, können einzelne Anlagenteile im 3D-Drucker als Prototyp schnell realisiert werden – das erleichtert die gemeinsame Kommunikation und verschnellert die Entwicklungsprozesse.

- **Zweiarmige und Leichtbauroboter:** Große Industrieroboter hatten sich früher in unserem Unternehmen nicht gerechnet. Aber mit den leichteren und kostengünstigeren Robotern, lohnt sich deren Einsatz jetzt in immer mehr Bereichen. Für einzelne Zufuhr- und Einlegearbeiten etwa und selbst für die Verpackung von Ersatzteilen kann ein zweiarmiger Roboter eingesetzt werden. Diese vorher eher wenig anspruchsvollen Tätigkeiten sind weggefallen. Die Mitarbeiter/-innen an diesen Arbeitsplätzen wurden weitergebildet und betreuen nun größere Bereiche der Intralogistik. Auch in der Montage unterstützen diese Roboter ältere Beschäftigte, die sich beim Bücken oder bei bestimmten Bewegungen schwerer tun.

5.4 automation@ body & mind – Datengestützter Zugriff auf Körper und Wissen

Wearables und Quantify-me Applikationen kombiniert mit Big Data und intelligenten Algorithmen erweitern den Zugriff und die Kontrolle bis in die Körper- und Vitalfunktionen der Arbeitenden hinein. Damit können Arbeitsabläufe ergonomischer gestaltet werden und eine personalisierte Optimierung der Ergonomie erfolgen. Der in der Produktion herrschende Leitsatz einer „Vermeidung von Verschwendung“ kann bis in letzte individuelle Handgriffe hinein verfolgt werden. Auch alternsgerechteres Arbeiten wäre damit besser zu ermöglichen. Gleichzeitig bietet die Erfassung großer und regelmäßig erhobener Datenmengen ungekannte Gefahren eines ungehinderten Zugriffs auf das Subjekt und selbst der zutiefst körperbezogenen Privatsphäre. Typische Szenarien der nahen Zukunft könnten sein:

- **Wearables:** Neu sind Technologien, die Beschäftigte am Körper tragen. So hilft ein Smarter Handschuh in der Montage die richtigen Handgriffe zu tun. Da die Produkte immer unterschiedlicher werden, sind Montagearbeitsplätze anspruchsvoller geworden: es gibt kaum mehr Routine und sich ständig wiederholende Abläufe. Der Smarte Handschuh unterstützt dabei und meldet auf einem Display, wenn das falsche Teil montiert oder die falsche Schraube gegriffen wird. Auch für die Instandhaltung der Maschinen beim Kunden helfen Smarte Brillen. Beim echten Serviceeinsatz der eigenen erfahrenen Mitarbeiter im Supportfall sind sie nicht nötig. Aber will der Kunde ein kleineres Verschleißteil selbst austauschen, helfen ihm die Anweisungen in der Brille dabei, das Richtige zu tun. Teure Servicereisen fallen nur noch bei größeren und aufwändigeren Supportfällen an. Das Unternehmen kann auf dieser Basis eine Servicedienstleistung mit monatlichem Pricing anbieten.
- **Vitaldatenerfassung:** Die über Wearables in der Nutzung anfallenden Daten werden über intelligente Algorithmen ausgewertet. Beschäftigte können freiwillig ihr privat genutztes Fitness Gadget (wie die Smart Watch) an das Gesundheitsmodul der Firmensoftware andocken. Aus beiden Quellen erhalten sie Empfehlungen für Bewegung und Ernährung. Das Gesundheitsmanagement des Unternehmens sieht in den nicht personalisierten, aggregierten Daten, wie der Gesundheitszustand der Beschäftigten ist und ob in bestimmten Abteilungen besondere Belastungsspitzen auftreten. Auf Basis einer Betriebsvereinbarung ist technisch ausgeschlossen, dass Muster im persönlichen Verhalten für Vorgesetzte sichtbar werden.

6 Qualifikationsbedarfe und -zielgruppen entlang der Industrie 4.0-Dimensionen

Will man vor dem Hintergrund dieser vier technologischen Dimensionen von Industrie 4.0 Abschätzungen zu sich verändernden Qualifikationsbedarfen vornehmen, reicht eine Ableitung auf der Ebene von fachlichem Wissen oder Bedienwissen nicht aus. Üblicherweise ist diese Einschätzung auch vergleichsweise leicht und schnell zu treffen, nicht immer so schnell lässt sich dagegen zeigen, auf welche Zielgruppe die Bedarfe gerichtet sein müssen. Nachfolgend wird für die vier technologischen Dimensionen von Industrie 4.0 jeweils abgeschätzt:

1. Worin besteht der fachliche Qualifikationsbedarf, an welche Zielgruppen ist er gerichtet und welche institutionellen Herausforderungen sind damit verbunden? Dies lässt sich am besten beantworten bei einem Blick auf die Stärke der Veränderung auf der Ebene der *Arbeitsmittel*, des *Arbeitsgegenstands* und der *Arbeitsorganisation*.
2. Wie stark erhöht sich die *Komplexität* des Gesamtsystems? Eine Zunahme der Komplexität kann einerseits zu fachlich neuen Anforderungen führen, geht aber in Unternehmen immer auch mit erhöhten Anforderungen an das lebendige Arbeitsvermögen einher.
3. Wie stark erfordert eine gute – d. h. robust laufende, innovative und wettbewerbstaugliche – Realisierung der technischen Lösung eine *partizipative Gestaltung* durch die Beschäftigten. Je systemischer die Innovation ist und je umfassender der Veränderungs-Impact desto mehr ist ein Einbezug der Beschäftigten und ihres Fach- und Erfahrungswissen von Anfang an notwendig.

Industrie 4.0 und Einflussfaktoren – Anforderung an Qualifizierung				
	Beteiligung	Zunahme	Stärke der Veränderung	
	Gestaltungsprozess	↑ Komplexität	Arbeitsmittel	Arbeitsgegenstand Arbeitsorganisation
social media @PRODUCTION	Nur effektiv nutzbar, wenn durch Beschäftigte und nach deren Bedarf gestaltet.	Vergleichsweise wenig problematisch, oft aus Lebenswelt bekannt. Kann im Doing erlernt werden. Wissen um Kontrolle, Sichtbarkeit, Performanz wird nötiger.		
d a t a @PRODUCTION	Nur gestaltbar unter Einbezug des Fach- und Erfahrungswissens der Beschäftigten.	Arbeitsvermögen notwendiger, aber teils schwieriger auszuprägen.	Disruptive Veränderung. Zunahme an formaler Qualifikation im Umgang mit Daten, Zunahme an Fähigkeit Off- und Online aufeinander zu beziehen. Upgrading der Qualifikation in industriellen und logistischen Kern, Gefahr des Downgrading an den Rändern. Inhalte für Qualifizierung ex ante kaum bestimmbar.	
n e x t G E N PRODUCTION	Nur gestaltbar unter Einbezug des Fach- und Erfahrungswissens der Beschäftigten.	Neues Arbeitsvermögen wird entstehen.	Maschinenbedienung inkrementell erlernbar, wenn zuvor Facharbeiterqualifikation vorhanden.	Partiell neue Abläufe, neue Nähe zu Kunden, erhöhte Komplexität.
AUTOMATION @body & mind	Um Missbrauch zu vermeiden und Nutzen für Arbeitnehmer zu stärken, nur mit ihnen zu entwickeln.	Gefahr, dass Bedeutung von Erfahrungswissen unterschätzt wird. Neues Erlernen erschwert.	Abhängig davon, wie grundsätzliche Gestaltungsprämissen entschieden werden: Wenn reine Unterstützung des Menschen, kaum Anforderungen an Qualifikation. Sonst Gefahr des systematischen Downgradings von Qualifikation.	

Abbildung 3: Industrie 4.0 und Einflussfaktoren – Anforderung an Qualifizierung

6.1 Socialmedia@production: Vergleichsweise unproblematisch

Neue Bedienoptionen und mobile Geräte kommen in der betrieblichen Wirklichkeit an und dringen nun auch bis in die Produktion vor. Neue Web-Tools, Apps und mobile Geräte wie Smartphones oder Tablets erfordern hier und da ein Anpassungslernen, dieses ist aber aus mehreren Gründen weitgehend unproblematisch. Zum einen zeichnen sich diese Anwendungen – das ist ja Teil ihres Erfolgs – durch leichte und vergleichsweise intuitive Bedienung aus. Zum zweiten kennen viele Beschäftigte die Nutzung längst aus dem privaten Bereich – hier ist die Entwicklung ja oft bereits vollzogen worden die im Betriebsalltag erst noch ansteht. Zum dritten ist im technischen Umfeld der Produktion ein Großteil der Beschäftigten mit technisch deutlich anspruchsvolleren und meist wenig intuitiv zu bedienenden Systemen konfrontiert. Im Vergleich dazu ist der Umgang mit den neuen Gadgets und Apps ohne nennbaren Aufwand zu erlernen. Eine Herausforderung allerdings entsteht durch die übliche Unterstellung, jüngere Beschäftigte bräuchten hier keinerlei Unterstützung und Ältere müssten mit besonderem Aufwand an diese neuen Anwendungen herangeführt werden. Beides kann im Einzelfall so sein, oft sieht die Wirklichkeit aber anders aus: Jüngere sind zwar mit Social Media und Tablets aufgewachsen, sie kennen diese aber meist lediglich aus der lebensweltlichen Nutzung in ihrer Teenagerzeit – ein effektiver Einsatz im produktiven Umfeld ist für sie oft eine neue Herausforderung. Dies aber ist meist weder den Jüngeren noch ihren Vorgesetzten bewusst. Jüngere werden daher oft gar nicht mitgenommen, man geht ungeprüft davon aus, dass sie alle notwendigen Kenntnisse bereits mitbringen. Hier entstehen so unbemerkt wie unnötig Qualifikationsdefizite. Ältere dagegen nutzen zunehmend auch Web 2.0 Anwendungen und Smartphones: sie buchen ihre Reise und bewerten das Hotel, sie sind auf Facebook mit alten Schulfreunden verbunden und kommunizieren mit ihren erwachsenen Kindern über WhatsApp oder Skype. Wird ihnen im Unternehmen bei der Einführung von Social Media oder mobilen Geräten mit einer altersdiskriminierenden Defizitunterstellung entgegen getreten, sind Akzeptanzprobleme zu erwarten. Hier liegt der Schlüssel zur Qualifizierung in einem offenen Betriebsklima, das spielerisches Heranführen ebenso ermöglicht wie wechselseitiges Zeigen und experimentelles Ausprobieren. Ein Klima, das aber auch unterschiedliche Bedarfe zulässt und akzeptiert, dass diese sich nicht schlicht vom Lebensalter der Beschäftigten ableiten lassen. *Die fachlichen Anforderungen für die reine Bedienung sind vergleichsweise gering. Dieses kann im Doing erlernt werden. Es ist darauf zu achten, dass es zu keiner Altersdiskriminierung kommt. Die zentrale Zielgruppe für Qualifizierung liegt eher bei den Führungskräften denn bei den Beschäftigten.*

Auch für die *Veränderung des Arbeitskontexts* und in Bezug auf die Zunahme der *Komplexität* gilt: Beides ist in dieser Dimension vergleichsweise wenig problematisch, relevanter als die Anforderungen an das Bedienwissen ist die zunehmende Anforderung an das Wissen um die – teils indirekten oder mit zeitlicher Verzögerung wirkenden – Möglichkeiten der Kontrolle und um die neue Qualität der Sichtbarkeit und Performanz des eigenen Arbeitshandelns. Dabei spielt fachliches Wissen eine größere Rolle als Erfahrungswissen. Da sich aber auf der Ebene von Arbeitsmittel, Arbeitsgegenstand und Arbeitsorganisation nichts Substanzielles ändert, sondern eher eine zusätzliche Kommunikationsebene eingeführt wird, sind die damit einhergehenden Anforderungen sowohl an das fachliche Wissen und Können wie an das Erfahrungswissen im Vergleich zu den anderen drei Industrie 4.0-Dimensionen deutlich weniger fordernd.

Das lebendige Arbeitsvermögen der Beschäftigten dagegen ist von besonderer Bedeutung für die *Gestaltung* und während des Implementierungsprozesses der Systeme. Soll die Nutzung von Social Media tatsächlich positive Effekte auf die Qualität des Austauschs unter den Beschäftigten oder zur Ideengenerierung haben, dann reicht die rein technische Implementierung

irgendeiner Plattform nicht aus. Passt das Angebot nicht zu den konkreten Arbeitsbedarfen und -prozessen, werden die neuen Web 2.0-Angebote entweder zu leeren Wüsten oder ihre Nutzung muss mühselig durch immer neue, aber immanent nur kurzfristig wirkende Incentive-Maßnahmen angefacht werden. Orientiert sich die Gestaltung aber im Sinne einer „work based usability“ (Pfeiffer/Schmauch, 2010) an den echten Bedarfen konkreter Arbeit und wird bei der Auswahl und Gestaltung der Systeme die besondere Qualität informellen Wissens anerkannt und systematisch berücksichtigt, dann ist im Einführungsprozess mehr Erfahrungswissen der Beschäftigten notwendig – dieser erhöhte Aufwand in der Gestaltungsphase führt später in der Nutzung aber zu deutlich erhöhter Akzeptanz und Nutzungsfreude ohne ständige Incentivierungsfassaden. Der eigentliche Qualifizierungsaufwand richtet sich in dieser Dimension an die Führungskräfte und die Managementebene.

6.2 data@production: Vernetzung der stofflichen Produktion

In dieser Dimension stecken die eigentlichen Veränderungen dessen, was üblicherweise als Kern von Industrie 4.0 bezeichnet wird. An dieser Stelle verbirgt sich auch das zentrale Potenzial für disruptive Veränderungen – die allerdings oft auf den ersten Blick gar nicht sichtbar sein müssen. Im Gegenteil: Die Bearbeitungsprozesse und verwendeten Technologien können sogar oft weitgehend unverändert bleiben; was neu hinzu kommt, ist ein Mehr an Sensoren und Embedded Systems, gekoppelt mit Big Data Analytics der anfallenden Prozessdaten. Auf dieser Basis können intelligente Auswertungen zu Anlagenzuständen oder zur Optimierung der Produktionsfeinsteuerung erfolgen. Um die neuen Anforderungen an Qualifizierung zu verstehen, lohnt zunächst ein analytisches Zerlegen in die Offline- und Online-Seite des Prozesses:

Beschäftigte auf dem Hallenboden müssen hier also produktionstechnologisch vergleichsweise wenig Neues lernen – die, wenn man so will: **Offline-Seite der CPS** wird aber nicht unwichtiger. Im Gegenteil: auch aus wettbewerblicher Perspektive gilt es, das dafür nötige Fach- und Erfahrungswissen zu halten und weiterhin zu generieren. Dies ist auch eine strategische Frage. Denn: Noch befinden wir uns eher in der ersten Phase einer umfassenden Digitalisierung der Produktion. Scheinbar ist also alles relevant und wettbewerbsentscheidend, was mit Daten zu tun hat. Denken wir uns die Welt aber nur ein paar Jahre weiter, könnte sich das Blatt drehen und sozusagen Offline das neue Online werden. Wenn die für Industrie 4.0 notwendige IT-Infrastruktur erst einmal durchgängig existiert, wenn sich Standards für CPS-Vernetzungen durchgesetzt haben, wenn produktionsbezogene Cloud-Dienstleister und Big Data-Analysetools robuste und ökonomisch sich rechnende Dienste anbieten – dann wird die Datenseite, das Online, zu einer Basistechnologie, die mit der nötigen Investitionskraft einzukaufen ist und deren technologischer Kern kopierbar ist. Dann wird insbesondere im globalen Wettbewerb umso mehr an Bedeutung gewinnen, was nicht kopierbar ist. Neue Bedeutung werden gerade die Prozesse erlangen, für die Wissen und Können benötigt wird, das sich nicht einfach in Datenbanken transferieren lässt. Das Wissen also um produktionstechnologische Spezifika, die Fähigkeit komplexe Anlagen am Laufen zu halten und einzufahren, das Können verschiedene Produktions- und Prozessschritte ökonomisch effektiv und unter Qualitätsgesichtspunkten robust aufeinander einzuspielen. Fähigkeiten also, die charakteristisch sind für die Facharbeits-ebene.

Zusätzlich zu den erhaltenswerten Offline-Qualitäten notwendiger Qualifikationen kommen erweiterte Anforderungen durch die **Online-Seite** hinzu. Ohne Frage wachsend wird sich der Anspruch auf der Ebene der formalen Qualifikation in Bezug auf den Umgang mit Daten er-

weisen. Nicht alle müssen Programmieren können, aber auf der Facharbeitsebene sind erweiterte Ansprüche auf dieser Ebene naheliegend. Ein Mechatroniker aber, der bspw. heute SPS-Steuerungen beherrscht, wird sich auch mit einer anderen Programmierlogik oder neuen Programmiersprachen schnell arrangieren. Auf dieser Ebene sollten die etablierten Formen der Aus- und Weiterbildung wie bisher die im Einzelnen inkrementellen Schritte nachvollziehen bzw. mit gehen können. Neu auf der Online-Seite aber sind zwei andere Themen: Datenschutz und Privacy-Fragen erfordern wesentlich mehr Wissen und eine generelle Sensibilität für das Thema – auch an Arbeitsplätzen, an denen dies bislang nicht notwendig war. Vieles aber wird sich nicht mehr an den Datenschutzbeauftragten oder die IT-Abteilung delegieren lassen. Auf der Ebene der betrieblichen Mitbestimmung können und müssen zukünftig stärker Leitplanken für die Ausgestaltung vorgeben werden, viel mehr Beschäftigte als heute aber werden täglich kleine Entscheidungen treffen und einzelne technische Handlungen vornehmen, die für Privacy und/oder Datenschutz relevant sein können. Die dafür notwendigen Inhalte müssen in die formalen Ausbildungsangebote integriert werden. Insbesondere mit der Zunahme an Daten und unterstützenden Tools zu deren Visualisierung und Auswertung gehen Fähigkeitsanforderungen einher, die bislang in der Produktion eher keine Rolle gespielt haben: Es geht zunehmend darum, die Macht *und* die Grenzen von Algorithmen zu verstehen. Dazu gehört auch, den Unterschied zwischen Kausalität und Korrelation zu verstehen und den Unterschied zwischen informatisiertem Abbild und den realen Prozessen dahinter.

Ganz entscheidende neue Anforderungen bewegen sich genau in der **Schnittmenge zwischen Offline und Online**. Das fängt bei der *Gestaltung* der Systeme an: Beschäftigte müssen lernen, ihre Bedarfe an IT-Entwickler konkret zu formulieren und argumentieren zu können. Auf der anderen Seite muss die IT/Software-Entwicklung echten Bedarf besser verstehen lernen. Bisher ist das nicht gut gelungen. Notwendig ist auf beiden Seiten daher mehr Know-how, wie die Gestaltung komplexer technischer Systeme sinnvoller ermöglicht werden kann. Das schließt das Methodenwissen zu Prozessen partizipativer Technikgestaltung mit ein. Die Fähigkeit die Offline- und Online-Seite von CPS zusammen zu bringen, also die Besonderheiten des stofflichen Produktionsprozesses mit den in Daten vorliegenden Informationen sinnvoll aufeinander beziehen zu können, bezieht sich zweitens auf die Ebene des *laufenden Betriebs*. Produktionsmitarbeiter/-innen aber auch Anlagenplanung und auch IT – sie alle brauchen verstärkt die Fähigkeit, sich souverän in beiden Welten zu bewegen und vor allem: diese immer wieder aufeinander zu beziehen: Das Abstrakte der Datenwelt muss immer wieder re-konkretisiert werden, das Konkrete – also die stofflichen Prozesse, Teile, Technologien – rückgebunden werden an die abstrakte Abbildung. Schließlich ist die Verschränkung von beidem auch eine Frage der *Innovation*: Echte Innovationen und neue Geschäftsmodelle werden nur die Unternehmen realisieren, deren Beschäftigte in der Lage sind das Online-Potenzial im Konkreten der Offline-Prozesse zu erkennen und umgekehrt, aus Optionen der Datenwelt neue Ansätze für die eigentliche Wertschöpfung zu generieren.

Es wird zwar mehr IT- und sich schnelle wandelndes IT-Wissen auch auf der Facharbeitsebene gebraucht werden. Die wirkliche Herausforderung aber besteht in der Fähigkeit, die Offline- und die Online-Seite von CPS in deren Gestaltung und im täglichen Betrieb aufeinander beziehen zu können.

6.3 nextGEN Production: Neue Fachinhalte, andere Player, verkannte Chancen

Bei neuen technologischen Verfahren wie bspw. beim 3D-Druck ist erstens zu klären, in welche Berufsbilder oder welche Studiengänge die Vermittlung des entsprechenden Fachwissens aufzunehmen ist. Zweitens ist abzuschätzen, ab wann diese Technologien eine so weite Verbreitung gefunden haben werden, dass sie als fester Bestandteil in ausgewählten technischen Berufsbildern und Studiengängen sinnvoll sind. Solche Abschätzungen sind nicht neu und insbesondere im dualen System auch eingespielt institutionalisiert. Die beteiligten Akteure kennen das *Procedere*, denn es wurde in den MINT-Bereichen mit anderen technologischen Neuerungen (Laserschneiden, neue Schweißverfahren, Hochgeschwindigkeitsfräsen, Erodieren etc.) immer wieder durchgeführt. Sowohl in Hochschulen als auch im dualen System existieren funktionierende und weitgehend ausreichende Mechanismen zur Einschätzung, wann, und in welcher Form dieses Wissen in welche Ausbildungs-Curricula zu integrieren ist. Dieser Schritt muss erneut getan werden, er ist aber ein letztlich bekannter, der allenfalls angesichts der Dynamik der neuen Entwicklung schneller gegangen werden muss als dies in den voran gegangenen Jahren der Fall war. Gleichzeitig wurden – hier ist das duale System in seinen Verfahren transparenter und verlässlicher als die akademischen Prozesse – bei den letzten Neuordnungen bspw. der Metallberufe methodisch und inhaltlich deutlich mehr Freiräume innerhalb der einzelnen Ausbildungsberufe geschaffen. Diese ermöglichen es Unternehmen heute schon schnell und innerhalb laufender Ausbildungsverträge auf neue technische Entwicklungen und die damit verbundenen fachlichen Qualifizierungsbedarfe zu reagieren. Im Bereich der dualen Ausbildung haben Unternehmen damit auch heute schon viel Gestaltungsmöglichkeiten, die oft nicht ausreichend und mit einem kreativen Blick nach vorne genutzt werden. *Die eingespielten Mechanismen der Berufsbild- und Curricula-Anpassung ebenso wie die bestehenden Freiheiten in der betrieblichen Ausgestaltung bieten ein weitgehend ausreichendes institutionelles Setting, um dem Qualifizierungsbedarf durch neue produktionstechnologische Anwendungen zu begegnen. Die eigentliche Qualifizierungsherausforderung besteht vor allem im Hinblick auf das Lehrpersonal in Hochschule und Berufsschule und in den Unternehmen, die vorhandenen Gestaltungsoptionen auch pro-aktiv zu nutzen.*

Bei innovativen produktionstechnologischen Neuerungen spielt traditionell auch die Ausrüsterindustrie und Herstellerseite als Qualifizierungsakteur eine bedeutsame Rolle, auf die Anwendungsunternehmen sich bisher verlassen konnten: Erwirbt ein mittelständisches Unternehmen einen teuren Industrieroboter, so sind üblicherweise Einschulungstage im Kaufpreis enthalten und größere Anbieterunternehmen betreiben hierfür ganze Schulungszentren mit ausgefeilten Trainingskonzepten an. Teils getrieben von Marketing- und Kundenbindungsstrategien werden bislang die angebotenen Maschinen oder Roboter mit dazu gehörenden Seminarmodulen von großen Anbietern auch für die Ausbildung in Unternehmen, aber auch in den Hochschulen und Berufsschulen oft zu günstigeren Preisen zur Verfügung gestellt. Die Rolle der Anbieterfirmen des Maschinen- und Anlagenbaus als einem „verborgenen“ Bildungsakteur ist traditionell verankert und wird auch deshalb von den meisten Akteuren im Qualifizierungsbereich und in den Unternehmen als Selbstverständlichkeit betrachtet. Im selben Maße jedoch, in dem neue Player auf den Markt treten wird sich diese Selbstverständlichkeit möglicherweise verändern. Zum einen sehen sich Start-ups ohne maschinenbautypischen Kulturhintergrund zunächst möglicherweise überhaupt nicht im systematischen Sinne als Anbieter flankierender Qualifizierungslösungen. Vor allem aber müssten sie Seminarräume und Trainingseinheiten mit dem entsprechenden Personal erst aufbauen und dann auch vorhalten – eine Anforderung, die zumindest in der Start-up-Phase in vielen Fällen nicht zu leisten sein wird. Zum anderen sind die Investitionen bei kleineren 3D-Druckern oder Leichtbaurobotern deutlich geringer als bei ihren tech-

nologischen Vorläufern – das wird die Bereitschaft der Anbieter tendenziell senken, Qualifizierungsangebote als selbstverständliches Add-on zur Hardware mit anzubieten. *Durch sinkende Investitionskosten und neue Start-ups verändert sich die bislang von den Ausrüsterunternehmen übernommene faktische Qualifizierungsrolle – Qualifizierung als Add-on beim Kauf von Investitionsgütern wird gerade bei den neuen Technologien keine Selbstverständlichkeit mehr sein. Darin steckt insbesondere für KMU eine unterschätzte Herausforderung.*

In diesen sinkenden Investitionskosten stecken jedoch auch Chancen: es wird für Berufsschulen, Hochschullabore und Lehrwerkstätten auch mittelständischer Unternehmen leichter, sich diese Technik rein zu Ausbildungszwecken anzuschaffen. Agile und strategisch handelnde Hochschulen und überbetriebliche Bildungsträger können sich die entstehenden – allerdings möglicherweise nur in einer Übergangszeit notwendigen – Qualifizierungslücken zu eigen machen und spezifische Weiterbildungsangebote konzipieren. Ein weiteres und bislang nicht mal in Ansätzen erkanntes geschweige denn erschlossenes Potenzial liegt gerade im Bereich der neuen Robotik und den additiven Verfahren: Anders als die anderen drei qualifikationsrelevanten Dimensionen von Industrie 4.0 handelt es sich hier um erfahrbare und erlebbare Technik. Und um Technik, die außerhalb industrieller Anwendungen das Herz und Engagement vieler Jugendlicher längst erreicht hat: die Bewegung der Maker, der FabLabs und des DIY (Do-It-Yourself) zeigen besonders im 3D-Druck, dass auch die Generation der Millennials und die Generation Z durchaus für Technik zu begeistern sind. Berufsschulen oder Lehrwerkstätten bieten technisch alles, was FabLabs an technischer Ausstattung brauchen – hier könnten ganz neue und innovative Wege der Zusammenarbeit von Wirtschaft, öffentlicher Hand und Zivilgesellschaft beschritten werden. Das böte die Chance, einerseits junge Menschen frühzeitig und in adäquateren Formen für technische Ausbildungswege zu gewinnen und andererseits, älteres Lehrpersonal durch die Kooperation mit der Maker-Bewegung sozusagen im Doing an die auch für sie neuen Technologien heranzuführen.

Gerade die produktionstechnologischen Innovationen bieten Chancen: Die kostengünstigere Technik kann leichter für Bildungszwecke angeschafft werden und sie ist erlebbar. Damit eröffnen sich neue Kooperationsoptionen zwischen traditionellen Bildungsakteuren und zivilgesellschaftlichem Engagement, über die Junge wie Ältere nachhaltiger für die neue Technik begeistert und qualifiziert werden können.

6.4 automation@ body & mind – Datengestützter Zugriff auf Körper und Wissen

Diese Ansätze sind am wenigsten spezifisch für Industrie 4.0, sie werden auch in Bereichen jenseits von Produktionsbereichen im engeren Sinne Einzug halten. An notwendigen Wissensinhalten sind hier vor allem wieder Themen gefragt, die schon weiter oben (→ Kap. 6.2) erläutert wurden: Privacy und Datenschutz sind hier natürlich zentral.

Abgesehen davon liegt an dieser Stelle die entscheidende Herausforderung nicht in der Frage: Was muss gelernt werden, um mit einer einmal eingeführten Technik dann umgehen zu können? Das Ganze verhält sich inhaltlich – und letztlich sogar zeitlich – gegenläufig. Gefragt werden muss – und zwar immer wieder aufs Neue im betrieblichen Kontext: Soll qualifizierte Beschäftigung ihre Bedeutung behalten und nur solche Wearables verwendet werden, mit der die besonderen Fähigkeiten des Menschen unterstützt werden? Oder ist die Vorstellung vorherrschend, dass bspw. der „smarte“ Handschuh dem kaum bzw. nur wenig Qualifizierten sozusagen technisch vorgibt was der nächste Handgriff ist? Das sind normative und gesellschaftlich und betrieblich auszuhandelnde Vorentscheidungen, die zu grundsätzlich unterschiedlichen Gestaltungsprämissen führen. Der Diskurs über Prämissen und Ziele von Technikgestaltung ist auf dieser Ebene also die vorherrschende Kompetenzanforderung, sie geht weit über Fragen klassischer Qualifizierung hinaus und ist letztlich ein gesellschaftlicher Lernprozess.

6.5 Querliegende Kompetenzen, neue Formen des Lernens, neue Zielgruppen

Die bisherige Darstellung von Qualifizierungsanforderungen ging bewusst von vier eher technologisch zu beschreibenden Facetten von Industrie 4.0 aus – diese analytische Perspektive sollte der Klarheit der Darstellung dienen und nicht implizieren, dass sich Qualifikationsanforderungen durch Industrie 4.0 von eben diesen Technologien ableiten lassen. Hilfreich für Abschätzungen über einen möglichen Veränderungsimpact im betrieblichen Umfeld ist dabei immer die Frage: Ändert sich durch Industrie 4.0-Ansätze etwas auf der Ebene der **Arbeitsmittel**, der **Arbeitsgegenstände** oder der **Arbeitsorganisation**? Wenn diese Frage einfach bis mehrfach mit ja zu beantworten ist, ist dies ein ziemlicher sicherer Indikator für entstehende Qualifizierungsbedarfe. Diese können dann im nächsten Schritt inhaltlich bestimmt werden und dann geklärt werden, in welchen Formaten und Formen die Qualifizierung am sinnvollsten erfolgt. Hierbei bieten die neueren Ausbildungsberufe – wie etwa in Deutschland der des/der Produktionstechnologen/-in – ausreichend Spielräume selbst in der dualen Erstausbildung, um entsprechende betriebliche Spezifika zu integrieren.

Verändern sich im Kontext von Industrie 4.0 Arbeitsmittel, Arbeitsgegenstand und die Arbeitsorganisation, so hat dies nicht nur Auswirkungen auf formale Qualifikationsanforderungen, sondern: der damit einhergehende Wandel erfordert das Einbringen von Erfahrung und lebendigem Arbeitsvermögen (vgl. → Kap. 4.2). Je früher die Beschäftigten in die Gestaltung dieses Wandels einbezogen werden, desto unkomplizierter können in diesem Prozess neue Erfahrungen gemacht und somit das lebendige Arbeitsvermögen weiterentwickelt werden – einfach im Tun wächst diese dynamische Ressource also mit. Der Schlüssel dazu ist also nicht mehr und nicht weniger als frühzeitige Partizipation. Die nachfolgende Grafik zeigt in den drei Spalten rechts diese drei Einflussfaktoren. Die Darstellung ist so zu verstehen: je mehr die dunkelgrünen Kreise ausgefüllt sind, desto höher die geschätzten Anforderungen.

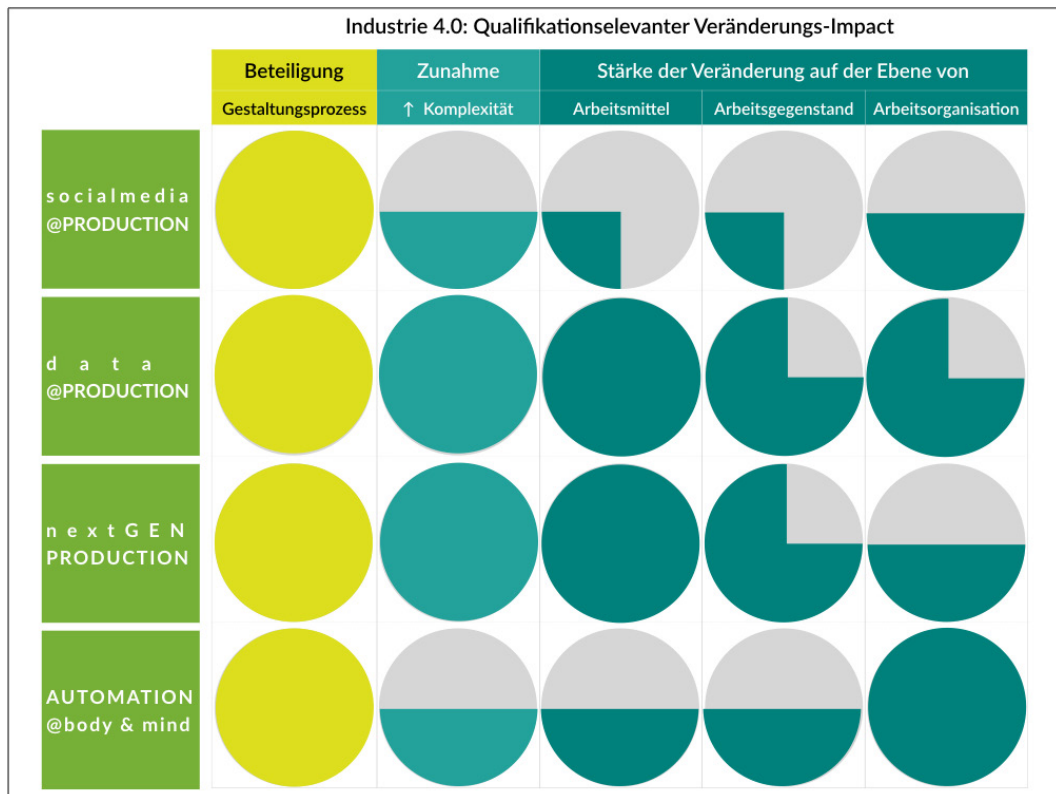


Abbildung 4: Qualifikationsrelevanter Veränderungs-Impact

Zwei weitere durch Industrie 4.0 bedingte Einflussfaktoren verdeutlicht die gleiche Grafik in den beiden linken Spalten **Gestaltung in Beteiligungsprozessen** (violett) und **Zunahme an Komplexität** (hellblau). Hier sind mit zwei Ausnahmen alle Kreise voll ausgefüllt, die Einschätzung ist, dass Erfahrung bzw. lebendigem Arbeitsvermögen hier eine besonders starke und wichtige Rolle zukommt.

Drei Argumente sollen diese Übersicht zu möglichen Anforderungen an Qualifikation und an das Erfahrungswissen der Beschäftigten an dieser Stelle abschließen:

1. Auf dem Weg zu Industrie 4.0 sind mehr als bisher nicht in erster Linie die fachlichen Inhalte entscheidend, denn diese werden sich schneller verändern als bisher. Viel relevanter sind die **Methoden des Lehrens**. Von der Erstausbildung an wird es nötig sein, mitdenkende und zum eigenständigen Handeln fähige Persönlichkeiten zu entwickeln. Das stellt auch Ausbilder und Berufsschulen vor völlig neue Aufgaben.
2. Wie in → Kap. 1.1 dargestellt, werden auch soziale Kompetenzen als verstärkte Anforderung durch Industrie 4.0 immer wieder genannt. Mit dem Beschwören von mehr Teamfähigkeit allein ist es aber nicht getan. Was zukünftig gebraucht wird sind Menschen, die nicht einfach nur die Soft Skills zur Teamarbeit haben. Industrie 4.0 benötigt Menschen, die fähig sind zu **inter- und transdisziplinärer Kollaboration** (also über mehrere Fachrichtungen hinweg und mit anderen Abteilungen, Unternehmen, Kunden und/oder Zivilgesellschaft). Auch das ist eine Fähigkeit, die von der Erstausbildung an trainiert werden muss. Kollaboration mit anderen und vor allem mit anderen Wissensbeständen und Erfahrungshintergründen – das ist gleichzeitig das Vehikel um sich **systemisches Denken** anzueignen.

3. Bis hierher wurde in dieser Expertise überwiegend in den Blick genommen, was Beschäftigte in der Industrie 4.0 – oder auf dem Weg zu ihr – dazu lernen müssen. Es wurde aber an vielen Stellen auch betont, dass die methodischen Formen des Lernens und die frühzeitige Einbindung der Beschäftigten in die Ausgestaltung von Industrie 4.0 über partizipative Prozesse in zweierlei Hinsicht entscheidend sind: Erstens für die Gestaltung besserer Technik und besserer Arbeit, zweitens weil dadurch ein Großteil der notwendigen Lern- und Erfahrungsprozesse im Doing passiert. Neue Formen des Lernens und der Partizipation aber zuzulassen, das ist „Chefsache“, d. h.: die eigentliche Zielgruppe für Lernprozesse dieser Art sind zunächst nicht die Beschäftigten, sondern deren **Führungskräfte**. Hier liegt möglicherweise mehr im Argen als der aktuelle Diskurs zu Industrie 4.0 nahelegt.

7 Zusammenfassung und Handlungsoptionen

Ganz sicher werden die Anforderungen an systemisches Denken und interdisziplinäre Zusammenarbeit zunehmen. Nicht alle werden Programmieren und Modellieren können müssen, aber das Verständnis für IT und Datenstrukturen werden mehr Beschäftigte brauchen. Wir werden also mehr formale Qualifikation brauchen, die den Umgang mit Daten zum Gegenstand hat – ohne aber das produktionstechnologische Know-how aufzugeben. Im Gegenteil: Es wird vor allem darum gehen, Offline und Online aufeinander zu beziehen. Hinzu kommt ein Mehr an Wissen über die Macht und die Grenzen von Algorithmen. Das heißt zum Beispiel auch, den Unterschied von Kausalität und Korrelation zu verstehen. Alle Beschäftigten werden gehörig dazu lernen müssen beim Thema Datenschutz und Privacy.

Da Industrie 4.0 vor allem ein Gestaltungsthema ist, geht es viel mehr als bisher darum, dass Gestalter und Nutzer in partizipativen Prozessen lernen, miteinander zu reden: Beschäftigte müssen ihre Ansprüche an die IT-Entwickler formulieren und diese auch argumentieren können. Und umgekehrt müssen die IT-Entwickler und Anlagenplaner noch mehr als bisher lernen, Bedarfe der Beschäftigten und ihrer Kunden früher in den Entwicklungsprozess einzubeziehen. Was häufig vergessen wird: Nicht nur die Beschäftigten müssen hier das ein oder andere neu dazu lernen. Das gilt noch in viel größerem Ausmaß für das Management. Ob unsere Führungsebenen fit sind für Industrie 4.0 ist aus meiner Sicht eine noch ungeklärte Frage. Die vorangegangenen Ausführungen, insbesondere im → Kap. 6, verstehen sich als bereits konkretisierte Handlungsempfehlungen. Ganz kurz sollen hier die Qualifizierungsanforderungen durch Industrie 4.0 entlang vier identifizierten Dimensionen benannt werden:

7.1 Qualifizierungsanforderungen durch Industrie 4.0

Industrie 4.0 ist ein breites Bündel an Veränderungsoptionen. Wo immer sich dabei auf der Ebene der Arbeitsmittel, der Arbeitsgegenstände oder der Arbeitsorganisation etwas ändert, ist von entstehenden oder sich verändernden Qualifizierungsbedarfen auszugehen. Diese sind dann inhaltlich zu konkretisieren und in passende Formate der Qualifizierung zu überführen. Hierbei bieten neuere Ausbildungsberufe – wie etwa in Deutschland der des/der Produktionstechnologen/-in – schon in der dualen Erstausbildung ausreichend Spielräume. Auf den vier Ebenen kann zudem zusammengefasst werden:

- **socialmedia@PRODUCTION:** Beim Einzug von Social Media und mobilen Geräten in der Produktion sind die fachlichen Anforderungen für die reine Bedienung vergleichsweise gering. Dieses kann im Doing erlernt werden. Es ist darauf zu achten, dass es zu keiner Alternisdiskriminierung kommt. Die zentrale Zielgruppe für Qualifizierung liegt eher bei den Führungskräften denn bei den Beschäftigten.
- **data@PRODUCTION:** Bei der zunehmenden Vernetzung im Zuge von CPS und dem Internet der Dinge wird zwar mehr IT- und sich schnell wandelndes IT-Wissen auch auf der Facharbeitsebene gebraucht werden. Die wirkliche Herausforderung aber besteht in der Fähigkeit, die Offline- und die Online-Seite von CPS in deren Gestaltung und im täglichen Betrieb aufeinander beziehen zu können.

- **nextGENproduction:** Die eingespielten Mechanismen der Berufsbild- und Curricula-Anpassung und die bestehenden Freiheiten in der betrieblichen Ausgestaltung bieten ein weitgehend ausreichendes Setting, um dem Qualifizierungsbedarf durch neue produktionstechnologische Anwendungen wie dem Umgang mit neuer Robotik und additiven Verfahren zu begegnen. Neu herausgefordert sind hier eher Bereiche, die bislang wenig Erfahrung mit Automatisierung haben, nun aber stark betroffen sein werden (z. B. die Logistik durch Leichtbauroboter). Die kostengünstigere Technik bietet aber auch die Chance schneller in den Bildungsbereich integriert zu werden, so könnten Berufsschulen sich als FabLab-Anbieter etablieren.
- **AUTOMATION@body & soul:** Beim Einsatz von Wearables oder Big Data Zugriffen auf das Beschäftigtenhandeln liegt die zentrale Qualifizierungsherausforderung bei den Technikentwicklern, nicht bei deren Anwendern: Es geht vor allem darum zu lernen, wie in partizipativen Prozessen die Prämissen und Ziele der Technikgestaltung diskutiert und entschieden werden können.

7.2 Querliegende Kompetenzanforderungen als Teil einer modernen Beruflichkeit brauchen die Dualität der Lernorte

Neben den Qualifizierungsanforderungen, die sich im engeren Sinne im Zusammenhang mit den technischen Veränderungsphänomenen ergeben, spielen zudem einige querliegende Kompetenzanforderungen in einer zunehmend digitalisierten Arbeitswelt eine immer wichtigere Rolle. Auf diese muss in allen Ausbildungsformaten, Qualifizierungswegen und Bildungsebenen vorbereitet werden – das sind unter anderem: Nicht (nur) Teamfähigkeit, sondern die Fähigkeit zur inter- und transdisziplinären Kollaboration; nicht (nur) Abstraktionsvermögen, sondern die Fähigkeit, Stoffliches und Abstraktes, Konkretes und Digitales zu verbinden; nicht (nur) IT-Wissen, sondern das Wissen um die Grenzen von Algorithmen und den Risiken der Datensicherheit; nicht (nur) der Umgang mit Unvorhergesehenem, sondern systemisches Denken und souveränes Handeln unter Kontingenz; nicht (nur) Improvisieren in gesteckten Rahmen, sondern kreatives Ausgestalten von Neuem. Diese Fähigkeiten sind weder „weiches“ Add-on zu „hartem“ Fachwissen und -können, noch ersetzen sie letztere im Sinne von generischen Kompetenzen. Sie prägen sich aus im professionellen Handeln, sie sind unverzichtbarer Teil einer modernen Beruflichkeit und entstehen nur in der Dualität unterschiedlicher Lern- und lernförderlicher Arbeitsorte.

Abschließend dazu sollen hier nur noch einige zentrale und an die oben gemachten Ausführungen anschließende Themen benannt werden, die auf dem Weg in die Industrie 4.0 beim Thema Qualifizierung besonders zu beachten sind. Diese gruppieren sich nach inhaltlichen Themen und richten sich teils an mehrere, teils an nur einen hauptsächlichen Adressaten.

7.3 Lebendiges Arbeitsvermögen als Ressource für die Gestaltung von Industrie 4.0 anerkennen und nutzen und Rahmenbedingungen für Partizipation schaffen

Das überwiegend im Rahmen beruflicher und lebensweltlicher Praxis erworbene Erfahrungswissen ist neben formalen Bildungsabschlüssen eine unverzichtbare, gleichwohl oft unterschätzte Ressource im Umgang mit komplexen und stark digitalisierten Arbeitswelten – und auf dem Weg dorthin (→ Kap. 4). Soll diese besondere Ressource für die Gestaltung von Industrie 4.0 genutzt werden, ist ein deutlich höheres Mehr an Partizipation notwendig. Für die unterschiedlichen Adressaten kann dies z. B. bedeuten:

- **Adressat Politik:** Förderung von Maßnahmen in Unternehmen, bei den Sozialpartnern und in den Hochschulen, die eine Verstärkung des Theorie- und Methodenwissens um Partizipation ermöglichen. Anreize schaffen um Lehrstühle und Kompetenzzentren einzurichten, die Partizipation als Handlungsorientierung und Lernziel in den Mittelpunkt stellen. In einem aufzubauenden Forschungs-Monitoring (s. u.) wären neue Ansätze notwendig, die informelle – und nicht automatisierbare Seite des Handelns stärker wertzuschätzen und sichtbar zu machen.
- **Adressat Unternehmen:** Unternehmen müssen lernen, das Erfahrungswissen der Beschäftigten mehr anzuerkennen und in der Gestaltung von Veränderungen in der Arbeitsorganisation und/oder den eingesetzten Technologien frühzeitiger zu nutzen. Organisationsstrukturen und die Systematiken in Organisationsentwicklung und Personalentwicklung sind an einem Mehr an Partizipation auszurichten. Die Partizipations-fähigkeit der Beschäftigten und des Managements ist gleichermaßen zu fördern und systematisch zu entwickeln.
- **Adressat Hochschule:** Ingenieur- und Informatikstudiengänge sind zu erweitern um das Wissen über Beteiligungsprozesse und die dazu gehörende Methodenkompetenzen. So sollte Theorie- und Methodenwissen zu entsprechenden Ansätzen (Work Place Innovation, Soziale Innovation, Aktionsforschung, Design Thinking, agile Methoden etc.) zum festen Kanon technik- und ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge werden. Auch Angebote für die Ausbildung zukünftiger, wie die Weiterbildung bestehender Führungskräfte an den Hochschulen, sollte mit einem starken Fokus auf partizipative Führungsstile und demokratische Unternehmensformen ausgebaut werden.
- **Adressat Sozialpartner:** Neben institutionalisierten Aushandlungsprozessen sollten die Sozialpartner ergänzende Formen des partizipativen Einbezugs der Beschäftigten für die Ausgestaltung von auszuhandelnden Regulierungsinstrumenten (z. B. Betriebsvereinbarungen) stärker nutzen und zulassen. Das erfordert teils auch in den eigenen Organisationsformen mehr Öffnung und von Verbandsvertretern-/innen und Funktionären/innen mehr Kompetenzen, die unterschiedlichen und teils auch widersprüchlichen Bedarfe der Beschäftigten anzuerkennen und kreative Lösungen zu finden.

7.4 Facharbeit und das duale System der Erst- und Weiterbildung attraktiver machen und stärken

Das System der beruflichen Bildung hat offensichtlich für viele Jugendliche an Attraktion verloren und gleichzeitig an Integrationskraft eingebüßt. Es bleibt für eine zukunftsfähige Gestaltung von Industrie 4.0 ein unverzichtbarer Baustein, seine Attraktivität muss wieder erhöht werden (vgl. → Kap. 3). Das ist mit Marketing allein nicht zu erreichen, notwendig ist eine dynamisierte Erneuerung bewährter Stärken. Für die unterschiedlichen Adressaten kann dies z. B. bedeuten:

- **Adressat Politik:** Berufsbilder müssen dynamischer modernisiert und methodisch geöffnet werden. Politik kann dafür die Rahmenbedingungen schaffen. Dazu sollten z. B. die Sozialpartner in alle Veränderungsprozesse einbezogen bleiben. Berufsbilder sollten nicht verschult und zu sehr bürokratisch von oben verordnet werden, aber verlässliche Rahmenbedingungen schaffen, auf die Beschäftigte und Unternehmen sich als Akteure auf dem Arbeitsmarkt gut einstellen können. Die Mechanismen für die Veränderung der Inhalte und Profile von Berufsbildern sollten überprüft und von bürokratischen Überbauten entschlackt werden, um schneller handlungsfähig zu sein und zu bleiben. Neue technische Verfahren sollten frühzeitig durch überbetriebliche, zusätzliche Angebote in der Breite verfügbar gemacht werden. Für haupt- und nebenamtliche Ausbilder/-innen in den Unternehmen ebenso wie für andere institutionelle Akteure der beruflichen Bildung sollten Weiterbildungsangebote zur inhaltlichen und methodischen Modernisierung geschaffen werden. Hierzu könnten in Zusammenarbeit mit den Sozialpartnern entsprechend Weiterbildungszentren an Hochschulen gefördert werden. Berufsschulen müssen modernisiert und das Lehrpersonal weitergebildet werden – nicht nur im Bereich IT und Datensicherheit sowie in den neuen technologischen Verfahren, sondern vor allem in neuen und beteiligungsorientierten Methoden des Lernens. Das erfordert auch eine Modernisierung der technischen und räumlichen Ausstattung der Berufsschulen. Berufsschulen sollten dabei gefördert werden, Fab-Labs anzubieten und sich als Zentren der Maker-Bewegung zu etablieren.
- **Adressat Unternehmen:** Unternehmen sollten die bestehenden methodischen Öffnungen und Ansätze zur Prozess- und Handlungsorientierung in den Berufsbildern aktiver nutzen und betrieblich ausgestalten. Bei der Personalentwicklung sollte die Rolle des/der Ausbilder/in systematischer bedacht werden und jüngere Ausbilder/-innen frühzeitig entwickelt und von Anfang an für moderne methodisch-didaktische Ansätze gewonnen werden. Schon bei der Übernahme nach der Ausbildung und bei weiteren innerbetrieblichen Karriereschritten ist die Anerkennung beruflicher Bildung zu stärken und entsprechend vergleichbare Entwicklungsperspektiven aufzuzeigen. Es müssen mehr Anstrengungen unternommen werden, um die Produktionsarbeitsplätze der Zukunft attraktiv zu gestalten und für Arbeitnehmer/-innen konkurrenzfähig zu halten mit Bereichen nicht-stofflich gebundener Wissensarbeit, z. B. im Hinblick auf die Zeit-souveränität, auf Schicht- und Standortgebundenheit. Überbetriebliche gemeinsame Formen der Ausbildung zwischen Unternehmen und mit Start-ups erleichtern nicht nur den Unternehmen, zeitgemäßere und technologisch breitere Angebote zu schaffen, sie erhöhen auch die Attraktivität der Ausbildung für die Jugendlichen.
- **Adressat Hochschule:** Hochschulen sollten mehr Angebote schaffen, die Unternehmen dabei unterstützen, didaktisch neue Methoden schon in die Erstausbildung zu integrieren, durch die systemisches Denken und inter- und transdisziplinäre Kollaborationsfähigkeit von Beginn entwickelt werden können. Hochschulen sollten echte Durchlässigkeit schaffen zwischen den beruflichen und akademischen Pfaden der Aus- und Weiterbildung, es gilt dabei, die berufliche Erstausbildung im Vergleich zum Bachelor aufzuwerten. Hochschulen

müssen sich verstärkt dem Dialog mit gesellschaftlichen Akteuren des Arbeitsmarkts und (aus) Unternehmen – also den Sozialpartnern – öffnen, ohne dabei ihre akademische Besonderheit und ihren breiten Bildungsauftrag zu verlieren oder zum Erfüllungsgehilfen reiner Marktinteressen zu werden. Davor schützt etwa, dass Akkreditierungsagenturen oder Gremien wie Hochschulräte, wo sie sich bereits nicht-akademischen Akteuren öffnen, paritätisch die Interessen der Sozialpartner beratend einholen.

- **Adressat Sozialpartner:** Start-ups kennen oft die Möglichkeiten des dualen Systems nicht, es gilt daher diese für die Idee des Systems der dualen Ausbildung zu gewinnen. Dafür kann die Politik Rahmenbedingungen schaffen, die Ansprache und Hilfen bei der ersten Umsetzung gehören aber in das Feld der Sozialpartner. Diese haben Interesse, neu entstehende Unternehmen und deren Beschäftigte als Mitglieder zu gewinnen. Diese Motivation sollte verstärkt genutzt werden um auch bei den selbst oft aus rein akademischen Zusammenhängen stammenden neuen Gründern für das duale Modell zu werben.

7.5 Den Wandel gestaltbar machen: Rahmenbedingungen, die Wandlungsfähigkeit erleichtern

Ob Industrie 4.0., die Energiewende oder die Elektromobilität: In der Arbeitswelt wie gesellschaftlich sind wir zunehmend mit Innovationen systemischen Ausmaßes konfrontiert, die sich nicht einfach in kleinteilige Kompetenzanforderungen zerlegen lassen. Übergreifend gesehen stellt sich damit nicht nur die Frage, wie Individuen – in welcher Rolle auch immer – befähigt sind oder sich befähigen, den Wandel zu meistern. Hinzukommt, inwieweit die gewachsenen institutionellen Systeme in der Lage sind, dem Wandel einen gestaltenden Rahmen zu geben, der zukunftsweisend ist ohne die bisherigen Stärken und gesellschaftlichen Werte unbesehen erodieren zu lassen. Daher abschließend noch ein paar Handlungsempfehlungen mit über die direkten Qualifizierungsfragen hinausgreifender Perspektive:

- **Adressat Politik:** Aufbau eines Forschungs-Monitorings, das den qualitativen Wandel in den Unternehmen differenziert erfasst und systematisch mit quantitativen Erhebungen in der Breite verbindet. Damit können zeitnah politikrelevante Handlungsbedarfe identifiziert und unterschiedlichen Akteuren in Wirtschaft und Gesellschaft Transparenz für eine bessere Orientierung gegeben werden. Die Sozialpartnerschaft stärken, Mitbestimmung um Themen informationeller Selbstbestimmung erweitern und gesetzlich flankieren, damit die Wirkung auch dort ermöglicht wird, wo es keine starke betriebliche Interessenvertretung gibt.
- **Adressat Unternehmen und Sozialpartner:** Bisherige Schneidungen und Gegensätze beim Thema Regulierung sollten überwunden werden. Es geht nicht mehr um ein Mehr oder weniger an Regulierung, sondern um das Schaffen von konsensfähigen Leitplanken, die sowohl die Mitte der Beschäftigten als auch den Mittelstand vor einem digital unterstützten und durch die Globalisierung forcierten Deregulierungsschub schützen.
- **Adressat Hochschule:** Auf allen Ebenen der Qualifizierung – insbesondere auch auf der Führungskräfteebene: Kompetenzen zum qualifizierten Umgang mit der Macht und den Grenzen von Daten zum Lernziel machen. Dies ist eine Aufgabe nicht nur in den technischen Studienfächern, sondern richtet sich ebenso an die wirtschaftswissenschaftlichen Disziplinen und an den Bereich der Lehrer/-innenausbildung.

8 Literatur

- acatech (2015): Digitale Vernetzung und Zukunft der Wertschöpfung in der deutschen Wirtschaft. Dossier für den 2. Innovationsdialog in der 18. Legislaturperiode. Berlin: Deutsche Akademie der Technikwissenschaften.
- Ahrens, Daniela; Spöttl, Georg (2014): „Attraktivitätsverlust der Berufsbildung?“. In: WSI-Mitteilungen. (8), S. 645–646.
- Ahrens, Daniela; Spöttl, Georg (2015): „Industrie 4.0 und Herausforderungen für die Qualifizierung von Fachkräften“. In: Hirsch-Kreinsen, Hartmut; Ittermann, Peter; Niehaus, Jonathan (Hrsg.) Digitalisierung industrieller Arbeit. Baden-Baden: Nomos, S. 185–203.
- Alda, Holger (2013): Tätigkeitsschwerpunkte und ihre Auswirkungen auf Erwerbstätige. Bonn: BiBB (Schriftenreihe des Bundesinstituts für Berufsbildung).
- Antonczyk, Dirk; Fitzenberger, Bernd; Leuschner, Ute (2008): Can a Task-Based Approach Explain the Recent Changes in the German Wage Structure?. (Discussion Paper Nr. 08-132) Mannheim: ZEW Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung.
- Antoni, Conny H.; Haunschild, Axel; Meyer, Rita; u. a. (2013): „Niemand weiß immer alles“: Über den Zusammenhang von Kompetenz- und Organisationsentwicklung in der Wissensarbeit. Berlin: Edition Sigma.
- Baethge, Martin; Solga, Heike; Wieck, Markus (2007): Berufsbildung im Umbruch. Signale eines überfälligen Aufbruchs. Berlin: Friedrich-Ebert-Stiftung.
- Bauer, Hans G.; Böhle, Fritz; Munz, Claudia; u. a. (2006): Hightech-Gespür: Erfahrungsgelitetes Arbeiten und Lernen in hoch technisierten Arbeitsbereichen. Ergebnisse eines Modellversuchs beruflicher Bildung in der chemischen Industrie. Bielefeld: Bertelsmann.
- Bauernhansl, Thomas; Hompel, Michael ten; Vogel-Heuse, Birgit (Hrsg.) (2014): Industrie 4.0 in Produktion. Automatisierung und Logistik. Anwendung – Technologien – Migration. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Bauer, Wilhelm; Schlund, Sebastian; Marrenbach, Dirk; u. a. (2014): Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. Berlin: Bitkom.
- Blanchet, Max; Rinn, Thomas; Thaden, Georg von; u. a. (2014): Industry 4.0. The new industrial revolution. How Europe will succeed. München: Roland Berger Strategy Consultants.
- BMBF (2014): Berufsbildungsbericht 2014. Bonn: BMBF.
- Böhle, Fritz; Bolte, Annegret; Drexel, Ingrid; u. a. (2009): Umbrüche im gesellschaftlichen Umgang mit Erfahrungswissen. Theoretische Konzepte, empirische Befunde, Perspektiven der Forschung. München: ISF München.
- Böhle, Fritz; Milkau, Brigitte (1988): Vom Handrad zum Bildschirm: Eine Untersuchung zur sinnlichen Erfahrung im Arbeitsprozeß. Frankfurt/M., New York: Campus.
- Böhle, Fritz; Pfeiffer, Sabine; Sevsay-Tegethoff, Nese (Hrsg.) (2004): Die Bewältigung des Unplanbaren. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Bosch, Gerhard (2014): „Facharbeit, Berufe und berufliche Arbeitsmärkte“. In: WSI-Mitteilungen. 67 (1), S. 5–13.
- Bowles, Jeremy (2014): „The computerisation of European jobs – who will win and who will lose from the impact of new technology onto old areas of employment?“. www.bruegel.org.

- Brynjolfson, Erik; McAfee, Andrew (2014): *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. New York, London: W. W. Norton & Co.
- Crawford, Matthew B. (2009): *Shop Class as Soulcraft: An Inquiry into the Value of Workn?*. New York: The Penguin Press.
- Deloitte (2010): *Global Manufacturing Competitiveness Index 2010*.
- Franz, Christine; Voss-Dahm, Dorothea (2011): *Ohne Studium (k)eine Führungsposition? Nach wie vor starke Bedeutung von beruflichen Bildungsabschlüssen bei Führungskräften in der Privatwirtschaft*. (Nr. 2011-02) Duisburg, Essen: Institut Arbeit und Qualifikation an der Universität Duisburg-Essen (IAQ-Report).
- Frey, Carl Benedict; Osborne, Michael A. (2013): *The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation?*. (Working Paper) Oxford: Oxford Martin School.
- Gorecky, Dominic (2014): „Mensch-Maschine-Interaktion im Industrie 4.0-Zeitalter“. In: Bauernhansl, Thomas; Hompel, Michael ten; Vogel-Heuse, Birgit (Hrsg.) *Industrie 4.0 in Produktion. Automatisierung und Logistik. Anwendung – Technologien – Migration*. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 525–542.
- Haasler, Bernd (2004): *Hochtechnologie und Handarbeit: Eine Studie zur Facharbeit im Werkzeugbau der Automobilindustrie*. Gütersloh: Bertelsmann.
- Hartmann, Ernst A.; Bovenschulte, Marc (2013): „Skills Needs Analysis for „Industry 4.0“. Based on Roadmaps for Smart Systems“. In: SKOLKOVO, ILO (Hrsg.) *Moskau: Moscow School of Management*, S. 24–36.
- Harzing, Anne-Will; Ruysseveldt, Joris van (Hrsg.) (2005): *International Human Resource Management*. London, Thousand Oaks: Sage.
- Hausmann, Ricardo; Hidalgo, César A. (2014): *The Atlas of Economic Complexity. Mapping Paths to Prosperity*. Cambridge: MIT Press.
- Hidalgo, César A.; Hausmann, Ricardo (2009): „The building blocks of economic complexity“. In: *PNAS – Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 106 (26), S. 10570–10575.
- Hirsch-Kreinsen, Hartmut (2014a): „Welche Auswirkungen hat „Industrie 4.0“ auf die Arbeitswelt?“. In: *WISO direkt*. (Dezember), S. 1–4.
- Hirsch-Kreinsen, Hartmut; Ittermann, Peter; Niehaus, Jonathan (2015): *Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen*. Berlin: Edition Sigma.
- Hirsch-Kreinsen, Hartmut (2014b): *Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“*. (Nr. 38/2014) Dortmund: TU Dortmund (Soziologisches Arbeitspapier).
- Kädtler, Jürgen; Sperling, Hans Joachim; Wittke, Volker; u. a. (2013): *Mitbestimmte Innovationsarbeit. Konstellationen, Spielregeln und Partizipationspraktiken*. Berlin: Edition Sigma.
- Kagermann, Henning; Wahlster, Wolfgang; Helbig, Johannes (2013): *Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0*. Frankfurt/M.: Plattform 4.0.
- Klein, Birgit; Menez, Raphael; Oestreicher, Elke; u. a. (2015): *Chancen und Risiken mobiler und digitaler Kommunikation in der Arbeitswelt. Doppelgutachten für das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) für die Branchen IKT-Dienstleistung und Automobilproduktion*. Stuttgart: Universität Hohenheim.

- Li, Fang; Bayrak, Gülden; Kernschmidt, Konstantin; u. a. (2012): „Specification of the Requirements to Support Information Technology-Cycles in the Machine and Plant Manufacturing Industry“. In: IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM). Bukarest, S. 1077–1082.
- Lorenz, Edward; Valeyre, Antoine (2005): „Organisational Innovation, Human Resource Management and Labour Market Structure: A Comparison of the Eu-15“. In: The Journal of Industrial Relations. 47 (4), S. 424–442.
- Müller, Karlheinz (2012): „Der Produktionstechnologe – ein smarterer Innovationsakteur“. In: Pfeiffer, Sabine; Schütt, Petra; Wühr, Daniela (Hrsg.) Smarte Innovation. Ergebnisse und neue Ansätze im Maschinen- und Anlagenbau. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 285–297.
- Neumann, Horst (2014): „Eine große Chance für die Arbeit“. Süddeutsche Zeitung. 6.10.2014, S. 2.
- Nida-Rümelin, Julian (2014): Der Akademisierungswahn. Zur Krise beruflicher und akademischer Bildung. Hamburg: Edition Körber-Stiftung.
- Pfeiffer, Sabine (2014): „Erfahrungswissen, oder: Von der Bedeutung des sinnlichen Lernens in der „Wissensgesellschaft“..“. In: Schröter, Welf (Hrsg.) Identität in der Virtualität. Einblicke in neue Arbeitswelten und „Industrie 4.0“. Mössingen: Talheimer, S. 188–195.
- Pfeiffer, Sabine (2015a): „Industrie 4.0 – Phänomen digitalen Despotismus? Ursprung, Akteure und Intentionen eines vermeintlich deutschen Technikdiskurses“. In: Mittelweg 36. Themenheft Arbeit und Technik, S. (im Erscheinen).
- Pfeiffer, Sabine (2015b): „Industrie 4.0 und die Digitalisierung der Produktion – Hype oder Megatrend?“. In: Aus Politik und Zeitgeschichte. 65 (31/32), S. 6–12.
www.bpb.de/apuz/209955/industrie-4-0-und-die-digitalisierung-der-produktion.
- Pfeiffer, Sabine (2010a): „Technisierung von Arbeit“. In: Böhle, Fritz; Voß, Günter G.; Wachtler, Günther (Hrsg.) Handbuch Arbeitssoziologie. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 231–261.
- Pfeiffer, Sabine (2010b): „Wissenschaftliches Wissen und Erfahrungswissen – und ihre Bedeutung in innovativen Unternehmen“. In: IG Metall Vorstand (Hrsg.) Akademisierung von Betrieben – Facharbeiter/-innen ein Auslaufmodell? Dokumentation. Frankfurt/M., Dortmund, S. 87–106.
- Pfeiffer, Sabine (2007): Montage und Erfahrung: Warum Ganzheitliche Produktionssysteme menschliches Arbeitsvermögen brauchen. München, Mering: Hampp.
- Pfeiffer, Sabine (2004): Arbeitsvermögen. Ein Schlüssel zur Analyse (reflexiver) Informatisierung. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Pfeiffer, Sabine; Schmauch, Eberhard (2010): „Work Based Usability: ERP-Systeme und Arbeitsrealität“. In: MQ Management und Qualität. (3), S. 8–10.
- Pfeiffer, Sabine; Schütt, Petra; Ritter, Tobias (2014): „Organisationales Arbeitsvermögen. Eine wichtige Dimension von Beschäftigungsfähigkeit und Bedingung für eine nachhaltige Arbeitsmarktintegration.“ In: Löw, Martina (Hrsg.) Vielfalt und Zusammenhalt. Verhandlungen des 36. Kongresses der Deutschen Gesellschaft für Soziologie in Bochum und Dortmund 2012. Frankfurt/M., New York: Campus, CD zum Buch.
- Pfeiffer, Sabine; Schütt, Petra; Wühr, Daniela (Hrsg.) (2012): Smarte Innovation. Ergebnisse und neue Ansätze im Maschinen- und Anlagenbau. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

- Pfeiffer, Sabine; Suphan, Anne (2015): Der AV-Index. Lebendiges Arbeitsvermögen und Erfahrung als Ressourcen auf dem Weg zu Industrie 4.0. (Working Paper 2015 #1 vom 13.04.2015) Stuttgart: Universität Hohenheim.
www.sabine-pfeiffer.de/files/downloads/2015-Pfeiffer-Suphan-draft.pdf.
- Picot, Arnold; Neuburger, Rahild (2014): Arbeit in der digitalen Welt. Zusammenfassung der Ergebnisse der AG 1-Projektgruppe anlässlich der IT-Gipfelprozesse 2013 und 2014. München: Münchner Kreis.
- Pistono, Frederico (2014): Robots Will Steal Your Job But That's Ok. How To Survive the Economic Collapse and be Happy. Los Angeles: Federico Pistono.
- Rohrbach-Schmidt, Daniela; Hall, Anja (2013): BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2012. Version 3.0. (BIBB-FDZ Daten und Methodenberichte Nr. 1/2013) Bonn: Bundesinstitut für Berufsbildung FDZ.
- Rußmann, Michael; Lorenz, Markus; Gerbert, Philipp; u. a. (2015): Industry 4.0. The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. Boston Consulting Group.
- Ryan, Paul; Wagner, Karin; Teuber, Silvia; u. a. (2011): Finanzielle Aspekte der betrieblichen Ausbildung in Deutschland, Großbritannien und der Schweiz. Düsseldorf: Hans Böckler Stiftung (Arbeitspapier).
- Schlund, Sebastian; Hämmerle, Moritz; Strölin, Tobias (2014): Industrie 4.0 – Eine Revolution in der Arbeitsgestaltung. Wie Automatisierung und Digitalisierung unsere Produktion verändern werden. Ulm, Stuttgart: Ingenics und FhG IAO.
- Schulze, Hartmut (2000): „Erfahrungsgeladene Arbeit als Leitbild für die Entwicklung und Gestaltung von Produktionssystemen in der industriellen Fertigung“. (Dissertation) Hamburg: Universität Hamburg.
- Schumann, Michael; Baethge-Kinsky, Volker; Kuhlmann, Martin; u. a. (1994): Trendreport Rationalisierung. Berlin: Edition Sigma.
- Sennett, Richard (2009): The Craftsman. London, New York: Penguin Sigma.
- Spath, Dieter (Hrsg.) (2013): Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Stuttgart: Fraunhofer IAO.
- Spitz-Oener, Alexandra (2007): The Returns to Pencil Use Revisited. Bonn: IZA (Forschungsinstitut zur Zukunft der Arbeit) (IZA Discussion Paper).
- Tiemann, Michael (2014): Homogenität von Berufen. Arbeit und Beruf im Wandel – Ein Blick auf die gesellschaftliche Differenzierung. Bonn: Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB) (Berichte zur beruflichen Bildung).
- Weiland, Tim (2013): Arbeitsorganisation und Qualifikation in der Industrie 4.0. Ermittlung der Anforderungen an Management, Mitarbeiter und Arbeitsumfeld in der Produktion. Bremen: Grin.
- Windelband, Lars; Fenzl, Claudia; Hunecker, Felix; u. a. (2010): Qualifikationsanforderungen durch das Internet der Dinge in der Logistik. Bremen: Institut Technik und Bildung (ITB).
- Windelband, Lars; Spöttl, Georg (2012): „Diffusion von Technologien in die Facharbeit und deren Konsequenzen für die Qualifizierung am Beispiel des „Internet der Dinge““. In: Faßhauer, Uwe; Fürstenau, Bärbel; Wuttke, Eveline+ (Hrsg.) Berufs- und wirtschaftspädagogische Analysen – aktuelle Forschungen zur beruflichen Bildung. Opladen, Berlin, Toronto: Budrich, S. 205–219.
- Wühr, Daniela; Pfeiffer, Sabine; Schütt, Petra; u. a. (2012): „Innovation im Maschinenbau entlang des Produktlebenszyklus (PLC)“. In: Pfeiffer, Sabine; Schütt, Petra; Wühr, Daniel (Hrsg.) Smarte Innovation. Ergebnisse und neue Ansätze im Maschinen- und Anlagenbau. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 75–97.

Bisher erschienene manu:scripte

- ITA-01-01 Gunther Tichy, Walter Peissl (12/2001): Beeinträchtigung der Privatsphäre in der Informationsgesellschaft. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_01_01.pdf>
- ITA-01-02 Georg Aichholzer (12/2001): Delphi Austria: An Example of Tailoring Foresight to the Needs of a Small Country. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_01_02.pdf>
- ITA-01-03 Helge Torgersen, Jürgen Hampel (12/2001): The Gate-Resonance Model: The Interface of Policy, Media and the Public in Technology Conflicts. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_01_03.pdf>
- ITA-02-01 Georg Aichholzer (1/2002): Das ExpertInnen-Delphi: Methodische Grundlagen und Anwendungsfeld „Technology Foresight“. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_02_01.pdf>
- ITA-02-02 Walter Peissl (1/2002): Surveillance and Security – A Dodgy Relationship. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_02_02.pdf>
- ITA-02-03 Gunther Tichy (2/2002): Informationsgesellschaft und flexiblere Arbeitsmärkte. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_02_03.pdf>
- ITA-02-04 Andreas Diekmann (6/2002): Diagnose von Fehlerquellen und methodische Qualität in der sozialwissenschaftlichen Forschung. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_02_04.pdf>
- ITA-02-05 Gunther Tichy (10/2002): Over-optimism Among Experts in Assessment and Foresight. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_02_05.pdf>
- ITA-02-06 Hilmar Westholm (12/2002): Mit eDemocracy zu deliberativer Politik? Zur Praxis und Anschlussfähigkeit eines neuen Mediums. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_02_06.pdf>
- ITA-03-01 Jörg Flecker und Sabine Kirschenhofer (01/2003): IT verleiht Flügel? Aktuelle Tendenzen der räumlichen Verlagerung von Arbeit. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_03_01.pdf>
- ITA-03-02 Gunther Tichy (11/2003): Die Risikogesellschaft – Ein vernachlässigtes Konzept in der europäischen Stagnationsdiskussion. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_03_02.pdf>
- ITA-03-03 Michael Nentwich (11/2003): Neue Kommunikationstechnologien und Wissenschaft – Veränderungspotentiale und Handlungsoptionen auf dem Weg zur Cyber-Wissenschaft. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_03_03.pdf>
- ITA-04-01 Gerd Schienstock (1/2004): Finnland auf dem Weg zur Wissensökonomie – Von Pfadabhängigkeit zu Pfadentwicklung. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_04_01.pdf>
- ITA-04-02 Gunther Tichy (6/2004): Technikfolgen-Abschätzung: Entscheidungshilfe in einer komplexen Welt. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_04_02.pdf>
- ITA-04-03 Johannes M. Bauer (11/2004): Governing the Networks of the Information Society – Prospects and limits of policy in a complex technical system. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_04_03.pdf>
- ITA-04-04 Ronald Leenes (12/2004): Local e-Government in the Netherlands: From Ambitious Policy Goals to Harsh Reality. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_04_04.pdf>
- ITA-05-01 Andreas Krisch (1/2005): Die Veröffentlichung des Privaten – Mit intelligenten Etiketten vom grundsätzlichen Schutz der Privatsphäre zum Selbstschutz-Prinzip. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_05_01.pdf>
- ITA-05-02 Petra Grabner (12/2005): Ein Subsidiaritätstest – Die Errichtung gentechnikfreier Regionen in Österreich zwischen Anspruch und Wirklichkeit. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_05_02.pdf>
- ITA-05-03 Eva Buchinger (12/2005): Innovationspolitik aus systemtheoretischer Sicht – Ein zyklisches Modell der politischen Steuerung technologischer Innovation. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_05_03.pdf>
- ITA-06-01 Michael Latzer (6/2006): Medien- und Telekommunikationspolitik: Unordnung durch Konvergenz – Ordnung durch Mediamatikpolitik. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_06_01.pdf>
- ITA-06-02 Natascha Just, Michael Latzer, Florian Saurwein (9/2006): Communications Governance: Entscheidungshilfe für die Wahl des Regulierungsarrangements am Beispiel Spam. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_06_02.pdf>
- ITA-06-03 Veronika Gaube, Helmut Haberl (10/2006): Sozial-ökologische Konzepte, Modelle und Indikatoren nachhaltiger Entwicklung: Trends im Ressourcenverbrauch in Österreich. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_06_03.pdf>
- ITA-06-04 Maximilian Fochler, Annina Müller (11/2006): Vom Defizit zum Dialog? Zum Verhältnis von Wissenschaft und Öffentlichkeit in der europäischen und österreichischen Forschungspolitik. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_06_04.pdf>
- ITA-06-05 Holger Floeting (11/2006): Sicherheitstechnologien und neue urbane Sicherheitsregimes. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_06_05.pdf>
- ITA-06-06 Armin Spök (12/2006): From Farming to „Pharming“ – Risks and Policy Challenges of Third Generation GM Crops. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_06_06.pdf>
- ITA-07-01 Volker Stelzer, Christine Rösch, Konrad Raab (3/2007): Ein integratives Konzept zur Messung von Nachhaltigkeit – das Beispiel Energiegewinnung aus Grünland. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_07_01.pdf>
- ITA-07-02 Elisabeth Katzlinger (3/2007): Big Brother beim Lernen: Privatsphäre und Datenschutz in Lernplattformen. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_07_02.pdf>
- ITA-07-03 Astrid Engel, Martina Erlemann (4/2007): Kartierte Risikokonflikte als Instrument reflexiver Wissenspolitik. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_07_03.pdf>
- ITA-07-04 Peter Parycek (5/2007): Gläserne Bürger – transparenter Staat? Risiken und Reformpotenziale des öffentlichen Sektors in der Wissensgesellschaft. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_07_04.pdf>
- ITA-07-05 Helge Torgersen (7/2007): Sicherheitsansprüche an neue Technologien – das Beispiel Nanotechnologie. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_07_05.pdf>
- ITA-07-06 Karen Kastenhofer (9/2007): Zwischen „schwacher“ und „starker“ Interdisziplinarität. Die Notwendigkeit der Balance epistemischer Kulturen in der Sicherheitsforschung zu neuen Technologien. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_07_06.pdf>

- ITA-07-07 Ralf Lindner, Michael Friedewald (9/2007): Gesellschaftliche Herausforderungen durch „intelligente Umgebungen. Dunkle Szenarien als TA-Werkzeug. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_07_07.pdf>
- ITA-07-08 Alfons Bora (11/2007): Die disziplinären Grundlagen der Wissenschaft. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_07_08.pdf>
- ITA-08-01 Alexander Degelsegger (5/2008): „Frames“ in sozialwissenschaftlichen Theorieansätzen. Ein Vergleich aus der Perspektive der Technikforschung. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_08_01.pdf>
- ITA-08-02 Jens Hoff (11/2008): Can The Internet Swing The Vote? Results from a study of the 2007 Danish parliamentary election. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_08_02.pdf>
- ITA-09-01 Georg Aichholzer, Doris Allhutter (2/2009): e-Participation in Austria: Trends and Public Policies. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_09_01.pdf>
- ITA-09-02 Michael Nentwich (11/2009): Cyberscience 2.0 oder 1.2? Das Web 2.0 und die Wissenschaft. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_09_02.pdf>
- ITA-09-03 Hilmar Westholm (12/2009): Wandel der Formen politischer Partizipation und der Beitrag des Internet. Schlussfolgerungen aus Bevölkerungsbefragungen in Deutschland. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_09_03.pdf>
- ITA-10-01 Iris Eisenberger (12/2010): Kleine Teile, große Wirkung? Nanotechnologieregulierung in der Europäischen Union. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_10_01.pdf>
- ITA-10-02 Alexander Degelsegger and Helge Torgersen (12/2010): Instructions for being unhappy with PTA. The impact on PTA of Austrian technology policy experts' conceptualisation of the public. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_10_02.pdf>
- ITA-10-03 Ernest Braun (12/2010): The Changing Role of Technology in Society. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_10_03.pdf>
- ITA-10-04 Fritz Betz (12/2010): E-Partizipation und die Grenzen der Diskursethik. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_10_04.pdf>
- ITA-11-01 Peter Parycek, Judith Schoßböck (1/2011): Transparency for Common Good. Offener Zugang zu Information im Kontext gesellschaftlicher und strategischer Spannungsfelder. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_11_01.pdf>
- ITA-11-02 Georg Aichholzer und Doris Allhutter (6/2011): Online forms of political participation and their impact on democracy. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_11_02.pdf>
- ITA-11-03 Mahshid Sotoudeh, Walter Peissl, Niklas Gudowsky, Anders Jacobi (12/2011): Long-term planning for sustainable development. CIVISTI method for futures studies with strong participative elements. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_11_03.pdf>
- ITA-12-01 Xiao Ming (1/2012): e-Participation in Government Decision-Making in China. Reflections on the Experience of Guangdong Province. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_12_01.pdf>
- ITA-12-02 Stephan Bröchler, Georg Aichholzer, Petra Schaper-Rinkel (Hrsg.) (9/2012): Theorie und Praxis von Technology Governance. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_12_02_Sondernummer.pdf>
- ITA-12-03 Iris Eisenberger (10/2012): EU-Verhaltenskodex Nanotechnologie: Rechtsstaatliche und demokratische Aspekte. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_12_03.pdf>
- ITA-12-04 Julia Haslinger, Christiane Hauser, Peter Hocke, Ulrich Fiedeler (10/2012): Ein Teilerfolg der Nanowissenschaften? Eine Inhaltsanalyse zur Nanoberichterstattung in repräsentativen Medien Österreichs, Deutschlands und der Schweiz. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_12_04.pdf>
- ITA-13-01 Helge Torgersen, Alexander Bogner, Karen Kastenhofer (10/2013): The Power of Framing in Technology Governance: The Case of Biotechnologies. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_13_01.pdf>
- ITA-13-02 Astrid Mager (11/2013): In search of ideology. Socio-cultural dimensions of Google and alternative search engines. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_13_02.pdf>
- ITA-13-03 Petra Wächter (12/2013): Aspekte einer nachhaltigen Energiezukunft. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_13_03.pdf>
- ITA-14-01 Renate Mayntz (8/2014): Technikfolgenabschätzung – Herausforderungen und Grenzen. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_14_01.pdf>
- ITA-14-02 Michael Narodoslasky (11/2014): Utilising Bio-resources: Rational Strategies for a Sustainable Bio-economy. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_14_02.pdf>
- ITA-14-03 Petra Wächter (12/2014): Ökonomik in der Technikfolgenabschätzung – eine Bestandsaufnahme. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_14_03.pdf>
- ITA-15-01 Reinhard Grünwald (5/2015): Stromnetze: Bedarf, Technik, Folgen. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_15_01.pdf>
- ITA-15-02 Christine Chaloupka, Robert Kölbl, Wolfgang Loibl, Romain Molitor, Michael Nentwich, Stefanie Peer, Ralf Risser, Gerd Sammer, Bettina Schützhofer, Claus Seibt (6/2015): Nachhaltige Mobilität aus sozio-ökonomischer Perspektive – Diskussionspapier der Arbeitsgruppe „Sozioökonomische Aspekte“ der ÖAW-Kommission „Nachhaltige Mobilität“. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_15_02.pdf>
- ITA-15-03 Sabine Pfeiffer (10/2015): Auswirkungen von Industrie 4.0 auf Aus- und Weiterbildung. <epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_15_03.pdf>