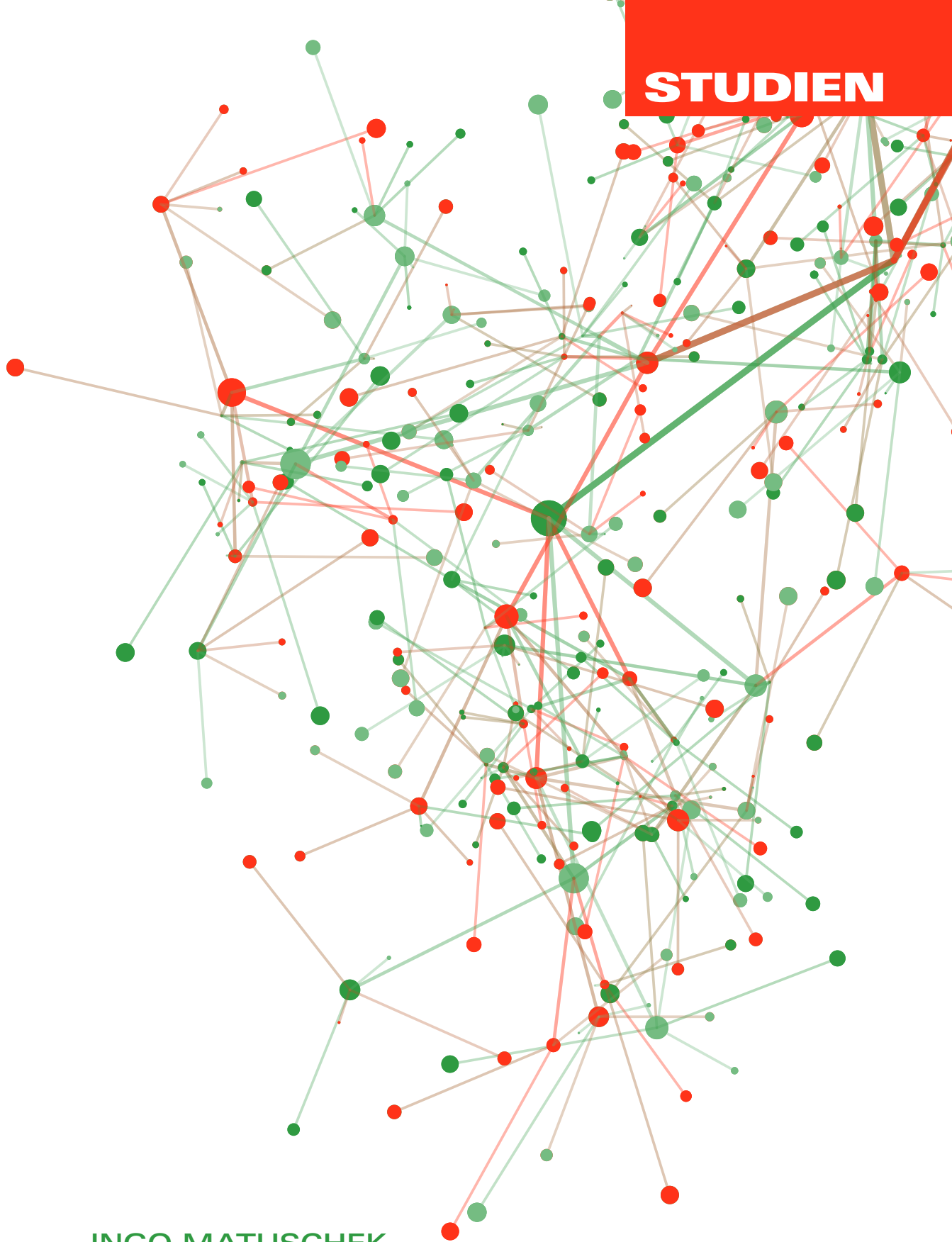


ROSA LUXEMBURG STIFTUNG

STUDIEN



INGO MATUSCHEK

INDUSTRIE 4.0, ARBEIT 4.0 – GESELLSCHAFT 4.0?

EINE LITERATURSTUDIE

INGO MATUSCHEK

**INDUSTRIE 4.0,
ARBEIT 4.0 –
GESELLSCHAFT 4.0?**

EINE LITERATURSTUDIE

INGO MATUSCHEK lebt in Berlin und ist Arbeitssoziologe mit den Schwerpunkten Wandel der Arbeit, Arbeitspolitik, politisches Alltagshandeln und Methoden der Sozialforschung.

IMPRESSUM

STUDIEN 02/2016 wird herausgegeben von der Rosa-Luxemburg-Stiftung
und erscheint unregelmäßig

V. i. S. d. P.: Stefan Thimmel

Franz-Mehring-Platz 1 · 10243 Berlin · www.rosalux.de

ISSN 2194-2242 · Redaktionsschluss: Februar 2016

Illustration Titelseite: Frank Ramspott/iStockphoto

Layout/Herstellung: MediaService GmbH Druck und Kommunikation

Gedruckt auf Circleoffset Premium White, 100% Recycling

INHALT

Vorwort.	5
1 Einleitung: Industrie, Arbeit, Gesellschaft 4.0	6
2 Literaturbasis	12
3 Technik und Rationalisierung in arbeits- und industriesoziologischer Perspektive	14
3.1 Informatisierung der Arbeit	17
3.2 Subjektive Leistungen der Arbeitenden als Komplement technisierter Arbeit	19
4 Erkenntnisstand zur Industrie 4.0 – ausgewählte Studien	22
4.1 Allgemeine Auswirkungen auf Wirtschaftsbereiche, Qualifikation und Arbeitsteilung	23
4.2 Die immanente Basis der Prognosen – gesellschaftspolitische Szenarien	50
4.3 Aktive und passive Träger – Versprechungen und Hoffnungen versus Vorbehalte und Befürchtungen	58
5 Resümee: Industrie 4.0, Arbeiten 4.0 – arbeits- und gesellschaftspolitische Herausforderungen	72
Literaturverzeichnis	77

VORWORT

Unter den Schlagworten «Industrie 4.0» und «Arbeit 4.0» werden hierzulande Modernisierungsstrategien verhandelt, die Umbrüche in der Produktionsweise, der gesellschaftlichen und beruflichen Arbeitsteilung sowie der Arbeitsverhältnisse gestalten wollen. Den Ausgangspunkt bildet die These von einer bevorstehenden neuen Welle und Qualität der Automation, die unter anderem auf der Miniaturisierung der Sensortechnik, Big Data und gesteigerten Datenverarbeitungskapazitäten sowie «lernenden» Algorithmen beruht. Im Mittelpunkt stehen die vollautomatisierte Fabrik und die «künstliche Intelligenz», eine neue Stufe der Übertragung von Kopfarbeit auf Maschinen. Unter dem Stichwort «Internet der Dinge» geht es in der US-amerikanischen Debatte eher um eine neue Art von Produkten wie etwa «Mobilität» oder «Gesundheit». Ein dritter Strang ist das «virtuelle Unternehmen», die Auflösung der klassischen Fabrik in sogenannte Plattformunternehmen, die über die steuernden Algorithmen verfügen, um auf verschiedene materielle Produktionsschritte zur Herstellung des gewünschten Produkts überall auf der Welt und zugleich kundennah zugreifen zu können. Globale Wertschöpfungsketten, Unternehmens- und Arbeitsorganisation verändern sich, Lohnarbeit verwandelt sich in Auftragsarbeit.

Zu diesen sich heute eher noch zaghaft abzeichnenden Umbrüchen ist in den vergangenen zwei, drei Jah-

ren eine Reihe von Studien entstanden, die mit unterschiedlichen Instrumentarien die Auswirkungen der neuen Automationswelle auf Arbeitsqualifikationen und Arbeitsplätze zu prognostizieren versuchen. Dabei kommen sie zu sehr unterschiedlichen Voraussagen.

Die vorliegende Studie von Ingo Matuschek nimmt eine kritische Würdigung der wichtigsten bis Herbst 2015 veröffentlichten Studien vor und gleicht ihre Ergebnisse ab. Am Ende steht eine Einschätzung, welche Handlungsrelevanz die prognostizierten Entwicklungen haben (sollten) und wo sie selbst eher Teil einer bestimmten Modernisierungsstrategie sind.

Die Literaturstudie ist im Zusammenhang mit Diskussionen im Gesprächskreis «Klassen und Sozialstruktur» bei der Rosa-Luxemburg-Stiftung entstanden. Der Gesprächskreis beschäftigt sich regelmäßig mit Veränderungen der gesellschaftlichen und beruflichen Arbeitsteilung sowie mit der Neuzusammensetzung von Arbeit im Zuge der «Digitalisierung». Die Studie schafft eine Basis für weitere Debatten, die sich statt der Frage «Was kommt?» stärker mit der Frage «Wer gestaltet und beeinflusst was?» befassen können.

Ingo Matuschek danke ich besonders für das fachkundige Engagement, mit dem er sich im Gesprächskreis und in dieser Studie dem Thema widmet.

Horst Kahrs

1 EINLEITUNG: INDUSTRIE, ARBEIT, GESELLSCHAFT 4.0

In den vergangenen fünf bis sechs Jahren hat die Debatte um eine vernetzte Produktion deutlich an Fahrt aufgenommen. Allenthalben ist von «Big Data», dem Bedeutungszuwachs des «Internets der Dinge», von «Robotik» oder «Autonomik» die Rede. Eine substantielle Verbindung gehen diese Artefakte im Begriff der Industrie 4.0 ein. Sicherlich hat schon die Griffigkeit des Begriffs an sich die breite Debatte begünstigt, allerdings dürften insbesondere die prognostizierten Auswirkungen des technologischen Wandels auf die industriellen Kerne des Wirtschaftsstandorts Deutschland zur hohen Aufmerksamkeit beigetragen haben.

Durch seinen numerischen Appendix wird der Begriff Industrie 4.0 zudem in eine Kontinuität mit vergangenen beziehungsweise gegenwärtigen Produktionsweisen gestellt und verweist damit bereits auf deren Ablösung: Die Bezifferung bringt vorgeblich substantielle Qualitätssprünge zum Ausdruck und suggeriert eine kontinuierliche Aufwärtsentwicklung technisch-wirtschaftlichen Handelns vom mechanisierten Handwerk über die industrialisierte und später automatisierte Produktion hinein in das kommende Zeitalter einer vernetzten Industrie. So gesehen befinden wir uns an einem historisch bedeutsamen Scheidepunkt – und das macht die Debatte um das, was da in naher Zukunft entstehen wird, nicht nur ökonomisch, sondern auch politisch bedeutsam.

Dabei gilt, dass es sich im Eigentlichen um eine diskursive Engführung handelt, wenn von Industrie 4.0 die Rede ist – zu erwarten sind nicht nur Veränderungen in den industriellen Sektoren, sondern auch in den Dienstleistungsbereichen. Weil sich die Perspektiven für die unterschiedlichen Sektoren über weite Strecken parallelisieren lassen, steht die Debatte um eine Industrie 4.0 paradigmatisch für die Debatte um die zukünftige Gestalt einer digitalisierten Arbeit.

In dieser Debatte zielen die Argumente entweder darauf, die erwartete höhere Effizienz einer digitalisierten Produktion zu betonen oder Bedenken ob der arbeitspolitischen Folgen zu unterstreichen. Insgesamt rückten nach einer euphorisch anmutenden technologiezentrierten Startphase zunehmend die Folgen für die Arbeitsgestaltung in den Blick. Als eine Art semantischer Zwilling hat sich dafür der Begriff Arbeit 4.0 etabliert. Die Geschwindigkeit, mit der dies geschah, kann man als durchaus intendierte Nebenwirkung der in den 1970er und 1980er Jahren geführten Debatten um Technikfolgenabschätzung und -geneseforschung ansehen. Es geht darum, die Gestalt der zukünftigen Produktionswelten aktiv zu entwerfen und sie nicht vermeintlichen technologischen Sachzwängen zu überlassen. Deshalb sollte die Diskussion im Hinblick auf die Rationalisierungseffekte in einer umgestalteten Wirtschaft geführt werden: Es geht um technologische Architekturen und die Veränderungen in den Arbeitsabläufen bis hin zu der Frage nach den Qualifikationen für

eine digitalisierte Produktion, vor allem aber um Rationalisierungsgewinner und -verlierer, um Standortkennzeichen in globalen Wertschöpfungs-systemen, um Produktivitätssteigerungen und um die Teilhabe daran.

Industrie 4.0 nicht verkürzt als technologische Innovation, sondern als gesellschaftliche Aufgabe zu verstehen, die schöne neue Arbeitswelt zu organisieren, setzt Wissen um Akteure und Argumente in der Debatte voraus. Die vorliegende Studie zielt im Rahmen einer Sekundäranalyse darauf, dieses Wissen bereitzustellen, indem sie die in den letzten fünf Jahren erschienenen Studien, Prognosen und Szenarien zum Themenkomplex Industrie/Arbeit 4.0 anhand von drei komplexen Fragestellungen untersucht:

- Wie bilanzieren die jeweiligen Autoren die allgemeinen Auswirkungen auf die Arbeitswelt und wie schätzen sie die Verteilung auf die einzelnen Wirtschaftsbereiche ein? Welche Veränderungen hinsichtlich der Qualifikation und der beruflichen Arbeitsteilung werden erwartet?
- Welche gesellschaftlichen beziehungsweise gesellschaftspolitischen Szenarien liegen diesen Prognosen zugrunde?
- Welche Akteure – aktive und passive Träger und Gegner – werden identifiziert, welche Versprechungen, Hoffnungen und Befürchtungen artikuliert?

Der Überblick skizziert entlang dieser Perspektiven die intensive Debatte um die vierte industrielle Revolution und unternimmt eine Systematisierung der eingebrachten Argumente und der ihnen zugrunde liegenden Gesellschaftsbilder. Dabei konzentriert er sich auf wissenschaftliche beziehungsweise wissenschaftsnaher Beiträge sowie Akzente und Initiativen auf der im weiteren Sinne arbeits- und industriepolitischen Agenda. Letzteres umfasst sowohl institutionelle Vertreter auf der politischen Bühne, also Veröffentlichungen aus den Ministerien oder durch Lobbyisten, Arbeitgeberverbände und Gewerkschaften, als auch Parteien.

Nicht berücksichtigt werden solche Beiträge, die als Öffentlichkeitsarbeit von einzelnen Unternehmungen zu werten sind und eher als Werbeschrift denn als grundlegende Auseinandersetzung mit dem Thema Industrie/Arbeit 4.0 verstanden werden können. Ein in seiner Komplexität dennoch beeindruckendes Beispiel einer solchen Darstellung liefert eine Illustration aus dem Hause SAP, die als Reise durch die vernetzte Wirtschaft¹ Einblicke in das Webmuster einer digitalen Gesellschaft ermöglichen soll (Abb. 1, S. 8): Der Protagonist Alex agiert in seinem Arbeitsleben nicht nur in vernetzten Bahnen, sondern kann dieses offenbar im eigenen Interesse mit privaten Angelegenheiten

¹ Das Plakat ist im Netz unter: downloadasset.2015-01-jan-21-17.a-journey-through-a-networked-economy-pdf.html zu finden und bietet dort auch die Möglichkeit, die weiterführenden Links zu aktivieren und ein wenig tiefer in die vernetzte Wirtschaft aus der Sicht eines in dieser Vernetzung stark engagierten Unternehmens einzutauchen.

ten abgleichen und gleichsam beide Sphären optimieren. Die Datenspur, die er dabei hinterlässt, ist immens breit, aber das ist nicht Gegenstand der Darstellung. Glaubt man den angegebenen Daten zur «vernetzten Wirtschaft» (*networked economy*), so wird bereits in fünf Jahren jeder dritte Mensch mindestens via soziale Netzwerke eingebunden sein, werden 75 Milliarden Geräte vom PC über das Smartphone bis hin zum Tablet-PC ein interaktives Netz spannen, das Privatpersonen und Wirtschaft miteinander verbindet, und wird allein die vernetzte Ökonomie mit 50 Billionen Euro zum Welthandelsvolumen beitragen.

Was will die SAP-Darstellung erzählen? Die Veränderungen im Arbeits- wie Lebenszusammenhang greifen ineinander, alles wird flüssiger, und Alex, der Protagonist, bewegt sich von einer Win-win-Situation in die andere, alle Facetten seines Lebens gewinnen an Effizienz. Die mit diesen Veränderungen einhergehenden, arbeitspolitischen Effekte sind in diesem Marketing-Rahmen nicht thematisierbar – das ist auch nicht beabsichtigt. Ihnen widmet sich jedoch eine Zukunftsstudie der Universität St. Gallen, die im Auftrag der Telekom (2015) durchgeführt worden ist und in 25 Thesen die kommenden Entwicklungen der Arbeitswelt aufblättert (Abb. 2, S. 9 f.).

In Bezug auf das Personalmanagement zieht die Studie die Schlussfolgerung, dass eine tragfähige Innovationskultur aufgebaut werden muss, in der Partizipationsansprüche eingelöst werden, das Wissensmanagement professionell organisiert ist, *open innovation* genutzt wird und zu *intrapreneurship* (dt. Binnenunternehmertum) ermutigt wird. Arbeitspolitisch geht es darum, Zeit- und Ortssouveränität mit Inhaltssouveränität zu verbinden, um Präsenzbegegnungen als auch Pausen vom digitalen Arbeiten zu ermöglichen. Die Organisation zeichnet sich durch flache Netzwerkstrukturen aus, die Social-Media-Anwendungen integriert und Plattformen sowohl inner- als auch außerhalb des Unternehmens nutzt. Fähigkeiten sind Kreativität und nicht lineares Denken und ein verinnerlichtes *entrepreneurship* (dt. Unternehmertum) – unter der Voraussetzung ausgeprägter IT-Kenntnisse aufseiten der Beschäftigten. Führungskompetenz zeichnet sich durch gestärkte Netzwerk- und Dialogfähigkeiten aus, es geht um den Wandel von Kontrolle zu Encouragement. Bei hoher zeitlicher und räumlicher Souveränität findet ein Übergang von einer Präsenz- zu einer Ergebniskultur statt (vgl. Telekom 2015).

Solche Skizzen bergen jenseits der positiven Grundstimmung, die verbreitet wird, auch Hinweise auf arbeitspolitische Entwicklungen, die ernst zu nehmen und nicht allein ob ihrer blumigen Sprache zu banalisieren sind. Arbeitsplätze ohne Organisationszugehörigkeit (These 1) im Modus Beauftragen statt Einstellen (These 3) und unter Vernutzung kundenseitiger Kreativpotenziale (These 6) in Crowdworking-Umgebungen (These 9) verändern das gegenwärtige Modell der Arbeitsgesellschaft grundlegend im Hinblick auf Arbeits- und Sozialpolitik – von den vielen weiteren inhärenten

Implikationen wie Entgrenzungsaspekten, Datensicherheitsfragen oder generellen leistungspolitischen Effekten einmal abgesehen.

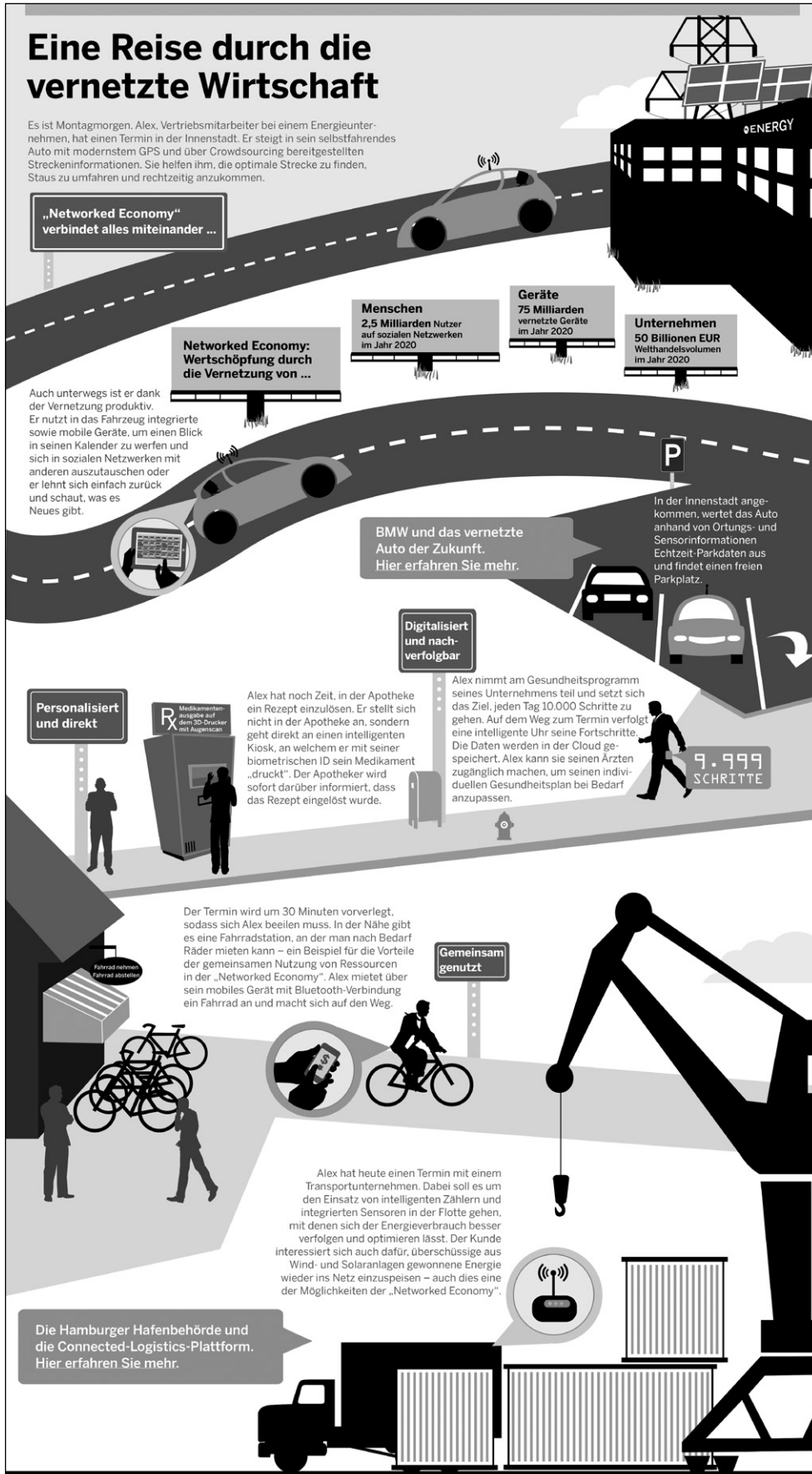
Dies als plakative Träumerei abzutun verkennt den normativen Gehalt solcher Vorstellungen – Arbeiten 4.0 wird sich nicht am Gegenhorizont fordristisch-bürokratisch organisierter Arbeit beweisen wollen, sondern an den Visionen der Industrie 4.0. Der Realgehalt solcher Visionen ist dabei nur ein Moment der Entwicklung, die Versprechungen auf Effizienz und erfolgreichen Wettbewerb können ebenso folgenreich sein, wenn sie als Zielsetzungen des Arbeitsalltags Wirkmächtigkeit erlangen.

Die SAP-Grafik verdeutlicht aber auch, dass es mit einer zunehmenden Digitalisierung und Vernetzung zu Entgrenzungen von bisher allenfalls kooperativen Wirtschaftsbereichen kommt und dass sich die Sphären von Produktionsökonomie und Konsumtionsökonomie stärker miteinander verschränken, als dies bisher der Fall gewesen ist. Crowdsourcing oder die Datensammlung im Onlinegeschäft sind dafür nur die bekanntesten Beispiele. Logistische Systeme etwa sind über die vor nicht allzu langer Zeit noch gerühmte *just-in-time*-Zulieferung längst hinaus und in der Lage, *just in sequence* zu liefern, sodass selbst bei wechselnden Modellvarianten Bauteile punktgenau in die Produktionsprozesse eingespeist werden können, die selbst erst nach dem Eingang der Bestellungen konzipiert werden (*built-to-order*).

Die Verzögerungen bei der Einführung der elektronischen Gesundheitskarte belegen, dass diese schöne neue (Arbeits-)Welt nicht umstandslos Einzug halten wird, dass es Widerstände und Bedenken geben wird und bereits gibt und dass die tatsächliche Ausgestaltung nicht als bloßes technisches Artefakt, sondern als soziale Innovation gedacht werden muss, die gesellschaftlich debattiert und organisiert werden muss. Andererseits treiben Befürworter einer gesteigerten Rationalisierung das Projekt 4.0 seit einigen Jahren entschieden voran und engagieren sich auf unterschiedlichen Feldern als Vordenker, so etwa der frühere SAP-Manager und heutige Präsident der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (Acatech).

Wenn also mit dem Schlagwort Industrie 4.0 längst mehr als eine Vision verbunden ist und industriepolitische Entscheidungen nicht nur in Vorbereitung, sondern in konkrete Programme eingespeist werden, ist es höchste Zeit für eine (wenn auch nachhinkende) gesellschaftspolitische Debatte. Insofern dient die vorliegende Literaturstudie als Instrument, eine gesellschaftliche Auseinandersetzung um Vernetzung und Digitalisierung in der Wirtschafts- und Arbeitswelt sowie um die Verfasstheit einer Gesellschaft 4.0 insgesamt zu führen. Sie ist als Überblick angelegt, der in instruktiver Weise wesentliche Erkenntnisse der referierten Literatur wiedergeben will und insbesondere auch die in der Debatte angebotenen Daten zur Diskussion stellt. Dazu erfolgt zunächst ein Rückgriff auf sozialwissenschaftliche Debattenstränge zur Technisierung und Rationalisierung

Abbildung 1: Eine Reise durch die vernetzte Wirtschaft



Quelle: SAP 2015

Abbildung 2: 25 Thesen zur Entwicklung der Arbeitswelt

1. Liquid statt starr. Die neue Arbeitswelt ist geprägt durch Netzwerke. Standardisierte Back-End-Prozesse werden zwischen Unternehmen geteilt, ohne dass dies für Kunden oder Mitarbeiter sichtbar ist. Dadurch entstehen Arbeitsplätze ohne eindeutige organisationale Zugehörigkeit und Produkte ohne eindeutigen Absender.

2. Peer-to-Peer statt Hierarchie. Hoch spezialisierte Fachkräfte kommunizieren weltweit in Special Interest Communities. Nicht mehr die Organisationszugehörigkeit, sondern nur noch die fachliche Expertise leitet Loyalitäten. Die gelösten Bindungen führen auch zum Ende der Organisierbarkeit. Gewerkschaften bekommen dies bereits heute zu spüren: Engagement für Allgemeinbelange findet nur noch selektiv statt.

3. Beauftragen statt Einstellen. Unternehmen greifen für die Erbringung spezifischer Leistungen immer weniger auf die dem Unternehmen fest verbundene Workforce zurück. Globale Transparenz von Skills und Verfügbarkeiten hoch qualifizierter Fachkräfte führen zu einem «hiring on demand». Das Arbeitsverhältnis wandelt sich zum Arbeitseinsatz.

4. SAP statt McKinsey. Organisationen strukturieren sich nicht mehr entlang von Organigrammen. Komplexe IT-Systeme geben standardisierte Abläufe und Organisationsformen vor. Es ist billiger, die Organisation an die Software anzupassen als die Software zu individualisieren. Die Software-Standardisierung macht Organisationsformen homogener.

5. Offen statt geschlossen. Akzelerierte Transparenzansprüche sowie die Notwendigkeit zu Co-Kreation mit Kunden (Open Innovation) führen zu einer Öffnung und Entgrenzung geschlossener Unternehmensstrukturen. Übergänge zwischen innen und außen werden flüssig, Herrschaftswissen, wie z. B. Patente, verlieren an Wert. Die Fähigkeit, schnell und offen zu skalieren, wird zum Königsweg. Dabei wird die Crowd zum Teil der Wertschöpfung.

6. Prosumenten statt professionelle Produzenten. Statt auf Mitarbeiter setzen Unternehmen immer mehr auf Kunden. Viele (digitalisierbare) Leistungen werden von Begeisterten freiwillig und unentgeltlich erbracht. Beim Prosumerismus verschwimmen die Grenzen zwischen Produzenten und Konsumenten. Freiwillige digitale Arbeit ersetzt dabei professionelle Beschäftigung.

7. Vom Ausführen zum Überwachen. Die Rolle des Menschen im Produktionsprozess transformiert sich vom Erbringer der Arbeitsleistung in den Überwacher der Maschinen. Routinevorgänge und auch körperlich belastende Tätigkeiten werden von diesen selbstständig abgewickelt. Der Mensch kontrolliert und greift nur im Notfall ein.

8. Maschinen als Kollegen, Kooperationspartner, Kontrolleure. Neue Interaktionsformen zwischen Mensch und Maschine ziehen herauf. Diverse Spielarten werden in Zukunft koexistieren. Von Menschen, die Maschinen steuern, über Maschinen als Kollegen der Menschen bis zur Verschmelzung von Maschine und Mensch oder der kompletten Übernahme der Maschinen.

9. Cloud- und Crowdworking als Übergangspänomen. Digitale Leistungen werden in kleinere Teile zerlegt und an «Virtual Laborers» delegiert. Durch Big-Data-Analysten können Wertbeiträge präzise einzelnen Arbeitskräften zugeordnet werden. Cloud- und Clickworker erbringen ihre Leistungen im Akkord. Absehbar werden viele dieser Tätigkeiten als voll digitalisiert.

10. Die Datenleser. Mit Big Data liegen für alle Lebensbereiche hinreichend Daten vor. Die Fähigkeit, diese sinnhaft zu kombinieren und zu interpretieren, ist eine Schlüsselqualifikation digitaler Arbeit und nicht substituierbar. Von traditioneller Datenanalyse unterscheidet sich die Arbeit mit Big Data allerdings, da keine Hypothesen mehr benötigt werden («end of theory»).

11. Arbeit ohne Grenzen. Hochqualifizierte Spezialisten erbringen im Rahmen von Projektarbeit Arbeitsleistung rund um die Welt. Qualifikationen sind global transparent und vergleichbar. Die räumliche Verortung des Leistungserbringers spielt keine Rolle mehr. Arbeit erlangt damit erstmals die gleiche Mobilität wie Kapital.

12. Beruf und privat verschwimmen. Die traditionellen Arbeitsorte und -zeiten lösen sich auf. Für Arbeitnehmer ergeben sich hieraus individuelle Gestaltungspotenziale, zum Beispiel zur besseren Vereinbarkeit von Familie und Beruf, aber auch neue Belastungen («always on»).

13. Nicht-lineares Denken als menschliche Domäne. Die Automatisierung von Arbeit ist endlich, da kreative Tätigkeiten verbleiben, die voraussehbar nicht maschinell substituierbar sind. Diese finden sich vor allem in sehr spezifischen Nischen. Unternehmerische Skills, Kreativität und die Beherrschung der Maschinen gelten als nur schwer substituierbare Fähigkeiten.

14. Stärkung personenbezogener Dienstleistungen. In Hochlohnländern werden Tätigkeiten mit unmittelbarer menschlicher Interaktion aufgewertet. Diese Jobs wachsen auch prozentual. Standardisierbare und anonyme Prozesse dagegen, gerade im Bereich ICT, werden zum Gegenstand von Offshoring und weiterem Effizienzdruck.

15. Selbstmanagement als Kernqualifikation. Durch die flexible und bedarfsgerechte Vergabe von Aufträgen an Arbeitskraft-Unternehmer lösen sich traditionelle Arbeitszusammenhänge und -abläufe auf. Die Arbeit setzt sich zusammen aus Mikro-Arbeitszeiten verschiedener Aufgaben, die der Arbeitnehmer nach Bedürfnis und Fähigkeit zusammenstellt.

16. Zusammenwachsen von kreativer und produzierender Arbeit. Immer häufiger wird von den Erbringern kreativer oder geistiger Leistung verlangt, diese auch materiell umzusetzen. 3-D-Drucker und andere Werkzeuge begünstigen diesen Trend.

17. Wir Wunderkinder. Die weiter steigende Bedeutung von IT eröffnet den Nerds den Weg in die obersten Unternehmensetagen. Was früher die musikalischen Wunderkinder waren, sind heute die frühreifen App-Tüftler und Datenexperten. Zum disruptiven Wandel der Unternehmenskulturen wird diese Generation erheblich beitragen. Nicht formale Qualifikation, sondern ausschließlich technisches Können entscheiden fortan über die Employability.

18. Digitale Inklusion. Distanzarbeit, die Anonymität von Crowd- und Clickworking-Arbeitsverhältnissen und die Flexibilisierung der Arbeitszeiten integrieren auch soziale Gruppen in den Arbeitsmarkt, die für das klassische Normalarbeitsverhältnis nicht zur Verfügung stehen. Dies gilt – wie zum Beispiel in Berlin beobachtbar – für Start-ups, aber auch für Clickworker in Schwellenländern.

19. Challenge-Latte-Macchiato-Arbeitsplatz. Der Arbeitsort von Menschen in flexiblen Arbeitsverhältnissen breitet sich auf den öffentlichen Raum aus. Physische Büros sind temporäre Ankerpunkte für menschliche Interaktionen, die vor allem dem Netzwerken dienen. Gearbeitet wird überall – nur nicht am eigenen Schreibtisch.

20. Brot und Spiele. Gerade bei standardisierten Tätigkeiten sehnen sich Mitarbeiter nach Ablenkung und Belohnung. Gamification und intuitive Bedienbarkeit von IT-Oberflächen werden immer wichtiger und nähern die Arbeitsumgebung einem virtuellen Spielfeld an. Arbeitgeber sind gefordert, spielerische Designprinzipien in standardisierte IT-Anwendungen zu integrieren.

21. Job-Hopping und Cherry-Picking als Herausforderungen für HR [Human Resource; Personalmanagement; I. M.]. Die Bindung zwischen Arbeitnehmer und Arbeitgeber löst sich. Flexible Arbeits- und Kooperationsformen führen dazu, dass Arbeitnehmer ständig mit einem Bein im Arbeitsmarkt stehen. Systematische Personalentwicklung wird so erschwert. Gleichzeitig steigen Erwartungen und Ansprüche der Mitarbeiter an unmittelbar nutzbare Qualifizierungen.

22. Führen auf Distanz. Der Abschied von der räumlich verorteten Arbeit geht mit einem Wandel von der Präsenz- zur Ergebniskultur einher. Führungskräfte müssen lernen, dass sie mehr motivieren als kontrollieren werden. Die Kunst besteht darin, persönliche Bindung auch über unpersönliche technische Kanäle aufzubauen und zu erhalten.

23. Explore neben exploit. Ein zunehmendes Innovationstempo erzwingt die ständige Neubesetzung zukunftssträchtiger Geschäftsfelder und die Transformation der bestehenden Geschäftsmodelle (explore). Gleichzeitig muss das in der Gegenwart noch profitable Kerngeschäft so effizient wie möglich verfolgt werden (exploit). Management wird so «beidhändig» und agiert in Gegenwart wie Zukunft gleichermaßen.

24. Matching per Mausclick. Digitale Arbeitskräfte sind in Form individueller Datenpakete quantifiziert – ihre Kompetenzen, Erfahrungen, Kapazitäten. Das erleichtert die passgenaue Vergabe von Aufträgen. Störfaktoren im Datenprofil können so ein Matching aber auch verhindern. Personalauswahl wird weniger intuitiv, aber auch weniger an kultureller Passung orientiert.

25. Gute Daten, schlechte Daten. Sensoren prägen das «Büro» der digitalen Arbeit. Eigenschaften der Umgebung, der Prozesse, der Arbeitsergebnisse und der Arbeitenden werden laufend aufgezeichnet, um sowohl dem Arbeitgeber als auch dem Arbeitnehmer Informationen über Qualität und Verbesserungspotenziale der Arbeit zu liefern. Praktischer Nutzen muss gegen ethische Erwägungen abgewogen werden.

Quelle: Telekom 2015

von Arbeit, der die Debatte um Industrie 4.0 in einen größeren – und aus vergangenen Auseinandersetzungen möglicherweise bekannteren – Zusammenhang stellt. Vor diesem Hintergrund werden dann die drei eingeführten Fragestellungen an spezifisch dem Thema Industrie 4.0 gewidmeten Studien, Expertisen und anderen Beiträgen bearbeitet, zum Teil im Rückgriff auf schon genannte Literatur. Es folgt ein resümierendes Kapitel, in dem insbesondere arbeitspolitische Differenzen stärker ausgeleuchtet werden.

Die Studie ist wie folgt aufgebaut: Nach diesen einleitenden Bemerkungen (Kapitel 1) und formalen Hinweisen in Kapitel 2 folgt mit einer knappen Tour

d’Horizon eine Hinführung zum Thema Technik und Rationalisierung im Hinblick auf ausgewählte Aspekte des Wandels der Erwerbsarbeit. Dies soll die dargestellten Ergebnisse zur Industrie 4.0 in gewisser Weise erden, das heißt, sie in eine längere historische Linie der Veränderungen in Technik und Organisation, insbesondere der industriellen Produktion, stellen (Kapitel 3). In Kapitel 4 erfolgt die Bearbeitung der drei grundlegenden Fragenkomplexe sowie die Darstellung der Auswirkungen auf ausgewählte Wirtschaftszweige anhand der aufgenommenen Literatur, bevor in Kapitel 5 ein Resümee gezogen wird. Ein umfangreiches Literaturverzeichnis schließt die Publikation ab.

2 LITERATURBASIS

Die Debatte um das Themenfeld Industrie/Arbeit 4.0 hat längst das Feuilleton erreicht und sich zu einer landläufigen Rede von der digitalisierten Arbeitswelt oder sogar der digitalen Gesellschaft entwickelt. Eine thematische Internetrecherche auf den Portalen der Printmedien *Die Zeit*, *Der Spiegel*, *Die Welt*, *die tageszeitung* und *neues deutschland* ergab eine Anzahl von Einträgen im mittleren Hunderttausenderbereich bis hin zur Überschreitung der Millionengrenze; lediglich *die tageszeitung* widmete sich dem Thema deutlich seltener. Es kann also durchaus von einem Hype gesprochen werden (der allerdings angesichts realer Ereignisse mehr als nur diskursive Aufgeregtheit ist; vgl. Gerst 2015). Wichtiger als die bloße Anzahl themenrelevanter Artikel ist allerdings ihr Inhalt. In aller Regel wird das Bild einer unumkehrbaren Entwicklung gezeichnet, die längst überall Fuß gefasst hat oder in naher Zukunft Fuß fassen wird; zum Teil wird vor Risiken im Hinblick auf die Arbeitsplatzsicherheit gewarnt und etwa das Beachten notwendig werdender Qualifikationen eingefordert. Andere Beiträge orientieren auf globale Konkurrenzen, in denen Industrie 4.0 ein unverzichtbares Element sei. Schließlich sprechen einige Beiträge der Debatte das Thema der Entgrenzung von Arbeit und Leben an. In der Bilanz also eine lebendige Diskussion um unterschiedliche Facetten eines Themas, das offensichtlich weite Teile des Wirtschafts- und Arbeitslebens betrifft und damit auch gesellschaftliche Aspekte berührt.

Umfragen zeigen allerdings, dass die Kenntnisse zum Thema Industrie 4.0 oder gar ein arbeitspolitisches Bewusstsein unter Angehörigen der vor Umwälzungen stehenden Wirtschaftsbereiche durchaus unterschiedlich ausgeprägt sind und dass ein erstaunlich hoher Anteil an Führungskräften daran zweifelt, dass ein entsprechender Umbau in Deutschland gelingen kann (vgl. Kelkar/Hegar 2014). Die Lage ist also unübersichtlich, die Spannweite reicht von visionären Versprechungen über kühle Kalkulation von ökonomischen und arbeitsplatzbezogenen Effekten (allerdings häufig mit hoch selbstbezoglicher Datenbasis, siehe Kapitel 4) bis hin zur Skizze eines drohenden Abstiegs des Wirtschaftsstandorts Deutschland.

Die einleitend dieser Literaturstudie vorgestellten Visionen digitalisierter Arbeit beziehungsweise wirklicher Industrie-4.0-Szenarien (siehe Kapitel 1) sind werbewirksame Hochglanzprodukte und damit zielorientierte Zukunftsentwürfe von interessierter Seite. Gleichwohl lassen sich Visionen dieser Art auch in weniger plakativen Darstellungen finden, die im Gewand respektabler Studien daherkommen. Häufig repräsentieren sie Positionen von Lobbyisten und orientieren eher auf Möglichkeiten und Chancen denn auf Risiken und soziale Kosten. Nicht zuletzt observieren sie Marktpotenziale für hochwertige IT-Produkte und

konturieren damit den Markt selbst, etwa wenn scheinbar unausweichliche Entwicklungen benannt werden. Schließlich wird mit dem strategischen wie operativen Management meist genau jene Gruppe arbeitspolitischer Akteure befragt, die qua Definition an Modernisierung und Rationalisierung Interesse haben und daher die entsprechenden innovativen Potenziale digitalisierter Arbeit eher überbetonen (vgl. Hirsch-Kreinsen 2014). Darüber hinaus gibt es auch Studien, die verhältnismäßig komplexe und damit angemessene Perspektiven auf einen weitreichenden Wandel der Wirtschafts- und Arbeitswelt einbringen, durchaus nicht nur von universitärer Seite. Mit einem Wort: Die vorliegenden Studien sind qualitativ überaus unterschiedlich und thematisieren in je ganz eigener Tiefe den Komplex Industrie 4.0 mehr oder weniger überzeugend. Welchen Wirkungsgrad die einzelnen Studien entfalten, ist kaum abzuschätzen – strenge wissenschaftliche Kriterien anlegen zu wollen, um eine Auswahl zu treffen, erscheint allerdings gerade angesichts der nur spärlich vorhandenen, qualitativ hochwertigen empirischen Studien als verfehlt. Mit dem Einbezug von Studien, die vielleicht höheren Ansprüchen nicht genügen, aber Eingang in die Meinungsbildung von relevanten Personengruppen im Sinne eines sich verfestigenden Überblickswissens finden, soll dieser potenziellen Wirkung Rechnung getragen werden.

Für die vorliegende Sekundäranalyse wurden deshalb Veröffentlichungen ausgewählt, die ein wissenschaftliches beziehungsweise wissenschaftsnahes Publikum adressieren oder aber im Umfeld politischer Institutionen und Akteure entstanden sind. Die Auswahl wurde zunächst mittels zugänglicher Datenbanken und unter Verwendung von Stichwörtern wie «Industrie 4.0», «Big Data», «Digitalisierung» oder «Arbeit 4.0» getroffen. Als wissenschaftlich beziehungsweise wissenschaftsnah wurden dabei solche Beiträge gewertet, die sich dem Thema in empirischer Weise nähern – auch sekundäranalytisch und als Übersichtsartikel – und dabei Bezug auf wissenschaftliche Erkenntnisse aus dem Feld der Arbeitssoziologie und -psychologie oder der Arbeits- und Ingenieurwissenschaften nehmen.

Den nicht zuletzt auf Veröffentlichungen beruhenden Hype um das Thema Industrie 4.0 relativieren Itermann und Niehaus (2015) mit dem Hinweis, dass empirische Studien nicht vorliegen. Gleichwohl führen sie selbst Publikationen an, die von Einzelfallstudien und Expertenbefragungen über mehr oder weniger kommerzielle branchenweite Untersuchungen bis hin zu sektorenübergreifenden Darstellungen – etwa der Erwartungen von Managern zur Digitalisierung der Ökonomie oder Erkenntnisse der Begleitforschung – reichen. Auch die vielen Veröffentlichungen der unterschiedlichen Verbände, die sich mit der Digitalisierung der Ökonomie beziehungsweise der Arbeit befassen, zeigen, wie verbreitet das Thema ist. Auch wenn sie

zum Teil deutlich normative Züge tragen, vermögen sie doch Hinweise auf Erwartungen und kommende Entwicklungen zu geben. Allerdings bedürfen solche Darstellungen einer kritischen Distanz, um nicht dem Sirenen gesang einer digital humanisierten Arbeitswelt zu verfallen, in der monotone und belastende Arbeiten von Maschinen übernommen werden.

Aus der nahezu unübersehbaren Fülle an thematisch relevanten Veröffentlichungen wurden diejenigen ausgewählt, deren inhaltlicher Aufbau Expertise für die im Zentrum der vorliegenden Studie stehenden Fragen versprochen. Es sind Studien aus den letzten fünf Jahren zusammengetragen und auf ihre Essenz hinsichtlich der Zielsetzung sekundäranalytisch geprüft worden. Der Zeitraum wurde deshalb gewählt, weil der Hype in dieser Zeit angeschwollen ist und insbesondere in den letzten drei Jahren zu einer Debatte geführt hat, die zwar gesellschaftsweite Folgen in den Blick nimmt, zumeist aber doch einer technikaffinen Gestaltungslogik verhaftet bleibt. Erst in jüngster Zeit mehrten sich Veröffentlichungen, die soziale Herausforderungen pointieren und gesellschaftspolitische Antworten auf die Digitalisierung einfordern (vgl. etwa Hirsch-Kreinsen et al. 2015), die ebenfalls Berücksichtigung in der vorliegenden Studie finden.

Auf eine intensivere Auswertung der eingangs angesprochenen Zeitungsartikel wurde verzichtet – sie replizieren in aller Regel die hier versammelten Studien und dürften häufig Teil von Marketingstrategien interessierter Seite sein, etwa den im Themenfeld aktiven Akteuren aus der Beraterbranche. Der so zustande gekommene Pool an Studien, Expertisen und Szenarien stellt im strengen Sinne keine vollständige Erfassung aller relevanten Veröffentlichungen dar, sondern berücksichtigt nur die an mehr oder weniger prominenter Stelle gesetzten Publikationen. Die Auswahl dürfte aber hinlänglich die Breite an Argumenten wiedergeben, die die gesellschaftliche Auseinandersetzung mit dem Thema Industrie/Arbeit 4.0 prägen. Als Literaturstudie wählt die vorliegende Arbeit dabei in Eigenregie jene Gesichtspunkte aus, die für die Beantwortung der hier zentralen Fragestellungen besonders wichtig erscheinen; andere, den Autoren der zitierten Studien vielleicht bedeutsame Aspekte bleiben notwendigerweise zurück. Es liegt auch in der Natur der Sache, dass weder alle öffentlich zugänglichen Arbeiten berücksichtigt noch die über den gewählten Zeitraum hinausweisenden früheren, auch heute einflussreichen Veröffentlichungen einbezogen werden konnten.

3 TECHNIK UND RATIONALISIERUNG IN ARBEITS- UND INDUSTRIESOZIOLOGISCHER PERSPEKTIVE

Mit dem Übergang von der protoindustriellen Phase der Hausfabrikation und der Manufakturen, die erste zentralisiert-arbeitsteilige handwerkliche Produktionsstätten darstellten, zu frühen industriellen Formen der Organisation von Arbeit, etwa durch den Einsatz von mechanischen Webstühlen (beispielhaft in Hauptmanns «Die Weber» beschrieben), begann ein durch technologische Artefakte konturierter Innovationsprozess, in dessen Verlauf die Produktionskosten weiter sanken und dessen Dynamik bis heute anhält.

Das Verhältnis zwischen Arbeit und Technik war und ist dabei stets mehr als nur Einsatz eines spezifischen Werkzeugs zum Zweck der effizienteren Bearbeitung von Gegenständen (vgl. Rammert 1982). Technikentwicklung und -anwendung im Arbeitsprozess sind wesentlich historisch-gesellschaftlich geprägt und folgen ökonomischen und politischen Interessen sowie kulturellen Werthaltungen. Im Hinblick auf die Digitalisierung der Wirtschaftsbereiche ist deshalb die Vorstellung eines technisch-linearen Phasenmodells der Weiterentwicklung von Technologie ebenso realitätsfern wie ein Technikdeterminismus, der technischen Sachzwängen das Wort redet (vgl. exemplarisch Schelsky 1961). Technik und ihre Entwicklung sind nie rein zweckrational und wertfrei, vielmehr beeinflussen sich technologische Entwicklungen, gesellschaftliche Verhältnisse und Interessenskonstellationen wechselseitig – der arbeits- und gesellschaftspolitische Entwicklungspfad ist daher in nicht unerheblichem Maße gestaltbar.

Technik ist somit nicht nur als *Produktionstechnologie*, das heißt als Mittel und Werkzeug zur Herstellung von Waren, sondern als *Organisationstechnologie* bedeutsam: Sie dient der Strukturierung und Steuerung des Arbeitsprozesses, indem bestimmte Vorgaben für die Arbeitsausführung und die Kooperation zwischen einzelnen Arbeitern in die Technik «eingeschrieben» sind. Gleichzeitig fungiert sie als Instrument der Kontrolle von Arbeit und Arbeitenden, sodass die direkte Steuerung und Überwachung der Arbeitenden obsolet werden, weil sie der Technik zufallen. Markanter Einschnitt in diesem Sinne war etwa die Ford zugeschriebene Einführung des Fließbands, die der Epoche der industriellen Massenproduktion den Weg ebnete. Sie fußte auf standardisierten Arbeitsschritten und Bauteilen, die eine hohe Arbeitsteilung und dadurch eine kostengünstige Produktion erlaubten.

Technisierte Produktions- und Prozessabläufe zielen stets auf effizientere Produktion, effektivere Dienstleistungen und Verfahrenssicherheit zugleich (vgl. Berger/Offe 1984). Diese multiple Zielsetzung führt notwendigerweise zu qualitativen Sprüngen, da eine Verbesserung immer denkbar ist: Die Mechanisierung und Automatisierung ganzer Produktionsschritte beispielsweise ersetzte die lange Zeit übliche unmittelbare Bearbei-

tung des Arbeitsgegenstands durch direkte menschliche Arbeitsleistung, zugleich erhöhte sie den Output und damit Profite wie Rendite. Technologien, die sich wiederholende Prozessabläufe ermöglichen (vgl. dazu Rammert 2007), sind aber kostenintensiv und müssen sich rechnen.

Zunehmende Anpassungsfähigkeit von Industrierobotern und das Aufkommen halb- und vollautomatischer Produktionsstraßen führten seit den 1980er Jahren unter anderem unter dem Stichwort «Ganzheitliche Produktionssysteme» (GPS) zur Leitidee einer weitgehend computergesteuerten Fabrik, in der die gesamte Produktion durch den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologie geplant und gesteuert wird. Im Zentrum dieser Idee steht das Prinzip der computerintegrierten Produktion (*computer-integrated manufacturing* – CIM), die als übergreifende Produktionsarchitektur alle relevanten Produktionsprozesse und -ressourcen verknüpft (vgl. Zäh et al. 2003). CIM basieren ihrerseits auf computerassistierten beziehungsweise -gesteuerten Technologien: CNC-Maschinen (*computerized numerical control* – CNC), das heißt programmgesteuerte Fräs-, Bohr-, Schneid- beziehungsweise Drehautomaten; Technologien des *computer-aided design* (CAD), die eine komplexe Ansteuerung von Maschinen von der Konstruktionsskizze her ermöglichen; computerunterstützte Arbeitsplanung (*computer-aided planning* – CAP) und Fertigung (*computer-aided manufacturing* – CAM); rechnergestützte Qualitätssicherung und Produktionsplanung (Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme – PPS) und Betriebsdatenerfassung (BDE). Produktionsprozesse lassen sich so digital integriert abbilden und steuern, sodass die bereichs- und abteilungsübergreifende Organisation und Standardisierung der Arbeit möglich wird. Dadurch werden auch Prozesse einer über- und zwischenbetrieblichen *systemischen Rationalisierung* realisierbar (vgl. Altmann et al. 1986: 196; Bechtle 1994: 47). Betriebsübergreifend werden Produktions- und Logistikprozesse seit den 1980er Jahren zunehmend von «fokalen» Unternehmen gesteuert, die Teilprozesse der Produktion an Zulieferbetriebe auslagern und deren Produktions- und Lieferprozesse nach eigenen Erfordernissen organisieren. Durch vertragliche Bindung der Zulieferer erschließt sich das fokale Unternehmen neue über- und zwischenbetriebliche Flexibilitäts- und Elastizitätspotenziale. Es entstehen Ganzheitliche Produktionssysteme (GPS, vgl. Spath et al. 2013), in denen alle Aktivitäten gebündelt organisiert werden, die zur Fertigung notwendig sind: Planen, Steuern, Logistik sowie Qualitätssicherung und Montage. Als Basiskonzept soll GPS bereits vorhandene Organisationskonzepte im Hinblick auf veränderte Marktbedingungen zu einem kohärenten Ganzen zusammenführen.

Vor diesem Hintergrund kann die Debatte um die Industrie 4.0 im Kontext langfristig ablaufender Rationalisierungsschritte begriffen werden, die mit den wachsenden Möglichkeiten digitalisierter Produktions- und Prozessabläufe in den nächsten Jahren einen qualitativen Sprung in der Produktivkraftentwicklung erwarten lassen.

Allerdings ist Technologie nicht alles: Konsens in den traditionsreichen arbeits-, industrie- und techniksoziologischen Debatten um Arbeit und Technik ist, dass die fortschreitende Technisierung von Arbeit ein nie abgeschlossenes Projekt der Gestaltung von Arbeits- und Produktionsprozessen ist (vgl. Pfeiffer 2010). Die Entwicklung vom Einsatz von Technik als Werkzeug über die Mechanisierung einzelner Produktionsschritte bis hin zur Automatisierung ganzer Produktionsanlagen lässt sich in soziotechnischer Perspektive als Entwicklungspfad einer Rationalisierung durch Technikeinsatz verstehen (vgl. Sydow 1985; Rammert 2003; Ropohl 2009), der sozial gerahmt ist. Potenziale zur Mechanisierung und Automatisierung werden insbesondere der Sphäre industrieller Produktion zugeschrieben (vgl. Langmann 2010). Prozesse der Mechanisierung und insbesondere der Automatisierung verändern die Stellung der Menschen im Produktionsprozess, den Gegenstand der Arbeit und damit die Arbeitstätigkeit grundlegend.²

Lange Zeit dominante «technikdeterministische» Perspektiven gingen davon aus, dass sich die Einführung neuer Produktionstechnologien jeweils universell auf die Qualität von Arbeit auswirkt und dass sich die technologische Entwicklung weitgehend unabhängig von sozialen Faktoren vollzieht. So konstatieren Popitz et al. (1957), dass die Bedienungen einer Maschine formende Züge aufweist, die Freiheiten kaum lassen. Diesem Technikverständnis folgend werden Subjekte zu Ausführenden einer maschinellen Logik. Den Debatten der 1950er und 1960er Jahre war der Versuch gemein, eine Generaltendenz im Hinblick auf die Entwicklung der Qualität von Arbeit und Qualifikationsanforderungen zu identifizieren. Vermutet wurde, dass menschliche Arbeit in diesem Prozess der Technisierung auf eine Restgröße reduziert wird (paradigmatisch hierfür: Bright 1957). Allerdings wurde auch die gegenteilige Entwicklung prognostiziert, dass die trotz Automatisierung noch zu leistende menschliche Arbeit eine Höherqualifizierung der Arbeitenden notwendig mache (paradigmatisch: Blauner 1964; vgl. auch Popitz et al. 1957). In ihrer Pauschalität gingen beide, für die Debatten zentralen Perspektiven im Hinblick auf die realen Entwicklungen letztlich fehl.

In Deutschland nahm die Diskussion um den Zusammenhang zwischen Technik und Qualifikation in der Arbeit durch die Studie «Industriearbeit und Arbeiterbewußtsein» (Kern/Schumann 1970) wieder an Fahrt auf. Unter dem Stichwort «Polarisierungsthese» bestätigt die Studie das, was Jaeggi und Wiedemann für den Bereich der Bürotätigkeit schon 1963 nachgewiesen hatten: Im Zuge der fortschreitenden Technisierung sind

einerseits Prozesse der Dequalifizierung in Form nicht effizient automatisierbarer «Restarbeiten» sowie andererseits Prozesse der Höherqualifizierung bei neu entstehenden Aufgaben der Steuerung und Wartung von Produktionsanlagen zu beobachten. Dabei steht weniger die direkte Bearbeitung von Arbeitsgegenständen im Zentrum, vielmehr handelt es sich um unterschiedliche Formen von «Gewährleistungsarbeit», also die Absicherung technischer Produktionsabläufe (Kern/Schumann 1970). Unqualifizierte, belastende Arbeiten sind bei (branchenspezifisch) automatisierter Produktion ebenso vorzufinden wie neue qualifizierte Tätigkeiten mit höheren Qualifikationsanforderungen. Diese Ambivalenz der Technikentwicklung im Hinblick auf die Qualität der Arbeit zeigte sich auch im Zusammenhang mit der Einführung der Mikroelektronik bei der Bürotätigkeit von Angestellten in den 1980er Jahren (vgl. Baethge/Oberbeck 1986; Weltz/Lullies 1983).

Verwertungsorientierte Perspektiven dieser Zeit begreifen «Rationalisierungstechnologien» primär als technischen Fortschritt, der sich vor allem aus einer kapitalistischen Profitlogik heraus vollzieht: Ökonomisches Ziel ist die Senkung der Personalkosten (vgl. Mickler et al. 1976; 1977) beziehungsweise die Unterwerfung der lebendigen Arbeit durch Abstraktifizierung und Dequalifizierung von Arbeit durch Prozesse der Automatisierung (Subsumtionsthese, vgl. Brandt et al. 1978; Benz-Overhage et al. 1983). Die Entwicklung der Technik wird hier also von betrieblichen Strategien beeinflusst und ist ökonomisch überformt. Andere Studien betonen die durch Automatisierung entstehenden Gestaltungsspielräume, die berufliche Autonomie fördern (vgl. Fricke 1975). Solche Perspektiven werden im Zuge der Debatten zur Technikfolgenabschätzung fortgeschrieben, die restriktive Arbeit begünstigende Technologien kritisch in den Blick nehmen. Die Automatisierungspfade (vgl. Hack 1979; Brödner 1985; Lutz 1987; Böhle 1992; Dierkes et al. 1992) erscheinen damit kaum noch als alternativlose Architektur, sondern als soziotechnische Arena der Interessenkollision. Das befördert eine Verschiebung der Perspektive: Statt der fatalistischen Thematisierung der strukturierenden Wirkungen von Technologie geht es immer stärker um die Debatte ihrer Einbettung auch in arbeitspolitische Prozesse.

² Gesteigerter Einsatz und veränderte Qualität von Technologien berühren Fragen der Verwissenschaftlichung von Arbeit. Ökonomisch induzierte Rationalisierungsprozesse schaffen fortlaufend Nachfrage nach technologischen Innovationen, die wiederum Rationalisierungspotenziale enthalten. Dies treibt die Verwissenschaftlichung von Arbeit voran. Unter Einsatz jeweils aktueller Produktions- und Organisationstechnologien werden Arbeitsprozesse nach der Logik Taylors (1913) in «Prinzipien wissenschaftlicher Betriebsführung» zergliedert und neu strukturiert. Damit befasste Planungsstäbe entwickeln Modelle des Produktionsprozesses bis hin zu Direktiven für den konkreten Arbeitsvollzug, machen Zeitvorgaben und setzen Kennziffern fest. Die Voraussetzung für diese umfassende Organisationsleistung wiederum ist eine Durchdringung der stofflichen wie betrieblichen und arbeitskraftbezogenen Bedingungen – eben durch eine Verwissenschaftlichung von Arbeit. Arbeit einseitig durch zunehmend formalisiertes und abstraktes Wissen zu reorganisieren wäre angesichts prinzipieller Grenzen der Verobjektivierung und der theoretischen Modelle (Brödner 1997) wenig erfolgversprechend. Arbeitenden jedoch bis auf Restgrößen ein Denken in wissenschaftlichen Zusammenhängen und Begriffen abzuverlangen und entsprechende Konsequenzen für die Arbeitsorganisation zu initiieren, gilt als Königsweg – mit allen seinen Folgen für die beziehungsweise Dequalifizierung von Arbeitenden selbst.

Kern und Schumann (1984) unterstreichen schon früh die starke Position von Produktionsintelligenz als Bedingung und Resultat «neuer Produktionskonzepte». Am Beispiel der Automobilbranche, dem Maschinenbau und der Chemieindustrie beschreiben sie Entwicklungsverläufe der Automatisierung und untersuchen die entstandenen Rationalisierungspotenziale. Im Ergebnis sprechen sie von einer neuen Rationalisierungslogik, die in den industriellen Kernbranchen einen «ganzheitlichen» Zugriff auf menschliche Arbeitskraft befördert, «in dem das betriebliche Interesse an Ersetzung lebendiger Arbeit und das an Ökonomisierung der Rest-Arbeit auf neue Weise miteinander verschränkt sind. [...] Das Credo der neuen Produktionskonzepte lautet: a) Autonomisierung des Produktionsprozesses gegenüber lebendiger Arbeit durch Technisierung ist kein Wert an sich. Die weitestgehende Komprimierung lebendiger Arbeit bringt nicht per se das wirtschaftliche Optimum. b) Der restringierende Zugriff auf Arbeitskraft verschonkt wichtige Produktivitätspotenziale. Im ganzheitlichen Aufgabenzuschnitt liegen keine Gefahren, sondern Chancen; Qualifikation und fachliche Souveränität auch der Arbeiter sind Produktivkräfte, die es verstärkt zu nutzen gilt.» (Kern/Schumann 1984: 19) Diese Ergebnisse lösten eine umfangreiche Diskussion um die Qualifizierungsfolgen von Automatisierung aus. Kritisiert wurde insbesondere die generelle «Wandelthese»: Ihr zuwider wurden nach wie vor bestehende Belastungen durch Arbeit als Alltag der Arbeitenden bilanziert, die einen hohen Verschleiß der Arbeitskraft verursachen (vgl. Düll 1985; Becker-Schmidt 1985; Dohse et al. 1984). Betont wurde in diesem Zusammenhang auch eine verschärfte Leistungskontrolle (vgl. Briefs 1984; Malsch 1984), die auf eine intensivierete Verwertungsqualität automatisierter Arbeit hindeute.

Priore und Sabel entwickeln in ihrer Studie «Das Ende der Massenproduktion» (1985) die These einer «Requalifizierung der Arbeit». Sie stellen dem dominanten Bild einer großindustriellen Massenfertigung ihre Perspektive auf das neue Leitbild einer «flexiblen Spezialisierung» industrieller Produktion in Netzwerken innovativer Klein- und Mittelbetriebe gegenüber. Diese sind den Autoren zufolge in der Lage, sich kurzfristig an volatile, das heißt sich schnell verändernde Markterfordernisse anzupassen – ein Vorteil gegenüber der bisherigen Massenproduktion. Die technologische Grundlage für Veränderung bilden flexibel einsetzbare und vernetzte, von qualifiziertem Personal bediente Produktionstechniken. Volatilere Produktmärkte sowie verändertes Nachfrageverhalten der Konsumenten treiben diese Entwicklung voran, standardisierte Massenproduktion erscheint zunehmend als dysfunktional. Die ökonomisch-strategische Einbettung der eingesetzten Technologien erlaubt demnach zwar arbeitspolitische Gestaltungsspielräume. Dennoch übt Technologie strukturierende Wirkungen auf die Arbeit aus, die eine systematische Berücksichtigung erfordert.

Charakteristisch für das heranziehende «Informationszeitalter» (Castell 2003) ist die netzwerkförmige

Organisation von Funktionen und Prozessen, auf deren Grundlage sich «virtuelle Unternehmen» (Picot/Neuberger 2008) verwirklichen. Sie stellen temporäre Kooperationen rechtlich selbstständiger Unternehmen mit heterogenen Leistungsprofilen dar, die als modulare Einheiten mit dezentraler Entscheidungskompetenz telekooperativ ihre Kernkompetenzen verschmelzen, um definierte Aufträge zu erfüllen. Aktuell wird im Hinblick auf die fortschreitende Technisierung von Arbeit und Produktion vor allem die Entwicklung und allgemeine Verbreitung von immer leistungsfähigeren Computersystemen sowie von Infrastrukturen der Datenübertragung wie das Internet debattiert (vgl. Böhning 2011). Bereits seit etwa 20 Jahren dominieren in der Arbeitswelt informationsbearbeitende Berufe (vgl. Senghaas-Knobloch 2008). Mittlerweile haben nahezu alle Branchen und Sektoren einen Modernisierungsschub aufgrund der Digitalisierung erfahren (vgl. Schwemmler/Wedde 2012), auch wenn die Tragweite der dadurch ausgelösten Veränderungen unterschiedlich ausfällt, selbst innerhalb einer Branche oder eines Unternehmens. Von einem eindeutig durchgehenden Trend verstärkter Informatisierung kann noch in den 2000er Jahren keinesfalls gesprochen werden (vgl. Pfeiffer 2007). In anderen Branchen, in denen wissensintensive Arbeit durch informationsverarbeitende Technologien unterstützt wird, zum Beispiel durch digitalisierte Diagnostik in der Automobilindustrie, verändert sich nicht nur das berufliche Selbstverständnis der Fachkräfte (vgl. Becker 2006), sondern auch die Arbeitskultur, in der statische von eher dynamischen und prozessorientierten Arbeitsweisen abgelöst werden, wie Anderl (2006) am Beispiel der Produktentwicklung durch Ingenieure in der Automobilindustrie beschreibt. Dafür gibt es auch Beispiele aus anderen Branchen: Telematik ist eine im Produkt Automobil materialisierte Form der Digitalisierung; digitale Ortungssysteme im Speditionsgewerbe ermöglichen die Kontrolle der Fahrer in Echtzeit und eine flexible Steuerung von Logistikprozessen ebenso wie die Standardisierung und Formalisierung mobilitätsbezogener Dienstleistungen (vgl. Ahrens 2008). In der Finanzdienstleistung sind Informationstechnologien die Grundlage des operativen Geschäfts, die im Zuge von Outsourcing-Prozessen und veränderter betriebsinterner Arbeitsorganisation Wertschöpfungsnetzwerke komplett umgestalten (vgl. Stobbe 2006; siehe auch Roach 2006). Indem die persönliche Kundenberatung und -betreuung zunehmend durch telefonische Dienstleistungen in Callcentern ersetzt werden, entsteht eine neue Qualität personenbezogener Dienstleistung: Zwar bleibt dabei die von den sprachlichen Fähigkeiten der Agenten abhängige Kommunikation mit den Kunden zentral, mittels Trainings, Coachings, Leitfäden und Kontrollen kann sie von der Organisation allerdings viel stärker überwacht werden. Auch die Bearbeitung von Kundenanliegen am Computer, die in einer standardisierten, weil von den Vorgaben der Eingabemaske bestimmten Weise erfolgt, nimmt Einfluss auf die Gesprächsführung. Die-

se neuartige Konstellation «informatisierter Kommunikationsarbeit» (Matuschek/Kleemann 2006) weist Züge einer flexiblen «subjektivierten Taylorisierung» auf, indem persönliche Eigenschaften einem standardisierten Prozess und Produkt einverleibt werden (Matuschek et al. 2007).

Damit sind Risiken neuer Formen der Überwachung auch dezentraler Arbeitsplätze verbunden, die Freiräume im Arbeitshandeln einschränken. Gleichzeitig nimmt mit der steigenden Komplexität der Arbeitsaufgaben der zugestandene (allerdings auch über Arbeitsergebnisse kontrollierte) Freiraum zu. Die Entwicklung hin zu einem stärker temporären und «virtuellen» Charakter der Organisation von Arbeit und Produktion findet gerade auch im Bereich serviceorientierter Anwendungen statt, wie etwa die zunehmend verbreitete Praxis «Software as a Service» (SaaS) zeigt, bei der Software für einen bestimmten Nutzungszeitraum und nicht mehr dauerhaft gekauft wird. Auch Cloud-Computing ist eine solche hybride Form: Die erforderliche Infrastruktur wird nicht mehr im Unternehmen selbst bereitgestellt, Speicher- und Rechendienstleistungen werden vielmehr auf Dienstleister ausgelagert. Das begünstigt neue internetgestützte Softwarearchitekturen und Nutzerkonfigurationen, die insgesamt einen Bedeutungszuwachs virtueller Netzwerke einleiten (vgl. Silberberger 2006). Solche Prozesse sind Bausteine einer Informatisierung von Arbeit, die über den bloßen Technikeinsatz allerdings weit hinausgeht.

3.1 INFORMATISIERUNG DER ARBEIT

In der Arbeitswelt haben Computertechnologien weit vor der allgemeinen Verbreitung der Personal Computer (PC) Einzug gehalten. In Bezug auf Rationalisierungskonzepte und technische Entwicklungen wurde seitens der Sozialwissenschaften auf die besondere Bedeutung neuer computerisierter Formen der Produktion von Waren und Dienstleistungen schon sehr früh eingegangen. In den 1970er und 1980er Jahren geschah dies vor allem unter dem Leitbegriff der elektronischen Datenverarbeitung (EDV), seit den 1990er Jahren dann vermehrt unter den Begriffen Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK) beziehungsweise Informationstechnologie (IT). Die jeweiligen neuen technischen Artefakte wurden dahingehend untersucht, wie sie Eingang in Arbeitsprozesse finden, wie sie die Arbeitspraxis verändern oder welche Gestaltungskorridore des Technikeinsatzes sich eröffnen.

Die so verstandene Informatisierung der Produktion ermöglicht eine weitgehende Steuerung der Arbeitsprozesse entlang der Wertschöpfungskette: Betriebe sind nicht länger relativ isolierte Produktionsinseln, sondern mittels Vernetzung in teils internationale Produktionsstrukturen eingebunden, die völlig neue Zeit- und Raumstrukturen schaffen (vgl. Boes 2005; Boes/Kämpf 2006; Flecker 2006). Mittels Enterprise-Resource-Planning-Systemen (ERP), wie sie SAP entwickelt, sind Unternehmensprozesse minutiös betriebs-

wirtschaftlich erfassbar (vgl. Pfeiffer 2003; Hohlmann 2007; Remer 2008). Mit dem Ausbau von Kommunikations- und informationstechnologischen Infrastrukturen auf der technischen Grundlage des Internets können bestehende räumliche Grenzen des Unternehmens überwunden werden; Tele- und Mobilarbeit sind dafür exemplarisch. «Near-» und «Offshoring» bezeichnet Produktionsmodelle, bei denen Teilprozesse des Unternehmens über Ländergrenzen beziehungsweise Kontinente hinweg ausgelagert werden. Das schließt getrennte Produktions- und Planungsstandorte ebenso ein wie die Auslagerung von Abteilungen oder Teilfunktionen (etwa der Buchhaltung oder von Programmierungsaufgaben nach Indien oder Südostasien) bei Verbleib der Prozessaufsicht und -umsetzung im Zentrum des informatisierten Produktionszusammenhangs.³ Der Prozess der Diffusion von Informationstechnologien in die Arbeitswelt wird mit den Begrifflichkeiten Informatisierung beziehungsweise Digitalisierung von Arbeit gefasst. Mit den Termini informatisierte beziehungsweise digitale Arbeit (vgl. Schwemmler/Wedde 2012) werden zunächst allgemein jene Tätigkeiten kategorisiert, die sowohl digitale Arbeitsmittel als auch Arbeitsgegenstände in digitaler Form involvieren (zu einem anderen, umfassenderen Begriffsverständnis von Informatisierung siehe unten). Castells (2001) Arbeiten verweisen zudem auf den vernetzten Charakter einer zunehmend von Informationstechnologien durchdrungenen Gesellschaft.

Die räumliche Entgrenzung von Arbeit erhält auf der Grundlage neuer Informations- und Kommunikationstechnologien (siehe Abschnitt 3.2) eine eigene Qualität und trägt in besonderer Weise und in unterschiedlicher Reichweite zu neuen Formen der Arbeitsorganisation bei. Befördert werden insbesondere betriebsübergreifende, «systemische» Formen der Produktion bei generell verlängerter Wertschöpfungskette, die Virtualisierung und Vernetzung von verteilt organisierter Arbeit sowie fern des Betriebs angelagerte Arbeitsplätze. Die durch digitale Infrastrukturen ermöglichte tendenzielle Globalisierung der Produktion, die dem Bedeutungsverlust nationaler Ökonomien (vgl. Altvater 2005) Vorschub leistet, betrifft nicht länger nur niedrig Qualifizierte (vgl. die aktuellen Analysen zum «Offshoring» in der IT-Branche: Boes/Kämpf 2011; Hürtgen et al. 2009; Kämpf 2008; Mayer-Ahuja 2011). Auch im nationalen Rahmen wird berufsbezogene räumliche Mobilität durch Prozesse der Digitalisierung befördert und schlägt sich somit am einzelnen Arbeitsplatz nieder. Neue Arbeitsformen wie Tele(heim)arbeit (vgl. Kleemann 2005) beziehungsweise neuerdings meist informell praktizierte Homeoffice-Tage oder Mobilar-

³ Diese Entwicklung ist auch im Web 2.0 beziehungsweise bei den Social Media zu beobachten: Durch «Crowdsourcing» greifen Unternehmen auf produktive Leistungen von Internetnutzern zu und integrieren sie in eigene Wertschöpfungsprozesse. Die Crowd wird aufgefordert, sich an kreativen Projekten zur Generierung von Produktideen oder neuen Designs zu beteiligen – in der Regel unentgeltlich. Die Teilnehmer sind unterschiedlich kompetent beziehungsweise motiviert (Kleemann et al. 2012) und die Beteiligungsangebote können kollaborativ oder wettbewerblich organisiert sein.

beit, also Beschäftigung an wechselnden Einsatzorten, nehmen zu. Diese werden von entsprechenden Formen betrieblicher «Mobilitätspolitik» (Vogl 2009) gezielt gefördert, aus denen neue Belastungen für die Arbeitenden erwachsen.

Wie bereits beschrieben, wird die zunehmende Einbindung von Arbeitstätigkeiten in informationstechnische Systeme (vgl. dazu Böhle 1998; Knoblauch 1996; Schmiede 1996) als *systemische Rationalisierung* (Baethge/Oberbeck 1986) gedeutet, das heißt als betriebliche Strategie, das Arbeitshandeln der Subjekte durch Computersysteme – auch betriebsübergreifend – zu integrieren, zu standardisieren und zu kontrollieren (vgl. Baukrowitz/Boes 1996; Manske et al. 1994; Oberbeck 1994; Weißbach et al. 1990). Der Arbeitsablauf wird per Computersoftware vorstrukturiert, menschliche Arbeit muss von den Beschäftigten in eine dem Computer zugängliche abstrakte Form transformiert werden. Das konkrete Arbeitshandeln ist damit auf ein Computerprogramm bezogen, während der «eigentliche» Gegenstand, auf den sich die Tätigkeit bezieht, nur noch abstrakt – vermittelt über das Programm – erfahren wird. Die so zunehmende «Abstraktifizierung» der Arbeit mittels spezifischer Bezugspunkte beziehungsweise die Reduzierung jeglichen Arbeitshandelns auf die Bearbeitung immer gleicher abstrakter Programme wird verschiedentlich als «Entqualifizierung» (Schmiede 1996) der Arbeit gedeutet: Die Arbeit wird entsinnlicht und ihrem direkten Bezug auf das konkrete Arbeitsprodukt beraubt beziehungsweise dem unmittelbaren Produktionsprozess entrissen. Andere Autoren (v. a. Schimank 1986; Rammert 1992) entwickeln system- beziehungsweise handlungstheoretische Perspektiven, die aufzeigen, dass komplementär zu den Prozessen der zunehmenden systemischen Einbindung und der «Entqualifizierung» der Arbeit in medienvermittelten Arbeitsformen *auf der Ebene der konkreten Arbeitsausführung* gleichzeitig die Handlungs- und Autonomiespielräume der Arbeitenden für die Ausgestaltung der Art und Weise der Arbeitsausführung unabdingbar *steigen* (vgl. Schmidt 2000).

Ein spezifisches, theoretisch unterfüttertes Konzept von Informatisierung wurde seit Mitte der 1990er Jahre zunächst in einem Arbeitskreis um Rudi Schmiede, Andreas Boes und Andrea Baukrowitz entwickelt. Dieses Konzept fasst den Prozess der Informatisierung deutlich weiter als nur mit Bezug auf Computertechnologien, die auf der Grundlage eines allgemeineren Konzepts von Informatisierung aber sehr wohl als zentrale aktuelle Entwicklungsstufe systematisch in den Blick genommen werden. Der primäre Bezugspunkt des Konzepts sind «Informationssysteme» als abstrakte Abbildungen konkreter empirischer Sachverhalte. Der Prozess der Informatisierung wird dann als Prozess der Entwicklung von (immer umfassenderen) Informationssystemen gefasst, der mit der Entwicklung der Technik der doppelten Buchführung im Spätmittelalter beginnt (vgl. Boes 2005), die mittels Belegen alle realen Geschäftsvorgänge einer Firma lückenlos und

geordnet dokumentiert. Zielpunkt dieses Verständnisses von Informatisierung ist die Schaffung von (immer komplexeren) Informationssystemen als Abbildern realer Prozesse, die dann zunehmend auch zur Strukturierung realer Prozesse unabhängig vom konkreten Subjekt dienen (vgl. Boes/Kämpf 2011; 2013). Pointiert gesagt, übernimmt die Informationsebene zunehmend die Steuerung realer (Arbeits-)Prozesse, die zuvor von den Arbeitskräften selbst und ihrem Produktionswissen strukturiert wurden. (Anklänge an Bravermans 1977 entwickelte Perspektive auf den Taylorismus als Strategie zur Subsumtion menschlicher Arbeitskraft unter die Herrschaft des Managements werden hier deutlich erkennbar.) Der technologische Aspekt interessiert hier nur insoweit, als immer infrage steht, in welchem Ausmaß und in welcher Weise technische Artefakte die Schaffung entsprechender Informationssysteme ermöglichen, die die konkrete Ebene «doppeln» – also in Bezug darauf, was Technologien ermöglichen. Die Technologien selbst bleiben aber in dieser Perspektive letztlich immer Mittel zum Zweck zur Gestaltung des Arbeitsprozesses. Gefragt wird vor allem nach Strukturveränderungen der kapitalistischen Produktionsweise (vgl. Schmiede 1996; 1999; 2013). Als zentrales Moment dieses Strukturwandels gilt demnach die wachsende Bedeutung technischen und abstraktifizierten Wissens für (informatisierte) Arbeitsprozesse, die sich in der Konzentration auf die Be- und Verarbeitung von Symbolen und Informationen auf der Informationsebene ausdrückt. Das erfordert entsprechende abstrakte Fertigkeiten der Arbeitenden.

Neben Buchführungssystemen gehören schon früh auch Stücklisten oder Konstruktionszeichnungen zur abstrakten Informationsebene. Daraus ergeben sich umfassendere Steuerungssysteme, die in großen Wirtschaftsunternehmen schon in den 1920er Jahren Einzug hielten. So postulierte bereits Alfred P. Sloan, Präsident von General Motors (GM) von 1923–1937, dass bei GM die Steuerung der Produktionsprozesse «rein nach den Zahlen» vonstattengehe. Auch wenn damit sicher noch keine minutiös kennzifferngesteuerte Produktion im heutigen Sinne gemeint ist, so wird deutlich, dass schon zu dieser Zeit zumindest die zentralen Parameter der realen Produktion vom Informationssystem vorgegeben werden.

Das Entstehen digitalisierter Arbeit, das heißt der Informationsbearbeitung auf der Grundlage von Computertechnologien (deren technische Features sich im Zeitverlauf wandeln – etwa von zentralen Großrechnern über dezentrale PCs hin zu permanent vernetzten und mobilen Geräten – und die dadurch immer neue Formen der Informatisierung ermöglichen), wird in dieser Theorieperspektive als eine markante Weiterentwicklung des allgemeinen historischen Prozesses der Informatisierung angesehen (vgl. Boes/Kämpf 2011). Unternehmensinterne digitale Informationssysteme sind zunehmend in die öffentlich zugängliche Infrastruktur des Internets eingebunden und begünstigen

damit das Entstehen eines unternehmerisch externalisierten Produktions- und Verwertungszusammenhangs im Sinne einer *globalen* Informationsebene, die bis in die Reproduktionssphäre reicht.

Dem so gefassten Theorem der Informatisierung von Arbeit als Abstraktifizierung von Arbeitsprozessen mittels ihrer informationstechnischen Abbildung liegt letztlich die Vorstellung eines informationstechnisch veredelten Taylorismus zugrunde, der rein ergebnisorientiert ist (vgl. Matuschek 2010). Die neuen Informationssysteme ermöglichen und befördern für Teile der Arbeitenden einen reflexiven Umgang mit Informationen, während andere sie lediglich als Strukturierungsgrößen verarbeiten müssen. Die Leitbilder des *computer-integrated manufacturing* (CIM) und aktuell auch der Industrie 4.0 (siehe unten) sind in gewisser Weise konkrete Produkte des allgemeinen Prozesses der Informatisierung auf dem jeweiligen technologischen Entwicklungsstand.

Die integrierte Anwendung von Informationstechnologien konstituiert einen erweiterten sozialen Handlungsraum, den «Informationsraum» (Boes 2005). Das bezeichnet den Umstand, dass Subjekte (als private oder wirtschaftliche Akteure beziehungsweise als Vertreter von Unternehmen oder anderer Institutionen und Organisationen) unabhängig von ihrem Standort global eine gemeinsame Arbeitspraxis etablieren können, sodass ein globaler Raum der Produktion entsteht (vgl. Boes 2005), der Unternehmen in informatisierte Wertschöpfungsketten einbindet. Unterstützt wird dies durch entsprechende Formen der Arbeitsorganisation, denen IT-gestützte Prozesse zunehmend als organisatorisches Korsett dienen. So etwa in der Softwareentwicklung, wo Prinzipien der «agilen Softwareentwicklung» flexible, dezentrale und situative Vorgehensweisen vorgeben, die eine stark arbeitsteilige Programmierung über unterschiedliche Standorte hinweg ermöglichen. Die darin bestehenden Beziehungen der Akteure sind asymmetrisch, das heißt, dass fokale Endhersteller die Netzwerke dominieren und Zulieferer aller Ebenen auf das eigene Produktionsmodell verpflichten können. Allenfalls Zulieferer der Größenordnung von Endherstellern können hier gegenhalten.

Charakteristika der Informatisierung von Arbeit sind die zunehmende Dominanz der Informationsebene (z. B. Kennziffernsteuerung), eine ansteigende Entkopplung von Raum und Zeit (z. B. «Offshoring» von Teilprozessen der Produktion) und eine zunehmende Prozessorientierung und verdichtete Kontrolle der Arbeit (z. B. Qualitätssicherung). Damit gehen sowohl ein umfassenderer Zugriff auf subjektive Leistungen und Fähigkeiten der Arbeitenden im Sinne des Rationalisierungsmodus der Subjektivierung von Arbeit einher als auch die Steuerung und systematische Vernutzung dieser subjektiven Leistungen (vgl. Boes et al. 2014). Das führt zu der Frage, wie subjektive Leistungen der Arbeitenden in abstraktifizierter Arbeit überhaupt zur Geltung kommen (können).

3.2 SUBJEKTIVE LEISTUNGEN DER ARBEITENDEN ALS KOMPLEMENT TECHNISIERTER ARBEIT

Jede Form der Technisierung von Arbeit produziert neue Unbestimmtheiten für das Arbeitshandeln, die erst durch menschliche Subjektivität wieder geschlossen werden können (vgl. Schimank 1986, der einen «irreduziblen Subjektivitätsbedarf» technischer Systeme diagnostiziert, ebd.: 75). Die durch Informatisierung bewirkte «Entqualifizierung» der Arbeit im Sinne einer zunehmenden Distanz der Arbeit zum unmittelbaren Herstellungsprozess hat zur Konsequenz, dass der konkrete Bezug dazu vermehrt von der arbeitenden Person hergestellt werden muss. Damit steigt in informatisierten Arbeitsstrukturen der Bedarf nach «subjekthaftem Arbeitshandeln» (Baukrowitz/Boes 1996). Allerdings wird dieses Erfordernis im Zuge zunehmender Technisierung von Arbeitsorganisation und Management immer weniger wahrgenommen.

Von der technischen Entwicklung vorangetriebene Rationalisierungsprozesse im Produktionssektor haben dazu geführt, dass Arbeitsprozesse und die Art der betrieblichen Arbeitsorganisation in hohem Maße «standardisiert» erscheinen. Im Management führt dies zu der verkürzten Wahrnehmung, dass ergänzende subjektive Leistungen der Person, insbesondere das «Erfahrungswissen» der Arbeitenden, zunehmend irrelevant seien und allein eine Ausführung der Tätigkeit gemäß den qua Verwissenschaftlichung von Arbeit normierten Vorgaben («Planungswissen») als hinreichend zur Erfüllung der definierten Arbeitsziele angesehen wird (vgl. die Studien zu computergestützter erfahrungsgeleiteter Arbeit von Martin 1995; Rose/Martin 2002; Weber/Wehner 2001). Mit der Einführung hochautomatisierter, informationstechnisch gesteuerter Produktionsprozesse fällt diese Ausblendung der nicht «objektivierbaren» Leistungen noch stärker ins Gewicht. Deshalb spielen Fragen nach den Gestaltungsspielräumen der Arbeitenden sowie der Steuerungs- und Kontrolltätigkeit innerhalb dieser intensivierten Mensch-Maschine-Interaktion eine zentrale Rolle – wie auch schon in älteren Debatten zu *computerunterstützter* Arbeit betont wurde (z. B. Hacker 1987; vgl. u. a. Ulich 2005; Grote 2009).

In der Praxis beinhaltet informatisierte Arbeit zahlreiche verborgene Leistungen der Arbeitenden, wie die Übersetzungsleistung von Inputs aus der sozialen Welt in die Systemsprache oder die sinnhafte Interpretation der Outputs des technischen Systems. Aktive Kontrollarbeit sowie der regulierende Eingriff in die systemischen Abläufe auf der Grundlage des «Gespürs» der Maschinenbediener sind im Normallauf wie bei Störungen notwendig (vgl. Perrow 1987). Die Anwendungsmöglichkeiten für dieses Gespür werden aber aufgrund der mediatisierten Umgebung in informatisierter Arbeit anscheinend geringer – auch wenn dem partiell durch entsprechende haptische Konfigurationen gegengesteuert wird (etwa durch den Steu-

erstreckt in Passagierjets oder bei Mobiltelefonen; vgl. Matuschek 2008). Das erhöht tendenziell das Risiko, automatisierte Produktionsprozesse nicht mehr sicher und im Hinblick auf Qualität und Effizienz steuern und kontrollieren zu können. Damit ist das seit längerem bekannte Problem der «ironies of automation» (Bainbridge 1983) angesprochen, deren Wahrnehmung recht schnell die Bedeutung menschlichen Handelns in automatisierter Arbeit fokussierte. Dabei wurde insbesondere die Bedeutung des Erfahrungswissens betont, wie auch direkt auf Erfahrungshandeln abhebende Studien zur computergestützten Arbeit dies vermittelten (vgl. Schulze 2001; Schulze/Witt/Rose 2001).

Daran anschließend wird von Fritz Böhle und seinem Umfeld die Seite des nicht zweckrational-abstrahierenden, sondern «subjektivierenden» Arbeitshandelns konzeptionell und empirisch in den Blick genommen, die für technisierte Arbeit konstitutiv ist (vgl. als Überblick: Böhle 2010; 2013; siehe auch Böhle 1994; 1998; 2001; Böhle/Milkau 1988; Böhle/Rose 1992; Böhle/Schulze 1997; Böhle et al. 2002; Pfeiffer 2004; 2005; 2010; 2013; vgl. auch Windelband/Spöttl 2011). «Subjektivierendes Arbeitshandeln» wird verstanden als «Handlungsmodus, bei dem sinnliche Wahrnehmung nicht vom subjektiven Empfinden losgelöst und verstandesmäßig intellektuellen Prozessen untergeordnet ist. Die sinnliche Wahrnehmung unterliegt einer Eigenaktivität und stellt bedeutungsrelevante Zusammenhänge her» (Böhle 1994: 195). Damit werden Gefühl und sinnliche Wahrnehmung als Medien des Erkennens und Handelns diesseits rationaler Handlungsvollzüge («objektivierendes Arbeitshandeln») betont, die in dominanten «rationalistischen» Analyseperspektiven der Arbeitstätigkeit ausgeblendet werden.

Untersucht werden insbesondere auch die in automatisierten Prozessen regelmäßig und zwangsläufig auftretenden Störungen (deren Zwangsläufigkeit und «Normalität» Perrow im Hinblick auf die Havarie großtechnischer Systeme aufgewiesen hat, vgl. Perrow 1987), die für die Arbeitenden Abweichungen vom «Normallauf» und die Unterbrechung von Routinen der Arbeitstätigkeit bedeuten. Die Analyse, wie die Arbeitenden auf solche außergewöhnlichen Situationen reagieren, zeigt, dass die erfolgreiche Bearbeitung nicht Ergebnis der kanonischen Routinen der Arbeit in automatisierten Systemen ist, sondern Intuition und Gespür, Erfahrungswissen und in letzter Instanz ein spezifisches «subjektivierendes Arbeitshandeln» erfordert, das sich nicht auf rational-kognitiver Basis vollzieht (zusammenfassend Böhle 2010; 2013).

Für den Bereich automatisierter *Produktionsarbeit* wird festgestellt, dass das «subjektivierende Arbeitshandeln» im Kontext neuer Formen betrieblicher Rationalisierung, die auf eine weitestmögliche Transformation von Produktionsarbeit in «geistige Arbeit» abzielen, zunehmend negiert wird (vgl. Böhle 1994; 1998; 1999; 2000; 2002a; Malsch 1984). Dadurch werden die Verwirklichungsmöglichkeiten des Einsatzes von subjektiven Fähigkeiten der Arbeitskraft im konkreten Ar-

beitshandeln – ihr «Erfahrungswissen» – beschnitten. Zugleich werden aber auf der Ebene der Arbeitsorganisation gerade Fähigkeiten wie «Eigenverantwortung» und «Initiative» der arbeitenden Person gefordert – insbesondere im Zuge der Einführung post-tayloristischer Formen der Arbeitsorganisation. Und die Grenzen technischer Planbarkeit des Produktionsprozesses werden zunehmend auf «menschliches Versagen» der Arbeitskräfte zurückgeführt (vgl. Böhle 1998).

Für den Bereich der *Büro- beziehungsweise Informationsarbeit* liegen zahlreiche Untersuchungen vor, in denen Handlungs- beziehungsweise Orientierungsmuster der Arbeitenden im Umgang mit Informations- und Kommunikationsmedien herausgearbeitet werden. Sie zeigen, dass der Stellenwert kooperativer kommunikativer Handlungen («Kommunikationsarbeit») – vgl. dazu Knoblauch 1996; für eine allgemeine theoretische Grundlegung vgl. Knoblauch 1995) im Kontext hochtechnisierter Organisationen steigt. Kollektive Kommunikationsmedien wie etwa Videokonferenzsysteme machen Kontextualisierungshandlungen der Individuen erforderlich (um zum Beispiel den Gesprächspartnern, die sich nicht im Raum befinden, Hörverstehen zu signalisieren oder beiläufig anzuzeigen, dass man das Rederecht beansprucht). Die individuellen Kommunikationsleistungen werden dadurch im Vergleich zu «naturwüchsig» verlaufender Face-to-Face-Kommunikation insgesamt komplexer (vgl. Meier 1999; Weinig 1996). Im Hinblick auf die Kombination verschiedener Kommunikationsmedien in Betriebszusammenhängen zeigt sich, dass Mitglieder von Organisationen je nach betrieblicher Position beziehungsweise Funktion und damit einhergehenden Interessenlagen in unterschiedlicher Weise Medien im Sinne mikropolitischen Strategien einsetzen, um ihre Arbeitsaufgaben im Betriebssinne möglichst gut zu erledigen (vgl. Stegbauer 1995a; 1995b). Böhle und Bolte (2002) arbeiten den zentralen Stellenwert informeller Kommunikation und Kooperation im Arbeitsprozess heraus. Für IT-Spezialisten zeigen Baukrowitz, Boes und Eckhardt (1994), dass subjektive Fähigkeiten und Leistungen der Person in medienvermittelter Arbeit an Bedeutung gewinnen, während der relative Stellenwert konventioneller beruflich-fachlicher Fähigkeiten sinkt. Diese müssen, da die Arbeitsaufgaben von betrieblicher Seite immer weniger klar vorstrukturiert werden können, von den Arbeitenden zunehmend durch Formen «reflexiver Fachlichkeit» (Boes et al. 1995) ergänzt werden, das heißt durch «den sinnhaften Bezug, der vom Subjekt aktiv zwischen den fachlichen Kompetenzen und den Erfordernissen der konkreten Aufgaben hergestellt wird» (ebd.: 248). Pfeiffer (1999) zeigt am Beispiel des «Spürsinn» von Informationsbrokern, dass auch bei immateriellen Arbeitsgegenständen sinnlich-erfahrungsbasiertes subjektivierendes Arbeitshandeln eine wichtige Rolle spielt und nicht standardisierbar ist.

Insgesamt wird in qualifizierter digitalisierter Arbeit eine Reihe neuartiger «metafachlicher» Kompetenzen

gefordert, zum Beispiel «die Fähigkeit, neue Probleme zu erkennen und zu lösen; das Wissen um die Gesamtzusammenhänge der betrieblichen Leistungserstellung; die Fähigkeit zur Eigenmotivation, zur Selbstentwicklung und zu eigenständigem Lernen in einem Umfeld von geringen Hierarchien; eigenständige, ergebnisorientierte Organisation von Arbeitsprozessen; die Fähigkeit zur Kooperation in Arbeitsgruppen; auch die Fähigkeit zur zielgerichteten und ergebnisorientierten Zusammenarbeit in «virtuellen Unternehmen»; die Beherrschung der neuen informationstechnischen Geräte und (auch betriebsübergreifenden) Systeme» (Welsch 1997: 57). Die Aufzählung macht deutlich, dass digitalisierte Arbeit in vielen Dimensionen Gestaltungsaufgaben für den Umgang mit Informationstechnologien mit sich bringt, die unmittelbar von der arbeitenden Person erbracht werden müssen.

Die Qualität der zu erbringenden subjektiven Leistungen divergiert je nach Art ihrer betrieblichen Funktion und Einbindung. Prinzipiell sind zwei Wege der betrieblichen Kontrolle informatisierter Arbeit gangbar: «Technisierung» und (scheinbare) «Autonomisierung» (vgl. Kleemann 1999a). In beiden Fällen wird letztlich vor allem das Arbeitsergebnis bewertet. Während bei «technisierter» Kontrolle die individuelle Tätigkeit über bürokratische Vorgaben zur Arbeitsausführung und die Möglichkeit zu technisierter personaler Überwachung der Menge und Qualität der Arbeitsleistung erfolgt, wird in «autonomisierten» Kontrollformen allein das Arbeitsergebnis bewertet, die Art der Arbeitsausführung bleibt der arbeitenden Person selbst überlassen. Damit korrespondieren zwei Typen von Büroarbeit: die regelhafte Anwendung von Programmen nach festen Vorgaben und der Einsatz des Computers als Werkzeug zur *Interpretation* von Informationen (vgl. Baukrowitz et al. 1998).

Im Endeffekt zeigt sich eine tendenzielle Dreiteilung der Tätigkeitsprofile digitalisierter Arbeit: 1) mittel- bis geringqualifizierte Tätigkeiten, bei denen die regelhafte

Anwendung von Informationstechnologien nach starren Vorgaben im Vordergrund steht und die Qualität der Arbeitsausführung – insbesondere bei personenbezogenen Tätigkeiten wie etwa in Callcentern – über technische Installationen überwacht werden kann; 2) Tätigkeiten mittlerer Qualifikation, bei denen Informationstechnologien ebenfalls nach bürokratischen Verfahrensregeln angewendet werden und deren Ergebnisse unmittelbar quantifizierbar sind, bei denen aber – wie etwa in Formen qualifizierter Sachbearbeitung – Kontrolle überwiegend auf die Bewertung von Menge und Qualität erbrachter Ergebnisse bezogen und daher die Art der Arbeitsausführung für die Person im Detail gestaltbar ist; und 3) höher und hoch qualifizierte Tätigkeiten, bei denen Informationstechnologien als Werkzeug zur Generierung und Transformation von Wissen verwendet werden und der eigenständigen Koordination der Arbeitstätigkeit mit anderen dienen. Die Art der Arbeitsausführung wird von der arbeitenden Person weitgehend selbst koordiniert und die Bewertung der Tätigkeit erfolgt über die Kontrolle von Arbeitsergebnissen. Da diese aber nicht unmittelbar quantifizierbar beziehungsweise objektivierbar sind, muss ein Aushandlungsprozess zwischen Betrieb und arbeitender Person dem Arbeitsprozess vor-, zwischen- und nachgelagert sein. Auf dieser Grundlage kann die Art der von den Individuen zu erbringenden Arbeit in «kompensatorische» und «strukturierende» subjektive Leistungen unterschieden werden: kompensatorische Arbeiten (vor allem den ersten beiden Tätigkeitstypen entsprechend) dienen dem Ausgleich von Funktionslücken, die durch die «Abstraktifizierung» der Tätigkeit entstehen, und zielen darauf ab, die Arbeitsstruktur in Funktion zu halten; strukturierende Tätigkeiten dienen der produktiven Ergänzung des Produktionsprozesses an jenen Stellen, die sich aufgrund ihrer Funktion, den systemischen Produktionsprozess zu ergänzen und zu modifizieren, einer umfassenden Technisierung entziehen (vgl. Kleemann 1999b).

4 ERKENNTNISSTAND ZUR INDUSTRIE 4.0 – AUSGEWÄHLTE STUDIEN

Aktuell wird die fortschreitende informationstechnische Vernetzung der Produktion entlang der gesamten Wertschöpfungskette in der technologie- und wirtschaftspolitischen Debatte unter dem Leitbegriff Industrie 4.0 gefasst. Skizziert wird damit eine Rationalisierungsstufe, auf der Unternehmen untereinander und mit ihren eigenen oder auch freien Arbeitskräften per Schnittstellen verbunden sind. In der *smart factory* bilden Maschinen, Betriebsmittel und Lagersysteme via Internet ein cyberphysisches Produktionssystem (CPPS). Vor allem aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht wird damit das Bild einer vierten industriellen Revolution verbunden: Nach Mechanisierung, Industrialisierung und Automatisierung erfolge nun die technologische Vernetzung der Produktion entlang der Wertschöpfungskette in Echtzeit via Internet und ermögliche so die autonome Steuerung einer *production on demand* nach der Produktkonfiguration des Auftraggebers (vgl. Gill 2006; Broy 2010; Geisenberger/Broy 2012; Kagermann et al. 2012; Reinhart et al. 2013; Sandler 2013).

Die Idee einer ganzheitlich computergesteuerten Produktion, die alle relevanten Prozesse und Ressourcen verknüpft, wurde bereits vor einigen Jahrzehnten mit dem Leitbild des *computer-integrated manufacturing* (CIM, siehe oben) formuliert. CIM-Systeme gelten als Vorläuferkonzepte für die aktuelle, unter dem Leitbegriff Industrie 4.0 geführte Debatte um anpassungsfähige Produktionssysteme (vgl. Mentgen 2012; Scheer 2013). Allerdings werden nunmehr die Daten- und die Realebene der Produktion noch stärker integriert. Anders als in früheren Modellen, die eine Effizienzsteigerung von Produktionsprozessen über vorgängige Planung, anschließende Umsetzung und nachfolgende Kontrolle anstrebten, findet dieser Optimierungsprozess im Kontext der Industrie 4.0 idealiter fortlaufend statt, indem die (dezentralen) Systemkomponenten eine andauernde Selbstoptimierung vollziehen und sich permanent an volatile Bedingungen der Wertschöpfungskette anpassen (vgl. Kagermann et al. 2013).

Industrie 4.0 als neuem Automatisierungsschritt wird das Potenzial zugeschrieben, die heutige Organisation von Fabriken, Personal und Arbeit strukturell zu verändern (vgl. Geisberger/Broy 2012; BMWi 2013; Spath et al. 2013). Die technologische Grundlage dafür bilden digitale Messtechniken und IT-basierte mechatronische Anlagen sowie ihre Vernetzung mittels informationstechnologischer Infrastrukturen (vgl. Uhlmann et al. 2013), insbesondere dem sogenannten Internet der Dinge (vgl. Bullinger/ten Hompel 2007; Bothhof/Bovenshulte 2009; Uckelmann et al. 2011). Solche cyberphysischen integrierten Systeme sind prinzipiell verteilt organisiert (vgl. Broy 2010) und «hybrid» in dem Sinne, dass die Technik im Zusammenspiel mit menschlicher Arbeitskraft (teil-)autonom agiert (vgl.

Rammert/Schulz-Schaeffer 2002; Rammert 2003). Statt einer linearen Abfolge einmal programmierter Schritte finden sich nun parallele statt sequenzielle Problembearbeitung, der Verzicht auf hierarchische Vorgaben zugunsten der Selbstorganisation, eine eher lose Integration, ein an situative Erfordernisse angepasstes Aktions-Reaktions-Schema und Mensch-Maschine-Umwelt-Beziehungen, die sich stärker an Interaktion orientieren.

In dieser soziotechnischen Architektur limitiert Technologie die Gestaltungsoptionen des sozialen Teilsystems. Allerdings wirkt Letzteres auf die Funktionsweise des technischen Teilsystems zurück, und zudem bestehen Interdependenzen mit der Umwelt des Gesamtsystems (vgl. Hirsch-Kreinsen 2014). Im Mittelpunkt der sozialwissenschaftlich orientierten Debatte um eine Industrie 4.0 steht daher weniger der einzelne Arbeitsplatz, die individuelle Tätigkeit und die Qualifikationen der Arbeitskräfte an sich, sondern das durch strategische Vorgaben beeinflusste organisatorisch-soziale Gefüge eines fluider werdenden soziotechnischen Produktionssystems als ein Element der Wertschöpfung (vgl. ebd.).

In der Realität der Produktion ist man allerdings bislang noch nicht über Teillösungen (vgl. Spath et al. 2013) hinausgekommen und diese ersten Ansätze (vgl. Kleinhempel et al. 2015) erscheinen noch relativ isoliert (vgl. Hirsch-Kreinsen 2014). Dennoch wird davon ausgegangen, dass perspektivisch nahezu alle industriellen Arbeitsplätze davon betroffen sein werden (vgl. Kubicek et al. 2014). Das Leitbild von einer Industrie 4.0 kennzeichnet in dieser Hinsicht einen (erneuten) Aufbruch hin zur flexiblen automatisierten Produktion. In ökonomischer Hinsicht steht dahinter das Ziel, hochflexibel auf Anforderungen des Marktes reagieren zu können (vgl. etwa Scholz-Reiter et al. 2009). Eine vollständige Automatisierung wird allerdings nicht erwartet (vgl. Kinkel et al. 2008: 241), wie dies bei Einführung des *computer-integrated manufacturing* (CIM) noch der Fall war.

Im Zuge der wissenschaftlichen Begleitung der CIM-Einführung wurde klar, dass vernetzte Produktionssysteme einen manifesten Wandel der Arbeit mit durchaus widersprüchlichen Zügen hervorbringen, ohne dass es zur gänzlichen Abschaffung von Produktionsarbeit kommt (vgl. Schultz-Wild et al. 1986; Pries et al. 1990; Moldaschl 1991). Auch in CIM-Architekturen ergab sich weiterhin Nachfrage nach «Produktionsintelligenz» in automatisierten Produktionsprozessen, um die durch Planungsaufgaben, Steuerung und Kontrolltätigkeit charakterisierte «Gewährleistungsarbeit» abzusichern (Schumann et al. 1994). Andererseits verblieben niedrig qualifizierte Arbeitstätigkeiten, deren Gestaltungsspielräume durch Automatisierung weiter reduziert werden. Gleiches ist angesichts des konstitu-

tiven Charakters menschlicher Arbeitsleistungen auch für automatisierte Produktionszusammenhänge im Kontext der Industrie 4.0 zu erwarten.

Erkenntnisse zum Wandel der Qualität von Arbeit und Arbeitsanforderungen sind unter aktuell erst im Entstehen begriffenen Bedingungen autonomer Systeme noch vorläufig und basieren überwiegend auf Experteneinschätzungen (vgl. Hirsch-Kreinsen 2014). Wie bislang stets in der Geschichte der Technisierung wird davon ausgegangen, dass insbesondere niedrig qualifizierte Arbeitsplätze, auch solche mit informatisierten Anteilen, ersetzt werden (vgl. TAB 2007; Kinkel et al. 2008), ohne dass die Größenordnungen bislang abschätzbar sind. Im Hinblick auf die mittlere Qualifikationsebene werden widersprüchliche Tendenzen konstatiert. Angesichts der Selbststeuerungspotenziale autonomer Systeme wird eine Dequalifizierung bisheriger Tätigkeiten erwartet, vor der nur wenige Bereiche geschützt zu sein scheinen, in denen Automatisierung zu kostenträchtig ist (vgl. Hirsch-Kreinsen 2014; vgl. ebenso Spath et al. 2013 und für den Bereich Logistik Windelband et al. 2011) und die hoch qualifizierten Spezialisten überlassen bleiben (Windelband et al. 2011). Andererseits kommt es angesichts einer erhöhten Komplexität der Fertigung und der informationstechnologischen Dezentralisierung von Entscheidungs-, Kontroll- und Koordinationsfunktionen zu steigenden Anforderungen an das Prozesswissen der Arbeitenden und zu einer Integration unterschiedlicher Funktionsbereiche (vgl. ebd.). Mit der damit notwendigerweise ansteigenden Bedeutung von Wissensarbeit sind widersprüchliche Folgen verbunden: Es entstehen Autonomiespielräume, aber auch erhöhte Unsicherheiten (vgl. Abel et al. 2005; Ittermann 2009). Solchen Ambivalenzen gilt es im Folgenden anhand der in der Einleitung skizzierten Studien, Expertisen und weiteren Beiträgen aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik nachzugehen.

4.1 ALLGEMEINE AUSWIRKUNGEN AUF WIRTSCHAFTSBEREICHE, QUALIFIKATION UND ARBEITSTEILUNG

Auswirkungen einer Entwicklung lassen sich sowohl nach quantitativen als auch nach qualitativen Gesichtspunkten bestimmen. Was als allgemeine Folge zu gelten hat, hängt von der Perspektive des Betrachters ab: Geltung in spezifischen Branchen bedeutet nicht unmittelbare Auswirkungen für den Wirtschaftsstandort Deutschland; allgemeine Folgen lassen sich unterscheiden im Hinblick auf strukturelle Konsequenzen für das Wirtschaftssystem, die Abhängigkeit von Wertschöpfungs-systemen und Betrieben oder die individuellen Chancen und Risiken. Arbeitgeberverbände begreifen den Terminus Industrie 4.0 als Umschreibung einer Vision, die erst in den Jahren 2025/2030 zum betrieblichen Alltag gehören wird. Allerdings werden durch Verbände wie den Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI), den Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und

neue Medien (BITKOM) oder den Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) bereits Umsetzungsempfehlungen formuliert, die auf das Modell einer sensorgesteuerten *smart factory* hinauslaufen, in der cyberphysische Systeme die unterschiedlichen Prozesse der Produktion, Logistik, des Engineering, des Managements und der Internetdienste verknüpfen und eine automatisierte Steuerung ermöglicht wird (vgl. Becker 2015). Jenseits eines technizistischen Verständnisses setzt die Arbeitgeberseite auf das Kreativpotenzial der Beschäftigten (ebd.), zugleich aber sieht sie in der Industrie 4.0 einen Ansatz, die Folgen des sich abzeichnenden Fachkräftemangels zu mildern. Assistenzsysteme versprechen eine demografiesensible und belastungsmindernd gestaltete Arbeit und damit den Erhalt der Produktivität in einem längeren Arbeitsleben. Monotonie und Belastungen werden abgebaut, kreative wertschöpfende Tätigkeiten verbleiben bei den Beschäftigten, was deren Leistungsfähigkeit erhält. Dennoch wird es weiterhin belastende und einfache Arbeiten geben – Industrie 4.0 wird demzufolge kein Allheilmittel dagegen sein, allerdings steigert sie auch hier die Wertschöpfung und wirkt damit am Standort arbeitsplatzerhaltend. Das Credo lautet «Erst eine wettbewerbsfähige Arbeit lässt eine flexible Arbeitsorganisation zu, die es den Mitarbeitern ermöglicht, Beruf und Privatleben sowie Weiterbildung besser miteinander zu kombinieren und so eine Balance zwischen Arbeit und Familie zu erreichen» (Becker 2015: 24). Ganz allgemein ist eine erhöhte Flexibilität gegenüber Kundenwünschen Ziel der Industrie 4.0. Das setzt verlängerte Betriebs- und flexibilisierte Arbeitszeiten voraus, deren Folgen wissenschaftlich zu verifizieren sind (vgl. Becker 2015).

Die Debatte um Automatisierungsfolgen

Große Aufmerksamkeit genießt nach wie vor die Studie von Frey und Osborne (2013), die auf der methodischen Grundlage von Expertenbefragungen und der Analyse beruflicher Tätigkeitsstrukturen die Automatisierbarkeit von Berufen und deren Folgen in den USA untersucht. Die Autoren kommen dabei zu dem Ergebnis, dass fast die Hälfte aller Beschäftigten (47 Prozent) in Berufen arbeitet, die mit einer Wahrscheinlichkeit von mehr als 70 Prozent in den nächsten zwei Dekaden durch Computer oder algorithmierende Maschinen automatisiert werden.⁴ Im Fokus der Stu-

⁴ Selbst wenn man der Kritik von Hirsch-Kreinsen (2014) folgt, dass die treibende Kraft hinter der technisierten Rationalisierung die (technische) Managerelite darstellt und man deshalb in der Befragung technischer Experten eine methodische Schwäche der Studie vermuten kann, die darin liegt, dass die Befragten die Folgen überschätzen (vgl. dazu auch Bonin 2015), bleiben die von Frey und Osborne präsentierten Ergebnisse aufsehenerregend: 10 Prozent der 702 in die Studie eingeflossenen Berufsbilder schätzen die Experten als automatisierbar ein. Die Ergebnisse werden anhand von neun Tätigkeitsbereichen auf die restlichen Berufe übertragen, die je nach Wahrscheinlichkeit der Automatisierung in zwei Lager (automatisierbar – nicht automatisierbar) eingeteilt werden. Mit einer Wahrscheinlichkeit zwischen null und 100 Prozent geben die Experten an, für wie wahrscheinlich sie eine Automatisierung in der kommenden Zeit halten. Werte von <30 Prozent verweisen auf ein niedriges, zwischen 30 und 70 Prozent auf ein mittleres und über 70 Prozent auf ein hohes Potenzial beziehungsweise Risiko für die dort Beschäftigten.

die steht allerdings weniger die mit dem Stichwort Industrie 4.0 bezeichnete, auf die Digitalisierung ganzer Wertschöpfungsketten gerichtete Umgestaltung der Produktionssysteme, sondern die Automatisierbarkeit der einzelnen Berufe. Frey und Osborne argumentieren entlang der These der Substitution von Arbeitsplätzen durch Automatisierung, dass im Gegensatz zu bisherigen technologischen Transformationen, die zwar Veränderungen der Arbeit und der Arbeitsmärkte hervorgebracht haben, ohne allerdings zu Massenarbeitslosigkeit zu führen, nunmehr ein gegenteiliger Effekt der nächsten Automatisierungswelle zu befürchten ist. Nach einem Modell von Aghion und Howitt (1994) erzeugten neue Technologien bisher infolge des damit einhergehenden Wachstums einen Kapitalisierungseffekt, der zu neuen Unternehmen und ansteigender Beschäftigung führte – es entstanden mehr Arbeitsplätze, die Arbeitslosigkeit sank. Es stellte sich allerdings auch ein Effekt der Reallokation von Arbeit ein, weil menschliche Fähigkeiten schneller überflüssig wurden und vermehrt nach Arbeit gesucht werden musste. Dieser Prozess gewinnt in der nun beginnenden Automatisierungswelle die Oberhand gegenüber dem Kapitalisierungseffekt, da die umfassende Automatisierung durch Digitalisierung alle Bereiche erfasse, von manuellen bis zu eher kognitiven Tätigkeiten. Von derzeit bestehenden Beschäftigungsverhältnissen ausgehend können Frey und Osborne so Bedrohungsszenarien zeichnen, wobei sie mit möglichen neuen Tätigkeiten einhergehende Beschäftigungseffekte konzeptionell ausblenden. Auch das überzeichnet negative Folgen der laufenden Automatisierung mittels Technologien, wie sie im Zusammenhang mit dem Stichwort Industrie 4.0 genannt werden.

Im Hinblick auf die Auswirkungen auf die Arbeitswelt gehen die Autoren davon aus, dass vor allem routinierbare Tätigkeiten der Automatisierung anheimfallen, während andere Tätigkeitsbereiche relativ robust gegen Automatisierungsversuche sind. Dazu zählen sie erstens Wahrnehmungs- und Manipulationstätigkeiten, die in unstrukturierten, komplexen Situationen von Bedeutung sind und in denen Menschen Vorteile gegenüber Maschinen haben. Es bestehen also technische Engpässe (*engineering bottlenecks*), etwa im Reaktionsvermögen auf eintretende Fehler. Zweitens identifizieren Frey und Osborne kreativ-intelligente Tätigkeiten als solche mit geringem Automatisierungspotenzial, da die Produktion von (auch wirtschaftsbezogenen) Konzepten und Ideen, künstlerischen Artefakten oder wissenschaftlichen Erkenntnissen sich durch Wandel auszeichnet und prinzipiell kulturabhängig ist. Als dritten Bereich mit einem relativ geringen Risiko einer Automatisierung nennen die Autoren auf sozialer Intelligenz basierende beziehungsweise diese voraussetzende Tätigkeiten, etwa Pflegeberufe oder Verhandlungsaktivitäten, die aufgrund ihrer emotionalen Bandbreite in den nächsten Dekaden als kaum automatisierbar erscheinen.⁵ Als besonders gefährdet schätzen Frey und Osborne Beschäftigte mit niedri-

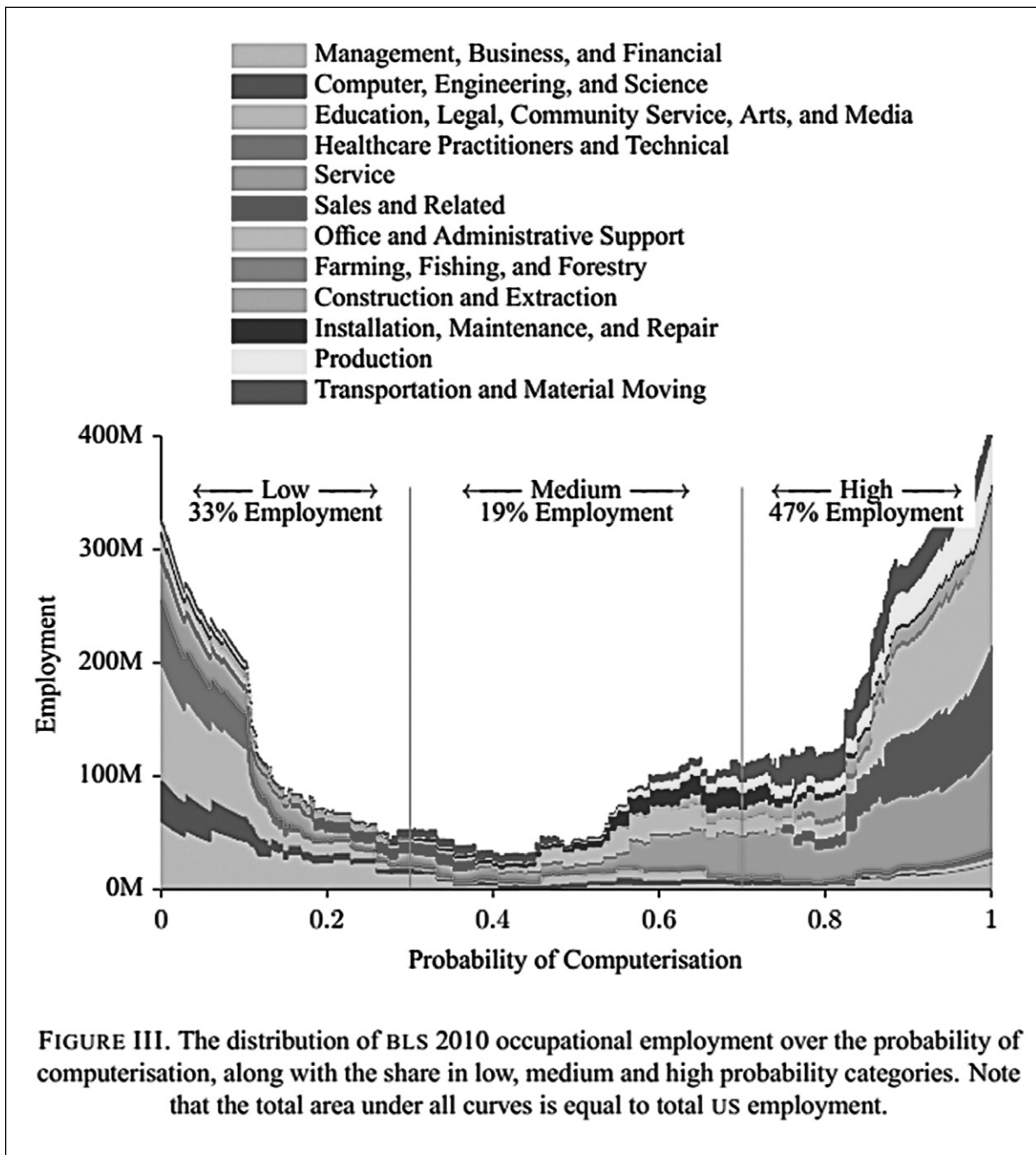
ger schulischer und/oder beruflicher Bildung und Geringverdiener ein, da deren Berufe am stärksten von Automatisierung bedroht sind. Von den in zwölf nach unterschiedlichen Tätigkeitsgruppen differenzierten Berufen sind neben «Transportation und Material Movings»,⁶ «Production» und «Installation, Maintenance and Repair» von der Menge der bedrohten Arbeitsplätze insbesondere «Services», «Sales and Related» sowie «Office and Administration Support» von einer hohen Computerisierung und damit hohen Automatisierungswahrscheinlichkeit betroffen, während «Education, Legal, Community Service, Arts and Media» und mit Abstrichen auch «Management, Business, and Financial» eher geringe beschäftigungspolitische Effekte durch Automatisierung ausweisen (siehe Abb. 3, S. 25).

Dabei ist zu beachten, dass es Frey und Osborne nicht darauf anlegen, den numerischen Verlust von Arbeitsplätzen zu bestimmen; dazu sehen sie sich angesichts nicht abschätzbarer Lohnentwicklung und möglicher politischer Interventionen gar nicht in der Lage (vgl. Frey/Osborne 2013). Ihr Augenmerk gilt der Automatisierungswahrscheinlichkeit, die mit zuletzt genannten Folgen nicht gleichzusetzen ist. Gleichwohl dient ihre Publikation zahlreichen Veröffentlichungen zur Industrie 4.0 als Referenztext. Neben relativ undifferenzierten Adaptionen, die eine umstandslose Übertragung auf die deutsche Industrie vornehmen, gibt es auch deutlich kritischere Stimmen.

Vielen Studien gemein ist die Ansicht, dass technischer Wandel immer Arbeitsplätze verdrängt, aber auch neue Berufe hervorbringt. Neben den Risiken der stetigen Umwälzung des Arbeitsmarktes existieren also auch Chancen. Die Automatisierung wird definitiv unscharf als Reindustrialisierung begriffen, die Arbeitsplätze gefährdet, aber auch Raum für neue Aufgaben und Tätigkeiten schafft, vor allem in Richtung IT-Tätigkeiten. Erforderlich sind aufseiten der Beschäftigten höhere Flexibilität und Anpassungsfähigkeit, was für den Einzelnen hohe negative Kosten verursachen kann. In der Bilanz wird es Gewinner, aber auch Verlierer geben. Die Entwicklung wird in der Regel als natürliche Bewegung einer sich ständig modernisierenden Wirtschaft dargestellt, deren Effekte auf den Arbeitsmarkt durchschlagen und hier – mehr oder weniger analog zu den Befunden von Frey und Osborne (2013) – berufsgruppenspezifische Folgen haben, wie

⁵ Berücksichtigt man etwa den in der Pflege Dementer beginnenden Einsatz von programmierbaren Puppen oder die Staubsaugroboter, so deuten sich auch hier Automatisierungspotenziale an, die von Frey und Osborne verneint werden. Welche Effekte damit verbunden sind, lässt sich allerdings nicht abschätzen: So kann ein Raumpfleger auch die Wartung von Staubsaugrobotern übernehmen und Pflegekräfte können sich auf andere Pflegebereiche konzentrieren – gleichzeitig ist aber auch eine Verdrängung der Arbeitenden aus solchen Tätigkeiten denkbar. ⁶ Aufgrund unterschiedlicher Definitionen von Tätigkeitsgruppen und Berufen sind Übersetzungen allenfalls Annäherungen: «Transportation and Material Moving» ist dann im weitesten Sinne mit «Güter- und Warenverkehr»; «Production» mit «produzierendem Gewerbe»; «Installation, Maintenance and Repair» mit «Installations- und Wartungshandwerk»; «Services» mit «Dienstleistungen»; «Sales and Related» mit «Groß- und Einzelhandelsbereich»; «Office and Administration Support» mit «öffentlicher Verwaltung»; «Education etc.» mit «sozialen Dienstleistungsbereichen wie Bildung und Sozialarbeit inklusive Kunst und Medien»; sowie «Management, Business und Financial» mit «unternehmerischen Entscheidern» gleichzusetzen.

Abbildung 3: Wahrscheinlichkeit der Automatisierung



Quelle: Frey/Osborne 2013

die Tabelle aus einer Studie der ING-DiBA Economic Research verdeutlicht (siehe Tab. 1, S. 26).

1,9 Millionen Arbeitsplätze in den Büro- und Sekretariatsberufen sind durch eine hohe Automatisierungswahrscheinlichkeit bedroht, weitere 1,5 Millionen Arbeitsplätze bei Hilfstätigkeiten in Post- und Zustelldiensten beziehungsweise der Lagerwirtschaft, 1,2 Millionen Arbeitsplätze der Verkaufsberufe, weitere 1,1 Millionen in der Reinigungsbranche und zusätzlich rund 660.000 Arbeitsplätze in der Gastronomie, die damit die am stärksten tangierte Berufsgruppe darstellen. Mediziner trifft es dagegen selten (3.100 Stellen),

ebenso wie Führungskräfte; die Autoren schließen daraus, dass Berufe mit Spezialisierung oder Expertenwissen einer eher geringen Automatisierungswahrscheinlichkeit ausgesetzt sind. Die Veränderungen werden sich als schleichender Übergang und nicht als abrupter Arbeitsplatzverlust einstellen, dennoch wird ein Zeithorizont von 10 bis 20 Jahren angenommen. Vor allem Kostenfaktoren werden als Haupthemmnis einer schnelleren Diffusion gesehen, auch in die Lebenssphäre hinein (Brzeski/Burk 2015).

Brzeski und Burk zufolge unterliegen also Büro- und Sekretariatsdienste, Zustelldienste und Lagertätigkei-

Tabelle 1: Prognostizierte Folgen der Automatisierung in ausgewählten Berufen

KldB-Code	Beruf ¹	Beschäftigte	Gefährdete Arbeitsplätze	Wahrscheinlichkeit
71402	Büro- und Sekretariatskräfte (ohne Spezialisierung) – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten	2.150.000	1.900.000	89%
71432	Steno- und Phonotypisten/-typistinnen – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten			
71452	Berufe in der Auskunft und Kundeninformation – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten			
71442	Kodierer/innen, Korrekturleser/innen und verwandte Bürokräfte – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten			
71412	Fremdsprachensekretäre/-sekretärinnen und Fremdsprachenkorrespondenten/-korrespondentinnen – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten			
51321	Berufe für Post- und Zustelldienste – Helfer-/Anlernertätigkeiten	1.620.000	1.500.000	93%
51311	Berufe in der Lagerwirtschaft – Helfer-/Anlernertätigkeiten			
62122	Verkaufsstand- und Marktverkäufer/innen – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten	1.290.000	1.200.000	92%
62112	Kassierer/innen und Kartenverkäufer/innen – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten			
54101	Berufe in der Reinigung (ohne Spezialisierung) – Helfer-/Anlernertätigkeiten	1.570.000	1.120.000	71%
63302	Berufe im Gastronomieservice (ohne Spezialisierung) – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten	760.000	660.000	87%
63322	Barkeeper/innen – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten			
63312	Berufe in der Systemgastronomie – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten			
52132	Bus- und Straßenbahnfahrer/innen – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten	1.180.000	650.000	55%
52182	Fahrzeugführer/innen im Straßenverkehr (sonstige spezifische Tätigkeitsangabe) – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten			
52112	Berufskraftfahrer/innen (Personentransport/PKW) – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten			
52122	Berufskraftfahrer/innen (Güterverkehr/LKW) – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten			
25122	Maschinen- und Anlagenführer/innen – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten	890.000	650.000	72%
25112	Maschinen- und Gerätezusammensetzer/innen – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten			
25102	Berufe in der Maschinenbau- und Betriebstechnik (ohne Spezialisierung) – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten			
51312	Berufe in der Lagerwirtschaft – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten	560.000	500.000	89%
51332	Berufe im Güter- und Warenumschlag – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten			
51322	Berufe für Post- und Zustelldienste – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten			
73222	Verwaltende Berufe im Sozial- und Gesundheitswesen – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten	640.000	470.000	72%
73232	Berufe in der Steuerverwaltung – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten			
73212	Berufe in der Sozialverwaltung und -versicherung – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten			
72132	Versicherungskaufleute – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten	630.000	420.000	66%
24222	Berufe in der schleifenden Metallbearbeitung – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten	380.000	350.000	93%
34102	Berufe in der Gebäudetechnik (ohne Spezialisierung) – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten	53.000	350.000	66%
29301	Köche/Köchinnen (ohne Spezialisierung) – Helfer-/Anlernertätigkeiten	390.000	330.000	85%
72213	Berufe in der Buchhaltung – komplexe Spezialistentätigkeiten	340.000	330.000	98%
81142	Tiermedizinische Fachangestellte – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten	640.000	270.000	42%
81112	Zahnmedizinische Fachangestellte – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten			
81122	Podologen/Podologinnen – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten			
81102	Medizinische Fachangestellte (ohne Spezialisierung) – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten			
63301	Berufe im Gastronomieservice (ohne Spezialisierung) – Helfer-/Anlernertätigkeiten	290.000	260.000	88%
24201	Berufe in der Metallbearbeitung (ohne Spezialisierung) – Helfer-/Anlernertätigkeiten	290.000	250.000	87%
62101	Berufe im Verkauf (ohne Produktspezialisierung) – Helfer-/Anlernertätigkeiten	400.000	250.000	64%
54152	Berufe in der Fahrzeugreinigung – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten	315.000	220.000	69%
54122	Berufe in der Glas- und Fensterreinigung – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten			
54142	Berufe in der Maschinen- und Anlagenreinigung – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten			
29302	Köche/Köchinnen (ohne Spezialisierung) – fachlich ausgerichtete Tätigkeiten	260.000	190.000	73%

Quelle: ING, Frey und Osborne (2013), Bundesagentur für Arbeit. ¹ Abweichungen durch Rundungen möglich.

Quelle: Brzeski/Burk 2015

ten (auch fachlich ausgerichtete Tätigkeiten), Verkaufsberufe sowie Tätigkeiten in der Gastronomie einer sehr hohen Automatisierungswahrscheinlichkeit. Auf der anderen Seite der Skala finden sich medizinische Berufe, denen zwar eine spürbare Automatisierungswahrscheinlichkeit attestiert wird, die im Vergleich mit den vorgenannten Tätigkeiten allerdings deutlich geringer ausfällt. Entsprechend sind in unterschiedlichem Ausmaß Arbeitsplätze gefährdet. Fachlich ausgerichtete Tätigkeiten schützen also nur in begrenzter Weise davor, durch Automatisierung den Job zu verlieren – sie unterscheiden sich diesbezüglich zwar von ungelerten Tätigkeiten, besitzen aber dennoch ein hohes Risiko. Die «technische Entwicklung», die allenfalls durch ökonomische Faktoren an einer schnelleren Ausbreitung gehindert wird, aber zwingend in den nächsten Jahren Einzug hält, gilt Brzeski und Burk als Haupttreiber des Wandels. Demnach ist die einer globalen Technologisierung gegenüberstehende deutsche Wirtschaft unter Konkurrenzgesichtspunkten gezwungen, dieser zu folgen. Dem Negativszenario wegfallender Arbeitsplätze wird die erfahrungsbasierte Hoffnung auf das Entstehen neuer Tätigkeiten und Berufe entgegengesetzt; in der Bilanz sieht man allerdings neben Gewinnern auch Verlierer. Sie werden – darin folgen die Autoren implizit Osborne und Frey (2013) – vor allem aus den Gruppen mit niedriger Bildung und Qualifikation und entsprechend gering entlohnten Tätigkeiten kommen. Ein Teil der Fachkräfte aufgrund ihrer Basisqualifikationen sowie Experten haben nur wenig zu befürchten (vgl. Brzeski/Burk 2015).

Robotikprojekte und allgemeine Automatisierung sind Kennzeichen eines tief greifenden strukturellen Wandels auch der Arbeitswelt, der Arbeitskräfte mehr oder weniger direkt betrifft. Werden die deutschen Berufsklassifikationen (KldB 2010) zur Grundlage genommen und in Analogie zur Studie von Osborne und Frey (2013) die Automatisierungswahrscheinlichkeiten für die differenzierbaren Anforderungsniveaus Helfer, Fachkraft, Spezialist sowie Experte geschätzt, sind die Arbeitsplätze von den 30,9 Millionen sozialversicherungspflichtig beziehungsweise geringfügig Beschäftigten in Deutschland (das sind 81 Prozent dieser insgesamt 37,9 Millionen Beschäftigten), die Gegenstand der ING-Studie sind, 18,3 Millionen und damit 59 Prozent in ihrer gegenwärtigen Gestalt durch die sich vollziehende Technologisierung bedroht. Dabei zeigen sich dramatische Unterschiede in den Effekten, wie die folgende Tabelle 2 (S. 28) zeigt.

Bürokräfte und verwandte Berufe sowie Niedrigqualifizierte mit Hilfstätigkeiten sind demnach durch die besonders hohe Automatisierungswahrscheinlichkeit dem Risiko des Verschwindens ihrer Berufe in ihrer jetzigen Form ausgesetzt: Mehr als vier Fünftel von ihnen sind betroffen. Bei den Maschinen- und Anlagenfahrern beziehungsweise Montageberufen, den Dienstleistungs- und Verkaufsberufen, den Facharbeitern in Land- und Forstwirtschaft/Fischerei, aber auch im Handwerk beziehungsweise in handwerksnahen Be-

rufen sind es jeweils zwei Drittel. Bei technischen wie bei gleichrangigen nichttechnischen Berufen ist es gut die Hälfte, die sich einer hohen Automatisierungswahrscheinlichkeit ausgesetzt sieht. Weniger starken Einfluss hat Automatisierung aller Voraussicht nach bei akademischen Berufen sowie bei Führungskräften: Hier ist es jeweils gut ein Zehntel der Berufe, denen eine hohe Automatisierungswahrscheinlichkeit zugesprochen wird (vgl. Brzeski/Burk 2015).

Dass eine Automatisierung in den nächsten beiden Dekaden zu erwarten ist, konstatieren Bonin et al. (2015) in ähnlicher Weise wie Frey und Osborne, sie kommen aber im Hinblick auf die zu erwartenden Veränderungen auf dem Arbeitsmarkt bei den Tätigkeiten und Beschäftigungsprofilen zu deutlich anderen Ergebnissen. Sie warnen vor einer Überzeichnung der technologischen Potenziale in Richtung Automatisierung, betonen den mit ökonomisch und technologisch induzierten Transformationen einhergehenden Veränderungscharakter, der nicht zwingend zum Verschwinden der Tätigkeiten oder Berufe führt, und heben hervor, dass makroökonomische Anpassungsprozesse zu erwarten sind, die einer radikalen Automatisierung Grenzen setzen. Insbesondere die kaum abschätzbaren Faktorpreise und das veränderte Arbeitskräfteangebot lassen ihrem Dafürhalten nach seriöse Schätzungen zum Gesamtbeschäftigungseffekt kaum zu. In diesem Zusammenhang heben sie die Bedeutung von starken Lohnsteigerungen hervor, die von ihnen als Anreiz für verstärkte Automatisierung verstanden und daher als Treiber gesehen werden. Andererseits setzte sich Technologie in der Vergangenheit häufig erst dann durch, wenn hinreichend geschultes Fachpersonal in ausreichender Menge vorhanden war, das auch entsprechendes Entgelt erhielt.⁷ Graetz und Michaels (2015) verweisen in diesem Zusammenhang darauf, dass in verstärkt Roboter einsetzenden Wirtschaftssektoren bei stabiler Höhe der Arbeitsstunden Arbeitsproduktivität, Löhne und Wertschöpfung steigen; Technologie führe demnach nicht zur Dequalifizierung oder Verringerung von menschlicher Arbeit. Kompensation stelle sich im Hinblick auf die Gesamtbeschäftigung auch deshalb ein, weil mit zunehmendem Diffusionsprozess Technologiebereiche selbst vermehrt Arbeitsplätze bereitstellen würden, unter anderem durch *reshoring* outgesourcter Aufgaben (vgl. dazu Arntz et al. 2014). Ganz im Sinne neoklassischer Wirtschaftsperspektiven verweisen Letztgenannte darauf, dass sinkende oder wenig steigende Löhne die Nachfrage nach Arbeitskräften erhöhen könnte beziehungsweise Umverteilungen zugunsten Besserverdienender stattfinden könnten, die über Konsumeffekte ebenfalls die Nachfrage erhöhen könnten. Es seien eher keine

⁷ Dem liegt der Gedankengang zugrunde, dass Geringqualifizierte einer hohen Automatisierungswahrscheinlichkeit ausgesetzt sind und dies allenfalls über eine Absenkung des Preises für den Faktor Arbeit kompensieren können, mittlere Bildungs- und Einkommenslagen aber mindestens eine lohnökonomische Zurückhaltung an den Tag legen müssen, um Automatisierungswahrscheinlichkeiten zu minimieren. Ob das realistisch ist, sei dahingestellt.

Tabelle 2: Folgen der Automatisierung nach beruflichen Funktionsklassen

Funktionsklasse	Berufe pro Gruppe	Sozialversicherungs-pflichtig und geringfügig Beschäftigte	Gefährdete Arbeitsplätze	Wahrscheinlichkeit
Total ¹	1286	37.990.000		
Untersuchte Berufe	369	30.870.000	18.300.000	59%
Bürokräfte und verwandte Berufe	26	3.500.000	3.000.000	86%
Hilfsarbeitskräfte	20	3.800.000	3.260.000	85%
Anlagen- und Maschinenbediener, Montageberufe	28	4.640.000	3.210.000	69%
Dienstleistungs- und Verkaufsberufe	30	4.570.000	3.120.000	68%
Facharbeiter in Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei	11	78.000	50.000	64%
Handwerks- und verwandte Berufe	67	4.100.000	2.580.000	63%
Technische und gleichrangige nichttechnische Berufe	72	4.800.000	2.470.000	51%
Akademische Berufe	91	3.990.000	471.000	12%
Führungskräfte	24	1.380.000	157.000	11%

Quelle: ING, Frey und Osborne (2013), Bundesagentur für Arbeit.¹ Abweichungen durch Rundungen möglich.

Quelle: Brzeski/Burk 2015

negativen Effekte der neuen Technologie auf die Gesamtbeschäftigung zu erwarten (ebd.).

Aus dieser ökonomischen Perspektive heraus stellen flexiblere Beschäftigungsverhältnisse und flexible Arbeitsorganisation die angemessene Antwort auf den technologisch intensivierten globalen Konkurrenzdruck dar. Dies gilt insbesondere für Tätigkeiten, die ein hohes Substitutionspotenzial durch andere oder durch Maschinen kennzeichnet; weniger für Tätigkeiten in höher qualifizierten Bereichen.⁸ Eindeutige Verlierer in Bezug auf Arbeitsplatzsicherheit wie auf die Qualität der Arbeitsbedingungen sind Beschäftigte mit einfachen Tätigkeiten und niedriger Qualifikation, die von Automatisierung und Verlagerung bedroht sind. Wenn auch residual notwendig, schreiben Eichhorst und Buhlmann (2015) diesem Segment wenig Entwicklungspotenziale zu.

Im Hinblick auf Beschäftigte im mittleren Qualifikationsbereich sind ebenfalls Verlagerungs- und Automatisierungstendenzen zu erkennen, gegenwärtig bildet dieses Segment aber ein stabiles Zentrum des Arbeitsmarktes. Das System der beruflichen Ausbildung in Deutschland bringt Vorteile im Hinblick auf die Bearbeitung der zunehmend wichtiger werdenden analytischen, interaktiven und komplexen Aufgaben in innovativen Arbeitsumgebungen mit sich (vgl. Eichhorst/Buhlmann 2015). Zur Absicherung wird allerdings ein Aufstieg in Bereiche, die derzeit mit höher Qualifizierten ersetzt werden, unabdingbar sein; das heißt, Beschäftigte mittlerer Qualifikation müssen auf eine adäquate Weiterbildung achten (vgl. ebd.).

Insgesamt ist von einem erhöhten Bedarf an Fachkräften wie Mathematikern, Informatikern, Ingenieuren und Maschinenbauern auszugehen, die gleich-

sam komplementär zu den digitalen Technologien wirken (vgl. ebd.). Berufe mit sozial-kommunikativen, kreativen und feinmotorischen Anforderungen wie in den personenbezogenen Dienstleistungen (private Dienstleistungen, Gesundheits- und Pflegeberufe), des Sozialwesens, der Bildung und Forschung sowie der Unternehmensdienstleistungen sowie Unternehmensleitung und -beratung gewinnen an Bedeutung und werden verstärkt Arbeitskräfte nachfragen. Dieser Trend schreibt Beschäftigungsentwicklungen fort, die seit Anfang/Mitte der 1990er Jahre zu beobachten sind: Während die genannten Berufe (in deutlich unterschiedlicher Abstufung) als wachstumsstärkste Bereiche anzusehen sind, haben Textil- und Bekleidungsberufe, Keramik- und Glasberufe, die spanlose Metallverformung, Hochbauberufe, Landwirtschaft, Hilfstätigkeiten, Bergleute und Druckberufe deutliche Einbußen bei der Anzahl der Erwerbstätigen hinnehmen müssen, nicht zuletzt aufgrund der technologischen Entwicklung. Auch im Dienstleistungsbereich existieren derartige Effekte, etwa im Einzelhandel, der durch Onlineversand unter Druck gerät und zunehmend mittlere Qualifikationsstufen abbaut, während hoch qualifizierte Tätigkeiten, insbesondere in der Systemadministration, zunehmen (vgl. Eichhorst/Buhlmann 2015).

Im Hinblick auf die Entwicklungen des Arbeitsmarktes wird von Buhr (2015) das Verdrängungsszenario von Frey und Osborne (2013) zugunsten einer Polarisierungsthese zurückgewiesen, wie sie unter anderem

⁸ Werkverträge sind dort eher das Mittel der Wahl, flexible Beschäftigungsverhältnisse herzustellen. Da dies häufig zwischen Unternehmen vereinbart wird, sind direkte Effekte auf Beschäftigungsverhältnisse schwer zu greifen.

von David (2013) formuliert wird: Niedrig- wie Hochqualifizierte können gleichermaßen an Bedeutung gewinnen, wenn ihre Tätigkeit wenig automatisierbar beziehungsweise erfahrungs- und interaktionsbasiert ist. Zuwächse werden auch im Hinblick auf entbetriebliche digitale Clickworker und Freelancer vermutet (vgl. Buhr 2015).

In Bezug auf die Diffusion weist Hirsch-Kreinsen sowohl hinsichtlich der Reichweite wie der Geschwindigkeit auf die Paradoxien konkreter Anwendungsfälle hin und vermutet in der kostenträchtigen technologischen Komplexität und dem damit einhergehenden Aufwand eine hohe Hürde der Einführung. Auch Akzeptanzprobleme sind nicht zu unterschätzen, ebenso wenig wie Beharrungskräfte der betrieblichen Planungs- und Steuerungsbereiche. Damit werden neben dem prosperitären Logistikbereich technologieintensive Unternehmen mit hohem Rationalisierungs- und Innovationsdruck Vorreiter sein, zumal sie über die erforderlichen Personalressourcen verfügen. Unternehmen mit Großserienfertigung bei hohem technologischem Niveau dürften keine Attraktivität in der Industrie 4.0 erkennen, soweit diese bestehende Produktivitätsziele nicht toppen kann und damit bestehende Wettbewerbsvorteile infrage stellen würde. Auch technologieferne kleine und mittlere Unternehmen (KMU) werden aufgrund der ressourcenträchtigen Voraussetzungen eher zurückhaltend sein, so die Prognose Hirsch-Kreinsens. In toto: Ein rascher Wandel von Produktionsarbeit steht nicht an, in der Zukunft ist mit sich vertiefenden strukturellen Segmentationslinien zwischen Branchen entlang technologischer Automatisierung zu rechnen (vgl. Hirsch-Kreinsen 2014; 2015a; 2015b).

Pfeiffer und Suphan (2015) verweisen neben einer grundlegenden Kritik an den wenig differenzierten Tätigkeitszuschneidungen bei Frey und Osborne (2013) darauf, dass nicht technische Machbarkeit, sondern schlussendlich ökonomische Erwägungen dafür entscheidend sind, welche Technologie in Betrieben zum Einsatz kommt. Ein Ansatz wie der von Frey und Osborne überzeichnet technizistisch die Automatisierungswahrscheinlichkeit. Andererseits sind es weniger einzelbetriebliche Strategien, sondern Machtkonstellationen in Wertschöpfungssystemen und dort zu treffende sachliche Erwägungen, die technologische Konfigurationen beeinflussen. Die Fortschreibung bisheriger Verläufe des Einsatzes neuer Technologie ist im Grunde ebenso unstatthaft wie der starke Bezug auf Technikexperten, die tendenziell Chancen über- und Probleme unterschätzen. Hinzu kommt, dass die Arbeitenden bereits heute über Kompetenzen verfügen, die im Zuge der Diffusion neuer Produktionsmodelle als wichtig erachtet werden, etwa die Fähigkeit, Problemlösungen kreativ herbeizuführen (vgl. Pfeiffer/Suphan 2015).

Die Studie von Frey und Osborne hat eine Rezeptionsgeschichte erfahren, die als Aneignung einer für den politischen Prozess der Unterstützung einer Umsetzung der Industrie-4.0-Vision hilfreichen Drohkul-

isse beschrieben werden kann. Die Voraussetzungen und Schlussfolgerungen eigneten sich als Veranschaulichung der Dringlichkeit politischen und unternehmerischen Handelns und haben eine relativ breite gesellschaftliche Debatte in Gang gesetzt, die allerdings lange Zeit in Expertenzirkeln gefangen war. Erst in letzter Zeit öffnet sich der Diskurs und führt – nicht zuletzt in der vermehrten Kritik an dem Ansatz von Frey und Osborne, aber auch an den daraus zum Teil gezogenen Schlussfolgerungen – zu einer gesellschaftlichen Debatte, in der die arbeitspolitischen und gesellschaftlichen Folgen der digitalisierten Ökonomie stärker thematisiert werden. Darin eingeschlossen sind in aller Regel auch prognostische Überlegungen zu veränderten Geschäfts- und Produktionsmodellen sowie allgemein zum Arbeitsmarkt. Naturgemäß kreisen die Debattenstränge aber immer um jeweilige Fixpunkte, die entweder den technischen Wandel in seinen Auswirkungen auf die Arbeitsorganisation oder die Qualifikationsanforderungen adressieren. Dieser Gesamtkomplex wird im Folgenden anhand der zur Verfügung stehenden Literatur näher beleuchtet.

Technischer Wandel, Arbeitsorganisation und Qualifikationsanforderungen

Technischer Wandel als permanenter Prozess hat in der Vergangenheit eher gering und mittel qualifizierte Beschäftigte negativ betroffen, was zum Teil durch Zuwächse von Arbeitsplätzen im Bereich höherer Qualifikationen, aber auch durch neue Tätigkeiten mit niedrigen Qualifikationsanforderungen kompensiert wurde. Es sind in aller Regel Routinetätigkeiten in der Produktion, die bedroht sind, sofern sie automatisierbar sind. Mit Internet und Digitalisierung steigen zum einen die Produktionsmöglichkeiten, was Berufe, in denen bestimmte, hohe Qualifikationen gefragt sind, begünstigt, zum anderen verändert die Substitutionsmöglichkeit von Menschen durch Roboter das Kräfteverhältnis von Kapital und Arbeit, wodurch insbesondere Berufe mit niedrigen beziehungsweise mittleren Qualifikationsanforderungen betroffen sind (vgl. Eichhorst/Buhlmann 2015).

Gegen den Einsatz von Maschinen können Menschen vor allem ihre Flexibilität sowie den Preis ihrer Arbeitskraft zu Felde führen. Letzteres wird bei fallenden Preisen für Technologie schwieriger. Der aktuelle technische Strukturwandel wird auch in Dienstleistungstätigkeiten Einzug halten und damit in einem Bereich greifen, der bisher eine Art Auffangbecken für durch technische Rationalisierungsschritte nicht mehr benötigte Arbeitskräfte war. Zudem sind auf der Basis künstlicher Intelligenz prozessierende Computer vermehrt in der Lage, auch jenseits rein repetitiver Arbeitsschritte komplexere Aufgaben zu übernehmen; als Beispiele nennen Eichhorst und Buhlmann autonomes Fahren oder «kommunikationsfähige» Computer in Vermittlungs- und Beratungsdiensten. Damit ist ein höherer Druck auf die Arbeitsmärkte absehbar, der allerdings aufgrund der Langfristigkeit der Entscheidun-

gen im Investitionsgüterbereich kaum abrupt ausfallen wird (Eichhorst/Buhlmann 2015).

Das entscheidende Veränderungspotenzial der Industrie 4.0 sehen die Autoren allerdings bei industriellen Anwendungen und in der Logistik. Jenseits der unmittelbaren Arbeitsmarkteffekte vermuten Eichhorst und Buhlmann einen wachsenden Flexibilitätsbedarf und ein verstärktes Zusammenfallen von Entwicklungs- und Produktionsarbeit, was höhere Qualifikationsanforderungen an die Beschäftigten stellt (vgl. Eichhorst/Buhlmann 2015).

Eichhorst und Buhlmann identifizieren ein mit wachsender Aufgabenkomplexität einhergehendes Spannungsverhältnis zwischen Autonomie und flachen Hierarchien einerseits und einer der Steuerungslogik von Unternehmen folgenden industriellen Fertigung inklusive Controllingverfahren andererseits. Sie präferieren eine Art Mittelweg mit flexiblen Arbeitsformen und einer zielgerichteten Koordination bei Abwesenheit rigider Kontrollformen. Diesbezüglich bilanzieren sie für Deutschland ein Defizit an zukunftsfähigen Arbeitsmodellen (vgl. Eichhorst/Buhlmann 2015).

Bei aller technikinduzierten Umgestaltung bleibt auch zukünftig der Mensch entscheidender Produktionsfaktor in der *smart factory*. Innovationshandeln sollte sich nicht allein auf technische Herausforderungen konzentrieren, sondern auf eine «intelligente Organisation der Arbeit» zielen. Potenziale der Mitarbeiter spielen eine zentrale Rolle im Einsatz cybertechnischer Systeme, auch wenn sich die Interaktionen zwischen Mensch und Technologiesystem verändern werden. Planende, steuernde und dispositive wie ausführende Arbeiten werden weiterhin von Menschen geleistet, allerdings ändern sich Arbeitsinhalte, -aufgaben und -prozesse sowie Umweltbedingungen. Das geht einher mit veränderten fachlichen, räumlichen und zeitlichen Anforderungen. Die «Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0» (Kagermann et al. 2013) verweisen sowohl auf intelligente Organisation der Arbeit als auch – angesichts offener virtueller Arbeitsplattformen und komplexer Interaktionen zwischen Mensch-Maschine beziehungsweise Mensch-System – auf die wachsende Bedeutung der entsprechenden Fähigkeiten der Mitarbeiter. Anvisiert werden damit Ganzheitliche Produktionssysteme (GPS), um Reibungsverluste und Ineffizienzen gering zu halten. Das erfordert eine ständige Rejustierung entlang evaluativer Erkenntnisse der bestehenden Systeme. Bestehende Ganzheitliche Produktionssysteme werden durch cybertechnische Instrumente wie Assistenzsysteme ergänzt, die Mitarbeitern kontextsensitive Informationen, etwa aktuelle Leistungsdaten, zur Verfügung stellen, um Optimierungen vornehmen zu können.

Technische Innovation im Sinne cybertechnischer Vernetzung schafft die Voraussetzungen für den Erhalt beziehungsweise die Weiterentwicklung körperlicher wie geistiger Leistungsfähigkeit. Aus Arbeitgebersicht ermöglichen Assistenzsysteme, die Arbeit in

cybertechnischen Systemen demografiesensibel und belastungsmindernd zu gestalten (vgl. Becker 2015): Monotone und belastende Tätigkeiten könne die Technik übernehmen. Geistig wie körperlich belastende Tätigkeiten würden weniger, ohne dass einfache Tätigkeiten völlig verschwinden würden. Gleichsam als Versprechen wird eine verbesserte körperliche wie geistige Leistungsfähigkeit in Aussicht gestellt – insbesondere infolge des notwendig werdenden lebenslangen Lernens angesichts sich permanent ändernder soziotechnischer Systeme der Zukunft. Gestaltbare Arbeitsumgebungen kommen alter(n)sspezifischen Fähigkeiten entgegen und können je nach betrieblichen Bedingungen leistungserhaltend wirken. Das steht und fällt mit betrieblich konzipierten und verwirklichten Prinzipien der Arbeitsorganisation und -gestaltung in der Industrie 4.0, die allgemein anerkannten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen folgen sollten: Als Credo gilt, dass erst eine wettbewerbsfähige Arbeit eine flexible Arbeitsorganisation zulässt, die es Mitarbeitern erlaubt, Beruf und Privatleben sowie Weiterbildung besser miteinander abzustimmen und so eine Balance zwischen Arbeit und Familie zu verwirklichen (vgl. Becker 2015). Wettbewerbsfähige Arbeit ist demnach nicht allein Ergebnis der technischen und organisatorischen Potenziale der Industrie 4.0, sondern deren effizienter, produktivitätssteigernder und kostengünstiger Anwendung. Letztlich sind es «betriebliche, demografische, marktbezogene, wirtschaftliche sowie technologie- und konstruktivproduktbezogene Erfordernisse», die die reale Gestaltung einer *smart factory* mit cybertechnischen Systemen beeinflussen (vgl. Becker 2015).

Wenn leistungserhaltende beziehungsweise -steigernde Effekte der Arbeitsorganisation qua Industrie 4.0 genannt werden, dann geht es aus Arbeitgeber-sicht neben dem Abbau belastender Tätigkeiten zentral um Bildungsinhalte und -formate. Unter Beachtung gesetzlicher Bestimmungen oder sozialpartnerschaftlich vereinbarter Arbeitsorganisation und -gestaltung, die zum Beispiel durch Befreiung von monotonen Tätigkeiten, erhöhter Interaktion und Kooperationen einschließlich technischer Systeme realisiert werden sollen, sind es vor allem betrieblich organisierte individuelle Anstrengungen, die eine erfolgreiche Einbettung in die Industrie 4.0 erleichtern. Gefordert ist insbesondere die Bereitschaft zum lebenslangen Lernen. Analog zur primär verhaltensorientierten Politik in der Frage nach dem Erhalt der Gesundheit von Beschäftigten ist die Frage nach der Bewältigung erhöhter Komplexitäts-, Abstraktions- und Problemlösungsanforderungen sowie Anforderungen nach selbstgesteuertem Handeln, kommunikativen Kompetenzen und Fähigkeiten zu Selbstorganisation (vgl. Kagermann et al. 2013) neben betrieblichen Schulungen, Unterrichtungen oder Einweisungen insbesondere durch selbstorganisierte Qualifizierungsformen zu beantworten (vgl. Becker 2015). Dies wirkt auf Qualifizierungsformen in den Betrieben zurück.

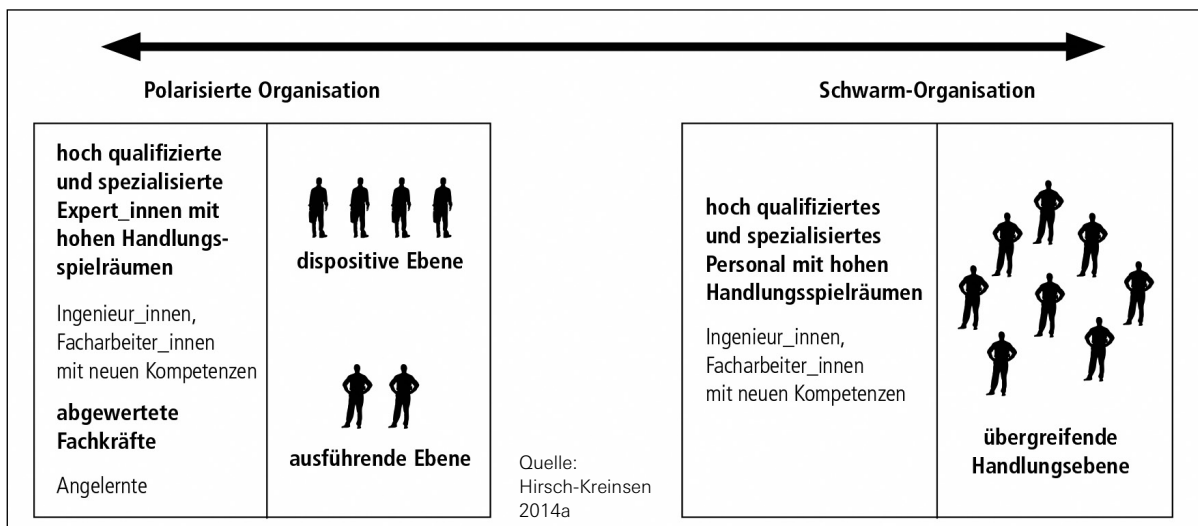
Auch Gewerkschaften gehen von einer neuen Phase der industriellen Entwicklung aus, mit der weitere und neue Rationalisierungsschritte und neu gestaltete inner- und überbetriebliche Produktionsprozesse einhergehen. Für die IG-Metall stellt das einen Betrieb neuen Typs dar, der nach für Wertschöpfungsketten gültigen Tarifverträgen verlangt (vgl. Wetzel 2013). Bezug genommen wird dabei gelegentlich auf Erfahrungen, die mit der Einführung von Gruppenarbeit, etwa in der Metallbranche, gemacht wurden; sie werden als alternativer Rationalisierungsweg verstanden, der an Kompetenzen und Erfahrungen der Arbeitenden ansetzt (vgl. Hartmann 2009). Kurz sieht die Möglichkeit eines arbeitspolitisch regressiven Wegs des digitalisierten Taylorismus, auch wenn dieser angesichts der notwendigen menschlichen Eingriffe in smarte Systeme letztlich dysfunktional ist (vgl. Kurz 2013). Innovative Konzepte der Arbeitsorganisation müssten dementsprechend lernförderlich und im Sinne arbeitsplatznaher Qualifizierung angelegt sein und entlang der Wertschöpfungskette breite Aufgabeninhalte und große Handlungsspielräume bereitstellen sowie Kooperation, Interaktion und Kommunikation zwischen Beschäftigten wie zwischen diesen und den Systemen herstellen (vgl. ebd.). In diesem Zusammenhang wird die Forderung nach Funktions- und Abteilungsgrenzen überwindenden Lern- und Arbeitsprozessen erhoben. Bochum bilanziert, dass es sich bei den Konzepten innovativer Arbeitspolitik um eine Fortsetzung der Debatten der 1980er Jahre um sogenannte Neue Produktionskonzepte handelt, die erweiterte und auf Selbstständigkeit ausgelegte Gestaltungsspielräume betonen, die durch leistungspolitische Rahmenbedingungen flankiert werden und stärkere Beteiligungsrechte einfordern (vgl. Bochum 2015). Kärcher (2015) verweist auf veränderte, aber nicht in jedem Falle vermehrte Anforderungen an Beschäftigte, die sich in ihrer Qualifikation dem technischen System anzupassen hätten. Bochum (2015) kritisiert daran, dass dies eher auf eine technik-

zentrierte Arbeitsgestaltung hinausläuft, die die Subsumtion unter das System impliziert.

Im Hinblick auf arbeitsorganisatorische Entwicklungen unterscheidet Hirsch-Kreinsen in Bezug auf die Industrie 4.0 technologiezentrierte Automatisierungskonzepte, in denen menschliches Handeln nur kompensatorischen Charakter hat, sodass Arbeit zur Residualfunktion verkümmert, von eher komplementär angelegten Automatisierungskonzepten, die eine Arbeits- und Aufgabenteilung zwischen Mensch und Maschine konzeptionell stärken und die auf einer ganzheitlichen, kollaborativen Perspektive auf Arbeit als Mensch-Maschine-Interaktion mit jeweiligen Vor- und Nachteilen fußen (vgl. Hirsch-Kreinsen 2014). Aus dieser Perspektive auf soziotechnische Systeme heraus (vgl. dazu Rammert/Schulz-Schaeffer 2002) wird erwartet, dass sie durch Teillösungen Eingang in die Betriebswelten finden, um so Einführungsprobleme zu minimieren. Der Einsatz auf der Produktions- und Arbeitsebene wirkt sich dann negativ aus, wenn technologiezentrierte Systeme zur Dequalifizierung und Teilsubstituierung von Arbeitskräften führt; positive Effekte sind dann zu erwarten, wenn damit Tätigkeitsanreicherungen einhergehen. Hirsch-Kreinsen bilanziert vorliegende Studien dahingehend, dass Planungs- und Managementbereiche von der Industrie 4.0 selten direkt berührt sein werden, es allerdings auf der operativen Ebene zu Verlagerungen «nach unten» kommen könnte und zugleich erweiterte Planungsaufgaben Einzug halten könnten. Zudem entstehen dem oberen Management durch die Informationstechnik neue Möglichkeiten zur Echtzeitkontrolle auch des mittleren Managements. Damit ist langfristig von nachhaltigen Effekten für alle Beschäftigtengruppen, sowohl der Ausführenden wie der Leitungsebene, auszugehen (vgl. Hirsch-Kreinsen 2014; 2015).

Erwartet werden insbesondere auf der operativen Ebene divergierende Muster der Organisation von Arbeit (siehe Abb. 4).

Abbildung 4: Polarisierte Organisation versus Schwarm-Organisation



Das Modell einer polarisierten Organisation beinhaltet eine geringe Anzahl standardisierter Überwachungsaufgaben ohne großen Handlungsspielraum bei (virtueller) Gegenwart hoch qualifizierter Experten über Facharbeiterniveau, die Entstörung und Produktionsmanagement leisten. Dezentralisierung und Aufgabenerweiterung gehen hier mit Strukturierung und Standardisierung einher und betreffen die unterschiedlichen Beschäftigtengruppen unterschiedlich – ein längst eingespieltes Modell ohne große Innovationsrisiken. Dagegen stellt Hirsch-Kreinsen das auf kollektive Handlungsorientierung setzende Modell der «Schwarm-Organisation»: Hoch qualifizierte und vernetzte Beschäftigte prozessieren in transparenter und flexibler Weise der Arbeitsaufgabe angemessene Handlungen, die unter anderem ein hohes Reaktionsvermögen bei Störfällen garantieren. Einfache Tätigkeiten sind durch Automatisierung substituiert, Arbeitskollektive handeln selbstorganisiert im und am technischen System. Der Handlungsrahmen wird durch die Leitungsebene definiert und ist in überbetriebliche Strukturen entlang der Wertschöpfungskette eingebunden. Letztlich werden in informellen Ebenen der Kooperation extrafunktionale Kompetenzen der oberhalb des Facharbeiterniveaus qualifizierten Beschäftigten inner- wie überbetrieblich aktiviert (vgl. Hirsch-Kreinsen 2014; 2015).

Welcher Weg eingeschlagen wird, ist nach Hirsch-Kreinsen offen, wahrscheinlich werden sich Mischformen durchsetzen, dann allerdings bei einer durch informationstechnisch unterlegte Prozesse weitgehend entgrenzten Arbeitsorganisation. Die konkrete Entscheidung für die faktische Ausgestaltung ist eher von den Erfordernissen des tatsächlichen Einführungsprozesses denn von vorab bestimmbar Prinzipien abhängig. Im Einzelnen sind inkrementelle Implementierungsprozesse zu erwarten, die von Insellösungen ausgehend erst im Zeitverlauf bestehende Strukturen ersetzen. Weil das mittlere technische Management dabei eine zentrale Rolle spielt, allerdings häufig in technikzentrierten Vorstellungen gefangen bleibt, ist die systematische Einbeziehung auch anderer Akteure im Einführungsprozess unerlässlich, unter anderem zur Abmilderung von Akzeptanzproblemen (vgl. Hirsch-Kreinsen 2014; 2015).

Die deutsche Industrie ist durch eine diversifizierte Qualitätsproduktion gekennzeichnet, die Konsum- wie Investitionsgüter gleichermaßen exzellent herstellen kann. Im Bereich hochwertiger Konsumgüter, dem Maschinen- und Anlagenbau sowie in der Chemieindustrie werden große Industrie-4.0-Potenziale gesehen, die enorme Wachstumspotenziale freisetzen können. Den guten Aussichten stellt Möller die Arbeitswelt 4.0 gegenüber und beschreibt als eine Seite der Medaille die Vision globaler humanerer Arbeitsbedingungen und die Chance auf verbesserte Inklusion von Arbeitskräften mit Behinderungen. Auf der anderen Seite stehen volatilere Arbeitsmärkte und eine verstärkte Verunsicherung und Unsicherheit des Einzelnen. Manche Be-

rufe und Qualifikationen werden verschwinden, manche Region oder Branche wird abgehängt. Es besteht daher die Möglichkeit einer Industrie-4.0-induzierten, technisch bedingten Freisetzung von Arbeitskräften und folgender Unterbeschäftigung (vgl. Möller 2015).

Möller zufolge müssen die Folgen der Entwicklung als ambivalent beschrieben werden. Auf der einen Seite stehen humanere Arbeitsbedingungen durch mögliche Erleichterungen und den Abbau von körperlich wie psychisch belastenden Tätigkeiten, auf der anderen Seite stehen die negativen Folgen durch anonyme Mensch-Maschine-Interaktion, entgrenzte Arbeitszeit, Freizeit, Überwachungspotenziale und Leistungskontrolle sowie verkürzte Produktionszyklen (Möller 2015).

Wie bei vergangenen Technisierungsschritten gehören Arbeitskräfte mit einfachen Qualifikationen im globalen Maßstab zu den Verlierern der Entwicklung; dies wird sich sowohl hinsichtlich des Beschäftigtenanteils als auch bei der Bezahlung bereits im anlaufenden Technisierungswandel bemerkbar machen; die Lohnschere wird sich weiter öffnen, die Arbeitslosigkeit unter Geringqualifizierten weiter steigen. Dazu wird sich eine Trendwende bei den kognitiven Tätigkeiten beziehungsweise bei den Hochqualifizierten gesellen, die bisher Gewinner der Entwicklung waren: Möller verweist auf die USA, in denen die Nachfrage nach solchen Berufsgruppen jahrzehntelang angewachsen ist, aktuell aber sinkt, was zu einem Verdrängungswettbewerb mit weniger gut ausgebildeten Arbeitskräften führt. Das hat Probleme am unteren Ende der Qualifikationsstufen zur Folge, diese Gruppe wird aus dem Arbeitsmarkt gedrängt. Für Deutschland ist diese Entwicklung noch nicht absehbar, allerdings werden auch hier zunehmend und quantitativ relevant in allen Berufsgruppen Positionen mit besser ausgebildeten Arbeitskräften besetzt und entsprechende Effekte sind bei der Bezahlung zu beobachten (vgl. Möller 2015).

Studien im Umfeld des Task-Ansatzes, der Tätigkeiten danach klassifiziert, wie manuell oder kognitiv beziehungsweise wie repetitiv oder interaktiv sie sind, zeigen, dass es in den USA zu einer U-förmigen Gewinn- und Verlustentwicklung und damit zu einer Polarisierung des Arbeitsmarktes gekommen ist: Bei hohem Rationalisierungsdruck auf Routinetätigkeiten bleiben manuell-interaktive Tätigkeiten für Geringqualifizierte sowie kognitiv-interaktive und kreative Tätigkeiten für Hochqualifizierte bestehen, während die traditionell mit kognitiven Routineaufgaben betraute Mittelschicht bedroht ist. Dies wird verschiedentlich der Computerisierung (vgl. Autor 2013) beziehungsweise der Globalisierung angelastet, wobei neuere Studien davon ausgehen, dass auch bei höherqualifizierten Tätigkeiten durch Auslagerung gefährdet sind – die sogenannte *offshorability*, also die Möglichkeit, Aufgaben an externe Dienstleister zu vergeben, wäre dafür ein berufsgruppenbezogenes Indiz. Im Rückgriff auf Frey und Osborne (2013) konstatiert Möller, dass die Technisierung vermehrt zu beobachten und maschinelles Lernen wie mobile Robotik auf dem Vormarsch

ist; das hat wiederum Auswirkungen auf die Substituierbarkeit entsprechender Berufe. Am wenigsten gefährdet sind die Tätigkeiten, die komplexe Formen der Wahrnehmung, Handhabung und Bearbeitung erfordern oder auf sozialer beziehungsweise kreativer Kompetenz beruhen (vgl. Möller 2015).

In der Übertragung des Ansatzes von Frey und Osborne auf Deutschland gelangen Bonin et al. (2015) zu ähnlich dramatischen Ergebnissen: In von Automatisierung innerhalb der nächsten beiden Dekaden tangierten Berufen arbeiten 42 Prozent aller Beschäftigten in Deutschland. Damit ist die Gruppe nur etwas kleiner als die in den USA. Bonin et al. lehnen die Kategorisierung nach Berufen, die Frey und Osborne vornehmen, allerdings als verzerrend ab und plädieren für eine Einteilung nach Tätigkeitsbereichen, weil sich Berufe durch eine ganze Bandbreite von Tätigkeiten auszeichnen, die in unterschiedlichem Maße automatisierbar sind. Im Hinblick auf Automatisierungswahrscheinlichkeiten halten Bonin et al. fest, dass sich Tätigkeitsstrukturen nicht nur zwischen Berufen, sondern auch innerhalb der Berufe zum Teil deutlich unterscheiden (Bonin et al. 2015).

Die Autoren bieten vor diesem Hintergrund eine eigene Reanalyse des Ansatzes von Frey und Osborne an, in der sie die Berufsstrukturen in Deutschland und den USA vergleichen, diese aber durch eine Tätigkeitsanalyse (nach Komplexität, Analytik, Kreativität oder sozialer Kompetenz) ergänzen.⁹ Dabei kommen sie zu dem Ergebnis, dass 12 Prozent der Arbeitsplätze in Deutschland ein hohes Automatisierungsrisiko (Wahrscheinlichkeit größer als 70 Prozent) besitzen, während der Anteil in den USA mit 9 Prozent beziffert wird. Insgesamt liegt die Automatisierungswahrscheinlichkeit, die nach Tätigkeit bestimmt wird, in beiden Ländern deutlich unter derjenigen nach Berufen. Unterschiede erklären sich dadurch, dass in den USA Tätigkeiten verbreiteter sind, die das Unterrichten von Personen, Präsentationsaufgaben, Planungsarbeit für andere oder Lesezeit beinhalten und deshalb schwerer automatisierbar sind. Dabei konstatieren Bonin et al. (2015), dass hinsichtlich der Risikostruktur Unterschiede nach Bildungsniveau und Einkommenshöhe bestehen: Beschäftigte mit Elementar- oder Primarausbildung weisen in Deutschland ein Automatisierungsrisiko von 80 Prozent auf, für Promovierte beträgt es lediglich 18 Prozent. Automatisierungswahrscheinlichkeiten sinken mit zunehmendem Bildungsgrad – das gilt für Deutschland wie für die USA. Diese Verteilung korreliert offensichtlich mit der Einkommenssituation: Nach Dezilen unterschieden haben die Berufe, in denen die unteren 10 Prozent der Einkommensbezieher arbeiten, eine Automatisierungswahrscheinlichkeit von 61 Prozent, im oberen Dezil beträgt sie nur mehr 20 Prozent. Für die USA wie für Deutschland gilt: Mit steigendem Einkommensniveau sinkt die Automatisierungswahrscheinlichkeit (vgl. Bonin et al. 2015).

Individualisierte Käuferinteressen, volatile Märkte, die globale Konkurrenz, Ressourcenknappheit, öko-

logische Aspekte und Kostendruck sind aus der Sicht der Porsche-eigenen Unternehmensberatung MHP die wesentlichen Treiber der Industrie 4.0. Ihrer Einschätzung nach haben sich die Märkte von Verkäufer- zu Käufermärkten transformiert, in denen Käufer eine höhere Verhandlungsmacht besitzen. Variable beziehungsweise modulare Fertigung als «Mass Customization» wird als nicht hinreichend angesehen, um individualisierte Kundenwünsche zu befriedigen, vielmehr geht es um eine personalisierte Produktion, die im Automobilbau bereits Anwendung findet. Solchermaßen volatile Märkte sind von verkürzten Produktlebenszyklen gekennzeichnet, denen kurze Entwicklungszeiten – gegebenenfalls unter Einbeziehung des Kundenwunschs selbst – gegenüberstehen. Globale Wertschöpfungsnetzwerke bedürfen einer betriebsübergreifenden Kommunikation, mittels der Produktion, aber auch Entwicklung kollaborativ vorangetrieben werden kann, im Automobilbau etwa unter Inklusion der immer bedeutsamer werdenden Softwareentwicklung (vgl. Kelkar/Hegar 2014).

MHP verbindet mit dem Konzept Industrie 4.0 zwei produktionsbezogene Innovationen: Zum einen bestimmt das intelligente Produkt (respektive die ihm im digitalen Produktgedächtnis eingeschriebenen Parameter) den Arbeitsablauf, nicht länger die Fertigungsanlage oder das Enterprise-Resource-Planning (ERP). Zum Zweiten erfolgt Produktion nunmehr dezentral und (teil-)autonom, sodass hierarchische Planungssysteme obsolet und durch dezentral organisierte Produktionsmittel, die sich untereinander abstimmen und zu Rekonfiguration fähig sind, abgelöst werden. Die *smart factory* als intelligente Fabrik ist zentraler Baustein der Industrie 4.0, sie ist aber ohne smarte Produkte, *smart grids*, *smart mobility*, *smart logistic* und *smart buildings* gar nicht zu denken. In der *smart factory* muss eine hohe Kapazitätsflexibilität gewährleistet werden – technologisch wie arbeitsorganisatorisch und insbesondere durch die Beschäftigten. Menschliche Flexibilität soll proaktiv und systematisch genutzt werden, vice versa müssen Unternehmen die Flexibilitätswünsche ihrer Mitarbeiter berücksichtigen, um in der zunehmenden Konkurrenz um qualifizierte Mitarbeiter Vorteile generieren zu können. Dabei sind generationentypische Muster zu erkennen und zu garantieren. MHP listet einen Katalog teils gesetzlich fixierter, teils freier Angebote auf: vom Betriebskindergarten und Elternzeiten über Sabbaticals, Vertrauensarbeit, Homeoffices zur Mobilisierung der Arbeit und Pflegeeinrichtungen. Flexibilität wird als mögliche Win-win-Situation konzipiert (vgl. Kelkar/Hegar 2014).

Im Anschluss an Spath et al. (2013) konstatiert MHP andauernde Kapazitätsschwankungen, die mit einem

⁹ Diese Klassifizierung basiert unter anderem auf einer eigenen Analyse der analytischen beziehungsweise interaktiven Tätigkeiten in unterschiedlichen Berufen auf der Basis der OECD-Erhebung PIAAC (Programme for the International Assessment of Adult Competencies). Für weitere und eingehendere methodische Hinweise, etwa hinsichtlich der Übertragbarkeit differenter Berufsklassifikationen, siehe die genannte Studie von Bonin et al. (2015).

flexiblen Personaleinsatz beantwortet werden müssten. Fast 90 Prozent der befragten Unternehmen erwarten zunehmende Schwankungen und setzen damit auf flexible Personaleinsatzplanungen (vgl. Kelkar/Hegar 2014).

72 Prozent der befragten Führungskräfte des Automobilbaus, der Fertigungsindustrie und des Maschinen- und Anlagenbaus sehen auf Produktionsmitarbeiter zunehmend wertschöpfende und kreative Tätigkeiten zukommen, 91 Prozent vermuten eine steigende Eigenverantwortung und Selbstorganisation für diese Beschäftigten. Alle Befragten gehen von steigenden Qualifikationsanforderungen aus. 87 Prozent geben an, dass Hochschulen Studiengänge anbieten sollten, die Ingenieurwesen und IT-Wissenschaften integrieren (vgl. Kelkar/Hegar 2014).

Im Hinblick auf die gesteigerte Flexibilität muss das Konzept Industrie 4.0 aus Sicht der strategischen wie operativen Führungsebenen sowohl auf bestehende Fabrikstrukturen aufsetzen als auch an bestehenden Ressourcen ansetzen und hier besondere Integrationsfähigkeit beweisen. Flexibel auf Marktveränderungen reagieren zu können bedeutet für die überwiegende Anzahl der befragten Unternehmen, Vorlaufzeiten in der Produktion wie im Produktentstehungsprozess zukünftig noch stärker reduzieren zu müssen (vgl. Kelkar/Hegar 2014).

61 Prozent der befragten Unternehmen in der Automobilbranche, im Maschinen- und Anlagebau und der Fertigungsindustrie nutzen bereits Automatisierungslösungen, zu einem Drittel werden Fernwartungskonzepte eingesetzt, ein weiteres Viertel befindet sich in einem teilweise sehr frühen, teilweise noch nicht umsetzungsreifen Planungsstadium (vgl. MHP 2014). Laut MHP-Studie weisen gleichzeitig 26 Prozent der befragten Führungskräfte der manuellen Produktion eine wichtige Rolle in ihrem Produktionszusammenhang zu, 48 Prozent nutzen hybride Systeme unter Einschluss automatisierter Abläufe und bei wiederum 26 Prozent ist die Produktion weitgehend automatisiert. Zukünftig erwarten 11 Prozent der Befragten eine völlig automatisierte, weitere 41 Prozent eine weitgehend automatisierte Produktion; immerhin 19 Prozent gehen davon aus, dass ihre Produktion auch zukünftig eher von manueller Arbeit gekennzeichnet sein wird. Nur 4 Prozent planen konkret den Einsatz von cyberphysischen Systemen, weitere 44 bis 48 Prozent halten den baldigen Einsatz für denkbar. Die Hälfte der Befragten gab an, dass die technischen Systeme Ereignisse bereits heute autonom erkennen, zumal es sich im überwiegenden Teil um wiederkehrende Fälle handelt. Im Hinblick auf Fragen der Betriebssicherheit bestehen bei zwei Drittel der Befragten keine Befürchtungen gegenüber dem Einsatz autonomer Roboter (vgl. Kelkar/Hegar 2014).

Augmented-Reality-Lösungen, also eine zum Beispiel durch Datenbrillen virtuell erweiterte Realität, fristen noch ein Nischendasein. Trotz der zum Teil geringen Anwendungen sieht die MHP-Studie den

Weg Richtung Industrie 4.0 bereits beschritten und in nächster Zukunft weiter vorangetrieben. Vorstufen von cyberphysischen Systemen sind aktuell in vielen Unternehmen vorhanden oder werden von diesen konzeptuell geplant. Allerdings sind Rapid-Prototyping-Technologien wie 3-D-Drucker kaum verbreitet, ebenso Big-Data-Konfigurationen und Predictive-Methods (vgl. MHP 2014). Die angekündigte schnellere Reaktion auf Kundenbedürfnisse wird demnach noch auf sich warten lassen. Erwartet wird ein Bedeutungszuwachs von Simulationsszenarien und eine verstärkte Integration von kundenseitigen Informationen, allerdings scheinen die entsprechenden Pfade in Social-Media-Plattformen nur moderaten Einfluss auf Produktentstehungsprozesse zu haben, so sind etwa Sentiment-Analysen in Marketingabteilungen nur wenig verbreitet (vgl. Kelkar/Hegar 2014).

Bezüglich der Bedeutung für die Logistik konstatiert die MHP-Studie (2014), dass industrie-4.0-relevante Technologien und Prozesse bislang nur in geringem Umfang eingesetzt werden, die Befragten erwarten jedoch eine intensivere Nutzung. Zwar können die meisten Ereignisse in der Logistik technologisch erkannt werden, ungeplante Ereignisse sind jedoch nicht immer mit typischen Lösungen zu bewältigen. Auch Echtzeitinformationen werden als ausbaufähiger Aspekt genannt. Insgesamt wird ein hohes Automatisierungspotenzial gesehen, das allerdings auf Produktionsänderungen reagieren können sollte, in Echtzeit abläuft und insbesondere Informationsflüsse und Prozesssteuerung automatisiert prozessiert, während dies bei der Warenkontrolle als weniger bedeutsam angesehen wird (vgl. Kelkar/Hegar 2014).

Mittels einer Expertenbefragung bei Wirtschaftsvertretern, Verbänden und Wissenschaftlern stellte das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO fest, dass trotz deutlicher Tendenzen einer technisch wie ökonomisch machbaren Automatisierung auch kleinerer Serien menschliche Arbeit auch in Zukunft ein wichtiger Bestandteil der Produktionsarbeit sein wird (vgl. Spath et al. 2013). Beiden Komponenten, Technologie wie Arbeitskraft, wird jedoch vermehrt eine erhöhte Flexibilität abverlangt, die in ihrem Reaktionsvermögen auf immer kurzfristige Lösungen setzen muss. Dabei sind zielgerechte und systematische Formen der Flexibilisierung von Arbeit notwendig, die bisherige Pauschallösungen in ihren Wirkungen, aber auch in ihren Folgen für Mitarbeiter wesentlich übertreffen. Die bisherige weitgehende Abgrenzung von Produktions- und Wissensarbeit wird durchlässiger und Produktionsarbeiter sind zunehmend angehalten, Aufgaben der Produktentwicklung mit zu übernehmen (vgl. Spath et al. 2013).

Industrie 4.0 wird als komplementäre Einheit von Objekten und Menschen gedacht, die intelligente Datenaufnahme, -verarbeitung, -speicherung und -verteilung durch dezentrale Steuerungsmechanismen organisiert. Vollständige Autonomie dezentraler autonomer Objekte ist mittelfristig nicht erreichbar, Sicherheitsaspekte

bei der konkreten Ausgestaltung und Umsetzung von Produktionsanlagen im Sinne einer Industrie 4.0 stellen ein substanzielles Thema dar (Spath et al. 2013).

Die Bedeutung schneller Reaktion auf Kundenanforderungen ist völlig unstrittig (99 Prozent aller Befragten stimmen zu) – mit der Folge notwendig flexiblerer Produktion. Dabei bleibt menschliche Arbeit ein Schlüsselfaktor für die Produktivität, insbesondere als Erfahrungs- und Entscheidungsträger. Es scheint zu einer Verringerung direkter Produktionstätigkeiten und zu einem Anstieg indirekter Steuerungs-, Planungs- und Kontrolltätigkeiten zu kommen (Spath et al. 2013).

In Bezug auf die Zukunft der Produktionsarbeit stellen Spath et al. (2013) fest, dass Unternehmen trotz volatiler Markterfordernisse eine hohe Lieferfähigkeit bei kurzen Lieferzeiten garantieren müssen. Flexible Produktionsarbeit erfordert auch unter Bedingungen einer Industrie 4.0 damit stärker als bisher eine ausgebaut Kapazitätsflexibilität, die insbesondere in vornehmlich durch manuelle Tätigkeiten dominierten Produktionszusammenhängen nur durch die Flexibilität der Mitarbeiter zu erreichen ist. Überwiegend erwarten die Unternehmen bereits innerhalb von fünf Jahren stärkere Schwankungen im Kapazitätsbedarf, die zudem kürzeren Zyklen unterliegen und sich auch innerhalb eines Tages verändern können. Die heute gebräuchlichen Flexibilisierungsinstrumente wie Leiharbeit oder Werkverträge werden diesen Bedarf aus der Sicht der Führungspersonen allein nicht befriedigen können. Das berührt vor allem Arbeitszeiten, die flexibler zu organisieren sind (vgl. Spath et al. 2013).

Die Integration von Produktions- und Wissensarbeit wird sich unter den Bedingungen einer Industrie 4.0 intensivieren, weil zum einen der Druck auf Produktlebenszyklen steigt und damit auf die Produktion neuer Produkte. Zum anderen wird sich diese Durchdringung auch im Tagesrhythmus bemerkbar machen: Kurze Entwicklungszeiten wie sich verkürzende Anlaufprozesse im Übergang von der Entwicklung zur Produktion werden durch Simulationen optimiert, was die Früherkennung von Problemen begünstigt, aber auch erhöhten Abstimmungsbedarf und intensivierten Erfahrungsaustausch generiert (vgl. Spath et al. 2013). Letztlich geht es um eine substanzielle Beschleunigung der Umsetzung variabler Produktionsprozesse.

Das bedingt veränderte Qualifikationen, die bereits in der Ausbildung vermittelt werden sollten; ähnlich dem Aufbau des Ausbildungsberufs Mechatroniker ist auch für Produktionsmitarbeiter von einer Verschmelzung von produktionstechnischen und informationstechnischen Wissensbestandteilen auszugehen (vgl. Spath et al. 2013). Zertifizierte Weiterbildungen müssen ausgebaut und verstärkt «on the job» angeboten werden, wobei die Potenziale der Informationstechnik zu nutzen sind. Als hoch bedeutsam wird ein verbessertes konzeptionelles Verständnis des Zusammenhangs von vernetzter Produktions- und Informationstechnologie und entsprechend integrierten Prozessen eingeschätzt (vgl. Spath et al. 2013).

Im Durchschnitt wird höherwertige Arbeit erwartet, ohne dass Tätigkeiten ohne hohe Qualifikationsbasis verschwinden werden. Dezentrale Steuerung soll eine menschengerechte Produktionstaktung ermöglichen (vgl. Spath et al. 2013).

Im Hinblick auf den demografischen Wandel und eine verlängerte Lebensarbeitszeit wird im Konzept Industrie 4.0 ein Weg gesehen, mittels vermehrt eingesetzter physischer und kognitiver Assistenzsysteme Gesundheitsbelastungen zu reduzieren und Arbeits- und Beschäftigungsfähigkeit zu erhalten (vgl. Spath et al. 2013).

In Erwartung sich verändernder Arbeitsabläufe und Arbeitsanforderungen infolge der Digitalisierung konstatiert die D21-Studie, dass die digitale Kompetenz von Berufstätigen über dem Durchschnitt der übrigen Wohnbevölkerung liegt (was aufgrund der dazugehörigen Altersgruppen nicht verwunderlich ist) (D21 2015). Dieser indizierte Wert (aus den Komponenten Zugang, Nutzungsvielfalt, Kompetenz und Offenheit gebildet) ist im Vergleich zur vorjährigen Studie noch geringfügig angestiegen. Überdies verfügen Berufstätige über ein breiteres Wissen als Nichterwerbstätige. Die Studie resümiert, dass Berufstätigkeit digitale Kompetenz aufbaut und fördert. Auch hinsichtlich des Ausstattungsgrads liegen die Werte deutlich über Nichtberufstätigen: 90 Prozent der befragten Berufstätigen nutzen das Internet, 71 Prozent von ihnen einen Breitbandanschluss. Mehr als zwei Drittel besitzen ein Smartphone, drei Viertel einen Desktop-Computer, fast 70 Prozent einen Laptop und ein Drittel ein Tablet – die Studie wertet dies als gute infrastrukturelle Ausgangsbasis für digitalisierte Arbeit (D21 2015).

Bereits gegenwärtig werden Defizite in Infrastruktur und individueller Kompetenz von den befragten Berufstätigen stärker bemängelt als noch im Jahr zuvor; so werden Beschränkungen beim Internetzugang moniert (36 Prozent), fehlende Weiterbildungen bei Einführung neuer Systeme beklagt (31 Prozent), zugleich wird zu geringes Wissen konstatiert (29 Prozent), die Komplexität der Systeme kritisiert (19 Prozent) oder mangelnde Unterstützung bilanziert (14 Prozent). Dass Geräte oder Systeme veraltet seien, beklagen 19 Prozent, die zu langsame Reaktion auf Störfälle 23 Prozent (D21 2015).

Fast vier Fünftel bringen selbst angeeignetes Wissen über digitales Arbeiten mit an den Arbeitsplatz, jeder und jede Zweite lernt privat dazu, wobei Freunde, Bekannte, Kollegen und Angehörige (in dieser Reihenfolge) bedeutsame Ratgeber sind (D21 2015). Schulungsangebote des Arbeitgebers nutzen fast zwei Fünftel der befragten Berufstätigen, zwei Drittel davon besuchen Seminare. Etwas mehr als die Hälfte nimmt an computergestützten Schulungen teil und 50 Prozent greifen auch zu Büchern (D21 2015). Schon gegenwärtig ersetzen Technologien bisherige manuelle Aufgaben; zukünftig werden sich Arbeitnehmer unabhängig von Branche und Position darauf noch stärker einstellen müssen, so die Studie der D21-Initiative. Gefordert

sind Technikaffinität und Offenheit den neuen Möglichkeiten gegenüber (ebd.).

Profiteure dieser Entwicklung sind *digital natives*, mithin Arbeitnehmer in den jüngeren Jahrgängen. Sie sind in der Lage, sich für den internationalen Arbeitsmarkt aufzustellen und dort digitalisierte Arbeiten zu bewältigen – was den Wirtschaftsstandort Deutschland insgesamt unter Druck setzt, solche Arbeitskräfte zukünftig halten zu können (D21 2015).

Laut Bundeswirtschaftsministerium erwirtschaftete der Sektor der Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT-Sektor) im Jahr 2013 mit einem Umsatz von 226 Milliarden Euro 4,3 Prozent der IKT-Umsätze weltweit (4. Platz), davon erwirtschaftete die Internetwirtschaft mit 85 Milliarden Euro Umsatz mehr als ein Drittel. Fast 5 Prozent der Bruttowertschöpfung der gewerblichen Wirtschaft wurden hier erzielt, das entspricht in etwa dem Anteil der Automobilindustrie und ist mehr als der des Maschinenbaus. In den branchenweit mehr als 91.000 Unternehmen gab es über eine Million Arbeitsplätze, die Branche wies eine Gründungsrate von mehr als 7 Prozent auf. 2013 wurden etwa 15,4 Milliarden Euro investiert, was 3,6 Prozent aller Investitionen in der gewerblichen Wirtschaft ent-

spricht. Über ein Drittel der Industrieunternehmen in Deutschland haben 2013 Innovationen eingeführt, die wesentlich auf der Grundlage von Informations- und Kommunikationstechnologien erfolgten (BMW 2015).

Im internationalen Vergleich von 15 Ländern belegte Deutschland den fünften Platz mit 47 Indexpunkten, Spitzenreiter waren die USA mit 81 von 100 möglichen Punkten vor Südkorea mit 54 Punkten. Großbritannien und Japan erreichten jeweils 53 Punkte. Die nachfolgenden fünf Länder waren nur geringfügig schwächer aufgestellt als Deutschland (BMW 2015).

Die Studie erstellt einen sogenannten Digital-Index, der 21 Branchen hinsichtlich ihres Digitalisierungsgrads untersucht, das heißt danach fragt, wie weit die Digitalisierung in den einzelnen Branchen im Zeitverlauf fortgeschritten ist. Erfasst werden neun Subindikatoren, die die jeweiligen Anteile an unterschiedlichen Facetten digitalisierter Arbeit, etwa der Verwendung von Computern oder die Bedeutung digitaler Techniken für den Gesamtumsatz, erheben. Mit Ausnahme des Bergbaus sowie der Land- und Forstwirtschaft werden alle privatwirtschaftlichen Branchen erfasst. Demnach ergibt sich folgende Platzierung im Jahr 2013 (siehe Tab. 3):

Tabelle 3: Digitalisierungsgrade in einzelnen Branchen in Deutschland (2011)

Branche	DIGITALIndex 2011	Differenzpunkte DIGITALIndex 2003–2011
Telekommunikation	83,0	20,6
Verlagswesen, audiovisuelle Medien und Rundfunk	77,5	23,9
IT und Informationsdienstleister	76,6	12,7
Finanz- und Versicherungsdienstleister	76,6	35,7
Datenverarbeitungsgeräte, elektronische und optische Produkte	76,5	28,5
Fahrzeugbau	72,2	26,7
Handel	66,4	34,8
Elektrotechnik und Maschinenbau	66,1	27,8
Freiberufliche, wissenschaftliche und technische Dienstleister	65,7	23,2
Chemie-/Pharmaindustrie und sonstige Grundstoffe	63,0	32,0
Textil-, Bekleidungs-, Lederindustrie	62,8	40,2
Metallindustrie	60,9	31,3
Energie- und Wasserversorgung	60,5	25,4
Holz- und Papierindustrie, Druckerzeugnisse	60,4	37,2
Sonstige Warenherstellung, Reparatur/Installation von Maschinen	58,6	34,0
Grundstücks- und Wohnungswesen	56,4	25,1
Gastgewerbe	56,2	38,3
Verkehr und Logistik	50,3	34,5
Sonstige Unternehmensdienstleister	49,6	32,8
Nahrungsmittel-, Getränke- und Tabakindustrie	45,4	34,8
Baugewerbe	36,6	27,1

Quelle: BMW 2015

Insgesamt zeigt sich zwischen 2003 und 2011 ein deutlicher Zuwachs in allen Branchen, der – von unterschiedlichem Niveau im Digitalisierungsgrad ausgehend – differente Dynamiken ausweist. Weil Telekommunikation, IT und Datenverarbeitung zu den am stärksten von Digitalisierung durchdrungenen Branchen gehören, sind hier nur relativ geringe bis mittlere Zuwachsraten zu verzeichnen. Gleichwohl sind es in der IT-Branche inklusive Informationsdienstleister trotzdem noch 20 Prozent, in der Textil-, Bekleidungs- und Lederindustrie stieg der Digitalisierungsgrad demgegenüber auf fast das Dreifache. Im Baugewerbe hingegen ist der Digitalisierungsgrad traditionell gering und weist im Zeitvergleich auch nur ein mittleres Niveau des Zuwachses aus. Konstatiert wird, dass mit

ben mangelnder Bekanntheit die eingeschränkte Zufriedenheit der Bürger mit dem Angebot (Kritik an nicht durchgängig online zur Verfügung stehenden Prozessen) sowie Vorbehalte hinsichtlich des Datenschutzes. Allerdings wird in den Ausbau der Infrastruktur sowie der Onlineangebote investiert: Die Ausgaben der Verwaltungen sind bis auf gute 20 Milliarden Euro jährlich gestiegen (vgl. BMWi 2015).

Es ist zu erwarten, dass vernetzte Prozesse, Cloud-Computing und weitere technische Innovationen den Arbeitenden vermehrt spezielle Kenntnisse zu Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) abverlangen. Dabei ist interessant, wie die derzeitige Struktur im Hinblick auf Fachkräfte im Branchenvergleich aussieht (siehe Tab. 4).

Tabelle 4: IKT-bezogene Aufgabenstruktur im Branchenvergleich (in Prozent)

	IKT-Hardware IT-Fachkräfte Anteil 5,1%	IKT-DL IT-Fachkräfte Anteil 49,8%	Medienbranche IT-Fachkräfte Anteil 6,1%	Industrie IT-Fachkräfte Anteil 2,8%	Wissensint. DL IT-Fachkräfte Anteil 6,5%
Davon: Betrieb/Wartung Unternehmens-IT	48,3	15,3	35,5	48,3	45,1
Entwicklung von Produkten/DL	24,6	28,6	35,1	19,6	22,1
Weiterentwicklung Geschäftsprozesse	20,5	13,3	16,2	22,3	14,9
Strat. Entwicklung Unternehmen	4,5	7,1	9,5	6,1	7,7
Sonstige Abteilungen	2,0	35,7	3,6	3,7	10,2

Quelle: BMWi 2015

einem um einen Prozentpunkt erhöhten Digitalisierungsgrad eine um 0,28 Prozentpunkte gesteigerte Wertschöpfung pro geleisteter Arbeitsstunde einhergeht (BMWi 2015). Für das produzierende Gewerbe insgesamt, einschließlich Baugewerbe, bilanziert die Studie zunehmende Digitalisierung, für die Dienstleistungsbranchen wird von einem allgemein hohen Niveau gesprochen (vgl. BMWi 2015).

Hinsichtlich der Internetnutzung zitiert die Studie des BMWi (2015) eine Befragung von Experten durch das World Economic Forum, der zufolge Deutschland in Bezug auf die Nutzung neuer Technologien in Unternehmen im Jahr 2013 hinter Japan, Finnland und den USA mit geringem Abstand den vierten Platz einnimmt.¹⁰ Es werden steigende Investitionen in diesen Bereich, insbesondere in den Bereich der IT-Dienstleistungen, aber auch in Netzwerkdienste und in die Infrastruktur erwartet. Erst 40 Prozent der Unternehmen nutzen die Cloud-Technologie, zumeist als internes Netzwerk.

In Bezug auf die Internetnutzung durch Behörden und Verwaltungen (E-Government) nimmt Deutschland im 15-Länder-Vergleich den zehnten Platz ein, mit sinkender Tendenz. Als Hindernisse erweisen sich ne-

Bis auf die Teilbranche der ITK-Dienstleistungen ist der Anteil an IT-Fachkräften in den verschiedenen Branchen relativ gering, vor allem in der Industrie ist dies signifikant. Die Einsatzgebiete streuen erheblich, Betrieb und Wartung sind in den industriellen Sektoren sowie in den wissensintensiven Dienstleistungen verbreitet, groß ist der Anteil derer, die in der produkt-beziehungsweise Prozessentwicklung arbeiten. Dabei gilt: Mehr als 30 Prozent aller Industrieunternehmen und ein wenig mehr Unternehmen in der Medienbranche beklagen die Abwesenheit von IT-Fachkräften im Unternehmen als Innovationshemmnis; sowohl in der IKT-Branche als auch in den wissensintensiven Dienstleistungen betont dies jeweils ein Viertel der Unternehmen (vgl. BMWi 2015).

In seinem Grünbuch geht das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) von einem weiterhin erodierenden Normalarbeitsverhältnis aus, das in der Zukunft durch ein «Neues Normalarbeitsverhältnis» ersetzt werden muss, das die sozialpartnerschaftlich

¹⁰ Erhoben wurden dabei Einschätzungen zu europäischen Ländern (F, E, NL, GB, FIN, I, D, DK, P) sowie Südkorea, Japan, den USA, China, Brasilien und Indien.

ausgehandelten hochflexiblen Arbeitszeitmodelle in der deutschen Wirtschaft erhält. Bei hohem Beschäftigungsstand ist bereits heute von einem dualen Arbeitsmarkt auszugehen, der in zunehmendem Maße auch von älteren und weiblichen Beschäftigten geprägt sein wird (Stichworte: erhöhte Erwerbsneigung und demografischer Wandel). Prekärer Beschäftigung stehen neue Möglichkeiten für Langzeitarbeitslose gegenüber, Arbeit zu finden. Qualifikationsbezogen zeigen sich Segmentierungen. Minijobs und Zeitarbeit haben eine nur geringe Brückenfunktion (vgl. BMAS 2015).

Cyberphysikalische Systeme (CPS) können Menschen in ihren Handlungen und dabei, Ziele zu erreichen, unterstützen, können Aufgaben komplett übernehmen – darin liegt ihr Nutzwert. In ihrem autonomen Handeln nehmen sie aber auch Einfluss auf das Handeln von Individuen und damit auf soziale Prozesse. Die Beherrschung einer akzeptablen Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion ist noch nicht gelungen und bedarf einer besonderen *human awareness* (vgl. Acatech 2012).

In der Arbeitswelt dienen komplexe Technologien und auch CPS einer Steigerung der ökonomischen Effizienz, Rationalisierungserwartungen bestehen vor allem in den Feldern der Produktion, der Energie, der Logistik, der Mobilität und auch in der Medizin. Soziale Dienstleistungen spielen in dieser Hinsicht dagegen eine untergeordnete Rolle, auch bei grundlegenden Konstruktions- und Wirtschaftsprozessen ist ein Rationalisierungsgewinn durch den Einsatz von CPS begrenzt (vgl. Acatech 2012).

Die Studie von Berger Consulting und dem Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) (Berger/BDI 2015) sieht Chancen und Risiken in der digitalen Transformation der Industrie, die als fundamentaler Strukturwandel begriffen wird und deshalb nach koordinierten Aktionen der Politik auf der europäischen Ebene verlangt. Initiativen sind insbesondere hinsichtlich der Standardisierung der IKT notwendig, um US-amerikanischen Vorhaben und Aktivitäten (etwa das von CISCO und General Electric dominierte Industrial Internet Consortium) etwas entgegensetzen zu können.

Laut Studie könnte bis 2025 in Europa durch eine digitale Transformation der Industrie ein Zuwachs an der Bruttowertschöpfung von insgesamt 1,25 Billionen Euro realisiert werden; dem stehen mögliche Verluste durch verpasste oder verzögerte Umgestaltung in Höhe von 605 Milliarden Euro gegenüber. Den besonders digitalisierungsaffinen europäischen Bereichen Automobil und Logistik droht anstelle eines zusätzlichen Wertschöpfungspotenzials von 89 Milliarden Euro ein Verlust von 350 Milliarden Euro, die an internationale Wettbewerber gehen; bei Medizintechnik, der Elektrobranche, dem Maschinen- und Anlagenbau sowie der Energietechnik summiert sich ein drohender Bruttowertschöpfungsverlust auf 215 Milliarden Euro gegenüber einem Wertschöpfungspotenzial von 126 Milliarden Euro und der Chemiebranche sowie der Luft- und

Raumfahrt stehen gegenüber einem Zugewinn von 35 Milliarden Euro Verluste von 40 Milliarden Euro ins Haus, sollte die Transformation misslingen (die Verluste sind definiert als verlorene Bruttowertschöpfung in EU-17-Ländern bei Verlust des zusätzlichen IKT-Anteils an internationale Wettbewerber – mithin eine Schätzung, die von einer weiteren Schätzung abhängt).

Eine wesentliche Veränderung der digitalen Transformation der Industrie wird im Wandel von starren Wertschöpfungsketten zu dynamischen Wertschöpfungs-systemen gesehen, wie ihn Abbildung 5 (S. 39) veranschaulicht.

Dem erwarteten Wandel liegen befähigende Technologien zugrunde, die vom a) digitalen Kundenzugang mittels mobilem Internet inklusive Apps und sozialen Netzwerken über b) Vernetzung durch Breitband- und Cloud-Technologie über c) digitalen Datenfluss via Internet der Dinge, «Big Data» und «Wearables» (dt.: tragbare Computersysteme) bis hin zur Automatisierung der industriellen Produktion durch Robotik und additive Fertigung reichen. Realisiert wird damit eine Vielzahl von Anwendungen auf der Konsumentenebene ebenso wie auf den Ebenen von Produktion, Wartung und Logistik. Die industriellen Projekte ehemals reiner Internetunternehmen wie Google basieren auf dieser Verschmelzung von digitaler und materieller Welt (vgl. Berger/BDI 2015).

Weiterhin werden Ingenieure gebraucht, jedoch nimmt ihre Bedeutung für das Gesamtprodukt und damit für die Wertschöpfung ab. Die Transformation setzt auch große Endhersteller unter Druck, weil Geschäftsmodelle schneller veraltet oder Unternehmen durch digital besser aufgestellte Konkurrenz schneller verdrängt werden (vgl. Berger/BDI 2015). Nimmt man die Stoßrichtung der Ziele, die durch digitalisierte Produktion erreicht werden sollen, zur Messlatte, spielt Kostenreduzierung – vor allem durch Automatisierung und erhöhte Effizienz – die dominierende Rolle, wie die Selbstauskunft von 300 Topmanagern verdeutlicht (siehe Abb. 6, S. 40).

Für 43 Prozent der Befragten ist Kostenreduzierung wesentliches Ziel der Digitalisierung, weitere 14 Prozent streben dies gemeinsam mit einer Umsatzsteigerung an. Anders gesagt: Kostenreduktion ist eine wesentliche Triebfeder der Transformation der Industrie – Umsatzsteigerungen mit alten oder neuen Produkten genießen nur zusammengenommen eine ähnliche Bedeutung.

Die MHP-Studie von Uwe Trost (MHP 2015) weist beim Thema Big Data in der Einschätzung der 254 Befragten insbesondere des mittleren Managements¹¹

¹¹ Die Befragten kommen aus der Automobilbranche und Fertigungsindustrie (26 Prozent Zulieferer und 20 Prozent OEM = 46 Prozent der Teilnehmer), sonstigen Industrien (Maschinen- und Anlagenbau, High Tech/Elektronik, Chemie/Pharma, Energieversorger und Telko = 26 Prozent der Befragten) sowie aus den Bereichen Dienstleistungen im Banken- und Versicherungswesen, allgemeine Dienstleistungen sowie Groß- und Einzelhandel. Die Befragten entstammen zu 87 Prozent Unternehmen mit über 1.000 Mitarbeitern, 45 Prozent waren in der jeweiligen IT-Abteilung beschäftigt, andere in Vertrieb (9 Prozent), Organisation (gut 7 Prozent) oder in anderen Fachbereichen.

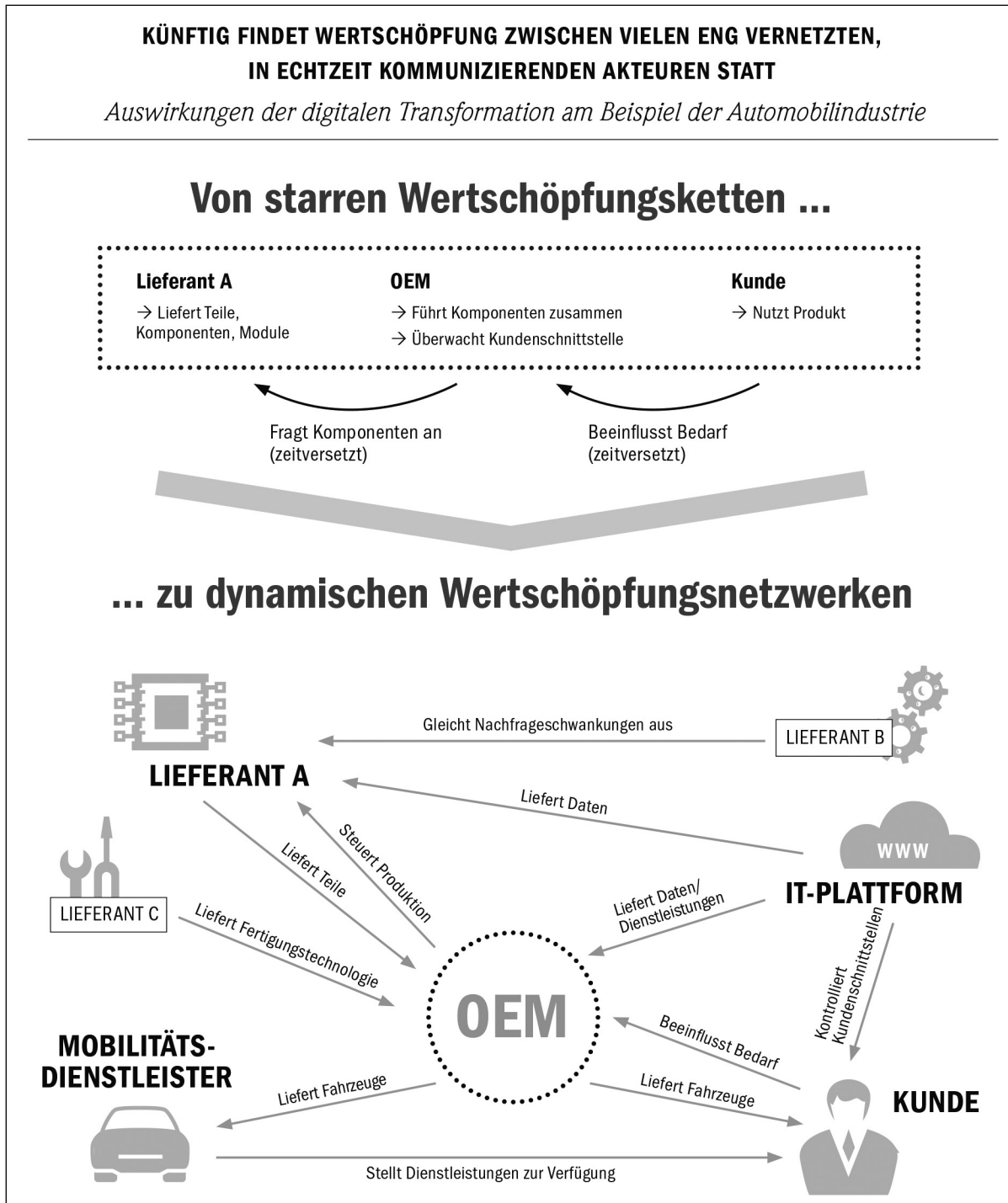
ein hohes Veränderungspotenzial im industriellen Marktumfeld durch datengetriebenen Wandel aus. Die Befürchtungen sehen dabei unterschiedlich aus, orientieren im Kern aber auf Marktveränderungen, wie Abbildung 7 (S. 40) zeigt.

Datengetriebene Innovationen stellen für mehr als die Hälfte der Befragten eine große beziehungsweise sehr große Gefahr dar – insbesondere Erstausrüster, sogenannte OEMs, (82 Prozent) bilanzieren in diese

Richtung, gegenüber 47 Prozent bei Befragten aus anderen Bereichen. Gefürchtet werden analytische Wettbewerber, die weniger auf das eigentliche Produkt, wohl aber auf die damit verbundenen Daten zielen, um diese zu monetarisieren (MHP 2015).

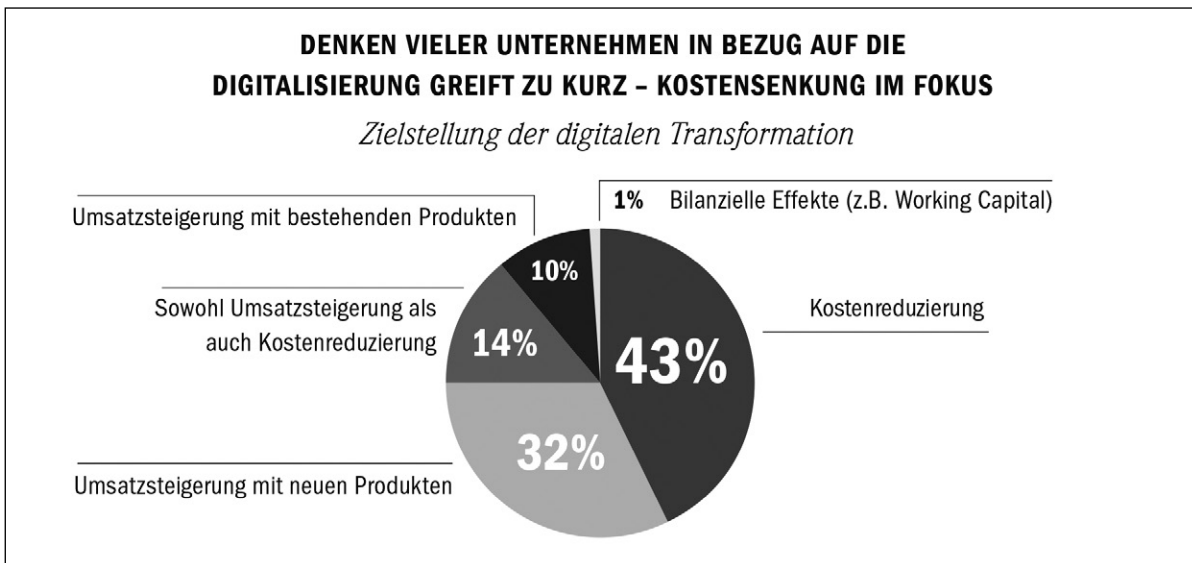
Buhr weist darauf hin, dass Menschen nicht nur mit Maschinen arbeiten, sondern sie auch entwickeln – in der Folge würde der Bedeutungsverlust traditioneller Produktionsweisen mit einem Aufstieg der Innovato-

Abbildung 5: Idealtypisches Abbild eines Wertschöpfungsnetzwerks



Quelle: Berger/BDI 2015

Abbildung 6: Unternehmerische Zielstellungen bei digitaler Transformation



Quelle: Berger/BDI 2015

ren einhergehen. Dabei geht es neben technischen auch um soziale Innovationen, ohne die eine gesellschaftliche Bewältigung dessen, was unter Industrie 4.0 subsumiert wird, nicht gelingen kann. Die Vernetzung erlaubt eine dezentrale, flexible Produktion, die effizient und nachhaltig bis auf die Losgröße 1, also die Einzelstückfertigung, industriell organisiert werden könnte. Neben diesen Chancen liegen Risiken insbesondere in der Entgrenzung von Arbeit und in der Sicherheit der Daten (vgl. Buhr 2015).

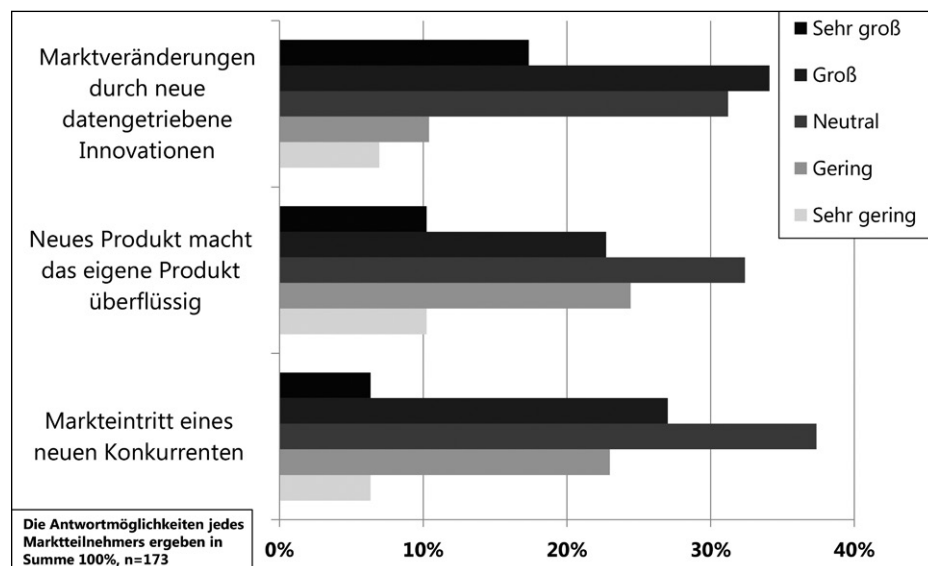
Maschinen-, Anlagen- und Fahrzeugbau geraten durch neue Geschäftsmodelle unter Druck und damit auch das Modell koordinierter Marktwirtschaft. Dadurch ist der Kern der industriellen Sektoren Deutschlands einem Risiko ausgesetzt. Dennoch ist die Industrie 4.0 bisher eher ein Wirtschaftsthema, ohne dass es schon alle wirtschaftlichen Akteure erreicht hätte. Vielmehr sind es insbesondere große Unternehmen in bestimmten Branchen, die sich bereits aufgestellt haben oder dies in naher Zukunft tun. Metallbranche, chemische Industrie und Bauindustrie sowie der Handel haben Aufholbedarf, während die zu Beginn genannten Branchen Pioniere sind (vgl. Buhr 2015).

Einer Accenture-Veröffentlichung entstammt Abbildung 8 (S. 41), die für unterschiedliche Branchen

den betriebswirtschaftlichen Erfolg der Jahre 2008 bis 2012 ins Verhältnis zum Digitalisierungsgrad setzt.

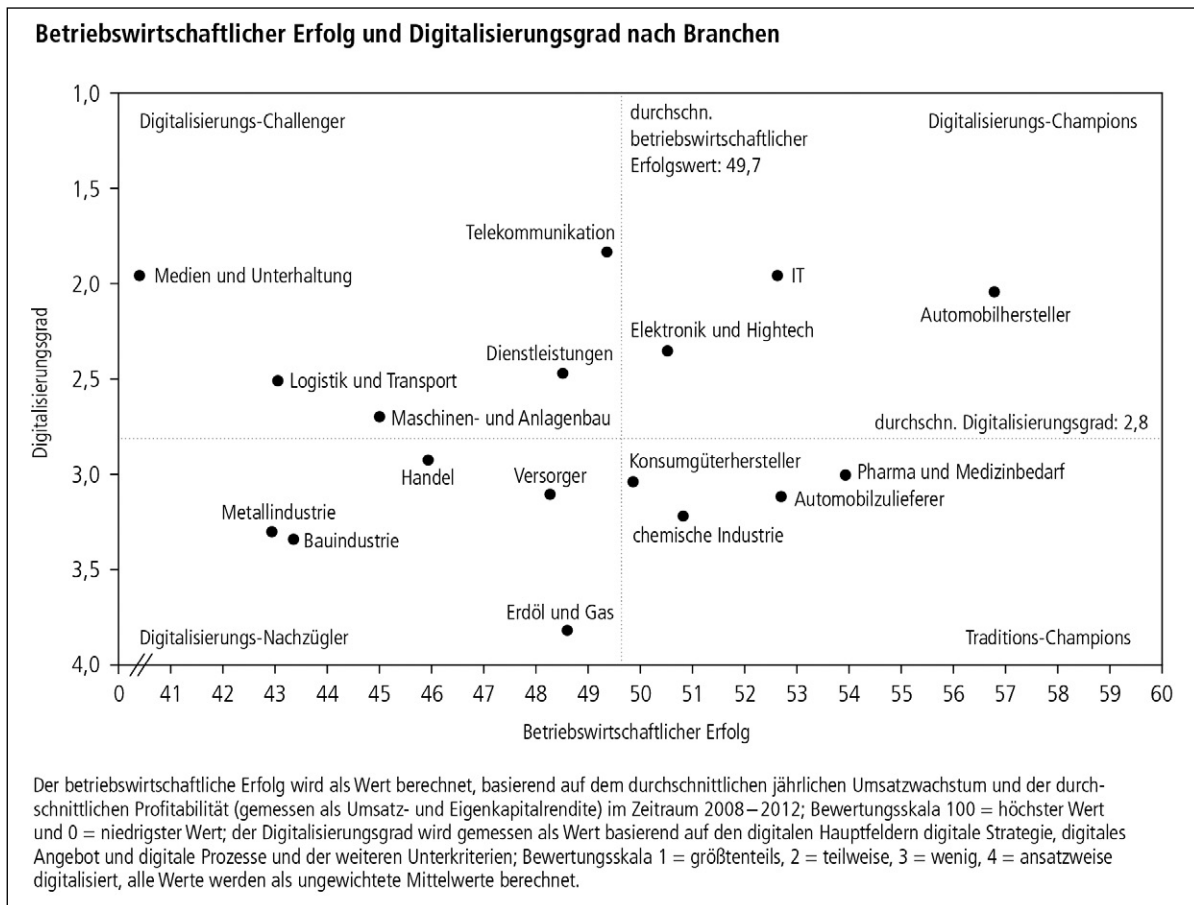
Es zeigt sich, dass die ertragsstarken Branchen stärker in die Digitalisierung investieren können und damit ihre Position sichern wollen; diejenigen Branchen, die im Messzeitraum einen geringeren betriebswirtschaftlichen Erfolg ausweisen konnten, stehen der beginnenden Digitalisierung offensichtlich eher verhalten gegenüber (vgl. Accenture 2014) – aus der Sicht der *fast mover* (also derjenigen, die Trends und technische wie ökonomische Möglichkeiten als Erste umsetzen) oder *fast follower* (also denjenigen, die etwas später, aber noch weit früher als die Masse auf den Zug der *first mover* aufspringen) eine nahezu fatale Entscheidung.

Abbildung 7: Effekte auf Märkten – Gefahren für das eigene Unternehmen (in Prozent)



Quelle: MHP 2015

Abbildung 8: Betriebswirtschaftlicher Erfolg und Digitalisierungsgrad nach Branchen



Quelle: Accenture 2014

Die Automobil-, IT- und Pharma- beziehungsweise Medizinbranche sind demnach ertragsstarke Pioniere, Medien ein armer, aber der Digitalisierung «natürlicher» Partner, während etwa die Metallindustrie oder die Bauindustrie zu Dinosauriern zu mutieren drohen. Erwartet wird allerdings ein Modernisierungssprung in den nächsten fünf Jahren, was jährliche Investitionen von 40 Milliarden Euro (= 3,3 Prozent des Umsatzes) erfordert (vgl. PWC 2014 nach Buhr 2015).

Gesteigerte räumliche und zeitliche Flexibilität, stärkere Digitalisierung der Arbeitsprozesse, enthierarchisierte und dezentralisierte Abläufe, transparentere Prozesse und zunehmende Automatisierung von Routinetätigkeiten sind die zu erwartenden globalen Tendenzen nach Einführung von Industrie-4.0-Konzepten. Ob das unterstützend und entlastend wirkt oder aber zu Enteignung von Fähigkeiten und neuartigen Belastungen führt, ist Buhr zufolge am besten am konkreten Einzelfall zu überprüfen, weil Einschätzungen zu stark differieren. Statt allerdings von einem Gegensatz von Mensch und Maschine zu reden, ist eine Debatte um das Verhältnis von Mensch und Maschine angezeigt: Im «Automatisierungsszenario» übernehmen Menschen verstärkt ausführende Tätigkeiten in von Maschinen gelenkten Umgebungen. Dadurch verlieren Geringqualifizierte und allgemein ausgebildete Fach-

kräfte an Bedeutung, während spezialisierte Fachkräfte und Hochqualifizierte an Bedeutung gewinnen. Im «Hybridszenario» erledigen Technologien, vernetzte Objekte und Menschen interaktiv und kooperativ Steuerungs- und Kontrollaufgaben. Im «Spezialisierungsszenario» verbleibt die Technik als Werkzeug, Facharbeit ist zentral. Hochqualifizierte, spezialisierte und allgemein qualifizierte Fachkräfte bleiben ein bedeutender Teil der Produktion (Buhr 2015).

Das Unternehmensbarometer des DIHK untersuchte über 1.800 Unternehmen mittels einer Umfrage, die die Wirtschaft 4.0 zum Gegenstand hatte.¹² Den empirischen Erfahrungen entsprechend wird Digitalisierung nicht als erst zukünftiges Ereignis, sondern als bereits ablaufender Prozess verstanden (siehe Abb. 9, S. 43).

Die zunehmende Digitalisierung beeinflusst demnach in nahezu allen Branchen die Geschäfts- und Arbeitsprozesse der Unternehmen – zwischen den aufgeführten Branchen bestehen nur geringe Unterschiede. In der Einschätzung zum Stand der Digitalisie-

¹² Die Befragung verteilt sich folgendermaßen: Industrie (27 Prozent der Teilnehmenden), Bau (4 Prozent), Handel (20 Prozent), Verkehr (5 Prozent), Gastgewerbe (5 Prozent), Information/Kommunikation (8 Prozent), Finanzwirtschaft (9 Prozent) und sonstige Dienstleistungen in vier Regionen Nord (16 Prozent), West (32 Prozent), Ost (16 Prozent) und Süd (32 Prozent).

rung zeigt sich allerdings ein weniger einheitliches Bild (siehe Abb. 10, S. 43).

Auf der sechsstufigen Skala zeigt sich nur die Informations- und Kommunikationsbranche in weiten Teilen voll oder zumindest überwiegend digitalisiert (71 Prozent). In der überwiegenden Anzahl der Branchen erklärt sich ein jeweils nur geringer Anteil als digital voll entwickelt, die nächste Kategorie wird jeweils von nur einem Siebtel beziehungsweise einem guten Viertel angegeben. Als «digital wenig entwickelt» bezeichnen sich in nennenswertem Anteil nur Unternehmen aus dem Handel, mit Abstrichen zählt auch das Gastgewerbe dazu – zusammen mit der Kategorie 2 geben rund 16 Prozent einen relativ niedrigen Digitalisierungsgrad an. In den anderen Branchen verharret diese Selbsteinschätzung im (niedrigen) einstelligen Bereich. Dass die meisten Einschätzungen um die Mitte gruppiert sind und dass auf der sechsstufigen Skala stärker ein eher entwickelter als ein relativ gering entwickelter Digitalisierungsstand präferiert wird, dürfte die digitale Realität in den Branchen wie insgesamt recht gut abbilden: PC, Betriebssysteme, Netzwerke und Server, ERP und Telefonie sind offensichtlich wohlbekannte Mittel der Steuerung von Geschäfts- und Arbeitsprozessen – die Selbstpositionierung im unteren oder oberen Mittelfeld dürfte daher nicht zuletzt eine Reaktion auf den Hype um die Industrie 4.0 sein. Im Ergebnis bleibt die im Studientitel zusammengefasste Einsicht: «Große Chancen, viel zu tun» als Quintessenz der Selbsteinschätzungen übrig (vgl. IHK 2015).

Dass dieser Selbsteinschätzung durchaus veritable Ist-Analysen zugrunde zu liegen scheinen, verrät der Blick auf die Wahrnehmung bestehender oder zukünftiger Tätigkeitsfelder der Unternehmen (siehe Abb. 11, S. 44).

Infolge der zunehmenden Digitalisierung steigt bei den Unternehmen der Informationsbedarf – nur 3 Prozent gehen davon aus, dass dieser zukünftig sinken wird. Unklar bleibt allerdings, ob damit Informationen über Digitalisierung an sich oder über damit verbundene Arbeits- und Geschäftsprozesse gemeint sind: So ließe sich der Hunger nach mehr Kundendaten ebenso unter die Kategorie Informationsbedarf subsumieren wie das Interesse an Informationen zu modernen digitalen Systemen zur Planung und Verwaltung von Ressourcen. Konstatiert wird ein hoher und anwachsender Investitionsbedarf, unter anderem in Weiterbildungsmaßnahmen im Bereich digitaler Technologien, die von vier Fünfteln als notwendig wahrgenommen werden. Drei Viertel sehen die Innovationstätigkeit der Unternehmen gestärkt und ein Umsatzplus erwarten 34 Prozent – 8 Prozent dagegen befürchten einen Umsatzrückgang. Im Hinblick auf zusätzliche Mitarbeiter besteht im Saldo ein eher verhaltener Optimismus: 15 Prozent erwarten eine Reduzierung, ein knappes Viertel dagegen eine Aufstockung der Belegschaft infolge der digitalisierten Ökonomie (IHK 2015) (siehe Abb. 12, S. 44).

In der Einschätzung der befragten Unternehmen wird vor allem für Betriebe in der Informations- und

Kommunikationsbranche und im Gastgewerbe konstatiert, deutlich positive Beschäftigungseffekte durch Digitalisierung erreichen zu können (im Fall des Gastgewerbes kommentiert die Studie dies nicht; vorstellbar ist zum Beispiel eine Erhöhung der Vermittlungszahlen durch das Internet, die neues Personal nach sich ziehen). Sonstige Dienstleistungen erreichen ebenfalls ein beachtliches positives Saldo, das bei den Branchen Industrie und Handel deutlich moderater ausfällt. In den bisher genannten Branchen gibt es bis auf den Fall des Gastgewerbes sowohl Beschäftigungsgewinne als auch Verluste, die mit der Digitalisierung in Verbindung gebracht werden. Dabei kann es zu einem quantitativen Ausgleich kommen, wie etwa im Fall der Bau- und der Verkehrsbranchen. Nur im Falle der Finanzwirtschaft wird ein negatives Beschäftigungssaldo erwartet, das allerdings weniger der Digitalisierung als einem allgemein problematischen Status der Branche zugeschrieben wird (vgl. IHK 2015).

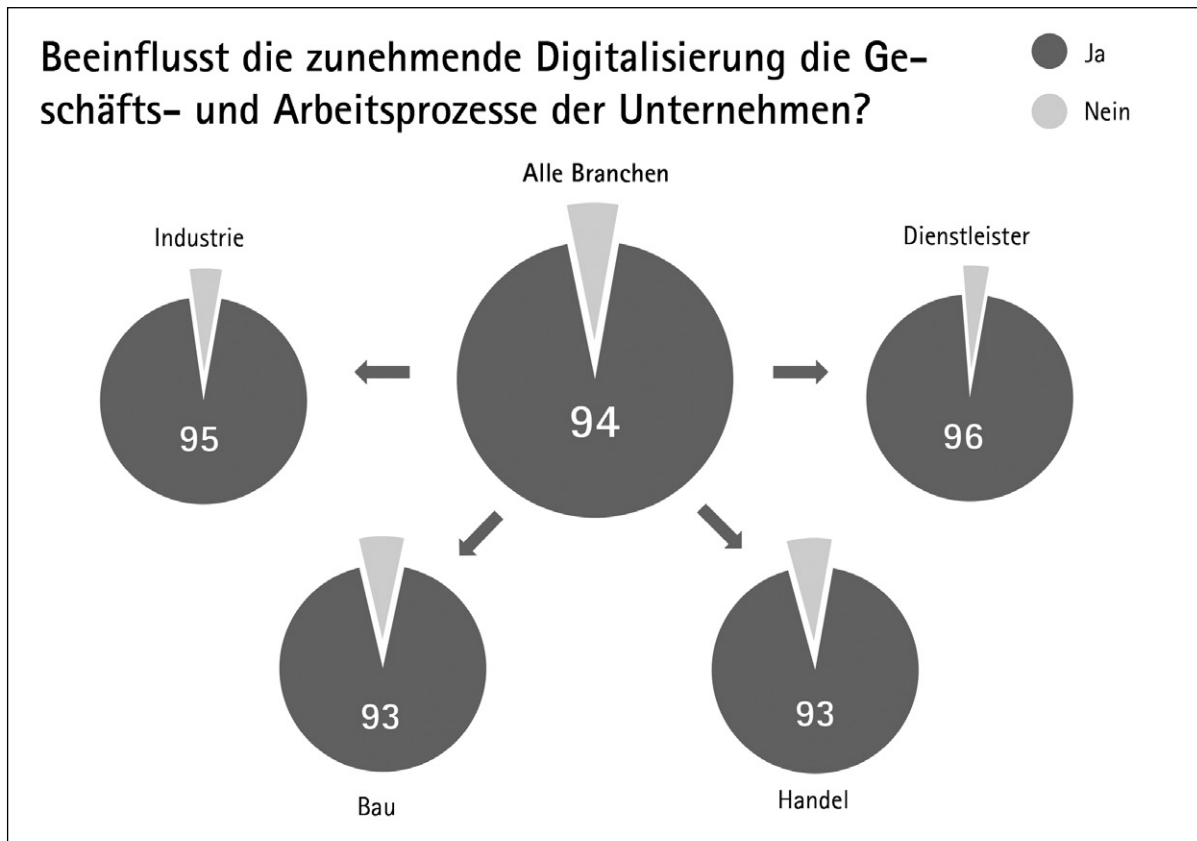
In Bezug auf Mitarbeiter ist deren Qualifikationsstand angesichts zunehmender Digitalisierung Gegenstand der DIHK-Studie: Die Mitarbeiter müssen demnach fit gemacht werden für die Entwicklung, Anwendung und Wartung digitalisierter Systeme (vgl. IHK 2015) (siehe Abb. 13, S. 45).

Technologienaher Qualifizierungsbedarf wird insbesondere zu den Themen der IT-Sicherheit und dem Umgang mit spezifischen IT-Systemen gesehen, obwohl hier bereits seit Langem investiert wird. Das genügt einem hinreichenden Niveau der angestrebten digitalen Kompetenz offensichtlich nicht – angesichts der hohen Innovationsgeschwindigkeit in der Digitalisierung. Wichtig für entsprechend veränderte Geschäfts- und Arbeitsprozesse sind ein erweitertes Prozess-Know-how und Gestaltungskompetenz – deutlich mehr als die Hälfte der Befragten ist davon überzeugt. Immer noch eine knappe Hälfte sieht einen Qualifizierungsbedarf der Mitarbeiter in Richtung verbesserter Datenschutz. Qualifizierung für vermehrte Kenntnisse in unterschiedlichen Vertriebskanälen, Hotlines und sozialen Netzwerken schließlich findet bei zwei Fünfteln beziehungsweise einem knappen Drittel Zuspruch. Nur 6 Prozent der Befragten gaben keinen Qualifizierungsbedarf an (IHK 2015).

Zwischen einem Automatisierungs- und einem Werkzeugszenario verorten auch Butollo und Engel (2015) die zukünftigen Entwicklungen der Arbeitswelt. Restriktiv angelegte Tätigkeiten mit hohem Entwertungspotenzial sind demnach ebenso zu erwarten wie durch Assistenzsysteme unterstützte Aufgabenbereiche, in denen menschlichen Akteuren die (dezentralisierte) Entscheidungsgewalt, die eine entsprechende andauernde Qualifizierung im Hinblick auf eine gesteigerte Problemlösungskompetenz und prozessübergreifendes Wissen voraussetzt, vorbehalten bleibt (Stichwort Schwarmintelligenz, vgl. Butollo/Engel 2015; vgl. auch Hirsch-Kreinsen 2015).

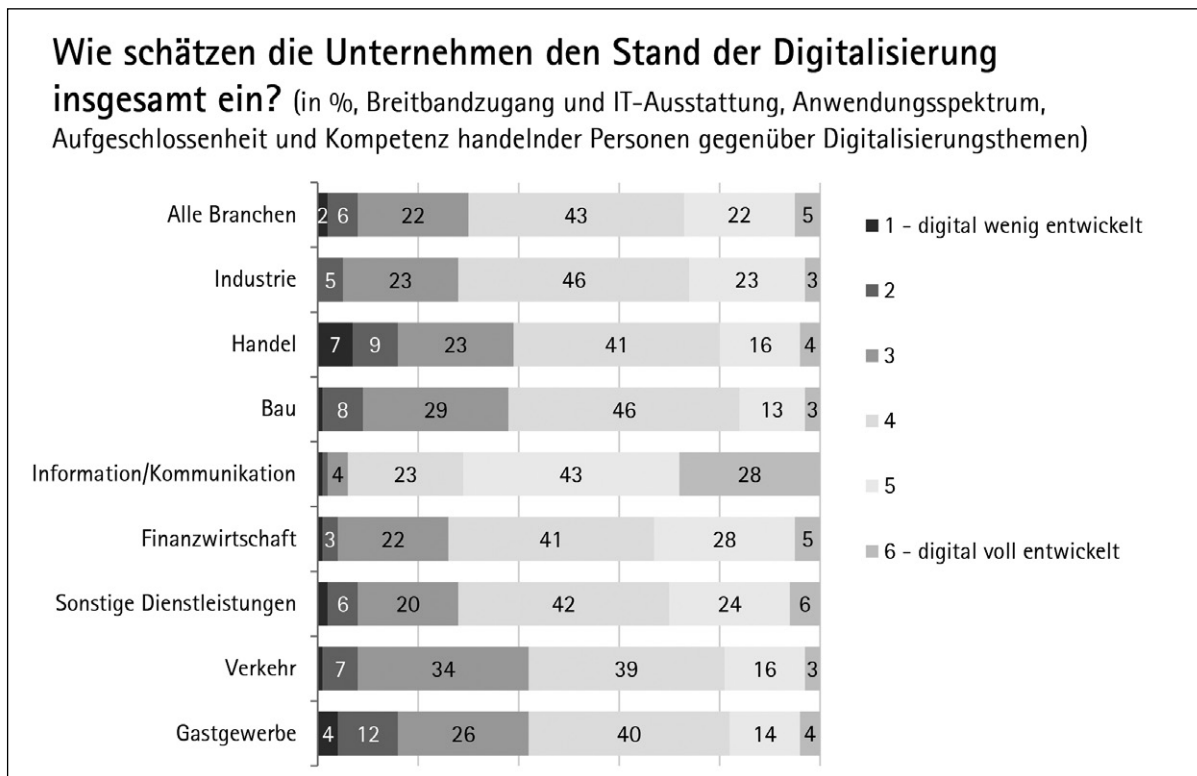
Mit Hinweis auf die Substitutionseffekte der digitalen Automatisierung vermuten Butollo und Engel (2015)

Abbildung 9: Folgen der Digitalisierung für Geschäfts- und Arbeitsprozesse (in Prozent)



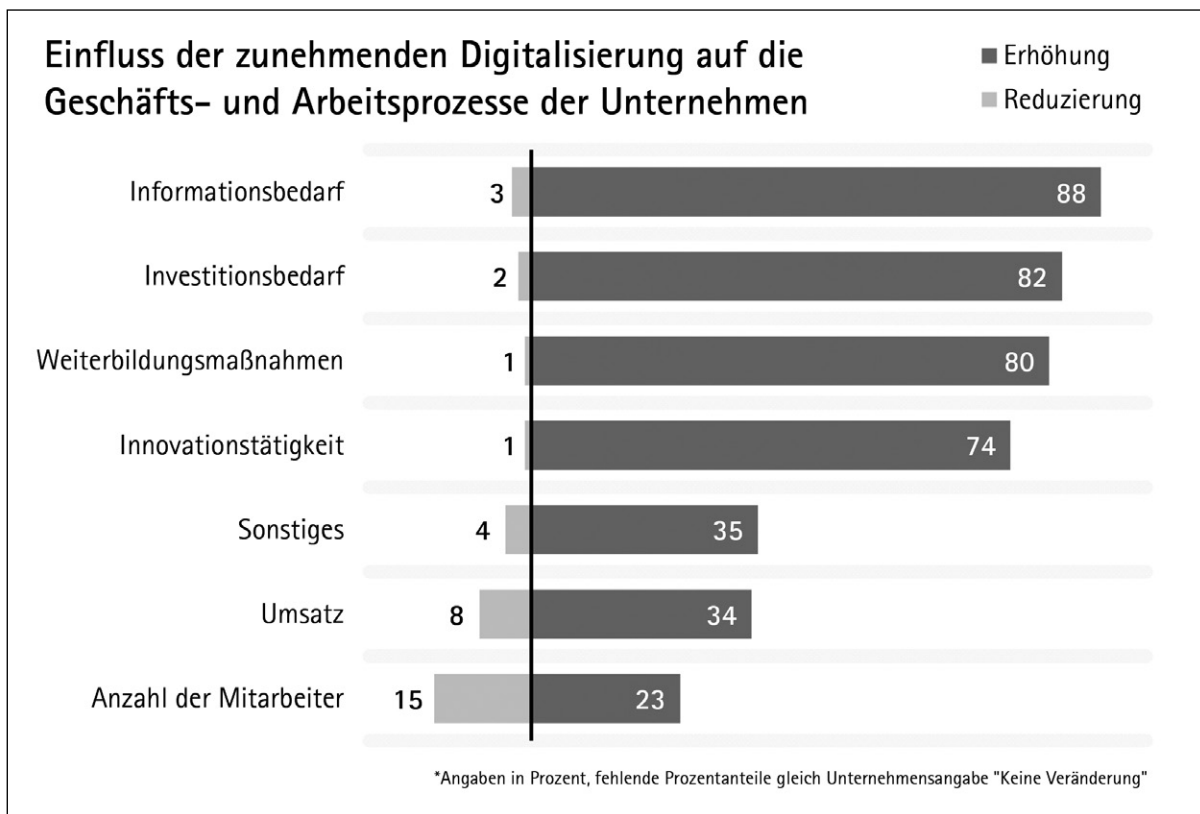
Quelle: IHK 2015

Abbildung 10: Einschätzung des Digitalisierungsgrads der eigenen Branche (in Prozent)



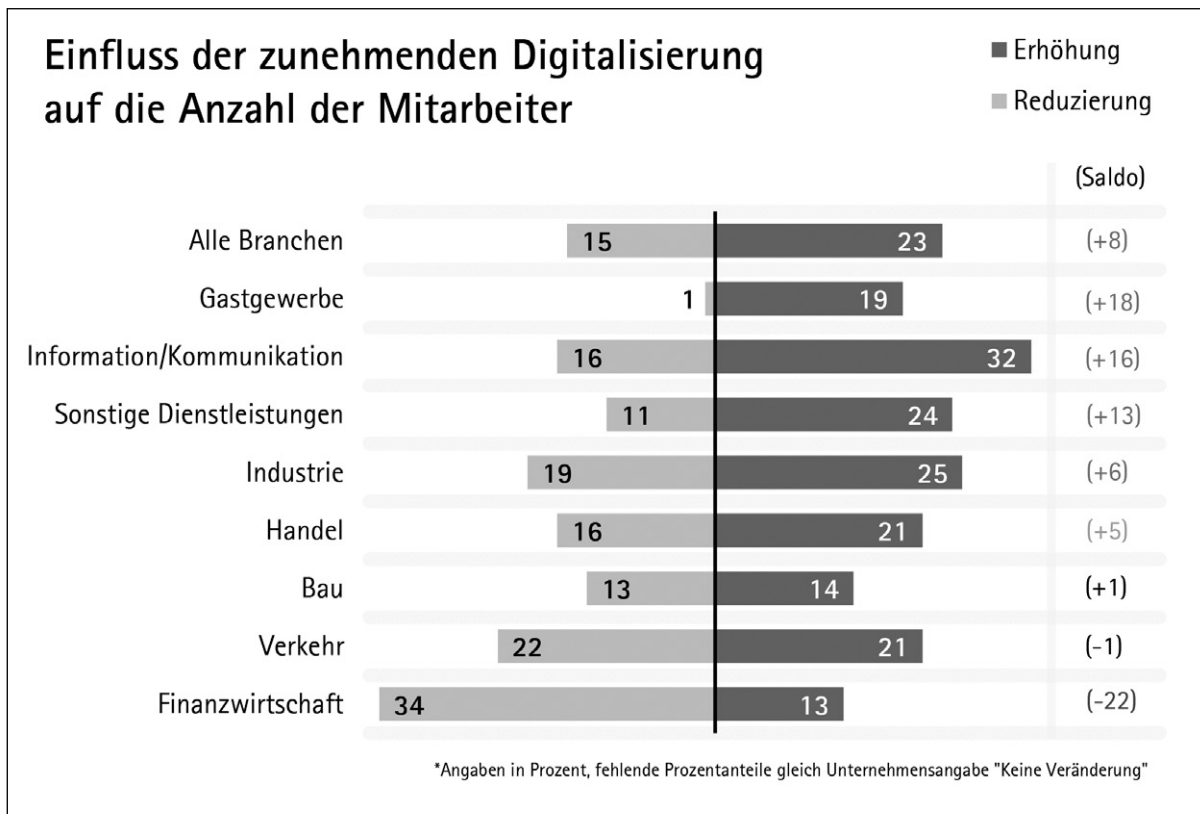
Quelle: IHK 2015

Abbildung 11: Einfluss der Digitalisierung auf Geschäfts- und Arbeitsprozesse



Quelle: IHK 2015

Abbildung 12: Einfluss der Digitalisierung auf die Anzahl der Mitarbeiter (in Prozent)



Quelle: IHK 2015

Abbildung 13: Qualifizierungsbedarf für Mitarbeiter (Mehrfachantworten in Prozent)



Quelle: IHK 2015

allerdings eher negative Effekte, auch auf qualifizierte Tätigkeiten in technologieintensiven Branchen – auch wenn dieser Entwicklung lange Diffusionszeiten oder personalisiertes Erfahrungswissen entgegenstehen. Die Autoren argumentieren, dass mit der flexiblen Selbststeuerung automatisierter Systeme gerade jene Arbeitsleistungen in den Fokus der Digitalisierung geraten, die bisher aufgrund der Fehleranfälligkeit geschützt waren, nun aber durch die verbesserte Selbstregulierung technischer Systeme gefährdet sind. Auch jenseits der im Fokus der landläufigen wie fachlichen Aufmerksamkeit stehenden Industriearbeit und des männlichen Facharbeiterpotenzials sind entsprechende Entwicklungen absehbar – etwa in der Logistikbranche, die in Deutschland ein Industrie-4.0-Pionier und zugleich durch niedrige Entlohnung, große Anteile prekärer Beschäftigung und autoritäre Betriebsführung gekennzeichnet ist, kleinteilige Kontrolle ausübt und an die zumeist wenig qualifizierten Beschäftigten hohe Flexibilitätsanforderungen stellt (vgl. Butollo/Engel 2015).

Mit Bezug auf die in der Debatte um eine Industrie 4.0 zentralen Effekte auf neu gestaltete Wertschöpfungssysteme identifizieren die Autoren alarmierende Entwicklungen für die Interessenvertretung: So wird eine mögliche Konkurrenz zwischen externen Solo-Selbstständigen mit internen Mitarbeitern erwartet, eine Umstellung von Leistungs- auf Erfolgsgratifikation vermutet und insgesamt eine radikalere Marktsteuerung vorausgesehen.

Entsprechendes gilt für globale Wertschöpfungsketten, die Zulieferer wie Beschäftigte erhöhten Flexibilitätsrisiken etwa durch Leiharbeit oder Auftragssteuerung aussetzen. Wertschöpfungssysteme als kooperativ angelegte, überbetriebliche, technische wie arbeitskraftbezogene Interaktion ist so schwer vorstellbar (vgl. Butollo/Engel 2015).

Zwischen euphemistischer Einschätzung der Wirkungen der Industrie-4.0-Vision, wie sie etwa durch Kagermann et al. (2013) vertreten werden, und skeptischeren Einschätzungen etwa von Gewerkschaftsseite verorten Ittermann et al. (2015) vergleichsweise nüchterner die arbeitspolitischen und -praktischen Folgen auf mehreren Ebenen: Im Hinblick auf die Beschäftigungsperspektiven bilanzieren sie diesbezügliche Trendaussagen im Rückgriff etwa auf die bekannte Studie von Frey und Osborne (2013) als uneindeutig und verweisen darauf, dass sowohl Substitution von Arbeitsplätzen (bei gering qualifizierten Beschäftigten) als auch steigender Bedarf im Bereich hoch qualifizierter Beschäftigung erwartet wird. In Bezug auf Einfacharbeit stellen sie eine breitere Übereinstimmung fest – in vielen Fällen wird von einer abnehmenden Quantität ausgegangen, radikale Ansichten sprechen gar vom Verschwinden. Aber auch hier gibt es gegenteilige Ansichten, die durchaus eine Daseinsberechtigung für Einfacharbeit sehen. Bisweilen wird auf eine gesellschaftliche Verpflichtung verwiesen (etwa Kagermann et al. 2013), Einfacharbeit zu erhalten, um spezifischen

Beschäftigtengruppen eine Arbeitsplatzperspektive zu geben. Mit Windelband (2014) bilanzieren Ittermann et al. (2015) hinsichtlich der Beschäftigungsperspektiven eine uneinheitliche und kaum einschätzbare Entwicklung (vgl. Ittermann et al. 2015).

Im Hinblick auf Qualifikationsanforderungen zeichnen sich unter dem Generaltrend eines generellen Bedeutungszuwachses wissensintensiver Arbeit zwei Entwicklungspfade ab, die als *upgrading* beziehungsweise Polarisierung von Qualifikationen bezeichnet werden: Um Aufwertung handelt es sich, wenn vernetzte und komplexere Arbeit insgesamt anspruchsvoller wird und vermehrt komplexe analytische Fähigkeiten und Problemlösungskompetenzen inklusive einer *scientific literacy* notwendig werden, auch auf mittlerer Qualifikationsstufe. Die Begrenzung beziehungsweise das Verhindern von Störungen werden zur zentralen Aufgabe in automatisierten Produktionswelten. Wissensintensive Projektarbeit und prozessorientierte Produktionsarbeit werden zunehmend integriert, was insgesamt der These einer Requalifizierung von Arbeit zusprechen würde. Die Polarisierungsthese betont dagegen den Fortbestand von Residualkategorien einfacher Tätigkeiten, einem Bedeutungsgewinn spezialisierter hoch qualifizierter Arbeit bei gleichzeitiger Erosion mittlerer Qualifikationsebenen. Das führt zu einer Dequalifizierung und Teilsubstituierung großer Arbeitnehmergruppen, was unter anderem in eingeschränkter Autonomie und Kontrolle über den Arbeitsprozess seinen Ausdruck findet. Damit rückt die faktische Ausgestaltung der Industrie 4.0 in seiner soziotechnischen Konfiguration in den Mittelpunkt der Bewertung beschäftigungspolitischer Effekte und berührt im Weiteren auch bildungs- und weiterbildungspolitische Aspekte (vgl. Ittermann et al. 2015).

In Bezug auf Funktionsteilung und Arbeitsorganisation bilanzieren Ittermann et al. (2015), dass bei datentechnischer Erfassung aller Arbeitsprozesse eine wachsende Transparenz sowie steigende Kontrollmöglichkeiten zu erwarten sind (Stichwort Big Data). Damit rücken insbesondere Managementstrategien in den Mittelpunkt der Betrachtung von Formen der Arbeitsorganisation im Zuge einer digitalisierten Ökonomie und Produktion. Ausgegangen wird von einer zunehmenden Verschränkung virtueller und natürlicher Realitäten, zum Beispiel im Hinblick auf die durch Assistenzsysteme und Prozessstrukturierung veränderte Interaktion zwischen Mensch und Technik. Neben der konkreten Arbeitsorganisation (inklusive Aufgabenzuweisung und Arbeitsplatzsicherheit) sind damit auch Aspekte der betrieblichen Mitbestimmung berührt. Die faktische Ausgestaltung kann Arbeitende hinsichtlich planender und steuernder Tätigkeiten in den Mittelpunkt der Arbeitsprozesse rücken, wie einige Autoren anführen; Ittermann et al. (2015) verweisen aber auch auf das gegenteilige Beispiel eines Automatisierungsszenario. Dem gegenüber steht das Werkstattsszenario, das in engerem Bezug auf Fachkräfte von bestehenden Kontrollmöglichkeiten im Zuge erweiterter Aufgaben

ausgeht, so etwa Windelband (2014) (vgl. Ittermann et al. 2015).

Bezüglich der Arbeitsorganisation unterscheiden Ittermann et al. mit Hirsch-Kreinsen (2015) zwei idealtypische Modelle: eine Schwarmorganisation qualifizierter und egalitär agierender Beschäftigter, die sich als Kollektiv entlang einer Kontextsteuerung selbst organisieren und Arbeitsaufgaben verteilen – mithin soziale Interaktionsmuster gezielt in die Arbeitsausführung integrieren und so kommunikative wie kooperative Prozesse steuern. Das verspricht, von gewerkschaftlicher Seite durchaus unterstützt, quer zu bisherigen Funktions- und Abteilungsstrukturen kooperative Lösungen. Eine skeptischere Bewertung der Folgen der Industrie 4.0 auf die Arbeitsorganisation befürchtet verstärkte Arbeitsteilung im Sinne einer dezentralisierten Aufgabenerweiterung bei Strukturierungsvorgaben und erhöhter Standardisierung. Offen bleiben Nebeneffekte wie beispielsweise Intransparenz oder Überkomplexität (vgl. Ittermann et al. 2015).

Im Hinblick auf die Arbeitsbedingungen resümieren Ittermann et al. (2015) einen Bedeutungszuwachs zeitlich und räumlich entgrenzter Arbeit, der unter anderem zu einer Entbetrieblichung insbesondere hoch qualifizierter Arbeit führen kann, was besondere Anforderungen an das spezifische Arbeitsvermögen der Individuen stellt. Formen des Crowdfunding schreiben diese Entgrenzungstendenzen in Bezug auf weitere Beschäftigtengruppen fort. Das tangiert nicht zuletzt Lohnfindungsprozesse, aber auch das Verhältnis von Arbeit und Leben, das im Informationsraum (Boes et al. 2014) dem erweiterten Zugriff auf Arbeitskraftressourcen ausgesetzt ist und solchermassen die Subjektivierung von Arbeit vorantreibt. Zur Debatte stehen damit auch unterschiedliche Modi der Work-Life-Balance (vgl. Ittermann et al. 2015).

Für die chemische Industrie bilanzieren Malonowski und Brandt (2015) eine im Vergleich zu anderen Branchen eingeschränkte Bedeutung der Industrie 4.0. Trotz zum Teil paralleler Ziele wie störungsfreie Prozesse oder flexible Produktion setzt die chemische Industrie auf länger eingeführte Konzepte und Prozessinnovationen wie die «Intelligente Fabrik», auf eine «Optimierung respektive Flexibilisierung der Produktion», «Modularisierung» und nicht zuletzt auf eine «Digitalisierung der Produktion». Insoweit handelt es sich eher um inkrementelle Prozessinnovationen erheblichen Ausmaßes denn um eine sprunghafte Prozessrevolution. Für eine dauerhaft angelegte Innovationsarbeit steht unter anderem die Initiative «Chemie3» (VCI, IGBCE, BAVC), in deren Mittelpunkt die kontinuierliche Verbesserung von Prozessen und Produktlebenszyklen stehen. Produkt- und Anlagensicherheit finden naturgemäß starke Beachtung. Insgesamt bestehen ausgeprägte Chancen, aber auch große Herausforderungen für die chemische Industrie und ihre Akteure in Deutschland. Forschungs- wie Entwicklungsbedarf gibt es bezüglich der weiteren Realisierbarkeit technologischer Anwendungen etwa im Hinblick auf die Fol-

gen für Beschäftigte, Qualifizierung und Arbeitsorganisation (vgl. Malinowski/Brandt 2015).

Eine Repatriierung von ins Ausland verlagerten Arbeitsplätzen infolge der durch Industrie 4.0 herbeigeführten Kostenreduktion in der Produktion beurteilen Wolter et al. (2015) in ihrer insbesondere auf das verarbeitende Gewerbe und die Landwirtschaft abzielenden Studie als unwahrscheinlich. Sie setzen eine Verdoppelung des Digitalisierungsgrads auf 40 Prozent innerhalb der nächsten Dekade voraus (und bleiben damit deutlich unter den Werten anderer Studien). Auch die häufig angesprochene Etablierung von neuen Geschäftsmodellen, Produkten und Dienstleistungen sehen sie unter den Vorbehalt einer notwendigen Nachfrage danach gestellt. Zwar relativ früh in Konzeption und Umsetzung aktiv, ist der deutsche Standort nur bedingt *first mover* in der Umgestaltung der Ökonomie – die USA und China sind ebenfalls in dieser Spur unterwegs (ebd.).

In einer szenarienbasierten Simulation der Effekte der Umstellung auf eine Industrie 4.0 im Vergleich zu einem Referenzszenario, der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektion, werden Zukunftserwartungen für eine in den Jahren bis 2025/30 weitgehend digitalisierten Wirtschaft abgeschätzt. Mehrere Teilszenarien beschreiben Entwicklungen in spezifischen Teilbereichen: So werden etwa notwendige *Ausrüstungsinvestitionen* für Elektrik, Maschinen, Wartung und Reparatur sowie IT- und Informationsdienstleistungen in Höhe von 33 Milliarden Euro (bis 2025) beziehungsweise weitere 7,5 Milliarden Euro bis 2030 erwartet – neben zusätzlichen indirekten Kosten. Die nächste Dekade ist demnach von einem gewinnrelevanten Investitionspeak gekennzeichnet, der danach abflacht, in jedem Fall aber refinanziert werden muss – über Abschreibungen oder Preise. Im Hinblick auf *Bauinvestitionen* wird von staatlichen Vorleistungen ausgegangen, die ohne neue Schulden gestemmt werden. Bezüglich des *Material- und Personenaufwands* werden sowohl Kostensteigerungen (gesteigerte Weiterbildung, erhöhte Beratungsleistung, zusätzliche IT-Dienstleistungen) wie Kostensenkungen (reduzierter Verschleiß und Verschnitt verringert Materialkosten, erhöhte Arbeitsproduktivität pro Arbeitskraft) konstatiert, die allerdings in ihrem tatsächlichen finanziellen Ausmaß nur schwer abzuschätzen sind, insgesamt aber bedeutsam für die Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts sind. Im Zuge der Einführung der neuen Produktionsweise werden zusätzliche 1.000 Euro pro Mitarbeiter für Weiterbildung veranschlagt, Beratungsleistungen sollen um 1,5 Prozent zusätzlich steigen. Solchen Kosten stehen Einsparungen gegenüber, die sich auf 1,2 Prozent für Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe summieren, aber auch eine entsprechend erhöhte Arbeitsproduktivität erzeugen. Allerdings werden solche (kumulierten) Einsparungen erst 2024 die kumulierten Kosten übersteigen – mithin besteht eine ökonomische Durststrecke. Was aus einzelwirt-

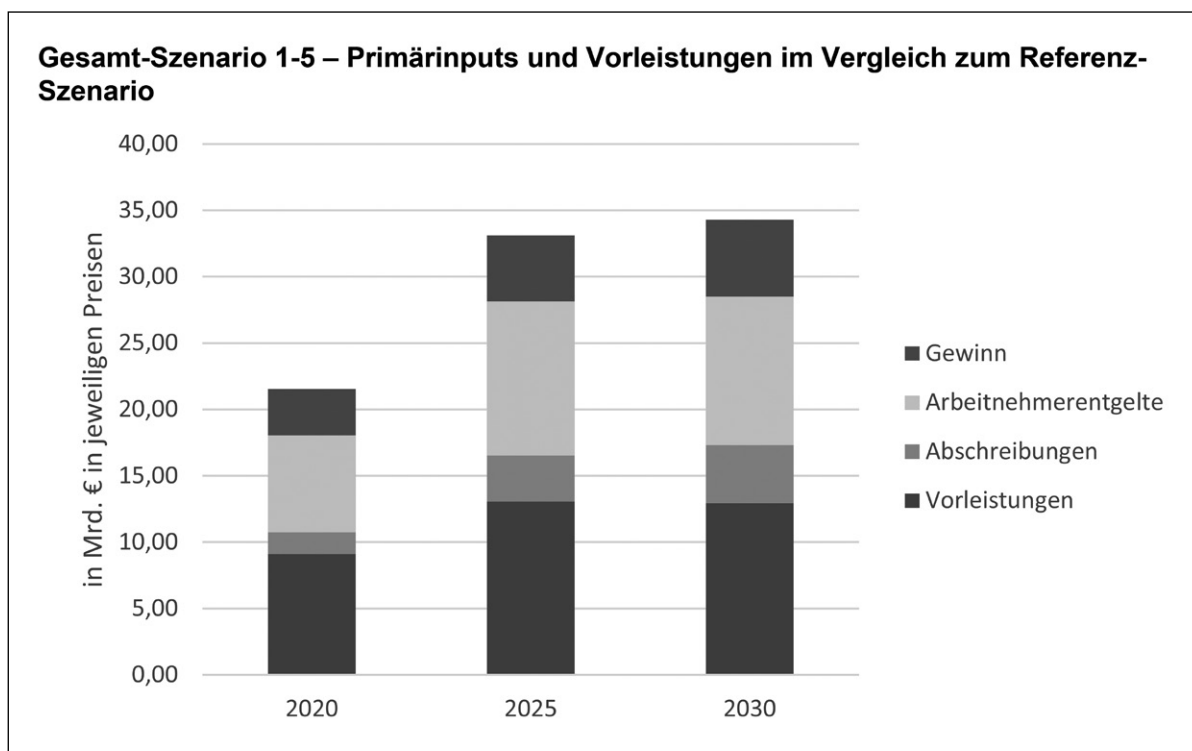
schaftlicher Sicht Investition in zusätzliche Gewinne darstellt, erzeugt gesamtwirtschaftlich trotz globalisierter Strukturen eine deutliche Erhöhung des Bruttoinlandsprodukts (vgl. Wolter et al. 2015).

Vor diesem Hintergrund werden im Hinblick auf die Erwerbstätigen negative Folgen für viele Branchen erwartet. Dabei folgt die Studie von Wolter et al. (2015) den auch hier beschriebenen Annahmen anderer Autoren zum Abbau von Tätigkeiten mit einem hohen Routineanteil und einem voraussichtlichen Anstieg von Tätigkeiten, deren Routineanteil eher gering ist. Prognostiziert wird unter anderem, dass 12 Prozent der Arbeitsplätze im Bereich der Maschinen und Anlagen steuernden und wartenden Berufe bis zum Jahr 2025 verloren gehen, während etwa IT- und naturwissenschaftliche Berufe, Bauberufe und Rechts-, wirtschaftswissenschaftliche Berufe von der Transformation profitieren werden. Die Einzelanalysen der unterschiedlichen Folgen von erhöhten Ausrüstungs- und Bauinvestitionen, einem veränderten Material- und Personalaufwand und einer veränderten Berufsfeldstruktur lassen sich in zweierlei Weise verdichten: zum einen unter Nichtbeachtung des Einflusses von Nachfrageeffekten, zum anderen unter explizitem Einbezug solcher Schätzungen. Im Folgenden wird ausschließlich auf das integrative Szenario eingegangen, das Nachfrageeffekte in Höhe von 2 Prozent berücksichtigt. Demnach besteht die Gesamtwirkung der Industrie-4.0-bezogenen Aktivitäten und Investitionen inklusive der erwarteten Nachfragestimuli aus einem ab 2020 anziehenden Export und einer kontinuierlich steigenden Konsumnachfrage, die teilweise durch Importe befriedigt wird. Insgesamt werden positive Entwicklungen bilanziert: Konsum, Investitionen und Außenbeitrag steigen, sinkende Importe werden durch zusätzliche Nachfrage kompensiert.

Für die vorliegende Studie ist der Blick auf Veränderungen bezüglich der Arbeitnehmerentgelte im verarbeitenden Gewerbe interessant, der im Verein mit Nettobetriebsüberschüssen (Gewinn) und Abschreibungen den Produktionszuwachs und damit die Wertschöpfung bei bestehenden Vorleistungen beschreibt (siehe Abb. 14, S. 48).

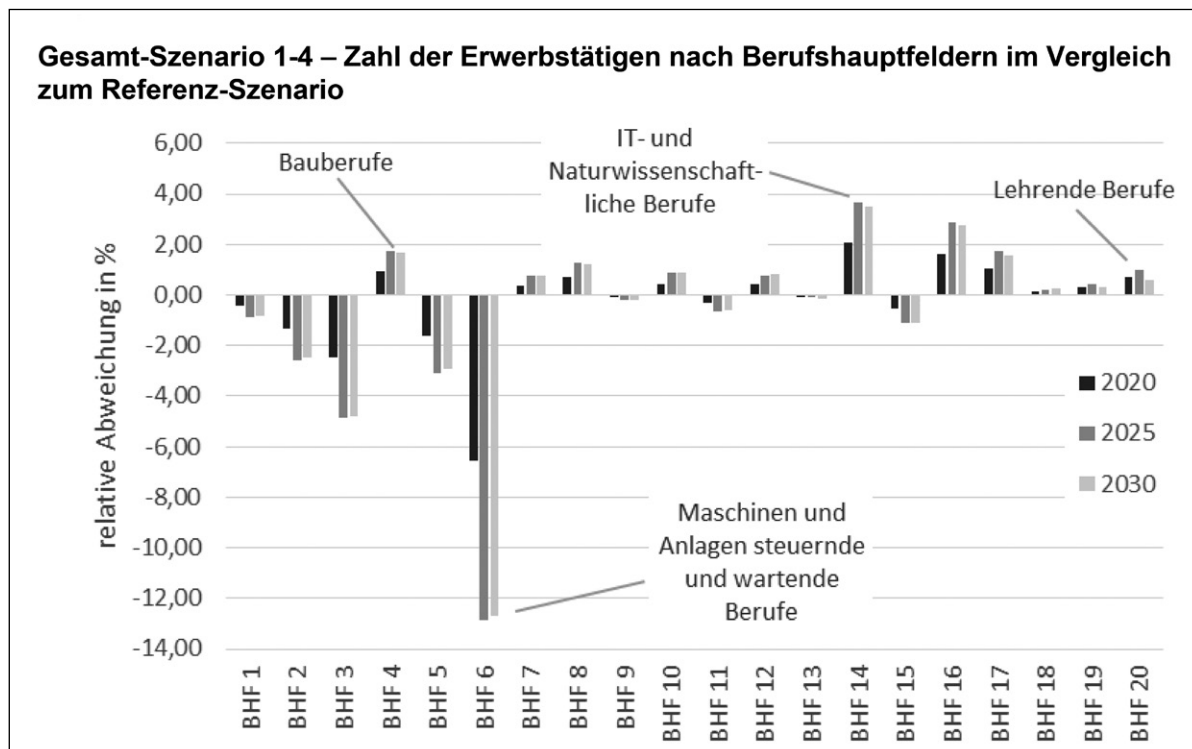
Bezüglich der Vorleistungen lässt sich eine Stagnation nach 2025 annehmen, die auf durch Industrie 4.0 erzielte Effizienzgewinne hinsichtlich der Roh-, Halb- und Fertigprodukte zurückzuführen sind. Abschreibungen werden infolge gewachsener Investitionen in den Vorjahren kontinuierlich zunehmen. Die anwachsenden Gewinne bewegen sich im Vergleich mit den Arbeitnehmerentgelten im gewohnten Rahmen: Sie waren bisher in der Regel weniger als halb so groß und werden dies dem Szenario zufolge auch in Zukunft sein. Dass die Arbeitnehmerentgelte deutlich steigen, liegt nach Wolter et al. (2015) im Abbau von Routine-tätigkeiten und steigender Arbeitsproduktivität im verarbeitenden Gewerbe begründet, die Berufsfelder mit höherem Qualifikationsniveau begünstigt. Welche Entwicklungen wo einsetzen werden, lässt sich mit einem

Abbildung 14: Wertschöpfungsanteile und Vorleistungen 2020–2030 (Gesamtszenario)



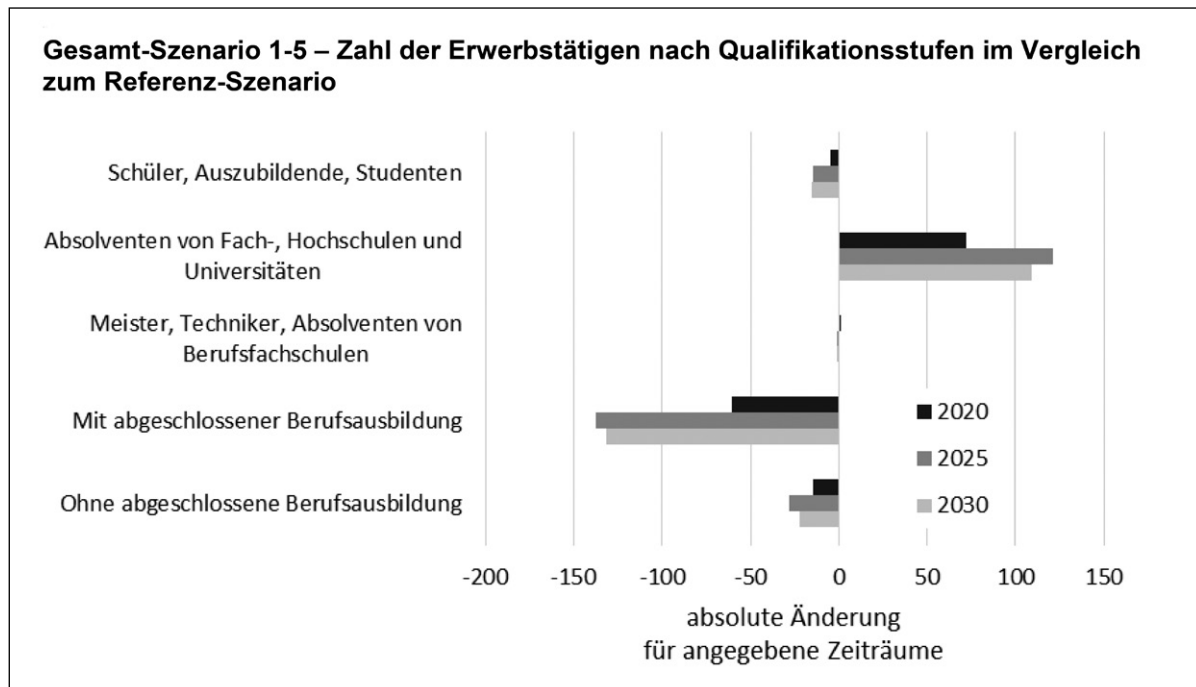
Quelle: Wolter et al. 2015

Abbildung 15: Bilanz Erwerbstätigenanzahl nach Berufshauptfeldern (Gesamtszenario)



Quelle: Wolter et al. 2015

Abbildung 16: Bilanz Erwerbstätigenanzahl nach Qualifikation (Gesamtszenario)



Quelle: Wolter et al. 2015

Blick auf die Zahl der Erwerbstätigen nach den erweiterten Berufshauptfeldern (BHF)¹³ sehen (siehe Abb. 15, S. 48).

Während Bauberufe, IT- und naturwissenschaftliche Berufe sowie lehrende Berufe zunehmen, erleiden im Bereich des verarbeitenden Gewerbes vor allem die Maschinen und Anlagen steuernden und wartenden Berufe substantielle Verluste – trotz zusätzlicher Nachfrage. Unternehmensberatung wächst ebenso wie der Bereich der medien-, geistes- und sozialwissenschaftlichen Berufe, die allerdings von der allgemeinen gesamtwirtschaftlichen Entwicklung profitieren. In dem Bereich der Hilfstätigkeiten, der Berufe im BHF 3 (Metall/Elektro) sowie der sonstigen be- und verarbeitenden Berufe gehen Arbeitsplätze in größerem Ausmaß verloren. Insgesamt ist das verarbeitende Gewerbe am stärksten von den Veränderungen durch die Industrie 4.0 betroffen (allerdings fokussiert die Studie auch genau diese Felder), vor allem infolge des gegebenen hohen Routineanteils. Wolter et al. (2015) rechnen im Saldo zwischen den abbauenden (200.000 Arbeitsplätze) und aufbauenden Branchen (140.000 Arbeitsplätze) mit einem Negativszenario von 60.000 verlorenen Arbeitsplätzen.

Bezogen auf Qualifikationsstufen ergeben sich folgende Veränderungen durch eine Transformation qua Industrie 4.0 (Abb. 16).

Für Meister, Techniker und Absolventen von Berufsfachschulen ändert sich im Hinblick auf Erwerbsmöglichkeiten wenig, Schüler, Auszubildende und Studenten müssen mit Verlusten im noch unteren fünfstelligen Bereich rechnen, für Arbeitende ohne Berufsausbildung stellt sich das noch etwas drama-

tischer dar. Deutliche Verluste erleiden demnach vor allem Fachkräfte mit abgeschlossener Berufsausbildung; hier gehen Arbeitsplätze im verarbeitenden Gewerbe im sechsstelligen Bereich verloren, abgemildert durch Chancen im Einzelhandel. Gewinner der Entwicklung sind die Absolventen von Fach- und Hochschulen sowie Universitäten (Wolter et al. 2015). Die Autoren bilanzieren: Insgesamt werden Verschiebungen bedeutsamer und der Strukturwandel zur Dienstleistungsarbeit beschleunigt sich. Das verarbeitende Gewerbe ist vom Arbeitsplatzverlust besonders betroffen, zugleich wirkt die zusätzliche Wertschöpfung als Stimuli für die Volkswirtschaft und als Treiber anwachsender Löhne. Lohndifferenzen zwischen verarbeitendem Gewerbe und Dienstleistungsbereichen vergrößern sich (vgl. ebd.).

Der mit dem Produktivitätszuwachs verbundene Arbeitsplatzverlust für Tätigkeiten mit hohem Routineanteil wird durch anders gelagerte höherwertige Arbeitsplätze zum Teil kompensiert. Akademische Qualifikationen entgehen Engpässen in mittleren

¹³ Die 20 erweiterten Berufshauptfelder sind eine Vergrößerung der 54 BIBB-Berufsfelder, die mit 12 Berufshauptfeldern des BIBB kompatibel sind. Im Einzelnen bezeichnet das BHF 1 Rohstoff gewinnende Berufe; BHF 2 Hilfstätigkeiten, Hausmeister; BHF 3 Metall-, Anlagenbau, Blechkonstruktion, Installation, Montage, Elektroberufe; BHF 4 Bauberufe, Holz-, Kunststoffbe- und -verarbeitung; BHF 5 sonstige be-, verarbeitende und instandsetzende Berufe; BHF 6 Maschinen und Anlagen steuernde und wartende Berufe; BHF 7 Berufe im Warenhandel: Verkaufsbereufe (Einzelhandel); BHF 8 Berufe im Warenhandel: Kaufleute; BHF 9 Verkehrs-, Lager- und Transportberufe; BHF 10 Sicherheits- und Wachberufe; BHF 11 Gastronomieberufe; BHF 12 Reinigungs- und Entsorgungsberufe; BHF 13 Büro-, kaufmännische Dienstleistungsberufe; BHF 14 Berufe im IT- und naturwissenschaftlichen Bereich; BHF 15 technische Berufe; BHF 16 rechts-, management- und wirtschaftswissenschaftliche Berufe; BHF 17 Medien- und geistes- und sozialwissenschaftliche sowie künstlerische Berufe; BHF 18 Gesundheitsberufe; BHF 19 Sozialberufe; BHF 20 unterrichtende Berufe.

Qualifikationslagen, da der Bedarf an Arbeitskräften mit akademischen MINT-Qualifikationen im oberen Segment steigt. Die Beschäftigungsprobleme für geringqualifizierte werden sich allerdings verschärfen (vgl. Wolter et al. 2015).

Windelband und Spöttl (2011) konstatieren für den Bereich der Logistik ambivalente Entwicklungen, die unter der Bedingung automatisierter Prozesse Niedrigqualifizierten Arbeitsplätze eröffnen, deren Handlungsspielräume allerdings durch kleinteilige Systemvorgaben äußerst gering ausfallen. Auf der anderen Seite sind solche intelligenten Systeme geeignet, vorhandene Qualifikationen besser zu nutzen und das Spektrum der Tätigkeiten von Beschäftigten zu erweitern – sofern sie nicht durch IT-Spezialisten verdrängt werden. Problemlösungskompetenz ist dabei Dreh- und Angelpunkt für das abverlangte Prozesswissen und damit entscheidend für Dequalifikation oder Aufwertung.

Für den Bereich Produktentwicklung und Engineering weisen Bauer und Schlund (2015) darauf hin, dass viele der gängigen Softwareanwendungen ihren Ausgang im *computer-integrated manufacturing* haben, es aber im Hinblick auf Arbeitsprozesse selbst zu verstärkter Digitalisierung gekommen ist, die intensivierete Kollaborationen befördert, unter anderem in nachgeordnete Unternehmensprozesse hinein. Im Hinblick auf Produktionsplanung und -steuerung wird ein Zusammenfallen von schon bestehenden Enterprise-Resource-Planning-Systemen mit Manufacturing-Execution-Systemen erwartet (vgl. Bauer/Schlund 2015). Durch die verstärkte Integration entlang kompletter Wertschöpfungsketten werden unter anderem eine verbesserte Steuerung und Disposition von Objekten und Materialien sowie eine vereinfachte Kollaboration zwischen den verschiedenen beteiligten Akteuren erreicht, sodass Vorteile auf der Ebene der effizienteren Organisation des globalen Entwicklungsprozesses inklusive Open-Innovation-Prozessen entstehen. Risiken werden in der Datensicherheit und dem Datenschutz gesehen, Fragen des *intellectual property* scheinen ungelöst, es besteht die Gefahr von Arbeitsverdichtung und einer Zunahme von Koordinationsaufgaben für Entwickler mit der Folge verlagertes Kompetenzen und eines Bedeutungszuwachses von Projektarbeit (vgl. ebd.). Indirekte Tätigkeiten in der Produktion und der wertschöpfungsketteninternen Logistik profitieren unter anderem von echtzeitnahen Steuerungssystemen, die ein genaues Abbild des Ist-Zustands abbilden, sowie vom Einsatz mobiler Robotik und Assistenzsystemen, die Digitalisierung wird durch personalisierte Lernformen unterstützt und erleichtert es, gesund und alter(n)sgerecht zu arbeiten. Auch im indirekten Bereich sind erweiterte Koordinationsanforderungen, Verschiebungen in der Mensch-Maschine-Interaktion und neuartige Kompetenzen und Qualifikationen absehbar, die nicht zuletzt das Risiko verstärkter Arbeitsverdichtung in sich tragen (vgl. Bauer/Schlund 2015).

Bezüglich des Aufgabenspektrums in einer «Instandhaltung 4.0» gehen Windelband und Dworschak

(2015) davon aus, dass höhere Komplexitäts- und Abstraktionsanforderungen und eine größere Problemlösungskompetenz gefragt sein werden, die auf vertieftem Wissen über IT und elektronische wie mechanische Systeme fußen. Das schließt Programmier- wie Netzwerkkennnisse ebenso ein wie erweitertes Prozess-Know-how, gesteigerte Analysefähigkeiten und tiefere System- und Methodenkenntnisse. Auch im Hinblick auf das Anwendungsfeld Leichtbaurobotik, etwa im Zusammenhang mit Assistenzsystemen zur Reduzierung belastender, monotoner oder gefährlicher Tätigkeiten, zeigen sich Automatisierungs- wie Spezialisierungsszenarien, die mit den erforderlichen wie möglichen Programmierungsarbeiten korrelieren und die die Frage nach der Menschzentrierung digitalisierter Arbeitswelten aufwerfen (vgl. Windelband/Dworschak 2015).

Auch im Hinblick auf industriennahe Dienstleistungen wie technische Planung und Beratung, Programmierung und Schulung sowie Wartung und Inspektion zeigen sich vielfältige Veränderungen durch eine zunehmende Digitalisierung, etwa der Planungs- und Prozesssteuerung im Anlagenbau, Applikationsspezialisten, die kundenseitige Beratung im Hinblick auf technische Großgeräte durchführen, oder bei IT-Servicetechnikern. Während Schnalzer und Ganz (2015) bei den beiden ersten Beschäftigtengruppen von erweiterten Freiheitsgraden in der Arbeitsgestaltung durch Digitalisierung bei gleichzeitiger Gefahr eines erhöhten Automatisierungstrends bilanzieren, stellen sie für IT-Servicetechniker eine Aufweichung der bisher eingeschränkten Autonomiespielräume fest, die vor allem in der erhöhten Selbstorganisation begründet ist. Insgesamt konstatieren sie Handlungsbedarf in nahezu allen Feldern arbeitswissenschaftlicher Dimension wie Arbeitsaufgabe und -tätigkeit, Arbeitsmittel und -organisation, Qualifikation und nicht zuletzt Führung und thematisieren auch die Beschäftigungsform in industriennahen Dienstleistungen als ein Feld, das durch substantielle Veränderungen gekennzeichnet ist (Schnalzer/Ganz 2015).

4.2 DIE IMMANENTE BASIS DER PROGNOSEN – GESELLSCHAFTS- POLITISCHE SZENARIEN

Die angesprochene unterschiedliche Qualität, Anlage und Rahmung der Studien und Veröffentlichungen zum Themenfeld Industrie 4.0 bringen es mit sich, dass konzeptuelle Grundlagen der jeweiligen Perspektiven und Ergebnisse nicht immer ausgewiesen oder diskutiert werden. Damit lassen sich Interessenlagen schwerer identifizieren, werden Kennziffern zu sakrosankten, weil dekontextualisierten Gewissheiten erhoben oder wird in einzelne Häufigkeitsausprägungen das Gewicht komplexer Erkenntnisse gelegt. Es gibt auch positive Beispiele, die die ihnen zugrunde liegende Perspektive genauer darstellen und auch im Hinblick auf Schlussfolgerungen differenziert argumentieren. Ein positives Beispiel dafür ist der Sammelband von Bott-

hof und Hartmann (2015), die unter der Perspektive technologieinduzierter Transformationsprozesse als soziotechnischer Innovationen den gegenwärtigen Stand der Debatte aus der Sicht unterschiedlicher Akteure präsentieren, die mehr oder weniger eng dem Technologieprogramm Autonomik 4.0 des BMWi zugeordnet werden können. Ausgangspunkt ist dabei die eher allgemeine Erkenntnis, dass technologische Innovationen, gesellschaftliche Bedürfnisse und ökonomische Herausforderungen in ihrem Zusammenhang und in ihren Wechselwirkungen zu verstehen sind. In ihren Folgen für die Gesellschaft kennzeichnet schon der Begriff der Transformation die besondere Qualität der Entwicklungen: Die Arbeitsgesellschaft wird neu aufgestellt. Vor diesem Hintergrund vereint der Band «Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0» die Sozialpartner ebenso wie Wissenschaftler und Praktiker (vgl. Botthof/Hartmann 2015).

In ihrer frühen Studie zu Qualifikationserfordernissen angesichts der zunehmenden Bedeutung des sogenannten Internets der Dinge wird dieses allgemein definiert als «Technologien zur intelligenten Vernetzung einzelner, zuvor zentral gesteuerter Produktionsprozesse, bei denen die zentrale Steuerung durch eine große Anzahl kleiner dezentraler intelligenter Module ersetzt wird, welche die Produktionsprozesse autonom und selbstregulierend ohne den Einsatz einer zentralen Instanz organisieren, steuern und optimieren, sodass eine ‚intelligente Umgebung‘ entsteht» (Zeller et al. 2010). Der Einsatz und damit der Verbreitungsgrad des Internets der Dinge wird nicht allein am technischen Potenzial festgemacht, sondern im Zusammenhang mit betriebswirtschaftlichem Kalkül, den Entwicklungen im Hinblick auf die Arbeitsorganisation und die Fabrikplanung, den Veränderungen auf den Facharbeitsmärkten und dem technologischen Fortschritt gesehen. Der Einsatz des Internets der Dinge ist insbesondere bei der Überwachung, Steuerung und Wartung von Maschinen und Anlagen, bei der Überwachung von Produkten (zum Beispiel mittels RFID-Technologie), bezüglich der produktionsinternen Logistik sowie hinsichtlich der Dezentralisierung der Produktion insgesamt von Bedeutung (vgl. Zeller et al. 2010).

Im *Tätigkeitsbereich Bedienen* reduziert sich die Vielfalt der Handlungen, gleichzeitig steigt die Anzahl der zu bedienenden Maschinen und Anlagen. Überwachungstätigkeiten verlagern sich weg von einer aktiven Kontrolle von Maschinen und Monitoren (Sichtkontrolle, Parameterkontrolle etc.) hin zu seitens der selbststeuernden Maschine signalisierten Kontrollabrufen. Im Bereich Kommunikation und Dokumentation dominieren netzgesteuerte Prozesse. Hinsichtlich der *Steuerungstätigkeiten* eröffnen sich neue Aufgaben im Bereich der Softwarewartung, mittels derer eine größere Anzahl von Maschinen gesteuert werden kann; Störungen werden vermehrt nach vorgeschriebenen Prozessschritten bearbeitet, wobei der Datenoutput von Maschinen und Anlagen die Grundlage für die Wahl einer angemessenen Handlungsentscheidung

in Eigenregie oder durch andere Personen bildet. Qualitätsanforderungen werden nicht zuletzt mittels installierter Prüfsoftware integraler Bestandteil des softwaregesteuerten Produktionsprozesses von Anfang an. Die fachbezogene Kommunikation wird dominant elektronisch unterstützt verlaufen, einen größeren Personenkreis umfassen und sich internationalisieren. *Instandhaltungsaufgaben* werden von Intervallprozessen auf bedarfsorientierte Wartung umgestellt und vermehrt Sensorik und Netzwerke sowie Programmieretechniken beinhalten. Das impliziert eine stärker mechatronische Ausrichtung. Wartung schließt vermehrt Kosten-Nutzen-Analysen ein, die der Komplexität der Anlagen und des Produktionsprozesses gerecht werden müssen (vgl. Zeller et al. 2010).

Die antizipierten Veränderungen durch die Umstellung der Produktionsprozesse gemäß der Vision des Internets der Dinge haben vielfältige Auswirkungen auf die Qualifizierungsanforderungen. Mit der tieferen Verschränkung von Mechanik und Elektronik werden erweiterte Programmierkenntnisse notwendig. Hinzu kommen Kompetenzen im Umgang mit Netzwerk- und Funktechnologien – nicht nur zur Unterstützung der menschlichen Kommunikation, sondern auch in der Interaktion entlang des Produktionsprozesses. Verbesserte Kenntnisse in Werkstoffkunde werden ebenso notwendig sein wie ein gutes Wissen zu Produktionsabläufen und Verfahrenstechnik. Erhöhte Analysefähigkeiten in Bezug auf die entstehenden abstrakten Datenströme, selbstständige Recherchekompetenzen und die Fähigkeit zum Organisieren von Problemlösungen sind ein weiterer Baustein. Solche metafachlichen Kompetenzen werden durch sozialkommunikative Eignung ergänzt, zu denen Sprachkompetenz ebenso gehört wie Team- und Kooperationsfähigkeit. Nicht zuletzt wird eine hohe Stressresilienz, also die psychische Widerstandskraft, mit Stress zurechtzukommen, zur Bedingung des erfolgreichen Handelns in Produktionsabläufen in der Umgebung des Internets der Dinge. Letztlich sind von diesen Entwicklungen in Richtung Bedeutungszuwachs überfachlicher Kompetenzen alle mittleren Qualifikationsstufen betroffen (vgl. Zeller et al. 2010).

Botthof (2015) folgt dem integrativen Ansatz des Arbeitskreises Industrie 4.0 (Kagermann et al. 2013), wenn er in einer knappen Skizze der dortigen Diskussionsstränge neben Arbeitsorganisation und -gestaltung auch Aus- und Weiterbildung als erkennbare organisatorisch-soziale Handlungsfelder benennt, die mit weiteren Aufgaben wie der Ausgestaltung rechtlicher Rahmen, der Gewährleistung einer sicheren digitalen Wirtschaft inklusive der Beherrschung komplexer Systeme oder dem Aufbau einer Referenzarchitektur mit offenen Standards verbunden sind. Neu zu entwickelnde Geschäftsmodelle sind nicht zuletzt dem effizienten Umgang mit Ressourcen verpflichtet. Impliziter Ausgangspunkt ist die Annahme, dass die einsetzende Entwicklung weite, wenn nicht alle Teile der Erwerbsgesellschaft sowie des Alltags jenseits der Er-

werbsarbeit erfasst, insbesondere aber Produktion und Logistik betrifft. Vernetzte Maschinen und Anlagen, internetbasierte Dienste, autonome technische Artefakte, dezentrale Produktionssteuerung oder automatische Einzelstückproduktion – Anwendungsgebiete gibt es viele. Jenseits einer damit oft verbundenen Debatte um ein bevorstehendes «Ende der Arbeit» wird der Fokus konsequent eher auf die Qualität digitalisierter Arbeit gerichtet und auf einzuschließende Faktoren wie Arbeitszufriedenheit und Gesundheit hingewiesen (vgl. Botthof 2015). Angesichts der prognostizierten Chancen wie Risiken für Arbeit und Beschäftigung wird die Notwendigkeit einer beschäftigtenorientierten Arbeits- und Qualifizierungspolitik betont. Als unerlässlich wird eine Weiterentwicklung des soziotechnischen Gestaltungsansatzes gesehen, die besonderer Referenzprojekte bedarf. Unter Berücksichtigung diversifizierter Belegschaften (Alter, Qualifikation, Geschlecht) werden neue Ansätze partizipativer Arbeitsgestaltung und Qualifizierung eingefordert.

Mit einer Industrie 4.0 verändern sich die Anforderungen an die Wissens- und Lernkultur in der Industrie. Als Akteure einer lernförderlichen Arbeit in einer Industrie 4.0 identifiziert Hartmann (2015) insbesondere Betriebe und Individuen, die anhand von vorhandenem oder auszubauendem Wissen und einer innovativen Arbeitsorganisation digitales Wirtschaften vorantreiben und absichern sollen. Unterstützung wird von aktuellen Projekten etwa des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) erwartet, die grundlagentheoretische Erkenntnisse dazu in konkrete Schritte der Arbeitsgestaltung übersetzen (vgl. Hartmann 2015). Die Industrie 4.0 in Deutschland konkurriert mit gleichartigen Entwicklungen in anderen Ländern. Dabei sichert erst die konkrete Umsetzung der Potenziale einer digitalisierten Wirtschaft in Form von effizienten, kostengünstigen und produktivitätssteigernden Anwendungen die Wettbewerbsfähigkeit insgesamt. Unternehmen scheuen wegen unklarer Folgen aktuell jedoch den Aufwand; es fehlt an Beispielen (vgl. Botthoff/Hartmann 2015).

Der Studie von Frey und Osborne liegt letztlich ein Phasenmodell kapitalinduzierter Technologiesprünge zugrunde, die als fortwährende Entwicklungsgeschichte immer neue Rationalisierungswellen hervorbringt. Die Effekte sind in der Vergangenheit auf Auswirkungen jenseits der Massenarbeitslosigkeit beschränkt geblieben, weil neue Technologien auch neue Chancen bedeuten können und sich neue Arbeitsmöglichkeiten ergeben haben. Das stellt sich mit der nun beginnenden erneuten Automatisierung anders dar, weil der bisherige *side effect* der Reallokation von Arbeit erstmals dominant wird und Arbeitsplätze durch Automatisierung substituiert werden. Erwartet wird ein deutlicher Anstieg der Arbeitslosigkeit. In den nächsten ein bis zwei Dekaden werden zunächst 47 Prozent der Beschäftigten von Automatisierungen erfasst, nach Überwindung derzeit bestehender technischer Engpässe und einer damit evozierten Ruhephase der Automa-

tisierungsschritte kommen im langfristigen Rahmen weitere 33 Prozent hinzu – Automatisierungseffekte sind demnach für 80 Prozent aller Beschäftigten zu verzeichnen. Bei Ausblendung von entgegenstehenden Effekten wie neuen Beschäftigungsmöglichkeiten stellt sich die beschriebene Entwicklung nahezu als schicksalhafte Bewegung dar, aus der es kaum Auswege gibt und die insbesondere Geringverdiener und Geringqualifizierte hart treffen wird (vgl. Frey/Osborne 2013).

Als Zielsetzung der Anstrengungen um erweiterte Strategien um Autonomik und Industrie 4.0 identifiziert Botthof (2015) die Sicherung des Produktionsstandorts Deutschlands. Dieser wirtschaftspolitische Vorsatz sei nur mit einer beschleunigten Entwicklung innovativer Produkte und Prozesse zu erreichen, mit hin einem umfassenden Ausbau innovativer Produktionstechnologie. In gewisser Weise verdichtet Botthof die integrative Perspektive einer Verzahnung von technologischen, sozialen und ökonomischen Aspekten, wenn unter dem Gesamtziel das Entstehen von Chancen und Risiken zwar konstatiert, (widerstreitende) Interessen der Beteiligten aber kaum ausbuchstabiert werden. Das verweist zwar auf konkrete, technisch wie organisatorisch konturierte Auswirkungen auf die Beschäftigten und betont dadurch bestehende Wahlmöglichkeiten der Ausgestaltung. Zugleich wird implizit eine Unhintergebarkeit des eingeschlagenen Weges konstatiert, der allenfalls bei Strafe der Beschädigung des Produktionsstandorts Deutschland verlassen werden kann. Das orientiert auf ein (in globale Konkurrenz eingebettetes) Phasenmodell fortschreitender Entwicklung. Auf diesem Technologiepfad sind Innovationen unabdingbar, verweisen frühere Entwicklungssprünge darauf, dass Humanressourcen daran zum besten Gelingen partizipativ zu beteiligen sind und letztlich ein allen zugutekommendes Gesamtziel verwirklicht werden kann. Die Rede von Chancen und Risiken bezeichnet eher Unwägbarkeiten als drohende manifeste Verluste aufseiten der Arbeitenden. Risiken können mit bewährten Mitteln der Qualifizierung oder organisatorischen Innovationen gemindert werden, in der Summe erwachsen (auch für Einzelne) mehr Vordenn Nachteile. Notwendige Qualifizierungsmaßnahmen werden sowohl an die gewerbliche wie hochschulische Aus- und Weiterbildung adressiert; damit überschreitet das Thema Industrie 4.0 den engeren wie weiteren (über-)betrieblichen Kontext und bindet die bekannten Bildungsinstanzen ein (vgl. Botthof 2015).

Die Arbeitswelt verändert sich konstant durch technischen Wandel, der immer Veränderungen von Arbeit und Beschäftigung hervorruft. Die mit Algorithmisierung und Robotik einhergehenden Möglichkeiten einer digitalisierten Wirtschaft verändern wenigstens für bestimmte Berufe mit hoher Automatisierungswahrscheinlichkeit, vor allem in der Industrie und im Logistikbereich, aber auch in der Dienstleistung, das Verhältnis von Kapital und Arbeit, weil menschliche Arbeitskraft durch Maschinen ersetzbar wird. Tech-

nologische Innovationen sind jedoch nur ein Teil eines umfassenderen Wandels: Zukünftig werden die Auswirkungen des a) demografischen Wandels, b) der Globalisierung und c) veränderter institutioneller Rahmenbedingungen die Arbeitswelt spürbar verändern (vgl. Eichhorst/Buhlmann 2015).

Im Hinblick auf die Globalisierung verweisen Eichhorst und Buhlmann (2015) auf eine verstärkte globale Integration als Folge des Zusammenspiels zwischen einer erhöhten Digitalisierbarkeit einzelner Arbeitsschritte, geringen Transportkosten und weltweit zunehmend gut qualifizierten Arbeitskräften. Länder mit aus Sicht der Kapitaleseite günstigem Verhältnis von Produktivität und Arbeitskosten könnten Vorteile generieren. Das erzeugt hohen Druck auf die Innovationsleistung von nationalen Standorten, die unter anderem durch gesteigerten Technologieeinsatz einen relativen Vorsprung erreichen beziehungsweise halten wollen. Dabei sind auch kapitalintensive Technologien probates Mittel, etwa um Kleinserien produzieren zu können (vgl. Eichhorst/Buhlmann 2015). Technologische Innovationen sind demnach Teil der kapitalistischen Rationalisierungsspirale.

Durch alternde und schrumpfende Belegschaften, so Eichhorst und Buhlmann (2015), entsteht ein hoher Ersatzbedarf; die Mobilisierung von Frauen, Migranten und älteren Arbeitnehmern inklusive Weiterbildungsbemühungen und die zielgerichtete Allokation von Arbeitskräften steuern dem entgegen. Demografischer Wandel verändert auch den Arbeitskräftebedarf in pflegenden Berufen beziehungsweise im Gesundheitswesen allgemein, die mit zunehmender Klientel und wachsenden Aufgaben eine steigende Nachfrage nach Personal haben. Technologische Potenziale können dazu beitragen, defizitäres Arbeitskräfteangebot auszugleichen. Hinzu kommen institutionelle Veränderungen, etwa im Pflegegesetz. Ergänzt wird dieser Aspekt auch durch neuere Entwicklungen bezüglich der Care-Arbeit wie etwa der modernisierten Kinderbetreuung; auf der anderen Seite tangiert die Veränderung der Lebensarbeitszeit den Arbeitsmarkt erheblich, ebenso wie flexibilisierte Arbeitszeiten, vielfältige Beschäftigungsformen und variable Entlohnungsstrukturen. Insgesamt generiert dies ein dynamischeres Beschäftigungssystem, das den Notwendigkeiten des technologischen und gesellschaftlichen Wandels im globalen Wettbewerb eher gerecht zu werden verspricht (vgl. Eichhorst/Buhlmann 2015).

Die Industrie 4.0 hat aus Sicht der Arbeitgeber (vgl. Becker 2015) einen (noch) hybriden Stellenwert: einerseits als zukunftsweisende Innovation, mit der automatisierbare Arbeiten erheblich ausgeweitet werden können und mit der Arbeitserleichterungen einhergehen, die von den Beschäftigten allerdings qualifikatorisch einiges abverlangt. Auf der Rückseite der Medaille sichert Industrie 4.0 die globale Wettbewerbsfähigkeit; da alle entwickelten Industriestaaten diesen Weg beschreiten werden, ist damit ein unhintergebarer Zwang zur cybertechnischen Innovation verbunden,

der sich zugleich den Risiken des *first mover* ausgesetzt sieht: Noch ist nicht genau absehbar, wie die Systeme effizient zu gestalten sind und welche soziotechnischen Effekte sie zeitigen. Es besteht also die Gefahr, einen falschen Pfad einzuschlagen und damit Wettbewerbsnachteile zu generieren.

In Bezug auf die Entwicklungen von Arbeit und Beschäftigung konstatieren Arbeitgebervertreter, dass sich zwei «potenziell konträre Linien» abzeichnen: Höheren Anforderungen an Komplexitätsbearbeitung, Abstraktionsniveau und Problemlösungskompetenzen auf der einen Seite steht ein eventueller Verlust an womöglich notwendigen Handlungskompetenzen gegenüber (Becker 2015). Das liegt weniger an der Technologie, sondern an der arbeitsorganisatorisch festgelegten Architektur derselben, die entweder restriktiv oder offen modelliert werden kann. Demzufolge liegt die Verantwortung für eine einengende oder ermöglichende Arbeitsorganisation und mithin für die Qualität der Arbeit in einer Industrie 4.0 in den Händen der die *smart factory* konzipierenden Manager und Wissenschaftler (Kagermann et al. 2013).

Auch gewerkschaftliche Positionen zur Industrie 4.0, wie sie Kurz (2014) formuliert, orientieren sich an den in den Umsetzungsempfehlungen für das «Zukunftsprjekt Industrie 4.0» festgehaltenen Perspektiven einer globalisierten Konkurrenzsituation (Kagermann et al. 2013), die zudem in Deutschland durch den drohenden Fachkräftemangel infolge des demografischen Wandels auch arbeits- und personalpolitische Konsequenzen hat: Zum Erhalt beziehungsweise zur Steigerung der Arbeitsproduktivität ist das Arbeitskräftepotenzial besser auszuschöpfen (vgl. Kurz 2014). Vor dem Hintergrund veränderter Altersstrukturen und gewandelter technologischer Systeme geht es Kurz zufolge darum, Arbeitsorganisation und Gesundheitsmanagement, Lernkonzepte und Laufbahnmodelle ebenso zu diskutieren wie arbeitsteilige Teams als integrative Lösungen zu denken. Aus gewerkschaftlicher Sicht mangelt es in dieser Hinsicht allerdings vielerorts an konkreten Ansätzen (vgl. Kurz 2014). Damit entsteht das Risiko, dass Beschäftigte abgehängt werden, Selbstausbeutung zunimmt und verstärkte Kontrolle Einzelne unter Druck setzt, womit eine hohe Arbeitsqualität nicht gewährleistet wäre. Gewerkschaftliche Forderung ist daher, partizipativ menschenzentrierte Systeme zu entwickeln, die ohne prekäre Arbeits- und Beschäftigungsverhältnisse auskommen und auf der Basis intelligenter Lern- und Arbeitssysteme Flexibilität und Wandlungsfähigkeit initiieren (vgl. Kurz 2014). Assistenzsysteme sollen vielfältige Lernumgebungen und attraktive Tätigkeiten anstreben, ergonomische Lösungsansätze verfolgen und alter(n)sgerechte Arbeit ermöglichen als auch Zugänge für Schwerbehinderte eröffnen (Bochum 2015).

Die als Strukturveränderung in Wirtschafts- und Arbeitswelt wirkende vierte industrielle Revolution ist in historischer Perspektive allein schon aufgrund seiner hochleistungsfähigen informationstechnologischen

Basis, die Vernetzung ermöglicht und enorme Speicherkapazitäten bereitstellt, ein tief greifender Umbruch. Die Zuweisung von IP-Adressen an Maschinen, Anlagen, Roboter und Produkte ist dafür nur ein Ausdruck unter anderen, ebenso wie die Anhäufung von großen Datensammlungen. Erste Beispiele, etwa zu führerlosen U-Bahnen oder Fernwartung, finden in der Praxis Anwendung, 3-D-Drucker setzen sich immer stärker durch.

Technologisch induzierte Arbeitslosigkeit durchzieht die Wirtschaftsgeschichte, etwa im Kohle-Stahl-Sektor oder der Textilindustrie. Diese volkswirtschaftlich als *mismatch*, das heißt als Diskrepanz zwischen angebotenen Arbeitsvolumen und der Gesamtnachfrage nach Arbeitskräften wahrgenommene Entwicklung ist arbeits- und sozialpolitisch zu flankieren. Als technologische Arbeitslosigkeit (Keynes) stellt es sich als Problem nicht angepasster Geschwindigkeiten des Fortschritts der Arbeitsproduktivität sowie der volkswirtschaftlichen Güternachfrage dar (vgl. Möller 2015).

Die Industrie 4.0 reiht sich aus Sicht der Unternehmensberatung MHP (2014) in die lange Abfolge industrieller Revolutionen seit dem Ende des 18. Jahrhunderts ein, die bei aller Unterschiedlichkeit im Einzelnen Wirtschaft wie Gesellschaft jeweils grundlegend veränderten, Einfluss auf die Produktivität nahmen und prosperierende Unternehmen erzeugten. Mit der Veränderung von Arbeitsprozessen und -bedingungen haben sie eine höhere Qualifikation der Arbeitenden zur Voraussetzung (vgl. Kelkar/Hegar 2014) wie zur Folge. Der demografische Wandel ist eine zentrale Bedingung für den Wirtschaftsstandort Deutschland; aus der Sicht der Unternehmensberatung MHP ist das Konzept Industrie 4.0 inklusive der darin schlummernden Flexibilitätspotenziale die passgenaue Antwort (vgl. Kelkar/Hegar 2014) – ohne Allheilmittel zu sein. Industrie 4.0 ist aufgrund der innewohnenden Effizienzsteigerungen auch unter ökologischen Gesichtspunkten vorteilhaft und schont Ressourcen durch optimierte Produktion.

Die MHP-Studie zeichnet das unter Protagonisten der Entwicklung einer Industrie 4.0 weit verbreitete Bild eines großen wirtschaftlichen und technologischen Potenzials, dem zugleich ein hohes Unterlassungsrisiko aufgrund von Verzögerungen entgegensteht. Positive Effekte für den Standort werden einerseits in der Anwendung der Industrie 4.0 gesehen, andererseits im Vertrieb von Komponenten und Software einer Industrie 4.0. Im Anschluss an die BITKOM-Studie (Bauer 2014) werden bis 2025 bei einem jährlichen Wachstum von 1,7 Prozent rund 78 Milliarden Euro an zusätzlicher Wertschöpfung erwartet, die durch neue Produkte, innovative Dienstleistungen und Geschäftsmodelle sowie eine effizientere Betriebsführung entlang der Wertschöpfungskette entstehen. Bilanziert wird, dass die Chancen die Risiken bei Weitem überwiegen (vgl. Kelkar/Hegar 2014).

Ausgangspunkt der Studie des Fraunhofer-Instituts ist eine Perspektive auf die für den Standort Deutschland essenzielle industrielle Produktion (über 20 Pro-

zent des BIP), die unter dem Stichwort Automatisierung und Ganzheitliche Produktionssysteme (GPS) gefasst wird. Büroarbeit mit ihrem technologischen Unterbau (Computer, Netzwerke, *mobile devices*) und soziale Verfahren mittels Technologie (kollaborative Echtzeitverhandlungen, soziale Medien) werden hier als Vorreiter gesehen (vgl. Spath et al. 2013). Trotz hohem Automatisierungsgrad bei repetitiven Tätigkeiten sind solche Entwicklungen an der Produktionsarbeit bisher weitgehend vorbeigegangen. Kennzeichnend sind hier dagegen GPS mit flachen Hierarchien und Delegation der Prozessverantwortung in die Produktion. In Orientierung an Markterfordernisse werden Serienprodukte variantenreich beziehungsweise als Kurzserien organisiert, mit erheblichem arbeitsorganisatorischen Aufwand.

Spath et al. (2013) identifizieren in Anlehnung an Abele (2011) zehn technologisch-wirtschaftliche, gesellschaftliche und ökologische Megatrends, die insgesamt Einfluss auf die Produktionsarbeit nehmen: Globalisierung, Technologieschub, Dynamisierung der Produktzyklen, Ressourcenverknappung, (lernende) Wissensgesellschaft, Terrorrisiko, demografischer Wandel, Mobilität/Logistik, Klimawandel und Energiewende sowie der Wachstumsmarkt Lebensqualität. Die befragten Experten leiten daraus drei für die Produktionsarbeit substantielle Handlungsstrategien ab: der steigenden Komplexität gerecht werdende Lösungen, unter anderem durch dezentrale Systeme; eine gesteigerte Innovationsfähigkeit, die Kosten, Qualität und Zeitverlauf als Parameter eines erfolgreichen Marktzugangs gleichermaßen berücksichtigt; sowie eine erhöhte Anpassungsfähigkeit und Flexibilität angesichts volatiler, kurzzyklischer Entwicklungen. Das umfasst zeitliche, inhaltliche und räumliche Flexibilität – abteilungsbezogen, aber auch über betriebliche Standorte hinweg. Das gilt im Rahmen einer lebensphasenorientierten Arbeitsorganisation quasi als ertragsreiche Bringschuld Jüngerer (vgl. Spath et al. 2013). Bereits heute ist jedes zweite Unternehmen mit den Flexibilitätsleistungen zufrieden, dennoch wird häufig eine Ausweitung gefordert. Dabei muss Flexibilität kurzzeitiger sein als bisher (ebd.). Arbeitende sollen durch Selbstorganisation den Steuerungsaufwand flexibilisierter Arbeit senken, unter anderem durch den Einbezug sozialer Medien (vgl. Spath et al. 2013).

Es wird davon ausgegangen, dass es unzweifelhaft zur Entwicklung Richtung Industrie 4.0 kommt, dieser Prozess aber schrittweise vorangeht und eher mittelfristig als kurzfristig eine breite Basis haben wird – wenn auch einzelne Referenzlösungen bei bereits gegebener technischer Ausstattung schneller bereitstehen werden – überwiegend wird ein Zeitraum der Diffusion des Konzepts beziehungsweise der praktischen Umsetzung von etwa 20 Jahren prognostiziert (vgl. Spath et al. 2013).

In Bezug auf den Grad der Digitalisierung bescheinigt die Studie der Gesellschaft einen relativen Stillstand im Vergleich zu den zurückliegenden Jahren:

Weder Zugänge, Kompetenzniveaus, multiple Anwendung noch die Offenheit gegenüber digitalen Medien konnten gesteigert werden. Gleichzeitig befindet sich die Digitalisierung allerdings auf einem recht hohen Niveau, insbesondere in einzelnen Bereichen ist der Durchdringungsgrad relativ hoch. Berufstätige schneiden in dieser Hinsicht besser ab als der Durchschnitt der Wohnbevölkerung (vgl. D21 2015).

Digitale Wirtschaft wird vom Staatssekretär beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) als «strategisches Element der Zukunftsfähigkeit Deutschlands» gewertet (BMWi 2015). Ausgegangen wird von einem zeitlichen Zusammenfall verschiedener technologischer Megatrends (Big Data, Cloud-Computing, 3-D, *mobile apps*, *social collaborations*, Industrie 4.0), die Wirtschaft, Wissenschaft, Politik und Gesellschaft insgesamt verändern. Ökonomische Tätigkeit und wirtschaftlicher Erfolg sind ohne Digitalisierung unmöglich – mithin besteht der Zwang zur Innovation. Dies wird als zentrale Gestaltungsaufgabe der Gesellschaft und ihrer wirtschaftlichen, wissenschaftlichen und politischen Teilsysteme angesehen, die übergreifend koordiniert werden muss. Wert zu legen ist dabei auf eigenständige Entwicklungen einer industriell basierten IT-Forschung, um Abhängigkeiten zu vermeiden. Beklagt wird eine Lücke zwischen Invention und Innovation, also dem zeitlichen Verzug zwischen Idee und produkttechnischer Umsetzung. Produkt- wie Prozessinnovationen sind dabei gleichermaßen bedeutsam. Diesbezügliche Chancen werden insbesondere in der Industrie und den Basissektoren Energie, Gesundheit, Verkehr und Bildung gesehen, werden aber zugleich in der Entwicklung sogenannter *smart services* verortet, den datenbasierten Dienstleistungsprodukten. Voraussetzung ist ein Ausbau breitbandiger Netzinfrastruktur. Eine Industrie 4.0 verändert Wertschöpfungsketten grundlegend und etabliert neue Geschäftsmodelle im Zusammenspiel von großen und mittleren wie kleineren Unternehmen, insbesondere soweit gemeinsam vernetzte Forschungs- und Entwicklungsarbeit geleistet wird (vgl. BMWi 2015).

Das Grünbuch des BMAS (2015) sieht das deutsche, auf kontinuierliche Produkt- und Prozessinnovationen ausgerichtete Wirtschaftsmodell durch ein disruptives Innovationsmodell (vgl. dazu grundlegend Christensen 2011) bedrängt, unter anderem durch die Möglichkeit, mittels Internet der Dinge schnell Produkte anzubieten. Bisherige Geschäftsmodelle und Innovationsstrategien stehen durch mit den Möglichkeiten einer digitalisierten Wirtschaft einhergehenden neuen Strategien unter Druck und sind gezwungen, den radikalen Veränderungen zu entsprechen. Erhöhte Produktivität, steigender Export und Kundennähe sind Positiva auch aufseiten der deutschen Leitindustrien, Risiken werden in neuer Konkurrenz aus dem IT-Bereich gesehen. Zugleich entstehen mit der Industrie 4.0 neue Produktionsswelten (vgl. BMAS 2015).

Offen ist, wie die Beschäftigungsbilanz dieser Entwicklung ausfällt. Das Grünbuch des BMAS (2015)

geht davon aus, dass einerseits neue Tätigkeiten entstehen, andererseits der mit den vergangenen Automatisierungswellen einhergehende Abbau insbesondere von Tätigkeiten mittlerer Qualifikation fortschreitet und damit die Gefahr einer Polarisierung der Beschäftigungsstruktur in Gering- und Hochqualifizierte besteht. Mit Hinweis auf die USA wird auch auf das Risiko einer Lohnpolarisierung verwiesen – in Bezug auf Osborne und Frey (2013) werden positive Beschäftigungseffekte als nicht gesichert bewertet. Gute Bildung und Ausbildung versprechen höhere Löhne und gesteigerte Produktivität (vgl. BMAS 2015).

In gesellschaftlicher Perspektive verweist das Grünbuch auf gewandelte Ansprüche an die Arbeit und veränderte Werte und Lebensentwürfe. Nicht nur, aber auch aufgrund gesteigerter Erwerbsbeteiligung von Frauen positionieren sich Arbeits- und Lebenssphäre neu zueinander, werden Work-Life-Balance-Modelle wichtiger und erfährt die Sinnhaftigkeit der Arbeit neue Bedeutung. Insbesondere die Generation Y steht dafür und zwingt, auch angesichts der demografischen Entwicklung, die Unternehmen zum arbeitspolitischen Handeln. Das muss in der Perspektive des Grünbuchs mit den Herausforderungen einer sozialen Absicherung in Einklang gebracht werden (vgl. BMAS 2015).

Globalisierung und der anhaltende Trend zur Wissensgesellschaft werden auch unter den Bedingungen der Digitalisierung Bestand haben, anspruchsvollere Technologien kommen zum Einsatz, gleichzeitig kommt es zu Verlagerungen in den Dienstleistungsbereich. Das erfordert bessere Ausbildungen, die der technologischen Entwicklung fachlich angemessen sind, aber auch verbesserte soziale und kommunikative Kompetenzen sowie die Fähigkeit, Problemlösungen zu erbringen, kreativ zu sein und ganzheitlich und vernetzt zu denken (vgl. BMAS 2015).

Den sozialstaatlichen Institutionen obliegt es, die Entwicklung hin zu einer Industrie 4.0 entsprechend zu begleiten, dabei den erreichten Standard zu sichern und so zu einer fairen Entwicklung der Marktwirtschaft beizutragen. Diese nationalstaatliche Aufgabe der Politik muss sich europäisch einbetten. In Bezug auf das Arbeitsrecht muss dessen Schutzgedanke in die digitalisierte Ökonomie übertragen werden. Hinsichtlich der Betriebsverfassung gilt es, den Mitbestimmungsgedanken zu erhalten und auszubauen und in demokratischen Unternehmen Beteiligungsrechte zu gewährleisten. Das stellt sich als Aufgabe des Staates, der Interessenverbände und der Einzelnen dar. Im Tarifrecht sieht das Grünbuch einen wesentlichen Standortvorteil, der zu erhalten ist, um Sozialpartnerschaft zu unterstützen. Hinsichtlich der Themenfelder Arbeitsschutz, Arbeitszeit und Gesundheitsschutz will das BMAS die Vernetzung, Automatisierung und Mensch-Maschinen-Koordination in Einklang mit den Arbeitnehmerinteressen gestaltet sehen, um körperliche Belastungen und Monotonie zu reduzieren, aber auch um Entgrenzungen zu begrenzen und zu einem «Internet der Dinge und der Menschen» zu gelangen.

Individuelle Beschäftigungsfähigkeit und Vermeidung von Arbeitslosigkeit stehen im Zentrum einer zukunfts-fähigen Arbeitsförderung, die zugleich dem Präventionsgedanken zugeneigt ist. Mit Blick auf den Wandel der Erwerbsformen steht im Themenfeld Sozial- und Rentenversicherung schließlich an, Selbstständige in eine Erwerbstätigenversicherung einzubeziehen und so den Schutz auszuweiten (vgl. BMAS 2015).

Die konkrete Ausgestaltung cyberphysikalischer Systeme wird durch technische, organisatorische und rechtliche Rahmenbedingungen im nationalen wie internationalen Kontext gleichermaßen beeinflusst – die damit verbundene Vielgestaltigkeit lässt gesellschaftliche Folgen nur bedingt vorhersagen. Sicher ist: Auf diesem Pfad gibt es kein zurück – eine Prognose, die alle hier referierten Studien teilen.

Auf der einen Seite ist intensivere Mitwirkung und individuelle Gestaltung von Lebensentwürfen vorstellbar, auf der anderen Seite bestehen Ängste vor Beeinträchtigung der Privatsphäre und Überwachung, der Einschränkung der Grundrechte, Kontrollverlust des Staates sowie vor einer Spaltung der Gesellschaft entlang digitaler Kompetenzen. Insgesamt werden soziale Prozesse und Strukturen betroffen sein bis hin zu Interaktionen auch zwischen Mensch und (teil-)autonomer Technik. Derartige Folgen sollten sowohl untersucht und dokumentiert als auch im gesellschaftlichen und politischen Dialog der sozialen Bewertung anheimgestellt werden. Acatech sieht insbesondere jene in der Verantwortung zur interdisziplinär fundierten Regulierung, die den Wandel vorantreiben (Acatech 2012).

Als gesellschaftliche Herausforderung wird einerseits ein selbst für Experten geringer Grad an Transparenz angeführt, der – wie im Finanzsystem – Verwerfungen produzieren kann. Räumlich-physikalische Grenzen verlieren aufgrund globalisierter Vernetzung ihre Bedeutung als Ordnungsrahmen, was nach neuen Ordnungsprinzipien verlangt, die zum Beispiel Eigentumsrechte definieren. Auch Fragen von Konflikt und Fairness sind darin neu und in einer hinsichtlich gewohnter Sicherheits-, Ethik- und Qualitätsstandards kulturell offenen Art und Weise zu beantworten – was ein *downgrading* impliziert. Technik und Gesellschaft entwickeln sich in ko-evolutionärer Bewegung, ohne dass deterministische Verhältnisse anzunehmen wären (vgl. Acatech 2012).

Die digitale Transformation wird als fundamentaler Wandel der europäischen Industrie und Industriegesellschaften gesehen. Deutschland ist aufgrund seines im internationalen Vergleich hohen Anteils des produzierenden Gewerbes an der Wirtschaftsleistung (22 Prozent gegenüber dem europäischen Durchschnitt von 16 Prozent) besonders betroffen, hat aber auch besondere Chancen. Insgesamt ist die Transformation allerdings ein europäisches Problem, da notwendige Aktivitäten (Recht, Standardisierung etc.) angesichts der internationalen Dimension der digitalen Ökonomie nur noch in diesem Rahmen sinnvoll bearbeitbar erscheinen (vgl. Berger/BDI 2015).

Die Öffentlichkeit ist aufgefordert, zwischen naiv freizügigem Datenverkehr und überzogenem Datenschutz eine fundierte und ausgewogene Bewertung notwendiger Datensammlungen zu erarbeiten. Mit der digitalen Ökonomie werden sowohl der Aufbau neuer Arbeitsplätze als auch der Verlust herkömmlicher, vor allem gering qualifizierter Tätigkeiten verbunden sein. Darin unterscheidet sich der anstehende Strukturwandel durch Digitalisierung nicht von vorgängigen Strukturbrüchen. Für ein positives Arbeitsplatzsaldo ist insbesondere in Qualifizierung zu investieren und Aus- wie Weiterbildung entsprechend zu reformieren (vgl. Berger/BDI 2015).

Das Big-Data-Umfeld wird als von den Vorstellungen von Datenschutz gerahmtes zukünftiges Geschäftsmodell und Organisationsparadigma gesehen – selbst zwei Drittel der Manager würden ihre persönlichen Daten nur ungern Unternehmen zur Verfügung stellen. Die MHP-Studie plädiert daher einerseits für ein klares Regelwerk, andererseits für Anreize zur Preisgabe der Daten durch die Kunden (MHP 2015). In Bezug auf den Diffusionsgrad der Big-Data-Vision selbst stellt die MHP-Studie fest, dass ein Viertel der Befragten das Thema in der Phase des technologischen Auslösers wähnt, über die Hälfte nimmt die Thematik als gerade aktuellen Hype mit vielfach überzogenen Erwartungen wahr. 6 Prozent zeigen sich enttäuscht, für 16 Prozent ist Big Data gelebte Wirklichkeit und nur 2 Prozent erkennen eine schon bestehende Produktivitätsrelevanz. Insofern dominieren Skepsis und neutrales Abwarten bis zum Nachweis des Nutzens (vgl. MHP 2015).

Kunden durch die Analytik der Big Data besser zu verstehen ist Grundlage dafür, sie besser zu steuern und damit Prognosen unter anderem auf dem volatilen Käufermarkt zu verbessern – das ist das vordringliche Ziel der sogenannten OEMs, während Zulieferer eher an der Optimierung der Wertschöpfungskette und Effizienzgewinnen interessiert sind. Das entspricht den jeweiligen Geschäftsmodellen. Für die Anwendung werden insbesondere drei Herausforderungen gesehen, die unternehmens- wie arbeitspolitisch relevant sind: 40 Prozent der Befragten vermissen eine klare Strategie, fast zwei Drittel bemängeln fehlendes Wissen und *skills* und für 54 Prozent muss die bestehende Infrastruktur erst modernisiert werden, damit sie Big Data nutzen können. Regulierung und Datenschutz sind weitere Themenfelder, die von jeweils einem Drittel genannt werden (MHP 2015).

Letztlich erzeugen Ökonomie und Technisierung zusammen den dynamischen Prozess der Modernisierung der Wirtschaft wie der Gesellschaft. Die gegenwärtige Debatte um die Industrie 4.0 wird dagegen als weitgehend technizistischer Diskurs eingeschätzt, die gesellschaftlichen Folgen sind unterbelichtet, Fragen nach Chancen für sozialen Fortschritt und Innovationen bislang randständig. Als soziale Innovationen kann die Industrie 4.0 erst dann bilanziert werden, wenn sich ihr gesellschaftlicher Nutzen zeigt – als Prinzip, Recht, organisationale Form, im Verhalten, als Geschäftsmodell.

dell, Produkt, Arbeitsprozess und Technologie. Erst aus dieser Gesamtheit entsteht gesellschaftliche Neuerung. Unter diesen Voraussetzungen birgt die betriebswirtschaftliche Idee einer Industrie 4.0 dann volkswirtschaftlichen und sozialen Fortschritt (Buhr 2015).

Im Hinblick auf eine Innovationspolitik, die den Potenzialen der Industrie 4.0 gesellschaftlich nutzbringend begegnet, formuliert Buhr (2015) zehn Thesen. Neben einem systemischen Ansatz, der sämtliche rechtlichen, sozialen, technischen, wirtschaftlichen, bildungspolitischen etc. Standards integriert, wäre eine soziotechnische Ausgestaltung jenseits einer technizistischen Architektur der Industrie 4.0 vonnöten. Sozialer Fortschritt ist dabei unabdingbar und muss im Dialog mit der Gesellschaft gestaltet werden. In diesem Sinne ist Industrie 4.0 im Kern eine soziale Innovation, die im Rahmen einer koordinierten Marktwirtschaft ökonomisch erfolgreich operieren kann. Aus- und Weiterbildung und eine entsprechend bessere Ausstattung der Institutionen sind zentrale Bausteine für eine menschengerechte Gestaltung der digitalen Ökonomie und Grundlage einer erfolgreichen Technikförderung. Die Industrie 4.0 ist im europäischen Rahmen und vor dem Hintergrund des europäischen Marktes zu denken – insbesondere im Hinblick auf gemeinsame Standards. Datenschutz und -sicherheit sind elementare Bestandteile der Digitalisierung. Für kleinere und mittlere Unternehmen stellt die Industrie 4.0 eine weit aus größere Hürde dar als für Großunternehmen – entsprechend sind geeignete Instrumente zu entwickeln, Ersterer unterstützend zu begleiten, unter anderem auf verbandlicher Ebene. Systemische Innovation in diesem Sinne braucht koordiniertes, aber auch schnelles Vorgehen aller Akteure, insbesondere der Politik (vgl. Buhr 2015).

Die Industrie 4.0 gilt als neues, insbesondere in den Ingenieurwissenschaften, der Informatik und bei Wirtschaftsverbänden sowie der Politik, virulentes Leitbild. Der faktische Stellenwert ist ungeklärt, allerdings wird das Thema als Beschreibung des zukünftigen Pfades industrieller Entwicklung in Deutschland im Sinne eines unhintergehbaren Prozesses gesetzt. Bisweilen wird auf die gesellschaftliche Verpflichtung verwiesen, Einfacharbeit zu erhalten (vgl. etwa Kagermann et al. 2013), um spezifischen Beschäftigtengruppen eine Arbeitsplatzperspektive zu geben (vgl. Ittermann et al. 2015).

Wolter et al. (2015) sehen in der voranschreitenden Urbanisierung und dem globalen Bevölkerungswachstum zwei Prozesse, die eine effizientere Gestaltung des Handels- und Transportgewerbes sowie der Landwirtschaft erforderlich machen, wofür die in den klassischen industriellen Sektoren eingeübten Schritte der Digitalisierung Erfolg versprechend seien. Auch die stärker zunehmende Nachfrage nach individualisierten Produkten, die einer zeitkritischen Nachfrage unterliegen, stellen insbesondere die Logistik und den Handel vor neue Herausforderungen. Wolter et al. bilanzieren einen angesichts der demografischen

Entwicklung unterhalb der Möglichkeiten bleibenden Entwicklungspfad; diesen Effekt vermag selbst eine auf sämtliche Bereiche ausgedehnte Transformation à la Industrie 4.0 nicht zu kompensieren, eine positive Unterstützung stellen die qua dieser Modernisierung hervorgebrachten Produktivitätszuwächse allemal dar. In letzter Konsequenz ist die Digitalisierung der Wirtschaft alternativlos angesichts gegebener Konkurrenz auf dem Weltmarkt, andernfalls drohen Marktverluste, Produktionsrückgänge und Arbeitslosigkeit. Die Transformation selbst ist damit unausweichlich, einzig die Art und Weise ihrer Ausgestaltung ist zu verhandeln – Ziel wäre ein nachhaltiger Übergang (vgl. Wolter et al. 2015).

Dezidiert mit den gesellschaftlichen Folgen eines Umbruchs der Produktions- und Dienstleistungsarbeit setzt sich am Beispiel des Cloudworkings die Gruppe um Boes auseinander – wenn auch mit dem Hinweis auf den vorläufigen Charakter ihrer Überlegungen. Im Anschluss an frühere Beschreibungen zum Informationsraum (s. o.) klassifizieren sie das «Cloud-Paradigma» als konzeptuellen Zugang zum sozialen Handlungsraum, der strategisch zu besetzen ist. Das begründet zum einen die substantielle Redefinition des organisationalen Selbstverständnisses der Unternehmen, zum anderen müssen sie das Verhältnis zur Umwelt *im* Informationsraum bestimmen, unter anderem auch die Beziehungen zu den dort agierenden Personen, die als Kunden und produktive Akteure zu binden sind (vgl. Boes et al. 2014). Dabei sind es nicht nur profitfähige Handlungen, die für Unternehmen relevant sein können, sondern gerade gesellschaftlich nützliche Arbeit, die von Individuen eingebracht wird – und mithin als mögliche Konkurrenz das System gesellschaftlicher Arbeit erweitert, aber Unternehmen auch irritiert – es entstehen Interdependenzen. Diese haben sich von einem früheren Nebeneinander zu eher integrativen Beziehungen verdichtet: Boes et al. nennen die wachsende Zusammenarbeit zwischen Unternehmen und Open-Source-Communities und den Übergang von netzbasierten Initiativen zu kapitalistischen Unternehmen mit hohem Marktwert, die zu strategischen Akteuren des Informationsraums werden (Facebook, Google etc.). Aktuell versuchen Unternehmen eine Anschlussfähigkeit solcher neuen Formen gesellschaftlicher Arbeit an ihre Produktionsprozesse sicherzustellen. Boes et al. sprechen in diesem Zusammenhang mit Dörre (2009) von einer «Landnahme», bei der es sich um eine Inwertsetzung des Informationsraums mit den dafür erforderlichen Instrumenten und Methoden des Cloudworkings handelt. Die zu beobachtende Tendenz, abseits einer reinen Crowdsourcing-Architektur zu geschlossenen Informationsräumen überzugehen, beinhaltet zugleich eine Form der stärkeren Bindung der Arbeitenden des Informationsraums an das Unternehmen – auch dies eine Form der Kapitalisierung, die unter anderem eine systematische Leistungssteuerung einschließt (vgl. Boes et al. 2014). Das wirkt natürlich auf die interne Organisation von Unter-

nehmen zurück und etabliert insgesamt ein systematisch integriertes Unternehmen mit entsprechenden individualisierten Herrschafts- und Kontrolltechniken, die Freelancer und Clickworker zum konkurrenzialen Bestandteil des Produktionsprozesses macht. Boes et al. bilanzieren dies als eine «Industrialisierung neuen Typs», die global integrierte Unternehmen in die Lage versetzt, Arbeit strategisch zu verlagern und dabei Vor- und Nachteile unterschiedlicher Regulierungsmodi in den Volkswirtschaften, aber auch im Unternehmen selbst (Stammebelegschaften vs. Freelancer) zu nutzen (ebd.). Das dürfte zu erheblichem Druck auf die Schutzrechte von Beschäftigten führen und deren Anerkennung unterlaufen. Das diesem Szenario innewohnende Drohpotenzial lässt Unsicherheit zu einem zentralen Wirkmechanismus werden (vgl. Boes/Bultemeier 2010). Erst im Wechselspiel von Innen und Außen erzielt dieser Prozess seine Dynamik, stellt die Unternehmensorganisation selbst zur Disposition und befeuert die Permanenz von Bewährungsproben der Beschäftigten in und durch Arbeit – nicht zuletzt mit der Folge von Überlastung (vgl. Boes et al. 2014).

Butollo und Engel (2015) verweisen auf die unverhohlene Standortnationalität, die den Befürwortungen der Industrie-4.0-Visionen zugrunde liegt – es ließe sich über den engeren Nationalbegriff hinaus allerdings ergänzen, dass dabei insbesondere die transatlantische Konkurrenz des europäischen Wirtschaftsraums mit den USA beziehungsweise mit asiatischen Regionen eine Rolle spielt. Auch Gewerkschaften tragen die mit der Digitalisierung verbundene Debatte um notwendige Standortvorteile im globalen Konkurrenzkampf mit (vgl. Butollo/Engel 2015).

In arbeits- wie gesellschaftspolitischer Perspektive werden die Anstrengungen zur Umsetzung der Vision einer Industrie 4.0 in eine infrastrukturelle wie wertschöpfungsreife Praxis in einen Zusammenhang mit gesellschaftlichen Entwicklungen wie der Erosion von Tarifstandards und verbetrieblicher Interessenaushandlung, Prekarisierungsmustern und finanzmarktinduziertem Wandel der Produktion gestellt. Angesichts prinzipiell technisch unterminierbarer Regulation gerät Sozialpartnerschaft regelmäßig unter Druck, wenn technologischer Wandel Einzug hält, ganz zu Schweigen von den Beschäftigten außerhalb dieser Bereiche (vgl. Butollo/Engel 2015).

Bezüglich der von Protagonisten der Debatte herausgestellten Effizienzgewinne, die Vorstellungen eines abgeschwächten Produktivitätszuwachses konterkarieren, verweisen Butollo und Engel (2015) darauf, dass solche Berechnungen die Nachfrageseite unberücksichtigt lassen und dass es sich angesichts der andauernden strukturellen Überakkumulation weniger um insgesamt steigendes Wachstum denn um Verdrängungsmechanismen handelt, nicht zuletzt zulasten nicht digitalisierter Wertschöpfungssysteme. Der so verschärfte internationale Wettbewerb begünstigt nationale Lösungen, auch wenn strategische Partnerschaften nicht ausgeschlossen sind. Im Kern geht es

um die Steigerung deutscher Weltmarktanteile, ohne dass Grenzen des Wachstums eine Rolle spielen oder ökologische Potenziale zentral wären. Mehr noch: Die stoffliche Basis der digitalen Ökonomie wird in der Debatte zumeist nicht zur Kenntnis genommen, was Hypostasierungen der Effekte begünstigt und eine Relegitimierung des Kapitalismus trotz eines Wachstums ohne positive Beschäftigungseffekte befördert. Angesichts erwartbarer technologisch bedingter Arbeitslosigkeit mit einem Abstieg von Beschäftigten mit geringfügigen und mittleren Qualifikationen auch im Dienstleistungssektor spitzen sich gesellschaftliche Probleme zu, die mit den eingeübten Verteilungs- und Wohlfahrtssystemen kaum zu bewältigen sind, sondern eines grundlegenden Wandels des Erwerbs und der Verteilung von Reichtum bedürfen. Das bezieht ein neues Verhältnis von Wertschöpfung in der Industrie qua Robotik und beschäftigungsintensiver Care-Arbeit ein, dessen Diskrepanzen im Lohngefälle besonders deutlich werden (vgl. Butollo/Engel 2015).

4.3 AKTIVE UND PASSIVE TRÄGER – VERSPRECHUNGEN UND HOFFNUNGEN VERSUS VORBEHALTE UND BEFÜRCHTUNGEN

Die wirtschaftspolitische Innovationsstrategie einer Industrie 4.0 ist insgesamt ein voraussetzungsvolles Unterfangen – zumal die betrieblichen Protagonisten nur unzureichend auf die Komplexität soziotechnischer Systeme eingestellt sind (vgl. Hartmann 2015). Botthof (2015) nennt in einer eher praxisnahen Gestaltungsperspektive eine Vielzahl von Akteuren: Einer frühen gewerkschaftlichen Positionierung aus dem Jahr 2009 stellt er das wohlmeinende Zeugnis einer ausgewogenen, praxisorientierten Stellungnahme aus: Mögliche Verluste an Kontroll- und Steuerungstätigkeiten werden ebenso thematisiert wie Gestaltungspotenziale. Die aus diesen Überlegungen entstandenen Hinweise auf Technik- und Organisationsentwicklung laufen insbesondere auf Qualifizierung und Partizipation der Arbeitenden hinaus – ein seit den Debatten um Technologiefolgenabschätzung eingeübter Schritt von den Sozialpartnern, dessen Probleme häufig erst in der (finanziellen) Ausgestaltung konkreter Projekte vor Ort sichtbar werden. Bildungsinstitutionen wie in der dualen Ausbildung oder im Hochschulbereich werden als Protagonisten einer notwendigen Qualifizierungsinitiative benannt. Partizipative Technologie- und Organisationsansätze beziehen nicht zuletzt die Arbeitenden ein – in welchem Grad und mit welcher Intention, bleibt allerdings weitgehend ungesagt. Verbände und Gewerkschaften gelten als kooperative Akteure in einem sozialpartnerschaftlich zu gestaltenden Innovationsprozess; die unterschiedlichen staatlichen Forschungs- und Entwicklungsprogramme werden als notwendige Rahmung der Anstrengungen der Industrie gewürdigt. Unternehmen werden eher in Bezug auf ihre organisationstechnologischen Beiträge angesprochen – als der Ort, an dem der technologische Innovati-

onsschub greifbar wird, scheinen sie eher in einen linearen Prozess gestellt, dem sie nicht entgehen können. Das bricht in gewisser Weise mit dem Ansatz prinzipiell möglicher Gestaltungsoffenheit und führt die Möglichkeiten der Betriebe vergleichsweise eng. Ökonomische Aspekte bleiben in dieser Sichtweise zudem außen vor, sieht man einmal von vagen Hinweisen auf Effizienz ab (Botthof/Hartmann 2015).

Hartmann (2015) verortet das Projekt Industrie 4.0 in der Tradition der deutschen Industrie- und Arbeitskultur der vergangenen fünf Dekaden, sieht es aber durch hinzukommende Aspekte wie den demografischen Wandel und die ausgeweiteten technischen Möglichkeiten digitalisierter Produktion vor besondere Herausforderungen gestellt. Insofern muss technologischen Innovationen insbesondere eine lernförderliche Arbeitsorganisation zur Seite gestellt werden, die die bereits dem Ansatz soziotechnischer Systeme eigene integrative Perspektive aufgreift und die Vielschichtigkeit von Arbeitshandeln unter der Voraussetzung der unterschiedlichen Arbeitsvermögen Einzelner sowie die Interaktion von Technik, Organisation und Individuum berücksichtigt. Das fußt unter anderem auf programmatischen Ansätzen einer modernen Arbeitskultur, wie sie etwa in den Programmen zur «Humanisierung der Arbeit» (grundlegend: Fricke 1975) oder «Lernen im Prozess der Arbeit» (vgl. Baumgärtner 2009) angelegt sind. Im Hinblick auf Innovationen wird darauf verwiesen, dass nunmehr innovationsförderliche Verfahren einen dritten Weg einer lernförderlichen Arbeitsumgebung etablieren, die weniger gesellschafts- beziehungsweise bildungspolitisch ausgelegt ist (wie die beiden vorgenannten Programme). Hartmann zufolge sagen weder Aufwendungen für Forschung und Entwicklung noch der Anteil Hochqualifizierter etwas über Innovationsfähigkeit aus; diese erfährt erst dann Substanz, wenn entwickelte Kompetenzen in der Belegschaft und in den Funktionsbereichen breit gestreut sind. Dazu gehören das spezialisierte Fachwissen (Humankapital), das vielfältig vorhanden ist und zur Erzeugung komplexer Produkte verknüpft werden kann (Komplexitätskapital). Betriebliche Strukturen müssen sowohl Wissen aus Forschung und Entwicklung als auch aus der eigenen Arbeitspraxis ermöglichen (Strukturkapital) und auf Vernetzung mit externem Wissen bei Forschungs- und Bildungsinstitutionen (Beziehungskapital) setzen. Es kommt im Hinblick auf das Thema Industrie 4.0 darauf an, lernförderliche Arbeit als Bestandteil eines übergreifenden soziotechnischen Systems zu etablieren, nicht zuletzt um den seit Langem bekannten *ironies of automation* (Bainbridge 1983) zu entgehen (vgl. Hartmann 2015).

Prinzipiell sehen Frey und Osborne (2013) politische Interventionen (unter anderem auch, aber nicht nur in Bezug auf die Lohnentwicklung) als wirkmächtige Akteure, die einer linearen Fortschreibung der von den Autoren prognostizierten Automatisierung von Berufen entgegenstehen. Allerdings wird es Gruppen geben, deren Widerstand vermutlich eher schwach aus-

fallen dürfte, weil Ressourcen fehlen oder die Tätigkeit als solche leicht und kostengünstig automatisierbar ist. Vergleichsweise robust erscheinen dagegen Tätigkeiten, in denen es um Wahrnehmungen und Manipulationen geht, sowohl in technischen Umwelten (Pilot) wie in sozialen Arbeitsfeldern (Pflege), in denen es auf ein sicheres Reaktionsvermögen in komplexen Situationen ankommt. Auch kreative Tätigkeiten zeichnen sich als solche durch ein geringes Automatisierungspotenzial aus; konzeptionelle Aktivitäten, künstlerische oder wissenschaftliche Tätigkeiten sind gegenwärtig schlecht automatisierbar. Berufe mit einem hohen Bedarf an sozialer Intelligenz sind ebenfalls geschützt. Als hoch gefährdet nennen Frey und Osborne Beschäftigte mit geringen Qualifikationen sowie Geringverdiener, deren Berufe am stärksten und in geringer zeitlicher Distanz von Automatisierung betroffen sein werden (vgl. Frey/Osborne 2013).

Unter den Rahmenbedingungen einer forcierten, auch durch technologische Potenziale gesteigerten weltwirtschaftlichen Integration geht von zunehmend gut qualifizierten Arbeitskräften ein Konkurrenzdruck auf hiesige Arbeitnehmer aus, den Betriebe mit einem erhöhten technologischen Einsatz zu kontern versuchen (vgl. Eichhorst/Buhlmann 2015).¹⁴ Dennoch, so die Autoren, hat sich die Arbeitskräftenachfrage hinsichtlich Arbeitsvolumen und Erwerbstätigenquote in Deutschland positiv entwickelt, auch Entgelte sind nicht generell gesunken. Zu bemerken ist allerdings ein sektoraler *shift*: Arbeitsplatzverluste in der Landwirtschaft oder im Bergbau werden durch Arbeitskräftenachfrage für neuartige Produkte und Dienstleistungen mehr als kompensiert. Das spricht für eine relative Stabilität der Erwerbstätigkeit als zentralem gesellschaftlichen Integrationsmechanismus, auch angesichts bevorstehender technologischer und ökonomischer wie sozialer Entwicklungen. Zunehmen wird die Nachfrage nach hoch qualifizierten Arbeitskräften, die komplexe Tätigkeiten ausführen können, zu analytischem Arbeiten in der Lage sind und interaktive Arbeit bewältigen können. Sie werden absolut wie relativ zunehmen, über eine gestärkte Marktmacht verfügen und damit Erfolge bezüglich ihres Entgelts und ihrer Arbeitszeit sowie ihrer Balance von Beruf und Familie erzielen. Unternehmen werden zunehmend nach solch flexiblen Arbeitskräften suchen, die als Kernbelegschaft leistungsfähig und innovativ agieren (vgl. Eichhorst/Buhlmann 2015).

Die Politik sollte zur Sicherung des gerade im technologischen Wandel wichtigen Fachkräftebedarfs schulische, berufliche und hochschulische Bildung stärken, unter anderem durch die Einführung dualer Ausbildungsgänge im Hochschulbereich, und den

¹⁴ Insofern verspricht das Konzept einer Industrie 4.0 einen hybriden Erfolg: Es treibt zum einen die digital ermöglichte Arbeitsteilung voran und vergibt Arbeiten in Wirtschaftszonen mit entsprechend qualifiziertem Personal, um die Teilergebnisse dieser Arbeit wiederum im eigenen Betrieb «zu veredeln», und schürt so die Arbeitskräftekonkurrenz – gleichzeitig bietet es weitere technologische Rationalisierungsschritte als Lösung an.

Weiterbildungsbereich ausbauen sowie mit finanzieller Unterstützung Einzelne zur Annahme von Bildungsangeboten ermutigen. Im Zusammenhang mit Arbeitsmarktmaßnahmen sind die Abbruchquoten von Schülern zu senken; Frauen und Migranten sind Wege in die Erwerbsarbeit zu eröffnen, unter anderem auch durch erleichterte Mobilität zwischen Unternehmen und Berufen. Das sichert einen Übergang in dynamische Berufsfelder (vgl. Eichhorst/Buhlmann 2015).

Unternehmen sind angehalten, die Beschäftigungsfähigkeit auch der alternden Mitarbeiter zu sichern. Qualifizierte Aus- und Weiterbildung und alter(n)sgerechte Arbeitsbedingungen sind neben Rekrutierungsstrategien für neue Beschäftigtengruppen (Frauen, Ältere, Migranten) zu etablieren. Führung und Steuerung sollte auf individuelle Bedarfe eingehen können, Eigenverantwortung und Autonomie sind zu stärken. Arbeitende sollten lebenslanges Lernen praktizieren, sich neuen, wechselnden und komplexen Aufgaben stellen, aber auch Grenzen erkennen und formulieren können, um so die eigene Beschäftigungsfähigkeit in dynamischen Umwelten zu erhalten (vgl. Eichhorst/Buhlmann 2015).

Aus der globalisierungsorientierten Konkurrenzperspektive der Arbeitgeberverbände ist die Umstellung der Ökonomie auf cybertechnische Systeme eine absehbare Realität, auf die vor Ort mit entsprechenden Investitionen und Produkt- wie Prozessinnovationen zu reagieren ist. Es ist weniger die Frage, ob sich eine Industrie 4.0 verwirklichen lässt, sondern eher, wann die Umstellung über den derzeitigen Stand vereinzelter Ansätze und Beispiel hinausgeht und weite Teile der Wirtschaft erfasst. Insofern gibt es kein Entrinnen, und Gegnerschaft ist keine Option. Vielmehr muss es darum gehen, die Transformation unter den Gesichtspunkten effizienter und kostengünstiger Produktion von Waren und Dienstleistungen zu verwirklichen und entsprechende Produktionssysteme aufzubauen, die sich auf die gesamte Wertschöpfungskette richten (vgl. Krichel et al. 2013). Dieser Gestaltungsauftrag wird auf der Systemebene einerseits an Wissenschaftler übergeben, die das zu entwickelnde soziotechnische System so konfigurieren sollten, dass negative Folgen wie eingeschränkte Handlungskompetenzen oder Überforderung minimiert bleiben.¹⁵ Andererseits sind auf einer betrieblichen Anwenderebene vor allem Manager gefragt, die tatsächliche Arbeitsorganisation und -gestaltung entsprechend auszulegen (vgl. Kagermann et al. 2013). Hier wie auf der Seite der Beschäftigten thematisieren Arbeitgebervertreter vor allem aus- und weiterbildungspolitische Prämissen. Lebenslanges Lernen wird zur Aufgabe eines jeden. Entsprechende Formate sind betrieblicherseits bereitzustellen, darüber hinaus wird das Ziel Industrie-4.0-kompatibler Arbeitskräfte aber in die Verantwortung der Individuen gelegt. Sie haben letztlich (auch) selbst dafür zu sorgen, dass ihre technischen wie sozialen Kompetenzen mit den Anforderungen Schritt halten – und müssen

dies (auch) neben der Arbeit tun. Nur so ist der Dreischritt aus Beruf, Familie und Weiterbildung zu verstehen, den Arbeitgebervertreter als Triumvirat eines sich abzeichnenden Arbeitslebens konturieren (vgl. Becker 2015).

Im Zusammenhang mit dem altbekannten Szenario des lebenslangen Lernens gewinnt akademische Ausbildung einen höheren Stellenwert, arbeitgeberseitig werden praxisnahe Konzeptionen einer initialen hochschulischen Ausbildung gefordert. Unternehmen entwickeln sich zu Bildungspartnern der Hochschulen, Studiengänge müssen sich angesichts technischer wie sozialer Herausforderungen der Industrie 4.0 reformieren (vgl. Kagermann et al. 2013). Abstraktionskompetenz und Kenntnisse um das Zusammenspiel unterschiedlicher Akteure sind ständig zu evaluierende Bildungsinhalte (Becker 2015).

Gewerkschaften sehen angesichts der unter dem Stichwort Industrie 4.0 firmierenden Rationalisierungsschritte die Gefahr einer systematischen Entwertung von Facharbeit – und zwar in der Produktion ebenso wie bei technischen Angestellten und Ingenieuren in Forschung und Entwicklung, Service, Vertrieb oder Logistik. Es werden aber auch Chancen gesehen: Ressourcenoptimierung und Innovationen erfordern größere Handlungsfreiheiten, dezentrale Steuerungsprinzipien enthalten immer auch emanzipatorische Potenziale im Hinblick auf altersgerechte Arbeit oder qualifizierte Gruppenarbeit (vgl. Bochum 2015). Damit wandelt sich die Rolle der Beschäftigten, die sich erhöhten Anforderungen im Komplexitätsmanagement, hinsichtlich ihrer Problemlösungs- und Lernkompetenz sowie der Flexibilisierungsleistungen gegenübersehen (vgl. Kurz 2013). Neben Detailwissen sind Überblickswissen und soziale wie interdisziplinäre Orientierung gefragt. Das erzeugt eine Requalifizierung von Produktionsarbeit, die mit wachsender Verantwortung und steigender Arbeitsqualität, auch im Hinblick auf Beteiligung und Kooperation einhergeht. Einfache, manuelle Tätigkeiten werden mit fortschreitender Diffusion der Informationstechnologie im Sinne einer Industrie 4.0 abgebaut, ohne dass sicher zu sagen ist, ob dies durch qualifikatorisch anspruchsvollere Tätigkeiten aufgefangen werden kann (vgl. Bochum 2015).

Arbeits- und Sozialpolitik müssen flankierende Maßnahmen im Strukturwandel ergreifen, um ein Missverhältnis zwischen Arbeitskraftangebot und Gesamtnachfrage danach beziehungsweise zwischen

¹⁵ Interessengegensätze der Akteure in Wertschöpfungsketten, unterschiedliche arbeitsorganisatorische Vorstellungen und Ressourcen und anderes mehr lassen die Umsetzung eines betriebsübergreifenden Produktionssystems zwar nicht unwahrscheinlich erscheinen, allerdings sind erhebliche Anstrengungen zu erwarten, einen einheitlichen Standard zu etablieren, ganz zu schweigen von der Verteilung der Innovationskosten. Das hat unter anderem mit der Stellung in Wertschöpfungsketten zu tun: Zulieferer verschiedener OEM müssten sich gegebenenfalls auf unterschiedliche Systeme einstellen, was Kosten verursacht und Synergieeffekte auffrisst. Zu erwarten ist eine anwachsende Divisionierung mit entsprechender enger Anbindung einzelner Unternehmensbereiche an spezifische OEM, was zugleich (gegenseitige) Abhängigkeiten produziert.

fortgeschrittener Arbeitsproduktivität und gesamtwirtschaftlicher Güternachfrage auszugleichen, etwa, in keynesianischer Manier, durch staatliche Nachfrage. Möller verweist in diesem Zusammenhang auf den Doppelcharakter technischen Fortschritts, arbeitssparend und marktöffnend zugleich zu sein; für Technologieführer (Länder, Regionen, Unternehmen) überwiegt der zweite Effekt. Dies nicht zuletzt, weil die zur Herstellung einer Produkteinheit zu leistende Arbeit reduziert wird, was Preissenkungen und möglicherweise vermehrten Absatz zur Folge hat, der die Arbeitersparnis überkompensiert. Geschieht dies nicht, weil beispielsweise die innovativen Produkte nicht angenommen werden, entsteht technologisch bedingte Arbeitslosigkeit. Deutschland sieht Möller aufgrund der Technologieführerschaft in unterschiedlichen Branchen, insbesondere dem Maschinen- und Anlagenbau, gut aufgestellt. Notwendig sind allerdings der weitere Ausbau der Infrastruktur, Aktivitäten in der Standardisierungs- und Normierungsfrage, die Gewährleistung von Datensicherheit, ein hinreichendes Bildungs- und Weiterbildungssystem sowie eine funktionierende Sozialpartnerschaft (vgl. Möller 2015).

Für eine humaner werdende Arbeitswelt 4.0 sprechen Automatisierung, Assistenzsysteme wie die Interaktion zwischen Menschen und Robotern, die insgesamt geeignet sind, körperlich belastende und monotone Arbeit zu reduzieren, Unterstützung zu geben und stressvermeidend zu wirken. Menschen mit Behinderungen wird ein Zugang zur Arbeitswelt leichter fallen. Räumlich entzerrte Arbeit reduziert Pendelertum und verbessert die Work-Life-Balance und das Verhältnis von Beruf und Familie. Ängste bestehen hinsichtlich der Entgrenzung von Arbeits- und Freizeit durch anonyme Mensch-Maschine-Interaktion, Überwachungspotenziale und Leistungskontrolle sowie verkürzter Produktionszyklen. Mit Bullinger/ten Hompel (2007) spricht Möller von notwendiger zeitlicher, räumlicher und inhaltlicher Flexibilität (vgl. Möller 2015).

Vor dem Hintergrund einer kritischen Reanalyse der Studie von Frey und Osborne (2013) identifizieren Bonin et al. (2015) gut ein Zehntel der Tätigkeiten in Deutschland als durch eine hohe Automatisierungswahrscheinlichkeit gekennzeichnet. In sozialen Klassen ausgedrückt tragen insbesondere Menschen mit Elementar- beziehungsweise Primarbildung ein hohes Risiko, sich auf entsprechende Transformationen einstellen zu müssen und eventuell ihren Arbeitsplatz zu verlieren. Bildungsstarke Beschäftigte sehen sich mit steigendem Grad schulischer wie beruflicher Bildung einem sinkenden Risiko ausgesetzt. Parallelen gibt es hinsichtlich der Einkommensstruktur: Gefährdet sind eher untere Einkommenschichten, während diejenigen mit vergleichsweise hohem Einkommen weniger befürchten müssen, dass Tätigkeiten in ihrem Aufgabenbereich automatisiert werden. Einschränkend betonen Bonin et al. (2015; in Anschluss an Autor 2013;

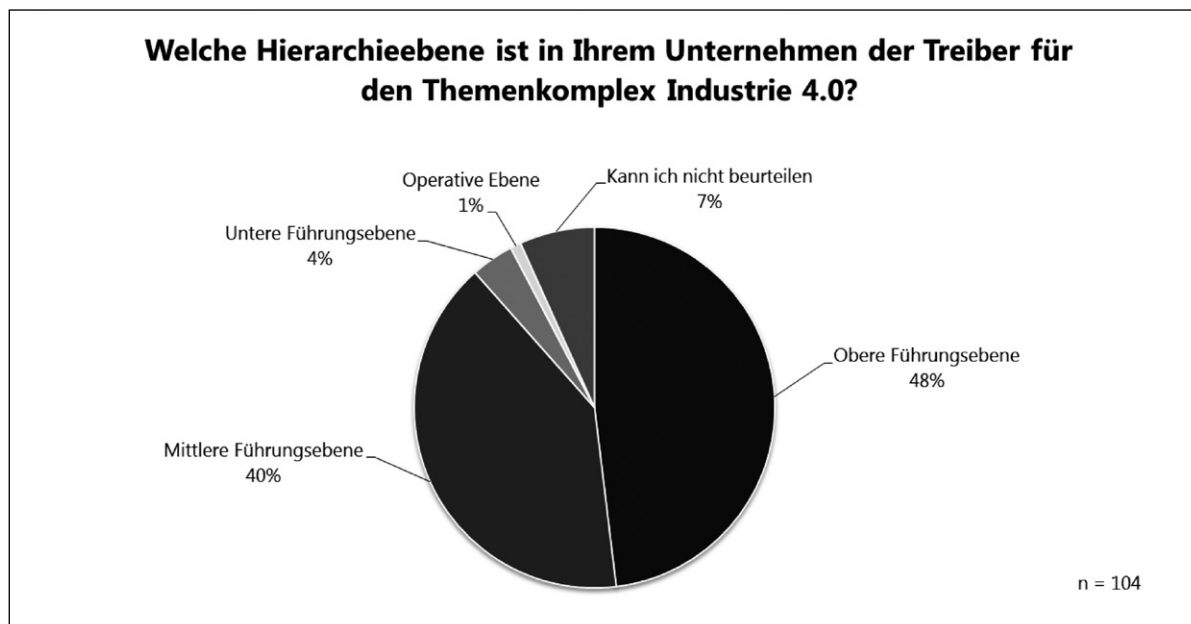
Autor et al. 2003), dass Beschäftigte eine Art Gegenbewegung einleiten, indem sie ihre Tätigkeit auf schwer automatisierbare Bereiche verlagern und den Rest der Technologie «überlassen». Kritisch zu fragen ist, inwieweit eine solche Verfügungsgewalt faktisch gegeben ist – zumindest in den am schwersten betroffenen Tätigkeitssegmenten der Geringverdiener und Bildungsfernen ist mit einer solchen Gestaltungsmacht nur schwerlich zu rechnen.¹⁶ Bonin et al. setzen darauf, neue Technologien als Arbeitsmittel einzusetzen und einen als komplementär verstandenen Produktionsprozess zu etablieren, der Arbeitsplätze verändert, ohne sie zu beseitigen. Die Autoren sehen darin einen Zugewinn an Freiräumen, in denen schwer automatisierbare Tätigkeiten bearbeitet werden können.

Vor dem Hintergrund technologischer Omnipräsenz in einer Industrie 4.0 beziehungsweise dem Internet der Dinge und Dienste sind MHP zufolge sowohl Unternehmen als auch die Arbeitenden Träger der Transformation. Von beiden werden gleichermaßen erhöhte Flexibilität und intensivierte Qualifikationsanstrengungen gefordert. Technisches Gerüst sind international vereinbarte Schnittstellen und gemeinsame Standards, die letztlich einen globalen Informationsraum schaffen, der mittels Cloud-Computing integriert ist. Schnittstellen zu Menschen sind nicht nur herkömmliche, digital gesteuerte Maschinen, sondern auch transportable Zugänge wie Tablets und Smartphones, deren milliardenfache Verbreitung als Diffusion bereits gegenwärtig als jenseits einer kritischen Grenze angesehen wird (vgl. Kelkar/Hegar 2014).

Durch eine Befragung von Personal auf unterschiedlichen Leitungsebenen in der Automobilbranche und Fertigungsindustrie kommen Kelkar und Hegar (2014) zu dem Ergebnis, dass das Konzept Industrie 4.0 zum Zeitpunkt der Erhebung im Sommer 2014 im Maschinen- und Anlagenbau bekannter war als unter Führungspersonen der Automobilindustrie. Es ist als strategisches Konzept vor allem in den oberen Führungsetagen platziert, die Informationskette in untere Hierarchien ist dabei nicht geschlossen. Konkret handelt es sich eher um Informationsbeschaffung zum Konzept. Mit zunehmender Größe der Unternehmen steigt die Wahrscheinlichkeit, dass das Thema Industrie 4.0 virulent ist. Es handelt sich um Vorreiter, die aufgrund der Komplexität in der Lage sind, eigene Anstrengungen zu unternehmen – externe Akquise auf Mitarbeiterebene ist derzeit schwierig, weshalb konzeptaffine Unternehmen eigenes Personal ausbilden, aber auch externe Expertise requirieren. Überwiegend treibt die obere und mittlere Führungsebene das Thema voran. Wesentlicher Antrieb ist dabei die Erwartung, dass sich Käuferinteressen in der Zukunft noch stärker individualisieren (vgl. Kelkar/Hegar 2014, siehe Abb. 17, S. 62).

¹⁶ Das ruft die kollektiven Vertretungsorgane innerhalb wie außerhalb der Betriebe auf den Plan, die den technologischen Wandel entsprechend arbeitspolitisch zu begleiten hätten – und dies auch tun.

Abbildung 17: Verortung des Themas Industrie 4.0 in Unternehmen



Quelle: Kelkar/Hegar 2014

Durch die obere und mittlere Führungsebene ist die Thematik Industrie 4.0 also eher auf einer strategischen denn auf der operativen Ebene angesiedelt. Als wichtigste Hemmnisse werden die schwierige Einschätzung wirtschaftlicher Effekte sowie die Umgestaltung der Produktionsprozesse und der Arbeitsorganisation inklusive notwendiger Standardisierungen genannt. Vier Fünftel der Befragten erwarten allerdings wirtschaftliche Chancen, aber nur die Hälfte schreibt dem Standort Deutschland eine Vorreiterrolle zu. Im Hinblick auf die betriebliche beziehungsweise arbeitsorganisatorische Prozessmodellierung (auch über das Einzelunternehmen hinaus) sehen 80 Prozent der Befragten Handlungsbedarf, in Bezug auf konkrete Standardisierungsfragen ist die Einschätzung merklich weniger eindeutig und verweist damit auf bestehende Unsicherheiten. Fast 90 Prozent erwarten im Zusammenhang mit einer Industrie 4.0 einen Ausbau projektformiger Arbeitsstrukturen, 60 Prozent sehen in der Erosion von Abteilungsgrenzen eine notwendige Antwort auf veränderte Marktanforderungen. Das Zusammengehen von Forschung und Entwicklung mit der Produktion steht nahezu einhellig außer Frage. Auch eine forcierte strategische Kooperation zwischen IT, Forschung und Entwicklung, Produktion und Logistik wird, wenn auch in durchaus unterschiedlichen Bezügen aufeinander, generell erwartet, unter den Informatikern denkt dabei allerdings nur die Hälfte an den Bereich *human resources* (vgl. Kelkar/Hegar 2014, siehe Abb. 18, S. 63).

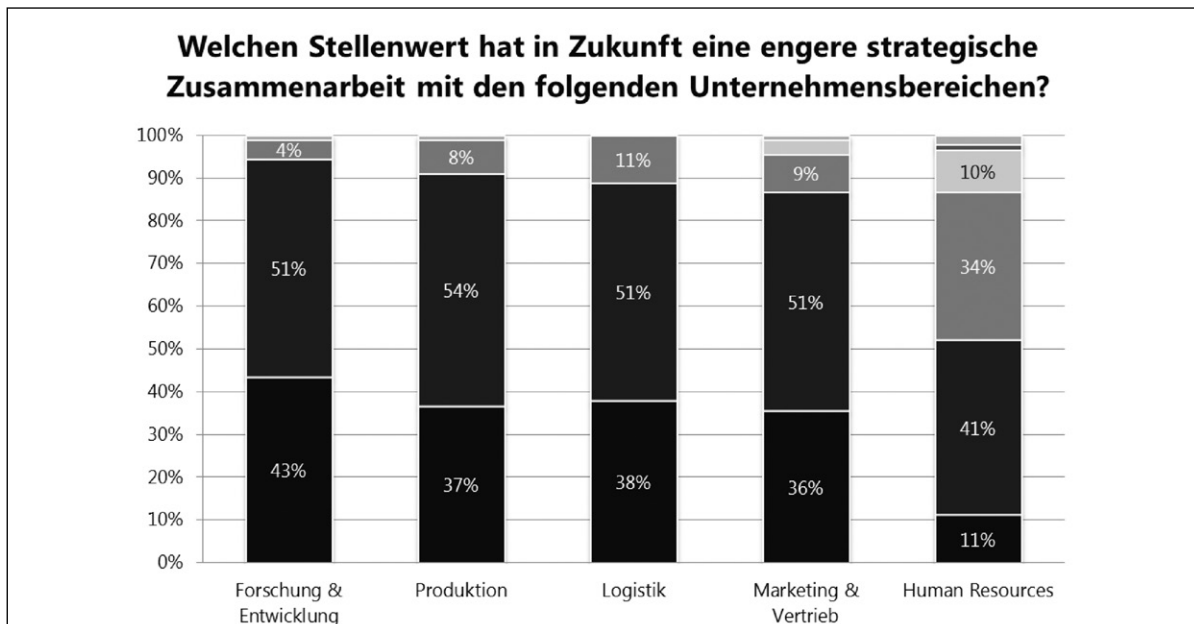
Offensichtlich kreist die Thematik Industrie 4.0 in den Gedanken der befragten Führungskräfte im Maschinen- und Anlagenbau beziehungsweise der Automobilwirtschaft eher um eine digitale Architektur zwischen bisher getrennten oder lose gekoppelten Ar-

beitsbereichen und weniger um eine Einbeziehung der Arbeitskräfte. Die vielfach beschworene Qualifizierung von Arbeitenden steht deutlich nachrangig in der Hierarchie der strategischen Kooperationen. Im Hinblick auf zukünftig ansteigende Investitionen in eine Industrie 4.0 kommt dem Maschinen- und Anlagenbau quasi natürlicherweise schon gegenwärtig eine Pionierrolle zu, muss er doch zukünftige Produktionswelten konzipieren und erstellen. 43 Prozent der Unternehmen im Automobilbau und in der Fertigungsindustrie (inkl. Maschinen- und Anlagenbau) sind in der Lage, Nutzerinformationen durch Produkte zu generieren, weitere 25 Prozent wollen dies in Zukunft ermöglichen (vgl. Kelkar/Hegar 2014).

Die MHP-Studie kommt zu dem Schluss, dass eine Industrie 4.0 weder durch die Einbindung der Thematik in die Hightech-Strategie der Bundesregierung noch durch öffentliche Forschungsinstitute noch durch Aufklärung durch Verbände allein vorangetrieben werden kann. Bedeutsam sei vielmehr ein Mitwirken der Leitanbieter (vor allem in der IT-Industrie und im Maschinen- und Anlagenbau), der Leitanwender (Industrien mit hohem Automatisierungspotenzial) und Dienstleister, um dem Standort Deutschland eine Pionierrolle zukommen zu lassen (vgl. Kelkar/Hegar 2014).

Unternehmen sehen gegenwärtig (auch angesichts der kolportierten langen Diffusionszeit von 20 Jahren) wenig Sinn in einer forcierten Beschäftigung mit dem Thema, geschweige denn in ihrer Anwendung, soweit diese eingespielte Produktionsprozesse verändert. Ein Viertel der in der MHP-Studie befragten Unternehmen setzt zudem auf externe Lösungen durch Dienstleister. Der noch wenig erkennbare wirtschaftliche Nutzen der sofortigen Anwendung von Industrie-4.0-Komponenten oder -Systemen erweist sich als durch lange Amor-

Abbildung 18: Strategische Integration nach digitaler Transformation



Quelle: Kelkar/Hegar 2014

tisation hohe Hürde für den Diffusionsprozess in der Gesamtwirtschaft (vgl. Kelkar/Hegar 2014).

Beratergremien der Regierung im Rahmen der Hightech-Strategie sehen in der Gestaltung des Diffusionsprozesses einer Industrie 4.0 Chancen dafür, den Produktionsstandort Deutschland zu erhalten, indem «autonome, selbststeuernde, wissensbasierte und sensorgestützte Produktionssysteme» hier entwickelt, angeboten und auch selbst betrieben werden (Acatech 2012). Die deutsche Industrie auf eine Industrie 4.0 umzustellen ist demnach auch ein Referenzprojekt. Denkbar sind zwei Technisierungspfade: ein Automatisierungsszenario mit weitgehenden Steuerungsaufgaben bei Maschinen, ein Werkzeugenszenario mit Entscheidungskompetenz der Arbeitenden. Erwartet werden Mischszenarien (vgl. Windelband/Spöttl 2011). Spath et al. verbinden die technischen Potenziale der Industrie 4.0 und deren Automatisierungsgewinne mit flexiblierter Arbeit und schlanken Unternehmensstrukturen. Hebt das originäre technische Konzept auf die völlige informationstechnische Grundlegung und Durchdringung der Produktion und die Nutzung maschineller Intelligenz zur kurzfristigen Steuerung und Optimierung der Produktionsprozesse ab, so nutzt schlanke Produktion standardisierte Prozesse. Beides muss sich nicht widersprechen, sondern kann in ein Gesamtkonzept überführt werden, das divergente Komponenten integriert (vgl. Spath et al. 2013). Auch andere Steuerungskonzepte wie Enterprise-Resource-Planning-Systeme (ERP) und Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme (PPS) sind auf solche Synergien mit einer Industrie 4.0 hin zu analysieren.

Berufstätige Männer sind hinsichtlich ihrer digitalen Kompetenz etwas besser aufgestellt als Frauen, ihr Indexwert liegt knappe 20 Prozent über demjenigen

der weiblichen Berufstätigen. Die unter 40-jährigen Berufstätigen zeigen sich kompetenter, während die über 60-Jährigen deutlich abfallen. Die Gruppe der 14- bis 25-Jährigen ist hinsichtlich des Zugangs, der Nutzungsvielfalt, der Kompetenz und der Offenheit gegenüber digitalen Anwendungen und Technologien noch technikaffiner aufgestellt. Beschäftigte in kleinen Unternehmen (<50 Mitarbeiter) sind weniger kompetent als Erwerbstätige in großen Unternehmen (<1.000 Mitarbeiter). Digitales Wirtschaften kann der D21-Studie zufolge auf versiertem Fachpersonal aufbauen. Insbesondere jüngere Arbeitnehmer werden vermutlich eine höhere Anspruchshaltung an die digitale Ausstattung an den Tag legen und zugleich selbst entsprechende Impulse in die Arbeit einbringen. Der Wirtschaftsstandort Deutschland steht damit vor der Aufgabe, technikaffinen Mitarbeitern ein attraktives Arbeitsumfeld zu bieten, gleichzeitig aber Digitalisierung nicht zur Belastung für vergleichsweise weniger kompetente Beschäftigte werden zu lassen und dazu entsprechende Bildungsangebote bereitzustellen (D21 2015).

Im produzierenden Gewerbe ebenso wie in Behörden und Verwaltungen wachsen die Investitionen, sowohl die Infrastruktur als auch die Angebote werden ausgebaut. Dabei ist vor allem der weitere Ausbau der Breitbandnetzwerke wichtig, weil er die technologische Voraussetzung für vernetzte Produktion und Dienstleistung darstellt. Er soll von Politik und Wirtschaft gemeinsam geleistet werden. Großunternehmen und kleine und mittlere Unternehmen (KMU) müssen zu einer vernetzten Kooperation hinsichtlich digitalen Wirtschaftens kommen, im Bereich Forschung und Entwicklung ebenso wie in der Produktion entlang der Wertschöpfungsketten und bezüglich neuer Dienstleistungen (*smart services*) (vgl. BMWi 2015).

Wichtiger Aspekt der Einflussnahme auf die Ausgestaltung einer Industrie 4.0 ist die von Verbänden und Politik zu leistende Lobbyarbeit hinsichtlich internationaler Normen und Standards. Prioritäre Aufgabe ist die Gewährleistung von Sicherheit, Schutz und Vertrauen für Gesellschaft und Wirtschaft, gefolgt von dem Handlungsfeld Bildung, Forschung, Wissenschaft sowie Kultur und Medien. Erst an dritter Stelle eines Konglomerats von sieben Handlungsfeldern steht laut BMWi das Themengebiet digitale Wirtschaft und digitales Arbeiten – 10 Prozent der Experten halten dies für weniger wichtig, 39 Prozent für wichtig und knapp 50 Prozent für äußerst wichtig. Schlechtere Werte erhalten nur noch die internationale Dimension der «digitalen Agenda» sowie die Gestaltung digitaler Lebenswelten in der Gesellschaft. Im 33 Themen umfassenden Ranking nimmt die Maßnahme «Arbeit in der digitalen Welt gestalten» nur den 22. Platz ein (vgl. BMWi 2015).

Umsatzes wird mit neuen Produkten beziehungsweise Prozessen erzielt, hier befindet sich die IKT-Branche im unteren Mittelfeld, während klassische industrielle Bereiche dominieren, deren Umsatzanteil durch Neuerungen stärker bestimmt wird. In allen Branchen sind es größere beziehungsweise große Unternehmen mit mehr als 100 Mitarbeitern, die Innovationen realisieren – fast drei Fünftel der Innovationen sind IKT-basiert. Software und Internet werden dabei als zentrale Treiber gesehen. Gründungsdynamik in der IKT-Branche entfaltet sich dominant in den Metropolregionen Deutschlands, der Osten bleibt bis auf die Regionen Leipzig, Dresden und Berlin zurück (vgl. BMWi 2015).

Die Bedeutung informations- und kommunikationstechnologischer Komponenten für den jeweiligen Innovationsprozess zeigt branchenübergreifend Gemeinsamkeiten, aber auch Differenzen, wie Tabelle 5 verdeutlicht.

Tabelle 5: IT-Komponenten im branchenspezifischen Innovationsprozess (in Prozent)

	IKT-Branche	Industrie	Medien	Wissensintensive Dienstleister
Software	87,6	71,4	74,8	80,9
Internet/Telekommunikation	86,2	70,7	84,1	80,8
IT-Hardware	39,0	44,6	39,1	60,6
Cloud-Dienste	35,8	8,1	2,1	18,5
Eingebettete Systeme	31,0	24,4	24,6	32,5
Vernetzung von Prozessen (Industrie 4.0)	24,6	13,7	18,7	15,0
Big Data	21,1	1,1	8,0	9,5

Quelle: BMWi 2015

Im Branchenvergleich zeichnet sich die Informations- und Kommunikationstechnologiebranche (IKT-Branche) als Treiber von Unternehmensgründungen und hoher Innovatorenquote aus. Hier werden etwa 7.000 Unternehmen jährlich gegründet, allerdings zeichnet sich eine Abschwächung dieser Dynamik ab. Insbesondere IKT-Dienstleister sind dafür verantwortlich (bezogen auf den Unternehmensbestand zwischen 2011 und 2013 7,2 Prozent jährlich), die Hardware-Industrie ist deutlich schwächer aufgestellt, liegt aber mit 4 Prozent über dem Maschinenbau und der Instrumententechnik. Beratung, Kreativwirtschaft und Medien sind Dienstleistungsbranchen, die mit 5,7 beziehungsweise 5,2 Prozent deutlich schwächere Gründungsvitalität ausweisen, Chemie und Pharma (5,0), Elektrotechnik (4,6), der Automobilbau (4,2) sowie die technischen Dienstleister (4,1) befinden sich im Mittelfeld. Drei Viertel der IKT-Unternehmen sind Innovatoren, was sich unter anderem auch in relativ hohen Ausgaben für Entwicklung und Einführung von Produkt- und Prozessinnovationen (insbesondere im Hardwarebereich, aber auch in den Dienstleistungen) ausdrückt, die nur von den Branchen Instrumententechnik und Automobilbau getoppt wird. Über ein Viertel des

Software sowie Internet und Telekommunikation sind nahezu nicht zu hintergehende Komponenten von Innovationsprozessen. Mit weitem Abstand folgt in der Bedeutung die IT-Hardware, die insbesondere bei den wissensintensiven Dienstleistungen deutlich ins Gewicht fällt. Cloud-Dienste spielen bisher nur in der IKT-Branche selbst eine relativ große Rolle in der Gesamtkonfiguration. Eingebettete Systeme sind branchenübergreifend von einiger Bedeutung, während Vernetzung angesichts des anschwellenden Diskurses um die Industrie 4.0 eher in den Startlöchern zu stecken scheint. Nur in der IKT-Branche selbst scheint ihr eine besondere Bedeutung für Innovationsprozesse zuzukommen. Dies gilt auch für Big Data, für andere Branchen ist das eher Zukunftsmusik. Erwartet wird, dass die Industriebranchen vor allem in diesem Bereich und bei der Vernetzung zukünftig deutlich aufholen werden, ebenso wie die IKT-Branche. Vor allem die wissensintensiven Dienstleistungen werden die Cloud-Dienste als Innovationstreiber stärker beachten (vgl. BMWi 2015).

Das «Grünbuch Arbeiten 4.0» des BMAS (2015) offeriert Beschreibungen der gegenwärtigen Arbeitswelt mit Blick auf die Zukunft. Es bestimmt den Ausgangs-

punkt des Ministeriums für den angestoßenen Dialogprozess Arbeiten 4.0, welcher explizit dem Diskurs um die Industrie 4.0 zur Seite gestellt wird. Das eigene Selbstverständnis: Politik muss die Rahmenbedingungen der neuen Arbeitswelt definieren.

Technologischer und struktureller Wandel verändern Berufsbilder, Anforderungen und Standards und bringen veränderte Berufsbiografien mit erhöhter beruflicher Flexibilität (Jobwechsel, Umschulungen, Aus- und Wiedereinstieg) hervor. Auf allen Qualifikationsebenen wird es dynamischer und flexibler vor sich gehen; dem ist mit entsprechenden Qualifizierungsmaßnahmen zu begegnen. Im Hinblick auf die digitale Ökonomie ist Computeraffinität eine Grundqualifikation, die bereits gegenwärtig fast alle Arbeitsplätze betrifft, deren Bedeutung aber noch ansteigt: *Digital literacy* umfasst dabei allgemeines Basiswissen ebenso wie grundlegende Anwendungskompetenz und die Betätigung in Online-Communities inklusive einer zielgerichteten Informationskompetenz. Mit der OECD geht das BMAS davon aus, dass 60 Prozent der Arbeitnehmer in Deutschland grundlegende IKT-Kompetenzen besitzen, 25 Prozent jedoch nicht (vgl. BMAS 2015).

Analog der Reihung «Industrie 1.0 zu Industrie 4.0» unterscheidet das Grünbuch Arbeiten 1.0 von Arbeiten 4.0. Letzteres wird als stärker vernetzte, digitalisierte und flexiblere Form des Arbeitens umschrieben, deren konkrete Gestalt noch offen ist. Produkte, Dienstleistungen und Prozesse werden modifiziert beziehungsweise neu geschaffen. Kultureller und gesellschaftlicher Wandel erzeugt neue Ansprüche an Arbeit. Folgen für die Organisation von Arbeit und die soziale Sicherung sind unabsehbar, aber prinzipiell gestaltbar. Dadurch werden neue Aushandlungsprozesse zwischen Individuen, Sozialpartnern und Staat nötig, die auf den Kern der Arbeitsmärkte zielen. Infolge der globalisierten Produktion sowie räumlich und zeitlich entgrenzter Arbeit ist kollektive Interessensbildung allerdings erschwert und die Durchsetzungsmacht Einzelner gering. Daher muss Politik Rahmenbedingungen für nationales wie europäisches sozialpartnerschaftliches Handeln setzen. Zusammen mit der Sicherung der Teilhabe aller an Arbeit als Grundpfeiler der sozialen Marktwirtschaft ist dies der gesellschaftliche wie politische Gestaltungsauftrag angesichts der Industrie 4.0, der zudem den Aufbau von staatlichen Unterstützungsleistungen für andere Lebensaufgaben (Betreuung von Kindern und Älteren, Weiterbildung, soziales Engagement) einschließt (vgl. BMAS 2015).

Die Angst vor dem Verlust des Arbeitsplatzes angesichts der Globalisierung und dem damit einhergehenden Kostendruck, der Automatisierung und Rationalisierungsschritten sowie steigendem Leistungsdruck und veränderten Renditeerwartungen von Investoren wird durch Fragen nach dem Erfolg in der digitalen Ökonomie, dem Fortbestand von gegenwärtig aktuellen wie dem Aufbau von neuen Arbeitsplätzen nicht weniger dringlich. Das Grünbuch betont neue Beschäf-

tigungspotenziale, inklusive der Möglichkeit, dass es für einzelne Personengruppen (Menschen mit Behinderungen, lebensphasenorientierte Beschäftigung) zu Verbesserungen kommen kann (vgl. BMAS 2015).

Als problematisch in Bezug auf eine digitalisierte Ökonomie wird die Situation der Geringqualifizierten, die bisher schon stark von Arbeitslosigkeit und geringen Aufstiegschancen betroffen waren, eingeschätzt. Ihr Risiko, arbeitslos zu werden, ist schon jetzt um ein Vierfaches höher als das von Personen mit abgeschlossener Berufsausbildung. Erwartet wird aber, dass sich zukünftig auch höher Qualifizierte veränderten Arbeitsverhältnissen und -bedingungen gegenübersehen (vgl. BMAS 2015). Im Hinblick auf den zukünftigen Arbeitsmarkt wird auf eine erhöhte Beschäftigungsfähigkeit durch gesunde Arbeit und Qualifizierung gesetzt, um so neben Geringqualifizierten auch Frauen, Migranten und Ältere einzubeziehen. Zur Stärkung des Standorts Deutschland wird zudem auf die Zuwanderung von Fachkräften gesetzt. Das BMAS unterscheidet implizit zwischen Präsenzberufen (unter anderem Pflege) und solchen, die sich durch hohe Mobilität und virtuelles Arbeiten auszeichnen. In Bezug auf erhöhte Flexibilität moniert das Grünbuch mangelnde Gestaltungsfreiheit, unter anderem weil Arbeitszeit wie Freizeit wenig planbar werden und jederzeitige Erreichbarkeit erwartet wird (BMAS 2015).

Das BMAS kritisiert an der bisherigen Debatte zur Industrie 4.0 deren Orientierung auf Machbarkeitsvisionen, technische Normen und Standards sowie Prozessarchitekturen bei einer Ausblendung der Frage nach der Gestaltung guter Arbeitsbedingungen. Dem wird entgegengehalten, dass die Industrie 4.0 nur dann erfolgreich sein kann, wenn die Arbeit sich an den Bedürfnissen der Beschäftigten orientiert, insbesondere hinsichtlich der arbeitnehmerfreundlichen Gestaltung flexibilisierter Arbeit, die bei aller Entgrenzung persönliche Freiräume und Alternativen zur bisherigen Präsenzkultur fördern müsse, um dem Gesundheitsschutz Genüge zu tun (vgl. BMAS 2015).

Die errungenen arbeitsrechtlichen Schutzmechanismen sollen auf die digitale Arbeit übertragen werden – zu fragen ist, wo Weiterentwicklungen notwendig werden, um eine Anpassung zu gewährleisten. Das sollte auf der Grundlage empirischer Forschung, etwa zur Lebenssituation, zu Entlohnung und Arbeitsbedingungen geschehen. Insbesondere im Dienstleistungsbereich wird hier Regelbedarf erkannt, zumal unter der Bedingung des Arbeitens 4.0 neue Interessengegensätze zu erwarten sind. Nicht zuletzt fehlt eine gesellschaftliche Verständigung darüber, wie gute Produkte und gute Arbeit zusammengehen können. Weil Unternehmen mit Betriebsräten eine höhere Innovationstätigkeit aufweisen, sieht das BMAS implizit derartige Betriebe im Hinblick auf die Industrie 4.0 als besser aufgestellt, auch bezüglich einer nachhaltigen Strategiebildung, die in auf kurzfristige Erfolge orientierten kapitalmarktfinanzierten Unternehmen weniger opportun ist (vgl. BMAS 2015).

Cyberphysikalische Systeme (CPS) werden insbesondere durch die technischen Möglichkeiten selbst vorangetrieben, bedürfen aber einer Kontextualisierung durch einen rechtlichen und sozialen Rahmen. Dafür stehen die Entwickler der CPS selbst in der Verantwortung, der sie durch Einholen interdisziplinärer Expertise (Technikfolgenabschätzung, rechtliche Konsequenzen etc.) in die konkrete Gestalt der CPS einfließen lassen sollten (vgl. Acatech 2012).

Individuelle Akzeptanz wird Acatech (2012) zufolge ein Gradmesser für die konkrete Ausgestaltung, aber auch die Diffusionsgeschwindigkeit der CPS sein, in Sicherheitsfragen und der *usability* ebenso wie in Fragen der Wertvorstellungen. Als positive Nutzenaspekte werden vermehrte Eigenständigkeit aufgrund verbesserter Informationsversorgung, verstärkte soziale Einbindung in Netzwerke, gesteigener Komfort, erweiterte Teilhabe an gesellschaftlichen Prozessen sowie die Potenziale zur Mitgestaltung der CPS selbst genannt. Ihnen stehen psychisch-soziale Effekte wie Unbehagen, Stress und Überforderung gegenüber, ein gefühlter oder realer Freiheitsverlust der Individuen durch autonome Entscheidungen von CPS, inklusive einer Verletzung der Privatsphäre, ein Vertrauensverlust in die Technik, ihre Nutzer und Betreiber, aber auch gesellschaftliche Teilsysteme wie die Politik. Das kann zur Bilanzierung einer mittels CPS eingeschränkten individuellen Handlungsfreiheit führen sowie Befürchtungen vor kriminellen Handlungen nähren (vgl. Acatech 2012).

Das Auseinanderdriften von sozialen Schichten kann durch digitale Nutzungskulturen innerhalb sozialer Klassen verstärkt werden – *literate*s und *illiterate*s, *natives* und *non-natives*, *haves* und *have-nots*, Drop-outs und Verweigerer. Verstärkt werden kann das durch unterschiedliche Grade von Problemlösungskompetenz mittels CPS, aber auch Einschränkungen durch den Gebrauch solcher Systeme selbst – in letzter Konsequenz kann das eine steigende Abhängigkeit von Individuen beziehungsweise Institutionen herbeiführen (vgl. Acatech 2012).

Grundsätzlich geht es darum, die Gesellschaft in ihrem sozioökonomischen und institutionellen Wandel hin zu einer technisierten oder technologieabhängigen Gesellschaft zu gestalten. Das schließt die Frage nach einer Dominanz «männlicher» Technik mit allen daraus entstehenden gesellschaftlichen Entwicklungspfaden ein (Acatech 2012). Schließlich sind cyberphysikalische Systeme keineswegs nur virtuell, sondern basieren auf technischen Systemen, die bestimmte Rohstoffe und Ressourcen benötigen, deren Gewinnung und Verwendung Fragen nach globalen Interessenslagen und Verteilungsaspekten berücksichtigen müssen (vgl. Acatech 2012). Letztlich geht es um die gesellschaftliche Steuerung offener soziotechnischer Systeme von prinzipieller Neuartigkeit, die es als großtechnische Infrastruktur ebenso wie als soziale Interaktion zu beherrschen gilt. Dabei zeigen sich unterschiedliche Risikopotenziale, je nachdem ob solche Systeme

hierarchisch-zentral oder dezentral ausgerichtet sind. Im Hinblick auf Systeme der Energieversorgung, Gesundheit und Mobilität sind damit Fragen nach der Kontrollhoheit berührt, was die Diskussion von Überwachungsrisiken beinhaltet (vgl. Acatech 2012). Eine den positiven wie negativen Potenzialen der CPS angemessene reflexive und partizipative Technikgestaltung muss demnach als «sozialer Konstruktionsprozess» angelegt sein.

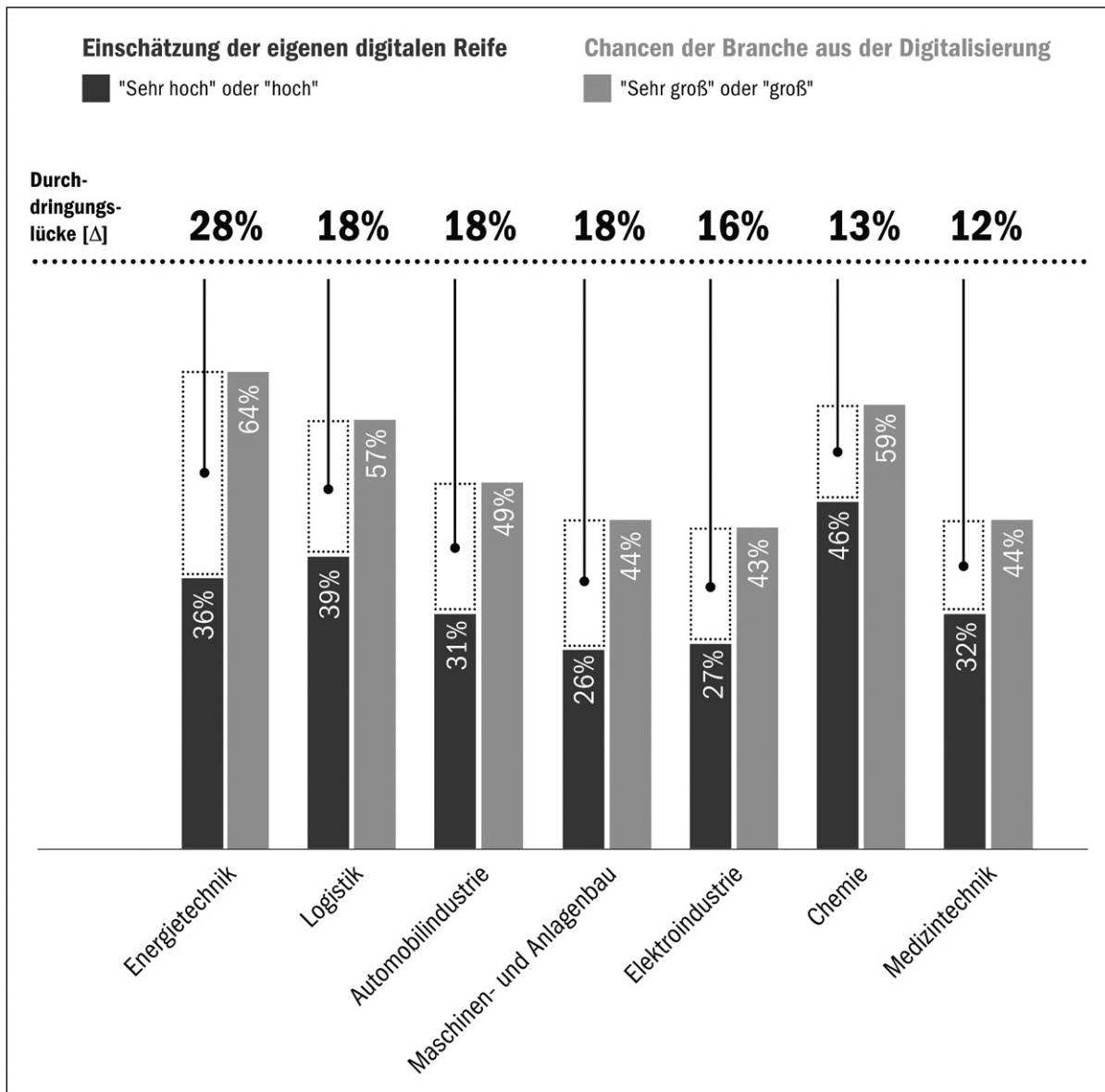
Trotz öffentlicher Diskurse bleiben strategische Schlussfolgerungen für die wirtschaftliche Entwicklung im Verlauf der digitalen Transformation häufig aus. Die Gefahr liegt daher im Verschlafen der digitalen Transformation, die bisherige Geschäftsmodelle obsolet werden lässt. Sich darauf nicht rechtzeitig – und das heißt immer drängender: frühzeitig – einzustellen, erhöht das Risiko eintretender Wertschöpfungsverluste und Bodenverluste im internationalen Konkurrenzkampf. Akteure sind einerseits die Industrie selbst, die ihre Geschäftsmodelle im Hinblick auf ihren digitalen Reifegrad hinterfragen und gegebenenfalls verändern muss. Das geht allerdings nur mit politischer Unterstützung, die insbesondere in rechtlichen Fragen, Standardisierungsbemühungen und schließlich infrastrukturellen wie projektförmigen Vorleistungen des Staates zu sehen ist. Das ist international einzubinden, um den europäischen Wirtschaftsraum gegenüber der weltweiten Konkurrenz wettbewerbsfähig zu erhalten beziehungsweise zu machen (vgl. Berger/BDI 2015).

Die industriellen Branchen als primäre Träger der digitalen Transformation unterscheiden sich hinsichtlich ihres digitalen Reifegrads, definiert als Kompetenz in der Identifikation und Bewertung der Entwicklungen und Trends der digitalen Ökonomie, der Realisierung von Effizienzmöglichkeiten im aktuellen Geschäftsmodell, der Identifizierung darauf bezogener disruptiver Veränderungen inklusive entsprechender Reaktionen (zum Beispiel neuer Geschäftsmodelle) sowie der Fähigkeit zum Wandel der Unternehmenskultur. In der Selbsteinschätzung von 300 Topmanagern der Energietechnik, Logistik, Automobilbranche, dem Maschinen- und Anlagebau, der Elektro- und Chemieindustrie sowie der Medizintechnik ergibt sich bezüglich des Reifegrads folgendes Bild: siehe Abbildung 19 (S. 67).

Die Einschätzung der derzeitigen digitalen Reife der Unternehmen bleibt hinter der Bewertung der Chancen der jeweiligen Branche durch Digitalisierung zurück – die Differenz ergibt zum Teil dramatisch anmutende Durchdringungslücken. Große und profitable Unternehmen sind der Befragung zufolge besser aufgestellt, die Chemie-, Logistik- und Energiebranchen liegen vorne, während insbesondere mittelgroße Unternehmen der Elektroindustrie und des Maschinen- und Anlagenbaus disruptive Veränderungen fürchten (vgl. Berger/BDI 2015).

Seitens der Industrie wird bemängelt, dass die politische Klasse in Deutschland wenig Interesse und geringe Kenntnis gegenüber der Thematik digitale Ökonomie zeigt, wie Abbildung 20 (S. 68) verdeutlicht.

Abbildung 19: Einschätzung des eigenen Digitalisierungsgrads nach Branchen



Quelle: Berger/BDI 2015

Hinreichende Kompetenz wird nahezu nirgendwo gesehen, obwohl die zunehmende Digitalisierung ein relevantes Thema für die Politik ist. Selbst wenn die Herausforderung seitens der politischen Institutionen und Akteure verstanden wurde, vermissen Unternehmer die aus ihrer Sicht notwendigen Impulse. Ein Drittel der Befragten urteilt, dass die Politik die Bedeutung der digitalen Ökonomie noch nicht verstanden hat. In der Gesamtschau wird dem wichtigen Akteur «Politisches System», das heißt den politischen Akteuren, wenig Vertrauen entgegengebracht (vgl. Berger/BDI 2015).

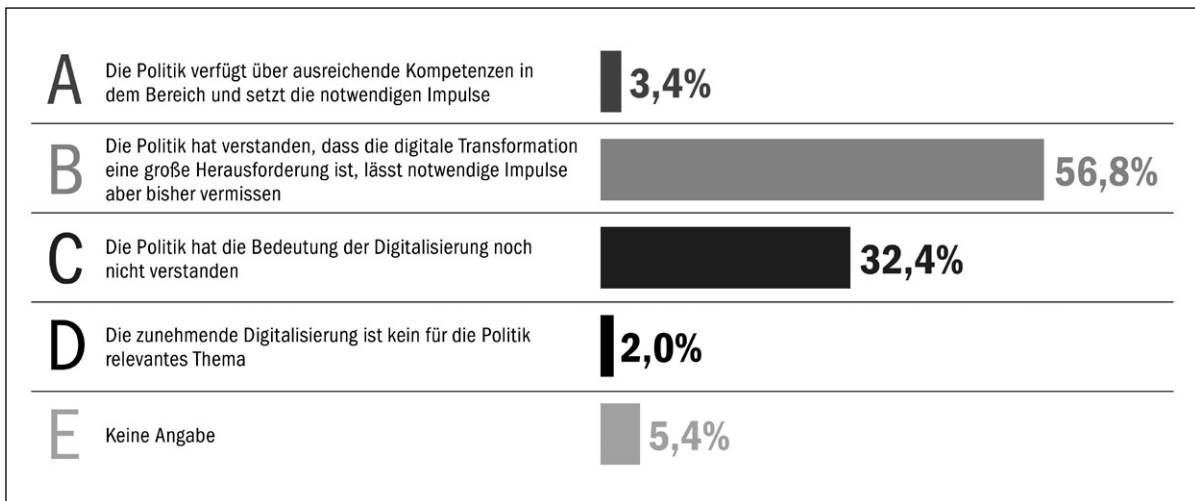
Im notwendigen Bemühen der Politik um (europäische) Förderung der digitalen Ökonomie sind aus Sicht der Berger-Studie länderübergreifende Szenarien zu entwickeln – und dies in einer Geschwindigkeit, die den bestehenden Vorsprung insbesondere der USA schmälert. Eine solcherart integrierte Bündelung aller

Kräfte zielt auf erhöhte digitale Reife der Unternehmen, eine den industriellen Kompetenzen entsprechende Standardisierung, erhöhte Investitionsimpulse und den Ausbau von geeigneten Plattformen für den Austausch von Unternehmen und Forschungseinrichtungen (vgl. Berger/BDI 2015).

Im Hinblick auf die Einführung und Diffusion der Big-Data-Vision ist die Automobilindustrie Vorreiter, wie Abbildung 21 (S. 68) verdeutlicht.

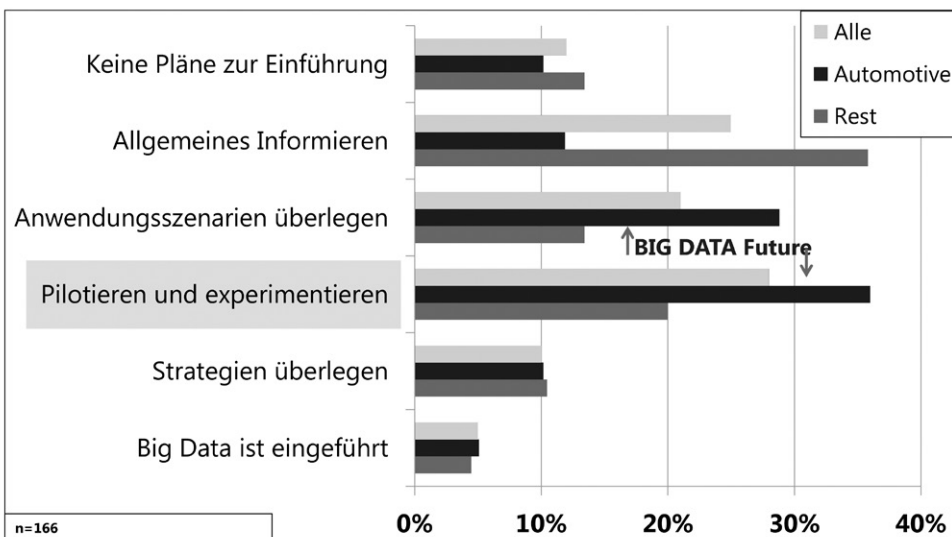
Die exportorientierte Schlüsselindustrie Deutschlands ist in Bezug auf Big Data eine Art Pionier. Sie hat die Phase des Informierens hinter sich gelassen und konzipiert bereits konkrete Anwendungen oder pilotiert diese. Andere Branchen stehen einen Schritt dahinter zurück, aber auch hier ist der Diffusionsprozess anscheinend unaufhaltsam. Gemeinsam mit den schon beschriebenen unternehmerischen Herausfor-

Abbildung 20: Unternehmerperspektiven auf Position der Politik zur digitalen Transformation



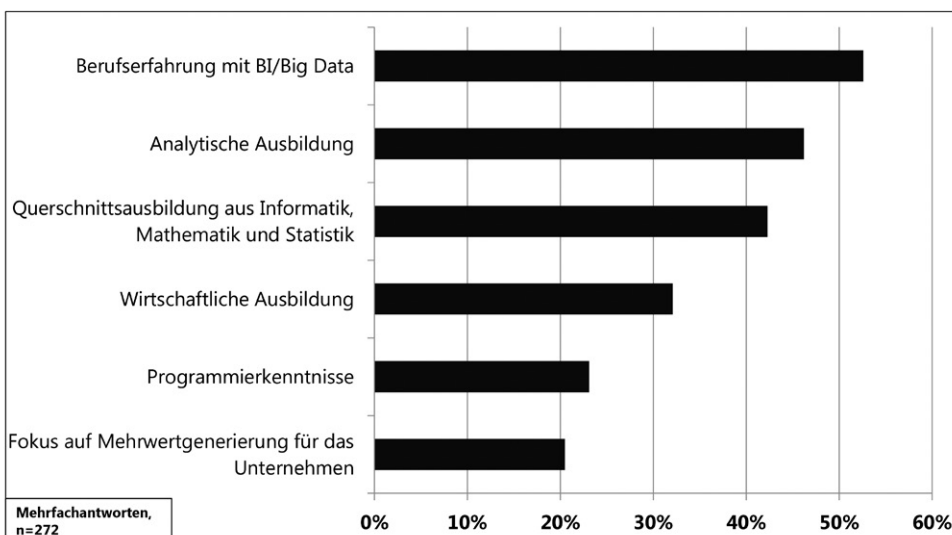
Quelle: Berger/BDI 2015

Abbildung 21: Pläne und Projektierung zur Big-Data-Einführung



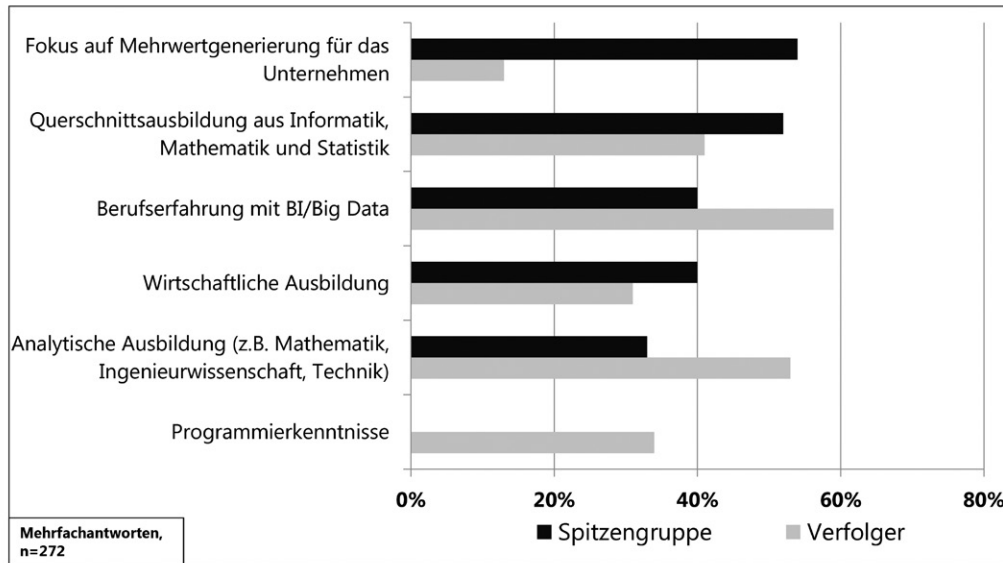
Quelle: MHP 2015

Abbildung 22: Selbsteinschätzung zukünftig notwendiger Mitarbeiterkompetenzen



Quelle: MHP 2015

Abbildung 23: Unterschiedliche Perspektiven auf die Folgen der Digitalisierung je nach Digitalisierungsgrad der Befragten



Quelle: MHP 2015

derungen bilanziert MHP im globalen Vergleich, dass die deutsche Industrie hinsichtlich Big Data nicht abgehängt ist, wie andere Wettbewerber befindet man sich aber eher in der Suchphase. Intensiver genutzt wird Big Data im Marketing, mit Abstrichen auch im Finanz- und Controlling-Bereich sowie der Unternehmensplanung, in geringerem Umfang auch in der Produktion, der Logistik und dem Einkauf, am geringsten aber im Bereich Personalwesen. In Großunternehmen dominieren technologieorientierte Strategien. Weiterbildungen der Mitarbeiter zu Analytikexperten sind selten oder Pilotinitiativen, die Kooperation mit Hochschulen ebenso. In keinem Unternehmen werden Big-Data-Analysen automatisch durchgeführt, bei 16 Prozent handelt es sich bei manuellen Eingriffen allerdings lediglich um nachgelagerte Kontrolle; offensichtlich besteht hier Rationalisierungspotenzial. In Bezug auf Arbeitsplätze zeigt Abbildung 22 (S. 68) Aufgaben und Tätigkeitsprofile, die von Mitarbeitern erwartet werden.

Mehr als die Hälfte der Befragten erwartet, dass zur Bewältigung der Aufgaben am konkreten Arbeitsplatz Berufserfahrung mit *business intelligence* (BI) beziehungsweise Big Data unabdingbar ist. Eine in der Aus- beziehungsweise Weiterbildung erworbene analytische Kompetenz nehmen mehr als 45 Prozent als Voraussetzung wahr, eine Querschnittsausbildung knapp 43 Prozent. Wirtschaftliche Kompetenz ist demgegenüber schon deutlich weniger wichtig zur Erledigung von Aufgaben in der digitalisierten Ökonomie. Angesichts der erwarteten technischen Entwicklung scheint eine starke Verbreitung von Programmierkenntnissen nicht mehr unbedingt vonnöten – lediglich ein gutes Fünftel der Befragten sieht darin eine Voraussetzung für die Bewältigung von Aufgaben am Arbeitsplatz. Erstaunlicherweise kommt auch dem Fokus auf die Mehrwertgenerierung insgesamt eine eher geringe Bedeutung zu – auf den ersten Blick könnte dies-

bezüglich davon ausgegangen werden, dass sich dieser Fokus auf technischem Wege quasi in die Prozesse einschreiben ließe. Diese Perspektive wie auch die ausgewiesenen Daten relativieren sich jedoch schnell, wenn man im Hinblick auf die einzelnen Komponenten zwischen den Angaben von Vertretern der Spitzenpositionen beim Digitalisierungsgrad und den Verfolgern unterscheidet (siehe Abb. 23).

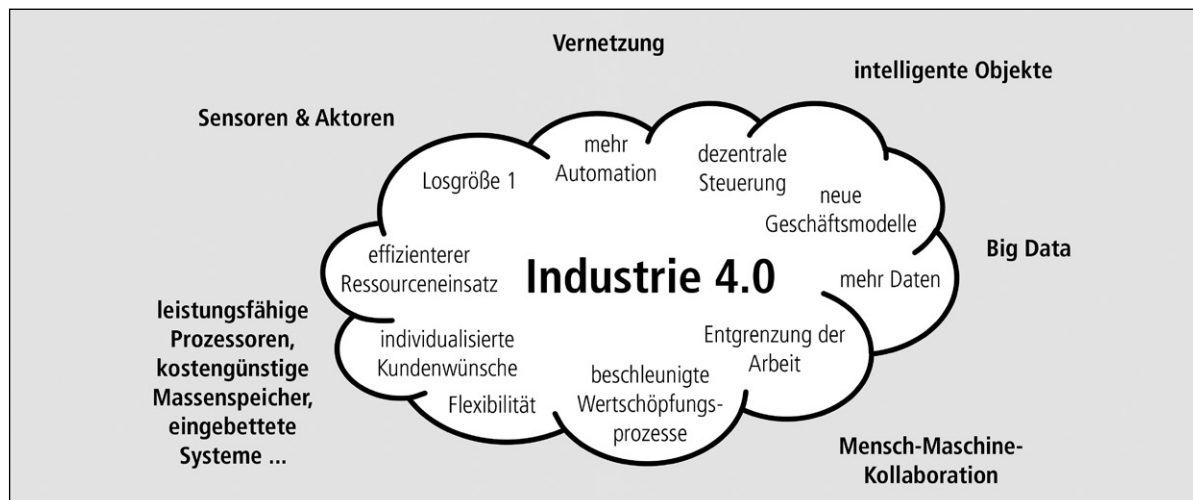
Der Fokus auf die Mehrwertgenerierung ist bei denjenigen, die in Bezug auf den Digitalisierungsgrad ihres Unternehmens eine Spitzenposition einnehmen (und mithin der Großindustrie in bestimmten Branchen angehören dürften), deutlich schwergewichtiger, als dies bei den Verfolgern der Fall ist. Für eine Querschnittsausbildung votieren annähernd 60 Prozent der Vertreter der Spitzenpositionen – die Verfolger nehmen dieses Thema allerdings auch sehr ernst, wenn auch etwas weniger eindeutig. Dass für Protagonisten der Spitzenpositionen Berufserfahrung ein weniger wichtiges Feld darstellt, dürfte ein Hinweis auf länger eingeübte Kompetenzen der Mitarbeiter durch andauernde Technisierung beziehungsweise Digitalisierung sein, die den Verfolgern bisher noch verschlossen ist. Etwa einem Drittel von diesen ist eine generell auf eher hinteren Rängen positionierte wirtschaftliche Ausbildung wichtige Kompetenz der Beschäftigten, bei Unternehmen mit hohem Digitalisierungsgrad sind es zwei Fünftel. Analytische Ausbildung sowie Programmierkenntnisse spielen bei den Verfolgern eine wesentlich größere Rolle als bei den Spitzen – offensichtlich greift hier die Hoffnung darauf, mittels digital gesteuerter Prozesse die Analytik quasi mitgeliefert zu bekommen und nicht für jede Kennziffer speziell ausgebildete Mitarbeiter zu brauchen; Programmierung ist eine Frage des «make or buy» und damit bei den Verfolgern, aber nicht mehr bei den Vertretern der Spitzenpositionen relevant (vgl. MHP 2015).

Politik wird als ein entscheidender Akteur benannt, der den Wandel zur Industrie 4.0 substantiell begleitet. In einer Adaption der Überlegungen des Fraunhofer-Instituts IAO (Spath et al. 2013) benennt Buhr (2015) zentrale Treiber der Entwicklung und fasst sie in der folgenden Darstellung zusammen (Abb. 24):

de gibt Buhr in Übernahme der Größenordnungen der BITKOM/Fraunhofer-Studie (2014) mit 78,77 Milliarden Euro an. Tabelle 6 (S. 71) verdeutlicht angenommene Wachstumschancen je Branche.

Unternehmen sind in der Entwicklung wie Anwendung einer digitalisierten Ökonomie die unmittelbaren

Abbildung 24: Treiber und deren Auswirkungen



Quelle: Buhr 2015

Die in dynamischen, echtzeitoptimierten und sich selbst organisierenden unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsnetzwerken technisch miteinander verbundenen Daten bilden einen Quasi-Werkstoff der Industrie 4.0 – auch wenn weiterhin Rohstoffe, Energie und Arbeitskraft notwendig sind. Objekte, seien es Maschinen oder Produkte, kommunizieren gewissermaßen miteinander mittels authentifizierbarer IP-Adresse (Stichwort «Internet Protocol Version 6», IPv6). Dem liegt das Leitmotiv zugrunde, dass alles, was digitalisierbar ist, auch digitalisiert werden wird. Die daran anknüpfenden positiven oder eher skeptischen Szenarien unterscheidet Buhr (2015) nach ihren zentralen Ansätzen: Das disruptive Paradigma geht davon aus, dass völlig neue Geschäftsmodelle und Wertschöpfungsmöglichkeiten die Industrie 4.0 gegenüber herkömmlichen Produktionsweisen überlegen macht und letztere Zug um Zug verdrängt. Die progressive Perspektive erwartet, dass heutige Produktionsprobleme mit zukunftsweisenden Technologien gelöst werden. Die destruktive Sichtweise schließlich erkennt in der Industrie 4.0 weder Neuheit noch Innovation. Die disruptive und die progressive Variante dominieren die Debatte um die Industrie 4.0 und verweisen auf Effizienzgewinne, Ressourcenschonung und Kostenreduktion, humanere Arbeitsbedingungen, größere Partizipation der Kunden und eine Fülle neuer Produkte und Dienstleistungen. Zugleich erzeugen die dominanten Diskurse Erwartungen nach Investitionen, was zunächst vor allem der IKT-Branche zugutekommen dürfte (vgl. Buhr 2015).

Die durch Industrie 4.0 entstehende Bruttowertschöpfung in Deutschland in der anstehenden Dekade

Hauptakteure – begleitet von durch die Politik bereitgestellten neuen Rahmungen der Geschäfts- und Arbeitsprozesse. Sie modernisieren sich im Übergang zur digitalen Ökonomie und nehmen auf diesem Weg ihre Mitarbeiter mit – zumindest soweit diese den neuen Anforderungen gewachsen sind oder entsprechend qualifiziert werden können. Neben Zugewinnen an Beschäftigung wird es auch Verluste geben. Beschäftigte sind in diesem Prozess allenfalls mittelbare Akteure. Treiber der Entwicklung sind sie zunächst nicht, wachsen aber durch entsprechende Aufgaben, die eine Digitalisierung vorantreiben, in eine wichtige Rolle hinein. Allerdings zeigen sich die Folgen für Unternehmen im engen Zusammenhang mit ihrer Größe als mehr oder weniger dramatisch und gestaltbar (vgl. IHK 2015).

Aus einer politökonomischen Perspektive werden im Grunde alle Akteure als Getriebene beschrieben: Kapitaleigner suchen angesichts der Krise der Überakkumulation nach vermehrter Rendite und erkennen dies in digitalen Produktionsformen. In staatlichen Formationen gesprochen geht es darum, Standortsicherung zu betreiben oder sogar Anteile am Weltmarkt hinzuzugewinnen, um die ökonomische Basis der Gesellschaft zu erhalten beziehungsweise auszubauen. Unternehmen, zumal finanzmarktgesteuert, sind auf Gedeih und Verderb darauf angewiesen, im globalen Wettbewerb mit dem Einsatz effizienterer Produktionsmittel Vorteile zu generieren und Wettbewerber aus dem Markt zu verdrängen. Die in Zusammenarbeit zwischen Staat und Unternehmen angelegten Programme dienen diesem gemeinsamen Ziel, dem Gewerkschaften dann zustimmen, wenn anstelle technizistischer Lösungen

sozialpartnerschaftlich abgesicherte Architekturen konzipiert werden, die Humanisierungseffekte berücksichtigen. Die Beschäftigten schließlich können sich der Entwicklung nicht entziehen und erreichen in geringem Maße eine Höherqualifizierung, sind aber überwiegend den nachteiligen Effekten der Flexibilisierung, Deregulierung und Prekarisierung ausgesetzt (vgl. Butollo/Engel 2015).

Den mit diesen Getriebenheiten verbundenen als einseitig kritisierten technikzentrierten Varianten der Debatte um eine Industrie 4.0 beziehungsweise der in ihren Wirkungen aber begrenzten Diskussion um sozialpartnerschaftliches Vorgehen wird eine kapitalismuskritische Perspektive gegenübergestellt, die nach gesellschaftskritischen Akteuren geradezu schreit – ohne sie jedoch zu benennen und ohne Zielsetzungen dafür zu skizzieren (vgl. Butollo/Engel 2015).

Ittermann et al. (2015) bilanzieren, dass die dominante technologiezentrierte Perspektive die Debatte um eine Industrie 4.0 geradezu überzieht, erst zögerlich wird auf die integrative Perspektive der Einbettung soziotechnischer Systeme hingewiesen. Zugleich liegen nur wenige empirische Einsichten in die digitale Ökonomie vor, die zudem überwiegend auf Experteneinschätzungen und Trendaussagen beruhen. Das resultiert in widersprüchlichen Aussagen und Prognosen. Als Treiber wird in aller Regel der internationale Wettbewerb identifiziert und damit ein relativ abstrakter Player angeführt, der in seinem ubiquitären Ausmaß nicht auszuschalten ist – mithin wohnt der Entwicklung eine schicksalsmächtige Dimension inne – es geht nicht bloß um Technologie, sondern um das Überleben im Wettbewerb angesichts der Gefahr disruptiver Veränderungen durch die digitale Ökonomie (vgl. Ittermann et al. 2015).

Technologiezentrierung bedeutet, dass schon in der Herleitung als vierte Entwicklungsstufe die industrielle Entwicklung im Wesentlichen auf die Einführung neuer Antriebs- und Fertigungstechnologien beschränkt bleibt, thematisiert werden in erster Linie betriebsübergreifende Prozesstechnologien. Ebenfalls bedeutsame Entwicklungen in der Qualifikation der Arbeitskräfte oder den Organisationsformen von Arbeit bleiben so ausgeblendet. Der Mainstream der Industrie-4.0-Debatte orientiert damit reduktionistisch auf die Verbindung von virtueller und realer Fertigung, in die Beschäftigte, Produkte und technische Artefakte eingebunden sind. Arbeitspolitisch wichtige Aspekte bleiben in diesem technischen Determinismus außen vor (vgl. Ittermann et al. 2015).

Zur Debatte um die Industrie 4.0 tragen Protagonisten mit unterschiedlichen Zielstellungen und Formaten bei: Neben einer Vielzahl von kommerziellen Studien zur Abschätzung der ökonomischen Effekte, die insbesondere von Beratungsunternehmen und Wirtschaftsverbänden initiiert werden, finden sich wissenschaftliche Studien und Expertenbefragungen, die unter anderem von ingenieurwissenschaftlicher Seite vorgetragen werden und in der Regel Trendaussagen zur Entwicklung der Produktionsarbeit in Deutschland treffen. Auch die Anzahl an Begleitforschung im Rahmen des Technologieprogramms «Autonomik für Industrie 4.0» ist in seiner Orientierung an Mensch-Technik-Interaktionen bedeutsamer Part der Debatte, ebenso wie Branchenstudien. Sozialwissenschaftliche Einlassungen sind demgegenüber eher als Überblickswerke beziehungsweise konzeptionelle Abhandlungen gefasst, im sozialwissenschaftlichen Sinne empirische Arbeiten fehlen noch weitgehend (vgl. Ittermann et al. 2015; vgl. auch Ittermann/Niehaus 2015).

Tabelle 6: Erwartungen an Wachstumspotenziale durch die Industrie 4.0

Wirtschaftsbereiche	Bruttowertschöpfung (Mrd. Euro)		Potenzial durch Industrie 4.0	Jährliche Steigerung	Steigerung (Mrd. Euro)
	2013	2025*	2013 – 25	2013 – 25	2013 – 25
Chemische Industrie	40,08	52,10	+30 %	2,21 %	12,02
Kraftwagen- und Kraftwagenteile	74,00	88,80	+20 %	1,53 %	14,80
Maschinen- und Anlagenbau	76,79	99,83	+30 %	2,21 %	23,04
Elektrische Ausrüstung	40,72	52,35	+30 %	2,21 %	12,08
Land- und Forstwirtschaft	18,55	21,33	+15 %	1,17 %	2,78
Informations- und Kommunikationstechnik	93,65	107,70	+15 %	1,17 %	14,05
Potenzial der 6 ausgewählten Branchen	343,34	422,11	+23 %	1,74 %	78,77
Beispielhafte Hochrechnung für die Gesamtbruttowertschöpfung in Deutschland	2.326,61	5.593,06**	+11,5 %**	1,27 %**	267,45**

* Bei den Hochrechnungen für 2025 wurde kein Wirtschaftswachstum berücksichtigt. Es handelt sich um eine reine Relativbetrachtung mit und ohne die Industrie 4.0-Potenziale für die sechs ausgewählten Branchen.

** Gesamtsumme enthält die Industrie 4.0-Potenziale für die sechs ausgewählten Branchen sowie die Hochrechnung der restlichen Branchen unter der Annahme, dass für diese ein Potenzial in Höhe von 50 % der Bruttowertschöpfung für die ausgewählten Branchen gilt.

Quelle: Buhr 2015

5 RESÜMEE: INDUSTRIE 4.0, ARBEITEN 4.0 – ARBEITS- UND GESELLSCHAFTSPOLITISCHE HERAUSFORDERUNGEN

Die in den letzten Jahren veröffentlichten Prognosen und Studien zum Themenfeld Industrie 4.0 zeichnen sich in ihrer Mehrheit durch einen technikaffinen Ansatz aus, der in Fortschreibung der Annahme linearer Pfadverläufe des Technologieeinsatzes in der Arbeitswelt Auswirkungen der digitalisierten Ökonomie behauptet, denen allenfalls ein nur geringes Maß an Seriosität zugesprochen werden kann. Häufig sind es Schätzungen auf der Grundlage angenommener Wahrscheinlichkeiten von prognostischen Erwägungen, die wiederum auf der Basis von prospektiven Expertenbefragungen aus dem ingenieurwissenschaftlichen Umfeld oder dem strategischen Management stammen – mit anderen Worten: interessengeleitete Daten, die in ihrer Absolutheit nur mit Vorsicht zu genießen sind. Dass technische Experten zu Überzeichnungen der Potenziale der Rationalisierungstechnologien neigen, ist bekannt (vgl. Hirsch-Kreinsen 2014). Dass Manager daran nicht zuletzt angesichts der Zielsetzung effizienterer Produktion gerne glauben und deshalb Manager wie Experten den Einsatz neuer Technologien befördern, ist angesichts der antizipierten Entwicklungen nur konsequent, erzeugt aber einen sich selbst verstärkenden Effekt: Die beinahe tautologischen, in jedem Falle rückbezüglichen Verweise aufeinander und der weitgehend erstaunlich identische Teilnehmerkreis an *round tables*, Fachgesprächen oder Studien zum Thema scheinen vor allem dazu geeignet, Industrie 4.0 als ökonomisches Überlebenssthema virulent zu halten, wenn nicht gar zu dramatisieren.

Das Schlagwort von den disruptiven Entwicklungen umschreibt dabei ein katastrophisches Szenario, dessen Wucht und Allgegenwärtigkeit in den scheinbar leicht zugänglichen digitalen Ressourcen steckt. Damit werden neue Produkte und Produktionsweisen denkbar, die den althergebrachten Industrien den Lebenssaft rauben. Überall scheinen digitale Macher in der Lage zu sein, blitzschnell Konsumartikel, Güterproduktion oder Dienstleistungen zu entwickeln und damit selbst große Player anzugreifen. Reicht dies nicht, wird auf Anstrengungen der globalen Standortkonkurrenten verwiesen, die Digitalisierung als Rationalisierungsprojekt verstärkt voranzutreiben und mit den entsprechenden Effizienzgewinnen den Wettbewerb entscheidend zulasten der heimischen Produktion zu verändern.

Solche Szenarien sind erstens deutlich unterkomplex, wenn sie der Technologie an sich den entscheidenden Impuls zur Implementierung ihrer selbst zuschreiben. Dies ist angesichts der ökonomischen Abwägungen, die mit jedem Prozess der Technikdiffusion in Betrieben einhergeht, sträflich monokausal gedacht und unterschlägt zudem soziale Aushandlungsprozesse, die eine solche Einführung begleiten. In Bezug auf die wie aus dem Nichts entstehenden Kon-

kurrenten sehen sie zudem von der Komplexität ökonomischer Prozesse ab, die neben Produktqualität etwa auch Dinge wie Vertrauens Erwartung der Kunden oder einen hinreichenden Zugang zu Rohstoffen und Distributionskanälen umfassen. Zudem sind in Bezug auf Geschäfts- wie Produktionsmodelle solche Entwicklungen der «schöpferischen Zerstörung» (Schumpeter) faktisch immer denkbar; dafür gibt es in der Vergangenheit zahlreiche Beispiele (etwa die Speichertechnologien). Dies führt allerdings nicht zwingend zum Verschwinden der Akteure – insofern ist der Rede von disruptiven Innovationen eine gewisse Dramatik eigen, der nur gefolgt werden kann, wenn alle relevanten Komponenten umstandslos ineinandergreifen – was angesichts der Komplexität der Umgestaltung wenig wahrscheinlich ist.

Grundständig ist die kapitalistische Ökonomie dadurch charakterisierbar, dass Konkurrenzen unter anderem über volatile Geschäftsmodelle, effizientere Betriebsführung und immer neue Produkte ausgefochten werden – regelmäßig mit arbeits- und personalpolitischen Auswirkungen. Daran ändern disruptive Prozesse durch Digitalisierung grundsätzlich erst einmal wenig, gegebenenfalls erhöhen sie aber für eine gewisse Zeit die Umschlagbewegung und führen letztlich auch sogenannte Marktberäuberungen herbei. Damit wohnt der Digitalisierung tatsächlich ein Druck auf alteingesessene Modelle und Unternehmensstrukturen inne und insofern sind gegebenenfalls weniger die absoluten Zahlen, wohl aber die Szenarien zur Industrie 4.0 durchaus ernst zu nehmen. Stetiger Innovationsdruck sollte dabei für kapitalistische Unternehmen allerdings nichts prinzipiell Neues sein. Die der Adaption der Studie von Frey und Osborne folgenden Verweise auf entsprechende Folgen für den deutschen Wirtschaftsstandort kommen einer Schwarzmalerei auf dürrtigem Grund nahe – als absichtsvolle Drohgebärde allerdings zielen sie auf das politische Feld, in dem um Unterstützung gerungen wird und in Fragen einer auszubauenen Infrastruktur auch Finanzmittel einzuwerben sind. Das entspricht insbesondere den zu Beginn der Industrie-4.0-Debatte auftretenden Akteuren beziehungsweise ihrer Vorstellung davon, wie Technologie und damit Konkurrenzfähigkeit gefördert werden kann. Angesichts der Wahrnehmung der globalen Konkurrenzsituation und der Identifikation eines technologischen Vorsprungs der Wettbewerber (USA, Asien) einerseits und der immensen Voraussetzungen und Kosten der Industrie 4.0 andererseits gilt diese Strategie der deutschen beziehungsweise europäischen Wirtschaft als unabdingbar.

In der Debatte lassen sich in Bezug auf die Auswirkungen auf den Fortbestand von Arbeitsplätzen zunächst zwei Linien ausmachen: Substitutionsperspektiven betonen den Verlust von Arbeitsplätzen, während

die Polarisierungsthese von differenzierteren Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt ausgeht. Substitutionsthese gehen von einem Verschwinden einfacher und niedriger Tätigkeiten durch Automatisierung aus – die verbleibenden Arbeitsplätze erfahren aufgrund der in ihnen abgerufenen Aufgabenspektren (Flexibilität, Kreativität, Kommunikation etc.) dagegen eine Aufwertung. Polarisierung stellt sich dagegen dann ein, wenn mittlere Tätigkeiten mit einem hohen Routinisierungsgrad durch Automatisierung obsolet werden, während einfache und hoch qualifizierte Tätigkeiten bestehen bleiben und gegebenenfalls (etwa im Dienstleistungsbereich) sogar neue entstehen. Begünstigt wird diese Entwicklung durch eine bereits gegenwärtig weit vorgeschrittene Form der Arbeitsorganisation, die zwischen Standardisierung und Strukturvorgaben sowie Dezentralisierung und erweitertem Aufgabenspektrum oszilliert (vgl. auch Hirsch-Kreinsen 2015).

Aus gewerkschaftlicher Perspektive ist die mit einer Industrie 4.0 einhergehende Modernisierung der Industrie nicht zu verhindern, weitgehend wird der Perspektive um globale Standortkonkurrenzen gefolgt. Gesetzt wird auf gewerkschaftlichen Einfluss hinsichtlich der Gestaltung mit dem Ziel, Partizipation und Entscheidungsmöglichkeiten der Beschäftigten zu erhalten und zu erhöhen und gleichzeitig Belastungen zu reduzieren beziehungsweise monotone Arbeiten zu substituieren (vgl. IG Metall 2015).

Auf den ersten Blick erfreulich ist der Bezug vieler Studien auf die Industrie 4.0 als ein soziotechnisches System – getrübt wird diese Perspektive allerdings dadurch, dass der Bezug häufig ein oberflächlicher bleibt (vgl. instruktiv: Brödner 2015): Dass Mensch und Maschine komplementär zu denken sind und dass es sich beim Einsatz digitaler Technologie im Rahmen der Industrie 4.0 um Mensch-Maschine-Interaktionen handeln wird, ist so richtig wie banal. Im Ergebnis wird die Komplementarität allerdings häufig zugunsten einer einseitigen Annäherung an die Technologie aufgelöst, sodass allein die Forderung nach einer Anpassungsleistung der Menschen übrig bleibt – menschenzentrierte Gestaltung und Arbeitsorganisation bleiben da zumeist randständig. Es ist Pfeiffer und Suphan zuzustimmen, die Routinen und Erfahrungen als Potenzial für Improvisationsleistungen bestimmen, die nicht einfach automatisierbar seien (vgl. Pfeiffer/Suphan 2015). Das diesbezüglich in Industrie-4.0-affinen Studien häufig anzutreffende Schema «Automatisierung ersetzt Routinetätigkeiten» ist deshalb deutlich zu einfach gestrickt. Vielmehr wird es um einen ausgestalteten Gesamtzusammenhang von Technologie, (über-)betrieblicher Arbeitsorganisation und individueller Qualifikation und Kompetenz gehen, die auch die Frage nach Führung und guter Arbeit aufwirft (vgl. Deuse et al. 2015).

Kennzeichnend für die gegenwärtige Debattenlage ist eine noch weitgehende Ausblendung der sozialen Auswirkungen einer digitalisierten Ökonomie, wie sie insbesondere von der arbeitssoziologischen Seite kri-

tisiert wird. Zugestanden wird, dass der Stellenwert einer zukünftigen Produktionswelt Industrie 4.0 derzeit kaum abzuschätzen ist – gleichzeitig werden aber Vergleiche mit vergangenen Technisierungsschritten gezogen (vgl. Ittermann/Niehaus 2015). Dabei sind jenseits der technischen Szenarien oder arbeitsorganisatorischen Visionen insbesondere die Fragen nach gesellschaftlicher Transformation und sozialer Spaltung zu stellen, die in den Debatten zur Industrie 4.0 beziehungsweise der digitalen Ökonomie als Prosperitätsschritt, Strukturkrise, gesellschaftliche Polarisierung, das heißt letztlich als Gestaltungsaufgabe (Dörre 2015) begriffen wird: Mit Blick auf erwartete Prosperitätsgewinne wagen *first mover* permanent den Technisierungsschritt als Gelegenheit, überkommene Produktionsregime abzulösen und selbst Marktführerschaft zu erreichen – aktuell eben durch die Industrie 4.0. Der schon von Keynes gesetzten These von einer technologischen Arbeitslosigkeit folgt die Perspektive auf eine Strukturkrise, die letztlich in eine Krise des Kapitalismus selbst mündet. Weniger fatalistisch wertet die Polarisierungsthese den Niedergang der alten Produktionsweisen – im Endeffekt entstehen gesellschaftliche Reformen, die Arbeitsplätze umverteilen; zu welchen Konditionen allerdings, ist ungewiss. Als arbeitspolitische Gestaltungsaufgabe wiederum kann die Technisierung begriffen werden, wenn damit weder fatalistische Grundhaltungen oder naive Prosperitätserwartungen verbunden, sondern (unter Beachtung von Machtressourcen und Kräfteverhältnissen) gesellschaftlich sinn- und verantwortungsvolle Lösungen angestoßen werden. Eine in gewisser Weise sowohl Prosperitäts- als auch Technologieaspekte verbindende Position nehmen Brynjolfsson und McAfee (2014) ein, die angesichts der bei fallenden Kosten exponentiell ansteigenden Leistungsfähigkeit digitaler Technologie und einer auf Vernetzung zielenden ökonomischen Architektur nicht nur gesteigerte Produktvielfalt, sondern auch erhöhten Informationsaustausch und optimierte Informationsverwertung prognostizieren und mithin ansteigende Innovationskraft auch über bisherige technologische Grenzen (Robotik) hinaus erwarten. Die solcherart hervorgerufenen Umwälzungen begünstigen *first movers*, die ihre innovativen Produkte und Prozesse mit niedrigen Personalkosten organisieren und so exorbitante Gewinne realisieren können, während die Effekte technologisch bedingter Arbeitslosigkeit gesellschaftlich nur teilweise zu kompensieren wären, aber in jedem Fall gesellschaftliche Rahmung und Intervention bräuchten.

In ihrer arbeits- wie beschäftigungspolitischen Dimension ist die in den Studien dominante Rationalisierungsperspektive der Industrie-4.0-Debatte auf die entsprechenden Diskurse vergangener Dekaden orientiert, obwohl sowohl die technologische Substanz als auch die gesellschaftlichen Folgewirkungen sehr viel umfänglicher sind. Zudem ist die ökonomische Basis der Unternehmen im Finanzmarktkapitalismus kaum mit derjenigen der 1980er Jahre zu ver-

gleichen – Studien, die die Auswirkungen dieser veränderten Situation auf den Technologieeinsatz oder die Innovationsleistung untersuchen, gibt es in Bezug auf die Industrie 4.0 allerdings nicht. Kern dieser Rationalisierungsperspektive der gegenwärtigen Debatte ist ein «sozialpartnerschaftlich geprägter Futurismus» (Butollo/Engel 2015), der gesellschaftspolitische Perspektiven und Alternativen ausblendet. In diesem technizistischen Positivismus, der auf eine gesteigerte globale Wettbewerbsfähigkeit dank digitalisierter Ökonomie setzt, verdeckt die Spiralförmigkeit des digitalen Lösungsversprechens (mehr oder weniger eine binnengesellschaftliche Fortführung des fordistischen Bonmots: «Wachstum und Wohlstand für alle» unter digitalen Vorzeichen) die dem Einsatz neuer Technologien selbst eingeschriebene Verschärfung: Renditeorientierte Produktionsregime werden weiterhin auf Flexibilisierung und Deregulierung arbeits- und sozialpolitischer Standards setzen und Prekarisierung befördern. Es wird Rationalisierungsgewinner mit höheren Qualifikationsanforderungen geben, aber eben auch Verlierer mit Qualifikationsanforderungen, die gegen Null gehen, oder vollständig substituiert werden.

In dieser Art der Thematisierung bei gleichzeitiger Absenz von Alternativen steckt weniger eine Unterlassung als vielmehr der Kern einer ökonomistischen und technizistischen Perspektive, die Gesellschaft wie Arbeitende auf eine Funktion des Wirtschaftssystems reduziert. Zuerst der Erfolg im Wettbewerb, inklusive dazu notwendiger Investitionen in Maschinen und auch in die noch notwendigen Menschen sowie der marktkonformen Umgestaltung der Rahmenbedingungen (Datenschutz, Arbeitsrecht etc.), dann Lösungsansätze für gesellschaftlich unerwünschte Nebenfolgen – so könnte das Credo dieser Perspektive auf die Weltwirtschaftsgesellschaft lauten. Als zentrale Gestaltungsaufgabe erweist sich so die Wettbewerbsfähigkeit des Standorts mit seinen Einzelunternehmungen.

Dagegen ist argumentativ – abgesehen vom Einfordern von Mindeststandards und globalen Arbeitsschutzrechten – interessenpolitisch sinnvoll wenig auszurichten, will man nicht als Modernisierungshemmnis wahrgenommen werden. Diese schwierige Lage begründet die Position der Gewerkschaften, die überwiegend auf arbeitspolitische Begleitung des Prozesses setzen, ohne darüber hinausgehende Fragen aufzugreifen. Die Thematisierung der Konkurrenzspirale allein ist analytisch immerhin korrekt (wenn auch nicht neu), verbleibt allerdings im Anruf von zukünftigen systemisch-disruptiven Ereignissen letztlich in einer Neuausrichtung beziehungsweise Überwindung des Kapitalismus. Dazu notwendige Schritte schließen allerdings Zwischenschritte nicht aus – und diese werden sowohl von Gewerkschaftsseite als auch von anderen gesellschaftspolitischen Akteuren formuliert, insbesondere auf der betrieblichen Ebene.

Nahezu fatalistisch allerdings resümiert Hirsch-Kreinsen (2015), dass die unternehmensübergreifende Steuerung von Material- und Wissensströmen die

einzelbetriebliche Regulierung von Arbeit zunehmend porös erscheinen lässt und als Einfallstor für eine weitere Marktsteuerung dient. Die von ihm skizzierte Schwarmorganisation wäre in diesem Sinne eher als Chiffre für entgrenzte und deregulierte Arbeit zu verstehen denn als Aufwertung oder *upgrading* von Arbeit (vgl. Hirsch-Kreinsen 2015: 21).

Das Grünbuch des BMAS dient nach eigenem Verständnis dazu, als notwendig erachtete Regulierungen für die digitalisierte Arbeitswelt auszuloten, und verfolgt damit durchaus einen gesellschaftspolitischen Ansatz, wenn der Grünbuch-Prozess Leitplanken der Gestaltung von Arbeiten 4.0 bestimmen will. Arbeitspolitisch ist das ein wichtiger Schritt, insofern hier auch soziale Standards zu verhandeln sind, die entgrenzter und deregulierter Arbeit Rahmungen auferlegen. Auch die verschiedenen Plattformen und Initiativ- wie Arbeitskreise an verschiedenen Ministerien sind Ausdruck des Ringens um mehr oder weniger regulative Varianten. Dazu gehören Debatten um die Leistungs- und Verhaltenskontrolle ebenso wie der Datenschutz von Kunden in Zeiten von Big Data.

Die prinzipiell im Informationsraum (Boes et al. 2015) angelegte Inkorporierung der Subjekte in die digitale Ökonomie, sei es als Arbeitende, Kunden oder arbeitende Kunden, trägt die schon angesprochenen funktionalistischen Züge, die Menschen auf die Wirtschaft, aber nicht Wirtschaft auf die Menschen bezieht. Die in der Technologie angelegten Freiheitspotenziale – wie etwa auch die des Internets, um die sich die jüngste Debatte zur Netzneutralität drehten – werden jedenfalls nur randständig im Industrie-4.0-Diskurs thematisiert. Gelegentlich werden Forderungen nach entsprechenden Impulsen geäußert, etwa wenn Schwemmlé für eine Humanisierung digitaler Arbeit wirbt (Schwemmlé 2014): Arbeitspolitik muss bildungspolitische Innovationen befördern und die Erwerbstätigen befähigen, sich qualifikatorische Ressourcen zu erschließen, die bei «entbetrieblicher» Arbeit notwendig sind. Dazu gehören digitale Selbstbestimmung und Autonomie, die Fähigkeit zur Selbstorganisation in gering strukturierten Arbeitskontexten jenseits betrieblicher Arenen, Kompetenz zum Mobilitätsmanagement oder die Befähigung, Überforderungen durch entgrenzende Effekte digitaler Arbeit einzudämmen. Hinzu kommen regulatorische Kontrollinstanzen wie Betriebsräte sowie erweiterte Teilhabechancen, die das Recht auf Nichterreichbarkeit, das Recht auf Mitsprache bei Zielvorgaben, einen angepassten Arbeitsschutz sowie die Integration von prekären Clickworkern in die Kollektivsysteme sozialer Sicherung umfassen müssen. Dabei ist an ein ganzes Bündel an Regulierungsformen zu denken, die von gesetzlichen und tarifvertraglichen Formen über Betriebsvereinbarungen bis hin zu einvernehmlichen Verhaltenskodifizierungen im Einzelfall reichen, die geeignet sind, Gestaltungsspielräume zu schaffen, zu erhalten und nutzbar zu machen (vgl. Schwemmlé 2014).

Angesichts der neuen Qualität des vernetzten Informationsraums als sozialer Handlungsraum sind hohe

Risiken für die Arbeitenden offensichtlich, es eröffnen sich aber auch neue Gestaltungschancen in Richtung einer Demokratisierung der Wirtschaft und der Arbeitswelt. Das beinhaltet zunächst seitens der tradiert fordistisch-bürokratischen Unternehmen vorsichtige Adaptionen von Organisationsformen, die in den digitalen Communities, aber auch in Vorreiterunternehmen praktiziert werden: Arbeitsweise, Methodeneinsatz und Instrumente eignen sich dazu, überkommene Strukturen zu hinterfragen und gegebenenfalls zu verändern, zumal zukünftig die *digital natives* entsprechende Strukturen erwarten.

Im Zuge einer systemischen Integration aller Teile der Wertschöpfungskette entstehen neue Anforderungen an ein intelligentes Schnittstellenmanagement, die ein professionell agierendes sachliches Management, rationale und kollaborative Führungsprinzipien und kollektive Entscheidungsprozesse voraussetzen, unter anderem im Rückgriff auf die Selbstorganisationskräfte eines *lean managements* (dt. schlanken Managements) (vgl. Boes et al. 2015). Dabei sind institutionalisierte Formen der Mitbestimmung Garant dafür, dass Selbstbestimmung im systemisch integrierten Unternehmen nicht ihres demokratischen Impulses beraubt wird oder sich als Ausbeutung qua Vereinzelung verbreitet. Insgesamt konstatieren Boes et al. (2015) ambivalente Entwicklungen: So beklagen Mitarbeiter angesichts standardförmig digitalisierter Prozesse und informatisierter Kontrollformen eingeschränkte Freiheitsgrade. Abgeflachte Hierarchien führen nicht umstandslos zu erweiterter Beteiligung oder demokratischen Unternehmen, sondern können auch als Zentralisierung von Macht erlebt werden. Auch Arbeitsprinzipien der Open-Source-Communities resultieren nicht unbedingt im Empowerment der Arbeitenden, sondern initiieren ein «System permanenter Bewährungen». Im Informationsraum ist den systemisch integrierten Unternehmen eine Transformation der Wissensarbeit in industriell getaktete Arbeit möglich, aber ebenso erweiterte Partizipation (ebd.).

Dörre (2015a) betont, dass demokratische Unternehmen stabile und krisenrestente arbeitspolitische Übereinkünfte brauchen, die durchaus gegensätzliche Interessen integrieren, um nachhaltig zu bestehen. Er schließt damit an die Tradition einer sozialen Demokratie an, die Unternehmen nicht aus dem demokratischen Prozess entlässt. In Bezug auf wirtschaftsdemokratische Vorstellungen im Zusammenhang mit der Digitalisierung konstatiert Dörre, dass eher Partizipationsformen begrenzter Reichweite, etwa in der Form der *liquid democracy* organisiert, zur Debatte stünden als egalitäre Entscheidungsstrukturen.

Chancen auf erweiterte Partizipation ergeben sich regelmäßig, wenn Entwicklungspfade neue Verläufe nehmen – sie können allerdings in sich zusammenfallen oder nur zum Teil verwirklicht werden, wenn Alternativen dazu den Unternehmen zur Verfügung stehen oder systematisch Verlierer und Gewinner produziert

werden. So lassen sich die Modelle der Selbstorganisation, die zwar funktional im Sinne des Produktionsprozesses sind, aber weiter gehende Interessen wenig oder gar nicht berücksichtigen, durchaus als Gegenentwurf zu demokratischer Partizipation im Betrieb verstehen, die unter anderem aus Angst vor Kontroll- und Machtverlust verworfen werden. Im Hinblick auf die demokratische Verfasstheit von Unternehmen bremsen vor allem die Negierung unterschiedlicher Interessen und die Vorstellung einer am gleichen Strang ziehenden Betriebsgemeinschaft wirtschaftsdemokratische Entwicklungen Demokratie schlichtweg aus. Es zeigen sich entlang der spezifischen Eigentumsverhältnisse, der unterschiedlichen Partizipationsniveaus, der Umsetzung liquider Entscheidungsmodelle, der differentiellen Bezugnahme auf formalisierte Mitbestimmungsrechte sowie im Hinblick auf Krisenfestigkeit zum Teil mehr als graduelle Abstufungen, die nicht zuletzt mit dem Hinweis auf den Wettbewerb oder konkurrierende Arbeitskräfte verbal gerechtfertigt werden (vgl. Dörre 2015a).

Im Durchgang durch Studien und Beiträge zur Debatte um Industrie 4.0 und Arbeiten 4.0 werden also Konturen erkennbar, die unterschiedliche Ebenen des Phänomens adressieren und die entlang einiger substantieller Linien gebündelt werden können.

Die Digitalisierung der Wirtschaft und des Arbeitslebens hat längst eingesetzt und wird durch neue Technologien noch befeuert – mit substantiellen Folgen für die Unternehmensstrukturen und die Arbeits- wie Beschäftigungsverhältnisse. Industrie 4.0 ist dabei im Kern ein Rationalisierungsprojekt, das auf vorgängigen Mustern aufbaut, diese allerdings ob der technologischen Möglichkeiten noch radikalisiert.

Durch die Etablierung neuer Geschäftsmodelle und Produkte stehen alteingesessene Unternehmen zweifelsohne unter Druck – allerdings erscheinen die Potenziale der *new makers* im Diskurs zur Industrie 4.0 als weit überzeichnet, während Vorteile und Reaktionsvermögen der Etablierten systematisch unterschätzt werden.

Arbeitsmarkt- und beschäftigungspolitisch ist von nachteiligen Effekten für bestimmte Arbeitnehmergruppen auszugehen, deren Verbleib im Beschäftigungssystem unter anderem vor dem Hintergrund des demografischen Wandels wünschenswert und damit zu organisieren ist – nicht zuletzt darauf zielen die Forderungen nach Qualifizierung. Ein Ausschluss mittlerer Qualifikationen angesichts polarisierter Arbeitsmärkte dürfte immense volkswirtschaftliche Belastungen hervorrufen, die auch zulasten notwendiger weiterer Investitionen gehen.

Digitale Technologien sind nicht wertfrei, sie sind aber auch nicht per se demokratiefördernd oder -feindlich. Der Prozess ihrer Einführung und Ausgestaltung ist bereits Teil der Auseinandersetzung zwischen Gruppen mit unterschiedlichen Interessen, die sich etwa an Themen wie Leistungskontrolle, Arbeitszeit und Arbeitsort entzünden.

Die im engeren Sinne arbeitspolitische Daueraufgabe jenseits der bei der Einführung neuer Technologien und Prozesse funktional selbstverständlichen Qualifizierungschancen und -zwänge für Arbeitnehmer ist es, Regeln für die Arbeit im Informationsraum aufzustellen, die den Einzelnen oder Vereinzelt den erreichten Standard an Arbeitnehmerschutzrechten gewährleisten und helfen, Überlastungen zu vermeiden. Das erfordert über die bis in die jüngste Vergangenheit noch technizistisch verkürzte Debatte hinausgehende arbeits- wie sozialpolitische Weichenstellungen, die naturgemäß umstritten sind.

Systemisch integrierte Unternehmen setzen auf effiziente Produktion inklusive liquider werdender Organisationsprozesse bei gleichzeitiger Konservierung der substanziellen Machtverhältnisse. Damit weitet sich die arbeitspolitische Aufgabenstellung zu einer gesellschaftspolitischen Zielstellung aus, insofern damit Potenziale der Demokratisierung des Wirtschaftslebens verbunden sind. Dabei kann sich der Blick kaum auf nationalstaatliche Standortperspektiven beschränken, sondern muss entlang globaler Produktionsprozesse bei der Beschäftigung des globalen Gesamtarbeiters ansetzen, will er nicht als Demokratiemodell einer «digitalen Aristokratie» in globalisierten Wertschöpfungssystemen verkümmern.

Das ruft danach, der Fragmentierung qua Standortkonkurrenz und konkurrenzweiser Vereinzelung Riegel vorzuschieben und langfristig etwa Plattformen zu etablieren, die zum Beispiel auf gesetzlicher Grundlage oder analog zu den ILO-Standards Arbeitsverhältnisse inklusive Rechte und Pflichten der Beteiligten systema-

tisieren und global regulieren, um Auswüchse in den Kernländern wie in den Peripherien der globalisierten digitalen Produktion zu verhindern.

Die Gestaltungschancen wie die Risiken digitalisierter Arbeit erfordern demnach kleinteilige (und gegebenenfalls erweiterte) Mitbestimmung im betrieblichen Alltag ebenso wie arbeits- und gesellschaftspolitische Initiativen in unterschiedlichen Maßstäben der nationalen und internationalen Wirtschaftsräume wie der globalen Ökonomie insgesamt. Damit werden internationalisierte Interessenvertretungen in Zukunft an Gewicht gewinnen – was nicht zulasten der Produktivität gehen muss.

Einem einfachen Kollektivismus der selbstorganisierten Clickworker und/oder Beschäftigten das Wort zu reden, würde allerdings an der konkurrenzweiser Situation der individuellen Akteure (jenseits der juristischen Person der Unternehmung) vorbeigehen – der Wettbewerb verspricht ja schließlich Erfolg. Das stellt Gewerkschaften vor neue Herausforderungen hinsichtlich der Mitgliedschaft wie des Vertretungsanspruchs.

Darüber hinaus ist im Sinne einer Gesellschaft 4.0 über allgemeingültige Formen der Beziehung zwischen Unternehmen und Subjekten, über Vergabepattformen, über kooperative Formen und insbesondere über Transparenz bezüglich der Verfasstheit von digitalisierter Arbeit nachzudenken. Letzten Endes wäre der Preis der Arbeit 4.0 analog dem Mindestlohngesetz gesellschaftlich zu definieren, um Verstöße ächten beziehungsweise sanktionieren zu können. Dafür allerdings müssten ebenfalls erst geeignete Instrumente entwickelt werden.

LITERATURVERZEICHNIS

A

Abel, J./Ittermann, P./Pries, L. (2005): Erwerbsregulierung in hochqualifizierter Wissensarbeit – individuell und kollektiv, diskursiv und partizipativ, in: *Industrielle Beziehungen* 1/2005, S. 28–50.

Abele, E./Gunter, R. (2011): Zukunft der Produktion. Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen, München.

Acatech/Forschungsunion (2012): Im Fokus: Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Handlungsempfehlungen zur Umsetzung.

Accenture (2014): Industrie 4.0 – Neue Geschäftsmodelle. Mutig auf neues Terrain, unter: www.accentureinsights.de/de/ausgaben/der-eigene-weg-zur-spitze/industrie-4-0.html.

Aghion, P./Howitt, P. (1994): Growth and Unemployment, in: *The Review of Economic Studies* 3/1994, S. 477–494.

Ahrens, D. (2008): Jenseits des Mythos vom «gläsernen Fahrer»: Die Rolle der Telematik im Transportprozess, in: *Funken, C./Schulz-Schaeffer, I. (Hrsg.): Digitalisierung der Arbeitswelt. Zur Neuordnung formeller und informeller Prozesse in Unternehmen*, Wiesbaden, S. 69–91.

Altmann, N./Deiß, M./Döhl, V./Sauer, D. (1986): Ein «Neuer Rationalisierungstyp». Neue Anforderungen an die Industriesoziologie, in: *Soziale Welt* 2–3/1986, S. 191–207.

Altvater, E. (2005): Das Ende des Kapitalismus, wie wir ihn kennen. Eine radikale Kapitalismuskritik, Münster.

Anderl, R. (2006): Virtuelle Produktentwicklung in der Automobilindustrie, in: *Baukrowitz, A./Berker, T./Boes, A./Pfeiffer, S./Schmiede, R./Will, M. (Hrsg.): Informatisierung der Arbeit – Gesellschaft im Umbruch*, Berlin, S. 37–52.

Arntz, M./Bonin, H./Zierahn, U. (2014): Auswirkungen des technologischen Wandels auf den Arbeitsmarkt. Expertise des ZEW, Mannheim.

Autor, D. (2013): The «tasks approach» to labor markets: an overview, in: *Journal for Labor Market Research* 3/2013, S. 185–199.

Autor, D./Lvy, F./Murmane, R. J. (2003): The skill content of recent technological change: An empirical exploration, in: *The Quarterly Journal of Economics* 4/2003, S. 1279–1333.

B

Baethge, M./Oberbeck, H. (1986): Zukunft der Angestellten, Frankfurt a. M./New York.

Bainbridge, L. (1983): Ironies of automation, in: *Automatica* 6/1983, S. 775–779.

Bauer, W./Schlund, S. (2015): Wandel der Arbeit in indirekten Bereichen – Planung und Engineering, in: *Hirsch-Kreinsen, H./Ittermann, P./Niehaus, J. (Hrsg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen*, Baden-Baden, S. 53–69.

Baukrowitz, A./Boes, A. (1996): Arbeit in der «Informationsgesellschaft». Einige Überlegungen aus einer (fast schon) ungewohnten Perspektive, in: *Schmiede, R. (Hrsg.): Virtuelle Arbeitswelten. Arbeit, Produktion und Subjekt in der «Informationsgesellschaft»*, Berlin, S. 129–157.

Baukrowitz, A./Boes, A./Eckhardt, B. (1994): Software als Arbeit gestalten. Konzeptionelle Neuorientierung der Aus- und Weiterbildung von Computerspezialisten, Opladen.

Baukrowitz, A./Boes, A./Schwemmler, M. (1998): Veränderungstendenzen der Arbeit im Übergang zur Informationsgesellschaft. Befunde und Defizite der Forschung, in: *Enquete-Kommission Zukunft der Medien in Wirtschaft und Gesellschaft/Deutschlands Weg in die Informationsgesellschaft/Deutscher Bundestag (Hrsg.): Arbeitswelt in Bewegung. Trends, Herausforderungen, Perspektiven*, Bonn, S. 21–169.

Baumgärtner, K. (2009): Bedeutungswandel von Lernen im Prozess der Arbeit, unter: www.international-monitoring.com/fileadmin/Downloads/Experten/Expertisen/Expertisen_neu/Expertise_Baumgaertner.pdf.

Bechtle, G. (1994): Systemische Rationalisierung als neues Paradigma industriesoziologischer Forschung?, in: *Beckenbach, N./van Treeck, W. (Hrsg.): Umbrüche gesellschaftlicher Arbeit, Soziale Welt, Sonderband 9*, Göttingen, S. 45–64.

Becker, K.-D. (2015): Arbeit in der Industrie 4.0 – Erwartungen des Instituts für angewandte Arbeitswissenschaft, in: *Botthof, A./Hartmann, E. A. (Hrsg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*, Wiesbaden, S. 23–30.

Becker, M. (2006): Informatisierung des Kraftfahrzeugs und die Auswirkungen auf die Facharbeit am Beispiel von Diagnosesystemen, in: *Baukrowitz, A./Berker, T./Boes, A./Pfeiffer, S./Schmiede, R./Will, M. (Hrsg.): Informatisierung der Arbeit – Gesellschaft im Umbruch*, Berlin, S. 240–251.

Becker-Schmidt, R. (1980): Widersprüchliche Realität und Ambivalenz – Arbeitserfahrungen von Frauen in Fabrik und Familie, in: *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie* 4/1980, S. 705–725.

Becker-Schmidt, R. (1983): Einleitende Überlegungen, in: *Kreckel, R. (Hrsg.): Soziale Ungleichheit, Soziale Welt, Sonderband 2*, Göttingen, S. 249–254.

Benz-Overhage, K./Brumlop, E./v. Freyberg, T./Papadimitriou, Z. (1983): Computergestützte Produktion. Fallstudien in ausgewählten Industriebetrieben, Frankfurt a. M./New York.

Berger/BDI (2015): Die digitale Transformation der Industrie. Was sie bedeutet – Wer gewinnt – Was jetzt zu tun ist. Studie im Auftrag des Bundesverband der Deutschen Industrie, Berlin.

Berger, J./Offe, C. (1984): Die Entwicklungsdynamik des Dienstleistungssektors, in: *Offe, C. (Hrsg.): «Arbeitsgesellschaft»: Strukturprobleme und Zukunftsperspektiven*, Frankfurt a. M./New York, S. 229–270.

- Blauner, R. (1964):** Alienation and freedom. The factory worker and his industry, Chicago.
- BITKOM/Bauer (2014):** Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland, Fraunhofer-Gesellschaft IAO.
- BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie) (2013):** Mensch-Technik-Interaktion, Bd. 3, Berlin.
- BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) (2015):** Monitoring-Report. Digitale Wirtschaft 2014. Innovationstreiber IKT, Berlin.
- BMAS (Bundesministerium für Arbeit und Soziales) (2015):** Grünbuch Arbeiten 4.0 – Arbeit weiter denken, unter: www.bmas.de/DE/Service/Medien/Publikationen/A872-gruenbuch-arbeiten-vier-null.html (Stand: 3.12.2015).
- Bochum, U. (2015):** Gewerkschaftliche Positionen in Bezug auf «Industrie 4.0», in: Botthoff, A./Hartmann, E. A. (Hrsg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0, Wiesbaden, S. 31–44.
- Boes, A. (2005):** Informatisierung, in: SOFI/IAB/ISF München/INIFES (Hrsg.): Berichterstattung zur sozioökonomischen Entwicklung in Deutschland – Arbeits- und Lebensweisen. Erster Bericht, Wiesbaden, S. 211–244.
- Boes, A./Bultemeier, A. (2010):** Anerkennung im System permanenter Bewährungsproben, in: Soeffner, H. G. (Hrsg.): Unsichere Zeiten. Herausforderungen gesellschaftlicher Transformation. Verhandlungen des 34. Kongresses der DGS, Jena 2008, Begleit-CD.
- Boes, A./Bultemeier, A./Gül, K./Kämpf, T./Langes, B./Lühr, T./Marrs, K./Ziegler, A. (2015):** Zwischen Empowerment und digitalem Fließband: Das Unternehmen der Zukunft in der digitalen Gesellschaft, in: Sattelberger, T./Welpel, I./Boes, A. (Hrsg.): Das demokratische Unternehmen. Neue Arbeits- und Führungskulturen im Zeitalter digitaler Wirtschaft, München.
- Boes, A./Kämpf, T. (2011):** Global verteilte Kopfarbeit. Offshoring und der Wandel der Arbeitsbeziehungen, Berlin.
- Boes, A./Kämpf, T. (2013):** Informations- und Wissensarbeit, in: Hirsch-Kreinsen, H./Minssen, H. (Hrsg.): Lexikon der Arbeits- und Industriesoziologie, Berlin, S. 280–284.
- Boes, A./Kämpf, T./Langes, B./Lühr, T. (2014):** Informatisierung und neue Entwicklungstendenzen von Arbeit, in: Arbeits- und Industriesoziologische Studien 1/2014, S. 5–23, unter: www.ais-studien.de/uploads/tx_nfextarbzsoznetzeitung/AIS-14-01-2Boes-u-afinal.pdf.
- Boes, A./Kämpf, T./Langes, B./Lühr, T./Steglich, S. (2014):** Cloudworking und die Zukunft der Arbeit. Kritische Analysen am Beispiel der «Generation Open» von IBM, Stuttgart.
- Boes, A./Trinks, K. (2006):** «Theoretisch bin ich frei». Interessenhandeln und Mitbestimmung in der IT-Industrie, Berlin.
- Böhle, F. (1992):** Grenzen und Widersprüche der Verwissenschaftlichung von Produktionsprozessen, in: Malsch, T./Mill, U. (Hrsg.): ArBYTE: Modernisierung der Industriesoziologie?, Berlin, S. 87–132.
- Böhle, F. (1994):** Negation und Nutzung subjektivierenden Arbeitshandelns bei neuen Formen qualifizierter Produktionsarbeit, in: Beckenbach, N./van Treeck, W. (Hrsg.): Umbrüche gesellschaftlicher Arbeit, Soziale Welt, Sonderband 9, Göttingen, S. 183–206.
- Böhle, F. (1998):** Technik und Arbeit. Neue Antworten auf «alte» Fragen, in: Soziale Welt 3/1998, S. 233–252.
- Böhle, F. (1999):** Arbeit – Subjektivität und Sinnlichkeit. Paradoxien des modernen Arbeitsbegriffs, in: Schmidt, G. (Hrsg.): Kein Ende der Arbeitsgesellschaft: Arbeit, Gesellschaft und Subjekt im Globalisierungsprozess, Berlin, S. 89–110.
- Böhle, F. (2001):** Alternativen in der Technikentwicklung. Nicht nur Organisation, sondern auch die Technik entscheidet über die «Zukunft der Arbeit» oder: Zur Kritik der Verwissenschaftlichung von Arbeit, in: Weber, W./Wehner, T. (Hrsg.): Erfahrungsorientierte Handlungsorganisation. Arbeitswissenschaftliche Ergebnisse zur computergestützten Facharbeit im Diskurs, Zürich, S. 187–214.
- Böhle, F. (2002):** Was hat Zugang zu Bildung? Anregung zu einem neuen Blick auf menschliche Fähigkeit jenseits rationalen Handelns, in: Moldaschl, M. (Hrsg.): Neue Arbeit – Neue Wissenschaft der Arbeit? Festschrift zum 60. Geburtstag von Walter Volpert, Heidelberg, S. 143–169.
- Böhle, F. (2002a):** Vom Objekt zum gespaltenen Subjekt, in: Moldaschl, M./Voß, G. (Hrsg.): Subjektivierung von Arbeit, München/Mering, S. 101–133.
- Böhle, F. (2010):** Arbeit als Handeln, in: Böhle, F./Voß, G./Wachtler, G. (Hrsg.): Handbuch Arbeitssoziologie, Wiesbaden, S. 151–176.
- Böhle, F. (2013):** Subjektivierendes Arbeitshandeln, in: Hirsch-Kreinsen, H./Minssen, H. (Hrsg.): Lexikon der Arbeits- und Industriesoziologie, Berlin, S. 425–430.
- Böhle, F./Bolte, A. (2002):** Die Entdeckung des Informellen. Der schwierige Umgang mit Kooperation im Arbeitsalltag, Frankfurt a. M./New York.
- Böhle, F./Milkau, B. (1988):** Vom Handrad zum Bildschirm. Eine Untersuchung zur sinnlichen Erfahrung im Arbeitsprozess, Frankfurt a. M./New York.
- Böhle, F./Rose, H. (1992):** Technik und Erfahrung. Arbeit in hochautomatisierten Systemen, Frankfurt a. M./New York.
- Böhle, F./Schulze, H. (1997):** Subjektivierendes Arbeitshandeln. Zur Überwindung einer gespaltenen Subjektivität, in: Schachtner, C. (Hrsg.): Technik und Subjektivität. Das Wechselverhältnis zwischen Mensch und Computer aus interdisziplinärer Sicht, Frankfurt a. M., S. 26–46.
- Bonin, H./Gregory, T./Zierahn, U. (2015):** Übertragung der Studie von Osborne/Frey (2013) auf Deutschland, ZEW-Kurzexpertise 57.

- Botthof, A. (2015):** Zukunft der Arbeit im Kontext von Autonomik und Industrie 4.0, in: Botthof, A./Hartmann, E. A. (Hrsg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0, Berlin/Heidelberg, S. 3–8.
- Botthof, A./Hartmann, E. A. (Hrsg.) (2015):** Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0, Berlin/Heidelberg.
- Brandt, G./Kündig, B./Pappadimitriou, C./Thomae, J. (1978):** Computer und Arbeitsprozess. Eine arbeitssoziologische Untersuchung der Auswirkungen des Computereinsatzes in ausgewählten Betriebsabteilungen der Stahlindustrie und des Bankgewerbes, Frankfurt a. M./New York.
- Bravermann, H. (1977):** Die Arbeit im modernen Produktionsprozeß, Frankfurt a. M./New York (zuerst 1974).
- Briefs, U. (1984):** Informationstechnologien und Zukunft der Arbeit. Ein politisches Handbuch zu Mikroelektronik und Computertechnik, Köln.
- Bright, J. (1958):** Automation and Management, Boston.
- Brödner, P. (1985):** Fabrik 2000. Alternative Entwicklungspfade in die Zukunft der Fabrik, Berlin.
- Brödner, P. (1997):** Der überlistete Odysseus. Über das zerrüttete Verhältnis von Menschen und Maschinen, Berlin.
- Brödner, P. (2015):** Industrie 4.0 und Big Data – wirklich ein neuer Technologieschub?, in: Hirsch-Kreinsen, H./Ittermann, P./Niehaus, J. (Hrsg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen, Baden-Baden, S. 231–250.
- Broy, M. (Hrsg.) (2010):** Cyber-physical systems. Innovation durch softwareintensive eingebettete Systeme, Berlin/Heidelberg.
- Brynjolfsson, E./McAfee, A. (2014):** Second Maschine Age. Work, Progress and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies, New York.
- Brzeski, C./Burk, I. (2015):** Die Roboter kommen. Folgen der Automatisierung für den deutschen Arbeitsmarkt, ING-DiBA Economic Research, unter: www.ing-diba.de/pdf/ueber-uns/presse/publikationen/ing-diba-economic-research-die-roboter-kommen.pdf.
- Buhr, D. (2015):** Soziale Innovationspolitik für die Industrie 4.0. Expertise im Auftrag der Abt. Wirtschafts- und Sozialpolitik der Friedrich-Ebert-Stiftung, Bonn.
- Bullinger, H.-J./ten Hompel, M. (Hrsg.) (2007):** Internet der Dinge, Berlin.
- Butollo F./Engel, T. (2015):** Industrie 4.0 – arbeits- und gesellschaftspolitische Perspektiven. Zwischen Dystopie und Euphorie, unter: <http://zeitschrift-marxistische-erneuerung.de/article/1393.industrie-4-0-arbeits-und-gesellschaftspolitische-perspektiven.html>.
- Castel, R. (2009):** Die Wiederkehr der sozialen Unsicherheit, in: Castel, R./Dörre, K. (Hrsg.): Prekarität, Abstieg, Ausgrenzung. Die soziale Frage am Beginn des 21. Jahrhunderts, Frankfurt a. M./New York, S. 21–34.
- Castells, M. (2001):** Das Informationszeitalter. Wirtschaft, Gesellschaft und Kultur, Opladen.
- Castells, M. (2003):** Der Aufstieg der Netzwerkgesellschaft, Opladen.
- D**
- Deuse, J./Busch, F./Weisner, K./Steffen, M. (2015):** Gestaltung sozio-technischer Arbeitssysteme für Industrie 4.0, in: Hirsch-Kreinsen, H./Ittermann, P./Niehaus, J. (Hrsg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen, Baden-Baden, S. 147–164.
- Dierkes, M./Hoffmann, U./Marz, L. (1992):** Leitbild und Technik. Zur Entstehung und Steuerung technischer Innovationen, Berlin.
- Dohse, K./Jürgens, U./Malsch, T. (1984):** Vom «Fordismus» zum «Toyotismus»? Die Organisation der industriellen Arbeit in der japanischen Automobilindustrie, in: Leviathan 4/1984, S. 448–477.
- D21 (2015):** D21-Digital-Index 2014. Die Entwicklung der digitalen Gesellschaft in Deutschland, unter: www.initiated21.de/portfolio/d21-digital-index-2014/.
- Dörre, K. (2009):** Die neue Landnahme. Dynamiken und Grenzen des Finanzmarktkapitalismus, in: ders./Lessenich, S./Rosa, H. (Hrsg.): Soziologie-Kapitalismus – Kritik. Eine Debatte, Frankfurt a. M., S. 21–86.
- Dörre, K. (2009a):** Prekarität im Finanzmarkt-Kapitalismus, in: Castel, R./Dörre, K. (Hrsg.): Prekarität, Abstieg, Ausgrenzung. Die soziale Frage am Beginn des 21. Jahrhunderts, Frankfurt a. M., S. 35–64.
- Dörre, K. (2013):** Prekarität, in: Hirsch-Kreinsen, H./Minssen, H. (Hrsg.): Lexikon der Arbeits- und Industriesoziologie, Berlin, S. 393–398.
- Dörre, K. (2015):** Digitalisierung – neue Prosperität oder Vertiefung gesellschaftlicher Spaltungen?, in: Hirsch-Kreinsen, H./Ittermann, P./Niehaus, J. (Hrsg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen, Baden-Baden, S. 269–284.
- Dörre, K. (2015a):** Das demokratische Unternehmen – ein zukunftstaugliches Leitbild?, in: Sattelberger, T./Welpke, I./Boes, A. (Hrsg.): Das demokratische Unternehmen. Neue Arbeits- und Führungskulturen im Zeitalter digitaler Wirtschaft, München.
- Düll, K. (1985):** Einige kritische Überlegungen zum «Ende der Arbeitsteilung», in: Lutz, B. (Hrsg.): Soziologie und gesellschaftliche Entwicklung, Frankfurt a. M./New York, S. 398–403.
- E**
- Eichhorst, W./Buhlmann, F. (2015):** Die Zukunft der Arbeit und der Wandel der Arbeitswelt, IZA Standpunkte 77, Bonn.
- F**
- Frey, C./Osborne, M. (2013):** The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerization? Oxford Martin School, Working paper 18, Oxford.
- Fricke, W. (1975):** Arbeitsorganisation und Qualifikation. Ein industriesoziologischer Beitrag zur Humanisierung der Arbeit, Bonn.

G

Geisberger, E./Broy, M. (2012): agendaCPS. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems, Berlin/Heidelberg.

Gerst, Detlef (2015): «Industrie 4.0 als Herausforderung für den Gesundheitsschutz», in: Schröder, L./Urban, H. J. (Hrsg.): Gute Arbeit 2015, Frankfurt a. M., S. 245–257.

Gill, H. (2006): NSF Perspective and Status on Cyber-Physical Systems. National Workshop on Cyber-physical Systems Austin, TX October 16–17.

Graetz, G./Michaels, G. (2015): Robots and Work, IZA Discussion Paper 8938.

Grote, G. (2009): Die Grenzen der Kontrollierbarkeit komplexer Systeme, in: Weyer J./Schulz-Schaeffer, I. (Hrsg.): Management komplexer Systeme. Konzepte für die Bewältigung von Intransparenz, Unsicherheit und Chaos, München, S. 149–168.

H

Hack, L./Brose, H./Czasny, K./Hack, I./Hager, F./Moser, R./Viesel, K. (1979): Leistung und Herrschaft. Soziale Strukturzusammenhänge subjektiver Relevanz bei jüngeren Industriearbeitern, Frankfurt a. M./New York.

Hacker, W. (1987): Software-Ergonomie: Gestaltung rechnergestützter geistiger Arbeit, in: Schönpflug, W./Wittstock, M. (Hrsg.): Software-Ergonomie 1987, Berichte des German Chapter of the AMC, Band 29, Stuttgart, S. 31–45.

Hartmann, E. A. (2009): Internet der Dinge – Technologien im Anwendungsfeld «Produktion – Fertigungsplanung», in: Botthoff, A./Bovenshulte, M.: Das «Internet der Dinge». Die Informatisierung der Arbeitswelt und des Alltags, HBS Arbeitspapier 176, Düsseldorf, S. 31–50.

Hartmann, E. A. (2015): Arbeitsgestaltung für Industrie 4.0: Alte Wahrheiten, neue Herausforderungen, in: Botthoff, A./Hartmann, E. (Hrsg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0, Berlin/Heidelberg, S. 9–20.

Hirsch-Kreinsen, H. (2014): Wandel von Produktionsarbeit 4.0, Soziologisches Arbeitspapier 38/2014 der TU Dortmund.

Hirsch-Kreinsen, H. (2014a): Welche Auswirkungen hat «Industrie 4.0» auf die Arbeitswelt?, in: WISOdirekt 12/2014.

Hirsch-Kreinsen, H. (2015): Entwicklungsperspektiven von Produktionsarbeit, in: Botthoff, A./Hartmann, E. A. (Hrsg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0, Wiesbaden, S. 89–98.

Hirsch-Kreinsen, H. (2015a): Soziale Innovationspolitik für die Industrie 4.0, in: WISO-Diskurs 4/2015.

Hirsch-Kreinsen, H. (2015b): Einleitung: Digitalisierung industrieller Arbeit, in: Hirsch-Kreinsen, H./Ittermann, P./Niehaus, J. (Hrsg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen, Baden-Baden, S. 9–30.

Hirsch-Kreinsen, H./Ittermann, P./Niehaus, J. (Hrsg.) (2015): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen, Baden-Baden. Hürtgen, S./Lüthje, B./Schumm, W./Sproll, M. (2009): Globale Produktion und Arbeit in der IT-Industrie, Hamburg.

I

IG Metall (2015): Kongress «Zukunft der Arbeit», Frankfurt a. M.

IHK (2015): Wirtschaft 4.0. Große Chancen, viel zu tun. Das IHK-Unternehmensbarometer zur Digitalisierung, unter: www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB0QFjAAahUKEwjM-bGpyoPJAhXGBiwKHWcOAbA&url=http%3A%2F%2Fwww.dihk.de%2Fressourcen%2Fdownloads%2Fihk-unternehmensbarometer-digitalisierung.pdf&usq=AFQjCNH5EGLxNDcjFTFBEVL2SOUjQ7HY9Q&bv=106923889,d.bGg.

Ittermann, P. (2009): Betriebliche Partizipation in Unternehmen der Neuen Medien. Innovative Formen der Beteiligung auf dem Prüfstand, Frankfurt a. M./New York.

Ittermann, P./Niehaus, J. (2015): Industrie 4.0 und Wandel von Industriearbeit, in: Hirsch-Kreinsen, H./Ittermann, P./Niehaus, J. (Hrsg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen, Baden-Baden, S. 33–51.

Ittermann, P./Niehaus, J./Hirsch-Kreinsen, H. (2015): Arbeiten in der Industrie 4.0 – Trendbestimmungen und arbeitspolitische Handlungsfelder, Hans-Böckler-Stiftung Düsseldorf/IG Metall.

J

Jaeggi, U./Wiedemann, H. (1963): Der Angestellte im automatisierten Büro, Stuttgart.

K

Kämpf, T. (2008): Die neue Unsicherheit. Folgen der Globalisierung für hochqualifizierte Arbeitnehmer, Frankfurt a. M./New York.

Kärcher, B. (2015): Alternative Wege in die Industrie 4.0 – Möglichkeiten und Grenzen, in: Botthoff, A./Hartmann, E. A. (Hrsg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0, Berlin/Heidelberg, S. 47–58.

Kagermann, H./Wahlster, W./Helbig, J. (Hrsg.) (2012): Bericht der Promotorengruppe Kommunikation. Im Fokus: Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 mit Handlungsempfehlungen zur Umsetzung sowie Vorstellung der weiteren von der Promotorengruppe behandelten Initiativen, unter: www.plattform-i40.de/sites/default/files/kommunikation_bericht_2012.pdf.

Kagermann, H./Wahlster, W./Helbig, J. (Hrsg.) (2013): Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern – Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, Frankfurt a. M.

- Kelkar, O./Heger, R./Dao, D.-K. (2014):** Studie Industrie 4.0 – eine Standortbestimmung der Automobil- und Fertigungsindustrie, unter: www.mhp.com/fileadmin/mhp.de/assets/studien/MHP-Studie_Industrie4.0_V1.0.pdf.
- Kern, H./Schumann, M. (1970):** Industriearbeit und Arbeiterbewußtsein (Teil I), Frankfurt a. M.
- KI dB (2010):** Klassifikation der Berufe, unter: <https://statistik.arbeitsagentur.de/Navigation/Statistik/Grundlagen/Klassifikation-der-Berufe/KI dB2010/KI dB2010-Nav.html>.
- Kleemann, F. (1999a):** Zur Bemessung von Arbeitsleistung in Telearbeit. Von der Fremd- zur Selbstorganisation der Arbeitenden?, in: Droussou, O. et al. (Hrsg.): *Machtfragen der Informationsgesellschaft*, Marburg, S. 491–497.
- Kleemann, F. (1999b):** Personale Technikstile im informatisierten Arbeitsalltag, in: Hebecker, E./Kleemann, F./Neymanns, H./Stauff, M. (Hrsg.) (1999): *Neue Medienumwelten. Zwischen Regulierungsprozessen und alltäglicher Aneignung*, Frankfurt a. M./New York, S. 298–310.
- Kleemann, F. (2005):** Die Wirklichkeit der Teleheimarbeit. Eine arbeitssoziologische Untersuchung, Berlin.
- Kleemann F./Eismann C./Beyreuther T./Hornung, S./Duske, K./Voß, G. (Hrsg.) (2012):** Unternehmen im Web 2.0. Zur strategischen Integration von Konsumentenleistungen durch Social Media, Frankfurt a. M./New York.
- Kleinhempel, K./Satzler, A./Steinberger, V. (2015):** Industrie 4.0 im Aufbruch? Ein beispielhafter Ausschnitt aus dem betrieblichen Stand, Mitbestimmungsförderung Report 5, Düsseldorf, unter: www.boeckler.de/pdf/p_mbf_report_2015_5.pdf.
- Knoblauch, H. (1995):** Kommunikationsarbeit. Die kommunikative Konstruktion kultureller Kontexte, Berlin/New York.
- Knoblauch, H. (1996):** Arbeit als Interaktion. Informationsgesellschaft, Postfordismus und Kommunikationsarbeit, in: *Soziale Welt* 3/1996, S. 344–362.
- Krichel U./Reichel, F.-G./Neuhaus, R. und GESAMT-METALL (2013):** Neuausrichtung der betrieblichen Organisation auf ein Produktionssystem. Gestaltungstechnische und einführungsrechtliche Einführungshinweise für M-E-Betriebe, Köln.
- Kubicek, H. (1985):** Die sogenannte Informationsgesellschaft. Neue Informations- und Kommunikationstechniken als Instrument konservativer Gesellschaftsveränderung, in: *Arbeit* 2000, S. 76–109.
- Kurz, C. (2013):** Industrie 4.0 verändert die Arbeitswelt. Gewerkschaftliche Gestaltungsimpulse für «bessere» Arbeit, in: *Gegenblende* 24, unter: www.gegenblende.de/24-2013.
- Kurz, C. (2014):** Industriearbeit 4.0 – Der Mensch steht im Mittelpunkt – aber wie kommt er dahin, in: *Computer und Arbeit* 5/2014, S. 8.
- Kern, H./Schumann, M. (1984):** Das Ende der Arbeitsteilung?, München.
- L**
- Langmann, R. (2010):** Taschenbuch der Automatisierung, München.
- Lutz, B. (1987):** Das Ende des Technikdeterminismus und die Folgen. Soziologische Technikforschung vor neuen Aufgaben und neuen Problemen, in: Lutz, B. (Hrsg.): *Technik und sozialer Wandel. Verhandlungen des 23. Deutschen Soziologentages in Hamburg 1986*, Frankfurt a. M./New York, S. 34–52.
- M**
- Malonowski, N./Brandt, J. (2014):** Innovations- und Effizienzsprünge in der chemischen Industrie? Wirkungen und Herausforderungen von Industrie 4.0 und Co, Düsseldorf.
- Malsch, T. (1984):** Erfahrungswissen und Planungswissen. Facharbeiterkompetenz und informationstechnische Kontrolle am Beispiel der betrieblichen Instandhaltung, in: Jürgens, U. et al. (Hrsg.): *Arbeitspolitik (=Leviathan Sonderheft 5)*, Opladen, S. 231–251.
- Manske, F./Mickler, F./Wolf, H. (1994):** Computerisierung technisch-geistiger Arbeit. Ein Beitrag zur Debatte um Formen und Folgen gegenwärtiger Rationalisierung, in: Beckenbach, N./van Treeck, W. (Hrsg.): *Umbrüche gesellschaftlicher Arbeit, Soziale Welt, Sonderband 9*, Göttingen, S. 161–182.
- Martin, H. (Hrsg.) (1995):** CeA. Computergestützte erfahrungsgeladene Arbeit, Berlin/Heidelberg/New York.
- Matuschek, I. (Hrsg.) (2008):** Luft-Schichten. Arbeit, Organisation und Technik im Luftverkehr, Berlin.
- Matuschek, I. (2010):** Konfliktfeld Leistung. Eine Literaturstudie zur betrieblichen Leistungs- und Arbeitspolitik, Berlin.
- Matuschek, I./Kleemann, F. (2006):** Subjektiviert Taylorisierung. Arbeitsorganisation und Arbeitsleistungen in Call-Centern von Banken, in: Habscheid, S./Holly, W./Kleemann, F./Matuschek, I./Voß, G.: *Über Geld spricht man. Kommunikationsarbeit und Arbeitskommunikation in der Finanzdienstleistung*, Wiesbaden, S. 81–99.
- Matuschek, I./Arnold, K./Voß, G. (2007):** Subjektiviert Taylorisierung. Organisation und Praxis medienvermittelter Dienstleistungsarbeit, München/Mering.
- Mayer-Ahuja, N. (2011):** Grenzen der Homogenisierung. IT-Arbeit zwischen ortsgebundener Regulierung und transnationaler Unternehmensstrategie, Frankfurt a. M./New York.
- Meier, C. (1999):** Die Eröffnung von Videokonferenzen – Beobachtungen zur Aneignung eines neuen interaktiven Mediums, in: Hebecker, E. et al. (Hrsg.): *Neue Medienumwelten. Zwischen Regulierungsprozessen und alltäglicher Aneignung*, Frankfurt a. M., S. 282–297.
- Mentgen, A. (2012):** Interview Epson: Industrie 4.0 gleich CIM?, unter: www.produktion.de/unternehmen-maerkte/interview-epson-industrie-4-0-gleich-cim (Stand: 3.12.2015).

Mickler, O./Dittrich, E./Neumann, U. (1976): Technik, Arbeitsorganisation und Arbeit. Eine empirische Untersuchung in der automatisierten Produktion, Frankfurt a. M.

Mickler, O./Mohr, W./Kadritzke, U. (1977): Produktion und Qualifikation. Eine empirische Untersuchung zur Entwicklung von Qualifikationsanforderungen in der industriellen Produktion und deren Ursachen, Göttingen.

Möller, J. (2015): Verheißung oder Bedrohung? Die Arbeitsmarktwirkungen einer vierten industriellen Revolution, IAB-Discussion Paper 18/2015, Nürnberg.

Moldaschl, M. (1991): Frauenarbeit oder Facharbeit?, Frankfurt a. M./New York.

O

Oberbeck, H. (1994): Von vielfältigen Experimenten zur Steuerung des Außendienstes durch die Unternehmenszentralen – Interorganisationaler Technikeinsatz in der Assekuranz im Kontext gesellschaftlicher Umbrüche, in: Sydow, J./Windeler, A. (Hrsg.): Management interorganisationaler Beziehungen, Opladen, S. 114–141.

P

Perrow, C. (1987): Normale Katastrophen, Frankfurt a. M./New York.

Pfeiffer, S. (1999): Dem Spürsinn auf der Spur. Subjektivierendes Arbeitsverhalten an Internet-Arbeitsplätzen am Beispiel Information-Broking, München/Mering.

Pfeiffer, S. (2003): Informatisierung, Arbeitsvermögen und Subjekt – Konzeptuelle Überlegungen zu einer emanzipationsorientierten Analyse von (informatisierter) Arbeit, in: Schönberger, K./Springer, S. (Hrsg.): Subjektivierete Arbeit, Frankfurt a. M., S. 182–210.

Pfeiffer, S. (2004): Arbeitsvermögen. Ein Schlüssel zur Analyse (reflexiver) Informatisierung, Wiesbaden.

Pfeiffer, S. (2005): Arbeitsforschung. Gute Arbeit – Gute Technik, in: WSI-Mitteilungen 11/2005, S. 645–650.

Pfeiffer, S. (2007): Montage und Erfahrung. Warum Ganzheitliche Produktionssysteme menschliches Arbeitsvermögen brauchen, Mering.

Pfeiffer, S. (2010): Technisierung von Arbeit, in: Böhle, F./Voß, G./Wachtler, G. (Hrsg.) (2010): Handbuch Arbeitssoziologie, Wiesbaden, S. 231–261.

Pfeiffer, S. (2013): Arbeit und Technik, in: Hirsch-Kreinsen, H./Minssen, H. (Hrsg.): Lexikon der Arbeits- und Industriesoziologie, Berlin, S. 48–53.

Pfeiffer, S./Suphan, A. (2015): Industrie 4.0 und Erfahrung – das Gestaltungspotenzial der Beschäftigten anerkennen und nutzen, in: Hirsch-Kreinsen, H./Ittermann, P./Niehaus, J. (Hrsg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen, Baden-Baden, S. 205–230.

Picot, A./Neuburger, R. (2008): Arbeitsstrukturen in virtuellen Organisationen, in: Funken, C./Schulz-Schaeffer, I. (Hrsg.): Digitalisierung der Arbeitswelt, Wiesbaden, S. 221–238.

Piore, M./Sabel, C. (1985): Das Ende der Massenproduktion. Studie über die Requalifizierung der Arbeit und die Rückkehr der Ökonomie in die Gesellschaft, Berlin.

Popitz, H./Bahrtdt, H./Jüres, E.-A./Kesting, H. (1957): Technik und Industriearbeit. Soziologische Untersuchungen in der Hüttenindustrie, Tübingen.

Pries, L./Schmidt, R./Trinczek, R. (1990): Entwicklungspfade von Industriearbeit, Opladen.

PwC (2014): Industrie 4.0 – Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution, unter: www.pwc-wissen.de/pwc/de/shop/publikationen/Industrie+40+Chancen+und+Herausforderungen/?card=12820.

R

Rammert, W. (1982): Technisierung der Arbeit als gesellschaftlich-historisches Projekt, in: Littek, W./Rammert, W./Wachtler, G. (Hrsg.): Einführung in die Arbeits- und Industriesoziologie, Frankfurt a. M./New York, S. 62–75.

Rammert, W. (1992): Neue Technologien – neue Begriffe? Lassen sich die Technologien der Informatik mit den traditionellen Konzepten der Arbeits- und Industriesoziologie noch angemessen erfassen?, in: Malsch, T./Mill, U. (Hrsg.): ArBYTE. Modernisierung der Industriesoziologie?, Berlin, S. 29–51.

Rammert, W. (2003): Technik in Aktion: Verteiltes Handeln in soziotechnischen Konstellationen, in: Christaller, T./Wehner, J. (Hrsg.): Autonome Maschinen, Wiesbaden, S. 289–315.

Rammert, W. (2007): Technik – Handeln – Wissen. Zu einer pragmatischen Technik- und Sozialtheorie, Wiesbaden.

Rammert, W./Schulz-Schäffer, I. (2002): Technik und Handeln. Wenn soziales Handeln sich auf menschliches Verhalten und technische Abläufe verteilt, in: dies. (Hrsg.): Können Maschinen handeln?, Frankfurt a. M./New York, S. 11–64.

Reinhart, G./Engelhardt, P./Geiger, F./Philipp, T./Wahlster, W./Zühlke, D./Schlick, J./Becker, T./Löckelt, M./Pirvu, B./Stephan, P./Hodek, S./Scholz-Reiter, B./Thoben, K./Gorltdt, C./Hribernik, K./Lappe, D./Veigt, M. (2013): Cyber-Physische Produktionssysteme. Produktivitäts- und Flexibilitätssteigerung durch die Vernetzung intelligenter Systeme in der Fabrik, in: wt-online 2/2013, S. 84–89.

Roach, M. (2006): Management by Lemminge. Die Banken industrialisieren sich!, in: Baukrowitz, A./Berker, T./Boes, A./Pfeiffer, S./Schmiede, R./Will, M. (Hrsg.): Informatisierung der Arbeit – Gesellschaft im Umbruch, Berlin, S. 309–315.

Rose, H./Martin, H. (2002): Erfahrungswissen als Gestaltungskomponente für Technikentwicklung in der industriellen Produktion, ISF-Institut für sozialwissenschaftliche Forschung, München.

S

SAP (2015): Eine Reise durch die vernetzte Wirtschaft, unter: downloadasset.2015-01-jan-21-17.a-journey-through-a-networked-economy-pdf.html.

Scheer, A. (2013): Industrie 4.0: Alter Wein in neuen Schläuchen?, unter: www.august-wilhelm-scheer.com/2012/02/08/industrie-4-0-alter-wein-in-neuen-schlauchen.

Schelsky, H. (1961): Der Mensch in der wissenschaftlichen Zivilisation, Köln/Opladen.

Schimank, U. (1986): Technik, Subjektivität und Kontrolle in formalen Organisationen. Eine Theorieperspektive, in: Seltz, R./Mill, U./Hildebrandt, E. (Hrsg.): Organisation als soziales System. Kontrolle und Kommunikationstechnologie in Arbeitsorganisationen, Berlin, S. 71–91.

Schmidt, G. (2000): Macht und Ohnmacht der Subjektivität. Notizen zu aktuellen Veränderungen in der Arbeitswelt, in: Kößler, H. (Hrsg.): Wertewandel und neue Subjektivität, Erlangen, S. 15–26.

Schmiede, R. (Hrsg.) (1996): Virtuelle Arbeitswelten. Arbeit, Produktion und Subjekt in der «Informationsgesellschaft», Berlin.

Schmiede, R. (1999): Informatisierung und Subjektivität, in: Konrad W./Schumm, W. (Hrsg.): Wissen und Arbeit, Münster, S. 134–151.

Schmiede, R. (2013): Informationsgesellschaft, in: Hirsch-Kreinsen, H./Minssen, H. (Hrsg.): Lexikon der Arbeits- und Industriesoziologie, Berlin, S. 285–290.

Scholz-Reiter, B./Böse, F./Lampe, W./Virnich, A. (2009): Auf dem Weg zur Selbststeuerung der Prozesse, in: Industrie Management 6/2009, S. 21–26.

Schultz-Wild, R./Asendorf, I./Behr, M. von/Köhler, C./Lutz, B./Nuber, C. (1986): Flexible Fertigung und Industriearbeit, Frankfurt a. M./New York.

Schulze, H. (2001): Erfahrungsgeladene Arbeit in der industriellen Produktion. Menschliche Expertise als Leitbild für Technikgestaltung, Berlin.

Schulze, H./Witt, H./Rose, H. (2001): Erfahrungsförderlichkeit als ein Gestaltungsbild für Produktionstechnik und dessen Umsetzung, in: Weber, W./Wehner, T. (Hrsg.): Erfahrungsorientierte Handlungsorganisation. Arbeitswissenschaftliche Ergebnisse zur computergestützten Facharbeit im Diskurs. Zürich: vdf-Verlag der Fachvereine der ETH, S. 215–252.

Schumann, M. (1999): Das Lohnarbeiterbewußtsein des «Arbeitskraftunternehmers», SOFI-Mitteilungen 27, S. 59–63.

Schwemmlé, M. (2014): Digitale Arbeit: dominant, mobil, gestaltungsbedürftig, in: Gegenblende. Das gewerkschaftliche Debattenmagazin, unter: www.gegenblende.de/++co++d0807704-0021-11e3-9e32-52540066f352.

Schwemmlé, M./Wedde, P. (2012): Digitale Arbeit in Deutschland. Potenziale und Problemlagen, Friedrich-Ebert-Stiftung, Bonn, unter: <http://library.fes.de/pdf-files/akademie/09324.pdf>.

Sendler, U. (Hrsg.) (2013): Industrie 4.0. Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM, Berlin/Heidelberg.

Senghaas-Knobloch, E. (2008): Care-Arbeit und das Ethos fürsorglicher Praxis unter neuen Marktbedingungen am Beispiel der Pflegepraxis. Berliner Journal für Soziologie 2/2008, S. 221–243.

Silberberger, H. (2006): Web Services – ein Schlüssel für effiziente Wertschöpfungsnetzwerke?, in: Baukrowitz, A./Berker, T./Boes, A./Pfeiffer, S./Schmiede, R./Will, M. (Hrsg.): Informatisierung der Arbeit – Gesellschaft im Umbruch, Berlin, S. 265–271.

Spath, D./Ganschar, O./Gerlach, S./Hämmerle, M./Krause, T./Schlund, S. (2013): Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0, Stuttgart.

Stegbauer, C. (1995a): Electronic Mail und Organisation. Partizipation, Mikropolitik und soziale Integration von Kommunikationsmedien, Göttingen.

Stegbauer, C. (1995b): Die virtuelle Organisation und die Realität elektronischer Kommunikation, in: Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie 3/1995, S. 535–549.

Stobbe, A. (2006): Informatisierung in der Finanzdienstleistungsbranche. Von der Hollerith-Maschine zum Straight Through Processing, in: Baukrowitz, A./Berker, T./Boes, A./Pfeiffer, S./Schmiede, R./Will, M. (Hrsg.): Informatisierung der Arbeit – Gesellschaft im Umbruch, Berlin, S. 53–67.

T

TAB (2007): Zukunftsreport. Arbeiten in der Zukunft – Strukturen und Trends der Industriearbeit, in: Kinkel, S./Friedewald, M./Hüsing, B./Lay, G./Lindner, R. (Hrsg.): Arbeiten in der Zukunft. Strukturen und Trends der Industriearbeit, Berlin.

Taylor, F. (1913): Die Grundsätze wissenschaftlicher Betriebsführung, München.

Telekom (2015): Arbeit 4.0 – Megatrends digitaler Arbeit der Zukunft. 25 Thesen. Shareground und Universität St. Gallen, unter: www.google.de/?gws_rd=ssl#q=Telekom+St.+Gallen.

Trost, Uwe (2015): Big Data – Chancen und Herausforderungen für die deutsche Industrie, unter: www.mhp.com/de/studien/#/studien.

U

Uckelmann, D./Harrison, M./Michaelles, F. (Hrsg.) (2011): Architecting the Internet of Things, Berlin.

Uhlmann, E./Hohwieler, E./Kraft, M. (2013): Selbstorganisierende Produktion mit verteilter Intelligenz, in: wt-online 2/2013, S. 114–117.

Ulich, E. (2005): Arbeitspsychologie, 6. Aufl., Stuttgart.

V

Vogl, G. (2009): Betriebliche Mobilitätsregime. Die strukturierende Kraft betrieblicher Mobilitätspolitik auf Arbeit und Leben, in: Kapella, O./Rille-Pfeiffe, C./Rupp, M./Schneider, N. (Hrsg.): Die Vielfalt der Familie: Tagungsband zum 3. Europäischen Fachkongress Familienforschung, Opladen, S. 259–272.

W

- Weber, W./Wehner, T. (2001):** Zum arbeitswissenschaftlichen Diskurs um erfahrungsgeleitete Arbeit und persönlichkeitsförderliche Handlungsorganisation. Einleitung, in: dies. (Hrsg.): Erfahrungsorientierte Handlungsorganisation. Arbeitswissenschaftliche Ergebnisse zur computergestützten Facharbeit im Diskurs, Zürich, S. 3–26.
- Weinig, K. (1996):** Wie Technik die Kommunikation verändert. Das Beispiel Videokonferenz, Münster.
- Weißbach, H.-J./Witzgall, E./Vierthaler, R. (1990):** Außendienstarbeit und neue Technologien. Brachentrends, Fallanalysen, Interviewauswertungen, Opladen.
- Welsch, J. (1997):** Arbeiten in der Informationsgesellschaft. Studie für den Arbeitskreis «Arbeit – Betrieb – Politik» der Friedrich-Ebert-Stiftung, Bonn.
- Weltz, F./Lullies, V. (1983):** Innovation im Büro. Das Beispiel Textverarbeitung, Frankfurt a. M./New York.
- Wetzel, D. (2013):** Grundsatzrede auf dem Gewerkschaftstag der IG Metall, Frankfurt a. M.
- Windelband, L. (2014):** Zukunft der Facharbeit im Zeitalter «Industrie 4.0», in: Journal of Technical Education 2/2014, S. 138–160.
- Windelband, L./Fenzl, C./Hunecker, F./Riehle, T./Spöttl, G./Städtler, H./Hribernik, K./Thoben, K.-D. (2011):** Zukünftige Qualifikationsanforderungen durch das Internet der Dinge in der Logistik, in: FreQueNz (Hrsg.): Zukünftige Qualifikationserfordernisse durch das Internet der Dinge in der Logistik, Zusammenfassung der Studienergebnisse.
- Windelband, L./Spöttl, G. (2011):** Konsequenzen der Umsetzung des «Internet der Dinge» für Facharbeit und Mensch-Machine-Schnittstelle, in: Frequenz-Newsletter, unter: www.frequenz.net/UPLOADS7TX_FREOPROJERG7frequenz_newsletter_2011WEB_FINAL.PDF.
- Windelband; L./Dworschak, B. (2015):** Arbeit und Kompetenzen in der Industrie 4.0. Anwendungsszenarien, Instandhaltung und Leichtbaurobotik, in: Hirsch-Kreinsen, H./Ittermann, P./Niehaus, J. (Hrsg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen, Baden-Baden, S. 71–86.
- Wolter, M./Möning, A./Hummel, M./Schneemann, C./Weber, E./Zika, G./Helmrich, R./Maier, T./Neuber-Pohl, C. (2015):** Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft. Szenario-Rechnungen im Rahmen der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen. IAB-Forschungsbericht 8.
- Zäh, F./Patron, C./Fusch, T. (2003):** Die Digitale Fabrik – Definition und Handlungsfelder, in: ZWF 3/2003, S. 75–77.
- Zeller, B./Achtenhagen, C./Först, S. (2010):** Das «Internet der Dinge» in der industriellen Produktion – Studie zu künftigen Qualifikationserfordernissen auf Fachkräfteebene. Frequenz-Report, Bonn/Nürnberg.

