



**Peter Ittermann, Jonathan Niehaus, Hartmut Hirsch-Kreinsen, Johannes Dregger, Michael ten Hompel**

## **Social Manufacturing and Logistics**

**Gestaltung von Arbeit in der digitalen Produktion und Logistik**

**Soziologisches Arbeitspapier Nr. 47/2016**

**Herausgeber**  
**Prof. Dr. H. Hirsch-Kreinsen**  
**Prof. Dr. J. Weyer**  
**JProf. Dr. M. Wilkesmann**

# **Social Manufacturing and Logistics**

Gestaltung von Arbeit in der digitalen Produktion und Logistik

**Peter Ittermann, Jonathan Niehaus, Hartmut Hirsch-Kreinsen,  
Johannes Dregger, Michael ten Hompel**

**Arbeitspapier Nr. 47 (Oktober 2016)**

ISSN 1612-5355

Bericht des Forschungsprojektes „SoMaLI“ (Social Manufacturing and Logistics – Ein Leitbild der technologischen, organisatorischen und sozialen Herausforderungen der Industrie 4.0)“

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## **Herausgeber:**

Prof. Dr. Hartmut Hirsch-Kreinsen  
JProf. Dr. Maximiliane Wilkesmann  
Lehrstuhl Wirtschafts- und Industriesoziologie  
is@wiso.tu-dortmund.de  
www.wiso.tu-dortmund.de/IS

Prof. Dr. Johannes Weyer  
Fachgebiet Techniksoziologie  
johannes.weyer@tu-dortmund.de  
www.wiso.tu-dortmund.de/TS

Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät  
Technische Universität Dortmund  
D-44221 Dortmund

## **Ansprechpartnerin:**

Britta Tusk, e-mail: [is.wiso@tu-dortmund.de](mailto:is.wiso@tu-dortmund.de)

Die Soziologischen Arbeitspapiere erscheinen in loser Folge. Mit ihnen werden Aufsätze (oft als Preprint), sowie Projektberichte und Vorträge publiziert. Die Arbeitspapiere sind daher nicht unbedingt endgültig abgeschlossene wissenschaftliche Beiträge. Sie unterliegen jedoch in jedem Fall einem internen Verfahren der Qualitätskontrolle. Die Reihe hat das Ziel, der Fachöffentlichkeit soziologische Arbeiten aus der Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät der Technischen Universität Dortmund vorzustellen. Anregungen und kritische Kommentare sind nicht nur willkommen, sondern ausdrücklich erwünscht.

## ZUSAMMENFASSUNG

Seit einigen Jahren werden die Debatten über die Entwicklungspfade des Industriestandortes Deutschlands vom Schlagwort „Industrie 4.0“ und der hiermit verbundenen Digitalisierung industrieller Wertschöpfung dominiert. Wenngleich der aktuelle ‚Hype‘ um Industrie 4.0 und die digitale Produktion in verschiedenen Positionen aus Wissenschaft, Politik und betrieblicher Praxis kritisch betrachtet wird, scheint doch unbestritten, dass die Entwicklung weitgreifende Veränderungen in den Produktionskonzepten und industriellen Wertschöpfungsprozessen anstoßen kann. Bei den technologiezentrierten Visionen in Industrie und Logistik bleibt indes zu berücksichtigen, dass die neuen Technologien und Systeme in tief sedimentierte Arbeits- und Organisationsstrukturen integriert werden. Die Folgen dieser Veränderungsprozesse sind jedoch nur bedingt absehbar und setzen die komplexe Verknüpfung neuer Technologien mit sozialen und betrieblichen Anforderungen voraus. Anders formuliert: Technologische Innovationen erfordern komplementäre Innovationen in Arbeits- und Organisationsstrukturen und sozialen Beziehungen, um eine aufeinander abgestimmte Gestaltung der interdependenten Parameter des Gesamtsystems Industrie 4.0 zu realisieren. Dieses wirft die Frage nach Leitorientierungen der Industrie 4.0 mit Blick auf das Gesamtsystem der Produktion und den hier wirksamen Interdependenzen auf.

Mit dem Titel Social Manufacturing and Logistics werden in dieser Studie die Konturen eines solchen Leitbildes für die Gestaltung digitaler Industriearbeit nachgezeichnet. Als Bezugspunkt dient dabei eine arbeits- und gesellschaftspolitisch wünschenswerte humanorientierte Gestaltung menschlicher Arbeit in Produktions- und Logistikbereichen, wie sie immer wieder in der Debatte über Industrie 4.0 hervorgehoben wird. Der Ansatz greift diesen Aspekt in zweifacher Hinsicht auf: Zum einen werden die Social Media- bzw. Social Network-Funktionalitäten der Kommunikation und Vernetzung zwischen Objekten, Maschinen und Menschen angesprochen. Zum anderen darf die Implementierung von Industrie 4.0-Systemen keinesfalls nur technischen Zielen folgen, sondern muss unabdingbar auch soziale Erfordernisse berücksichtigen. Davon ausgehend wird ein Leitbild in mehreren Argumentationsschritten entworfen:

- Erstens werden die widersprüchlichen Forschungsergebnisse über den Wandel von Industriearbeit zu drei möglichen Entwicklungsszenarien zusammengefasst, um die alternativen Gestaltungsmöglichkeiten digitaler Arbeit zu verdeutlichen.
- Zweitens wird als zentraler Gestaltungsansatz von Arbeit das Konzept des sozio-technischen Systems aufgegriffen. Als die wichtigsten Gestaltungsräume für Arbeit werden dabei die Schnittstellen zwischen den Systemelementen Technik, Mensch und Organisation identifiziert.
- Drittens werden diese Gestaltungsräume auf der Basis vorliegender Forschungsergebnisse genauer ausgeführt und konkrete Good Practice-Beispiele aus Unternehmen präsentiert.
- Viertens werden die Befunde zu einem Leitbild Social Manufacturing and Logistics verdichtet. Seine zentralen Merkmale sind schlagwortartig: Hybride Interaktion zwischen Mensch und Maschine, flexibel integrierte Arbeit und dezentrale Systeme.

Abschließend werden eine Reihe betrieblicher und gesellschaftlicher Zusatzbedingungen für die Realisation eines Leitbildes humanorientierter Industriearbeit diskutiert. Hervorgehoben werden besonders die Notwendigkeit partizipativer Systemgestaltung, ein Wandel von Führungsstilen und Maßnahmen für eine breit angelegte Kompetenzentwicklung.

## **Abstract**

This paper is dealing with the ongoing debate of the digitization of German industry, the so-called „Industrie 4.0“, and its social consequences. The discussed new technologies like cyber-physical production systems, autonomous logistic systems and smart devices are about to get integrated in work places, that are embedded in existing organizational and social structures, thus making ‘complementary innovations’ and a coordinated design necessary. Our paper presents a human-centered design of industrial labor in a framework depicting the dilemma between what is technologically feasible and labor-politically desirable, under the constraint of an economically reasonable design of work and technology. The analytical approach is the “socio-technical system” which assumes that there are certain varieties of organizational design at the interfaces of its sub-systems ‘technology’, ‘human’ and ‘organization’. These considerations are transformed into a framework, called Social Manufacturing and Logistics, which brings together these perspectives and leads to a complementary holistic design of industrial labor under the conditions of a progressive digitization of manufacturing. Its characteristics are: hybrid interaction between human and machine, flexible integrated work and decentralized systems. Finally, we outline some organizational and social conditions to realize such a framework.

# Inhalt

Zusammenfassung .....	4
1. Einführung: Arbeiten in der digitalen Welt.....	7
2. Widersprüchliche Prognosen zur Zukunft von Arbeit .....	13
2.1 Upgrading von Industriearbeit: Beschäftigungsstabilität und steigende Qualifikationen .....	13
2.2 Automated Factory 4.0: Mögliche Substitution von Industriearbeit.....	16
2.3 Polarisierung von Industriearbeit: Gewinner und Verlierer bei Industrie 4.0.....	19
2.4 Anstelle eines Zwischenfazit: Notwendige Differenzierungen.....	21
3. Gestaltungsräume: Schnittstellen im sozio-technischen System .....	23
4. Humanorientierte Schnittstellengestaltung bei Industrie 4.0 .....	28
4.1 Schnittstelle Technologie-Mensch .....	28
4.2 Schnittstelle Mensch-Organisation .....	31
4.3 Schnittstelle Organisation-Technologie.....	34
5. Social Manufacturing and Logistics: Konturen des Leitbildes.....	38
6. Bedingungen und Perspektiven .....	44
Literatur .....	47
Anhang: Studien zu den Beschäftigungseffekten der Digitalisierung.....	53
Seit 2009 erschienene Soziologische Arbeitspapiere .....	59

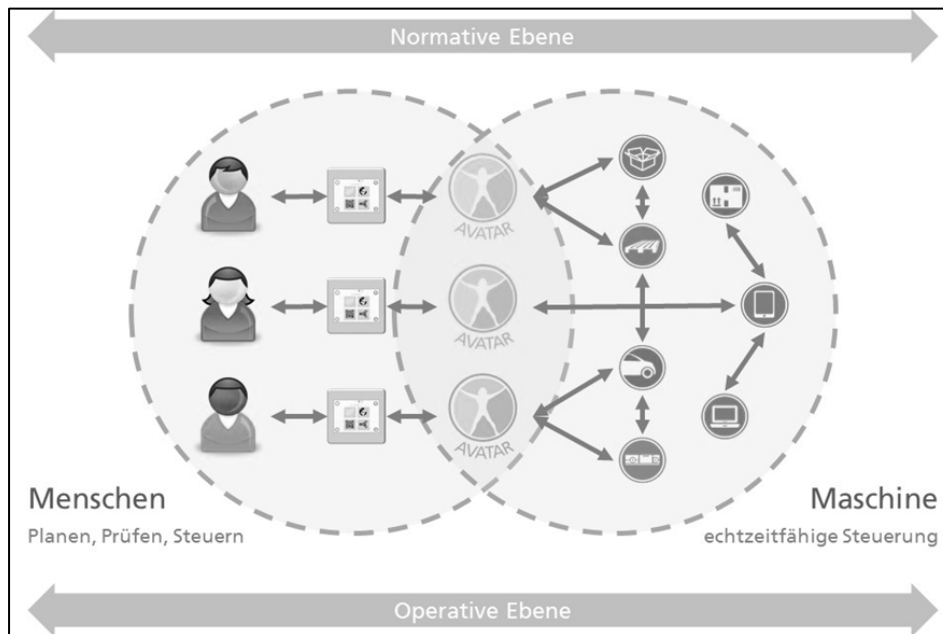
# 1. Einführung: Arbeiten in der digitalen Welt

Die derzeitigen Debatten um weit greifende Digitalisierungsprozesse in Wirtschaft und Gesellschaft versprechen vielfältige Anwendungspotenziale der neuen, internetbasierten Technologien in Produktion, Konsum und privater Nutzung. Unter den Schlagworten „Internet of Things“, „Industrie 4.0“ und „Cyber-physische Systeme (CPS)“ wird auf ‚smarte‘ Verknüpfungen von Informationstechnologien und physischen Gegenständen verwiesen, die bislang unbekannte Nutzungspotenziale in zahlreichen Anwendungsbereichen wie Wohnen, Gesundheit, Erziehung, Verkehr oder industrielle Produktion eröffnen. Hinsichtlich der Entwicklungspfade des Industriestandortes Deutschlands wird diese Debatte vom Schlagwort *Industrie 4.0* und der hiermit verbundenen Digitalisierung industrieller Wertschöpfung dominiert. Einer disruptiven Entwicklung zufolge bieten sich schier unerschöpfliche Einsatzmöglichkeiten neuer Technologien, die zur Beschleunigung, Flexibilisierung, Individualisierung und Qualitätssteigerung der industriellen Produktion und industrienahen Dienstleistungsbereichen wie der Logistik beitragen und neue Geschäftsmodelle in Form von hybriden Kombinationen aus Produkten und Dienstleistungen ermöglichen sollen (Hirsch-Kreinsen/ten Hompel 2016). Der Begriff der Industrie 4.0 bleibt zwar (nach wie vor) recht unbestimmt und wird vielseitig verwendet (vgl. Ittermann et al. 2015). Jedoch fokussiert die Debatte, die von Ingenieurwissenschaften, Wirtschaftsverbänden, technologieintensiven Unternehmen und politischen Entscheidungsträgern forciert wird, auf das ‚intelligente‘ Produkt und seine prozesszentrierte und unternehmensübergreifende Bearbeitung in einer entgrenzten und vernetzten Produktion (Plattform Industrie 4.0 2013). Durch eine hochflexible Verknüpfung und Synchronisierung der durch das Internet vernetzten Datenebene mit realen Fabrikabläufen eröffnen sich grundlegend neue Potenziale für die Planung, die Steuerung und die Organisation von Produktions- und Wertschöpfungsprozessen (Kagermann et al. 2011; Forschungsunion/acatech 2013; Reinhart et al. 2013; BMWi 2015; Schlund et al. 2014).

In diesem Kontext wird Vernetzung zu einem Schlüsselbegriff der Industrie 4.0 und zielt auf weitgehend autonome und selbstorganisierte Prozessabläufe in der Interaktion von Produkten, Maschinen, Devices und manueller Bearbeitung bzw. Steuerung. Durch die Nutzung intelligenter Assistenzsysteme wie Datenbrillen, Smartphones und Tablets sowie Kooperationsformen aus den sozialen Netzwerken sollen neue Interaktionskontexte entstehen, die Menschen, Waren, Objekte, Services und Technologien zu smarten Produktionssystemen verbinden. Avatare und Softwareagenten

vertreten die Menschen in den virtuellen Abbildungen realer Produktionswelten und nutzen kontextbasiert Informationen zu den individuellen Qualifikationen und Präferenzen der Beschäftigten (Abb. 1). Hier soll eine selbständige und individuelle Anpassung an die Anforderungen in der Interaktion mit den Beschäftigten durch den echtzeitnahen Download notwendiger Applikationen ermöglicht werden (vgl. acatech 2016a).

**Abb. 1: Vernetzte digitale Produktions- und Logistiksysteme** (Quelle: Fraunhofer IML)



Im Kontext dieser Entwicklung soll sich die Interaktion von Mensch und Maschine der Kommunikation zwischen menschlichen Akteuren immer stärker annähern. Technologisch ist es bereits heute möglich, Maschinen mit Sprachbefehlen oder Gesten zu steuern (bspw. mit Verfahren wie Pick by Voice oder Pick by Vision). Zukünftig können Menschen jedoch nicht nur mit Robotern, sondern auch mit einfachen cyber-physischen Systemen wie (intelligenten) Regalen, Containern oder fahrerlosen Fahrzeugen wie Flurförderzeugen oder industriellen Drohnen interagieren. Durch die kontaktlose Messung und Interpretation von Gesten, Bewegung, Position, Sprache und physiologischen Parametern wie Puls oder Körpertemperatur in Kombination mit Verfahren der Künstlichen Intelligenz soll so die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine auf eine neue Stufe gehoben werden. Diese Kommunikation soll nicht nur einseitig erfolgen – auch Maschinen sollen proaktiv mit Menschen kommunizieren und bspw. selbständig Nachschub ordern oder Wartung anfordern. Dieser technologische Entwicklungsschub würde offensichtlich zahlreiche Konsequenzen nach sich



ziehen: Er wirft Fragen nach der Datenerfassung und -nutzung in Arbeits- und Produktionsabläufen, nach technologischer und menschlicher Kontrolle, nach neuen Formen der Arbeitsorganisation und insbesondere nach Interaktionsmustern von menschlichen Akteuren und technologischen Produkten auf. Wenn Maschinen zukünftig vermehrt autonom handeln, muss folglich auch die Frage nach maschineller Verantwortung gestellt werden, was weit über Haftungsfragen hinausgeht. Die technologische ‚Revolution‘ wird forciert durch umfangreiche Initiativen und Forschungsprogramme aus der Politik (Stichwort: Hightech-Strategie), die dazu beitragen sollen, Deutschland als zukünftigen Produktions- und Logistikstandort zu stärken und die ‚Technologieführerschaft‘ der deutschen Industrie im globalen Wettbewerb zu sichern (BMBF 2014; BMWi 2014).

In derzeitiger Perspektive scheint es unbestritten zu sein, dass die skizzierten Debatten weit greifende Veränderungen in den Produktionskonzepten und Wertschöpfungsprozessen anstoßen. Dennoch bleibt die Reichweite des skizzierten Technologieschubs der Digitalisierung und der vielfach proklamierten vierten industriellen Revolution zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht absehbar. So wird der derzeitige ‚Hype‘ um Industrie 4.0 und das Internet der Dinge in zahlreichen Positionen aus Wissenschaft und betrieblicher Praxis durchaus kritisch betrachtet: Zum einen bleiben gesellschaftliche Dimensionen in den Debatten häufig ausgeblendet. Zum anderen wird sich die ‚Alltagstauglichkeit‘ der technologisch-organisatorischen Innovationen in Betrieben und Industriezweigen erst noch zeigen müssen (Pfeiffer 2016; Ahrens 2014; Brödner 2015; Dörre 2015).

Häufig unterbelichtet bleibt bei den technikzentrierten Visionen zur Industrie 4.0 der Umstand, dass diese technologischen Innovationen in tief sedimentierte Arbeits- und Organisationsstrukturen integriert werden müssen. Die Folgen dieser Eingriffe sind nur bedingt absehbar. Eine erfolgreiche Implementierung setzt, so die hier verfolgte These, die komplexe Verknüpfung neuer Technologien mit sozialen und betrieblichen Anforderungen voraus. Das Zusammenspiel dieser Faktoren bestimmt letztlich die Konturen von modernen, digital gestützten Arbeits- und Produktionsabläufen. Somit stellt sich mit Blick auf das Gesamtsystem der Produktion und den hier wirksamen Interdependenzen die Frage nach Leitorientierungen der Industrie 4.0 und der Gestaltung digitaler Arbeit.

### *Zu einem Leitbild digitaler Arbeit*

Mit dem Titel Social Manufacturing and Logistics werden im Folgenden die Konturen eines Leitbildes für die Gestaltung digitaler Industriearbeit zur Diskussion gestellt. Absicht ist, damit sowohl die

zentralen Gestaltungsräume für zukünftige Formen von industrieller Arbeit aufzuzeigen, als auch ein Referenzmodell für erkennbare Entwicklungstrends von Arbeit vorzulegen. Darüber hinaus soll verdeutlicht werden, welche Gestaltungsmöglichkeiten und -alternativen für menschliche Arbeit beim Einsatz digitaler Technologien existieren. Als Bewertungsmaßstab wird dabei eine *humanorientierte* Gestaltung der Arbeit in Produktions- und Logistikbereichen angesehen, wie sie insbesondere in der laufenden Debatte über Industrie 4.0 und die damit verbundenen Entwicklungschancen von Arbeit hervorgehoben wird.

Vielfach wird in diesem Diskurs eine optimistische Perspektive formuliert, die von Arbeitsplatzgewinnen, steigenden Ansprüchen an Arbeit sowie einer generellen Aufwertung von Tätigkeiten und Qualifikationen ausgeht. Stellvertretend für eine Vielzahl von Autoren und Stellungnahmen sei hier auf die Position des Wissenschaftlichen Beirats der Plattform Industrie 4.0 verwiesen, der in seinen 2014 publizierten Thesen betont, dass sich mit Industrie 4.0 „vielfältige Möglichkeiten für eine humanorientierte Gestaltung der Arbeitsorganisation“ (Wissenschaftlicher Beirat 2014) verbinden. Ähnlich formuliert es Henning Kagermann, einer der maßgeblichen Vertreter der Vision von Industrie 4.0, dem zu Folge Mitarbeiter in Zukunft weniger als „Maschinenbediener“ eingesetzt werden, „sondern mehr in der Rolle des Erfahrungsträgers, Entscheiders und Koordinators (...) die Vielzahl der Arbeitsinhalte für den einzelnen Mitarbeiter nimmt zu“ (Kagermann 2014: 608).

Indes ist die Realisation von humanorientierten Formen der Arbeit kein Selbstläufer. Vielmehr erfordern sie einen ganzheitlichen und strategisch angelegten Forschungs- und Gestaltungsansatz und ein daran orientiertes Vorgehen. Zugespitzt formuliert, unabdingbar dafür ist eine Verknüpfung der neuen Technologien mit ihren sozialen, organisatorischen und spezifischen betrieblichen Einsatzbedingungen. Diese Verknüpfung ist auch die Voraussetzung dafür, dass die im Kontext von Industrie 4.0 vielfach prognostizierten Produktivitäts- und Wachstumsgewinne tatsächlich realisiert werden können. Sie lassen sich nicht allein auf technologischem Wege erreichen. Vielmehr erfordern sie „complementary innovations“ (Brynjolfsson/McAfee 2014: 102) u.a. in Arbeitsprozessen, Organisationsstrukturen und sozialen Beziehungen, d.h. eine aufeinander abgestimmte Gestaltung der interdependenten Parameter des Gesamtsystems Industrie 4.0. Dies schließt Fragen nach Industrie 4.0-kompatiblen, ‚innovativen‘ Mustern der betrieblichen Organisation wie dezentrale Strukturen, neue Geschäftsmodelle und Digital Management ebenso ein wie die nach neuen Personalstrukturen und Arbeitsbedingungen, z.B. neue Qualifikationen und Kompetenzen, autonome Teams

und intelligente Partizipationsmodelle. Das Zusammenspiel dieser Faktoren bestimmt letztlich den ökonomischen Erfolg und vor allem auch die soziale Akzeptanz von modernen, digital gestützten Arbeits- und Produktionsabläufen.

Ein ganzheitlicher Gestaltungsansatz soll im Folgenden mit dem Konzept des Social Manufacturing and Logistics vorgelegt werden<sup>1</sup>. Das Konzept bezieht sich auf zwei miteinander verschränkte Aspekte:

- Zum einen werden mit diesem Konzept die Social Media- und Social Network-Funktionalitäten der Kommunikation und Vernetzung zwischen Objekten, Maschinen und Menschen angesprochen, die im privaten Bereich bereits verbreitet sind und nun zunehmend in Produktion und Logistik Einzug halten. Neben dem Einsatz von Social Media in der externen Unternehmenskommunikation (z.B. Marketing, Service und Vertrieb) wächst der Stellenwert der Nutzung in Produktionsprozessen und der bereichs- oder standortübergreifenden Zusammenarbeit. Darüber hinaus richtet sich das Augenmerk auf neue Formen von Social Networks, in denen Menschen und intelligente technische Systeme zukünftig interagieren.
- Zum anderen verweist es darauf, dass die Implementierung von Industrie 4.0-Systemen keinesfalls nur informations- und produktionstechnischen Erfordernissen folgen darf, sondern auch den sozialen, d.h. qualifikatorischen und organisatorischen Kontext eines industriellen Prozesses berücksichtigen muss.

Der Fokus des Leitbildes Social Manufacturing and Logistics richtet sich primär auf die Gestaltung der operativen Tätigkeiten auf dem Shopfloor. Allerdings werden dabei zugleich die Wechselwirkungen mit indirekten Tätigkeiten der Planung, des Engineering und vor allem auch der Leitungs-

---

<sup>1</sup> Der Beitrag beruht auf Arbeiten des Forschungsprojektes „SoMaLI“ (Social Manufacturing and Logistics – Industrie 4.0), das vom BMWi im Rahmen des Förderprogramms „Autonomik für Industrie 4.0“ gefördert wird. Das Projekt wurde 2015/16 an der Technischen Universität Dortmund in Kooperation des Forschungsgebietes Industrie- und Arbeitsforschung (FIA) und des Lehrstuhls für Förder- und Lagerwesen (FLW) durchgeführt). Im Rahmen des Projektes wurden zahlreiche Materialien, Studien und Prognosen zur Entwicklung von digitaler Arbeit in Industrie 4.0 ausgewertet sowie Experteninterviews mit Verbandsvertretern (V1-3), Technologieentwicklern (E1-3) und Anwendungsunternehmen (A1-4) von Industrie 4.0-Systemen geführt. Die Interviews wurden anschließend inhaltsanalytisch ausgewertet. Die Ziele und Ergebnisse des Projektes sind in diversen Präsentationen und Publikationen vorgestellt worden (u.a. ten Hompel/Hirsch-Kreinsen 2014, SoMaLI 2015; Hirsch-Kreinsen/ten Hompel 2016; Hirsch-Kreinsen/Ittermann 2016; Niehaus et al. 2016).

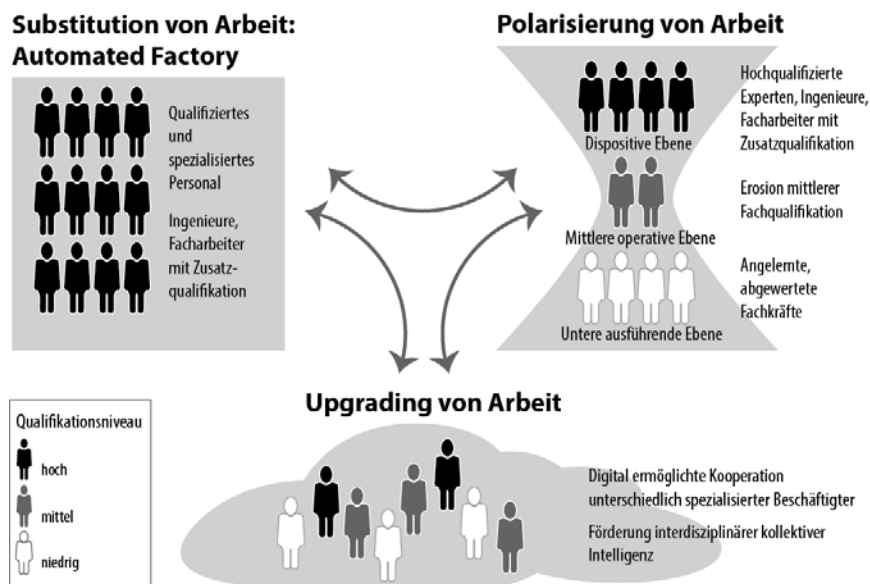
funktionen mit in den Blick genommen. Es liegt auf der Hand, dass bei der Gestaltung des Gesamtsystems von Produktion und Logistik den strukturellen und ökonomischen Anforderungen des jeweiligen Einsatzfeldes Rechnung getragen werden muss. Die Ausgestaltung eines Industrie 4.0-System erfolgt daher naturgemäß *domänenspezifisch*. Leitendes Kriterium sollte dabei allerdings stets sein, die Potentiale einer humanorientierten Gestaltung der Arbeit bestmöglich auszuschöpfen.

Das Leitbild soll in den folgenden Argumentationsschritten entwickelt werden: Nach der hieran anschließenden Zuspitzung der derzeit vorliegenden, teilweise widersprüchlichen Forschungsergebnisse (Abschn. 2) über den Wandel von Industriearbeit wird im folgenden Schritt der Argumentation (Abschn. 3) gezeigt, dass die Realisation von humanorientierten Formen der Arbeit voraussetzungsvoll ist und einen ganzheitlich angelegten Forschungs- und Gestaltungsansatz erfordert. Hierzu wird auf den Ansatz des sozio-technischen Systems zurückgegriffen und als zentrale Gestaltungsräume werden die Schnittstellen zwischen den Systemelementen Technik, Mensch und Organisation identifiziert. Daran anknüpfend (Abschn. 4) werden auf der Basis eigener Erhebungen diese Gestaltungsräume genauer konturiert und durch konkrete Good Practice-Beispiele aus Unternehmen ausgeführt. Der nachfolgende Schritt der Argumentation (Abschn. 5) zielt auf die Zusammenfassung der empirischen Befunde zu einem Leitbild *Social Manufacturing and Logistics*. Im abschließenden Schritt (Abschn. 6) werden eine Reihe betrieblicher und gesellschaftlicher Zusatzbedingungen für die Realisation eines solchen Leitbildes diskutiert.

## 2. Widersprüchliche Prognosen zur Zukunft von Arbeit

In den letzten Jahren hat eine breitere Diskussion darüber eingesetzt, inwieweit Digitalisierung und Industrie 4.0-Systeme zu Veränderungen sozio-ökonomischer Strukturen führen und Umbrüche in der industriellen Arbeitswelt auslösen (z.B. BMAS 2015; Botthof/Hartmann 2015a; Hirsch-Kreinsen et al. 2015; Ittermann et al. 2015). Die Debatte macht unisono deutlich, dass ganz im Gegensatz zur *CIM-Debatte* der 1980er Jahre mit ihrer Vision der menscheleeren Fabrik, menschliche Arbeitskraft als unverzichtbar für die erfolgreiche Einführung der neuen digitalen Technologien anzusehen ist (z.B. Forschungsunion/acatech 2013). Wie sich Arbeit allerdings konkret verändern wird, ist Gegenstand intensiver Debatten und widersprüchlicher Forschungsergebnisse. Dieser sowohl national als auch international geführte Diskurs über die Zukunft von Arbeit lässt sich zu verschiedenen divergierenden Entwicklungsszenarien verdichten (Abb. 2).

**Abb. 2: Entwicklungsszenarien zur Zukunft digitaler Arbeit** (eigene Darstellung)



### 2.1 Upgrading von Industriearbeit: Beschäftigungsstabilität und steigende Qualifikationen

Ein erstes Szenario bekräftigt die eingangs angeführten optimistischen Sichtweisen der Industrie 4.0-Debatten, indem von Beschäftigungswachstum, höherwertigen Tätigkeiten und Qualifikationen sowie einer erweiterten Selbstbestimmung in der Arbeit ausgegangen wird. Auf positive Arbeitsmarkteffekte verweist z.B. eine Studie der Unternehmensberatung Boston Consulting Group, die

einen Beschäftigungszuwachs von sechs Prozent (ca. 390.000 Arbeitsplätze) in der deutschen Industrie für die nächsten zehn Jahre prognostiziert (BCG 2015). Eine Untersuchung des IAB Nürnberg geht von einer längerfristigen Kompensation von kurzfristig durch die digitalen Technologien substituierter Tätigkeiten aus (Wolter et al. 2015). Positive Befunde legen auch die Autoren einer im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales erstellten Studie auf der Basis differenzierter Modellrechnungen vor. Unter den Bedingungen einer forcierten Digitalisierung, d.h. deutlicher Produktivitätssteigerungen und der Einführung neuer Produkte, ist danach vor allem in den Herstellerbranchen digitaler Techniken und Diensten wie dem Maschinenbau, der Fahrzeugindustrie, der Elektrotechnik sowie der IT-Branche ein Beschäftigungsgewinn von einer Million Erwerbstätiger bis 2030 zu erwarten (Vogler-Ludwig et al. 2016: 75). Grundlage für diese Entwicklungsperspektive ist ein eher moderater technologischer Wandel in der Industrie und die sukzessive Anreicherung von Arbeits- und Produktionsabläufen durch neue Technologien.

Darüber hinaus wird Upgrading in diesem Szenario als ein Prozess verstanden, der tendenziell alle Beschäftigtengruppen erfasst. Durch die steigende Verfügbarkeit einer großen Vielfalt von Informationen über laufende Prozesse und deren Zusammenhänge ergeben sich neue und bislang nicht gekannte Anforderungen an Tätigkeiten und es eröffnen sich vielfältige Handlungsspielräume in der Arbeit. Zuboff hat schon seit längerem eine wachsende Bedeutung von „intellective skills“ prognostiziert, die vor allem auf einem theoretischen Verständnis von Prozessen beruhen (Zuboff 1988: 94f.). Die generelle Konsequenz seien „better jobs – jobs that at every level would be enriched by an informing technology“ (ebd.: 159). Dies schließt auch die Förderung geringqualifizierter Tätigkeiten ein, wenn etwa der Einsatz von Datenbrillen oder Tablets in der industriellen Produktion zu schneller erlernbaren Tätigkeiten führt oder durch den intelligenten Einsatz von Assistenzsystemen eine qualifikatorische Aufwertung erfolgt.

Konkret geht es hierbei um den Auf- und Ausbau von IT-Kompetenzen, Medienkompetenzen und Prozessverantwortung in der Fertigung und Montage, aber auch in indirekten Bereichen wie der Arbeitsvorbereitung, der Produktionsplanung und der Qualitätssicherung sowie in der Logistik. Des Weiteren werden in vielen Studien kreative und soziale Fähigkeiten, informelle Kompetenzen in abstraktem Denken und Kommunikation, emotionale Intelligenz sowie Verhandlungs- und Vermittlungskompetenz als wichtige Fähigkeiten der „4.0-Beschäftigten“ gesehen. Die Studien deuten damit vor allem auf Fähigkeiten und Kompetenzen, die sie in technischer und ökonomischer Hin-

sicht als nur schwer und sehr aufwendig automatisierbar ansehen. Als weitgehend notwendig begreifen daher die vorliegenden Studien alle Maßnahmen, die auf eine (Re-)Qualifizierung und einen Kompetenzerwerb im Bereich extrafunktionaler Fähigkeiten abzielen. Die Maßnahmen umfassen dabei Anpassungen der schulischen und der Berufsausbildung, der innerbetrieblichen Weiterbildung und des laufenden „learning-on-the-job“ (Gebhardt et al. 2015; Spöttl et al. 2016). Festzuhalten ist, dass in dieser Perspektive auch in Zukunft dem akkumulierten Erfahrungswissen und dem erfahrungsgelenkten Handeln der Beschäftigten in Produktion und Logistik eine besondere Rolle zugemessen wird (Pfeiffer/Suphan 2015).

Arbeitsorganisatorisch impliziert dieses Upgrading-Szenario ein Muster, das von einer weitreichenden Dezentralisierung und Reintegration von zuvor getrennten Funktionen der Planung, Ausführung und Kontrolle gekennzeichnet ist. In der Literatur wird auch von einer qualifikatorisch aufgewerteten flexibel integrierten Arbeitsform gesprochen (Hirsch-Kreinsen 2014b), die durch eine lockere Vernetzung unterschiedlich qualifizierter, aber gleichberechtigt agierender Beschäftigter gekennzeichnet ist, die weitgehend selbstorganisiert und situationsbestimmt im digitalisierten Arbeits- und Produktionsprozess handeln. Diese Form zeichnet sich durch ein hohes Maß an struktureller Offenheit, eine sehr begrenzte Arbeitsteilung, selbstorganisierte Tätigkeiten und hohe Flexibilität aus.

Dieser Perspektive liegt auch ein neuer Blick auf die Mensch-Maschine-Interaktionen und Kontroll- und Verantwortungsverteilungen von technischem und personellem System zugrunde, das den Menschen im industriellen Produktionssystem in den Vordergrund rückt (Grote 2015): Die Fachkraft lenkt das CPS und kann bei Problemen selbstständig eingreifen. Sie behält die Kontrolle über die digitalisierten Arbeits- und Produktionsabläufe und wird durch intelligente Assistenzsysteme und neue Technologien als ‚Werkzeuge‘ unterstützt. Dieser Ansatz wird auch als „Spezialisierungsszenario“ oder „Werkzeugszenario“ bezeichnet (Windelband/Dworschak 2015).<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Die vorliegenden Beiträge knüpfen dabei mehr oder weniger implizit an Arbeiten der Arbeits- und Sozialwissenschaften an, die sich bereits seit mehreren Jahrzehnten mit der Gestaltung der Interaktion von Mensch und Maschine befassen. Hier liegen eine Vielzahl von Forschungserkenntnissen vor, die in neueren Studien aufgegriffen werden (vgl. Hinrichsen/Jasperneite 2013; Geisberger/Broy 2012; Peissner/Hipp 2013; Bauernhansl et al. 2014; Botthof/Hartmann 2015a).

Zugespitzt formuliert, dieses Szenario bezeichnet Chancen für Arbeitsformen, die bislang aus wissensintensiven Dienstleistungssektoren bekannt sind. Mit Blick auf die betriebliche Ebene ersetzen in dieser Argumentation temporäre Projektorganisationen und Netzwerke feste Organisations- und Managementstrukturen. Diese können eine erhebliche Steigerung der Arbeitsqualität begründen, wenn die neuen Möglichkeiten der Flexibilisierung von Arbeit zu einer deutlich verbesserten Vereinbarkeit von beruflichen und familiären bzw. privaten Anforderungen führen oder die Mitarbeiter situations- und lebensphasenorientiert ihre Arbeitsbelastung und ihren Arbeitsanfall unter den neuen Bedingungen autonomer regulieren können (Kurz 2014).

## *2.2 Automated Factory 4.0: Mögliche Substitution von Industriearbeit*

Im Mainstream des Industrie 4.0-Diskurses wird betont, dass die Digitalisierung keineswegs die ‚menschenleere Fabrik‘ zur Folge haben wird, ja längerfristig sogar positive Arbeitsmarkteffekte haben wird. Gleichwohl darf ein zweites Szenario einer ‚Automated Factory‘, das von einer vor allem *kurzfristigen Substitution von Industriearbeit* durch die neuen Technologien ausgeht, nicht ausgeschlossen werden (Abb. 2).<sup>3</sup> Insgesamt muss dabei viel eher von einer partiellen Substitution gesprochen werden, die verschiedene Beschäftigtengruppen in unterschiedlicher Weise trifft (z.B. Vogler-Ludwig et al. 2016: 78ff.).

Weitgehend einig sind sich hier fast alle Autoren, dass die Arbeitsplatzverluste vor allem im Segment geringqualifizierter und standardisierter Tätigkeiten in Produktion und Logistik anfallen werden. Die Voraussetzung hierfür ist, dass es sich dabei um Tätigkeiten handelt, die einen gut struk-

---

<sup>3</sup> In der gegenwärtigen Debatte zur möglichen Substitution von Arbeitsplätzen in Industrie und anderen Wirtschaftssegmenten aufgrund der skizzierten Digitalisierungsprozesse sind in den letzten Jahren zahlreiche nationale und international ausgerichtete Studien publiziert worden, die sich methodisch vor allem auf quantitative, makroökonomisch-fundierte Berechnungen stützen. Die Angaben in der Tabelle im Anhang verweisen auf breit diskutierte Befunde und Prognosen zu den möglichen Beschäftigungseffekten von Digitalisierung und Industrie 4.0, ohne dabei einen Anspruch auf Vollständigkeit zu verfolgen. Der Fokus richtet sich an dieser Stelle auf Studien, die quantitative Beschäftigungseffekte von Digitalisierung und Industrie 4.0 benennen. Daneben existiert zum einen eine Vielzahl von Arbeitsmarktstudien und Expertisen, die sich in genereller Perspektive auf mögliche Beschäftigungsentwicklungen und -szenarien in Deutschland oder im internationalen Kontext richten, und auf die an dieser Stelle nur verwiesen werden kann (z.B. Kinkel et al. 2008; Cedefop 2012; Möller 2015; Eichhorst et al. 2015; Bertelsmann Stiftung 2016; Degryse 2016; Buch et al. 2016). Zum anderen befassen sich weitere Studien mit ausgewählten Aspekten der qualitativen Veränderungen von Beschäftigung im Zuge des Digitalisierungsprozesses (Spath et al. 2013; Bosch 2016; Dorn 2013; Graetz/Michaels 2015; UBS 2016; World Bank 2016).



turierten und regel-orientierten Charakter aufweisen, daher in Algorithmen überführt und automatisiert werden können (z.B. Zuboff 1988: 10f.). Im industriellen Bereich fallen darunter beispielsweise Tätigkeiten in der Maschinenbedienung oder in der Logistik wie das manuelle Erfassen und Verwalten von Daten (FIR 2013; WEF 2016). Einer weitreichenden Einschätzung dieser Perspektive zufolge wird es in Deutschland in wenigen Jahrzehnten „keine Jobs mehr für niedrig qualifizierte Arbeiter in der industriellen Produktion geben“ (Bauernhansl zit. nach Spath et al. 2013: 125).<sup>4</sup> Diese Substitutionsannahmen vor allem von einfachen und routinisierten Tätigkeiten werden von den Ergebnissen zahlreicher makroökonomisch orientierter Arbeitsmarktstudien gestützt (u.a. Frey/Osborne 2013; Bowles 2014; Bonin et al. 2015; Dengler/Matthes 2015). Zu nennen sind hier beispielsweise Frey und Osborne (2013), die in ihrer international prominenten Studie für die nahe Zukunft auf den US-amerikanischen Arbeitsmarkt vor allem die Substitution von Berufen mit vornehmlich routinisierten Tätigkeiten prognostizieren. Ähnlich Befunde werden für den europäischen Arbeitsmarkt von Bowles (2014) und für Deutschland von Studien des ZEW (Bonin et al. 2015) und des IAB (z.B. Dengler/Matthes 2015) vorgelegt. Sehr bedrohlich erscheinen Szenarien, wonach in Folge der digitalen Automatisierung in Deutschland insgesamt 59 Prozent oder mehr als 18 Mio. Arbeitsplätze mit vorwiegend Routinetätigkeiten „im Laufe der Zeit“ wegfallen könnten (Brzeski/Burk 2015: 3; vgl. Schuh/Stich 2013).

Die Annahmen einer partiellen Substitution von Industriearbeit im Zuge der Digitalisierung beschränken sich jedoch nicht nur auf geringqualifizierte Tätigkeiten, sondern betonen auch eine weitere Substitutionswelle, die sich auf qualifizierte (nicht-)routinisierte Tätigkeiten und auf Berufe mit kreativen und sozial-interaktiven Aufgaben richtet (Frey/Osborne 2013). Dies betreffe auch das Segment der qualifizierten Industriearbeiten (vgl. Dengler/Matthes 2015: 14ff.). So liegt der Studie von Dengler und Matthes zufolge das Substituierbarkeitspotenzial im Berufssegment der industriellen „Fertigungsberufe“ insgesamt gesehen bei mehr als 70 Prozent (ebd.). Die Substitution menschlicher Arbeit durch neue Technologien und Verlagerungen greift, den Studien weiter folgend, prinzipiell auf alle Wirtschaftsbereiche über, äußert sich nicht nur im Wegfall von einfachen

---

<sup>4</sup> Mit Blick auf die mögliche Substitution geringqualifizierter Industriearbeit muss allerdings betont werden, dass damit auch, so interviewte Experten, „3D-Tätigkeiten“ (dirty, dangerous, demanding) wegfallen können; d.h. ergonomisch inakzeptable Tätigkeiten werden von intelligenten Robotersystemen übernommen und Beschäftigte werden von stark beanspruchenden oder gesundheitsgefährdenden Tätigkeiten entlastet. Zudem können technologische Lösungen dort eingesetzt werden, wo entsprechende Fachkräfte fehlen.

und qualifizierten Tätigkeiten auf dem Shopfloor, sondern auch in den indirekten Bereichen der Planung und Steuerung, in der Verwaltung, Produktentwicklung und dem Management.

Der Entwicklungspfad, der eine weitreichende Automatisierung anstrebt und zentrale Steuerungsfunktionen dem ‚CPS‘ überträgt, setzt auf die „Entscheidungsfindung von Computerprogrammen“ (Windelband 2014: 155). Für die Mehrheit der Beschäftigten verbleiben lediglich ausführende Arbeiten, allenfalls eine handverlesene Expertengruppe ist für die Installation und Wartung des Systems verantwortlich. Die Autonomie der Fachkräfte ist eingeschränkt. Diese Perspektive wird in der einschlägigen Literatur häufig als „Automatisierungsszenario“ (Windelband/Dworschak 2015; Dombrowski et al. 2014; Kurz 2014) bezeichnet.

Abschließend ist zu betonen, dass die Thesen und Befunde über teilweise weitreichende Arbeitsplatzverluste im Einzelnen durchaus umstritten sind und es mit unterschiedlichen Argumenten auf Grenzen der Substituierbarkeit von Arbeit verwiesen wird. So gehen Vogler-Ludwig et al. (2016) in ihrer Arbeitsmarktanalyse davon aus, dass einfache Tätigkeiten auch längerfristig nur „moderat“ substituiert werden. Denn, so die Begründung, zum einen heben die positiven Wachstums- und Beschäftigungseffekten der Digitalisierung das gesamte Beschäftigungsniveau an und zum anderen werde einfache Arbeit in einem dynamischen Wirtschaftssystem weiterhin gebraucht (ebd.: 80). Weiterhin zeigen qualitativ orientierte Studien, dass geringqualifizierte industrielle Einfacharbeit aufgrund divergierender branchen- und betriebsstruktureller Bedingungen in sehr verschiedener Weise und mit unterschiedlichen Konsequenzen vom Einsatz digitaler Technologien betroffen sind (Hirsch-Kreinsen 2016, Abel et al. 2014). Hier sei mit sehr unterschiedlichen Entwicklungspfaden zu rechnen und auch mit neuen Formen digitalisierter Einfacharbeit.

Darüber hinaus wird das Argument, dass vor allem Routinetätigkeiten von Automatisierung bedroht seien, kritisch gesehen (z.B. Autor 2015; Pfeiffer/Suphan 2015). Argumentiert wird, dass es sich hierbei um ein verkürztes Verständnis handele, da auch sog. Routinetätigkeiten stets Nicht-Routine-Elemente wie vor allem auch Erfahrungswissen einschließen. Diese Tätigkeitselemente weisen jedoch einen nur schwer fassbaren, ausgeprägt situationsspezifischen und intuitiven Charakter auf und lassen sich daher computertechnisch kaum zureichend abbilden. Den genannten Autoren zufolge finden sich diese Tätigkeitselemente nicht nur in anspruchsvollen hochqualifizierten Tätigkeiten, sondern gerade auch in einfachen manuellen Jobs. Zudem müsse davon ausgegangen werden, dass die Bedeutung von erfahrungsbasierten intuitiven Handeln ganz generell mit

steigender Automatisierung und Komplexität der eingesetzten Technologie steigt und daraus paradoxerweise stets neue Grenzen für die Digitalisierbarkeit von Arbeit und damit auch für ihre Substitution erwachsen.

### *2.3 Polarisierung von Industriearbeit: Gewinner und Verlierer bei Industrie 4.0*

Ein drittes Entwicklungsszenario kann als Polarisierung von Industriearbeit gefasst werden. Es umfasst sowohl Prozesse des Upgradings von Qualifikationen und die partielle Substitution von Tätigkeiten als auch die Neuentstehung und den Erhalt geringqualifizierter Industriearbeit. Diesem Szenario wird in makroökonomischer aber auch betrieblicher Perspektive in der internationalen und nationalen Digitalisierungsforschung eine hohe Eintrittswahrscheinlichkeit attestiert (vgl. zusammenfassend z.B. Picot 2013; Autor 2015). Der Kern dieses Szenarios ist, dass sich eine Schere zwischen komplexen Tätigkeiten mit hohen Qualifikationsanforderungen einerseits und einfachen Tätigkeiten mit niedrigem Qualifikationsniveau andererseits öffnet und mittlere Qualifikationsgruppen zunehmend an Bedeutung verlieren. Arbeitsorganisatorisch impliziert dies eine fortschreitende Ausdifferenzierung von Tätigkeiten und Qualifikationen „nach oben“ und „nach unten“ in Form einer polarisierten Arbeitsform.

Als Voraussetzung für die Erosion der mittleren Qualifikationsgruppen gilt, dass es sich dabei *einerseits* um Tätigkeiten handelt, die einen gut strukturierten und regel-orientierten Charakter aufweisen und daher, ähnlich wie viele einfache Tätigkeiten, algorithmisiert bzw. automatisiert werden können. Zudem wird argumentiert, dass Informationstechnologien es erlauben, ursprünglich komplexe Tätigkeiten durch Modellierung und Formalisierung weitreichend zu standardisieren. So können durch den Einsatz entsprechend ausgelegter Assistenzsysteme viele komplexere Tätigkeiten in einfache Teiloperationen zerlegt und mit restriktiven Arbeitsvorgaben, die kaum noch Handlungsspielräume erlauben, versehen werden. Damit eröffnen sich zudem deutlich gestiegene Kontrollmöglichkeiten über die die Arbeit. Konkret kann dies sowohl bislang qualifizierte Produktionsarbeiten etwa der Montage und Überwachung wie aber auch indirekte Tätigkeiten auf mittlerem Qualifikationsniveau betreffen (z.B. Kuhlmann/Schumann 2015). *Andererseits* werden bestimmte Facharbeiten aufgewertet und zunehmend mit hochqualifizierter Entwicklungsarbeit verschmelzen (Spath et al. 2013). Eindeutiger „Gewinner“ des digitalen Strukturwandels sind hier die Bereiche hochqualifizierter Arbeit, insbesondere in den Segmenten Ingenieursdienstleistungen, Informatiker, IT-Fachkräfte und Kreativarbeit. Denn „the growing use of software, connectivity, and analytics

will increase the demand for employees with competencies in software development and IT-Technologies, such as mechatronics experts with software skills. (...) This competency transformation is one of the key challenges ahead." (BCG 2015: 9)

Ein instruktives empirisches Beispiel für Polarisierungstendenzen im industriellen Bereich liefern Windelband et al. (2011) mit einer Untersuchung von Arbeit im Kontext intelligent vernetzter Logistiksysteme. Widersprüchliche Entwicklungstrends ergeben sich danach daraus, dass einerseits mit der neuen Technik Prozesse automatisiert werden mit der Folge, dass verbleibende Tätigkeiten vereinfacht würden. Die Handlungsspielräume dieser Beschäftigtengruppe sind auf Grund strikter Systemvorgaben naturgemäß sehr eng. Die Konsequenz sei, dass die Betriebe niedrig qualifiziertes Personal kostengünstig und ohne lange Anlernzeiten einsetzen können. Andererseits aber sei diese Erosion bestimmter Qualifikationen begleitet von der Aufwertung anderer Tätigkeits- und Qualifikationsgruppen, die neuerdings systemübergreifende Steuerungs- und Kontrollaufgaben übernehmen. So befürchten die Autoren anderer Studien über die Entwicklung qualifizierter Sach- und Facharbeitertätigkeiten eine fortschreitende „Dequalifizierung und Teilsubstituierung“ der mittleren Qualifikationsebene. Bestenfalls könne von dem Verbleib von „Residualkategorien“ von qualifizierter Arbeit gesprochen werden, die nicht oder nur mit einem unverhältnismäßigen Aufwand automatisiert werden können (Kinkel et al. 2008; Düll 2013). Insgesamt entsteht damit eine polarisierte Arbeitslandschaft, die Goos und Manning anschaulich mit dem Diktum fassen, dass nunmehr nur noch „Lousy and Lovely Jobs“ anzutreffen seien (Goos/Manning 2007).

Als weiteres Moment des Polarisierungsszenarios können die viel diskutierten Trends zum „Crowdsourcing“ oder „Crowdworking“ angesehen werden (Leimeister/Zogaj 2013; Benner 2014). Angesprochen werden damit Tendenzen der Ausdifferenzierung von Produktions- und Arbeitsfunktionen, d.h. die Auslagerung verschiedener Teilaufgaben an eine ex ante nicht definierte Anzahl unterschiedlich spezialisierter freiberuflicher Akteure. Die Voraussetzung hierfür ist eine IT-gestützte präzise Beschreibung, Abgrenzung und Modularisierung ursprünglich komplexer Arbeitsschritte, die eine Ausdifferenzierung und Öffnung von Produktionsprozessen und den via Internet koordinierten Einbezug unterschiedlichster unternehmensexterner Akteure in den Wertschöpfungsprozess erlaubt. In verschiedenen Studien werden insbesondere die arbeitspolitischen Risiken wie Dequalifizierung, fehlende Regulation und damit neu entstehende prekäre Arbeit sowie auch das bislang kaum einschätzbare digitale Kontrollpotential diskutiert. Empirisch wird diese Entwicklung haupt-

sächlich in der IT- und Softwarebranche und bei Engineeringfunktionen im industriellen Bereich verortet. Obgleich befürchtet wird, dass diese neuen Arbeitsformen Tendenzen der Polarisierung auf dem Arbeitsmarkt vertiefen, wird der Umfang dieser Arbeitsformen in Deutschland bislang als eher gering eingeschätzt (Vogler-Ludwig et al. 2016: 89).

#### *2.4 Anstelle eines Zwischenfazit: Notwendige Differenzierungen*

Die Darstellung der gegenwärtigen Prognosen und Szenarien ist für die analytische Differenzierung an dieser Stelle idealtypisch zugespitzt. In der (betrieblichen) Realität stellen sich die Herausforderungen der ‚digitalen‘ Produktions- und Arbeitsgestaltung nicht in allen Betrieben und Branchen in gleicher Weise. Technologieintensitäten, Betriebsgrößen, Spezifika von Produkten, Branchenzugehörigkeiten, Konkurrenzsituationen oder besondere Kundenanforderungen sind wichtige Einflussgrößen für den konkreten Stellenwert von Industrie 4.0 und digitaler Arbeit. Je nach den gegebenen Kontextbedingungen ergeben sich unterschiedliche Einsatzbereiche und Anwendungsmöglichkeiten digitalisierter Systeme, aber auch andere Probleme und Grenzen ihrer Realisierbarkeit. So sind z.B. die Anforderungen in der Serienfertigung, in der Prozessindustrie und in der Logistik unterschiedlich oder bestehen verschiedene Handlungsoptionen zwischen vielen klein- und mittelbetrieblich strukturierten Bereichen und den Großunternehmen in Industrie und der Logistikbranche. In vielen KMU-Betrieben lässt sich auf die Bedeutung manueller Produktionsarbeiten bei spezifischen, nur schwer standardisierbaren Produktionsbedingungen und auf Grenzen der Automatisierbarkeit in zahlreichen Industriezweigen verweisen (Hirsch-Kreinsen 2016, Abel et al. 2014). Auch innerhalb größerer Betriebe können die Anforderungen je nach Standort, Geschäftsfeld oder Fertigungsbereich erheblich variieren. Somit lassen sich mit Blick auf die vorgestellten Szenarien zur digitalen Arbeit in der (betrieblichen) Realität der Industrie zahlreiche *Hybridformen* zwischen Substitution, Polarisierung und Upgrading erwarten, die den jeweiligen Anforderungen der Betriebe und Produktionsprozessen entsprechen. Diese sind u.a. Ausdruck betrieblicher Sozialverfassungen und bereits eingeschlagener Entwicklungspfade der Unternehmen.

Der Abriss des Forschungsstandes zeigt zudem, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur wenige verlässliche Trendbestimmungen zu den Perspektiven digitalisierter Arbeit vorliegen. Vielmehr zeichnen sich sehr heterogene, teilweise widersprüchliche Entwicklungspfade ab. Ein Grund für diese ungeklärte Situation sind die derzeit noch unbeantwortbaren Fragen, welche konkreten neuen Technologien in der industriellen Produktion in welcher Intensität und zu welchem Zeitpunkt

zum Einsatz kommen und in welcher Weise diese in laufende betriebliche (und überbetriebliche) Strukturen und Abläufe integriert werden. Denn hiermit sind die Potentiale und die Grenzen des Technologieeinsatzes und die weiteren Anforderungen des betrieblichen Gesamtsystems angesprochen: Ahrens (2015) sieht die Industrie 4.0 als technologiegetriebenes Projekt und somit das Risiko, dass „nicht alle technischen Lösungen, die machbar sind, zugleich auch wirtschaftlich und/oder wünschbar (Big Data versus Datenschutz) sein werden.“ (ebd.: 15) Auch Brödner (2015) sieht „bedeutsame soziale, organisationale und institutionelle Aspekte“ (ebd.: 233) in den laufenden Debatten zur Industrie 4.0 häufig ausgeblendet.

### 3. Gestaltungsräume: Schnittstellen im sozio-technischen System

Die zugespitzte Darstellung unterschiedlicher Entwicklungsszenarien zeigt, dass die Realisation von humanorientierten Formen der Arbeit im Zuge der Digitalisierung kein Automatismus ist. Vielmehr erfordert sie einen ganzheitlich angelegten Forschungs- und Gestaltungsansatz und eine strategische Wahl zwischen den verschiedenen Entwicklungsszenarien von Industriearbeit. *Damit sind die grundlegenden Zielsetzungen des Konzepts Social Manufacturing and Logistics bezeichnet.* Um diese Ziele zu realisieren, ist ein Verständnis von Industrie 4.0 erforderlich, das gleichermaßen technologische, organisatorische und arbeitsbezogene Faktoren der Systemgestaltung in den Blick nimmt.

#### *Konzeptioneller Bezugspunkt: Sozio-technisches System*

Einen zentralen Bezugspunkt hierfür stellt der Ansatz des *sozio-technischen Systems* dar. Dieser Ansatz wurde explizit schon in den Umsetzungsempfehlungen für das Projekt Industrie 4.0 von der Forschungsunion und acatech als Voraussetzung einer umfassenden Systemgestaltung hervorgehoben (Forschungsunion/acatech 2013: 57). Er hat allerdings schon seit geraumer Zeit in der Arbeitsforschung einen prominenten konzeptionellen und analytischen Stellenwert bei der Untersuchung und Gestaltung technisierter und automatisierter Arbeitsprozesse (Trist/Bamforth 1951; zusammenfassend Sydow 1985). Obgleich nicht immer einheitlich definiert, kann in einer ersten Näherung und in Anlehnung an Rice (1963) unter einem sozio-technischem System eine Produktionseinheit verstanden werden, die aus interdependenten technologischen, organisatorischen und personellen Teilsystemen besteht. Zwar begrenzt das technologische Teilsystem die Gestaltungsmöglichkeiten der beiden anderen Teilsysteme, jedoch weisen diese eigenständige soziale und arbeitspsychologische Eigenschaften auf, die wiederum auf die Funktionsweise des technologischen Teilsystems zurückwirken.

In dieser Perspektive geht es nicht um die Frage eines entweder Technik oder Mensch, sondern um das Ziel einer aufeinander abgestimmten Gestaltung der gleichwertigen Parameter des sozio-technischen Gesamtsystems: „This meant that technology, which, in their definition<sup>5</sup>, covered both

---

<sup>5</sup> Bezogen auf die Arbeiten des Londoner Tavistock Institutes (u.a. Trist/Bamforth 1951)

machines and the associated work organization, should not be allowed to be the controlling factor when new work systems were implemented. Equal attention must be paid to providing a high quality and satisfying work environment for employees." (Mumford 2006: 318) Der gestaltungsorientierte Ansatz geht davon aus, dass eine Analyse und Gestaltung des Zusammenspiels der neuen Technologien mit den dadurch induzierten organisatorischen und personellen Veränderungen („joint optimization“) grundsätzlich den Blick auf das Gesamtsystem der Produktion und die hier wirksamen Interdependenzen erfordert (Rice 1963; Walker et al. 2008). So ließe sich u.a. eine niedrigere Produktivität trotz einer höheren Technologieintensität darauf zurückführen, dass Folgewirkungen in Arbeitsorganisationen und Kontrollstrukturen nicht angemessen berücksichtigt wurden. Zu den wesentlichen Grundprinzipien des Ansatzes zählten Trist und Bamforth (1951) verantwortliche Autonomie der Arbeitsteams, Anpassungsfähigkeit und Flexibilität, ganzheitliche Aufgabenzuschnitte sowie die Bedeutsamkeit der Tätigkeiten.

In kritischer Auseinandersetzung mit dem sozio-technischen Ansatz wird zum einen auf das Ausblenden individueller Präferenzen und motivationsbezogene Bedürfnisse der Beschäftigten sowie die in solchen Arbeitskontexten häufig anzutreffenden Konflikte und aufwendigen Abstimmungsprozesse verwiesen (Sydow 1985). Dies wirft Fragen nach notwendigen Erweiterungen durch Interessen- und machttheoretische Überlegungen auf. Zum anderen würden ökonomische Orientierungen und Sachzwänge sowie die je gegebenen produktionsstrukturellen Einschränkungen in dem Ansatz vernachlässigt, da diese die Nutzung der (arbeits-)organisatorischen Gestaltungsspielräume im Betrieb begrenzen. Somit müssten die auf Kontextbedingungen und Branchenanforderungen basierenden betrieblichen Entwicklungspfade in die Konzipierung einbezogen werden. Letztlich führe der in früheren Arbeiten erkennbare managerielle Bias in den praktischen Implikationen zu einer funktionalen bzw. einseitigen Optimierung des Teilsystems Mensch in Hinblick auf technisch-organisatorische Anforderungen und begründe letztlich eine Arbeitsintensivierung, deren Akzeptanz durch die Beschäftigten angezweifelt werden kann (ebd.).

### *Industrie 4.0 als sozio-technisches System*

Der Ansatz der sozio-technischen Systems wurde in der Vergangenheit immer wieder in den wissenschaftlichen Debatten der Automatisierung und Humanisierung der industriellen Produktion aufgegriffen. Er findet auch in den aktuellen Studien und Veröffentlichungen zur Industrie 4.0 und Digitalisierung der Arbeitswelt eine weitreichende Berücksichtigung (Forschungsunion/acatech



2013; Botthof/Hartmann 2015a; Kurz 2014; Hirsch-Kreinsen 2014a; Grote 2015; Deuse et al. 2015; Huchler 2016). So verbinden Forschungsunion und acatech (2013: 24) mit der Industrie 4.0 „eine neue Intensität sozio-technischer Interaktion aller an der Produktion beteiligter Akteure und Ressourcen“. Hirsch-Kreinsen (2014a: 11f.) verweist darauf, dass die Automation im Kontext der digitalisierten Produktion keineswegs nur einzelne Arbeitsplätze, Tätigkeiten und die Qualifikationen individueller Personen berührt, sondern darüber hinaus „Konsequenzen für das gesamte organisatorisch-soziale Gefüge eines Produktionssystems“ hat. Dieses ist zudem mit übergeordneten strategischen Vorgaben und den Bedingungen des Gesamtprozesses der Wertschöpfungsketten verknüpft. In einer eher organisationszentrierten Perspektive verweisen Deuse et al. (2015) im Kontext einer evolvierenden Industrie 4.0 auf die Bedeutung neuer dezentraler Führungs- und Steuerungsformen und Formen der Arbeitsorganisation auf der Basis technischer Arbeitsassistenz. Letztlich fokussieren diese Gestaltungsansätze auf die Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit durch organisationsbezogene Optimierung, in dem „humane und technische Aspekte an die Strukturen und Prozesse der Organisation anzupassen und auszurichten“ sind (ebd.: 102). In einer stärker arbeitszentrierten und gewerkschaftlichen Perspektive rückt der Mensch weiter in das Zentrum der digitalen Produktion. Arbeitsorganisation und Technik- bzw. Softwarearchitekturen sind in enger wechselseitiger Abstimmung zu entwickeln, um „intelligente, kooperative, selbstorganisierte Interaktionen zwischen den Beschäftigten und/oder den technischen Operationssystemen entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu ermöglichen“ (Kurz 2015). Wichtige Gestaltungselemente des sozio-technischen Systems sind in dieser Perspektive betriebliche Kompetenzentwicklung, Gruppenarbeit, neue Lernformen sowie innovative Muster der Partizipation und Mitbestimmung.

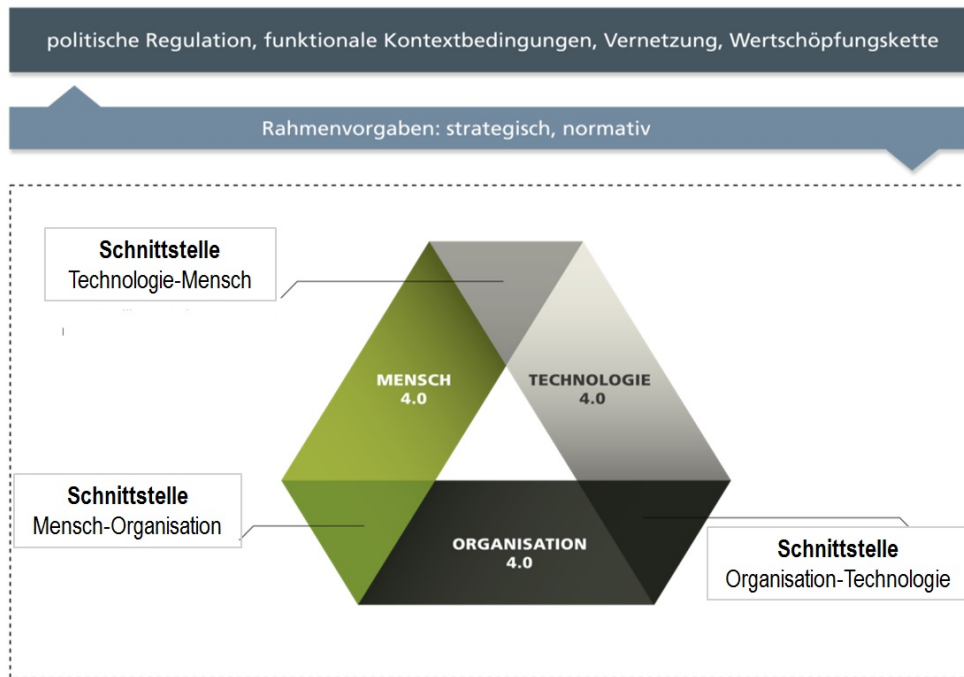
In der Gesamtbetrachtung wird deutlich, dass die Perspektive des sozio-technischen Systems im aktuellen Diskurs der Digitalisierung implementiert ist – im Gegensatz zur CIM-Debatte oder zur digitalen Fabrik. Sie zeigt jedoch gleichzeitig neue Herausforderungen auf: Kritisch wirft Grote (2015) angesichts des technologiezentrierten Industrie 4.0-Diskurses und der weitgehenden Vernetzung sozio-technischer Systeme die Frage auf, „ob die Grundforderung vollumfänglicher menschlicher Kontrolle über technische Systeme weiterhin aufrechterhalten werden kann“ (ebd.: 141). So findet häufig eine Reduzierung des Ansatzes auf ‚neue‘ Formen der Mensch-Technik-Kollaboration oder auf neue Arbeitsorganisationen auf der Basis intelligenter Assistenzsysteme statt. Bedeutsam ist jedoch eine *komplementäre* Gestaltung der einzelnen Systemelemente zu einem aufeinander abgestimmten sozio-technischen Gesamtsystem: Komplementarität meint dabei,

dass situationsabhängig die spezifischen Stärken und Schwächen von Technik und Mensch gleichermaßen Berücksichtigung finden und eine Funktionsteilung zwischen Mensch und Maschine entworfen wird, die eine störungsfreie und effiziente Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems ermöglicht (vgl. hierzu insbesondere Grote 2005; 2015). Bei der komplementären Gestaltung des Gesamtsystems sollte das leitende Kriterium freilich stets sein, dabei die Potentiale einer humanorientierten Gestaltung der Arbeit bestmöglich auszuschöpfen.

### *Schnittstellen als Gestaltungsräume*

Begreift man nun Industrie 4.0 als sozio-technisches System, so lassen sich die Teilsysteme wie folgt skizzieren: Das *technologische Teilsystem* umfasst u.a. die neuen Technologien cyberphysischer Systeme (CPS), innovative Transporttechnologien und „Smart Objects“, die sich durch den Bearbeitungsprozesse hindurch autonom steuern. Neue Leichtbauroboter, Assistenzsysteme und Wearables, Softwarelösungen sowie neue Kommunikationsmedien stehen ebenfalls für die technische Infrastruktur der digitalisierten Produktion. Das *Teilsystem Organisation* bezieht sich auf den Wandel von betrieblichen Strukturen und Grenzziehungen, Veränderungen in den Wertschöpfungsketten, neue Managementfunktionen und innovative Geschäftsmodelle. Das *Teilsystem Mensch* umfasst neue Tätigkeiten und Qualifikationsanforderungen, Beschäftigungsstrukturen sowie Partizipations- und Mitbestimmungsmodalitäten. Naturgemäß muss bei der Gestaltung des Gesamtsystems den strukturellen und ökonomischen Anforderungen des jeweiligen Einsatzfeldes und der verschiedenen Wissensdomänen von Industrie 4.0 Rechnung getragen werden. Explizit aufgegriffen werden damit betriebliche Interessen im Sinne effizienter Technologien und Fertigungsstrukturen sowie konkurrenzfähiger Produktionsbedingungen. Darüber hinaus ist das betriebliche Gesamtsystem eingebettet in strategische und institutionelle Rahmenvorgaben sozio-ökonomische Kontextbedingungen (Abb. 3).

**Abb. 3: Schnittstellen im sozio-technischen System Industrie 4.0** (eigene Darstellung)



Die zentralen Gestaltungsräume sind daher weniger die Funktionsweisen der einzelnen Teilsysteme, sondern vielmehr die *Interdependenzen* von Technik, Mensch und Organisation: Konkret geht es um die Auslegung der funktionalen Beziehungen bzw. der Schnittstellen zwischen technischem, menschlichem und organisationalem System. Für deren konkrete Ausgestaltung spielen neben funktionalen und ökonomischen Erfordernissen, vor allem die normativen Vorgaben über humanorientierte Arbeit sowie divergierende soziale und arbeitspolitische Interessenlagen eine wichtige Rolle. Davon ausgehend können auf der Basis des gegenwärtigen Standes der Forschung und eigener Analysen die folgenden Gestaltungsherausforderungen an den Schnittstellen zwischen Mensch, Technik und Organisation benannt werden.

## 4. Humanorientierte Schnittstellengestaltung bei Industrie 4.0

Im Folgenden werden auf der Basis eigener Erhebungen Überlegungen und Good Practice-Fälle der Schnittstellengestaltung vorgestellt, die in einem daran anschließenden Abschnitt zu einem Leitbild der humanorientierten Gestaltung von Arbeit in der digitalen Produktion und Logistik verdichtet werden (Abschn. 5).

### 4.1 Schnittstelle Technologie-Mensch

Unter den Bedingungen von Industrie 4.0 sind bei der Gestaltung der Schnittstelle Technologie-Mensch nicht die bekannten Kriterien der handlungsorientierten Dialoggestaltung zu berücksichtigen, sondern es geht grundsätzlich um die Frage nach der „verteilten Handlungsträgerschaft“ (Rammert/Schulz-Schaeffer 2002; Weyer 2015) zwischen dem technologischen Teilsystem und dem menschlichem Arbeitshandeln. Denn mit den digitalen Technologien werden neue Formen der *Funktionsverteilung und Interaktion zwischen Maschine und Mensch* möglich. Wie diese zu gestalten sind, muss als eine Schlüsselfrage bei Industrie 4.0 angesehen werden. Vorliegende Studien verweisen dabei auf eine zunehmende Verschränkung und Integration natürlicher und virtueller Realitäten, die über traditionelle Konzepte der Mensch-Technik-Interaktion hinausgehen und neue Lösungen u.a. durch den Einsatz intelligenter Assistenzsysteme erforderlich machen (Geisberger/Broy 2012; Botthof/Hartmann 2015b). Zu diesen Lösungen zählen der Einsatz von Datenbrillen, Tablets, Devices etc. in Produktions- und Logistikprozessen und die damit verbundene kontextbasierte Informationsbereitstellung, die neue Möglichkeiten z.B. in der Fernwartung eröffnet. Zu den Innovationen in der Logistik zählen der Einsatz von Drohnen, neue Robotik-Konzepte und autonome Flurförderzeuge. So können z.B. in der industriellen Montage Beschäftigte durch Schwerlastroboter im Arbeitsprozess unterstützt werden. Die Verteilung von Funktionen und Zuschreibung von Kontrolle zwischen Maschine und Mensch wird als eine der zentralen Fragen bei der Auslegung von Industrie 4.0-Systemen angesehen. Sie betrifft letztlich auch den Grad der Automatisierung und den Stellenwert manueller Produktionsarbeiten sowie die Art der dezentralen und/oder zentralen Steuerung.

Die genannten Aspekte verweisen auf *alternative Ansatzpunkte bei der Gestaltung* der Mensch-Maschine-Schnittstelle. Zum einen geht es um die grundlegende Frage der Substitution von Aufgaben und Tätigkeiten in Folge von Automatisierungslösungen. Zum anderen treffen unterschiedliche

Perspektiven hinsichtlich Aufgaben- und Kontrollverteilung zwischen Mensch und Maschinen aufeinander. So können Assistenzsysteme abwechslungsreichere Arbeit ermöglichen und arbeitsplatznahe Lernprozesse unterstützen, aber auch durch strikte Prozessvorgaben den Handlungsspielraum der Beschäftigten einschränken. Ein Verbandsvertreter fasst diese Divergenzen mit Blick auf die neuen Anforderungen der Beschäftigten wie folgt zusammen: *„Werde ich durch dieses Tablet kreativer und komme auf ein neues Niveau der Problemlösung, weil ich andere Werkzeuge, andere Informationen habe, die ich vorher nicht hatte? Oder bekomme ich dauernd irgendwie gesagt, was ich machen muss (...)?“* (V3) In dieser Perspektive spiegelt sich die bereits an anderer Stelle skizzierte Differenzierung zwischen „Automatisierungsszenarien“ und „Werkzeugszenarien“ wider (Windelband/Dworschak 2015; Dombrowski et al. 2014; Kurz 2014).

In Hinblick auf das angesprochene Prinzip der komplementären Systemauslegung muss es vor allem um eine Schnittstellengestaltung gehen, die eine zufriedenstellende Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems ermöglicht. Dies setzt eine ganzheitliche bzw. kollaborative Perspektive auf die Mensch-Maschine-Interaktion voraus, die die spezifischen Stärken und Schwächen von menschlicher Arbeit und technischer Automatisierung identifiziert (Grote 2005; 2015). Zentral ist dabei, dass menschliche Arbeit Transparenz und Kontrollmöglichkeiten über die Produktionsabläufe erhält bzw. behält, das vielfach unverzichtbare Erfahrungswissen erhalten bzw. ausgebaut werden kann und dabei durch intelligente Assistenzsysteme unterstützt wird. Mit Blick auf die erforderlichen Kontrollstrukturen vermutet ein Entwickler, *„dass es auf Dauer nur funktioniert, wenn man den Nutzer die passenden Eingriffsmöglichkeiten gibt oder das Gefühl gibt, im Notfall die Kontrolle zu behalten.“* (E1) Für eine Verbandsvertreterin ist aus Mitarbeitersicht entscheidend, *dass „nicht die Technik entscheidet, wann ich arbeite, sondern ich entscheide. (...) Und ich glaube, das ist normal, das sollte so ein Leitbild sein.“* (V2) Die Mitarbeiter verbleiben „in ihrer Gesamtheit die Träger der planenden, steuernden, dispositiven, ausführenden usw. Tätigkeiten“ (Becker 2015: 25) und übernehmen wichtige Funktionen bei angereicherten Arbeitstätigkeiten.

## Vernetzte Robotik im Bereich Logistik

Ein größeres Unternehmen der Befestigungs- und Montagetechnik setzt auf digitale Lösungen in der Kollaboration zwischen Mensch und Maschine in innerbetrieblichen Logistikprozessen. Dazu werden im Wareneingang Transportroboter eingesetzt, die die angelieferte Ware bedarfsgerecht zum Lagerbereich befördern und dort an die Fördertechnik übergeben. Die Roboter stimmen sich untereinander ab, bewegen sich autonom zwischen den Beschäftigten und können auf Grund von Sicherheitssensoren umgehend stoppen, sobald sich ein Mensch nähert.

Die im Ergebnis erreichte Prozessoptimierung basiert auch auf der Nutzung des Erfahrungswissens der Beschäftigten, auf das während der Einführungsphase systematisch zurückgegriffen wurde, und auf der Gewährleistung eigener Entscheidungsspielräume: „Ich habe einen Mitarbeiter vor Augen, der war (...) gefühlt 100 Jahre in diesem Unternehmen. (...) Der war in der Logistik, Staplerfahrer. (...) Und jetzt hat man da ein neues System genommen mit Computern. (...) Und wenn ich dem jetzt einen Terminal angehängt hätte und gesagt hätte: ‚Du darfst nur noch diesen Weg fahren‘, dann hätte der gesagt: ‚Okay, aber mein Weg ist besser!‘ Und von daher kriegt der eine Entscheidung vorgegeben, aber er würde den Weg nie fahren, weil seiner besser ist.“ (A4) Die Beschäftigten können die Transportroboter im Bedarfsfall anhalten und auftretende Störungen mittels dialoggestützter Bedienungshilfen korrigieren; dazu werden sie sowohl durch „on the job-Praktiken“ als auch durch digitale Medien angeleitet.

Flankierend wird ein Personalkonzept aus altersgemischten Teams verfolgt, um den Erfahrungsaustausch sowohl in Hinblick auf etablierte produktionsbezogene Zusammenhänge als auch im Umgang mit neuen digitalen Endgeräten zu unterstützen: „Der eine hat die Erfahrung, der andere das Wissen von den neueren Sachen und ich glaube, das bietet eine unwahrscheinlich gute Chance, das miteinander zu vereinen.“ (A4) Wesentlich an Bedeutung gewinnen vor diesem Hintergrund Sozialkompetenzen wie Empathievermögen und Ambiguitätstoleranz.

Die Geschäftsführung zielt mit der Einführung des neuen Robotikkonzeptes auf die Unterstützung der Mitarbeiter und die ergonomische Verbesserung der Tätigkeiten, und nicht darauf, die Zahl der Arbeitsplätze in diesem Bereich zu reduzieren: „Aber (...) egal, was wir hier einsetzen: Wir werden keinen Mitarbeiter ersetzen in dem Sinne, sondern wir werden einzelne Prozessschritte dadurch optimieren und vereinfachen.“ (A4) Durch den Roboterein-

satz und die Schnittstellengestaltung zwischen neuen Technologien und erfahrenen Arbeitskräften sollen zudem die Möglichkeiten verbessert werden, alter(n)sgerechte Arbeitsplätze zu schaffen und physische Belastungen zu reduzieren. Denn die Roboter entlasten die Beschäftigten von körperlich anstrengenden und nicht-wertschöpfenden Transporttätigkeiten, damit diese über größere zeitliche Kapazitäten für die Prüfung der eingehenden Ware verfügen.

Diese Form der Schnittstellengestaltung führt im Ergebnis dazu, das Aufgabenspektrum der Beschäftigten zu erweitern, den Ansprüchen an herausfordernde, lernförderliche Arbeiten gerecht zu werden und neue Möglichkeiten zur Mitgestaltung und Mitentscheidung zu eröffnen. Die Arbeitssituation ist so durch ein digital erweitertes Aufgabengebiet und neue Anforderungen an qualifizierte Arbeiten gekennzeichnet. Assistenzsysteme sollten von den einzelnen Mitarbeitern an ihre jeweiligen Bedürfnisse und Leistungsdispositionen kontext- oder ortsbasiert angepasst werden können. Dabei muss es vor allem auch möglich sein, dass die Beschäftigten hinreichende informationstechnische Möglichkeiten für die Sicherung und den Ausbau von Erfahrungswissen und Prozessen des „learning-on-the-job“ erhalten.

#### *4.2 Schnittstelle Mensch-Organisation*

An der Schnittstelle zwischen den Teilsystemen Mensch und Organisation stellen sich im Zuge der Digitalisierung *neue Herausforderungen der Gestaltung von Arbeitsorganisationen*, dem Wandel von Handlungsspielräumen, Arbeitszeitmodellen sowie neuen Ausbildungs- und Qualifizierungsanforderungen. Eine zentrale Frage richtet sich zudem darauf, wie die vorhandenen Bestände von Kompetenzen, Arbeitsvermögen und Erfahrungswissen der Beschäftigten für die Gestaltung von Industrie 4.0-Systemen genutzt werden können (Pfeiffer/Suphan 2015: 223). Die organisatorische Gestaltung digitalisierter Arbeit entscheidet über die Bedeutung und Vollständigkeit von Aufgaben und Tätigkeiten sowie die Eröffnung von Autonomiespielräumen und Lern- bzw. Qualifizierungsmöglichkeiten.

Die *Gestaltungsalternativen an der Schnittstelle zwischen Mensch und Organisation* lassen sich vor allem an den oben skizzierten unterschiedlichen Modellen der Arbeitsorganisation festmachen. Bei diesen kann es sich beispielsweise um flexible und dezentrale Teamstrukturen handeln, die mit eingespielten Funktions- und Kontrollstrukturen kollidieren. Auch können hohe Komplexitätsanforderungen dezentraler Steuerungsformen einer effizienzorientierten Systemgestaltung entgegen-

stehen. Ganz offensichtlich kann nicht von einem eindeutig festgelegten „one-best-way“ der Arbeits- und Organisationsgestaltung gesprochen werden. Vielmehr lässt sich ein breites Spektrum teilweise sehr unterschiedlicher arbeitsorganisatorischer Muster erkennen (vgl. Hirsch-Kreinsen 2015).

In einer humanorientierten Perspektive können die gegebenen Gestaltungsspielräume zu einer nachhaltigen Aufwertung von Tätigkeiten und Qualifikationen genutzt werden. Dies ermöglicht sowohl effiziente Formen der Arbeitsorganisation als auch Arbeitssituationen mit besonderen Qualifikationsanforderungen und unter Umständen hohen Handlungsspielräumen, einem polyvalenten Einsatz der Beschäftigten sowie vielfältigen Möglichkeiten des „learning-on-the-job“. Einschlägige Kompetenzen werden im Prozess selbst erworben oder in Form arbeitsnaher und arbeitsintegrierter Ansätze: Damit angesprochen sind sowohl das individuelle Lernen u.a. durch Job-Rotation als auch Formen von Lerninseln oder Lernfabriken. Lernförderliche Arbeitsorganisationen und Qualifizierungsstrategien sollten sich dabei an dem heterogenen Erfahrungsstand und unterschiedlichen Kompetenzbündeln der Beschäftigtengruppen orientieren. Ein zentrales Merkmal ist, dass die Aufgaben selten an einzelne Beschäftigte adressiert werden, vielmehr handelt das Arbeitskollektiv selbst organisiert, hoch flexibel und situationsbestimmt je nach zu lösenden Problemen des technologischen Systems.

### **Innovative Arbeitsorganisation in der vernetzten Produktion der Elektronik-industrie**

In der Serienfertigung eines global agierenden Elektronikunternehmens haben digitale Produktionstechnologien eine hohe Relevanz. Auf der Basis einer hochautomatisierten und vernetzten Produktionslogistik werden Anforderungen aus Kundenaufträgen ermittelt und mit der Produktion, dem Warenlager und der Endmontage abgeglichen. Dazu wird eine konzernweite Internetplattform eingesetzt, auf der Großkunden ihre Bestellungen aufgeben und deren Status verfolgen können. Für den Konzern dient diese als datendurchgängige und echtzeitnahe Synchronisierung zwischen Marktanforderungen, Materialbeschaffung und Produktionskapazitäten sowie Personalbedarfen. Mit diesem System sollen Flexibilität gewährleistet, die Position in dem kompetitiven Weltmarkt stabilisiert und die globalen Produktions- und Logistiknetzwerke effizient ausgelastet werden. Bei den gefertigten Produkten handelt es sich vor allem um kundenindividuelle Varianten, die unterschiedliche internationale Standards sowie Normen und Anforderungen an eine hohe Liefertreue erfüllen müssen. Mit Hilfe



von Vernetzung werden die Kundenaufträge letztlich in Form von Kennzahlen in Verbindung mit den erforderlichen Arbeitsschritten an den Arbeitsplätzen der Mitarbeiter über Monitore angezeigt.

Mit der digitalen Automatisierung ergeben sich personal- und organisationsbezogene Veränderungen. An der Schnittstelle zwischen Organisation und Mensch sind Lösungsansätze erforderlich, die Arbeitsorganisation umzugestalten und die neu entstandenen Aufgaben zu ganzheitlichen Tätigkeiten zu bündeln. Gleichzeitig wird die Arbeit durch viele Wechsel zwischen den Arbeitsstationen und in der Bearbeitung von Produkten abwechslungsreicher. Mittels Simulationssoftware können die Produktionsabläufe nun computergestützt gesteuert und optimiert werden, was ein ausgeprägtes Prozessverständnis voraussetzt. Darüber hinaus entstehen für die Mitarbeiter neue Anforderungen wie Funktionserhaltung und Entstörung, die menschliche Problemlösekompetenzen voraussetzen, sowie der kompetente Umgang mit digitalen Endgeräten.

Neue kommunikative Kompetenzen sind beim Einrichten von Maschinen und beim Umgang mit digitalen Schichtbüchern erforderlich, mit denen die Beschäftigten ihre Arbeitszeiten koordinieren, aber in vielen Fällen noch zusätzliche informelle Abstimmungsleistungen erfüllen müssen. Über firmeneigene Social Media-Funktionalitäten können die Beschäftigten ihre Erfahrungen und Sichtweisen zu produktions- und organisationsbezogenen Fragestellungen einbringen. Dabei etablieren sich dynamische Ideenfindungsprozesse und problemzentrierte Diskussionsformen, die abteilungsübergreifend und jenseits traditioneller hierarchischer Kommunikationsstrukturen verlaufen.

Die neu gestalteten Arbeitsprozesse sollen den Mitarbeitern Entscheidungsspielräume und Möglichkeiten zur selbstverantwortlichen Lösungsfindung eröffnen. Dabei wird der Arbeitsauftrag durch einen vom Management vorgegebenen Handlungsrahmen mit Regeln, Zielen und Leitvorstellungen definiert. Diese Entwicklungen ermöglichen eine Höherqualifizierung bzw. ggf. sogar eine *Requalifizierung* von Industriearbeit, die mit „wachsender Eigenverantwortung, vielfältigen Entfaltungsmöglichkeiten für kreatives Arbeitshandeln und einer Steigerung der Arbeits-, Kooperations- und Beteiligungsqualität“ (Kurz 2014: 108) der Beschäftigten verbunden sein kann.

Die Gestaltungsperspektive der Aufwertung und Erweiterung von Handlungsspielräumen ist auch eine arbeitsorganisatorische Voraussetzung dafür, Mitarbeiter mit unterschiedlichen Fähigkeiten und Leistungsvoraussetzungen in einem und demselben Arbeitsbereich einzusetzen. Denn für die

Arbeitsgestaltung und den Personaleinsatz ist ein relativ breites Spektrum von Aufgaben verfügbar. Diese Möglichkeit, auch als Prinzip einer *differenziell-dynamischen Arbeitsorganisation* bezeichnet (Ulich 2011), kann einerseits zum gezielten Einsatz von Beschäftigten für nur bestimmte Tätigkeiten genutzt werden. Damit eröffnen sich beispielsweise auch weiterhin Tätigkeitschancen für geringqualifizierte Beschäftigte (Hirsch-Kreinsen 2016). Andererseits sind aber auch Rotation und Aufgabenwechsel möglich, durch die breite Qualifizierungsprozesse gefördert werden. Die unterschiedlichen Gestaltungsmöglichkeiten sind nicht zuletzt auch von hoher Bedeutung in Hinblick auf altersgemischte Teams, um die Konsequenzen des demografischen Wandels zumindest abzumildern (Hartmann 2015).

#### *4.3 Schnittstelle Organisation-Technologie*

An der Schnittstelle zwischen Organisation und Technologie stellen sich Herausforderungen für die Gestaltung der Digitalisierungsanforderungen in mehrfacher Hinsicht: Zum einen geht es um die Anforderungen der *Integration neuer Technologien in existierende Arbeits- und Produktionsabläufe*. Dies betrifft unter den Bedingungen vernetzter Systeme nicht allein die Ebene des Shopfloors, sondern auch die hierarchische Dimension der Organisation sowie die Logistik. Die Social Media-Funktionalitäten und damit veränderte Formen der Kommunikation berühren sowohl die indirekten Bereiche wie Planung, Steuerung und Engineering als auch Leitungs- und Managementfunktionen nachhaltig. Damit verbunden ist eine Neuorganisation von Managementfunktionen, etwa von Produktions- und Betriebsleitungen, in Hinblick auf den Wandel ihrer Entscheidungskompetenzen und die Verantwortungsverlagerung auf nachgeordnete Ebenen. Zum zweiten beeinflusst der Automatisierungsgrad der Technik die für die Organisationsgestaltung (noch) verfügbaren Funktionen. Insbesondere sind hier die neuen Bedingungen einer individualisierten Produktion („Losgröße 1“) auf der Basis autonomer, selbststeuernder Systeme in Rechnung zu stellen, die auch in organisatorischer Hinsicht eine *dezentrale Steuerung und Intelligenz* nahe legen. Letztlich bieten sich auf Grund einer zeitlichen und funktionalen Entkopplung bei Industrie 4.0-Systemen weite Spielräume für alternative Formen der Organisation oder *neue Geschäftsmodelle*, beispielsweise in Form hybrider Dienstleistungen.

Hinsichtlich der Implementierung von Industrie 4.0-Systemen werden vor diesem Hintergrund die *Widersprüche zwischen organisationalen und technologiezentrierten Perspektiven* deutlich: So fragen KMU-Betriebe mit begrenzten finanziellen und personellen Ressourcen, wie die potentiell ver-

fügbaren CPS-Technologien wirtschaftlich rentabel und organisatorisch sinnvoll implementiert werden können. Strukturelle Hindernisse der Umsetzung können neben einer unklaren Rentabilitäts-erwartung in organisationsstrukturellen Barrieren, zu bewältigender Komplexität in der überbetrieblichen Arbeitsteilung sowie in datenschutzrechtlichen Problemlagen (Zugang betriebssensibler Daten für externe Akteure) bestehen.

Grundsätzlich ist in der ‚Smart Factory‘ die industrielle Wertschöpfung nicht mehr auf traditionelle Grenzziehungen, Abteilungsgrenzen und Unternehmensstrukturen beschränkt. Diesem Anspruch gerecht zu werden, wird eine dezentrale Steuerung und Intelligenz vorausgesetzt, die dennoch kontrollierbar bleibt; dies brachte ein Unternehmensvertreter wie folgt auf den Punkt: *„Also weg von der zentralen Intelligenz. (...) Industrie 3.0 war Steuerung durch den PC und Industrie 4.0 ist dezentrale Steuerung, dezentrale Intelligenz und Schwarmintelligenz und trotzdem in einem kontrollierbaren System (...). Ich würde nicht sagen: ‚kontrolliert‘, ich würde sagen: ‚kontrollierbar‘.“* (A3) In der Folge dieses Digitalisierungsprozesses kommen neue Geschäftsmodelle zur Anwendung, um den technologie- und organisationsbezogenen Herausforderungen und ihrer Verknüpfung gerecht zu werden.

### **Ganzheitliche Lösungen für autonome Systeme in der intelligenten Sensorik**

Ein neues Geschäftsmodell zeichnet sich in einem Unternehmen der Elektronikbranche ab, das innovative Sensortechnologien für Industrie 4.0-Anwendungen entwickelt. Das Unternehmen selbst wandelt sich vom Technologieanbieter zum ‚Problemlöser‘ seiner Kunden, da diese immer seltener einzelne Sensoren, sondern vielmehr umfassende Lösungen verlangen, wie eine Unternehmensvertreterin verdeutlicht: *„Unsere Kunden (...) haben immer mehr die Erwartungshaltung: ‚Mich interessiert eigentlich nicht der einzelne Sensor an beispielsweise einer Verpackungsmaschine oder auch vielleicht in einem Logistiksystem‘. Sondern die wollen eigentlich eine gesamte Lösung haben.“* (E3) Traditionelle Produktionsprozesse verändern sich durch die Digitalisierung, da mit intelligenten Sensoren versehene Maschinen und Objekte dezentrale autonome Systeme bilden.

Für das Elektronikunternehmen bedeutet das, dass neben der Entwicklung der Hardware, d.h. der Sensorik, die Softwareentwicklung einen wachsenden Schwerpunkt innerhalb des Unternehmens bildet. Denn erst durch die entsprechende Software können die neuen Geschäftsmodelle überhaupt angeboten und die Potentiale der Sensorik ausgeschöpft werden:

„Konnektivität ist ein ganz wichtiges Thema“ (E3) und wird perspektivisch weiter an Bedeutung gewinnen. In diesem Kontext gewinnen digitale Produktionstechnologien an Bedeutung, um die Varianten- und Produktvielfalt kundenorientiert, räumlich flexibel und konkurrenzfähig fertigen zu lassen. Um die steigende Komplexität der autonomen Fertigungstechnik bewältigen zu können, wird strategisch die Implementierung von Assistenz- und Unterstützungsinstrumenten geprüft.

Im Kontext dieser Entwicklungen spielt die globale Ausrichtung des Unternehmens eine besondere Rolle, da die weltweit verteilten Vertriebsgesellschaften und Produktionsstätten unterschiedliche kulturelle Einflüsse in die Arbeits- und Produktionsabläufe einbringen: Die Organisation fußt zur kundenspezifischen „Problemlösung“ deshalb auf dezentralen und flexiblen, international und interdisziplinär ausgerichteten, temporären Projektteams, deren Zusammenarbeit über Organisations-, Zeit- und Abteilungsgrenzen hinweg koordiniert werden muss. Die Beschäftigten sollen durch flexible Zeit- und Ortsarrangements die Arbeit in berufliche und persönliche Bedürfnisse anpassen. Organisationale Knotenpunkte stellen weltweit verteilte Hubs dar, die Produktionsaufgaben sowie Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten bündeln. Besondere Abstimmungsbedarfe entstehen, wenn regionale Anforderungen mit global ausgerichteten Marktstrategien verknüpft werden müssen. Einen großen Stellenwert haben deshalb Steuerungsinstrumente, die auf Richtlinien, Kennzahlen bzw. Budgets basieren, und die jeweiligen Unternehmenseinheiten mit der notwendigen und möglichst großen „dezentralen Verantwortung“ ausstatten.

In Hinblick auf eine arbeitszentrierte Organisationsgestaltung setzen diese Entwicklungen einen Dezentralisierungsschub und Hierarchieabbau innerhalb oft ohnehin schon relativ „flach“ strukturierter Fabrikorganisationen voraus. Die Annahme ist, dass die bisherigen Formen der Fabrikorganisation, insbesondere auch die klassischen Organisations- und Personaleinsatzstrukturen nicht nur dezentralisiert, sondern auch nachhaltig flexibilisiert werden (z.B. BMWi 2013; Spath et al. 2013; Bauernhansl 2014). Zugleich wird der Wandel ganzer Wertschöpfungsstrukturen denkbar, der die bisherigen Formen überbetrieblicher Arbeitsteilung und des Outsourcings deutlich transzendiert. So zeigen technologisch fortgeschrittene Unternehmen, dass, wie es ein Experte formulierte, *„sie mit einer sehr stark digitalisierten Wertschöpfungskette einfach extrem erfolgreich sind.“* (E1) Damit sind die organisatorischen Voraussetzungen für die Überwindung bisheriger Unternehmensgrenzen in Richtung einer verstärkten Service- und Kundenorientierung sowie für den Wandel von Geschäftsmodellen gegeben.

Bei einer weitergehenden Ausdifferenzierung und Öffnung von Produktionsprozessen werden zudem unterschiedliche interne und unternehmensexterne Akteure in den Wertschöpfungsprozess einbezogen. Einschlägige Stichworte sind hier Crowdsourcing und Crowdwork, die neue Herausforderungen für humanorientierte Regelungsformen überbetrieblicher Kollaboration mit sich bringen (Benner 2014; BMAS 2015). Indes fallen mit Blick auf die betriebliche Umsetzung zum Teil aufwendige Steuerungs- und Kontrollprozesse an, die weitreichende Reorganisationsprozesse anstoßen (vgl. am Beispiel von IBM, Boewe 2016; Leimeister et al. 2016). Die Bewältigung der Interdependenzen und der damit verbundenen Widersprüche, Hindernisse und Herausforderungen von Technologie und Organisation macht eine langfristig angelegte und partizipative Systemeinführung erforderlich sowie neue Lösungen für Handlungsorientierungen in Mitbestimmung, Qualifizierung und Ergonomie.

## 5. Social Manufacturing and Logistics: Konturen des Leitbildes

Die oben skizzierten Forschungsergebnisse und Good Practice-Fälle der Schnittstellengestaltung werden im Folgenden zu einem *Leitbild Social Manufacturing and Logistics* zusammengefasst. Wie betont ist dabei die leitende Zielsetzung, die sozio-technischen Gestaltungskriterien für eine humanorientierte Perspektive von Industriearbeit unter den Bedingungen des Einsatzes digitaler Technologien herauszuarbeiten. Unterstrichen werden muss dabei allerdings, dass die Gestaltungskriterien einerseits weit in den tradierten Wissensbestand der Arbeitsforschung und Arbeitsgestaltung zurückreichen. Zu nennen sind hier beispielsweise die „klassischen“ Kriterien humanorientierter Arbeitsgestaltung wie Selbstorganisation, Lernförderlichkeit und Dezentralisierung. Andererseits aber eröffnen die Social Media-Funktionen der neuen Technologien nicht nur völlig neue Möglichkeiten, diese Gestaltungsziele umzusetzen, sondern es ergeben sich auch neue Herausforderungen für die Arbeitsgestaltung (z.B. Hartmann 2015).

### *Hybride Interaktion zwischen Maschine und Mensch*

Als Kriterien für die Gestaltung der neuen Formen der Interaktion zwischen Maschine und Mensch lassen sich zusammengefasst zum einen *Kontextsensitivität und Adaptivität*, zum anderen *Komplementarität* hervorheben:

- Kontextsensitivität und Adaptivität umfassen dabei Aspekte einer ergonomisch orientierten Anpassung von digitalen Systemen an spezifische Arbeitsbedingungen und Belastungen, ggf. eine systematische Belastungskontrolle oder die Automatisierung besonders belastender Tätigkeiten. Weiterhin geht es um eine situationsspezifisch optimale Bereitstellung von Daten und Informationen zur Sicherung eines störungsfreien Arbeitsflusses und Vermeidung stressauslösender und belastender Unterbrechungen. Schließlich ist eine intelligente Anpassungsfähigkeit der Informations- und Assistenzsysteme an jeweils unterschiedliche, teilweise individuell verschiedene Qualifikationsniveaus erforderlich, um damit systemseitig die Möglichkeit eines kontinuierlichen Lern- und Qualifizierungsprozesses zu gewährleisten. Je nach Prozessbedingungen ist dabei ein weiteres zusätzliches Gestaltungskriterium die Frage, inwieweit durch den Einsatz von Assistenzsystemen das vielfach unverzichtbare, jedoch schwer explizierbare Erfahrungswissen von Beschäftigten gesichert werden kann. Bedeutsam ist hierfür die Kombination aus informato-

risch-technischen mit sinnlich-subjektivierenden Elementen sowie Feedbackprozessen, die ganzheitliche Lernerfahrungen ermöglichen (Huchler 2016).

- Komplementarität stellt auf zwei zentrale Aspekte der Mensch-Maschine-Interaktion ab: Zum einen geht es um eine flexible situationsspezifische Funktionsteilung zwischen Mensch und Maschine, zum anderen sollen die Voraussetzungen für eine hinreichende Transparenz und Kontrollierbarkeit des Systems durch die Beschäftigten geschaffen werden. Relevante Gestaltungsaspekte sind dabei: sichere Mensch-Maschine-Interaktion durch intuitiv bedienbare und schnell erlernbare Anlagen sowie zielgerichteter und situationsspezifischer Zugang zu digitaler Information in Echtzeit, um damit digital gestützte Handlungs- und Entscheidungsmöglichkeiten der Beschäftigten zu sichern und auszubauen.

Die Interaktion zwischen smarten Systemen und Arbeitshandeln kann auch als *hybrid* charakterisiert werden. Im Unterschied zu einer traditionellen Perspektive auf Technik als passives Objekt wird in digitalen Systemen Technik die Rolle eines handlungsfähigen Akteurs zugeschrieben mit der Folge, dass sich nicht nur die Arbeitsteilung, sondern auch die Entscheidungskompetenzen in spezifischer Weise stets zwischen der neuen Technik und dem Menschen einspielen müssen. In Hinblick auf die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle wird damit die bislang völlig unge löste Frage aufgeworfen, inwieweit bei Mensch-Maschinen-Interaktionen gleichermaßen von „maschineller Verantwortung“ und „menschlicher Verantwortung“ gesprochen werden kann. Diese grundlegende rechtliche und ethisch bislang hochumstrittene Frage wird derzeit beim Einsatz autonomer Fahrzeuge diskutiert, sie stellt sich in Zukunft aber auch verschärft für autonome Industrie 4.0-Systeme.

### *Flexibel integrierte Arbeit*

Die leitenden Kriterien für die Gestaltung von Tätigkeiten an der Schnittstelle Mensch und Organisation können durch die Stichworte *Ganzheitlichkeit* und *Dynamik* von Tätigkeiten und Personaleinsatz zusammengefasst werden:

- Das Kriterium der Ganzheitlichkeit stellt auf die Vollständigkeit von Tätigkeiten in doppelter Hinsicht ab: Zum einen soll eine Tätigkeit nicht nur ausführende, sondern auch dispositive (organisierende, planende und kontrollierende) Aufgaben umfassen. Zum anderen zielt dieses Kriterium auf eine angemessene, belastungsreduzierende Mischung von mehr oder weniger an-

spruchsvollen Aufgaben. Beispielsweise kann dieses Gestaltungsziel im Kontext neuer Formen der Roboter-Mensch-Kollaboration realisiert werden. Darüber hinaus ist Ganzheitlichkeit der Tätigkeiten die zentrale Voraussetzung für hohe Regulations- und Handlungsspielräume sowie die Selbstorganisation von Arbeit. Schließlich werden damit auch die arbeitsorganisatorischen Voraussetzungen für die erwähnten systemgestützten Lern- und kontinuierlichen Qualifizierungsprozesse hergestellt.

- Mit dem Kriterium der Dynamik von Tätigkeiten werden die folgenden Aspekte angesprochen: Zum einen geht es um arbeitsorganisatorische Möglichkeiten für einen systematischen Aufgabenwechsel, um Lernprozesse zu ermöglichen und zu fördern. Zum zweiten fördern die neuen Social Media-Funktionen die interdisziplinäre Kommunikation und Kooperation zwischen verschiedenen spezialisierten Beschäftigten und damit die Steigerung der Innovationsfähigkeit der Arbeit sowie das Finden neuer Lösungen. Dabei geht es besonders darum, auch auf dem Haltenboden „probieren zu ermöglichen“, um damit den schnellen technologischen Wandel bewältigen zu können. Zugleich wird im Kontext nur wenig strukturierter Arbeitsformen auch der Einsatz von Mitarbeitern unterschiedlicher Fähigkeiten und Leistungsvoraussetzungen, z.B. in altersgemischten Arbeitsgruppen möglich. Zum dritten sind wenig strukturierte und dynamische Arbeitsprozesse vielfach die Voraussetzung dafür, um angesichts der wachsenden Komplexität von Anlagen und Systemen in unbestimmten und unstrukturierten Situation handlungs- und entscheidungsfähig zu sein und Störungen effektiv beheben zu können.

Deutlich wird damit, dass die Umsetzung dieser Kriterien eine Arbeitsorganisation nahe legt, die oben (Abschn. 4.2) als qualifikatorisch aufgewertete flexibel integrierte Arbeit bezeichnet worden ist. Zugleich humanorientierte wie auch effiziente und innovative Industriearbeit ist organisatorisch durch eine lockere Vernetzung unterschiedlich qualifizierter, aber gleichberechtigt agierender Beschäftigter in horizontaler wie auch vertikaler Dimension gekennzeichnet, die weitgehend selbstorganisiert und situationsbestimmt im digitalisierten Arbeits- und Produktionsprozess handeln. Dieses Muster zeichnet sich durch ein hohes Maß an struktureller Offenheit, eine sehr begrenzte Arbeitsteilung, selbstorganisierte Tätigkeiten und hohe Flexibilität aus

### *Dezentrale Systeme*

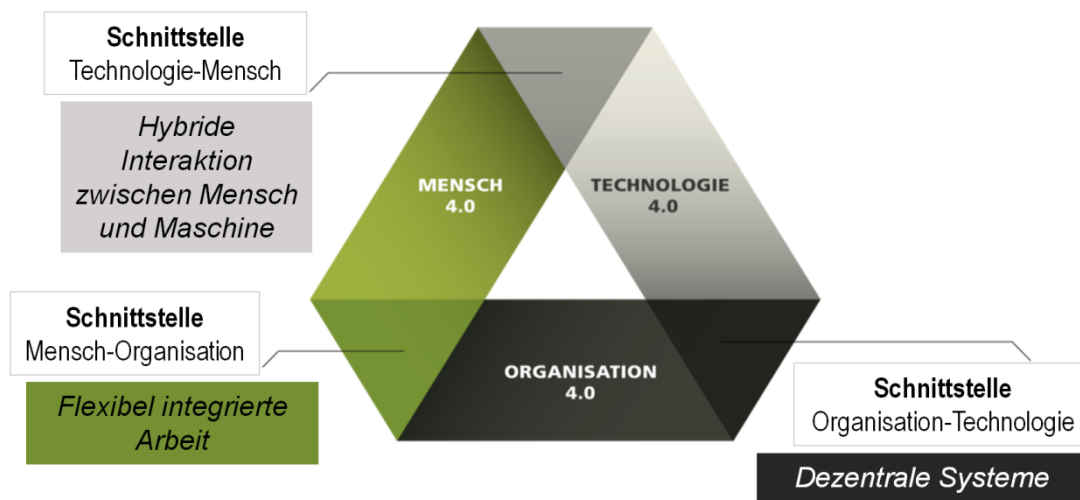
Als das zentrale Gestaltungskriterium für die Schnittstelle zwischen Organisation und Technologie ist die weitreichende Einführung von dezentralisierten Organisationssegmenten anzusehen. Damit



sollen einerseits die Gestaltungspotentiale der neuen, im Vergleich zu früheren IT-Systemen, ausgeprägt dezentralen digitalen Technologien organisatorisch genutzt werden. Andererseits eröffnen sich durch selbstorganisierte, d.h. autonome Produktions- und Logistiksysteme neuartige Möglichkeiten, die technisch-organisatorischen Voraussetzungen für die angeführten neuen Formen flexibel integrierter und innovativer Industriearbeit zu schaffen. Stichworte sind hier Selbstorganisation von Arbeit, Polyvalenz der Tätigkeiten und interdisziplinäre Projektgruppen. Wie schon angesprochen, liegt damit ein nachhaltiger Umbau der Betriebsorganisation in ihrer Gesamtheit in ihren verschiedenen Dimensionen nahe. In organisatorisch-horizontaler Hinsicht geht es um die flexible Integration unterschiedlich spezialisierter Funktionsbereiche. In der vertikalen Dimension wird tendenziell die bisherige Arbeitsteilung zwischen ausführenden Shopfloor-Funktionen und indirekten Bereichen aufgehoben und durch neue Formen flexibler und interdisziplinärer Kooperation ersetzt. Schließlich ist eine Neuorganisation von Managementfunktionen, etwa von Produktions- und Betriebsleitungen, in Hinblick auf den Wandel ihrer Entscheidungskompetenzen und die Verantwortungsverlagerung auf nachgeordnete Ebenen unabdingbar. Wie angesprochen (Abschn. 4.3) sind Dezentralisierung und dezentrale Systeme zudem wichtige organisatorische Voraussetzungen für die verstärkte Öffnung von Unternehmen nach außen und für eine intensiviertere Service- und Kundenorientierung sowie für den Wandel von Geschäftsmodellen. Hier liegen vor allem auch Herausforderungen in den Aspekten der Sicherheit, Speicherung und Nutzbarkeit von Daten; eine Unternehmensvertreterin sieht im „*Thema Datenschutz ein großes Risiko für den weiteren Fortgang von Industrie 4.0.*“ (E3)

Orientiert am Konzept des sozio-technischen Systems und den Interdependenzen zwischen seinen Elementen Technik, Mensch und Organisation lassen sich die grundlegenden Dimensionen des Leitbildes Social Manufacturing and Logistics wie folgt grafisch zusammenfassen (Abb. 4):

**Abb. 4: Leitbild Social Manufacturing and Logistics** (eigene Darstellung)



Natürlich ist an dieser Stelle darauf zu verweisen, dass das vorgestellte Leitbild auf der idealtypischen Zuspitzung einer humanzentrierten Gestaltungsperspektive basiert. Dieses Leitbild ist in einen Kontext mit anderen Gestaltungsperspektiven der digitalisierten Produktion einzuordnen. Welche der Perspektiven sich in der jeweiligen betrieblichen Realität durchsetzt, hängt von zahlreichen Kontextfaktoren (Organisationskulturen, Betriebs- und Branchenanforderungen, Konkurrenzsituationen, Technisierungspotentiale etc.) ab. Der Stellenwert der unterschiedlichen Gestaltungsperspektiven sozio-technischer Systeme in Industrie 4.0 und ihrer Kontextfaktoren müssen im Rahmen weiterer Forschungsvorhaben eingehender analysiert werden.

Insgesamt gesehen bietet das Leitbild Social Manufacturing and Logistics eine hinreichende Voraussetzung für die Ausschöpfung der technologischen und ökonomischen Potenziale des automatisierten und ggf. individualisierten Produktionssystems. Dabei wird nicht – wie in einer ausschließlich technologiezentrierten Perspektive – menschlichem Arbeitshandeln lediglich fragmentierte Restfunktionen bei ausgeprägten Kontrollstrukturen überlassen, sondern es werden explizit neue Gestaltungsmöglichkeiten von Arbeit betont. Unstrittig ist zudem, dass diese Gestaltungsperspektive von Arbeit die beste Voraussetzung dafür ist, Industriearbeit zum einen alters- und altersgerecht zu gestalten. Zum anderen kann sie als anspruchsvolle, belastungsarme und selbstorganisierte „Hightech“-Arbeit für die junge Generation, die bekanntlich überwiegend an ausschließlich akademisch ausgerichteten Berufen interessiert ist, wieder attraktiv werden. Abzusehen ist, dass er-

hebliche Anstrengungen der Akteure in Wirtschaft, Politik und Wissenschaft erforderlich sein werden, um das skizzierte Leitbild einer künftigen industriellen Arbeits- und Produktionswelt Realität werden zu lassen (vgl. Kuhlmann/Schumann 2015; Howaldt et al. 2015). Hier besteht die Herausforderung, die Charakteristika und Chancen der skizzierten Entwicklungsperspektive weiter zu präzisieren, um die Vorstellungen und Visionen von humanzentrierter, digitaler Arbeit dauerhaft zu implementieren.

## 6. Bedingungen und Perspektiven

Abschließend muss allerdings betont werden, dass eine erfolgreiche Diffusion und Implementation des Leitbildes Social Manufacturing and Logistics an eine *Reihe von Zusatz- und Randbedingungen* geknüpft ist. Diese betreffen zum einen die betriebliche Ebene, zum anderen die überbetriebliche, gesellschaftliche Ebene. In Hinblick auf die betriebliche Ebene seien an dieser Stelle zwei Aspekte besonders hervorgehoben:

Erstens muss die Akzeptanz von Industrie 4.0-Systemen und den damit verbundenen Gestaltungsmöglichkeiten der Arbeit sowohl auf den Seiten der Belegschaften und ihrer Vertretungen als auch seitens des Managements gesichert und vielfach erst hergestellt werden. Dass diesem Faktor eine wichtige Rolle zukommt, belegt nicht zuletzt die laufende Industrie 4.0-Debatte. Um Vorbehalte seitens der Belegschaft auch gerade gegenüber den neuen Gestaltungsmöglichkeiten von Arbeit zu verringern, müssen beispielsweise Befürchtungen wegen möglicher Arbeitsplatzverluste, neuer Belastungen wie steigender Flexibilitätsanforderungen, Probleme des Datenschutzes sowie der jetzt erleichterten Kontrollierbarkeit von Arbeit angesprochen und ausgeräumt werden. Die zu erwartenden Reorganisationsprozesse bergen vielfach neue, zum Teil auch widersprüchliche Anforderungen für die Beschäftigten hinsichtlich Flexibilität und Selbstorganisation. Besteht hierbei ein Missverhältnis mit den vorhandenen Ansprüchen bzw. Ressourcen, um die Anforderungen zu bewältigen, können sich belastende Handlungsdilemmata einstellen (Moldaschl 2012). Geeignete Lösungsansätze liegen in Methoden einer *partizipativen Systemauslegung* und Beteiligungsverfahren für Beschäftigte und ihre Interessenvertretungen im Verlauf des Einführungs- und Gestaltungsprozess von Industrie 4.0-Systemen (z.B. Forschungsunion/acatech 2013). Seitens des Managements dürften oftmals vor allem Vorbehalte gegenüber weitreichender Umstellungsmaßnahmen der eingespielten Arbeits- und Betriebsorganisation aufkommen. Um diese Vorbehalte zu überwinden, sollten gezielte Maßnahmen des *Wissens- und Erfahrungstransfers* eingeleitet bzw. ausgebaut werden, mit denen exemplarisch erfolgreiche Good Practice-Fälle präsentiert und die Erfolgspotentiale humanorientierter Arbeitsformen vermittelt werden.

Zweitens ergeben sich, wie erwähnt, Herausforderungen für einen Wandel von Managementfunktionen und Führungsstilen. Denn es ist davon auszugehen, dass angesichts der generellen Herausforderungen der neuen Technologien als insbesondere auch angesichts der Implementation humanorientierter Arbeitsformen die bisherigen hierarchisch verfestigten Managementpraktiken und -

strukturen dysfunktional und obsolet werden (z.B. Sattelberger et al. 2015). Diese Frage muss Gegenstand intensiver zukünftiger Forschungsaktivitäten sein. Die Richtung des erforderlichen Wandels verweist auf die wachsende Bedeutung von „soft skills“ sowie Kommunikations- und Teamfähigkeiten: Statt Kontrolle stehen Führen und Motivation auf „Distanz“ und statt hierarchischer Direktion nunmehr „Orchestrieren“ von Mitarbeitern im Zentrum; „peer-to-peer“ Kommunikation und Förderung von Mitarbeiterpartizipation werden zu zentralen Erfolgsfaktoren. Generell muss das Unternehmensmanagement durch ein geändertes Statusbewusstsein der Tendenz Rechnung tragen, dass durch Digitalisierung und gewandelte Arbeitsformen die funktionalen und sozialen Grenzziehungen zwischen Management und Mitarbeitern erodieren, ja unter Umständen auf den Kopf gestellt werden. Auf jeden Fall werden die bisherigen Statusunterschiede zwischen „blue collar“ und „white collar“ zunehmend verschwimmen. Eine Zielvorstellung ist, dass sich neue Formen der Selbstorganisation und eine an den Unternehmenszielen orientierte Kontrolle etablieren, die sich durch fluide, problemorientierte Formen der Leitung auszeichnen. Freilich resultiert aus dieser Öffnung bisheriger Führungsmuster und der Betonung von bottom-up Prozessen der Widerspruch, dass ein nachhaltiger und erfolgreicher digitaler Wandel im Unternehmen zugleich an funktionierende top-down Prozesse gebunden ist (acatech 2016a).

Auf der überbetrieblichen Ebene spielen Faktoren eine Rolle, die den Wandel und die Weiterentwicklung arbeits- und sozialpolitischer Regulationsformen zum Gegenstand haben und zumindest indirekt die Einführung digitaler humanorientierter Formen der Arbeit berühren. Zu nennen sind beispielsweise Fragen der Regulation von Flexibilisierung, Arbeitszeit, Mitbestimmung sowie Aus- und Weiterbildung (z.B. BMAS 2015). Erforderlich ist in diesen Feldern vielfach ein neuer arbeitspolitischer Interessenskompromiss. Denn nur dann können wirksame Hemmnisse und Vorbehalte gegen einen Wandel der Arbeit vermieden werden, die aus ungeklärten Konflikten und Vorbehalten resultieren. Dabei kann die Bedeutung von vielfältigen Maßnahmen der Weiterbildung und Bildung sowie Kompetenzentwicklung für die Verbreitung humanorientierter Arbeitsformen im Kontext des digitalen Wandels nicht hoch genug eingeschätzt werden (z.B. acatech 2016b). Ein zentrales Ziel solcher Maßnahmen muss vor allem die Vermeidung eines mehrfachen „digital divide“ sein: Zum einen müssen die Kompetenzunterschiede zwischen großen technologieintensiven Unternehmen und weniger technologieintensiven KMU ausgeglichen werden. Zum anderen sollen Kompetenzdivergenzen zwischen hochqualifizierten und niedrigqualifizierten Beschäftigten stärker angeglichen werden. Dabei muss in besonderer Weise geringqualifizierter Arbeit Rechnung getragen werden,

um diese Beschäftigten von der generellen Qualifikationsentwicklung nicht abzukoppeln. Insgesamt aber wird mit dem Stichwort Kompetenzentwicklung eine zentrale bildungs- und gesellschaftspolitische Voraussetzung dafür bezeichnet, dass sich jene qualifikations- und humanorientierten Arbeitsformen auf breiterer Front durchsetzen können wie sie in dem Leitbild Social Manufacturing and Logistics zusammengefasst werden.

## Literatur

- Abel J, Ittermann P, Hirsch-Kreinsen H (2014) Einfacherarbeit in der Industrie. Strukturen, Verbreitung und Perspektiven. Berlin
- acatech (Hrsg) (2016a) Die digitale Transformation gestalten – Was Personalvorstände zur Zukunft der Arbeit sagen. Ein Stimmungsbild aus dem Human-Resources-Kreis von acatech und Jacobs Foundation (acatech IMPULS). München
- acatech (Hrsg) (2016b) Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0. Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen. München
- Ahrens V (2014) Industrie 4.0: Ein humanzentrierter Ansatz als Gegenentwurf zu technikzentrierten Konzepten. Arbeitspapiere der Nordakademie Nr. 2014-05. Elmshorn
- Ahrens V (2015) Industrie 4.0: Chancen und Risiken. Präsentation Nordakademie 2014. Elmshorn
- Autor D (2015) Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation. Journal of Economic Perspectives 29 (3):3–30
- Bauernhansl T (2014) Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma. In: Bauernhansl T, ten Hompel M, Vogel-Heuser, B (Hrsg) Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Wiesbaden, S 5–36
- Bauernhansl T, ten Hompel M, Vogel-Heuser B (Hrsg) (2014) Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Wiesbaden
- BCG – Boston Consulting Group (2015) Industry 4.0 – The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. [www.bcgperspectives.com/Images/Industry\\_40\\_Future\\_of\\_-\\_Productivity\\_April\\_2015\\_-tcm80-185183.pdf](http://www.bcgperspectives.com/Images/Industry_40_Future_of_-_Productivity_April_2015_-tcm80-185183.pdf). Zugegriffen: 15. April 2015
- Becker K-D (2015) Arbeit in der Industrie 4.0 – Erwartungen des Instituts für angewandte Arbeitswissenschaft e.V. In: Botthof A, Hartmann E A (Hrsg) Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin/Heidelberg, S 23–30
- Benner C (Hrsg.) (2014) Crowd Work – Zurück in die Zukunft. Frankfurt am Main
- Bertelsmann Stiftung (Hrsg) (2016) Auf dem Weg zum Arbeitsmarkt 4.0. Mögliche Auswirkungen der Digitalisierung auf Arbeit und Beschäftigung in Deutschland bis 2030. Gütersloh/Berlin
- BMAS – Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2015) Grünbuch Industrie 4.0. Berlin
- BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (2014) Industrie 4.0. Innovationen für die Produktion von morgen. Berlin
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2013) Mensch-Technik-Interaktion. Berlin
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014) Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015) Industrie 4.0 und Digitale Wirtschaft. Impulse für Wachstum, Beschäftigung und Innovation. Berlin

- Boewe J (2016) Köhlen Kopf bewahren. „Crowdwork“ und „Industrie 4.0“: Technikgläubigkeit und unternehmerischer Größenwahn gehen Hand in Hand. Manchmal liegen sie auch falsch. junge Welt 86: 7, Beilage Moderne Technik
- Bonin H, Gregory T, Zierahn U (2015) Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland. ZEW. Mannheim
- Bosch, G (2016) Ist die industrielle Ausbildung ein Auslaufmodell? IAQ Standpunkt 2016 (1). Duisburg/Essen
- Botthof A, Hartmann E A (Hrsg) (2015a) Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin/Heidelberg
- Botthof A, Hartmann E A (2015b) Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0 – Neue Perspektiven und offene Fragen. In: Botthof A, Hartmann E A (Hrsg) Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin/Heidelberg, S 161–163
- Bowles, J (2014) The computerisation of European jobs – who will win and who will lose from the impact of new technology onto old areas of employment? [www.bruegel.org/nc/blog/detail/article/1394-the-computerisation-of-european-jobs/](http://www.bruegel.org/nc/blog/detail/article/1394-the-computerisation-of-european-jobs/) Zugegriffen: 09. April 2015
- 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. Baden-Baden, S 231–250
- Brynjolfsson E, McAfee A (2014) The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies. Norton
- Brzeski C, Burk I (2015) Die Roboter kommen. Folgen für den deutschen Arbeitsmarkt. INGDiBa Economic Reserach. Frankfurt am Main u.a.O.
- Buch T, Dengler K, Matthes B (2016) Relevanz der Digitalisierung für die Bundesländer. Saarland, Thüringen und Baden-Württemberg haben den größten Anpassungsbedarf. IAB-Kurzbericht 14/2016. Nürnberg
- Cedefop (2012) Future skills supply and demand in Europe. Forecast 2012. Research Paper 26. Luxemburg
- Degryse D (2016) Digitalisation of the economy and its impact on labour markets. ETUI Working Paper Nr. 02 (2016). Brüssel
- Dengler K, Matthes B (2015) Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt. Substituierbarkeitspotenziale von Berufen in Deutschland. IAB Forschungsbericht 11/2015. Nürnberg
- Deuse J, Weisner K, Hengstebeck A, Busch F (2015) Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext von Industrie 4.0. In: Botthof A, Hartmann E A (Hrsg) Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin/Heidelberg, S 99–110
- Dombrowski U, Riechel C, Evers M (2014) Industrie 4.0 – Die Rolle des Menschen in der vierten industriellen Revolution. In: Kersten W, Koller H, Lödding H (Hrsg) Industrie 4.0. Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern. Berlin, S 129–153
- Dorn D (2013) Technologischer Fortschritt und Polarisierung des Arbeitsmarktes. In Picot A (Hrsg) Die Zukunft der Arbeit in der digitalen Welt. Reihe Münchner Kreis. München S 14–24
- Dörre K (2015) Digitalisierung – Neue Prosperität oder Vertiefung gesellschaftlicher Spaltung. In: Hirsch-Kreinsen H, Ittermann P, Niehaus J (Hrsg) Digitalisierung industrieller Arbeit. Baden-Baden, S 269–284



- Düll N (Hrsg) (2013) Arbeitsmarkt 2030 Fachexpertisen und Szenarien. Trendanalyse und qualitative Vorausschau. <http://www.wbv.de/openaccess/artikel/6004384w> Zugegriffen: 05. Januar 2014
- Eichhorst W, Arni P, Buhlmann F, Isphording I, Tobsch V (2015) Wandel der Beschäftigung: Polarisierungstendenzen auf dem deutschen Arbeitsmarkt. IZA Research Report No. 68. Gütersloh
- FIR (2013) (Hrsg) „Produktion am Standort Deutschland“. Untersuchung 2013. Aachen
- Forschungsunion, acatech (2013) Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Berlin
- Frey C, Osborne M (2013) The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation? Oxford Martin School Working Paper. Oxford
- Gebhardt J, Grimm A, Neugebauer L M (2015) Entwicklungen 4.0 – Ausblicke auf zukünftige Anforderungen an und Auswirkungen auf Arbeit und Ausbildung. Journal of Technical Education 3 (2):45–61
- Geisberger E, Broy M (2012) agendaCPS. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. Heidelberg
- Goos M, Manning A (2007) Lousy and lovely jobs: The rising polarization of work in Britain. The Review of Economics and Statistics 1 (89):118–133
- Graetz G, Michaels G (2015) Robots at Work. IZA Discussion Paper 8938. Bonn
- Grote G (2005) Menschliche Kontrolle über technische Systeme – Ein irreführendes Postulat. In: Karrer K, Gauss B, Steffens C (Hrsg) Beiträge der Forschung zur Mensch-Maschine-Systemtechnik aus Forschung und Praxis. Festschrift für Klaus-Peter Timpe. Düsseldorf, S 65–78
- Grote G (2015) Gestaltungsansätze für das komplementäre Zusammenwirken von Mensch und Technik in Industrie 4.0. In: Hirsch-Kreinsen H, Ittermann P, Niehaus J (Hrsg) Digitalisierung industrieller Arbeit. Baden-Baden, S 131–146
- Hartmann E A (2015) Arbeitsgestaltung für Industrie 4.0: Alte Wahrheiten, neue Herausforderungen. In: Botthof A, Hartmann E A (Hrsg) Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin/Heidelberg, S 9–22
- Hinrichsen S, Jasperneite J (2013) Industrie 4.0 – Begriff, Stand der Umsetzung und kritische Würdigung. Betriebspraxis & Arbeitsforschung 6 (216):45–47
- Hirsch-Kreinsen H (2014a) Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“. Soziologisches Arbeitspapier Nr. 38. Dortmund
- Hirsch-Kreinsen H (2014b) Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“. WSI-Mitteilungen 67 (6):421–429
- Hirsch-Kreinsen H, Ittermann P, Niehaus J (Hrsg) (2015) Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. Baden-Baden
- Hirsch-Kreinsen H (2015) Einleitung: Digitalisierung industrieller Arbeit. In: Hirsch-Kreinsen H, Ittermann P, Niehaus J (Hrsg) Digitalisierung industrieller Arbeit. Baden-Baden, S 9–30
- Hirsch-Kreinsen H, Ittermann P (2016) Arbeit und Industrie 4.0 als Social Manufacturing. In: Schröder L, Hans-Jürgen U (Hrsg) Gute Arbeit. Digitale Arbeitswelt – Trends und Anforderungen. Ausgabe 2016. Frankfurt a.M.: 139–147

- Hirsch-Kreinsen H (2016) Die Zukunft einfacher Industriearbeit. WISO direkt 12 (2016):1–4
- Hirsch-Kreinsen H, ten Hompel M, (2016) „Social Manufacturing ans Logistics“ – Arbeit in der digitalisierten Produktion. In: BMWi/BMAS (Hrsg) Arbeiten in der digitalen Welt. Mensch-Organisation-Technik. Berlin, 6–9
- Howaldt J, Kopp R, Schultze J (2015) Zurück in die Zukunft? – Ein kritischer Blick auf die Diskussion zur Industrie 4.0. In: Hirsch-Kreinsen H, Ittermann P, Niehaus J (Hrsg) Digitalisierung industrieller Arbeit. Baden-Baden, S 251–268
- Huchler N (2016) Die Rolle des Menschen in der Industrie 4.0 – Technikzentrierter vs. humanzentrierter Ansatz. Arbeits- und Industriosozologische Studien (AIS) 1 (9):57–79
- Ittermann P, Niehaus J, Hirsch-Kreinsen H (2015) Arbeiten in der Industrie 4.0 – Trendbestimmungen und arbeitspolitische Handlungsfelder. Study der Hans-Böckler-Stiftung. Düsseldorf
- Kagermann H, Lukas W-D, Wahlster W (2011) Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. VDI nachrichten 13 (1. April 2011):2
- Kagermann H (2014) Chancen von Industrie 4.0 nutzen. In: Bauernhansl T, ten Hompel M, Vogel-Heuser B (Hrsg) Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Wiesbaden, S 603–614
- Kinkel S, Friedewald M, Hüsing B, Lay G, Lindner R (2008) Arbeiten in der Zukunft – Strukturen und Trends der Industriearbeit. Berlin
- Kuhlmann M, Schumann M (2015) Digitalisierung erfordert Demokratisierung der Arbeitswelt heraus. In: Hoffmann R, Bogedan C (Hrsg) Arbeit der Zukunft. Möglichkeiten nutzen – Grenzen setzen. Frankfurt am Main, S 122–140
- Kurz C (2014) Industrie 4.0 verändert die Arbeitswelt. Gewerkschaftliche Gestaltungsimpulse für „bessere“ Arbeit. In: Schröter W (Hrsg) Identität in der Virtualität. Einblicke in neue Arbeitswelten und Industrie 4.0. Mössingen-Talheim, S 106–111
- Kurz C (2015) Arbeit in der Industrie 4.0. ‚Besser statt billiger‘ als zukunftsfähige Gestaltungsalternative. Scheer Innovation Review. <http://www.scheer-innovation-review.de/industrie-4-0/arbeit-in-der-industrie-4-0/> Zugegriffen: 05. Juni 2016
- Leimeister J M, Zogaj S (2013) Neue Arbeitsorganisation durch Crowdsourcing. Eine Literaturstudie. Arbeitspapier der Hans-Böckler-Stiftung, Reihe Arbeit und Soziales 287. Düsseldorf
- Leimeister J M, Zogaj S, Durward D, Blohm I (2016) Systematisierung und Analyse von Crowdsourcing-Anbietern und Crowd-Work-Projekten. Study der Hans-Böckler-Stiftung, Nr. 324. Düsseldorf
- Moldaschl M (2012) Das Konzept der Widersprüchlichen Arbeitsanforderungen (WAA). Ein nichtlinearer Ansatz zur Analyse von Belastung und Bewältigung in der Arbeit. In: Faller G (Hrsg) Lehrbuch Betriebliche Gesundheitsförderung. 2. Auflage. Bern, S 102–112
- Möller J (2015) Verheißung oder Bedrohung? Die Arbeitsmarktwirkungen einer vierten industriellen Revolution. IAB Discussion Paper 18/2015. Nürnberg

- Mumford E (2006) The story of socio-technical design: reflections on its successes, failures and potential. *Information Systems Journal* 2006 (16):317–342
- Niehaus J, Dregger J, Ittermann P, ten Hompel M, Hirsch-Kreinsen H (2016) Industriearbeit von morgen gestalten – Schnittstellen der digitalen Technologien. In: Coester U (Hrsg.) *Industrie 4.0 im Mittelstand praktisch gestalten*. Forbach, S 15–19
- Peissner M, Hipp C (2013) *Potenziale der Mensch-Technik Interaktion für die effiziente und vernetzte Produktion von morgen*. Stuttgart
- Pfeiffer S, Suphan A (2015) Industrie 4.0 und Erfahrung: Statt vager Prognosen zu technologischer Arbeitslosigkeit morgen, heute das Gestaltungspotenzial der Beschäftigten nutzen und anerkennen. In: Hirsch-Kreinsen H, Ittermann P, Niehaus J (Hrsg) *Digitalisierung industrieller Arbeit*. Baden-Baden, S 205–230
- Pfeiffer S (2016) Warum reden wir eigentlich über Industrie 4.0? Auf dem Weg zum digitalen Despotismus. *Mittelweg* 36, 24 (6):14–36
- Picot A (Hrsg) (2013) *Die Zukunft der Arbeit in der digitalen Welt*. Reihe Münchner Kreis. München
- Plattform Industrie 4.0 (2013) Was Industrie 4.0 (für uns) ist. Veröffentlicht am 05 Juli 2013. [www.plattform-i40.de/was-industrie-40-für-uns-ist](http://www.plattform-i40.de/was-industrie-40-für-uns-ist). Zugegriffen: 24 Februar 2015
- Rammert W, Schulz-Schäffer I (2002) Technik und Handeln. Wenn soziales Handeln sich auf menschliches Verhalten und technische Abläufe verteilt. In: Rammert W, Schulz-Schäffer I (Hrsg) *Können Maschinen handeln?* Frankfurt am Main/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, Gorldt C, Hribernik K, Lappe D, Veigt M (2013) *Cyber-Physische Produktionssysteme. Produktivitäts- und Flexibilitätssteigerung durch die Vernetzung intelligenter Systeme in der Fabrik*. *wt-online* 103 (2):84–89
- Rice A (1963) *The enterprise and its environment*. London
- Sattelberger T, Welpel I, Boes A (Hrsg) (2015) *Das demokratische Unternehmen. Neue Arbeits- und Führungskulturen im Zeitalter digitaler Wirtschaft*. Freiburg/München
- Schlund S, Hämmerle M, Strölin T (2014) *Industrie 4.0 eine Revolution der Arbeitsgestaltung – Wie Automatisierung und Digitalisierung unsere Produktion verändern wird*. Ulm/Stuttgart
- Schuh G, Stich V (Hrsg) (2013) *Produktion am Standort Deutschland. Ergebnisse der Untersuchung 2013*. Aachen
- SoMaLI – Projektgruppe Social Manufacturing and Logistics (2015) *Digitalisierung von Industriearbeit: Forschungsstand und Entwicklungsperspektiven*. Dortmund
- Spath D, Ganschar O, Gerlach S, Hämmerle M, Krause T, Schlund S (Hrsg) (2013) *Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0*. Stuttgart
- Spöttl G, Gorldt C, Windelband L, Grantz T, Richter T (2016) *Industrie 4.0 – Auswirkungen auf Aus- und Weiterbildung in der M+E Industrie*. bayme vbm Studie. München
- Sydow J (1985) *Der soziotechnische Ansatz der Arbeits- und Organisationsgestaltung*. Frankfurt/New York

- ten Hompel M, Hirsch-Kreinsen H (2014) Social Manufacturing and Logistics. Rahmenpapier Forschung Industrie 4.0 als soziotechnisches System. Dortmund
- Trist E, Bamforth K (1951) Some social and psychological consequences of the long wall method of coal-getting. *Human Relations* 4 (1):3–38
- UBS (2016) Extreme automation and connectivity: The global, regional, and investment implications of the Fourth Industrial Revolution. UBS White Paper. Zürich u.a.O.
- Ulich E (2011) *Arbeitspsychologie*. 7. überarbeitete Auflage. Zürich/Stuttgart
- Vogler-Ludwig K, Düll N, Kriechel B (2016) *Arbeitsmarkt 2030 Wirtschaft und Arbeitsmarkt im digitalen Zeitalter Prognose 2016*. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales, unter Mitarbeit von T Vetter. München
- Walker G H, Stanton N A, Salmon P M, Jenkins D P (2008) A review of sociotechnical systems theory: a classic concept for new command and control paradigms. *Theoretical Issues in Ergonomics Science* 9 (6): 479–499
- WEF – World Economic Forum (2016) *The Future of Jobs. Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution*. Genf
- Weyer J (2015) *Can pilots still fly? Role distribution and hybrid interaction in advanced automated aircraft*. Soziologisches Arbeitspapier Nr. 45. Dortmund
- Windelband L (2014) Zukunft der Facharbeit im Zeitalter „Industrie 4.0“. *Journal of Technical Education* 2 (2):138–160
- 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*. Baden-Baden, S 71–86
- 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*. Bremen, S 5–9
- Wissenschaftlicher Beirat der Plattform Industrie 4.0 (2014) *Neue Chancen für unsere Produktion. 17 Thesen des Wissenschaftlichen Beirats der Plattform Industrie 4.0*. Berlin
- Wolter M I, Mönnig 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*. IAB-Forschungsbericht Nr. 8. Nürnberg
- World Bank (2016) *Digital Dividends. World Development Report 2016*. Washington
- Zuboff S (1988) *In the age of the smart machine. The future of work and power*. New York

## Anhang: Studien zu den Beschäftigungseffekten der Digitalisierung

Tabelle: Beschäftigungsprognosen im Kontext von Digitalisierung und Industrie 4.0

Studie / Autoren	Beschäftigungsentwicklung insgesamt	Beschäftigungssegmente	Qualifizierung und Kompetenzentwicklung	Methoden / Daten
<p>Frey/Osborne 2013 Oxford Martin School</p> <p><b>The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation?</b></p>	<p><b>Negativ:</b> 47% der US-amerikanischen Beschäftigten in der „High-Risk-Kategorie“ möglicher Substitution (in den nächsten 10-20 Jahren)</p> <p>US</p>	<p><i>Besonders betroffen durch Automatisierung:</i> Geringqualifizierte Tätigkeiten, die wenig kreative oder soziale Intelligenz oder besondere manuelle Fertigkeiten erfordern sowie hohe Anteile repetitiver Arbeitsschritte beinhalten;</p> <p>Two waves of computerisation“: 1. Berufe im Bereich Transport und Logistik, Produktion, (unterstützende) Administration sowie Dienstleistungen („Service“); 2. Tätigkeiten, die kreative oder soziale Intelligenz erfordern</p> <p><i>Beschäftigungsstabilität/-wachstum</i> u.a. bei High-Skill Occupations, im Management und bei Ingenieuren</p>	<p>Kreative und soziale Kompetenzen als „Computerisation Bottlenecks“</p>	<p>Prospektive, quantitative Auswertung von Tätigkeitsinhalten aus 702 Berufen nach der <i>Wahrscheinlichkeit</i> ihrer technischen Substitution; Expertenworkshop / Daten des US Department of Labor sowie Bureau of Labor Statistics (Stand 2010)</p> <p>Berufsbezogener Ansatz</p>
<p>Bowles 2014 London School of Economics</p> <p><b>The Computerisation of European Jobs</b></p>	<p><b>Negativ:</b> Hohes Substitutionsrisiko bei den Beschäftigten in der EU (- 54%) und in D (- 51%)</p> <p>EU/D</p>	<p><i>Besonders betroffen durch Automatisierung:</i> Tätigkeiten, die geringe Anteile kreativer und sozialer Intelligenz oder besondere manuelle Fertigkeiten erfordern sowie hohe Anteile repetitiver Arbeitsschritte beinhalten</p>	<p>Kreative und soziale Kompetenzen (vgl. Frey/Osborne 2013)</p>	<p>Prospektive, quantitative Auswertung der Automatisierungswahrscheinlichkeit (vgl. Frey/Osborne)</p> <p>Daten des SOC- und ISCO-Panels sowie ILO- Panel des EU Labour Force Survey (2012)</p> <p>Berufsbezogener Ansatz</p>

Studie / Autoren	Beschäftigungsentwicklung insgesamt	Beschäftigungssegmente	Qualifizierung und Kompetenzentwicklung	Methoden / Daten
Bonin et al. 2015 ZEW Mannheim  <b>Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland</b>	<b>Schwach negativ:</b> 42% der Beschäftigten in D mit hoher Automatisierungswahrscheinlichkeit  In tätigkeitsbezogener Betrachtung: 12% der Beschäftigten in D mit hohem Automatisierungspotential aus (0-5 Jahre), 9% der US- Beschäftigten mit hohem Automatisierungspotential  D/US	<i>Besonders betroffen durch Automatisierung:</i> Geringqualifizierte sowie Geringverdiener (hohes Risiko der Automatisierung)  <i>Beschäftigungsstabilität/-wachstum:</i> Hochqualifizierte mit Expertenwissen (IT, Management)	Technische Problemlösekompetenz, Medienkompetenz (Digitale Endgeräte)	Prospektive, quantitative Auswertung der Automatisierungswahrscheinlichkeit von Tätigkeiten (vgl. Frey/Osborne 2013) auf Basis folgender Datensätze: PIAAC-Panel, KldB (2010), SOC (2010), ISCO (2008)  Berufs- und tätigkeitsbezogener Ansatz
Brzeski/Burk 2015 ING-Diba  <b>Die Roboter kommen. Folgen der Automatisierung für den deutschen Arbeitsmarkt. In: IngDiba (Hrsg)</b>	<b>Negativ:</b> Mögliche Substitution von 18.3 Millionen Arbeitsplätze in D (- 59%) in den nächsten Jahren  D	<i>Besonders betroffen durch Automatisierung:</i> Einfacharbeiten mit hohem Routineanteil (Verwaltung, Anlagen- und Maschinenbedienung, Vertrieb, Logistik)  <i>Beschäftigungsstabilität/-wachstum:</i> Hochqualifizierte mit Expertenwissen (IT, Management)		Prospektive, quantitative Auswertung der Automatisierungswahrscheinlichkeit (vgl. Frey/Osborne) mittels der Beschäftigungsstatistik der Bundesagentur für Arbeit nach der Klassifikation der Berufe  Berufsbezogener Ansatz
Brynjolfs-son/McAfee 2014 MIT  <b>The Second Machine Age</b>	<b>Negativ:</b> Beschäftigungsverluste durch digitale Technologien können langfristig nicht durch neue Jobs kompensiert werden, mögliche Polarisierung  US	<i>Besonders betroffen durch Automatisierung:</i> Tätigkeiten mit hohen Anteilen kognitiver und/oder manueller Routine, Beschäftigte mit mittleren und niedrigen Qualifikationen in niedrigen Lohnsegmenten  <i>Beschäftigungsstabilität/-wachstum:</i> Hochqualifizierte mit ITK-affinen Kompetenzen und Marktorientierung	Anpassungsfähigkeit, Selbstständigkeit bei Fortbildung, Kreativität, Kommunikationskompetenzen, sensomotorische Fähigkeiten	Eigene (makroökonomische) Analysen  Tätigkeitsbezogener Ansatz

Studie / Autoren	Beschäftigungsentwicklung insgesamt	Beschäftigungssegmente	Qualifizierung und Kompetenzentwicklung	Methoden / Daten
Pfeiffer/Suphan 2015  <b>Der AV-Index. Lebendiges Arbeitsvermögen und Erfahrung als Ressourcen auf dem Weg zu Industrie 4.0</b>	<b>Begrenzte Substitution:</b> Begrenzte Substitutionseffekte aufgrund formaler Qualifikationen und notwendigem Arbeitsvermögen bei 71% der Beschäftigten  D	<i>Besonders betroffen durch Automatisierung:</i> ca. 20% der Beschäftigten mit geringen Anteilen lebendigen Arbeitsvermögens  <i>Beschäftigungsstabilität/-wachstum:</i> hohes Arbeitsvermögen, komplexere Tätigkeiten	formale Weiterqualifizierung, informelle Kompetenzen (Aufbau von Erfahrungswissen)  Nutzen des vorhandenen Erfahrungswissens	Eigene Auswertungen des Arbeitsvermögensindex (AV-Index) auf Basis der BIBB-BAuA-Erwerbstätigenbefragung  Tätigkeitsbezogener Ansatz
Boston Consulting Group 2015  <b>Industry 4.0 – The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries</b>	<b>Positiv:</b> +390.000 Arbeitsplätze (+6%) in D bis 2025 durch Industrie 4.0 in Maschinenbau, Automobilbranche, Ernährungsindustrie und anderen Industriezweigen  D	<i>Besonders betroffen durch Automatisierung:</i> Geringqualifizierte (insb. einfache und repetitive Tätigkeiten)  <i>Beschäftigungsstabilität/-wachstum:</i> Hochqualifizierte (insb. Maschinenbau) +10%;	Software-Entwicklung, IT, Mechatroniker mit IT-Kompetenzen	Quantitative Auswertungen von DeStatis-Daten, Experteninterviews D  Berufsbezogener Ansatz
Wolter et al. 2015 IAB Nürnberg  <b>Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft. Szenario-Rechnungen im Rahmen der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen</b>	<b>Schwach negativ:</b> Möglicher Verlust von 490.000 Arbeitsplätzen insbesondere in produzierenden Branchen bei gleichzeitigem Aufbau von 430.000 Arbeitsplätzen in Dienstleistungsbereichen (bis 2030)  D	<i>Besonders betroffen durch Automatisierung:</i> Facharbeiter (-130.000) und Geringqualifizierte (-25.000)  <i>Beschäftigungsstabilität/-wachstum:</i> bei Hochqualifizierten, u.a. Ingenieure, Chemikern (+115.000)	Förderung digitaler Kompetenzen, non-formale Kompetenzen in abstraktem Denken und Kommunikation sowie Serviceorientierung	Quantitative makroökonomische Szenarioanalysen des Q-INFORGE-Panels  Berufs- und tätigkeitsbezogener Ansatz

Studie / Autoren	Beschäftigungsentwicklung insgesamt	Beschäftigungssegmente	Qualifizierung und Kompetenzentwicklung	Methoden / Daten
Dengler/ Matthes 2015 IAB Nürnberg  <b>Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt. Substituierbarkeitspotenziale von Berufen in Deutschland</b>	<b>Neutral bis schwach negativ:</b> 15% der Beschäftigten in D (hohes Substituierbarkeitspotential von 70% der Tätigkeiten eines Berufes)  D	<i>Besonders betroffen durch Automatisierung:</i> Einfacharbeiten, Fachkräfte im produzierenden Gewerbe  <i>Beschäftigungsstabilität/-wachstum:</i> Insbesondere in F&E, Service von IT-Technologie, Hochqualifizierte	Verbesserte schulische Ausbildung und Weiterbildung; technische Kompetenzbedarfe im Umgang mit Robotern	Quantitative Auswertung der Datenbank BERUFENET, Bundesagentur für Arbeit zur technischen Substituierbarkeit von Tätigkeiten und Berufen  Tätigkeitsbezogener Ansatz
Jäger et al. 2015 Fraunhofer ISI  <b>Analysis of the Impact of robotic Systems on Employment in the European Union</b>	<b>Neutral bis leicht positiv:</b> Weder eindeutig positive noch negative Effekte des Robotereinsatzes auf die Beschäftigung  EU		Technische und organisationale Kompetenzbedarfe im Umgang mit Robotern	Quantitative Auswertung des European Manufacturing Survey 2009  Berufsbezogener Ansatz
World Economic Forum 2016  <b>The Future of Jobs. Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution</b>	<b>Negativ:</b> Nettoverlust von -5,1 Millionen Arbeitsplätzen weltweit bis 2020  Welt	<i>Besonders betroffen durch Automatisierung:</i> Verlust von 7.1 Mio. Arbeitsplätzen mit Routinetätigkeiten in Verwaltung, Produktion, Baugewerbe (Gering und beruflich Qualifizierte)  <i>Beschäftigungsstabilität/-wachstum:</i> 2 Millionen Arbeitsplätze u.a. in hochqualifizierten Ingenieursberufen  Upgrading und positive Beschäftigungseffekte bei Hochqualifizierten im produzierenden Sektor	Soziale Kompetenzen (emotionale Intelligenz, Verhandlungs- und Vermittlungskompetenz)	Quantitative Expertenbefragung (371 internationale Personalmanager), eigene Auswertungen auf Basis des US-amerikanischen O*NET-Datensatzes  Berufsbezogener Ansatz



Studie / Autoren	Beschäftigungsentwicklung insgesamt	Beschäftigungssegmente	Qualifizierung und Kompetenzentwicklung	Methoden / Daten
Frey et al. 2016 Oxford Martin School  <b>Technology at Work v2.0</b>	<b>Negativ:</b> Hohe Substitutionspotentiale von Arbeitsplätzen OECD-weit (- 53%) und in einzelnen Ländern (-77% China, -69% Indien, -85% Äthiopien)  OECD	<i>Besonders betroffen durch Automatisierung:</i> Geringqualifizierte mit niedrigem Einkommen (Logistik, Verwaltung)  <i>Beschäftigungsstabilität/-wachstum:</i> Beschäftigte mit Tätigkeiten, die soziale Kompetenzen, Kreativität und Verhandlungsgeschick erfordern (Management)  Beschäftigte im Gesundheitssektor (+ 4 Mio.)	Flexibilität und Selbstständigkeit in Hinblick auf Weiterbildung  Kreative und soziale Kompetenzen, Qualifizierung in IKT- und MINT-Bereichen	Quantitative Umfrage von internationalen Führungskräften, Daten des World Bank Development Report 2016  Berufsbezogener Ansatz
Arntz et al. 2016 Uni Heidelberg/ZEW  <b>The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries. A Comparative Analysis</b>	<b>Neutral bis schwach negativ:</b> Moderate Substitutionspotentiale von Arbeitsplätzen OECD-weit (- 9%) und in einzelnen Ländern: Deutschland (-12%), Österreich (-12%), Schweden (-7%), Korea (-6%)  OECD	<i>Besonders betroffen durch Automatisierung:</i> Geringqualifizierte (mit niedrigem Einkommen) und Beschäftigte in kommunikationsarmen Arbeitszusammenhängen  <i>Beschäftigungsstabilität/-wachstum:</i> Hochqualifizierte mit mittleren bis hohem Einkommen	Re-/Qualifizierungsangebote für Geringqualifizierte und curriculare Veränderungen in Hinblick auf neue digitale Technologien	Komparative, quantitative Analyse der Automatisierungswahrscheinlichkeit von Tätigkeiten zwischen USA und OECD auf Basis des PIAAC-Datensatzes und eigener Berechnungen  Tätigkeitsbezogener Ansatz
PWC/WifOR 2016  <b>Der Einfluss der Digitalisierung auf die Arbeitskräftesituation in Deutschland. Berufs- und branchenspezifische Analyse bis zum Jahr 2030</b>	<b>Schwach negativ bis positiv:</b> Sektoren- und branchenspezifische Substitutionseffekte bis 2030: -600.000 (Industrie), -300.000 (Logistik), +250.000 (Gesundheit, Pharmazie), +190.000 (IT)  D	<i>Besonders betroffen durch Automatisierung:</i> Beschäftigte mit Routine-tätigkeiten (insb. im Dienstleistungsbereich wie Handel und Verkauf, -940.000)  <i>Beschäftigungsstabilität/-wachstum:</i> Hochqualifizierte mit natur- und technikwissenschaftlicher Ausbildung (+510.000)	Generalisierte Qualifizierungsmaßnahmen mit Fokus auf Selbstständigkeit, Kreativität und Problemlösekompetenzen	Prospektive, quantitative branchen- und berufsspezifische Analyse der Beschäftigungseffekte (Arbeitskräftenachfrage) in Form von Szenarien  Berufs- und tätigkeitsbezogener Ansatz

Studie / Autoren	Beschäftigungsentwicklung insgesamt	Beschäftigungssegmente	Qualifizierung und Kompetenzentwicklung	Methoden / Daten
Vogler-Ludwig et al. 2016 Economix Research & Consulting, München  <b>Arbeitsmarkt 2030. Wirtschaft und Arbeitsmarkt im digitalen Zeitalter. Prognose 2016</b>	<b>Positiv:</b> Anstieg der Gesamtbeschäftigung im Szenario „beschleunigte Digitalisierung“ um +250.000 Arbeitsplätze bis 2025 (+300.000, 2030)  Beschäftigungsgewinne in den Herstellerbranchen (+1.000.000, Maschinenbau, Elektro, Fahrzeugbau, IT-Dienste)  Substitutionseffekte in den Anwenderbranchen digitaler Technologien (Prozess- und Nahrungsmittelindustrie, Metallherzeugung, Verwaltung)  D	<i>Besonders betroffen durch Automatisierung:</i> Beschäftigte ohne Abschluss (-1.990.000); moderate, branchenspezifische Substitutionseffekte von Beschäftigten mit Ausbildung oder Fachschulbildung in technischen Fächern  <i>Beschäftigungsstabilität/-wachstum:</i> insb. Akademiker in IT-Berufen, Management und Beratung, Ingenieure, Mechaniker, Maschinen- und Fahrzeugtechniker (+2.500.000)	Qualifizierungsmaßnahmen insb. bei Geringqualifizierten  Breiter Ausbau von Studien- und Weiterbildungsangeboten, insb. im Themenfeld IT  Generelle Förderung IT-spezifischer Kompetenzen (Datenanalyse)	Prospektive, quantitative Analyse der Beschäftigungseffekte in Form von Szenarien  Berufsbezogener Ansatz

Quelle: eigene Synopse

## Seit 2009 erschienene Soziologische Arbeitspapiere

Früher erschienene Arbeitspapiere sind auf der folgenden Website zu finden:

[http://www.wiso.tu-dortmund.de/wiso/is/de/forschung/soz\\_arbeitspapiere/index.html](http://www.wiso.tu-dortmund.de/wiso/is/de/forschung/soz_arbeitspapiere/index.html)

- 24/2009 Jörg Abel/Hartmut Hirsch-Kreinsen/Peter Ittermann  
Einfacharbeit in der Industrie. Status quo und Entwicklungsperspektiven  
(Mai 2009)
- 25/2009 Robin D. Fink  
Attributionsprozesse in hybriden Systemen. Experimentelle Untersuchung des  
Zusammenspiels von Mensch und autonomer Technik  
(Juli 2009)
- 26/2009 Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Innovative Arbeitspolitik im Maschinenbau?  
(September 2009)
- 27/2010 Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Technological Innovation and Finance  
(Oktober 2010)
- 28/2010 Robin D. Fink/Tobias Liboschik  
Bots – Nicht-menschliche Mitglieder der Wikipedia-Gemeinschaft  
(Dezember 2010)
- 29/2011 Jörg Abel/Peter Ittermann/Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Einfacharbeit in der Ernährungsindustrie  
(Februar 2011)
- 30/2012 Jörg Abel/Peter Ittermann/Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Einfacharbeit in der Gummi- und Kunststoffindustrie  
(Januar 2012)
- 31/2012 Peter Ittermann/Jörg Abel/Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Einfacharbeit in der Metallbearbeitung – Anforderungen und Perspektiven  
(Februar 2012)
- 32/2013 Jörg Abel/Peter Ittermann/Marlies Steffen  
Wandel von Industriearbeit. Herausforderung und Folgen neuer Produktionssysteme  
in der Industrie  
(März 2013)
- 33/2013 Fabian Lücke/Johannes Weyer/Robin D. Fink  
Steuerung komplexer Systeme – Ergebnisse einer soziologischen Simulationsstudie  
(April 2013)

- 34/2013 Marco Hellmann/Sarah Rempe/Jan Schlüter  
Die Katastrophe der Deepwater Horizon – Eine Ursachenforschung im Kontext der Theorie der High Reliability Organizations  
(Oktober 2013)
- 35/2013 Johannes Weyer  
Experimentelle Soziologie - Der Beitrag der Computersimulation zur Weiterentwicklung der soziologischen Theorie  
(Oktober 2013)
- 36/2013 Johannes Weyer/Fabian Adelt/Robin D. Fink  
Steuerung komplexer Systeme - Ein Mehrebenen-Modell von Governance  
(Oktober 2013)
- 37/2013 Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Wie viel akademische Bildung brauchen wir zukünftig? Ein Beitrag zur Akademisierungsdiskussion  
(November 2013)
- 38/2014 Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“  
(Januar 2014)
- 39/2014 Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Financialization of Innovation – the Case of the German Industrial Innovation System  
(August 2014)
- 40/2014 Katrin Hahn  
Innovationsfinanzierung im Spannungsfeld von Risiko und Unsicherheit: Bremsen die gegenwärtigen Finanzmarktbedingungen unternehmerische Innovationen?  
(Oktober 2014)
- 41/2015 Daniel Ruppel  
Hindernisse und Herausforderungen bei der Implementierung von Ganzheitlichen Produktionssystemen  
(Januar 2015)
- 42/2015 Johannes Weyer/Fabian Adelt/Sebastian Hoffmann  
Governance of complex systems – A multi-level model  
(Juni 2015)
- 43/2015 Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Digitalisierung von Arbeit: Folgen, Grenzen und Perspektiven  
(Oktober 2015)
- 44/2015 Johannes Weyer/Fabian Adelt/Sebastian Hoffmann  
Achieving Sustainable Mobility  
(November 2015)

- 45/2015 Johannes Weyer  
Can Pilots Still Fly – Role Distribution and Hybrid Interaction in advanced auto-  
mated Aircraft  
(November 2015)
- 46/2016 Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Industrie 4.0 als Technologieversprechen  
(Juni 2016)