

# Social Manufacturing and Logistics

Konturen eines Leitbildes  
digitaler Industriearbeit

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

# Impressum

## Herausgeber

Begleitforschung AUTONOMIK für Industrie 4.0  
VDI/VDE Innovation + Technik GmbH  
Alfons Botthof  
Steinplatz 1 | 10623 Berlin  
alfons.botthof@vdivde-it.de

[www.autonomik40.de](http://www.autonomik40.de)

## Autoren

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

## Gestaltung

Loesch*Hund*Liebold  
Kommunikation GmbH  
Hauptstraße 28 | 10827 Berlin  
autonomik@lhk.de

## Stand

September 2016

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Inhalt

Zusammenfassung .....	4
1. Zu einem Leitbild digitaler Arbeit .....	5
2. Widersprüchliche Entwicklungsszenarien von Arbeit .....	7
3. Gestaltungsräume: Schnittstellen im sozio-technischen System .....	10
4. Humanorientierte Schnittstellengestaltung bei Industrie 4.0 .....	12
4.1 Schnittstelle Technologie-Mensch .....	12
4.2 Schnittstelle Mensch-Organisation .....	13
4.3 Schnittstelle Organisation-Technologie .....	15
5. Social Manufacturing and Logistics: Konturen des Leitbildes .....	18
6. Bedingungen und Perspektiven .....	21
Literatur .....	23

# Zusammenfassung

In den Debatten über Industrie 4.0 wird immer wieder auf das Erfordernis einer arbeits- und gesellschaftspolitisch humanorientierten Gestaltung der Arbeit in Produktions- und Logistikbereichen verwiesen. Die Realisation dieser Arbeitsformen ist indes kein Selbstläufer. Vielmehr erfordert sie einen ganzheitlichen und strategisch angelegten Gestaltungsansatz. Das Konzept Social Manufacturing and Logistics verfolgt diesen Aspekt und zeichnet die Konturen eines Leitbildes für die humanzentrierte Gestaltung digitaler Industriearbeit nach. Es geht von dem Verständnis aus, dass die Implementierung von Industrie-4.0-Systemen keinesfalls nur technischen Zielen folgen, sondern unabdingbar auch soziale Erfordernisse berücksichtigen muss. Der Gestaltungsansatz greift vor diesem Hintergrund das Konzept des sozio-technischen Systems auf und überträgt dieses auf die aktuellen Entwicklungen im Kontext von Industrie 4.0 und Arbeit 4.0. Als die

wichtigsten Gestaltungsräume für Arbeit werden dabei die Schnittstellen zwischen den Systemelementen Technik, Mensch und Organisation identifiziert. Die Schnittstellen werden in ihren Herausforderungen und Widersprüchen charakterisiert und auf der Basis vorliegender Forschungsergebnisse durch konkrete Good-Practice-Beispiele aus Unternehmen illustriert. Letztlich werden die Befunde zum Leitbild Social Manufacturing and Logistics verdichtet, das sich durch hybride Interaktion zwischen Mensch und Maschine, flexibel integrierte Arbeit und dezentrale Systeme auszeichnet. Für die Realisation dieses Leitbildes humanorientierter Industriearbeit sind eine Reihe betrieblicher und gesellschaftlicher Zusatzbedingungen erforderlich: Hier lässt sich auf die Notwendigkeit partizipativer Systemgestaltung, den Wandel von Führungsstilen und Maßnahmen für eine breit angelegte Kompetenzentwicklung verweisen.

# 1 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“ verbinden (Wissenschaftlicher Beirat 2014). Ähnlich formuliert es Henning Kagermann, einer der maßgeblichen Vertreter der Vision von Industrie 4.0, dem zufolge 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. Zugespielt 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 (Hirsch-Kreinsen/ten Hompel 2016; Hirsch-Kreinsen/Ittermann 2016; SoMaLI 2015)<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

<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 wird 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 u.a. Experteninterviews mit Verbandsvertretern, Technologieentwicklern und Anwendungsunternehmen von Industrie-4.0-Systemen geführt. Zur ausführlichen Darstellung des Vorhabens und der Ergebnisse im Projektabschlussbericht siehe Ittermann et al. (i.E.).

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 Unternehmen in Produktionsprozessen 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 Leitungsfunktionen 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 Potenziale einer humanorientierten Gestaltung der Arbeit bestmöglich auszuschöpfen.

Das Leitbild soll in den folgenden Argumentationsschritten entwickelt werden: Zunächst werden die vorliegenden Forschungsergebnisse über den Wandel von Industriearbeit zu im Einzelnen widersprüchlichen Szenarien zusammengefasst (Abschnitt 2). Davon ausgehend wird gezeigt (Abschnitt 3), dass die Realisation von humanorientierten Formen der Arbeit kein Selbstläufer ist und einen ganzheitlich angelegten Forschungs- und Gestaltungsansatz erfordert. Hierzu wird auf das Konzept des sozio-technischen Systems zurückgegriffen und als zentrale Gestaltungsräume werden die Schnittstellen zwischen den Systemelementen Technik, Mensch und Organisation identifiziert (Abschnitt 4). Der dann folgenden Argumentationsschritt (Abschnitt 5) zielt auf die Zusammenfassung der empirischen Befunde zu einem Leitbild Social Manufacturing and Logistics. Im abschließenden Schritt (Abschnitt 6) werden eine Reihe betrieblicher und gesellschaftlicher Zusatzbedingungen für die Realisation eines solchen Leitbildes diskutiert.

# 2 Widersprüchliche Entwicklungsszenarien 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 2015; 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

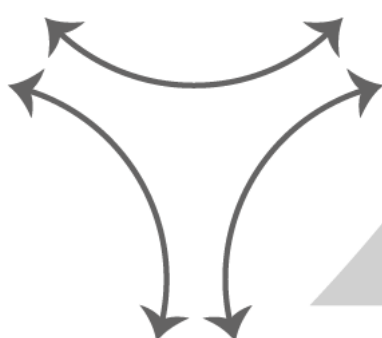
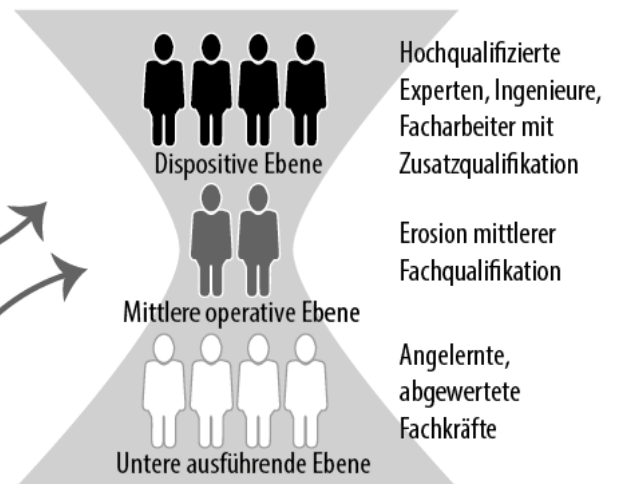
national als auch international geführte Diskurs über die Zukunft von Arbeit lässt sich zu verschiedenen divergierenden Entwicklungsszenarien verdichten.

Ein erstes Szenario bekräftigt die eingangs angeführten optimistischen Sichtweisen der Industrie-4.0-Debatte zum Upgrading von Industriearbeit, indem von Beschäftigungswachstum, höherwertigen Tätigkeiten und Qualifikationen sowie einer erweiterten Selbstbestimmung in der Arbeit ausgegangen wird (vgl. Abb. 1). Verschiedene Studien weisen auf positive Arbeitsmarkteffekte der Digitalisierung und einer längerfristigen Kompensation von kurzfristig substituierten Tätigkeiten hin (u.a. BCG 2015; Wolter et al. 2015; Vogler-Ludwig et al. 2016). Nach

## Substitution von Arbeit: Automated Factory



## Polarisierung von Arbeit



## Upgrading von Arbeit

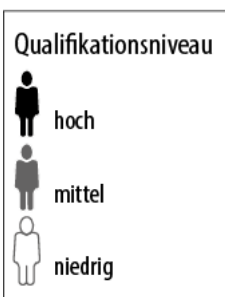
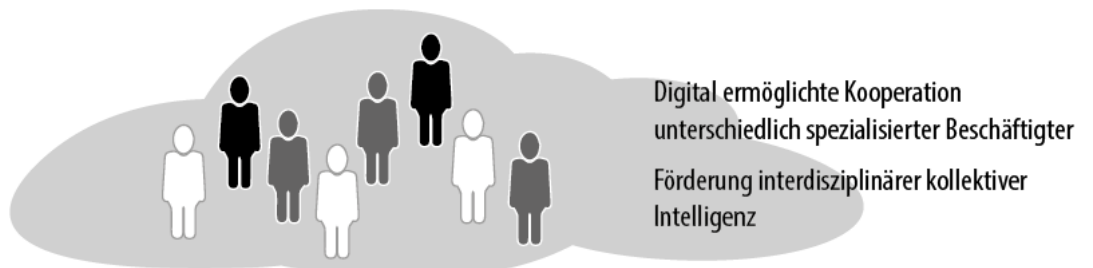


Abb. 1: Entwicklungsszenarien zur Zukunft digitaler Arbeit (eigene Darstellung)

Vogler-Ludwig et al. (2016) ist unter den Bedingungen einer forcierten Digitalisierung, d.h. deutlicher Produktivitätssteigerungen und der Einführung neuer Produkte, 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 (ebd.: 75). Darüber hinaus wird Upgrading in diesem Szenario als ein Prozess gesehen, der tendenziell alle Beschäftigtengruppen erfasst: Die generelle Konsequenz seien „better jobs – jobs that at every level would be enriched by an informing technology.“ (Zuboff 1988: 159) Einige Studien verweisen vor allem auf Fähigkeiten und Kompetenzen, die sie in technischer und ökonomischer Hinsicht als nur schwer und sehr aufwendig automatisierbar ansehen. Festzuhalten ist, dass in dieser Perspektive auch in Zukunft dem akkumulierten Erfahrungswissen und dem erfahrungsgeleiteten 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 2014): Eine lockeres Netzwerk unterschiedlich qualifizierter, aber gleichberechtigter Beschäftigter agiert weitgehend selbstorganisiert und situationsbestimmt im digitalisierten Arbeits- und Produktionsprozess und kann situations- und lebensphasenorientiert die Arbeitsbelastung und den Arbeitsanfall unter den neuen Bedingungen autonomer regulieren (Kurz 2014).

Im Mainstream des Industrie-4.0-Diskurses wird betont, dass die Digitalisierung keineswegs die ‚menschleere Fabrik‘ zur Folge 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. 1). 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, da es sich um Tätigkeiten mit einem gut strukturierten und regelorientierten Charakter handelt, die 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>1</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). Die Annahmen einer partiellen Substitution von Industriearbeit im Zuge der Digitalisierung beschränken sich jedoch nicht nur auf geringqualifizierte Tätigkeiten, sondern zeichnen 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.). Indes sind die Thesen und Befunde über teilweise weitreichende Arbeitsplatzverluste im Einzelnen durchaus umstritten und es wird mit unterschiedlichen Argumenten auf Grenzen der Substituierbarkeit von Arbeit verwiesen (Vogler-Ludwig et al. 2016; Autor 2015; Pfeiffer/Suphan 2015).

<sup>1</sup> Mit Blick auf die mögliche Substitution geringqualifizierter Industriearbeit muss allerdings auch 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.



Ein drittes Entwicklungsszenario kann als Polarisierung von Industriearbeit gefasst werden. Es umfasst sowohl Prozesse des Upgradings von Qualifikationen, die partielle Substitution von Tätigkeiten sowie 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 (Hirsch-Kreinsen 2015). Konkret kann es sich bei letzteren Tätigkeiten um bislang qualifizierte Produktionsarbeiten etwa der Montage und Überwachung und um indirekte Tätigkeiten auf mittlerem Qualifikationsniveau handeln (z.B. Kuhlmann/Schumann 2015). Arbeitsorganisatorisch impliziert dieser Entwicklungsverlauf eine fortschreitende Ausdifferenzierung von Tätigkeiten und Qualifikationen „nach oben“ und „nach unten“ in Form einer polarisierten Arbeitsform (vgl. Abb. 1). 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 und die Handlungsspielräume dieser Beschäftigtengruppe auf Grund strikter Systemvorgaben sehr eingeschränkt würden. Andererseits aber sei diese Erosion bestimmter Qualifikationen begleitet von der Aufwertung anderer Tätigkeits- und Qualifikationsgruppen, die neuerdings systemübergreifende Steuerungs- und Kontrollaufgaben übernehmen. 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). Auf der mittleren Qualifikationsebene verbleiben lediglich

„Residualkategorien“ von qualifizierter Arbeit, die nicht oder nur mit einem unverhältnismäßigen Aufwand automatisiert werden können (Kinkel et al. 2008; Düll 2013).<sup>2</sup>

Der Abriss des Forschungsstandes zeigt, 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. Somit lassen sich mit Blick auf die vorgestellten Szenarien zur digitalen Industriearbeit in der Realität zahlreiche Hybridformen zwischen Upgrading, Substitution und Polarisierung erwarten, die den jeweiligen Anforderungen der Betriebe und Produktionsprozesse entsprechen.

---

2 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. Obgleich befürchtet wird, dass diese neuen Arbeitsformen Tendenzen der De-Qualifizierung, Prekarisierung und Polarisierung auf dem Arbeitsmarkt vertiefen, wird der Umfang dieser Arbeitsformen in Deutschland bislang als eher gering eingeschätzt (Vogler-Ludwig et al. 2016: 89).

### 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 Selbstläufer ist. Vielmehr erfordern 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. 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.

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 cyber-physischer 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 sowie sozio-ökonomische Kontextbedingungen (Abb. 2).

Diesem Ansatz zufolge geht es nicht um die Frage eines entweder Technik oder Mensch, sondern anzustreben ist eine komplementäre Gestaltung der einzelnen Systemelemente zu einem aufeinander abgestimmten sozio-technischen Gesamtsystem (Trist/Bamforth 1951; Mumford 2006). 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 Potenziale einer humanorientierten Gestaltung der Arbeit bestmöglich auszuschöpfen.

Die zentralen Gestaltungsräume sind daher weniger die Funktionsweisen der einzelnen Teilsysteme, sondern

politische Regulation, funktionale Kontextbedingungen, Vernetzung, Wertschöpfungskette

Rahmenvorgaben: strategisch, normativ

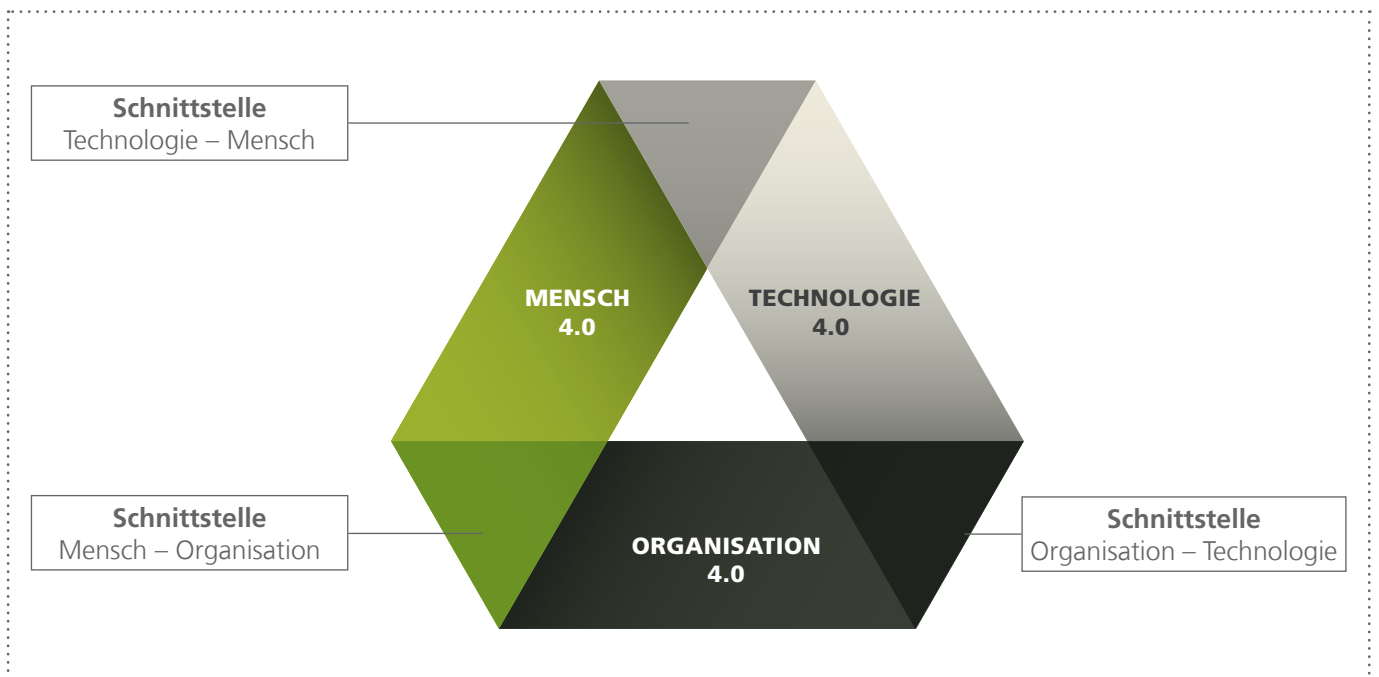


Abb. 2: Schnittstellen im sozio-technischen System Industrie 4.0 (eigene Darstellung)

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) zwischen dem technologischen Teilsystem und dem menschlichen 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 2015). 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.

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. Eine Verbandsvertreterin 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?“

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 dem Nutzer die passenden Eingriffsmöglichkeiten oder das Gefühl gibt, im Notfall die Kontrolle zu behalten“. 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.“ 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.

Diese Form der Schnittstellengestaltung führt im Ergebnis dazu, das Aufgabenspektrum der Beschäftigten zu

### 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.“ 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 angelernt.

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.“ 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.“ Durch den Robotereinsatz 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.

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 entgegenstehen. 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.

### Innovative Arbeitsorganisation in der vernetzten Produktion der Elektronikindustrie

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 Personalbedarf. 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 und Normen sowie 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 Problemlösekompetenzen voraussetzen sowie den 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.

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 selbstorganisiert, hoch flexibel und situationsbestimmt je nach zu lösenden Problemen des technologischen Systems.

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 potenziell verfügbaren CPS-Technologien wirtschaftlich

### 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.“ 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 Potenziale der Sensorik ausgeschöpft werden: „Konnektivität ist ein ganz wichtiges Thema“ 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.

In der dezentralen Organisation 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“ auf dezentralen und flexiblen, international und interdisziplinär ausgerichteten, temporären Projektteams, deren Zusammenarbeit über Organisations-, Zeit- und Abteilungsgrenzen hinweg koordiniert werden muss. Mitarbeiter sollen durch virtuelle Konferenzsysteme sowie flexible Zeit- und Ortsarrangements die Arbeit an berufliche und persönliche Bedürfnisse anpassen. Organisationale Knotenpunkte stellen weltweit verteilte Hubs dar, die Produktionsaufgaben sowie Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten bündeln. Besonderer Abstimmungsbedarf entsteht, 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.



‚rentabel‘ und organisatorisch sinnvoll implementiert werden können. Strukturelle Hindernisse der Umsetzung können neben einer unklaren Rentabilitätserwartung in organisationsstrukturellen Barrieren, zu bewältigender Komplexität in der überbetrieblichen Arbeitsteilung sowie in datenschutzrechtlichen Problemlagen (Zugang betriebs-sensibler 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‘.“ In der Folge dieses Digitalisierungsprozesses kommen neue Geschäftsmodelle zur Anwendung, um den technologie- und organisationsbezogenen Herausforderungen und ihrer Verknüpfung gerecht zu werden.

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.“ 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). 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 die 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 Möglichkeiten für kontinuierliche Lern- und Qualifizierungsprozesse 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 informatorisch-technischen mit sinnlich-subjektivierenden Elementen und 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 passivem 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 ungelöste Frage aufgeworfen, inwieweit bei Mensch-Maschine-Interaktionen gleichermaßen von „maschinellem 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 anspruchsvollen 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 und das Finden neuer Lösungen. Dabei geht es besonders darum, auch auf dem Hallenboden „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 mit unterschiedlichen Fähigkeiten und Leistungsvoraussetzungen möglich, z.B. in altersgemischten Arbeitsgruppen. 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 Situationen 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 Gestaltungspotenziale 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 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“.

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 in Abbildung 3 grafisch zusammenfassen.

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 akademisch ausgerichteten Berufen interessiert ist, wieder attraktiv werden.

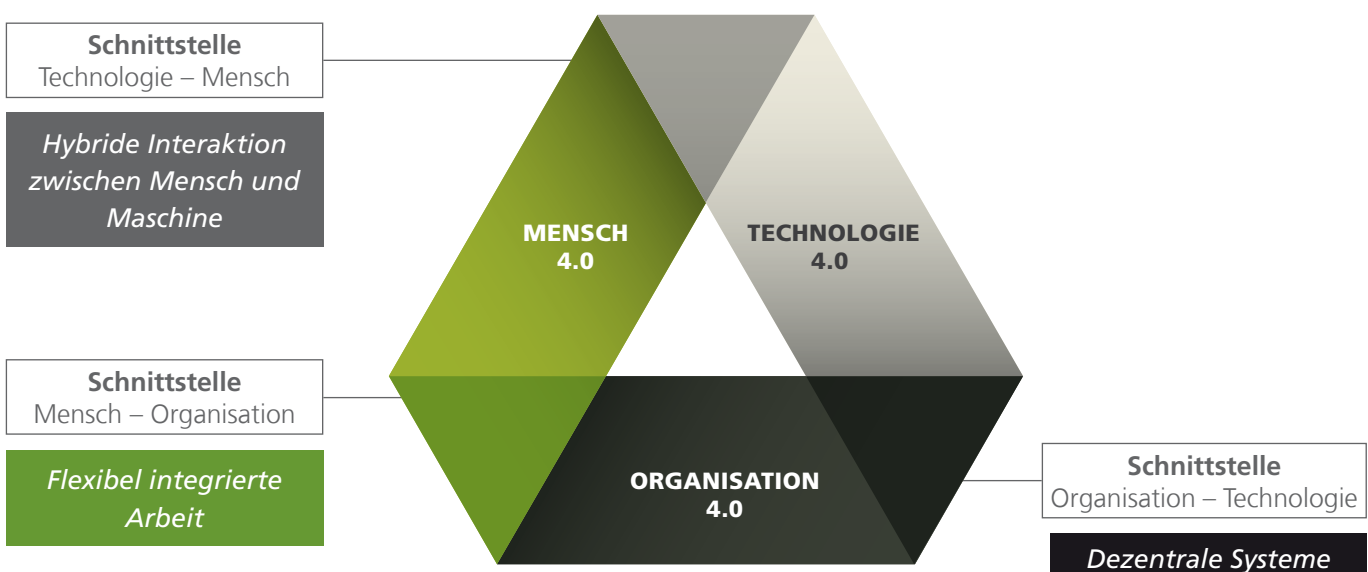


Abb. 3: Leitbild Social Manufacturing and Logistics (eigene Darstellung)

## 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 eines Beteiligungsverfahrens 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 Erfolgspotenziale 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 Ersten müssen die Kompetenzunterschiede zwischen großen technologieintensiven Unternehmen und weniger technologieintensiven KMU ausgeglichen werden. Zum Zweiten sollen Kompetenz- und Leistungsdivergenzen zwischen unterschiedlichen Beschäftigtengruppen (Qualifikation, Alter etc.) 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

- 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
- 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
- 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
- BMAS – Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2015) *Grünbuch Industrie 4.0*. Berlin
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2013) *Mensch-Technik-Interaktion*. Berlin
- Bonin H, Gregory T, Zierahn U (2015) Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland. ZEW. Mannheim
- Botthof A, Hartmann E A (Hrsg) (2015) *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Berlin/Heidelberg
- Brynjolfsson E, McAfee A (2014) *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. Norton
- Dengler K, Matthes B (2015) Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt. Substituierbarkeitspotenziale von Berufen in Deutschland. IAB Forschungsbericht 11/2015. Nürnberg
- Düll N (Hrsg) (2013) *Arbeitsmarkt 2030 Fachexpertisen und Szenarien. Trendanalyse und qualitative Vorausschau*. <http://www.wbv.de/openaccess/artikel/6004384w> Zugegriffen: 05. Januar 2014
- FIR (Hrsg) (2013) „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
- 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

- 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
- Hirsch-Kreinsen H (2014) Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“. WSI-Mitteilungen 67 (6):421–429
- 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 (2016) Die Zukunft einfacher Industriearbeit. WISO direkt 12 (2016):1–4
- 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 am Main, S 139–147
- 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, ten Hompel M (2016) „Social Manufacturing and Logistics“ – Arbeit in der digitalisierten Produktion. In: BMWi/BMAS (Hg.): Arbeiten in der digitalen Welt. Mensch-Organisation-Technik. Berlin, 6–9
- Huchler N (2016) Die Rolle des Menschen in der Industrie 4.0 – Technikzentrierter vs. humanzentrierter Ansatz. In: Arbeits- und Industriesoziologische 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
- Ittermann P, Niehaus J, Hirsch-Kreinsen H, Dregger J, ten Hompel M (i.E.) Social Manufacturing and Logistics. Gestaltung von Arbeit in der digitalen Produktion und Logistik. Soziologisches Arbeitspapier. Dortmund
- 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 fordert 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: Schröder W (Hrsg) Identität in der Virtualität. Einblicke in neue Arbeitswelten und Industrie 4.0. Mössingen-Talheim, S 106–111
- Leimeister J M, Zogaj S (2013) Neue Arbeitsorganisation durch Crowdsourcing. Eine Literaturstudie. Arbeitspapier der Hans-Böckler-Stiftung, Reihe Arbeit und Soziales 287. 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
- Mumford E (2006) The story of socio-technical design: reflections on its successes, failures and potential. *Information Systems Journal* 2006 (16):317–342
- Picot A (Hrsg) (2013) Die Zukunft der Arbeit in der digitalen Welt. Reihe Münchner Kreis. München
- 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
- 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
- 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
- SoMaLI (2015) „Social Manufacturing and Logistics“ – Ein Leitbild der technologischen, organisatorischen und sozialen Herausforderungen der Industrie 4.0. Forschungsvorhaben gefördert vom BMWi. Dortmund
- Spath D, Ganschar O, Gerlach S, Hämmerle M, Krause T, Schlund S (Hrsg) (2013) *Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0*. Stuttgart
- Sydow J (1985) *Der soziotechnische Ansatz der Arbeits- und Organisationsgestaltung*. Frankfurt am Main/New York
- Trist E, Bamforth K (1951) Some social and psychological consequences of the long wall method of coal-getting. *Human Relations* 4 (1):3–38
- 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
- WEF – World Economic Forum (2016) *The Future of Jobs. Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution*. Genf
- 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, Mönning 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 8/2015. Nürnberg
- Zuboff S (1988) *In the age of the smart machine. The future of work and power*. New York





