

Ittermann, Peter; Niehaus, Jonathan; Hirsch-Kreinsen, Hartmut

Research Report

Arbeiten in der Industrie 4.0: Trendbestimmungen und arbeitspolitische Handlungsfelder

Study der Hans-Böckler-Stiftung, No. 308

Provided in Cooperation with:

The Hans Böckler Foundation

Suggested Citation: Ittermann, Peter; Niehaus, Jonathan; Hirsch-Kreinsen, Hartmut (2015) : Arbeiten in der Industrie 4.0: Trendbestimmungen und arbeitspolitische Handlungsfelder, Study der Hans-Böckler-Stiftung, No. 308, Hans-Böckler-Stiftung, Düsseldorf

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/148579>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



Hans **Böckler**
Stiftung 

Mitbestimmung · Forschung · Stipendien

STUDY

Nr. 308 · Juli 2015

ARBEITEN IN DER INDUSTRIE 4.0

Trendbestimmungen und arbeitspolitische Handlungsfelder

Peter Ittermann, Jonathan Niehaus, Hartmut Hirsch-Kreinsen

Die Autoren:

Dr. Peter Ittermann
Jonathan Niehaus
Prof. em. Dr. Hartmut Hirsch-Kreinsen

Technische Universität Dortmund
Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät
Wirtschafts- und Industriosozologie
Otto-Hahn-Str. 4
D-44227 Dortmund



Juni 2015
© 2015 Hans-Boeckler-Stiftung, Düsseldorf
<http://www.boeckler.de>

Inhalt

Vorwort.....	5
Zusammenfassung.....	7
1. Einleitung: Industrie 4.0 als neues Leitbild	10
2. Industrie 4.0: Begrifflichkeiten und konzeptionelle Einbettung	13
3. Übersicht über laufende Aktivitäten zu Industrie 4.0	20
3.1 Forschungsaktivitäten zur Industrie 4.0	20
3.2 Praxisbeispiele und Modellfabriken zu Industrie 4.0.....	26
3.3 Studien zur Zukunft der Arbeit in der Industrie 4.0.....	32
4. Wandel von Industriearbeit: Trendbestimmungen und Handlungsfelder	36
4.1 Beschäftigungsperspektiven: Substitution oder Sicherung von Industriearbeit	40
4.2 Qualifikationsanforderungen: Upgrading oder Polarisierung	45
4.3 Funktionsteilung und Arbeitsorganisation	51
4.4 Arbeitsbedingungen: Entgrenzung oder Regulierung	57
5. Bilanzierung: Möglichkeiten und Ungewissheiten	60
Literatur	63
Anhang	73

Vorwort

Unter dem Schlagwort „Industrie 4.0“ nimmt die Debatte um die Zukunft der Industrie in Deutschland zunehmend Fahrt auf. Mit der immer tieferen Durchdringung von Produktionssystemen mit digitalen Technologien verbindet sich das Versprechen, eine starke industrielle Basis in Deutschland erhalten zu können. „Industrie 4.0“ ist dabei nicht nur ein weiterer Schritt in der Automatisierung und digitalen Vernetzung der Industrieproduktion. Vielmehr verbinden sich mit diesem Ansatz Umbrüche, die die auch die Arbeit in der Industrie nicht unberührt lassen werden. Mehr noch: Es ist davon auszugehen, dass sich industrielle Arbeitswelten grundlegend wandeln werden. Daher hat sich die IG Metall frühzeitig in die Industriearbeitskreise rund um „Industrie 4.0“ eingebracht und darauf gedrängt, den Menschen zum Ausgangspunkt von Change-Prozessen in den Unternehmen zu machen. Mit sozio-technischen Leitbildern und einer neuen Humanisierungspolitik ist es gelungen, den ursprünglich rein ingenieurwissenschaftlichen Diskurs für Fragen der Arbeitswelt zu öffnen. Das Thema der arbeitszentrierten Technikgestaltung – verbunden mit den neuen Anforderungen humaner Arbeit – konnte fest in der Debatte in Forschung, Unternehmen, Politik und Gesellschaft verankert werden.

Die Hans-Böckler-Stiftung als das Forschungswerk des Deutschen Gewerkschaftsbundes und seinen Mitgliedsgewerkschaften unterstützt die Akteure der Mitbestimmung, damit sie sich den Herausforderungen stellen können, die durch „Industrie 4.0“ entstehen. Die vorliegende Expertise von Peter Ittermann, Jonathan Niehaus und Hartmut Hirsch-Kreinsen ist auf Basis einer Kooperation von Hans-Böckler-Stiftung und IG Metall entstanden. Sie hat das Ziel, einen ersten Überblick über Entwicklungstendenzen von

Industrie 4.0 und dem damit verbundenen Wandel von Produktionsarbeit zu geben. Sie wertet dazu nicht nur aktuelle Publikationen und Forschungsergebnisse zum Thema aus, sondern gibt auch einen Überblick über geförderte Forschungsprojekte, die „Industrie 4.0“-Themen in Zusammenhang mit arbeitsbezogenen Fragestellungen behandeln. Wir versprechen uns durch dieses Monitoring, die Diskussionen im Sinne einer menschengerechten Gestaltung von Industrie 4.0 zu vertiefen und den Akteuren der Mitbestimmung Handlungswissen zur Verfügung zu stellen.

Wir wünschen allen eine interessante und erkenntnisreiche Lektüre!

Dr. Constanze Kurz
Ressortleiterin „Zukunft der Arbeit“
beim Vorstand der IG Metall

Dr. Marc Schietinger
Referatsleiter „Strukturwandel – Innovation und Beschäftigung“
in der Hans-Böckler-Stiftung

Zusammenfassung

Die vorliegende Expertise richtet sich auf die Frage nach dem Wandel von Industriearbeit unter den Bedingungen der Digitalisierung der industriellen Produktion. Hierbei stehen die neuen Entwicklungstendenzen im Zentrum, die seit einigen Jahren unter dem Label „Industrie 4.0“ thematisiert werden und die sich als neue Modelle der Produktionsautomatisierung durch die Verknüpfung virtueller Datenebenen und realer Produktionsabläufe fassen lassen. Es ist davon auszugehen, dass Industrie-4.0-Systeme im Fall ihrer breiten Durchsetzung die bisherigen industriellen Arbeitswelten nachhaltig verändern und erhebliche Anforderungen an Beschäftigte und Mitbestimmungsträger stellen werden. Aus diesem Grund sollen in dieser Expertise laufende Forschungs- und Unternehmensaktivitäten bilanziert werden, um erste Erkenntnisse zum möglichen Wandel von Arbeit in der Industrie 4.0 abzuleiten. Im Ergebnis verweist die Durchsicht der vorliegenden Studien auf zahlreiche Trendbestimmungen und Entwicklungsszenarien, dabei aber auch auf unterschiedliche Sichtweisen, Widersprüchlichkeiten und bislang unbeantwortete Fragen:

- Das Schlagwort der Industrie 4.0 nimmt gegenwärtig in den Debatten um die Zukunft des Industriestandortes Deutschland einen zentralen Stellenwert ein und begründet eine Vielzahl von politischen Initiativen, Forschungsaktivitäten und Unternehmensprojekten. Hinsichtlich der langfristigen Realisierung dieser technologiezentrierten Vision und einer raschen Diffusion von smarten Produktionssystemen bleiben allerdings viele Fragen offen. Damit ist auch die generelle Frage angesprochen, inwiefern Industrie 4.0 tatsächlich für eine vierte industrielle Revolution stehen kann.

- Die dominante technologiezentrierte Perspektive auf Industrie 4.0 spiegelt sich in vielen Statements, Positionspapieren und Forschungsaktivitäten wider. Neuere Studien und Beiträge verweisen auf die erforderliche Einbettung intelligenter Produktionssysteme in der Sichtweise sozio-technischer Systemgestaltung. Diese geht davon aus, dass die Integration der neuen Technologie und die dadurch induzierten personellen und organisatorischen Veränderungen grundsätzlich den Blick auf das Gesamtsystem der Produktion und die hier wirksamen Interdependenzen erfordern. Auf dieser Basis lassen sich konkrete forschungspolitische Herausforderungen ableiten.
- Zu den Folgen der Digitalisierung industrieller Produktionen für die Industriearbeit liegen gegenwärtig nur wenige konkrete empirische Erkenntnisse vor. Die einschlägigen Studien basieren überwiegend auf Experteneinschätzungen und Trendaussagen zur generellen Entwicklung oder zu den Anforderungen in einzelnen Industriezweigen oder Arbeitsbereichen. Als zentrale Handlungsfelder, die in den Beiträgen behandelt werden, lassen sich Beschäftigungsperspektiven, Qualifikationsanforderungen, Arbeitsorganisation und Funktionsteilung sowie entgrenzte Arbeitsbedingungen benennen.
- Zu den langfristigen *Beschäftigungsperspektiven* von Industriearbeit finden sich unterschiedliche und z. T. widersprüchliche Bestandsaufnahmen und Prognosen. Während einige Studien auf einen (weiteren) Rückgang der Industriebeschäftigung in Deutschland hindeuten, betonen andere die Möglichkeit ihrer Stabilisierung und eines Beschäftigungswachstums. Insbesondere die Entwicklungsverläufe von geringqualifizierten „Einfacharbeiten“ und mittleren Qualifikationsebenen (u. a. Facharbeit) werden kontrovers diskutiert, während den hochqualifizierten Arbeiten in der Industrie (Engineeringtätigkeiten, F&E) insgesamt quantitative und qualitative Bedeutungszuwächse zugeschrieben werden.
- Eng hiermit verbunden sind die künftigen *Qualifikationsanforderungen* an die Industriebeschäftigten. Hier lassen sich zwei Entwicklungsperspektiven unterscheiden: Zum einen das Szenario der Polarisierung von Qualifikationen, bei der die mittlere Qualifikationsebene nicht zuletzt

durch Substitutions- und Dequalifizierungsprozesse erodiert. Zum anderen die Perspektive des allgemeinen Upgradings von Qualifikationen, bei dem eine Aufwertung quer zu verschiedenen Funktionsbereichen stattfindet.

- Ein weiteres Handlungsfeld richtet sich auf die zukünftige *Arbeitsorganisation und Funktionsteilung* zwischen technischen und menschlichen Systemen in der Industrie 4.0. Die Schlüsselfrage in diesem Kontext lautet: Welche Aufgaben übernehmen technische und personelle Systeme zukünftig in Arbeits- und Produktionsabläufen und über welche Kontrollmöglichkeiten verfügen sie dabei? Hier werden in den Debatten unterschiedliche Entwicklungsverläufe diskutiert, die sich nicht zuletzt an komplexen Anforderungen der Kontrolle und Steuerung von Produktionssystemen orientieren.
- Schließlich lässt sich ein Handlungsfeld mit der *Entgrenzung von Arbeitsstrukturen* benennen. Hier zeigen einige Studien u. a., dass die Flexibilisierung und Individualisierung starrer Arbeitszeitstrukturen auch in der Industrie weiter voranschreiten und die räumlichen und zeitlichen Bindungen abnehmen können. Hiermit können sich neue Handlungsspielräume, aber auch neue Leistungsanforderungen an die Beschäftigten ergeben. Dies stellt nicht zuletzt die Betriebsräte und Gewerkschaften vor neue Herausforderungen in der langfristigen Regulierung industrieller Arbeitsprozesse.

Letztlich zeigt die Durchsicht der aktuellen Literatur und Studien zum Thema Industriearbeit unter den Bedingungen Industrie 4.0 die Bandbreite und die Widersprüche der aktuellen Bestandsaufnahmen. Sie kommt zu dem Ergebnis, dass erhebliche Anstrengungen der Akteure in Wirtschaft, Politik und Wissenschaft erforderlich sein werden, um die Potentiale und Chancen der arbeitsorientierten Entwicklungspfade im Kontext sozio-technischer Systemgestaltung in die zukünftige Arbeits- und Produktionswelt zu implementieren.

1. Einleitung: Industrie 4.0 als neues Leitbild

Wer sich heute an den Debatten über die Entwicklungsperspektiven des Industriestandortes Deutschlands und die Zukunft der Produktionsarbeit beteiligen will, kommt an dem Schlagwort „Industrie 4.0“ kaum mehr vorbei. Dieses wurde zu Beginn dieses Jahrzehnts in die öffentliche Diskussion gebracht (Kagermann et al. 2011; Forschungsunion 2012a, 2012b; Forschungsunion/acatech 2013) und fand seitdem eine bemerkenswert rasante Verbreitung in der Informatik, den Ingenieurwissenschaften, bei einflussreichen Wirtschaftsverbänden und in der Politik¹. Die Industrie-4.0-Debatte hat in den vergangenen Jahren zu diversen Forschungsinitiativen und -programmen geführt und eine nahezu unüberschaubare Flut von Publikati-

¹ Bei der Bundesregierung ist das Zukunftsprojekt „Industrie 4.0“ ein wichtiger Bestandteil der umfassenden „Hightech-Strategie“ (www.hightech-strategie.de), die sich auf den Ausbau von Zukunftstechnologien, Innovationsführerschaften und Qualifikationsniveaus der Erwerbstätigen in Deutschland richtet. Es soll Antworten auf die sich verschärfenden globalen Wettbewerbsbedingungen, steigende Flexibilitätsanforderungen der Betriebe und dem vielfach konstatierten Fachkräftemangel liefern. Ziel der ressourcenübergreifenden Innovationsstrategie ist die langfristige Etablierung Deutschlands als Leitanbieter sowie Produktionsstandort digitaler Anlagen, Prozesse und Produkte. Damit wird ganz wesentlich auf die enge Kopplung zwischen dem Erfolg und Wachstum der digitalen Wirtschaft mit dem zukünftigen volkswirtschaftlichen Wohlstand abgestellt. Ausgangspunkt der Hightech-Strategie war das Projekt „SemProm – Produkte führen Tagebuch“, das 2008 initiiert wurde.

onen, Projekten und Veranstaltungen ausgelöst, die sich auf unterschiedliche Facetten der Thematik richten.

Mit der Industrie 4.0 sollen reale und virtuelle Produktionswelten integriert werden und Produkte, Produktionsanlagen und Objekte mit eingebetteter Software zu intelligenten und verteilten Systemen zusammenwachsen. Damit wird eine neue Stufe der Automatisierung und der Nutzung von IuK-Technologien im Bereich der industriellen Produktion angestrebt, die sich konzeptionell am seit längerem propagierten „Internet der Dinge“ (Bullinger/ten Hompel 2007, Ashton 2009) orientiert. Der tatsächliche Stellenwert von Industrie-4.0-Systemen in der Produktionswelt von morgen ist noch ungewiß. Jedoch zeichnet sich gegenwärtig ab, dass diese Systeme in Industrie und Wissenschaft weiterentwickelt werden und den zukünftigen Pfad industrieller Entwicklung in Deutschland nachhaltig prägen können. Ein wesentlicher Treiber ist der internationale Wettbewerb und das Forcieren vergleichbarer Aktivitäten in anderen Industrienationen. Resümiert man erste Befunde und Statements in Politik, Wissenschaft und Wirtschaft, so werden jedoch auch die bislang ungeklärten Problembereiche und Herausforderungen der Entwicklungspfade und Durchdringungsgrade des Industrie-4.0-Konzepts deutlich. So sehen u. a. die Unternehmen aus dem klein- und mittelbetrieblichen Segment erhebliche Umsetzungsbarrieren cyberphysischer Systeme und unbewältigte Problemlagen in der Mensch-Maschine-Interaktion (FIR 2013; Schuh/Stich 2013).

Wenngleich in den Debatten eindeutig eine technologiezentrierte Perspektive dominiert, so wurde das Thema der Konsequenzen der industriellen Digitalisierung für Industriearbeit in der Folge zu einem wichtigen Bestandteil dieser Debatten (vgl. Hirsch-Kreinsen et al. i. E.). Das frühere Engagement der Gewerkschaften (insbesondere der IG Metall) und anderer Interessenverbände hat die Implementierung des „Arbeitsthemas“ in die Debatten um die Digitalisierung der Produktion weiter forciert. Diese Expertise hat sich zum Ziel gesetzt, die vorliegenden Publikationen und Praxisbeispiele zum Wandel von Arbeit und Beschäftigung in der Industrie 4.0 zu systematisieren und auszuwerten. Unsere Perspektive richtet sich auf die Entwicklungsperspektiven und neuen Herausforderungen von Industriearbeit in ihren vielfältigen Facetten und Erscheinungsformen. Der Beitrag re-

flektiert zunächst die aktuelle Debatte um Begriff und Stellenwert der Industrie 4.0 (Kapitel 2). Anschließend werden die laufenden Forschungsaktivitäten und Unternehmensprojekte bilanziert und mit Blick auf den Wandel der Arbeit im Kontext Industrie 4.0 ausgewertet (Kapitel 3). Im folgenden Abschnitt wird vertieft auf ausgewählte Handlungsfelder von Industriearbeit (u. a. Beschäftigungsperspektiven, Arbeitsorganisation, Qualifizierungsanforderungen) eingegangen (Kapitel 4). Abschließend sollen einige generelle Überlegungen zum derzeitigen Forschungsstand und den vorliegenden Trendaussagen formuliert werden.

2. Industrie 4.0: Begrifflichkeiten und konzeptionelle Einbettung

Ein Vorläufer der Industrie-4.0-Debatte war die vertiefte Auseinandersetzung in Politik, Wissenschaft und Wirtschaft mit dem weltweiten Megatrend der intelligenten Verknüpfung von Internetanwendungen und realen Produkten bzw. Objekten. Das „Internet der Dinge“, „digitales Produktgedächtnis“ oder „cyberphysische Systeme“ sind gängige Begrifflichkeiten in diesem Kontext, die die zunehmende Integration physischer und digitaler Prozesse in Arbeits-, Produktions- und Lebenswelten beschreiben sollen.² In einer frühen acatech-Studie (acatech 2011; Geisberger/Broy 2012), an der diverse Großunternehmen, KMU, Forschungseinrichtungen und Verbände beteiligt waren, wurde noch unter dem Begriff „Cyber-Physical Systems“ die Verknüpfung von eingebetteten Systemen mit webbasierten Diensten untersucht und auf dieser Basis konkrete Handlungsfelder abgeleitet. Ende 2011 wurde von der Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft-Wissenschaft (FU) ein Arbeitskreis eingesetzt, der weiterführende Umsetzungsempfehlungen erarbeiten sollte und dabei

² Der Begriff „Internet of Things“ wird Kevin Ashton (2009) vom MIT zugeschrieben (vgl. auch Fleisch/Mattern 2005; Bullinger/ten Hompel 2007; Uckelmann et al. 2011), das „digitale Produktgedächtnis“ ist die Bezeichnung der Innovationsallianz (www.semпром.de, Wahlster 2007), die Schlüsseltechnologien für das Internet der Dinge entwickelt, und der Begriff „cyber-physische Systeme“ wurde von Helen Gill (2006) von der National Science Foundation (NSF) eingeführt. In einer Konkretisierung von CPS wird vielerorts von cyberphysischen *Produktionssystemen* (CPPS) gesprochen.

anstelle des „sperrigen Begriffs“ des Cyber-Physical Systems (Henning Kagermann im Interview zum 30. Deutschen Logistik-Kongress) die Entwicklungen unter dem Schlagwort „Industrie 4.0“ in den Blick genommen hat (Kagermann et al. 2011, Forschungsunion 2012a, 2012b).

Der Begriff „Industrie 4.0“ in technologiezentrierter Perspektive

Das Schlagwort Industrie 4.0 steht in seiner weiten Verwendung für eine technologieinduzierte und -zentrierte Vision zukünftiger Automatisierung und Virtualisierung industrieller Produktionssysteme. Eine feste Definition existiert dabei nicht; vielmehr ist die Anzahl der Begriffsbestimmungen zu Industrie 4.0 in den letzten Jahren deutlich angestiegen. Viele Publikationen und Statements verweisen auf die „Arbeitsdefinition“ der „Plattform Industrie 4.0“³ (2013):

„Der Begriff Industrie 4.0 steht für die vierte industrielle Revolution, einer neuen Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten. Dieser Zyklus orientiert sich an den zunehmend individualisierten Kundenwünschen und erstreckt sich von der Idee, dem Auftrag über

³ Die „Plattform Industrie 4.0“ wurde von den Branchenverbänden BITKOM, VDMA und ZVEI im Kontext der Hannover Messe 2013 vorgestellt. Sie ist als ein Ergebnis der Umsetzungsempfehlungen von Forschungsunion und acatech eingerichtet worden. Ziel der Plattform ist, die wirtschaftliche Umsetzung der Vision der Industrie 4.0 zu fördern und hierbei branchenübergreifende Handlungsfelder und neue Kooperationsformen zwischen den beteiligten Akteuren aufzuzeigen. Nach einer Umstrukturierung im Frühjahr 2015 ist die Plattform Industrie 4.0 neu ausgerichtet und auf eine breitere politische und gesellschaftliche Basis gestellt worden. Ein Schwerpunktthema der Plattform ist „Arbeit, Aus- und Weiterbildung“ (<http://www.bmwi.de/DE/Themen/Industrie/industrie-4-0.html>).

die Entwicklung und Fertigung, die Auslieferung eines Produkts an den Endkunden bis hin zum Recycling, einschließlich der damit verbundenen Dienstleistungen. Basis ist die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit durch Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen sowie die Fähigkeit, aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten. Durch die Verbindung von Menschen, Objekten und Systemen entstehen dynamische, echtzeitoptimierte und selbst organisierende, unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke, die sich nach unterschiedlichen Kriterien wie bspw. Kosten, Verfügbarkeit und Ressourcenverbrauch optimieren lassen.“

Die Betonung liegt in dieser Charakterisierung auf einer Abfolge disruptiver Industrieentwicklung sowie der prozesszentrierten Organisation der Wertschöpfungskette und echtzeitfähigen Vernetzung der beteiligten „Instanzen“ von Mensch, Objekt und System. Zu diesen Aspekten einige kurze Anmerkungen:

Mit der „vierten industriellen Revolution“ wird auf die Abfolge von zentralen Entwicklungsstufen der industriellen Produktion verwiesen, die sich auf der Basis technischer bzw. technologischer Innovationen in großen Umbrüchen („industriellen Revolutionen“) vollzogen haben: Nach der *Mechanisierung* Ende des 18. Jahrhunderts durch Wasser- und Dampfkraft (erste industrielle Revolution), der *Elektrifizierung* und Nutzung der Massenproduktion zu Beginn des 20. Jahrhunderts (zweite industrielle Revolution) sowie der *Informatisierung* und Automatisierung von Produktionsprozessen seit den 1970er Jahren (dritte industrielle Revolution) stehe die deutsche Wirtschaft nun vor einer neuen industriellen Revolution: der Industrie 4.0. Die Differenzierung von vier Hauptstufen industriegeschichtlicher Entwicklung bleibt in dieser Darstellung auf die Erfindung und Implementierung neuer Antriebstechniken und Fertigungstechnologien der Produktion beschränkt⁴. In einer industriesoziologischen Perspektive ist dies durchaus zu hinterfragen: Mit Müller-Jentsch (2007, S. 81f.) lassen sich Industri-

⁴ Siehe auch Dombrowski et al. (2014) zu „Revolutionen“ in der Automobilindustrie.

elle Revolutionen weder auf technische Revolutionen noch auf Revolutionen der hauptsächlich Energiebasis (Dampf, Elektrizität, Atomkraft etc.) reduzieren. Vielmehr verweisen sie auf Umbrüche des gesamten Produktionssystems, zu denen neben der Technik auch die Arbeitskräfte und ihre Qualifikationen sowie die Organisationsformen der Arbeit zählen:

„Über rein technische Revolutionen gehen sie insofern hinaus, als sie nicht nur qualitative Neuerungen in der Technologie der Werkzeuge, Maschinen und Produktionsverfahren bewirken, sondern gleichzeitig den Wandel von Arbeitskräftestrukturen und Fachqualifikationen, von Arbeits- und Gütermärkten, von Formen der Arbeitsorganisation und der Managementkontrolle einschließen. Sie wälzen, mit anderen Worten, nicht nur technische Verfahren und den Charakter der produktiven Arbeit, sondern auch soziale Verhältnisse um.“ (ebd., S. 82)

Als Beispiele hierfür können die „soziale Frage“ der ersten industriellen Revolution, das Problem der „Entfremdung“ von Arbeit in der industriellen Massenproduktion sowie die vielfältigen „Entgrenzungsprozesse“ in Arbeit und Organisation als Folge der dritten, digitalen Industrierevolution angeführt werden. Diese kritische Perspektive bleibt in den gegenwärtigen Debatten zur Industrie 4.0 jedoch unterbelichtet und findet erstaunlicherweise auch in den bisherigen arbeits- und sozialwissenschaftlichen Beiträgen kaum eine nennenswerte Beachtung.

In der zitierten Definition zu Industrie 4.0 wird das Produkt und seine prozesszentrierte und unternehmensübergreifende Bearbeitung in das Zentrum der Betrachtung gerückt. Auf der Basis einer „feingranularen Synchronisation zwischen digitalem Modell und der physischen Realität“ (Kagermann et al. 2011, S. 2) sollen schnelle Reaktionen auf veränderte Marktanforderungen ermöglicht und auch Kleinserien in der Massenfabrikation rentabler werden. Die informationstechnologische Vernetzung der an der Wertschöpfung beteiligten „Instanzen“ und die Steuerung über prozessgenerierte Daten heben die dominante technologiezentrierte Perspektive der Industrie-4.0-Debatte hervor, die arbeits- und organisationsbezogene Gestaltungsparameter vernachlässigt (vgl. Deuse et al. 2015). Die Verknüpfung von Beschäftigten, Produkten und Objekten zu selbstorganisierenden

Systemen ist jedoch ein hochkomplexer Prozess, der von vielen „Unge-
wissheitszonen“ (Crozier/Friedberg 1993, S. 43) flankiert wird. Die Gren-
zen eines technologischen Determinismus betreffen z. B. die erheblichen
Anforderungen an die Feinabstimmung bei der Integration neuer Technolo-
gien in laufende Produktionsprozesse oder bei dem Management und der
(Selbst-)Organisation von überbetrieblichen Wertschöpfungsketten, die von
unterschiedlichen Interessenlagen und (Macht-)Ressourcen der beteiligten
Akteure gekennzeichnet sind.

Konzeptionelle Perspektive und forschungspolitische Herausforderungen

In der Perspektive sozio-technischer Systemgestaltung greifen einige Ar-
beiten der arbeits- und sozialwissenschaftlichen Forschung die Fragen nach
der Kontrolle von autonomen Systemen, den Interaktionen zwischen
Mensch und Technik sowie den Ausformungen intelligenter Produktions-
systeme auf (z. B. Grote 2009; ten Hompel/Hirsch-Kreinsen 2014). Sie
verweisen u. a. auf ein zentrales Problem der Produktionsarbeit an automa-
tischen Systemen: Arbeitskräfte müssen in der Lage sein, autonome Systeme
zu kontrollieren und damit die Verantwortung über den Systembetrieb
zu übernehmen (Grote 2009). Dies erfordere, die Gestaltung der Mensch-
Technik-Interaktion in eine neue Qualität des Gesamtsystems zu überfüh-
ren. Ähnlich gehen ten Hompel und Hirsch-Kreinsen (2014) in der Perspek-
tive eines „social manufacturing“ davon aus, dass die Integration der neuen
Technologie und die dadurch induzierten personellen und organisatorischen
Veränderungen grundsätzlich den Blick auf das Gesamtsystem der Produk-
tion und die hier wirksamen Interdependenzen erfordern. Hierbei wird nicht
nur nach der Funktionsweise und den Auswirkungen technischer Innovati-
onen gefragt, sondern es werden Konfigurationen aus technischen, organi-
satorischen und sozialen Kontexten ins Zentrum der Analyse gerückt. Dar-
über hinaus steht das Gesamtsystem stets in enger Wechselwirkung mit
seinen Umweltbedingungen und der übergeordneten Wertschöpfungskette.
Diese konzeptionelle Perspektive knüpft an ältere Arbeiten zum Zusam-

menspiel technischer und nicht-technischer Elemente zur Analyse im Kontext des sozio-technischen Systems an (Trist/Bamforth 1951; Rice 1963). Mit diesem Konzept wird vermieden, allein nach der Funktionsweise und den Wandlungsprozessen einzelner technischer und nicht-technischer Elemente (u. a. der Organisation und des Personaleinsatzes) zu fragen, sondern es werden die Wechselwirkung und die Kombination der Elemente als technisch-soziale Konfigurationen ins Zentrum der Analyse gerückt. Aus diesen Gründen wird auch in der aktuellen Diskussion um Industrie 4.0 auf das sozio-technische Systemkonzept programmatisch Bezug genommen (Forschungsunion/acatech 2013: 40ff; Botthof/Hartmann 2015a.).

In dieser Perspektive und angesichts der vielfältigen, bislang ungeklärten Problembereiche und Herausforderungen der Entwicklung und Diffusion des Industrie-4.0-Ansatzes lassen sich einige generelle forschungspolitische Herausforderungen benennen:

- In *konzeptioneller Hinsicht* geht es zum einen um die Konkretisierung und Ausarbeitung alternativer sozio-technischer Szenarien zur Analyse und Simulation der Dynamik und der Steuerungsprozesse in Industrie 4.0-Systemen in unterschiedlichen Anwendungsfeldern und funktionalen Kontexten. Zum anderen ist die Weiterentwicklung und Präzisierung eines interdisziplinären Verständnisses von Industrie 4.0-Systemen durch die Analyse der technischen, ökonomischen, sozialen bzw. arbeitspolitischen Konstitutionsbedingungen sozio-technischer Systemkonfigurationen erforderlich. Schließlich steht die Evaluation und die Bewertung alternativer sozio-technischer Szenarien für die Entwicklungspfade von industrieller Produktion und Industriearbeit aus.
- In einer *anwendungsorientierten Perspektive* müssen Entwicklungsperspektiven und Anwendungsbereiche von Industrie 4.0-Systemen weiter analysiert werden; dabei geht es auch um Fragen nach den produktionsstrukturellen und betrieblichen Grenzen der Implementierung. Dies umfasst zum einen die Erforschung und Begleitung von Einführungsprozessen der neuen Systeme hinsichtlich möglicher Potentiale, Barrieren und Widerstände. Zum anderen zielt es auf die Analyse der jeweiligen Arbeitsformen, arbeitsorganisatorischen Muster und Qualifikationsbedarfe, die mit diesen Einführungsprozessen in ihren verschiedenen Di-

mensionen und unterschiedlichen Systemkontexten verbunden sind. In diesem Kontext rücken Fragen zur Qualität von Industriearbeit ins Zentrum des Interesses.

- Letztlich ergeben sich auf *der gesellschaftlichen Makroebene* Anforderungen an eine generelle Abschätzung der Folgen von Industrie 4.0 für Wirtschaftsstrukturen, Arbeitsmarkt und Berufsbildung. Diese Erkenntnisse sollen in laufende arbeits-, wirtschafts- und innovationspolitische Debatten über die Ausgestaltung, Diffusion und Weiterentwicklung des Konzepts Industrie 4.0 und anpassungsintelligenter Produktionssysteme auf nationaler und internationaler Ebene eingebracht werden.

3. Übersicht über laufende Aktivitäten zu Industrie 4.0

Das Konzept der Industrie 4.0 wird in den Industrieunternehmen weiter diffundieren und Wandlungsprozesse bisheriger Produktionsstrukturen anstoßen. Dafür sprechen zum einen viele Anstrengungen der politischen Entscheidungsträger, durch die Industrie 4.0 Deutschland zum Leitanbieter dieser Technologien zu machen und als zukünftigen Produktionsstandort zu positionieren. Hier wird in Forschungsprogramme investiert, um die „Technologieführerschaft“ der deutschen Industrie zu fördern (BMBF 2014; BMWi 2014). Zum anderen werden Modellfabriken und Unternehmensprojekte konstituiert, die bundesweit an der Weiterentwicklung der neuen Produktionstechnologien und deren betrieblichen Umsetzungen arbeiten (Anderl 2015). Im nächsten Abschnitt erfolgt eine Übersicht über laufende Aktivitäten, die insbesondere den Blick darauf lenken will, inwieweit das Thema Perspektiven der Industriearbeit in den abgeschlossenen und laufenden Projekten⁵ explizit aufgegriffen wird.

3.1 FORSCHUNGSAKTIVITÄTEN ZUR INDUSTRIE 4.0

Von der Bundesregierung und den Bundesministerien sind verschiedene Forschungsprogramme angestoßen worden, um den Wandel in die Industrie 4.0 zu erforschen und die Kooperation zwischen Entwickler- und Anwen-

⁵ Siehe zur Übersicht auch die Auflistung der Projekte im Anhang dieser Expertise (Tabelle A1).

derunternehmen und den einschlägigen wissenschaftlichen Disziplinen zu fördern. Im Rahmen des Forschungsprogramms zu „*Autonomik für Industrie 4.0*“, das vom BMWi seit 2013 gefördert wird (<http://www.autonomik4.de>; BMWi 2014), beschäftigen sich 14 Forschungsprojekte mit der fortschreitenden Digitalisierung der produzierenden Wirtschaft in Deutschland. Das Fördervolumen beträgt insgesamt rund 40 Mio. Euro.

Unter den vier Querschnittsthemen, die das Programm begleitend verfolgt, befindet sich auch das Thema „Zukunft der Arbeit“. Hierbei sollen neben den Kommunikations- und Kooperationsstrukturen in und zwischen den Funktionsbereichen der Unternehmens die „Partizipationsmöglichkeiten und Handlungsspielräume, anspruchsvolle Aufgaben, Lernmöglichkeiten bei der Arbeit, Transparenz bezüglich der Arbeitsabläufe auch jenseits des eigenen Arbeitsplatzes und der eigenen Abteilung sowie eine ausgeprägte Informations- und Feedbackkultur“ (BMWi 2014, S. 40) genauer analysiert werden. Über diese Bedingungen entscheidet in erster Linie die Organisationsphilosophie des Unternehmens. Dazu sollen der Stand von Technik und Wissenschaft aufbereitet werden, Beispiele guter Praxis aus den Projekten aufgezeigt werden und ein Dialog zwischen den Forschungsprojekten und den Sozialpartnern angeregt werden.

In einzelnen Projekten werden Facetten des Themas eingehender behandelt, wobei insbesondere die Schnittstelle zwischen Beschäftigten und neuen Technologien im Zentrum steht:

- Im Projekt *APPsist* wird ein ganzheitlicher Ansatz für die Interaktion zwischen Mensch und Maschine in der Produktion entwickelt. Hier geht es insbesondere um die Wissensgenerierung der Beschäftigten und Unterstützung durch softwarebasierte Assistenzsysteme. Im Projekt *INSA* geht es um neue Schnittstellen der Mensch-Roboter-Kooperation und Gefährdungspotentiale für Mitarbeiter, die durch Roboterbewegungen entstehen können.
- Das Projekt *motionEAP* entwickelt Technologien der Bewegungserkennung und geht dabei psychologischen und arbeitsethischen Fragen nach.
- *MANUSERV* will bislang manuell durchgeführte Prozesse mit Hilfe von Servicerobotern automatisieren. Hier geht es vorrangig um die Eliminierung belastender Tätigkeiten wie bei der Überkopparbeit.

- Mit dem neuen Förderprogramm „smart service welt“, das vom BMWi mit rund 50 Mio. Euro gefördert wird, sollen cloudbasierte Plattformangebote und intelligente Vernetzungen von Produktion, Wirtschaft und Privathaushalten entwickelt werden.

Das BMBF verfolgt mit mehreren Forschungsprogrammen das Thema Industrie 4.0 und hat unter dem Programmtitel „Industrie 4.0 – Innovationen für die Produktion von morgen“ seit 2012 verschiedene Forschungsprogramme mit einem Fördervolumen von rund 120 Mio. Euro ausgerufen (BMBF 2014). Hierzu zählen die Programme „*Virtuelle Techniken für die Fabrik der Zukunft*“ (Projekträger: DLR) und die „*Intelligente Vernetzung in der Produktion – Ein Beitrag zum Zukunftsprojekt Industrie 4.0*“ (Projekträger: PFT). In diesen Programmen sollen neben der Technik auch organisatorische Konsequenzen der Industrie 4.0 in den Blick genommen werden. Themen sind u. a. Beteiligungsspielräume für Beschäftigte, Zusammenwirken zwischen Mensch, Maschine und IT-Systemen, Arbeitsorganisation, Weiterbildung und Kompetenzentwicklung, Führung, Organisations- und Unternehmenskultur sowie ganzheitliche Forschungsansätze.

„Bei den drei Verbundprojekten IWEPRO, Metamo-FAB und SCPS stehen genau diese Fragestellungen im Fokus – eng gekoppelt mit der Erarbeitung konkreter Demonstratorlösungen für Gestaltung und Einsatz Cyber-Physischer Produktionssysteme (CPPS). In fachdisziplinenübergreifender Zusammenarbeit und mit der Beteiligung der „Betroffenen“ von Beginn an werden Pilotlösungen für CPPS in der Werkstattfertigung im Automobilbau und im Bereich Instandhaltung sowie für den Aufbau von intelligenten und vernetzten Fabriken in der Halbleiterindustrie, in der Automatisierungstechnik und in der Herstellung elektrotechnischer Bauelemente erarbeitet.“ (BMBF 2014, S. 4)

Ein weiterer Schwerpunkt der Industrie-4.0-Forschung des BMBF ist das Spitzencluster „*Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe (it's OWL)*“. Hier wird seit 2012 auf regionaler Ebene die Kooperation von (mittelständischen) Technologieführern und Forschungseinrichtungen zur Entwicklung einer neuen Technologieplattform gefördert (ebd., S. 68ff.).

Insgesamt sollen 47 Projekte umgesetzt werden, davon 33 Innovationsprojekte, fünf Querschnittsprojekte und neun Nachhaltigkeitsmaßnahmen. Zu den Querschnittsprojekten zählt das Thema „Mensch-Maschine-Interaktion“; zu den Nachhaltigkeitsmaßnahmen die Bereiche „Technologieakzeptanz“ und „Aus- und Weiterbildung“. So sollen u. a. durch die Maßnahme *itsOWL-BiMo* (Bildungsmonitor) neue Weiterbildungsangebote und -instrumente für Fachkräfte entwickelt oder im Projekt *itsOWL-TA* konkrete Handlungsempfehlungen und Beratungsangebote für eine human- und sozialverträgliche Technikgestaltung erarbeitet werden.

Auf der international vergleichenden Ebene ist das Thema Industrie 4.0 eingebettet in die „*transnationale Produktionsforschung in Europa*“ (ERANET-MANUNET) sowie im *Benchmark-Projekt* INBENZHAP. Letzteres betrachtet aus einer Perspektive sozio-technischer Systeme die Dimensionen Mensch, Organisation, Technik und Rahmenbedingungen. Auf europäischer Ebene werden Projekte zur Digitalisierung der Produktion auch im Kontext des aktuellen *Forschungsrahmenprogramms* „*Horizon 2020*“ forciert.⁶

⁶ Zur Übersicht europaweiter Initiativen im Feld Industrie 4.0 (EU/EFRA 2015, S. 2). Die EU versucht darüber hinaus mit Hilfe einer Arbeitsgruppe und der Industrieinitiative EFFRA – European Factories of the Future Research Association die Kooperation zwischen nationalen Forschungsinitiativen im Feld „Digital Manufacturing“ zu unterstützen (ebd.). US-amerikanische Forschungsaktivitäten werden im „Advanced Manufacturing Program“ (<http://www.manufacturing.gov>) gebündelt, einem nationalen Forschungsnetzwerk mit einer den deutschen Fraunhofer-Instituten vergleichbaren Struktur, sowie unter dem Schlagwort „Industrial Internet“ geführt (vgl. Mattauch 2014). Letzteres wurde von dem amerikanischen Industriekonzern General Electric geprägt, der unter diesem Label eine konzernübergreifend Geschäftsstrategie forciert (vgl. GE 2012) und Gründungsmitglied des ICC – Industrial Internet Consortiums ist. Das ICC ist ein seit 2014 bestehender Zusammenschluss aus vor allem US-amerikanischen Unternehmen, Forschungsinstituten und staatlichen Institutionen zur Vernetzung bei der Entwicklung und Umsetzung von datengestützten,

Mitte des Jahres 2014 wurden diese Forschungsprogramme des BMBF um die Ausschreibung „*Industrie 4.0 – Forschung auf den betrieblichen Hallenboden*“ ergänzt. Diese zielt darauf ab, produzierende Unternehmen des Mittelstandes zu unterstützen, Lösungen für die Planung, Gestaltung und Steuerung von Wertschöpfungsnetzen auf CPPS-Basis zu entwickeln. Hierbei sollen alle an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen der sozio-technischen Wertschöpfungsnetze berücksichtigt werden. Hierbei liegt ein Schwerpunkt auf den Kompetenzen der Beschäftigten in der Produktion und deren (neue) Rollen und Funktionen innerhalb der Wertschöpfungsketten. Im Frühjahr 2015 stellte das BMBF schließlich den neuen *Forschungsschwerpunkt* „*Arbeit in der digitalisierten Welt*“ vor, der als Teil des Dachprogramms „*Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen*“ auf die Erforschung der Diffusion von digitalen Werkzeugen und Medien in allen Branchen und Erwerbsarbeitsbereichen abzielt.

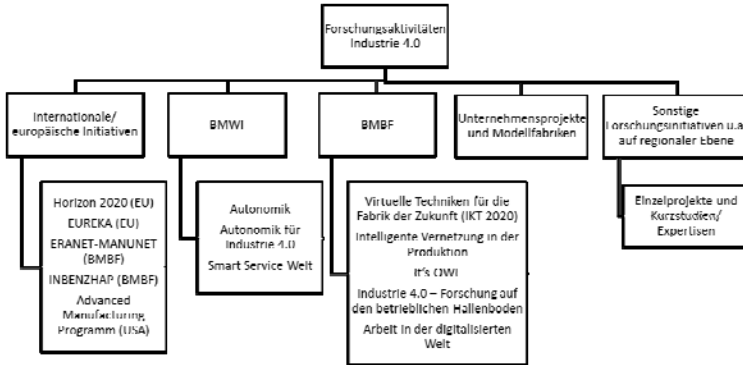
Darüber hinaus existieren auch auf der regionalen Ebene zahlreiche Aktivitäten zur Förderung von Industrie-4.0-Systemen in der Wirtschaft. Unter „*NRW 4.0: Menschen verbinden. MegaBits. MegaHerz. MegaStark*“ wird z. B. in Nordrhein-Westfalen eine landespolitische Strategie zur Gestaltung des digitalen Wandels gefasst, die sich auf zehn Themenfelder bezieht und unterschiedliche Maßnahmen umfasst (Landesregierung NRW 2015). Die Industrie 4.0 wird als großer Wachstumstreiber für die nordrhein-westfälische Wirtschaft gesehen. So könnten „bis 2025 in den Kernbranchen des Landes rund 15,6 Mrd. Euro an zusätzlicher Wertschöpfung und Chancen für zusätzliches Wachstum entstehen“ (ebd., S. 5). Zu den wesentlichen Erfolgsfaktoren zählen hierbei die Neudefinition der Anforderungen an die Mitarbeiterqualifikation, der Ausbau eines Breitbandnetzes und die Reformulierung von Unternehmensstrategien. Eine Studie des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) (2014) befasst sich mit den Entwicklungsperspektiven der Industrie 4.0 in Baden-

intelligenten Industrieenanwendungen sowie dem Austausch von „best practices“ (ICC 2015).

Württemberg. Das Thema „Arbeit“ findet in dieser Studie jedoch nur am Rande eine Erwähnung.

Neben den skizzierten Forschungsprogrammen existieren auf nationaler und auf internationaler Ebene weitere Vorhaben, die sich dem Leitthema Industrie 4.0 zuordnen lassen (siehe auch Anhang). Das Spektrum dieser Forschungsaktivitäten reicht von einzelnen Expertisen über anwendungsorientierte Forschung bis zu theoretischen Grundlagenarbeiten (u. a. im Bereich der Datensicherheit). In fachlicher Sicht lassen die Arbeiten insgesamt eher technikzentrierte Herangehensweisen erkennen. Die folgende Abbildung soll zur besseren Übersicht die laufenden Aktivitäten aufzeigen, ohne – insbesondere aufgrund der hohen Dynamik der Industrie-4.0-Debatte – einen Anspruch auf Vollständigkeit zu verfolgen.

Abb. 1: Forschungsaktivitäten zu Industrie 4.0



Quelle: eigene Darstellung

3.2 PRAXISBEISPIELE UND MODELLFABRIKEN ZU INDUSTRIE 4.0

Das Thema Industrie 4.0 steht als Vision nicht nur auf der Agenda von Wissenschaft, Verbänden und politischen Entscheidungsträgern, sondern diffundiert in die Unternehmenswelt, die damit Wachstumshoffnungen, Produktivitätssprünge und Innovationsführerschaft verbindet. Große Consulting-Unternehmen legen ihre Feldstudien zu Industrie 4.0 vor und raten ihren Adressaten, dem Thema „zwingend einen Spitzenplatz auf der Agenda von Vorständen und Geschäftsführern deutscher Industrieunternehmen“ (PWC 2014, S. 12) einzuräumen. An vielfältigen Chancen und Verheißungen, die die Industrie 4.0 für Unternehmen in Aussicht stellt, mangelt es der Debatte folglich nicht (ebd.; Roland Berger 2014; Deutsche Bank Research 2014; Kagermann 2014; BITKOM/Fraunhofer IAO 2014; The Economist

2014, BCG 2015): Kostensenkungspotentiale, Sicherung von Wettbewerbsvorteilen angesichts der globalen Herausforderungen, Etablierung neuer Geschäftsmodelle, Besetzung neuer Märkte etc.

Den deutschen Industrieunternehmen werden aufgrund ihrer Kompetenzen u. a. im Maschinen- und Anlagenbau, der Mikrosystemtechnik und der Mechatronik große Potentiale bei der Anwendung und Entwicklung von Industrie-4.0-Systemen (am Beispiel von Baden-Württemberg, Fraunhofer IPA 2014) und in der Konsequenz eine Position als „Frontrunner“ im internationalen Benchmark (Roland Berger 2014, S. 16) eingeräumt. So verwundert es nicht, dass in Unternehmensumfragen Industrie 4.0 auf breites Interesse stößt und mit hohen Erwartungen u. a. zur Optimierung der Wertschöpfungsnetzwerke verbunden sind (Schlund et al. 2014). Gleichzeitig spricht einiges dafür, dass zwischen den konstatierten Potentialen und der konkreten Umsetzungspraxis von Industrie-4.0-Systemen noch ein große Lücke klafft.

Im Zentrum der Industrie 4.0 soll die *smarte Fabrik* stehen, in der die vernetzte und kundenindividuelle Produktion intelligenter Produkte auf der Basis von CPPS, digitaler Schnittstellen (z. B. RFID), Cloud-Strukturen, softwaregestützte Simulationen von Produktionsabläufen, fahrerlosen Transport- und Logistiksystemen und multimodalen Mensch-Maschine-Schnittstellen erfolgen soll (Broy 2010; Gausemeier 2013; ten Hompel 2014). Deutlich wird vor allem, dass sich diese „Informationsfabrik“ (Stark et al. 2015) vorrangig an ihrer technischen Infrastruktur orientiert.

Hierbei sind zwei Charakteristika von zentraler Bedeutung: Zum einen die durchgängige internetbasierte *Vernetzung*, sowohl zwischen Produktion und weiteren Funktionsbereichen wie dem Engineering bis hin zu ganzen Wertschöpfungsketten, als auch von Mensch und Maschine sowie deren Steuerung über Schnittstellen (z. B. Smartphones). Zum anderen wird auf die Fähigkeit von Maschinen und Produktionsprozessen zur *Selbstoptimierung* abgestellt. Bei einer derart weitreichenden Reorganisation bisheriger Produktionsstrukturen verwundert es nicht, dass es sich im Gesamtbild noch um eine Zukunftsvision handelt, deren Entwicklungspotentiale und Realisierungsmöglichkeiten noch nicht abzuschätzen sind. Jedoch finden sich konkrete Hinweise und Modellprojekte in den Industrieunternehmen,

die als erste Bausteine in die Industrie 4.0 charakterisiert werden können (siehe auch die Anwendungsbeispiele in Bauernhansl et al. 2014, S. 49ff.). Aufgrund der Vielzahl an Unternehmensprojekten, die sich mittlerweile im Kontext von Industrie 4.0 verorten lassen, kann Tabelle 1 nur einen Ausschnitt der Bandbreite aktueller Vorhaben zur intelligenten Produktion wiedergeben. Sie stützt sich dabei im Wesentlichen auf Sekundärrecherchen von Veröffentlichungen in Fachpublikationen und Periodika, Projektbeschreibungen einschlägiger Forschungsverbände sowie Selbstdarstellungen von Unternehmen.

Des Weiteren werden konkrete Anwendungsfelder in Modellfabriken oder anhand von Demonstratoren erprobt (vgl. Tabelle A2 im Anhang). Dabei handelt es sich um Einrichtungen, die in Kooperation von Wissenschaft und Industrie die Bausteine der Industrie-4.0-Fabriken modellhaft erproben und dabei Anwendungsszenarien intelligenter Produktionsbedingungen analysieren. Insgesamt lassen sich sowohl prototypenhafte Produktionsanlagen auf „der grünen Wiese“ ausmachen als auch Versuche, intelligente, selbststeuernde Produktionsmodulen mit etablierten Anlagen zu verbinden. Das Interesse richtet sich dabei vorrangig auf technische und softwarebasierte Machbarkeitsstudien. Es werden aber auch Fragen nach den Qualifizierungsanforderungen von Produktionsmitarbeitern, der Arbeitsergonomie (z. B. Interaktion mit Robotern) sowie dem Umgang mit digitalen Assistenzsystemen (u. a. mit Datenbrillen und digitalen Steuerungsinstrumenten wie Tablets) verfolgt.

Tab. 1: Betriebliche Umsetzungsprojekte zu Industrie-4.0-Anwendungen

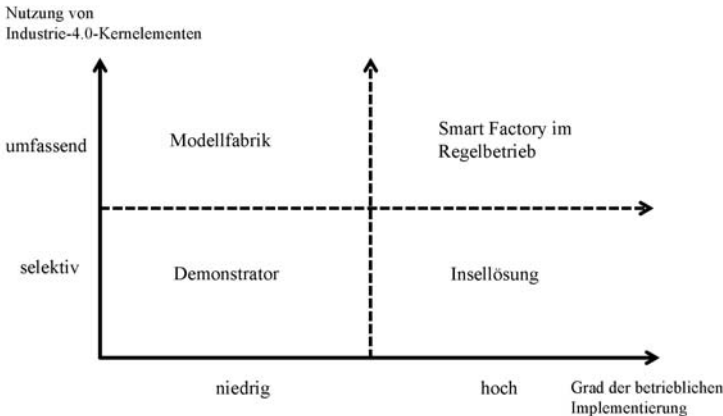
Name	Projektbeschreibung
Branche	
Adolf Würth GmbH & Co. KG Würth Logistik	Die Materialversorgung von Arbeitsplätzen wird mit videoüberwachten Werkzeugkästen digitalisiert, die selbstständig Schrauben etc. nachbestellen.
BMW AG Automobilbau	Im Werk in Landshut lassen Mitarbeiter zur Qualitätssicherung von Stoßfängern per Gestenerkennung die Materialqualität digital überprüfen und diese automatisch dokumentieren. Erachtet der Mitarbeiter das Teil für gut, wird es per Wischgeste von Robotern weitertransportiert. Ein intelligentes Softwaresystem misst den Energieverbrauch der Produktionsroboter, um frühzeitig Ausfälle und Verschleiß festzustellen und um Reparaturmaßnahmen einzuleiten. Die Datenauswertung wird zentral von einem Server in Deutschland ausgeführt.
Bosch -Rexroth AG Automobil	Im Werk in Homburg/Saar werden „sprechende“ Hydraulikventile für Einspritzdüsen produziert, die durch RFID-Schleusen erkannt und in die entsprechenden Fertigungsprozesse befördert werden. Über Schnittstellen erhalten die Mitarbeiter die jeweiligen Produktionsanweisungen.
Limtronik GmbH Elektrotechnik	In kundenindividuellen Losgrößen werden elektronische Leiterplatten mit Hilfe digitalisierter Produktionsstrukturen hergestellt.
Phoenix Contact GmbH & Co. KG Elektrotechnik	Automatisierte Beschriftung von elektronischen Steuerungsmodulen, die ihre Information auf RFID-Chips tragen, können bei Ausfällen eine Warnung sowie dessen Ursache melden.
Rittal GmbH & Co. KG Elektrotechnik	Der Fertigungsroboter „Averex“ übernimmt die vormals manuelle Verdrahtung von Schaltschränken anhand kundenindividueller CAD-Daten (Losgröße=1) bei gleichzeitig selbstständiger Beschaffung der korrekten Kabel.
SEW-Eurodrive GmbH & Co KG Maschinenbau (Antriebe)	Im Werke in Bruchsal sowie Graben-Neudorf wird der Materialtransport über fahrerlose Transportfahrzeuge als „mitlaufende Werkbank“ in modularen Fertigungsinseln realisiert (Soder 2014 in Bauernhansl et al., S. 85ff.)
Siemens AG Elektrotechnik	Im Elektronikwerk Amberg (EWA) werden speicherprogrammierbare Maschinensteuerungen, sogenannte Leiterplatten, bei hohem Automatisierungsgrad und geringer

	Fehlerquote durch digitale Prüfmechanismen hergestellt. Die Leiterplatten kommunizieren über Barcodes mit den Maschinen und senden Informationen über ihre Bestückung.
Still GmbH Logistik	Still erprobt in Kooperation mit dem Fraunhofer IML einen autonomen, selbstfahrenden Logistikroboter, der über Sensoren Regale, Paletten sowie Hindernisse erkennt und sich über Tablets und cloudbasierte Software konfigurieren lässt.
Trumpf GmbH + Co. KG Maschinenbau	Die Steuerung der Fertigung ist für Produktionsmitarbeiter über Tablets zugänglich, über die auch Videobilder von dem Maschinenzustand abgerufen werden können, ohne direkt vor der Maschine stehen zu müssen.
Wittenstein AG Maschinen- und Anlagenbau	In der Fabrik in Fellbach wird der sogenannte „Milchmann“, ein Mitarbeiter des Materialtransports, über Tablets über den aktuellen Bedarf an abzuholenden oder nachzurüstenden Teilen per RFID-Information informiert. Am Standort Igersheim-Harthausen werden die Produktionsabläufe zur Herstellung mechatronischer Anlagen sukzessive digitalisiert und auf menschliche Kontrollmöglichkeiten hin ausgelegt.

Quelle: eigene Darstellung nach Unternehmens- und Projektdarstellungen

In der Bilanzierung der Unternehmens- und Modellprojekte wird deutlich, dass sich mit der Vision der Industrie 4.0 bereits konkrete sowie z. T. weitgreifende Umsetzungsbemühungen verbinden lassen. Während sich die Vielzahl der Vorhaben noch eher im Modell- oder Prototypenstatus befindet, weisen einige Lösungen auf bereits markt- bzw. serienreife Strukturen hin. Auf der Anwenderseite sind es insbesondere mittlere und große Industriebetriebe einzelner Branchen (u. a. Elektroindustrie, Automobilbranche, Maschinen- und Anlagenbau), die sich intensiver an den Umsetzungsprojekten beteiligen. Diese werden flankiert von Entwicklerunternehmen der IT-Branche und der Prozessindustrie. Die wesentlichen Anwendungsfelder sind die (Produktions-)Logistik (ten Hompel 2014) und Produktionsbereiche, die ein großes Automatisierungspotential versprechen.

Abb. 2: Implementierung von Industrie-4.0-Elementen



Quelle: eigene Darstellung

Inwiefern diese Anwendungen in die Breite der betrieblichen und überbetrieblichen Wertschöpfungsprozesse implementiert werden oder mittelfristig als Insellösungen fungieren, ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht absehbar. Die beiden analytischen Dimensionen „Grad der betrieblichen Implementierung“ sowie „Nutzung von Industrie-4.0-Kernelementen“ ermöglichen jedoch eine erste Einordnung der laufenden Modell- bzw. Umsetzungsprojekte.

Insgesamt deuten die betrieblichen Projekte auf ein noch verhaltenes, aber steigendes Umsetzungsniveau von Industrie-4.0-Anwendungen. Mögliche Hindernisse einer schnelleren Verbreitung sind die noch fehlende Anschlussfähigkeit an die bestehende Produktionsinfrastruktur (Stichwort: Datenstandards), hohe finanzielle Investitionen, datenschutzrechtliche Fragen oder die unzureichende organisatorische und personell-qualifikatorische Beherrschbarkeit der Anlagen. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch die Studie des Fraunhofer IAO (Spath et al. 2013), die auf den geringen Wissens-, Vorbereitungs- und Umsetzungsstand von Industrie-4.0-Systemen

verweist (ebenso Schlund et al. 2014; DIHK 2015). Die vorliegenden Prognosen sind wenig einheitlich und gehen von einem Zeitraum zwischen 10 und 20 Jahren bis zu einer flächendeckenden Industrie-4.0-Umsetzung aus.

3.3 STUDIEN ZUR ZUKUNFT DER ARBEIT IN DER INDUSTRIE 4.0

Zahlreiche Studien aus arbeits-, ingenieurs- und sozialwissenschaftlichen Disziplinen haben sich in der Vergangenheit – und bereits weit vor der Diskussion um Industrie 4.0 – mit der Einführung neuer technologischer Systeme in der Industrie und den veränderten Bedingungen von Produktionsarbeit befasst (siehe z. B. die Studie von Kinkel et al. (2008) zu Strukturen und Trends der Industriearbeit). Viele dieser Arbeiten befassen sich mit „Vorstufen“ der Digitalisierung der industriellen Produktion und ihren Auswirkungen auf die Aufgabenfelder, die Arbeitsbedingungen und die Beschäftigungsstrukturen der Industriebeschäftigten. Durch die Debatte um die Industrie 4.0 wurde die Thematik in den letzten Jahren erheblich forciert: Die folgende – angesichts der großen und stetig wachsenden Zahl an Veröffentlichungen sicher nicht vollständige – Übersicht fokussiert auf neuere Studien und Publikationen, die explizit den Zusammenhang zwischen Industrie 4.0 und neuen Formen der Produktionsarbeit thematisieren. Diese Arbeiten basieren überwiegend auf Einschätzungen der Autoren oder (quantitativen oder qualitativen) Befragungen ausgewählter Expert/innen von Unternehmen, Fachverbänden, Politik und Wissenschaft, die ihre Einschätzungen zu zukünftigen Entwicklungspfaden von Arbeit in der Industrie 4.0 wiedergeben. Umfassende empirische Erhebungen zum Wandel von Produktionsarbeit unter den Bedingungen der Industrie 4.0 liegen zum gegenwärtigen Zeitpunkt nach unserem Erkenntnisstand nicht vor.

- *Sammelbände*: Auf die Bedeutung, die der Wandel der Industriearbeit in den Debatten zur Industrie 4.0 einnimmt, verweisen zahlreiche Sammelbände, die in jüngster Zeit veröffentlicht wurden und in denen verschiedene Positionen und Blickwinkel aus Wissenschaft, Politik und Wirtschaft zur Zukunft der digitalen Produktionswelt und ihren mögli-

chen Arbeitsfolgen gebündelt werden (Bauernhansl et al. 2014; Schröter 2014; Botthof/Hartmann 2015a; Kersten et al. 2014, Hoffmann/Bogedan 2015; Hirsch-Kreinsen et al. i. E.)

- *Studien/Expertenbefragungen:* In zahlreichen Studien werden Trendaussagen zum möglichen Wandel von Industriearbeit im Kontext von Industrie 4.0 auf der Basis von Expertenaussagen getroffen: Die Studie des Fraunhofer IAO zur *Produktionsarbeit der Zukunft* (Spath et al. 2013) basiert auf einer Breiterehebung von 660 Unternehmen des produzierenden Gewerbes sowie zahlreichen Experteninterviews in betrieblicher Praxis, Wissenschaft und den Verbänden. In einer weiteren Auswertung des Fraunhofer IAO im Auftrag der Unternehmensberatung Ingenics mit dem Titel „*Industrie 4.0 – eine Revolution der Arbeitsgestaltung*“ (Schlund et al. 2014) werden die Trendaussagen (u.a zur Bedeutung von Qualifikation und Kompetenzentwicklung) auf der Basis von 518 befragten Unternehmen gestellt. Deutliche Herausforderungen in der industriellen Produktion sieht auch die Studie zur „*Produktion am Standort Deutschland*“ (FIR 2013; Schuh/Stich 2013), die vom Forschungsinstitut für Rationalisierung (FIR e.V.) der RWTH Aachen gemeinsam mit dem VDMA durchgeführt wird. Hierbei wurden über 80 produzierende Unternehmen aus Deutschland (insb. Maschinen- und Anlagenbau sowie Automobil- und Fahrzeugindustrie) befragt. Auf die Anforderungen der Betriebsräte fokussiert eine Kurzstudie der Technologieberatungsstelle (TBS) des DGB NRW zur „*Industrie 4.0 im Aufbruch*“ (Kleinhempel et al. 2015), die im Auftrag der Hans-Böckler-Stiftung durchgeführt wurde. Hier wurden betriebliche Akteure aus sechs Betrieben des Maschinenbaus bzw. der Elektroindustrie und der Logistikbranche befragt, in denen erste oder weitergehende Ansätze der Umsetzung von Industrie-4.0-Technologien existieren.
- *Branchenstudien:* Weitere Studien fokussieren stärker auf die Entwicklung in einzelnen Branchen und Segmenten des verarbeitenden Gewerbes, die von den Digitalisierungsprozessen in einem besonderen Maße betroffen sein könnten: Vor neuen Herausforderungen steht auch die *Metall- und Elektroindustrie:* In einer Studie des Forschungsinstituts

betriebliche Bildung (Zeller et al. 2010), die insbesondere Betriebe der *Automobil- und Zulieferindustrie* in den Blick nimmt, werden aus einer tätigkeitsbezogenen Perspektive die neuen Qualifikationsbedarfe in den drei Bereichen Maschinenbedienung, Maschinensteuerung und Instandhaltung untersucht. Eine aktuelle Studie der Uni Hohenheim beschäftigt sich mit den Entwicklungsprozessen *im Anlagen- und Maschinenbau* und geht den Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die Beschäftigung und Qualifikationsstrukturen nach (<https://soziologie.uni-hohenheim.de/industrie-4-00>). Malanowski und Brandt (2014) leiten aus Expertengesprächen zur intelligenten Fabrik und modularisierten Produktion deutlich veränderte Qualifikationsanforderungen an die Beschäftigten in der *chemischen Industrie* ab. Windelband et al. (2011) analysieren die Entwicklung von Arbeit im Kontext *vernetzter Logistiksysteme* (in unterschiedlichen Branchen) und sehen in diesem Segment deutliche Umbrüche der Tätigkeiten durch neue Automatisierungstechnologien⁷.

- *Begleitforschung*: Die „*Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*“ (BMWi 2014; Botthof/Hartmann 2015a) ist auch Gegenstand der Begleitforschung des Technologieprogramms „Autonomik für Industrie 4.0“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Diese richtet sich auf Fragen nach der Integration autonomer Systeme in die bestehende Arbeitsorganisation sowie den Auswirkungen neuer Technologien und ihren Gestaltungsanforderungen hinsichtlich Aufgabenzuschreibung, Entwicklung des Leistungsvermögens von Produktionsbeschäftigten und der Mensch-Technik-Interaktion. Hierzu werden die laufenden Projekte des Forschungsprogramms hinsichtlich qualifikations- und arbeitsrelevanter Fragestellungen durchleuchtet.
- *Kommerzielle Studien*: In zahlreichen weiteren Studien steht die Abschätzung der ökonomischen Effekte der Industrie 4.0 im Vordergrund. Hier sei an dieser Stelle auf die Vielzahl von Studien bzw. Expertisen

⁷ Zur Entwicklung von industriellen Tätigkeiten in der Logistikbranche vgl. auch die Beiträge von ten Hompel in Bauernhansl et al. (2014) und Tödter et al. in Botthof/Hartmann (2015a).

von Beratungsunternehmen verwiesen, die sich dem Thema Industrie 4.0 in dieser Perspektive widmen. Hierzu zählen u. a. Studien von Ernst & Young (2015), PWC (2014), McKinsey (2015), MHP Porsche (2014), Staufen AG (2014), Roland Berger (2014), Roland Berger und BDI (2015), Infront und Capital (2015) sowie BCG (2015). Diese sollen an dieser Stelle nicht eingehender behandelt werden, da sie die hier behandelten Themen der Industriearbeit nicht in den Mittelpunkt ihrer Ausführungen stellen. Die Studie von BITKOM und Fraunhofer-IAO zur künftigen volkswirtschaftliche Bedeutung (2014; ähnlich auch Deutsche Bank Research 2014; kritisch hierzu: Pfeiffer 2014), die auf der Befragung von Experten aus einigen ausgewählten Industriezweigen basiert, sieht in einer technologiezentrierten Perspektive eine vorrangige Aufgabe darin, die Akzeptanz von Industrie 4.0 in der Belegschaft zu gewährleisten, vorhandene Mitbestimmungsrechte zu wahren und die Unternehmensanforderungen mit denen der Beschäftigten in Einklang zu bringen. Auf der gesellschaftlichen Ebene würde die Implementierung neuer Technologien zu einer Neudefinition des Arbeitsbegriffs und zu weiteren gesellschaftlichen Veränderungen führen.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass sich die Anzahl der Studien, die sich auf neue Anforderungen an die Industriearbeit richten, deutlich zugenommen hat. Sie berufen sich zumeist auf Einschätzungen von Unternehmensvertretern und Experten aus deren Umfeld. Genauere Analysen sowie Auswertungen aus den laufenden Forschungsprojekten stehen allerdings noch aus. Neben den skizzierten Studien beziehen sich auch weitere Beiträge und Publikationen auf die Thematik: Hierzu liegen zahlreiche Dokumente, Positionspapiere sowie Vorträge und Präsentationen von Verbandsvertretern, Gewerkschaften, Unternehmen, Wissenschaftlern und politischen Akteuren vor. Im Folgenden werden erste Trendbestimmungen und Befunde aus diesen Studien und weiteren Publikationen vorgestellt, die sich auf den möglichen Wandel von Industriearbeit insgesamt und auf konkrete Handlungsfelder richten.

4. Wandel von Industriearbeit: Trendbestimmungen und Handlungsfelder

In den Handlungsempfehlungen zum „Zukunftsprojekt Industrie 4.0“, die die Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft im März 2012 (Forschungsunion 2012a) veröffentlichte, wurde noch die Frage aufgeworfen, wie der „Faktor Mensch“ hinsichtlich der neuen Technologien angepasst werden kann (Stichwort: Qualifizierungsoffensive, ebd., S. 37) und eine möglichst reibungslose Interaktion zwischen Menschen und Maschinen gewährleistet werden kann.

Der in der Folge von der Forschungsunion eingesetzte Arbeitskreis Industrie 4.0 behandelte das Thema Produktionsarbeit differenzierter: In der Vorabversion des Abschlussberichtes zur Industrie 4.0 vom Oktober 2012 (Forschungsunion 2012b) wird ein zentraler Forschungsbedarf hinsichtlich der Systemelemente Produktionstechnologie, Softwarearchitekturen und lernförderliche Arbeitsorganisation gesehen, die mögliche Veränderungen der menschlichen Arbeit nach sich ziehen (ebd., S. 35). Darüber hinaus werden wichtige Handlungsfelder in der betrieblichen Arbeitsorganisation und -gestaltung (Tätigkeitsprofile, sozio-technische Gestaltungsperspektive und Partizipation) sowie in neuen Qualifizierungsstrategien und Aus- und Weiterbildungsprogrammen identifiziert (ebd., S. 50ff.). Diese Erkenntnisse werden in der Finalfassung des Abschlussberichtes (Forschungsunion/acatech 2013) von generellen Überlegungen „zu neuen sozialen Infrastrukturen von Arbeit“ (ebd., S. 27f.) flankiert, die an die Themen soziodemographische Entwicklung, Gesundheitsmanagement und Innovationsprozesse anknüpfen.

Der wissenschaftliche Beirat der Plattform Industrie 4.0 (siehe Fußnote 3) hat 17 Thesen dazu formuliert, „welche konkreten Chancen sich tatsächlich mit Industrie 4.0 ergeben“ (Plattform Industrie 4.0 2014a, 2014b). Hierbei werden die Themen „Mensch“, „Technik“ und „Organisation“ behandelt. In der Kategorie „Mensch“ werden Möglichkeiten und Chancen für eine humanorientierte Gestaltung der Arbeitsorganisation, für eine alters- und altersgerechte Arbeitsgestaltung, für ein erweitertes Aufgabenspektrum und höhere Qualifikationen und Handlungsspielräume der Mitarbeiter, für verbesserte Ausbildungsinhalte und neue Lernmethoden gesehen.

Eine genauere Betrachtung der vorliegenden Trendaussagen zu den zukünftigen Strukturen von Industriearbeit in allen ihren Facetten⁸ ergibt in der Summe ein sehr uneinheitliches Bild. Idealisierenden Zukunftsvisionen von Industriearbeit stehen eher pessimistische Trendaussagen gegenüber: Hierbei geht es z. B. um neue Beschäftigungsperspektiven vs. enorme Substitutionseffekte durch neue Technologien oder um neue Freiheiten im Arbeitsprozess vs. verschärfte Kontroll- und Anweisungsstrukturen. In einer positiven Trendbestimmung zeichnet einer der Industrie-4.0-Protagonisten Henning Kagermann (2014) das Bild einer schönen, neuen (industriellen) Arbeitswelt, die vollständig auf den arbeitenden Menschen und seine Bedürfnisse fokussiert ist:

„Mit der vierten industriellen Revolution steigt letztlich die Lebensqualität der Menschen. Industrie 4.0 bedeutet zum Beispiel nicht nur die Sicherung der Arbeitsplätze an unserem Hochlohnstandort, die Reduktion des Ressourcenverbrauches oder die Möglichkeit der Reindustrialisierung urbaner Regionen, sondern insbesondere eine

⁸ „Industriearbeit“ umfasst als weiter gefasster Begriff alle Tätigkeiten, die neben den direkt herstellenden Arbeiten in Industrieunternehmen ausgeführt werden: u. a. produktionsnahe Dienste, Logistik, Verwaltungstätigkeiten sowie Forschungs- und Entwicklungsaufgaben. Diese sind mit unterschiedlichen Qualifikationsanforderungen verbunden. Mit „Produktionsarbeit“ lässt sich in diesem Verständnis die herstellende Arbeit i. E.S. fassen; sie richtet sich auf die Shop-Floor-Ebene der industriellen Fertigung.

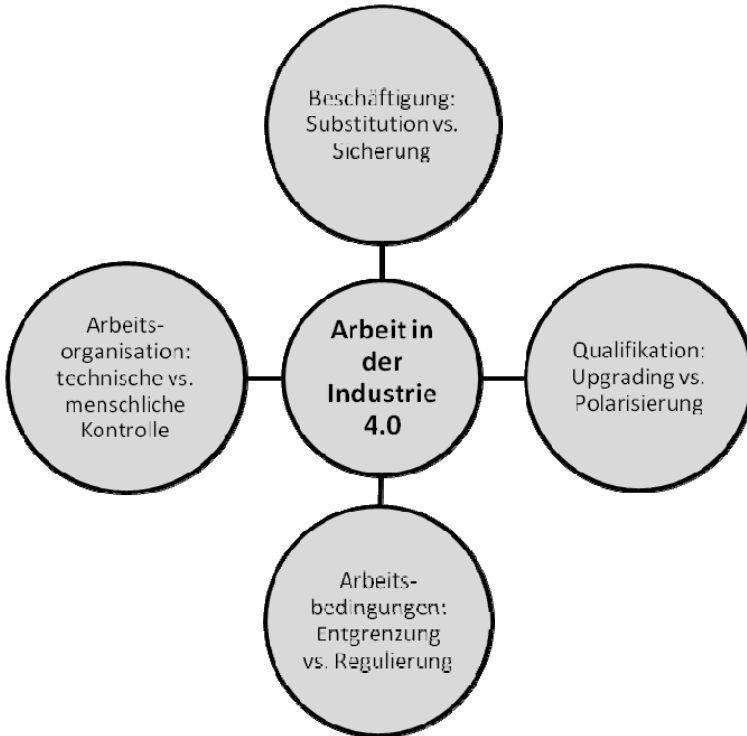
bessere Qualität an Arbeit. Zum einen wird durch IKT eine bessere Work-Life-Balance und Vereinbarkeit von Beruf und Familie erreicht. Die Produktion folgt dem Takt des Menschen. Der Mensch rückt wieder zurück in den Mittelpunkt der Arbeitswelt, indem jeder Einzelne über seine individuelle Verfügbarkeit bestimmt und diese in für die Arbeit in der intelligenten Fabrik angepassten sozialen Netzwerken und sozialen Medien zur Verfügung stellt. Zum anderen werden Mitarbeiter weniger als „Maschinenbediener“ eingesetzt, sondern mehr in der Rolle des Erfahrungsträgers, Entscheiders und Koordinators, um die richtige Balance zwischen Effizienz und Flexibilität auszuloten. Zugleich wird das Arbeitsumfeld interdisziplinärer, die Vielzahl der Arbeitsinhalte für den einzelnen Mitarbeiter nimmt zu, Einweisungs- und Lernzeiten werden kürzer. Zur Bewältigung der steigenden Komplexität wird der Mitarbeiter jedoch durch eine neue Generation mobiler, interaktiver Assistenzsysteme für Bedienung, Installation, Optimierung und Wartung der CPS-Komponenten entlastet.“ (Kagermann 2014, S. 608)

Andere Autoren malen hingegen ein erheblich skeptischeres Bild der Arbeit in der Industrie 4.0 bzw. warnen vor den Folgen technologiezentrierter Entwicklungspfade: Lars Windelband vom Institut Bildung, Beruf und Technik in Schwäbisch Gmünd befürchtet, dass eher die Technik in den Fabriken der Zukunft dominiert und sieht in der Entwicklung zu Industrie 4.0 „die Gefahr, dass Erfahrungen, Wissen und Intuition der Facharbeiter durch Computerprogramme und Software ersetzt werden, die auf Statistiken, Algorithmen und Wahrscheinlichkeitsberechnungen beruhen“ (VDI nachrichten 2015, S. 6). Die Beschäftigten wären nur noch „vernetzte Rädchen in einer ‚unmenschlichen Cyberfabrik‘“ (ebd.; auch Kurz 2014). Gewerkschaftsvertreter warnen vor den enormen Rationalisierungspotentialen der neuen Technologien und einer potentiellen Verschärfung der Arbeitsbedingungen und -belastungen. So warnt der IG Metall-Vorsitzende Detlef Wetzels in seiner Rede zum Mitbestimmungskongress 2014 auf mögliche neue Leistungsanforderungen, prekäre Arbeitsverhältnisse und Arbeitsplatzverluste im Falle einer neuen Automatisierungswelle der Industrie 4.0. Auch Frank Bsirske, der Vorsitzende der Dienstleistungsgewerkschaft ver.di, sieht ganze Berufsfelder durch die weitere Digitalisierung der Ar-

beitswelt bedroht (www.zeit.de/wirtschaft/2015-01/verdi-bsirske-digitalisierung-jobabbau).

Im Folgenden sollen wichtige Themenfelder von Arbeit in der Industrie 4.0 eingehender betrachtet werden (siehe Abb. 3). Als zentral kann die Frage nach den Beschäftigungsperspektiven in der Industrie 4.0 angesehen werden, da sich viele Trendbestimmungen auf die (mögliche) Substitution von menschlicher durch automatisierte Arbeit richten; andere hingegen die möglichen Arbeitsmarkteffekte von Industrie 4.0 betonen. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Entwicklung von Qualifikationsstrukturen und -anforderungen, die ebenfalls verschiedene Entwicklungspfade einschlagen kann. Auch dem Thema Arbeitsorganisation wird eine hohe Relevanz zugeschrieben, die eng mit Fragen der Mensch-Maschine-Interaktion, Kontrolle und der Ausgestaltung soziotechnischer Produktionssysteme zusammenhängen. Letztlich richten sich (wenige) Tendaussagen auf Entwicklungen entgrenzter Arbeits- und Lebenswelten, die auch in der Industrie einen wachsenden Stellenwert erlangen sollen.

Abb. 3: Handlungsfelder zur Industriearbeit in Industrie 4.0



Quelle: eigene Darstellung

4.1 BESCHÄFTIGUNGSPERSPEKTIVEN: SUBSTITUTION ODER SICHERUNG VON INDUSTRIEARBEIT

Viele Trendaussagen zum Thema Arbeit in der Industrie 4.0 richten sich auf die Frage nach den langfristigen Beschäftigungsperspektiven in der Industrie: Wird der Rückgang der Industriebeschäftigung weiter voranschrei-

ten oder führt die Industrie 4.0 zur Stabilisierung des Beschäftigungsvolumens? Wie viele und welche Arbeitsplätze könnten anhand der wachsenden Digitalisierung (und Automatisierung) der industriellen Produktion zukünftig entfallen? Welche könnten neu entstehen? Zu diesen Fragen liegen unterschiedliche Erkenntnisse vor. In einer generalisierenden Betrachtung verweisen einige Studien aus dem angelsächsischen Raum auf erhebliche Rationalisierungspotentiale im Sinne einer zukünftigen Substitution von menschlicher Arbeit durch Digitalisierung und Computerisierung (Frey/Osborne 2013; Bowles 2014; Brynjolfsson/McAfee 2011, 2014; Berger/Frey 2015).

Demnach könnten (hier mit Blick auf den US-amerikanischen Arbeitsmarkt) rund die Hälfte aller Tätigkeiten zukünftig automatisiert werden: „According to our estimate, 47 percent of total US employment is in the high risk category, meaning that associated occupations are potentially automatable over some unspecified number of years, perhaps a decade or two“ (Frey/Osborne 2012, S. 38; kritisch hierzu Pfeiffer/Suphan i. E.). Hierzu zählen nicht nur einfache Tätigkeiten und Dienste, sondern auch viele qualifizierte Arbeiten u. a. von Zahntechnikern, Lehrern und Immobilienmaklern. Auch die Industrie werde angesichts der Substitution manueller Produktionsarbeiten durch neue Fertigungstechnologien (z. B. 3D-Druck) von diesem Automatisierungsprozess betroffen sein. Zwar wird darauf verwiesen, dass mit der mikroelektronischen Entwicklung und Durchdringung der industriellen Produktion auch zahlreiche neue Arbeitsplätze entstehen können, jedoch werde aufgrund der hohen Dynamik der Automatisierung dadurch der Wegfall traditioneller Tätigkeiten nicht kompensiert werden können.

Basierend auf den Daten von Frey und Osborne konstatiert Jeremy Bowles (2014) von der London School of Economics aufgrund eigener Berechnungen für die europäischen Länder ein ähnlich hohes Substitutionsrisiko menschlicher Tätigkeiten durch Automatisierung. Insbesondere in den ost- und südeuropäischen Ländern mit hohen Anteilen von Arbeiten einfacher und mittlerer Qualifikationsanforderungen seien viele Arbeitsplätze perspektivisch gefährdet. Brynjolfsson und McAfee (2011, 2014) sehen ein „zweites Maschinenzeitalter“ anbrechen, demnach Computer und Digitali-

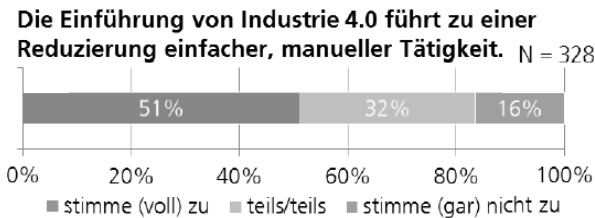
sierung eine ähnliche Wirkung für geistige Arbeit und Produktion haben werden wie die Dampfmaschine für die körperliche Arbeit und Produktion hatte. Sie kommen zu der Trendaussage, dass Arbeitnehmer mit „gewöhnlichen“ Kompetenzen und Fähigkeiten einem hohen Risiko der Substitution ausgesetzt sind, da Computer, Roboter und andere digitale Technik genau diese Kompetenzen und Fähigkeiten zukünftig übernehmen werden (ähnlich Berger/Frey 2015).

Die Frage nach den langfristigen Beschäftigungsperspektiven nimmt auch in der Debatte zur Industrie 4.0 in Deutschland einen prominenten Stellenwert ein. In der bilanzierenden Betrachtung vorliegender Prognosen und Einschätzungen zeichnet sich kein klares Ergebnis ab. Hier stehen Aussagen einer weiteren Erosion industrieller Arbeit im Zuge des Strukturwandels und der fortschreitenden Automatisierung andere Prognosen einer Stabilisierung oder gar des „Revivals“ von Industriebeschäftigung gegenüber. Im Ergebnis scheinen die Perspektiven der Industriebeschäftigung in Deutschland unter den Bedingungen der Industrie 4.0 völlig offen. Nach den Ergebnissen der Fraunhofer IAO-Studie (Spath et al. 2013, S. 46f.) geht die überwiegende Mehrheit der Industrieunternehmen zumindest davon aus, dass die menschliche Arbeit in der industriellen Produktion in den nächsten Jahren bedeutsam bleiben werde.

Die Studie der Unternehmensberatung Boston Consulting Group verweist auf positive Arbeitsmarkteffekte bei der weiteren Umsetzung von Industrie-4.0-Systemen und prognostiziert einen Beschäftigungszuwachs von sechs Prozent für die nächsten zehn Jahre (BCG 2015, S.8). Dieser basiere vor allem auf dem damit steigenden Bedarf an hochqualifizierten Industriearbeiten u. a. im Maschinenbau und Automotive-Bereich. Andere Prognosen schließen hingegen nicht aus, dass das Beschäftigungsvolumen insgesamt schrumpfen könnte: „Lassen sich die erwarteten Produktivitätspotentiale von Industrie 4.0 verwirklichen, werden in den heute bestehenden Fabriken und Wertschöpfungsketten – bei gleicher Auslastung – zukünftig weniger Mitarbeiter benötigt.“ (Schlund et al. 2014, S. 20) Angesichts des konstatierten Fachkräftemangels und der demographischen Entwicklung der nächsten Jahre stehe dem auch ein geringeres Arbeitskräfteangebot gegenüber.

Eine erheblich größere Übereinstimmung findet sich in den Studien hingegen hinsichtlich der abnehmenden Bedeutung *industrieller Einfacharbeit*. So gehen die meisten Studien und Trendbestimmungen davon aus, dass insbesondere in dem Arbeitssegment hochstandardisierter Repetitivarbeiten manuelle Arbeiten durch technische Lösungen substituiert werden. Darunter fallen beispielsweise Tätigkeiten in der Logistik wie das manuelle Erfassen und Verwalten von Daten (FIR 2013). Nach den Erkenntnissen der Studie von Schlund et al. (2014) sind mehr als die Hälfte der befragten Unternehmen davon überzeugt, dass Einfacharbeit in der industriellen Produktion durch Automatisierungslösungen im Zuge von Industrie 4.0 weiter reduziert wird (s. Abb. 4; ähnlich auch FIR 2013; Schuh/Stich 2013; BCG 2015). Weitere 32% stimmen der Aussage zumindest teilweise zu.

Abb. 4: Industrie 4.0 und Einfacharbeit



Quelle: Schlund et al. 2014, S. 19

Noch eindeutiger äußern sich zahlreiche Experten Politik, Wissenschaft oder der Wirtschaft in Befragungen und in zahlreichen Statements zur Zukunft der Arbeit in der Industrie 4.0. Einer drastischeren Einschätzung von Thomas Bauernhansl vom Fraunhofer IPA 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, S. 125).

Anderen Trendaussagen hingegen können die smarten Produktionssysteme durchaus Perspektiven für industrielle Einfacharbeiten bieten. Des Weiteren kann etwa der Einsatz von Datenbrillen oder Tablets in der industriellen Produktion zu schnell erlernbaren Tätigkeiten führen, so dass in der Konsequenz auch „weniger gut ausgebildete Menschen qualifizierte Arbeit verrichten“ können (Dagmar Dirzus vom Verein deutscher Ingenieure (VDI) in: Süddeutsche Zeitung 2014, S. 23). Auch Klaus Mainzer von der TU München teilt nicht „die Horrorgeschichte, dass wir am Ende nur noch hochqualifizierte Ingenieure mit Universitätsdiplomen brauchen und den Rest machen Maschinen. Wir werden das Knowhow der Menschen weiterhin auf allen Gebieten brauchen“ (Mainzer 2015). Offen bleibt ebenfalls, inwiefern der Abbau von Einfacharbeiten und ggf. einfachen Facharbeiten durch mehr Arbeitsplätze in Planungs- oder Servicetätigkeiten kompensiert wird (Kurz 2014). Zwar könnten auch in den indirekten Produktionsbereichen Tätigkeiten künftig automatisiert werden; rund um die Produktion können jedoch auch neue Arbeitsplätze entstehen.

Die Expertengruppe um Forschungsunion und acatech (2013) sieht zwar auch eine mögliche Substitution von Einfacharbeiten durch neue Technik, verweist aber in einer normativen Sichtweise auf gesellschaftliche Verpflichtungen zum Erhalt von Einfacharbeit in der Industrie: „Zu vermuten ist, dass sich der Abbau einfacher, manueller Tätigkeiten fortsetzen wird. Damit würde der Ausschluss zumindest von Teilen der Belegschaften (insbesondere von Angelernten) drohen. Dies wäre weder für die Beschäftigten, noch mit Blick auf den gesellschaftlichen Anspruch sozialer Integration akzeptabel – und für die erfolgreiche Realisierung von Industrie 4.0 in hohem Maße dysfunktional“ (ebd., S. 57). In der Breite der deutschen Industrielandschaft ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt ohnehin noch völlig offen, in welchen Branchen und Betrieben eine langfristige und flächendeckende Durchdringung durch Industrie-4.0-Technologien realisiert wird. So lässt sich zum einen auf den Stellenwert manueller Produktionsarbeiten bei spezifischen, nur schwer standardisierbaren Produktionsbedingungen verweisen (Hirsch-Kreinsen 2014a, 2014b). Zum anderen existieren zahlreiche Industriezweige wie die Ernährungsindustrie oder Metallherstellung, in de-

nen Einfacharbeit in den letzten Jahren eine bemerkenswerte Stabilität aufgewiesen hat (Abel et al. 2014; Ittermann 2014).

Hinsichtlich der weiteren industriellen Tätigkeitsbereiche liegen in den einschlägigen Studien nur wenig konkrete Trendbestimmungen vor. Den *hochqualifizierten Entwickler- und Ingenieursarbeiten* werden in weitgehender Übereinstimmung positive Arbeitsplatzeffekte konstatiert: „... 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, S. 9). In diesem Kontext wird auf einen möglichen Beschäftigungszuwachs von bis zu 10% in diesem Segment verwiesen (ebd., S. 9). So ist vom Wachstum einer Gruppe hoch qualifizierter Experten und technischer Spezialisten auszugehen, deren Qualifikationsniveau deutlich über dem bisherigen Facharbeiterniveau liegt. Diesen Beschäftigten obliegen nicht nur dispositive Aufgaben etwa der Störungsbewältigung, sondern sie übernehmen verschiedentlich auch Aufgaben des Produktionsmanagements (Hirsch-Kreinsen i. E.).

Die Zukunft der *industriellen Facharbeit* wird hingegen oftmals als „noch völlig offen“ (Windelband 2014, S. 155) beschrieben. So könnten zukünftig auch einfache Facharbeiten aufgrund von Automatisierungstechniken wegfallen. Sie könnten aber auch angesichts von komplexeren und interdisziplinären Aufgabenzuschnitten aufgewertet und mit hochqualifizierter Entwicklungsarbeit zunehmend verschmelzen (Spath et al. 2013; siehe auch Qualifikationsanforderungen).

4.2 QUALIFIKATIONSANFORDERUNGEN: UPGRADING ODER POLARISIERUNG

Die vorliegenden Studien und Tendaussagen stimmen nahezu alle in dem Punkt überein, dass mit der weiteren Digitalisierung der industriellen Produktion und der Fokussierung auf wissensintensivere Arbeitsbereiche in der Industrie 4.0 erhebliche Veränderungen der Qualifikationsanforderungen

verbunden sein werden. Weniger einheitlich sind hingegen die unterschiedlichen Entwicklungspfade, die diese neuen Ansprüche an zukünftige Tätigkeits- und Qualifikationsstrukturen zum Ausdruck bringen sollen. Hier lassen sich die vorliegenden Befunde zu einem Spektrum divergierender Entwicklungsperspektiven verdichten, das von zwei Polen begrenzt wird: Diese Pole können zum einen als „Upgrading“ von Qualifikationen und zum anderen als Polarisierung von Qualifikationen bezeichnet werden (vgl. Hirsch-Kreinsen i. E.).

Upgrading von Qualifikationen

Einer weit verbreiteten Entwicklungsperspektive zufolge wird die Digitalisierung der Arbeit insgesamt zu einem *Upgrading von Qualifikationen* der Industriebeschäftigten führen. So folgt aus der Digitalisierung ein Prozess der Informatisierung von Arbeits- und Produktionsprozessen, die hierdurch anspruchsvoller, vernetzter und komplexer werden. Hierdurch nimmt die Bedeutung von Fähigkeiten der Beschäftigten zu, die sich auf das theoretische Verständnis von Prozessen und die adäquate Nutzung der verfügbaren Informationen richten (Zuboff 1988). Die Folge dieses Upgradings wären „better jobs – jobs that at every level would be enriched by an informing technology“. (ebd., S. 159) Auch Kurz (2014) sieht in dieser Entwicklungsperspektive eine Aufwertung von Industrietätigkeiten in den unterschiedlichen Funktionsbereichen: „Angelernte, Facharbeiter/innen, Ingenieure/innen, Techniker/innen und nicht zuletzt auch kaufmännische Angestellte sind mit deutlich erhöhten Komplexitäts-, Problemlösungs-, Lern- und vor allem auch Flexibilitätsanforderungen konfrontiert. Es steigt der Bedarf an Überblickswissen und Verständnis über das Zusammenspiel aller Akteure im Wertschöpfungsprozess“ (Kurz 2014, S. 107).

Nach der Befragung des Fraunhofer IAO (Spath et al. 2013, S. 123) gehen rund 80 % der Unternehmen davon aus, dass die Produktionsmitarbeiter für die Anforderungen des flexiblen Produktionseinsatzes der Zukunft weiterqualifiziert werden müssen. Zentral ist zum einen der Auf- und Ausbau von IT-Kompetenzen in der Fertigung und Montage, in indirekten Be-

reichen wie der Arbeitsvorbereitung, der Produktionsplanung und der Qualitätssicherung sowie in der Logistik. Zum anderen zählt zu den weiteren Schlüsselqualifikation die Prozessverantwortung: „Die Fähigkeit, Prozessverantwortung zu übernehmen, diese weiterzuentwickeln sowie in vernetzten und domänenübergreifenden Prozessen zu denken und zu handeln, bildet neben der Erhöhung der IT-Kompetenz die wichtigsten qualifikations-technischen Handlungsfelder ab“ (Schlund et al. 2014, S. 26).

Nach Zeller et al. (2010) wird aufgrund der Zunahme an Komplexität der Tätigkeiten und damit verbundenen Unsicherheiten durch das Internet der Dinge der Umgang mit der Vermeidung von Störungen zu einer Zentralkompetenz industrieller Facharbeit. Wachsende Anforderungen an Produktionsmitarbeiter auf mittlerer Qualifikationsebene bestehen im analytischen Denkvermögen, Systemkenntnissen, Modellvorstellungen sowie Wissen im Umgang mit unvorhersehbaren Situationen. Hierbei gewinnt subjektiviertes Erfahrungswissen an Bedeutung: „Die Fachkräfte müssen zukünftig der Technik innewohnende „Lücken“ und Unzulänglichkeiten, die je nach Freiheitsgrad der Technik und ihrem Entwicklungsstand mehr oder weniger stark zu Tage treten werden, auf Basis von Erfahrungen und kooperative Meta-Kommunikation mit den Maschinen schließen und dabei mit zunehmender Komplexität und Unsicherheit umgehen können.“ (ebd., S. 79)

Zu ähnlichen Ergebnissen kommt eine qualitative Studie von Hackel et al. (2015) für das Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB) über den Zusammenhang zwischen neuen Technologien und deren Qualifikationsanforderungen für Facharbeit. Darin verweisen sie u. a. auf einen Bedeutungszuwachs von so genannter „(scientific) literacy“ (ebd., S. 23), womit Dokumentations- und Lesekompetenzen im Umgang mit Messdaten in automatisierten Produktionsumgebungen gemeint sind sowie deren selbstständige Recherche und Auswertung. Grundsätzlich, so arbeiten die Autoren etwa am Beispiel Leichtbau heraus, entscheide allerdings die jeweilige arbeitsorganisatorische Gestaltung und Einführung neuer Technologien über Art, Umfang und Zielgruppe von Qualifizierungsmaßnahmen. (ebd.) Für die Berufsbildungsordnungen ergeben sich folglich wenig einheitliche Implikationen. Sie deuten in der Summe aber auf neue „hybride Qualifikati-

onsprofile“ mit beispielsweise „übergreifenden Zusatzqualifikation im Bereich der Steuerungstechnik“ hin (ebd., S. 42).

In einer zugespitzten Variante dieser Entwicklungsperspektive wird das Upgrading von Qualifikationen ausschließlich durch die Aufwertung und Verbreitung höher qualifizierter Arbeiten erzielt. Während die anfallenden industriellen Routinetätigkeiten in zunehmendem Maße technologisch-maschinell bewältigt werden und somit die Einfacharbeiten wegfallen, wachsen qualifizierte Wissensarbeit und traditionelle Produktionsarbeit immer weiter zusammen: „Der Schnittstelle zwischen Produktentwicklung und Produktion kommt somit eine zentrale Position in Unternehmen zu. Sie verbindet zwei Welten – die projektgeprägte Wissensarbeit in der Produktentwicklung und die prozessgeprägte Produktion.“ (Spath et al. 2013, S. 107) Windelband (2014) illustriert die neuen Anforderungen am Beispiel eines Prozesscontrollers in der Logistikbranche:

„Der Prozesscontroller kann zukünftig vor allem als Schnittstelle zwischen den IT-Spezialisten und den Prozess-Experten des Unternehmens eingesetzt werden. In den meisten Unternehmen werden die IT-Entwicklungen von eigenen IT-Spezialisten oder von externen IT-Dienstleistern umgesetzt. Damit wird in Zukunft die Schnittstelle zwischen IT-Dienstleistungen und der Logistik zur Implementierung, Optimierung und Wartung der ‚Intelligenten Technologien‘ erheblich an Bedeutung gewinnen. Denn diese Aufgaben verlangen einerseits ein Wissen zur Strukturierung technischer Abläufe, Programmierung und Konfiguration von IT-Systemen und werden heute meist von (Fach-)Informatikern umgesetzt. Andererseits benötigen die IT-Spezialisten Detailkenntnisse über die logistischen Abläufe, um die IT-Systeme optimal in den Gesamtprozess integrieren zu können, wofür sie auf die betrieblichen Mitarbeiter und deren Prozesswissen zurückgreifen. Aber eine solche Entwicklung verlangt stellenweise ein stärkeres und detaillierteres Prozesswissen sowie ein höheres Planungswissen auf übergeordneten Ebenen. Dies könnte ein neues Aufgabenfeld für Planer (Prozessingenieure) oder z. B. einen ‚Prozesscontroller‘ eröffnen.“ (ebd., S. 152f.)

Diese Entwicklungen sprechen insgesamt für die These der Höherqualifizierung bzw. ggf. sogar einer „Requalifizierung“ von Produktionsarbeit in

der Industrie 4.0, die aus Sicht der IG Metall mit „wachsender Eigenverantwortung, vielfältigen Entfaltungsmöglichkeiten für kreatives Arbeitshandeln und einer Steigerung der Arbeits-, Kooperations- und Beteiligungsqualität“ (Kurz 2014, S. 108) der Beschäftigten verbunden sein kann. Diese Qualifikations- und Kompetenzentwicklungen erfordern zum einen lernförderliche Arbeitsstrukturen, die über klassische Bereichs-, Abteilungs- und ggf. Betriebsgrenzen hinausgehen und die auf neuen, interaktiven Lernformen basieren. Mitarbeiter müssen mittels neuer Technologien wie Digitale Medien, Blended Learning oder Just-in-Time-Training für kurzfristigere, weniger planbare Arbeitstätigkeiten „on the job“ qualifiziert werden (Spath et al. 2013). „Durch lernförderliche Arbeitsorganisation und adäquate Qualifizierungsstrategien soll eine menschenzentrierte Produktionsgestaltung ermöglicht werden, die den heterogenen Bildungs- und Erfahrungsstand und die unterschiedlichen Kompetenzbündel der Beschäftigten⁹ derart berücksichtigt, dass die Innovationsfähigkeit von Menschen und Unternehmen gestärkt wird.“ (Forschungsunion/acatech 2013, S. 61)

Polarisierung von Qualifikationen

Der anderer Pol möglicher Entwicklungsperspektiven wird durch eine *zunehmende Polarisierung von Qualifikationen* gebildet. Diese Perspektive geht davon aus, dass „Residualkategorie“ von Einfacharbeit und einfachen Facharbeiten in der Industrie erhalten bleiben und gleichzeitig die anspruchsvollen, hoch qualifizierten Tätigkeiten an Bedeutung gewonnen. Hingegen findet eine Erosion mittlerer Qualifikationsebenen statt: Konkret kann es sich da-bei sowohl um Produktionsarbeiten etwa der Montage und

⁹ In diesem Kontext wird auf die unterschiedlichen Rollen der Beschäftigten – von ungelernten Beschäftigten über Facharbeiter und Beschäftigte mit Meister- oder Technikerausbildung bis zum akademischen Personal mit Bachelor-, Master- oder Ingenieurstudium – sowie deren heterogene Voraussetzungen wie Alter und Bildungs-, Erfahrungs- oder kulturellen Hintergrund verwiesen.

Überwachung aber auch um Verwaltungs- und Servicetätigkeiten auf mittleren Qualifikationsniveaus handeln. Zum einen finden Substitutions- und Dequalifizierungsprozesse von Facharbeiten statt, so dass diese entweder wegfallen oder in den Bereich einfacher Tätigkeiten fallen.

Kinkel et al. (2008) sehen eine fortschreitende „Dequalifizierung und Teilsubstituierung“ der mittleren Qualifikationsebene in Folge ihrer informationstechnischen Automatisierung. Im Ergebnis kann der Einsatz neuer Industrie-4.0-Technologien auch zur Vereinfachung von Aufgabenfeldern und Anforderungsprofilen führen. Das Vordringen avancierter Technik bei Anlagen und Maschinen u. a. in der Logistik würde die Einschränkung der Autonomie und Kontrollmöglichkeiten versierter Fachkräfte forcieren. Fehlende Handlungskompetenzen, Kompetenzverluste sowie Entfremdungs- und Dequalifizierungsprozesse wären eine mögliche Folgen (Windelband 2014; Kurz 2014; Hirsch-Kreinsen 2014b). Zum anderen kann es zu einer Aufwertung spezifischer Fachtätigkeiten kommen, die wie oben beschrieben mit hochqualifizierter Entwicklungsarbeit verbunden werden. Das Qualifikationsniveau dieser Gruppe hoch qualifizierter Experten und technischer Spezialisten liegt deutlich über dem bisherigen Facharbeiterniveau. So erodiert die qualifikatorische Mitte durch Verlagerungen zu den beiden Polen von Qualifikations- und Tätigkeitsstrukturen.

Neue Kompetenz- und Qualifikationsanforderungen in der Industrie erfordern geeignete Aus- und Weiterbildungsstrukturen. In der Konsequenz weisen zahlreiche Statements auf ein erforderliches Überdenken bisheriger Ausbildungswege hin. So seien künftig interdisziplinäre Ausbildungen gefragt, bei denen Informatik und Produktionstechnik miteinander vereint werden (Stichwort: „Produktionsinformatiker“). Ingenieuren müssen nicht nur Kenntnisse in Maschinenbedienung, sondern auch im System Engineering vorweisen können (VDI 2015). Hieraus ergeben sich Implikationen für die Anpassung der Curricula in der Ingenieursausbildung sowie der arbeitsplatzbezogenen Fortbildung. Malanowski und Brandt (2014) verweisen mit Blick auf die chemischen Industrie darauf, dass die Beschäftigten zukünftig in der Lage sein müssen, verschiedene Maschinen zu bedienen und anhand vorliegender Daten schnelle und kompetente Entscheidungen zu treffen (ebd., S. 39). In der Konsequenz werden sich auch die Berufsbilder in der

chemischen Industrie anpassen müssen u. a. durch neue Module in der Berufsbildungsordnungen, Fremdsprachenkompetenz, Informatikkenntnisse sowie Systemwissen und -verständnis. (ebd., S. 40). Insgesamt steige die Anforderung an den Aufbau einer „Digitalisierungskompetenz“ (Mainzer 2015), die bereits in der schulischen Ausbildung vermittelt werden müsste. Darüber hinaus erlangen auch soziale Kompetenzen einen erhöhten Stellenwert, da mit der Verknüpfung von Produktionswelt und Informatik und dem Zusammenwachsen von Disziplinen der Bedarf an Interaktionen zunehme. Letztlich bleibt abzuwarten, welche Bedeutung subjektiven Qualifikationselementen wie Erfahrungswissen, Intuition und Empathie im Kontext der komplexen, autonomen Produktionsprozesse zugeschrieben werden kann (Hirsch-Kreinsen 2014a, 2014b).

4.3 FUNKTIONSTEILUNG UND ARBEITSORGANISATION

Einen weiteren Schwerpunkt der vorliegenden Studien und Statements bildet das Thema der Arbeitsorganisation und Funktionsteilung in der „neuen“ Mensch-Maschine-Interaktion. Dabei ist zunächst weitgehend unbestritten, dass die neuen Technologien und Informatisierungen von Arbeitsfunktionen zu einer datentechnischen Erfassung von Arbeitsprozessen, einer wachsenden Transparenz und völlig neuen Kontrollmechanismen führt. So spielt in Hinblick auf Arbeitsprozesse das Prinzip und die Methodik von „Big Data“ eine zentrale Rolle: Grundsätzlich eröffnet dies schnell wachsende Kontrollmöglichkeiten über Arbeitsprozesse generell, wie insbesondere auch über die Arbeit individueller Beschäftigter (Hirsch-Kreinsen i. E.). Diese werden insbesondere durch den Einsatz mobiler Endgeräte wie Smartphones unterstützt. Bislang bleiben die Kontrollmöglichkeiten und damit verbundenen Kontrollstrategien von Unternehmen und ihre Konsequenzen für Arbeitsprozesse in den Studien wenig thematisiert. Eng damit verbunden ist die Frage, welche neuen Managementstrategien und -kompetenzen sich in der Industrie 4.0 durchsetzen könnten.

Funktionsteilung, Integration und Kontrolle

Offen bleibt zudem, welche Rollen- und Funktionsteilungen zwischen Mensch und Maschinen sich langfristig durchsetzen werden: Dies betrifft Fragen nach neuen Kooperationsformen der beteiligten Akteure und Systeme, aber auch Fragen nach den jeweiligen Steuerungs- und Kontrollstrukturen. Die vorliegenden Beiträge knüpfen dabei mehr oder weniger implizit an Arbeiten der Arbeitswissenschaften an, die sich bereits seit mehreren Jahrzehnten mit der Gestaltung der Interaktion von Mensch und Maschine befassen. So wurde u. a. im Zuge der Einführung von CIM-Systemen die Aufgaben- und Verantwortungsteilung zwischen den neuen Technologien und manueller Produktionsarbeit diskutiert. Einen zentralen Stellenwert hatte die Thematik auch im Kontext des Autonomik-Forschungsprogramms des BMWi: Die Gestaltung der Mensch-Technik-Interaktion bei der Einführung autonomer Systeme tangiert Aspekte der Arbeitsorganisation, der betrieblichen Mitbestimmung (u. a. zu Arbeitsplätzen, Arbeitsabläufen und Arbeitsumgebungen) und der Arbeitssicherheit.¹⁰ Während die Umsetzung der Vision Industrie 4.0 zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch offen ist, so liegen zur Thematik Mensch-Maschine-Interaktion 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). Sie verweisen auf eine zunehmende Verschränkung und Integration natürlicher und virtueller Realitäten, die über traditionelle Konzepte der Mensch–Technik-Interaktion hinausgehen und neue Lösungen erforderlich machen (Botthof/Hartmann 2015b, S. 162).

Die künftige Rollen- und Kontrollverteilung zwischen Mensch und Maschine wird somit zu einer Schlüsselfrage in der Industrie 4.0. Einige Auto-

¹⁰ Ganz wesentlich wirft die zunehmende, räumliche Interaktion von Menschen mit Produktionsrobotern neue Fragen der Arbeitsplatzsicherheit auf. Darunter fallen vor allem die Entwicklung neuer Richtlinien zur Einrichtung von Arbeitsplätzen, aber auch arbeitsrechtliche Überlegungen zum Umgang mit von autonomen Robotern verursachten Unfällen (May 2014).

ren sehen in den Mitarbeitern weiterhin „in ihrer Gesamtheit die Träger der planenden, steuernden, dispositiven, ausführenden usw. Tätigkeiten“ (Becker 2015, S. 25) und beschreiben Fachkräfte als „Dirigenten der Wertschöpfung“ (Malanowski/Brandt 2014, S. 39) bei aufgewerteter Arbeitstätigkeit.

Andere Stimmen hingegen verweisen kritischer auf die wachsende „Entscheidungsfindung von Computerprogrammen“ und neue technologische Kontrollstrukturen (Windelband 2014, S. 155). Die konkrete Ausgestaltung des Zusammenwirkens von Mensch und Maschine im Gesamtsystem hängt somit von den eingeschlagenen betrieblichen Entwicklungspfaden ab: Hier greifen viele Autoren die Differenzierung zwischen einem „Automatisierungsszenario“ und einem „Werkzeugszenario“ auf (Windelband et al. 2011; Windelband 2014; Dombrowski et al. 2014; Kurz 2014; Schlund/Gerlach 2013). Im Automatisierungsszenario liegt die Steuerungsfunktion beim CPS. Die Mehrheit der Beschäftigten übernimmt lediglich ausführende Arbeiten, während eine handverlesene Expertengruppe für die Installation und Wartung des Systems verantwortlich ist. Wenn die Entwicklung eher einem „Automatisierungsszenario“ folgt, werden die Anforderungen an industrielle Einfacharbeiten und Facharbeiten abnehmen. Als Folgen werden die „ironies of automation“ (Bainbridge 1983) diskutiert, da Arbeitssituationen entstehen, die Qualifikationen erforderlich machen, die im automatisierten Routinebetrieb nicht aufgebaut werden können und automatisierte Prozesse in Folge ihrer wachsenden Komplexität stets Grenzen ihrer technischen Beherrschbarkeit aufweisen (Hirsch-Kreinsen 2014a). Sie verweisen auf den hohen Stellenwert von Erfahrungswissen und subjektivierendem Arbeitshandeln, das die Beschäftigten in Arbeits- und Produktionsprozesse einbringen (Böhle 2013; Pfeiffer 2013).

Eine andere Perspektive ist das fachkräfteorientierte „Werkzeugszenario“ (Windelband 2014, S. 156).¹¹ Im Werkzeugszenario hat der industrielle Facharbeiter die Kontrolle über die Produktionsabläufe, der durch intelligente Systeme unterstützt wird. Hier stehe im Ergebnis ein erweitertes

¹¹ Neuerdings auch „Spezialisierungsszenario“ (Windelband/Dworschak i. E.)

Aufgabenspektrum der Beschäftigten und neue Anforderungen an qualifizierte Arbeiten durch erweiterte Mitgestaltungsmöglichkeiten: „Facharbeiter und Technologie würden sich hier gegenseitig kontrollieren und beeinflussen, jedoch würde der Mensch immer noch die Entscheidungsgewalt behalten. Der Facharbeiter wäre hier noch der ‚Lenker und Denker‘ im System.“ (ebd., S. 158). Ein drittes mögliches Szenario, das zwischen den beiden anderen angesiedelt ist, ist das „Hybridszenario“.

Arbeitsorganisation und Management

Mit Blick auf die Arbeitsorganisationsmuster im Industrie 4.0-Betrieb lassen sich zwei idealtypische Modelle unterscheiden: Die erste Variante begründet ein arbeitsorganisatorisches Muster, das sich als „Schwarm-Organisation“ bezeichnen lässt (Neef/Burmeister 2005; Hirsch-Kreinsen 2014, i. E.). Die qualifizierten und gleichberechtigt agierenden Beschäftigten sind locker vernetzt, haben keine eindeutig definierten Aufgaben, sondern handeln als Arbeitskollektiv selbst organisiert, hoch flexibel und situationsbestimmt. Der Arbeitsauftrag wird durch einen von der Leitungsebene vorgegebenen Handlungsrahmen (Stichwort: Kontextsteuerung) mit Regeln, Zielen und Leitvorstellungen definiert. „Anders formuliert, dieses Muster der Arbeitsorganisation zielt auf die explizite Nutzung informeller sozialer Prozesse der Kommunikation und Kooperation und der damit verbundenen extrafunktionalen Kompetenzen und des akkumulierten spezifischen Prozesswissens der Beschäftigten.“ (Hirsch-Kreinsen i. E.).

Aus gewerkschaftlicher Perspektive erfordert Industrie 4.0 neue, bereichsübergreifende Arbeitsorganisationskonzepte, die den Beschäftigten abwechslungsreiche und lernförderliche Arbeitsstrukturen bieten und mit hohen Dispositions- und Beteiligungsspielräumen ausgestattet sind. So ist für Kurz (2014) von der IG Metall das Ziel, „intelligente, selbstorganisierte Interaktionen zwischen den Beschäftigten und/oder den technischen Operationssystemen entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu ermöglichen. Dementsprechend ist zu berücksichtigen, wie kooperative Lern- und Arbeitsprozesse quer zu herkömmlichen Funktions- und Abteilungsstrukturen

befördert und sichergestellt werden können.“ (ebd., S. 110; vgl. Bochum 2015; Mühlbradt 2014).

In einer anderen Variante würde die skizzierte Ausdifferenzierung von Qualifikationsstrukturen ein arbeitsorganisatorisches Muster begründen, das durch eine ausgeprägte Arbeitsteilung gekennzeichnet ist: „Dieses Muster der Arbeitsorganisation entspricht weitgehend den derzeit schon in vielen hoch technisierten Betrieben vorherrschenden Arbeitsformen, die als widersprüchliche Kombination von Gestaltungsprinzipien der Dezentralisierung und Aufgabenerweiterung einerseits und Strukturierung und Standardisierung andererseits gekennzeichnet werden kann“. (Hirsch-Kreinsen i. E.) Insofern kann dieses arbeitsorganisatorische Muster als „Polarisierte Organisation“ bezeichnet werden.

Viele Studien greifen Fragen nach neuen Formen des Zusammenspiels von Mensch, Technik und Organisation und deren Verknüpfung zu komplexen sozio-technischen Systemen auf (z. B. Grote 2009; Spath et al. 2013; ten Hompel/Hirsch-Kreinsen 2014). Der Ansatz „soziotechnische Systeme“ avanciert dabei zum neuen Leitmodell der zukünftigen Produktionssystemgestaltung, das in den Studien, Positionspapieren und Forschungsprogrammen zur Industrie 4.0 eine breite Verwendung findet. Er verweist auf die Grenzen eines technologischen Determinismus und charakterisiert die Verknüpfung von Beschäftigten, Produkten und Objekten zu selbstorganisierenden Systemen als einen hochkomplexen Prozess, der von vielen „Ungewissheitszonen“ flankiert wird. Botthof und Hartmann (2015b, S. 161ff.) verweisen in einer eher normativen Sichtweise ebenfalls auf die Grenzen eines technologischen Determinismus im Rahmen einer sozio-technischen Systemgestaltung: So sollte sich die Technik an den Erfordernissen der organisationalen Strukturen und Kriterien der Qualität der Arbeit, wie etwa Persönlichkeits- und Lernförderlichkeit, orientieren.

Angesprochen sind damit auch neue Herausforderungen für die Planungs- und Managementbereiche der Unternehmen (Hirsch-Kreinsen 2014a): Zum einen deuten Bestandsaufnahmen darauf hin, dass auf Grund der dezentralen Selbstorganisation der Systeme und einer entsprechend flexiblen Arbeitsorganisation auf der operativen Ebene ein Teil von bisher auf der Leitungsebene von technischen Experten und vom Produktionsma-

nagement ausgeführten Planungs- und Steuerungsfunktionen „nach unten“ abgegeben werden. Das heißt, mit Industrie-4.0-Systemen verbindet sich ein Dezentalisierungsschub und Hierarchieabbau innerhalb oft ohnehin schon relativ „flach“ strukturierter Fabrikorganisationen. Zum anderen dürften komplexitätsbedingt erweiterte und neue Planungsaufgaben auf diese Bereiche zukommen. Für das Management besteht u. a. die Möglichkeit, betriebswirtschaftliche Entscheidungen vermehrt auf der Basis genauer Echtzeitdaten zu treffen. Es wird freilich auch auf das damit aufkommende Problem verwiesen, dass neuartige Probleme der Bewältigung und sinnvollen Filterung großer Datenmengen zu erwarten sein (Kinkel et al. 2008).

Auch wird nicht ausgeschlossen, dass die Abläufe autonomer Systeme für Planungsbereiche und Produktionsleitungen auf Grund ihrer Komplexität weitgehend intransparent bleiben und daher die bisherigen Entscheidungskompetenzen dieser Managementgruppe sich systembedingt auf die operative Ebene verlagern und nun entweder automatisiert oder von den dortigen qualifizierten Operateuren wahrgenommen werden müssen. Als Konsequenz dieser Situation wird eine mangelnde Akzeptanz der neuen Technologien bei Managern befürchtet (Spath et al. 2013, S. 100).

4.4 ARBEITSBEDINGUNGEN: ENTGRENZUNG ODER REGULIERUNG

Letztlich wird ein Handlungsfeld zur Gestaltung von Industriearbeit in der Industrie 4.0 in der künftigen Gestaltung der Arbeits- und Leistungsbedingungen gesehen. Aufgegriffen werden hiermit Fragen der Entgrenzung und der Regulierung von Industriearbeit. Der Digitalisierungsprozess in der industriellen Produktion eröffnet die Realisierung von Arbeitsstrukturen, die bislang eher aus anderen Arbeitszusammenhängen und wissensintensiven Branchen bekannt sind. So kann z. B. auch in der Industrie eine wachsende Entkopplung von Arbeitszeit und Arbeitsort betriebliche Praxis werden: Weit mehr als bisher könnten sich auf der Basis digitalisierter Planungs- und Steuerungssysteme zeitlich und räumlich flexible Formen der Projektarbeit durchsetzen, die unternehmensinterne und externe Beschäftigte umfassen. So wird beispielsweise mit „Cloud Accounting“ eine Entwicklungsstufe des Controllings prognostiziert, die eine ortsungebundene Rechnungslegung in Echtzeit ermöglicht (Dimitriu/Matei 2014).

Hieraus ergeben sich neue Möglichkeiten der Flexibilisierung von Arbeitsort- und -zeit von Führungskräften, die in konventionellen Rechnungslegungssystemen auf die Datenaufbereitung des Controllers angewiesen sind. Einig sind sich viele Studien, dass die Flexibilisierung und Individualisierung starrer Arbeitszeitstrukturen und Bindungen an Arbeitsorte in der Industrie 4.0 weiter voranschreiten wird (BITKOM 2015). Nach der Studie von Schlund et al. (2014) erwarten rund zwei Drittel der befragten Unternehmen eine weitere Flexibilisierung der Arbeitszeitsysteme bei der Einführung von Industrie 4.0 (ebd., S. 23).

Hier zeigt sich eine enge Verbindung mit den von den Unternehmen eingeschlagenen Entwicklungspfaden: Sollte sich z. B. das skizzierte Modell der „Schwarm-Organisation“ (vgl. 4.3) durchsetzen, ist von einer weitgehenden arbeitszeitlichen Flexibilisierung und organisationalen Entgrenzung in Form lockerer Netzwerkbildung auszugehen, die die Beschäftigten immer weniger an starre Betriebsstrukturen (Stichwort: Entbetrieblichung) bindet. Gleichzeitig wachsen damit Anforderungen an das subjektive Arbeitsvermögen der Beschäftigten, die sich auf die individuelle Leistungsbe-

reitschaft, spezifische Qualifikationen und Kompetenzen der Selbstorganisation richten.

Einen wichtigen Stellenwert im Kontext dieser „Entgrenzungsdebatte“ in der Industrie 4.0 nimmt auch das Thema „Crowdworking“ ein (Leimeister/Zogaj 2013). Dieses verweist auf weitergehende Veränderungen von Produktionsprozessen und die Verlagerung von verschiedensten Funktionen an eine ex ante nicht definierte Anzahl unterschiedlich spezialisierter Akteure. Die technologische Basis hierfür ist eine Vernetzung und Internetplattform, die eine offene Ausschreibung von Aufgaben in einer Internetöffentlichkeit möglich werden lässt. Besonders kritisch werden dabei u. a. von der IG Metall die Plattformen betrachtet, auf denen Arbeitsaufträge deutlich unterhalb des Mindestlohns vergütet werden unter gleichzeitig prekären rechtlichen Schutzmechanismen für Arbeitnehmer. Auf diesen werden Arbeitsaufträge teilweise gar nicht erst vergütet, weil die ausschreibenden Unternehmen zwischen den eingereichten Beiträgen auswählen können (vgl. Benner 2015). Durch zusätzliche Bewertungssysteme, mit denen die Leistungen der Arbeitnehmer beurteilt werden, entstehen kompetitive und vermarktlichte Strukturen unter stark asymmetrischen Machtverhältnissen. (ebd.) Boes et al. (2015) fassen solche Ausschreibungsplattformen als „Informationsraum“, in dem sich neue Formen sozialer Kooperation abzeichnen, über die Unternehmen bislang unerreichte Arbeitskraftressourcen mobilisieren und in ihre Verwertungsprozesse einbinden können. Exemplarisch greifen die Autoren den IT-Konzern IBM auf, der über interne und externe Ausschreibungsportale Softwareentwicklung betreibt (Boes et al. 2014, 2015).

Die möglichen Konsequenzen dieser Entgrenzungs- und Subjektivierungstendenzen für die Beschäftigten werden in der vorliegenden Literatur sehr widersprüchlich eingeschätzt. Auf der einen Seite finden sich Argumente, die eine Steigerung der Qualität der Arbeit betonen. Hervorgehoben wird beispielsweise, dass die Flexibilisierungstendenzen generell eine deutlich verbesserte „Work-Life-Balance“, etwa eine bessere Vereinbarkeit von Beruf und Familie ermögliche (z. B. Kagermann 2014, S. 608). Auch könnten Mitarbeiter unter den neuen Arbeitsbedingungen ihre Arbeitsbelastung und ihren Arbeitsanfall perspektivisch autonomer regulieren. So könnten

älteren Beschäftigten durch technische Assistenzsysteme Entlastungen ermöglicht werden, um physische wie psychische Fehlbeanspruchungen zu vermeiden und eine längerfristige Berufsfähigkeit zu erhalten. In der Konsequenz könnten damit Herausforderungen des demographischen Wandels und des konstatierten Fachkräftemangel bewältigt werden (Forschungsunion/acatech 2013).

Auf der anderen Seite werden in verschiedenen Kontexten die möglichen Risiken und negativen Arbeitsfolgen diskutiert. Hingewiesen wird hierbei etwa auf fehlende Regulationsstrukturen, neu entstehende prekäre Arbeitsformen, datenschutzrechtliche Fragen in Bezug auf personenbezogene Leistungsdaten sowie komplexe Prozesse der Arbeits- und Leistungsverdichtung. Von entscheidender Bedeutung sind in diesem Kontext Fragen der Partizipation und Mitbestimmung der Beschäftigten, d.h. in wieweit und in welcher Form diese an der Gestaltung von Arbeitsstrukturen und Leistungsanforderungen beteiligt sind (Dombrowski/Wagner 2014; Benner 2015). Für die Mitbestimmungsträger bestehen die Herausforderungen, frühzeitig eigene Handlungsstrategien bei der Umsetzung in der Industrie 4.0 zu entwickeln, um die Arbeitsbedingungen mitzugestalten und ggf. in Betriebsvereinbarungen zu regeln. Mitbestimmungspflichtige Themen bei Industrie 4.0 wären u. a. flexible Arbeitszeiten, EDV-System, Arbeits- und Gesundheitsschutz, betriebliche Lohngestaltung, Durchführung von Gruppenarbeit oder betriebliche Qualifizierung (Kleinhempel et al. 2015). Bei einer konsequenten Umsetzung der Industrie 4.0 und weitreichenden Prozessen der Entgrenzung und „Entbetrieblichung“ der industriellen Produktion gerät schließlich auch die Funktionalität des Betriebsverfassungsgesetzes auf den Prüfstand.

5. Bilanzierung: Möglichkeiten und Ungewissheiten

Die Durchsicht der vorliegenden Befunde zeigt, dass sich die meisten Trendaussagen darin einig sind, dass die weitere Diffusion von Industrie-4.0-Technologien erhebliche Veränderungen in industrieller Produktion, Organisation und Arbeit nach sich ziehen wird: Die Arbeits- und Kontrollbeziehungen von Mensch, Maschine und ggf. Produkten werden neu justiert, komplexere Arbeitszusammenhänge müssen von den Mitarbeitern bewältigt werden und Qualifikationsanforderungen verändern sich ebenso wie bisher etablierte Berufsbilder (insbesondere an der Nahtstelle von Produktions- und Entwicklungsarbeit). Über die konkreten Ausformungen zukünftiger Produktionsarbeit findet sich hingegen wenig Eindeutiges. In der Gesamtbetrachtung kommen viele Bestandsaufnahmen zu dem zunächst wenig überraschenden Ergebnis, dass der – von Betrieben, Branchen und Verbänden – konkret gewählte Entwicklungspfad in die Industrie 4.0 entscheidend sein wird, welcher Stellenwert und welche Ausdrucksformen von Produktionsarbeit sich langfristig durchsetzen werden. Dies verweist zum einen auf den Stellenwert der betrieblichen Realitäten, konfrontiert zum anderen aber auch politische und verbandliche Akteure mit Fragen, wie die Industriearbeit der Zukunft in ihren Vorstellungen aussehen soll und welche flankierenden Maßnahmen hierfür erforderlich sind.

Hinsichtlich der Realisierung der technologiegetriebenen Vision der Industrie 4.0 sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch viele Fragen ungeklärt: Wann, wo, wie und in welchem Ausmaß die neuen CPS-Technologien und smarten Produktionssysteme in den Betrieben implementiert werden, muss die weitere Entwicklung zeigen. Während einige Unternehmen und Indust-

riezweige bereits Vorreiterfunktionen übernehmen, stehen andere der Entwicklung abwartend bis ablehnend gegenüber. Für die unmittelbare Zukunft ist davon auszugehen, dass zunächst „Insellösungen“ (Windelband 2014, S. 158) bzw. differenzierte Landschaften von Industrie-4.0-Anwendungen (Hirsch-Kreinsen 2014b) realisiert werden. Diese können ggf. die Basis für eine rasche Diffusion der smarten Produktionssysteme bilden. Offen bleibt zudem, ob sich Industrie-4.0-Systeme kurzfristig im Bereich der flexiblen Großserienproduzenten oder im weiten Bereich wenig technologieintensiver kleiner und mittlerer Unternehmen (KMU) durchsetzen werden. Insbesondere für Letztere ergeben sich zumindest gegenwärtig (zu) hohe Anforderungen an finanzielle und personelle Ressourcen sowie technologische und organisatorische Kompetenzen. Alles in allem geht es dabei um die keineswegs endgültig geklärte Frage, inwiefern sich die wirtschaftliche und soziale Entwicklung tatsächlich an der Schwelle zu einer vierten industriellen Revolution befindet (ebd.; Dörre 2014).

Offen bleiben zum gegenwärtigen Zeitpunkt auch viele Fragen zur Zukunft der Industriearbeit unter den Bedingungen der Industrie 4.0. Hier werden sich in den nächsten Jahren die konkreten Entwicklungspotentiale eröffnen, gleichzeitig jedoch auch Risiken, Grenzen und Barrieren in der Umsetzung sichtbar werden. Für die industrielle Einfacharbeit von Geringqualifizierten sind die Prognosen insgesamt weniger gut. Allenfalls in Rationalisierungsnischen und in Branchen, die weiter auf manuelle Einfach Tätigkeiten setzen, sollen künftig Einsatzmöglichkeiten bestehen können. Doch auch hier hängt einiges von der Industrie, den politischen Entscheidungsträgern und den Interessenverbänden ab, welchen Stellenwert dieser Beschäftigungstyp künftig in der industriellen Arbeitswelt einnehmen wird. Auch die Zukunft der industriellen Facharbeit ist ungewiss. Neben deutlichen Gefahren der Dequalifizierung bestehen durchaus Perspektiven einer Aufwertung und stärkeren Verknüpfung mit Entwicklungsaufgaben. Für Höherqualifizierte hingegen scheinen sich erhebliche Beschäftigungsperspektiven ergeben, wenn sie sich auf neuen Qualifikations- und Flexibilitätsanforderungen einlassen.

Letztlich kann die Durchsicht der aktuellen Literatur und Studien zum Thema Industriearbeit unter den Bedingungen Industrie 4.0 angesichts der

bislang doch recht begrenzten empirischen Befunde keine abschließenden Aussagen über die künftige Entwicklung der Produktionsarbeit in der Vision Industrie 4.0 befördern. Sie zeigt aber die Bandbreite und die Widersprüche der aktuellen Bestandsaufnahmen, die sich nicht zuletzt in den verschiedenen, mitunter polarisierenden Entwicklungsszenarien widerspiegeln. Hier bleibt zum gegenwärtigen Zeitpunkt abzuwarten, welche konkreten Ergebnisse die laufenden Projekte zu dieser Thematik generieren werden und welchen Handlungsorientierungen die Entscheidungsträger in Wirtschaft und Politik folgen werden. Abzusehen ist allerdings, dass erhebliche Anstrengungen der Akteure in Wirtschaft, Politik und Wissenschaft erforderlich sein werden, um die positiven Szenarien einer künftigen industriellen Arbeitswelt Realität werden zu lassen (vgl. Kuhlmann/Schumann 2015; Howaldt et al. i. E.). Für die Mitbestimmungsträger bedeutet dies, die Potentiale und Chancen der „arbeitsorientierten“ Entwicklungspfade im Kontext soziotechnischer Systemgestaltung weiter herauszuarbeiten, um ihre Vorstellungen von guter Arbeit in die Arbeits- und Produktionswelt der Zukunft zu implementieren.

Literatur

- Abel, J./Hirsch-Kreinsen, H./Ittermann, P. 2014: Einfacharbeit in der Industrie. Strukturen, Verbreitung und Perspektiven. Berlin
- acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hg.) 2011: Cyber-Physical Systems. Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion. Berlin
- Anderl, R. 2015: Musterfabriken in Deutschland. Foliensatz vom 10. Februar 2015, Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion, TU Darmstadt
- Ashton, K. 2009: That „Internet of Things“ Thing. In the real world, things matter more than ideas. RFID Journal v. 22.06.2009
- Bainbridge, L. 1983: Ironies of Automation. In: Automatica, Vol. 19 (1983), No. 6, S. 775-779
- Bauernhansl, T./ten Hompel, M./Vogel-Heuser, B. (Hg.) 2014: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Wiesbaden
- BCG – Boston Consulting Group (Hg.) 2015: Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. München u. a.O
- Becker, K.-D. 2015: Arbeit in der Industrie 4.0 – Erwartungen des Instituts für angewandte Arbeitswissenschaft e.V. In: Botthof/Hartmann 2015, S. 23-30
- Benner, C. 2015: Wer schützt die Clickworker? In: Schirmmacher, F. (Hg.): Technologischer Totalitarismus. Eine Debatte. Berlin, S. 90-96
- Berger, T./Frey, C.B. 2015: Bridging the Skills Gap. In: Dolphin, T. (Hg.): Technology, Globalisation and the Future of Work in Europe. Essays on Employment in a digitised Economy. London, S. 75-79

- BITKOM 2015: Digitalisierung bietet Chancen für flexibles Arbeiten. Berlin
- BITKOM/Fraunhofer IAO (Hg.) 2014: Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. Berlin/Stuttgart
- BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung 2014: Industrie 4.0. Innovationen für die Produktion von morgen. Berlin
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2014: Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin
- Bochum, U. 2015: Gewerkschaftliche Positionen in Bezug auf „Industrie 4.0“. In: Bothof/Hartmann 2015, S. 31-44
- Boes, A./Kämpf, T./Langes, B./Lühr, T. 2014: Informatisierung und neue Entwicklungstendenzen von Arbeit. In: AIS-Studien, Jg. 7 (2014), H. 1, S. 5-23
- Boes, A./Kämpf, T./Langes, B./Lühr, T. 2015: Landnahme im Informationsraum. Neukonstituierung gesellschaftlicher Arbeit in der „digitalen Gesellschaft“. In: WSI-Mitteilungen, Jg. 68 (2015), H. 2, S. 77-85
- Bothof, A./Hartmann, E. A. (Hg.) 2015a: Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin/Heidelberg
- Bothof, A./Hartmann, E. A. 2015b: Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0 – Neue Perspektiven und offene Fragen. In: Bothof/Hartmann 2015, 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? Internet: <http://www.bruegel.org/nc/blog/detail/article/1394-the-computerisation-of-european-jobs/> [zuletzt aufgesucht am 25.02.2015]
- Broy, M. (Hg.) 2010: Cyber-physical systems. Innovation durch software-intensive eingebettete Systeme. Berlin/Heidelberg
- Brynjolfsson, E./McAfee, A. 2011: Race Against The Machine: How the Digital Revolution is Accelerating Innovation, Driving Productivity, and Irreversibly Transforming Employment and the Economy. Lexington

- Brynjolfsson, E./McAfee, A. 2014: *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. New York/London
- Bullinger, H.-J./ten Hompel, M. (Hg.) 2007: *Internet der Dinge*. Berlin
- Crozier, M./Friedberg, E. 1993 (1979): *Macht und Organisation. Die Zwänge kollektiven Handelns*. Frankfurt am Main
- Deuse, J./Weisner, K./Hengstebeck, A./Busch, F. 2015: *Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext von Industrie 4.0*. In: Botthof, A./Hartmann, E.A. (2015), S. 99-109
- Deutsche Bank Research 2014: *Industrie 4.0: Upgrade des Industriestandorts Deutschland steht bevor*. Frankfurt am Main
- DIHK – Deutscher Industrie- und Handelskammertag 2015: *Wirtschaft 4.0: Große Chancen, viel zu tun. Das IHK-Unternehmensbarometer zur Digitalisierung*. Berlin
- Dimitriu, O./Matei, M. 2014: *A New Paradigm for Accounting through Cloud Computing*. In: *Procedia Economics and Finance*, Issue 15 (2014), S. 840-846
- Dombrowski, U./Riechel, C./Evers, M. 2014: *Industrie 4.0 – Die Rolle des Menschen in der vierten industriellen Revolution*. In: *Kersten/Koller/Lödding 2014*, S. 129-153
- Dombrowski, U./Wagner, T. 2014: *Arbeitsbedingungen im Wandel der Industrie 4.0. Mitarbeiterpartizipation als Erfolgsfaktor zur Akzeptanzbildung und Kompetenzentwicklung*. In: *ZWF*, Jg. 109 (5), S. 351-355
- Dörre, K. 2014: *Industrie 4.0 – Neue Prosperität oder Vertiefung gesellschaftlicher Spaltungen? Sechs Thesen zur Diskussion*. Working Paper der DFG-KollegforscherInnengruppe Postwachstumsgesellschaften, Nr. 09 (2014). Jena
- Ernst & Young 2015: *Digitalisierung: Wer investiert und profitiert – wer verliert? Ergebnisse einer Umfrage unter 1.025 Unternehmen in zwölf Ländern*. Hamburg u. a.O.
- EU/EFFRA 2015: *Innovation in Digital Manufacturing. Report from the Workshop on Innovation in Digital Manufacturing*. Brüssel
- FIR 2013: *Untersuchung 2013. „Produktion am Standort Deutschland“*. Management-Summary. Aachen

- Fleisch, E./Mattern, F. (Hg.) 2005: Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis: Visionen, Technologien, Anwendungen, Handlungsanleitungen. Berlin/Heidelberg
- Forschungsunion 2012a: Im Fokus: Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Handlungsempfehlungen zur Umsetzung. Berlin
- Forschungsunion 2012b: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Vorabversion. Berlin
- Forschungsunion/acatech 2013: Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Frankfurt am Main
- Fraunhofer IPA (Hg.) 2014: Strukturstudie „Industrie 4.0 für Baden-Württemberg“. Baden-Württemberg auf dem Weg zu Industrie 4.0. Stuttgart
- Frey, C.B./Osborne, M.A. 2013: The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation? In: Oxford Martin School Working Paper, September (2013), Nr. 18, S. 1-72
- Gausemeier, J. 2013: Strategische Planung und integrative Entwicklung der technischen Systeme von morgen. Schriftenreihe der Nordrhein-Westfälische Akademie der Wissenschaften. Paderborn
- GE – General Electric (Hg.) 2012: Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines. Fairfield
- Geisberger, E./Broy, M. (Hg.) 2012: agendaCPS. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. Berlin/Heidelberg
- Gill, H. 2006: NSF Perspective and Status on Cyber-Physical Systems. Austin. Internet: <http://varma.ece.cmu.edu/CPS/Presentations/gill.pdf> [zuletzt aufgesucht am 1.04.2015]
- Grote, G. 2009: Die Grenzen der Kontrollierbarkeit komplexer Systeme. In: Weyer, J./Schulz-Schaeffer, J. (Hg.): Management komplexer Systeme: Konzepte für die Bewältigung von Intransparenz, Unsicherheit und Chaos. München, S. 149-168
- Hackel, M./Bertram, B./Blötz, U./Reymers, M./Tutschner, H./Wasiljew, E. 2015: Diffusion neuer Technologien. Veränderungen von Arbeitsaufga-

- ben und Qualifikationsanforderungen im produzierenden Gewerbe (DifTech). Abschlussbericht. Bonn
- Hirrichsen, S./Jasperneite, J. 2013: Industrie 4.0 – Begriff, Stand der Umsetzung und kritische Würdigung. In: Betriebspraxis & Arbeitsforschung, Jg. 6 (2013), H. 216, S. 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“. In: WSI-Mitteilungen, Jg. 67 (2014), H. 6, S. 421-429
- Hirsch-Kreinsen, H. i. E.: Digitalisierung industrieller Arbeit – Technologische Grundlagen, Entwicklungstendenzen, unterschiedliche Einschätzungen und Bewertungen. In: Hirsch-Kreinsen/Ittermann/Niehaus (i. E.)
- Hirsch-Kreinsen, H./Ittermann, P./Niehaus, J. (Hg.) i. E.: Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. Berlin
- Hoffmann, R./Bogedan, C. (Hg.) 2015: Arbeit der Zukunft. Möglichkeiten nutzen – Grenzen setzen. Frankfurt am Main
- Howaldt, J./Kopp, R./Schultze, J. i. E.: Zurück in die Zukunft? – Ein kritischer Blick auf die Diskussion zur Industrie 4.0. In: Hirsch-Kreinsen/Ittermann/Niehaus (i. E.)
- ICC – Industrial Internet Consortium 2015: General Information. Internet: <http://www.iiconsortium.org/about-us.htm> [zuletzt aufgesucht am 10.04.2015]
- Infront/Capital (Hg.) 2015: Digitale Transformation in deutschen Kernindustrien. Hamburg
- Ittermann, P. 2014: Stellenwert und Entwicklungsperspektiven von Einfacharbeit in der deutschen Wirtschaft. In: Lange, J. (Hg.): Wirtschaftsförderung und Arbeitsförderung Hand in Hand? Kooperationsstrategien zur Arbeitskräftesicherung. Rehburg-Loccum, S. 27-40
- Kagermann, H. 2014: Chancen von Industrie 4.0 nutzen. In: Bauernhansl/ten Hompel/Vogel-Heuser 2014, S. 603-614

- Kagermann, H./Lukas, W.-D./Wahlster, W. 2011: Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. In: VDI nachrichten, 1. April 2011, Nr. 13, S. 2
- Kersten, W./Koller, H./Lödding, H. (Hg.) 2014: Industrie 4.0. Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern. Schriftenreihe der Hochschulgruppe für Arbeits- und Betriebsorganisation e.V. Berlin
- Kinkel, S./Friedewald, M./Hüsing, B./Lay, G./Lindner, R. 2008: Arbeiten in der Zukunft – Strukturen und Trends der Industriearbeit. Berlin
- Kleinhempel, K./Satzler, A./Steinberger, V. 2015: Industrie 4.0 im Aufbruch? Ein beispielhafter Ausschnitt aus dem betrieblichen Stand. In: Report Mitbestimmungsförderung der Hans-Böckler-Stiftung, Nr. 5 (Januar 2015), S. 1-17
- Kuhlmann, M./Schumann, M. 2015: Digitalisierung erfordert Demokratisierung der Arbeitswelt heraus. In: Hoffmann, R./Bogedan, C. (Hg.): Arbeit der Zukunft. Möglichkeiten nutzen – Grenzen setzen. Frankfurt am Main
- Kurz, C. 2014: Industrie 4.0 verändert die Arbeitswelt. Gewerkschaftliche Gestaltungsimpulse für „bessere“ Arbeit. In: Schröter 2014, S. 106-111
- Landesregierung NRW 2015: Regierungserklärung der Ministerpräsidentin des Landes Nordrhein-Westfalen Hannelore Kraft am 29. Januar 2015 vor dem Landtag Nordrhein-Westfalen. Menschen verbinden - Mega-Bits. MegaHerz. MegaStark. Düsseldorf
- Mainzer, K. 2015: Die traditionelle „Medienkompetenz“ greift zu kurz! Herausforderungen durch die Digitalisierung der Arbeitswelt. Internet: <http://www.medienpolitik.net/2015/01/internet-die-traditionelle-medienkompetenz-greift-zu-kurz/> [zuletzt aufgesucht am 17.02.2015]
- Malanowski, N./Brandt, J.Ch. 2014: Innovations- und Effizienzsprünge in der chemischen Industrie? Wirkungen und Herausforderungen von Industrie 4.0 und Co. Düsseldorf
- Mattauch, W. 2014: Strategien und Förderaktivitäten der USA im Umfeld von Autonomik 4.0. Bonn
- May, E. 2014: Robotik und Arbeitsschutzrecht. In: Hilgendorf, E. (Hg.): Robotik im Kontext von Recht und Moral. Baden-Baden, S. 99-118

- McKinsey 2015: Industry 4.0 – How to navigate digitization of the manufacturing sector. Düsseldorf
- MHP Porsche 2014: Studie Industrie 4.0 – Eine Standortbestimmung der Automobil- und Fertigungsindustrie. Ludwigsburg
- Mühlbradt, T. 2014: Was macht Arbeit lernförderlich? Eine Bestandsaufnahme. In: MTM-Schriften Industrial Engineering, Ausgabe 1 (2014), S. 1-36
- Müller-Jentsch, W. 2007: Strukturwandel der industriellen Beziehungen. „Industrial Citizenship“ zwischen Markt und Regulierung. Wiesbaden
- Neef, A./Burmeister, K. 2005: Die Schwarm-Organisation – Ein neues Paradigma für das e-Unternehmen der Zukunft. In: Kuhlin, B./Thielmann, H. (Hg.): Real-Time Enterprise in der Praxis. Berlin u. a.O., S. 563-572
- Peissner, M./Hipp, C. 2013: Potenziale der Mensch-Technik Interaktion für die effiziente und vernetzte Produktion von morgen. Stuttgart
- Pfeiffer, S. 2014: Volkswirtschaftliches Potenzial von Industrie 4.0 – ein paar Fragen. Internet: <http://www.sabine-pfeiffer.de/blog-eintrag/industrie-4-0-fragen.html> [zuletzt aufgesucht am 25.02.2015]
- Pfeiffer, S./Suphan, A. i. E.: 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. (i. E.)
- Plattform Industrie 4.0 2013: Was Industrie 4.0 (für uns) ist. Veröffentlicht am 05.07.2013. Internet: <http://www.plattform-i40.de/was-industrie-40-für-uns-ist> [zuletzt aufgesucht am 24.02.2015]
- Plattform Industrie 4.0 2014a: Neue Chancen für unsere Produktion. 17 Thesen des Wissenschaftlichen Beirats der Plattform Industrie 4.0. Berlin
- Plattform Industrie 4.0 2014b: Industrie 4.0 – Whitepaper FuE-Themen. Stand 3. April 2014. Berlin
- PWC 2014: Industrie 4.0 – Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution. Frankfurt am Main
- Rice, A. 1963: The Enterprise and its Environment: A System Theory of Management Organization. London

- Roland Berger 2014: Think Act. Industry 4.0. The new industrial revolution. How Europe will succeed. München
- Roland Berger/BDI – Bundesverband der Deutschen Industrie e.V. (Hg.) 2015: Die digitale Transformation der Industrie. Was sie bedeutet. Wer gewinnt. Was jetzt zu tun ist. Berlin/München
- Schlund, S./Gerlach, S. 2013: Der Mensch im industriellen Holozän. In: Economic Engineering, H. 4 (2013), S. 22-26
- Schlund, S./Hämmerle, M./Strölin, T. 2014: Industrie 4.0 eine Revolution der Arbeitsgestaltung – Wie Automatisierung und Digitalisierung unsere Produktion verändern wird. Ulm/Stuttgart
- Schröter, W. (Hg.) 2014: Identität in der Virtualität. Einblicke in neue Arbeitswelten und Industrie 4.0. Mössingen-Talheim
- Schuh, G./Stich, V. (Hg.) 2013: Produktion am Standort Deutschland. Ergebnisse der Untersuchung 2013. Aachen/Frankfurt am Main
- Soder, J. 2014: Use Case Production: Von CIM über Lean Production zu Industrie 4.0. In: Bauernhansl/ten Hompel/Vogel-Heuser 2014, S. 85-102
- Spath, D./Ganschar, O./Gerlach, S./Hämmerle, M./Krause, T./Schlund, S. (Hg.) 2013: Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Stuttgart
- Stark, R./Kim, M./Damerau, T./Neumeyer, S./Vorsatz, T. 2015: Notwendige Voraussetzungen für die Realisierung von Industrie 4.0. Ein Beitrag aus der Sicht der Industriellen Informationstechnik. In: ZWF, Jg. 110 (2015), H. 3, S. 134-141
- Staufen AG 2014: Deutsche Industrie 4.0 Index. Köngen
- Süddeutsche Zeitung 2014: Eine Revolution mit Ansage. Von A.-Ch. Wimber, 16.07.2017, S. 23
- ten Hompel, M. 2014: Logistik 4.0. In: Bauernhansl/ten Hompel/Vogel-Heuser 2014, S. 615-624
- ten Hompel, M./Hirsch-Kreinsen, H. 2014: Social Manufacturing and Logistics. Rahmenpapier Forschung Industrie 4.0 als soziotechnisches System. Dortmund
- The Economist 2014: Networked manufacturing: The digital future. A report from the Economist Intelligence Unit. London u. a.O

- Tödter, J./Viereck, V./Krüger-Basjmeleh, T./Wittmann, T. 2015: Steigerung des Autonomiegrades von autonomen Transportrobotern im Bereich der Intralogistik – technische Entwicklungen und Implikationen für die Arbeitswelt 4.0. In: Botthof/Hartmann 2015, S. 69-75
- Trist, E./Bamforth, K. 1951: Some social and psychological consequences of the long wall method of coal-getting. In: Human Relations, Jg. 4 (1951), H. 1, S. 3-38
- Uckelmann, D./Harrison, M/Michaelles, F. (Hg.) 2011: Architecting the Internet of Things. Berlin
- VDI (Hg.) 2015: Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnik in der Ingenieurarbeit der Zukunft. Reihe Thesen und Handlungsfelder. Düsseldorf
- VDI nachrichten 2015: „In digitaler Welt muss Platz für Menschen sein“. Interview mit Lars Windelband von W. Schmitz. 30.01.2015, Nr. 5, S. 6
- Wahlster, W. 2007: Das Digitale Produktgedächtnis: Eingebettete Systeme führen Tagebuch. In: harting tec.News, Nr. 15 (2007), S. 7-9
- Windelband, L. 2014: Zukunft der Facharbeit im Zeitalter „Industrie 4.0“. In: Journal of Technical Education, 2. Jg. (2014), H. 2, S. 138-160
- Windelband, L./Dworschak, B. i. E.: Arbeit und Kompetenzen in intelligenten Produktionssystemen. In: Hirsch-Kreinsen, H./Ittermann, P./Niehaus, J. (i. E.)
- 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 – Früherkennung von Qualifikationserfordernissen (Hg.): Zukünftige Qualifikationserfordernisse durch das Internet der Dinge in der Logistik. Zulf. der Studienergebnisse. Bremen, S. 5-9
- Zeller, B./Achtenhagen, C./Först, S. 2010: Das „Internet der Dinge“ in der industriellen Produktion – Studie zu künftigen Qualifikationserfordernissen auf Fachkräfteebene. Report FreQueNz – Früherkennung von Qualifikationserfordernissen. Bonn/Nürnberg
- Zuboff, S. 1988: In the age of the smart machine. The future of work and power. New York

Anhang

Tabelle: AI: Ausgewählte Industrie-4.0-Projekte mit arbeitsbezogenen Fragestellungen

Förderung und Durchführung	Titel	Projektbeschreibung/ arbeitsbezogene Fragen
BMWi, DLR „Autonomik für Industrie 4.0“ Festo Lernzentrum Saar GmbH (Koordination)	APPSist – CPS- integrierte Assistenz- systeme und Internet- dienste zur mobilen und kontextsensitiven Wissens- und Hand- lungsunterstützung in der Smart Production	Im Projekt „APPSist“ wird die Einführung und Entwicklung digitaler Assistenzsysteme in der manuellen Fertigung angegangen. Dabei sollen den Produktionsmitarbeitern über Tablets und Smartphones lernförderliche Maschinenschnittstellen zur Verfügung gestellt werden, die individuell auf das jeweilige Kompetenzniveau des Mitarbeiters abgestimmt sind und neues Wissen vermitteln. Damit soll die fachliche Weiterbildung verstetigt werden und den Anforderungen alternder Belegschaften entsprochen werden. Link: http://www.appsist.de , Laufzeit: 1/2014 bis 1/2017

**BMWi, DLR
„Autonomik für
Industrie 4.0“**

neusta mobile soluti-
ons GmbH
(Koordination)

InSA – Integrierte
Schutz- und Sicher-
heitskonzepte in Cy-
ber-Physischen Ar-
beitsumgebungen

Das Ziel des Projektes besteht in der Integration von Schutz- und Sicherheitskonzepten bei der intelligenten Vernetzung von Robotersystemen und menschlichen Arbeitern in Produktion und Fertigung. Dabei geht es um die Entwicklung einer Schutzarchitektur und Sicherheitsplattform, die die Anwesenheit des Menschen im Arbeits- und Bewegungsbereich des Industrieroboters ohne Gefährdungen ermöglicht.

Link: <http://www.insa-projekt.de>.

**BMWi, DLR
„Autonomik für
Industrie 4.0“**

RIF e. V. – Dortmund
(Koordination)

MANUSERV - Vom
Manuellen Prozess
zum industriellen
Serviceroboter

Das Projekt will ein System entwickeln, um bislang manuell durchgeführte Prozesse mit Hilfe von Servicerobotern zu automatisieren. Hier soll die die Fähigkeit von technischen Systemen gefördert werden, selbstständig oder interagierend mit dem Menschen individuelle Aufgaben und Dienste zu verrichten.

Link: <http://www.manuserv.de>.

**BMW, DLR
„Autonomik für
Industrie 4.0“**

Audi AG
(Koordination)

motionEAP – System zur Effizienzsteigerung und Assistenz bei Produktionsprozessen in Unternehmen auf Basis von Bewegungserkennung und Projektion

Im Projekt soll ein System zur Effizienzsteigerung und Assistenz bei Produktionsprozessen in Unternehmen auf Basis von Bewegungserkennung und -projektion entwickelt werden. Neben der technischen Entwicklung liegt ein Schwerpunkt des Projektes auf psychologischen und arbeitsethischen Fragen.

Link: <http://www.motioneap.de>, Laufzeit: 1/2013-12/2015

**BMBF, PTKA-PFT
„Intelligente Vernetzung in der Produktion“**

CBS Information
Technologie AG,
Chemnitz (Koordination)

SCPS – Ressourcen-Cockpit für Sozio-Cyber-Physische Systeme

Im Projekt „SCPS“ wird ein softwaregestützter Ressourcen-Monitor entwickelt, der es Mitarbeitern in der Instandhaltung (Automobilproduktion und Windkraftanlagen) ermöglicht, per Tablet alle notwendigen Maschinendaten digital aufbereitet sowie eine Übersicht über die zu erledigenden Aufgaben zur Verfügung gestellt zu bekommen. Damit soll zusätzliche Koordination mit der Zentrale oder den Unternehmen vor Ort reduziert werden. Die Softwareentwicklung, die auf eine ergonomische Mensch-Technik-Schnittstelle ausgerichtet ist, wird dabei von Qualifizierungsmaßnahmen der Produktionsmitarbeiter flankiert.

Link: <http://www.tu-chemnitz.de/mb/ArbeitsWiss/s-cps>,
Laufzeit: 1/2014 bis 12/2016

**BMBF, PTKA-PFT
„Intelligente Vernetzung in der Produktion“**

Fraunhofer-IAO,
Stuttgart (Koordination)

KapaflexCy –
Selbstorganisierte
Kapazitätsflexibilität
in Cyber-Physical-
Systems

Im Projekt „KapaflexCy“ wird eine Software zur flexiblen Organisation von Arbeitsschichten entwickelt, mit deren Hilfe die Produktionsmitarbeiter selbstständig untereinander ihre Arbeitszeiten über Smartphones arrangieren können. Damit sollen konventionelle Methoden der Arbeitszeitplanung wie Schichtpläne und informelle Absprachen zwischen Vorarbeitern, Personalverantwortlichen und Mitarbeitern durch IT-gestützte Verfahren ersetzt werden. Ziel dieser neuen Methode ist die flexible Anpassung von Personalressourcen an schwankenden Produktionskapazitäten und Nachfragesituationen.

Link: <http://www.kapaflexcy.de>, Laufzeit: 9/2012-9/2015

**BMBF, PTKA-PFT
„Intelligente Vernetzung in der Produktion“**

Adam Opel AG, Rüsselsheim (Koordination)

IWEPRO – Intelligente selbstorganisierende Werkstattproduktion

Im Verbundprojekt „IWEPRO“ sollen Lösungen für eine bedarfsgerechte Kommunikation zwischen Maschinen und Produktionsmitarbeitern gefunden werden. Dabei wird in einem Teilprojekt nach den qualifikatorischen Anforderungen und Voraussetzungen für deren betriebliche Beherrschbarkeit gefragt und die Implementierungsphase im Hinblick auf partizipative Chancen für die Beschäftigten begleitet. Aus den Analysen sollen Akzeptanzbarrieren und Gestaltungshinweise der Einführung von schnittstellenübergreifenden Kommunikationsstrukturen abgeleitet werden.

Link: <http://www.projekt-iwepro.de>, Laufzeit: 1/2013 bis 10/2016

**BMBF,PTKA-PFT
„Intelligente Vernetzung in der Produktion“**

Siemens AG, München (Koordination)

MetamoFAB – Metamorphose zur intelligenten und vernetzten Fabrik

Das Projekte „MetamoFAB“ zielt auf eine Analyse und Typologie charakteristischer Einführungs- und Etablierungsphasen von intelligenten Fabrikmodulen in bestehende Produktionsstrukturen ab. Dabei werden in unterschiedlichen Arbeitspaketen Referenzmodelle und entsprechende Managementstrategien erarbeitet, die Qualifikationsbedarfe der beteiligten Mitarbeiter ermittelt und weiterentwickelt sowie die Veränderungen der Arbeitsorganisation analysiert. Am Beispiel von Demonstratoren wird ein Schwerpunkt auf die arbeitsorganisatorische Gestaltung im Hinblick auf die Entscheidungsfindung zwischen Mensch und autonomer Maschine gelegt.

Link: <http://www.metamofab.de>, Laufzeit: 11/2013 bis 10/2016

**BMBF, PTKA-PFT
„Intelligente Technische Systeme Ost-WestfalenLippe it's OWL“**

It's OWL clustermanagement GmbH, Paderborn (Koordination)

itsOWL-BiMo – Bildungsmotor it's OWL: Aus- und Weiterbildung, Chancengleichheit, Integration

Im Projekt „itsOWL – BiMo“ werden Weiterbildungsangebote und Qualifizierungsinstrumente für die Beschäftigten an den Industriestandorten Ost-Westfalen-Lippe entwickelt. Damit sollen insbesondere Facharbeiter aus- und weitergebildet werden, um den sich wandelnden Anforderungen digitaler Produktionsstrukturen gerecht zu werden und den lokalen Arbeitsmarkt zu stärken. Darüber hinaus sollen Maßnahmen zur Steigerung der Attraktivität von industriebezogenen Ausbildungen und Studiengängen entwickelt werden.

Link:

http://www.produktionsforschung.de/verbundprojekte/vp/index.htm?VP_ID=3668, Laufzeit: 1/2013 bis 6/2017

BMBF, PTKA-PFT
„Intelligente Technische Systeme Ost-WestfalenLippe it's OWL“

IWT, Universität
Bielefeld (Koordination)

itsOWL-TA – Technik sozial- und humanverträglich gestalten

Das Projekt „itsOWL-TA“ zielt auf die Sensibilisierung von Unternehmen für eine sozial- und humanverträgliche Technikgestaltung und flankiert damit das Spitzencluster Technische Systeme OstWestfalenLippe (it's OWL). Dazu wird eine Servicestelle gegründet, die Methoden und Beratung für Unternehmen bereitstellt, um eine sozio-technisch-fundierte Technikfolgenabschätzung von intelligenten Produktionsstrukturen zu ermöglichen und Implikationen für deren Gestaltung zu formulieren.

Link: <http://www.produktionsforschung.de/projekt/itsowl-ta>,
Laufzeit: 7/2012 bis 6/16

BMBF, PTKA-PFT
„KMU innovativ“

ISF München (Koordination)

MiMik – Der Mensch im Mittelpunkt des KMU-Netzwerks im Kontext der Industrie 4.0

Im Rahmen von „MiMik“ werden Werkzeuge und Techniken entwickelt, um KMU in digitale Wertschöpfungsketten zu integrieren. Dabei stehen die sich im Zuge der Digitalisierung verändernden Koordinations- und Kommunikationsweisen im Vordergrund und werden von Fragen der zukünftigen Qualifikationsentwicklung von Mitarbeitern in KMU flankiert.

Link: <http://www.isf-muenchen.de/projektetails/154>,

Laufzeit: 5/2014 bis 3/2016

BMBF, DLR
„Arbeiten–Lernen–
Kompetenzen entwi-
ckeln“

FIR e.V., RWTH
Aachen
(Koordination)

ELIAS – Engineering
und Mainstreaming
lernförderlicher in-
dustrieller Arbeitssys-
teme für die Industrie
4.0

Das Projekt „ELIAS“ nimmt die sich wandelnden Qualifikationsanforderungen von Produktionsmitarbeitern und Ingenieuren in der Industrie 4.0 zum Ausgang und entwickelt IT-gestützte Methoden und Werkzeuge für lernförderliche Arbeitsumgebungen. Damit sollen zum einen die Effizienzpotentiale intelligenter Produktionsstrukturen durch kontinuierliche Weiterbildung stetig ausgeschöpft werden, zum anderen demographiesensible Arbeitsumgebungen geschaffen, um den Fachkräftemangel abzufedern. Mit Hilfe von Verfahren zur Virtualisierung von Arbeits- und Produktionssystemen sollen Hinweise für die Anpassung des Lernbedarfs aufgestellt werden.

Link: <http://www.projekte.fir.de/elias>, Laufzeit: 12/2013 bis 11/2016

Arbeiterkammer
Wien

FORBA, Wien

„Industrie 4.0“ – ei-
ne arbeitssoziologi-
sche Einschätzung

Das Vorhaben des Projektes ist eine systematische Literaturübersicht zu den sozialen Entwicklungsperspektiven der Industrie 4.0 in der österreichischen Industrie. Dabei werden insbesondere die möglichen qualifikatorischen Folgen von vernetzten und selbststeuernden Produktionssystemen auf die Mitarbeiter sowie Fragen des Datenschutzes und der Kon-

trolle in den Fokus gerückt. Daraus sollen in einem weiteren Schritt arbeitspolitische Handlungsperspektiven für Sozialpartner und Politik abgeleitet werden.

Link: <http://www.forba.at/de/forschung/view/index.html?id=365>,
Laufzeit: 11/2014 bis 8/2015

**Hans-Böckler-
Stiftung, Düsseldorf**

Lehrstuhl Wirt-
schafts- und Indust-
riesoziologie, TU
Dortmund

**Arbeiten in Indust-
rie 4.0** Trendbestim-
mungen und arbeits-
politische Herausfor-
derungen

Ziel der Expertise ist, eine Übersicht über Forschungsaktivitäten, vorliegende Befunde und arbeitspolitische Herausforderungen zur gegenwärtigen Entwicklungen von Industriearbeit unter den Bedingungen der „Industrie 4.0“ zu erstellen. Die wissenschaftlichen und anwendungspraktischen Aktivitäten im Feld Industrie 4.0 haben deutlich zugenommen und die einschlägige Diskussion hat an Breite gewonnen. Vor diesem Hintergrund thematisiert die Expertise zum einen die gegenwärtig relevanten Entwicklungstendenzen, konkreten Einsatzformen und möglichen Grenzen von Industrie-4.0-Systemen. Zum anderen wird der Wandel von Arbeitsbedingungen und Beschäftigungsstrukturen sowie relevante Problemlagen für die Entwicklung und Gestaltung von Arbeit in verschiedenen Funktionsbereichen und bei unterschiedlichen Qualifikationsniveaus analysiert.

Link: http://www.wiso.tu-dortmund.de/wiso/is/de/forschung/-projekte/laufende_projekte/index.html,
Laufzeit: 1/2015 bis 3/2015

**Hans-Böckler-
Stiftung, Düsseldorf**

VDI Technologie-
zentrum, Düsseldorf

**Chemische Industrie
4.0**

Die Kurzexpertise will die gegenwärtige Diskussion über die Produktion der Zukunft in der chemischen Industrie strukturieren und Forschungslücken mittels einer interdisziplinären Perspektive identifizieren. Es wird ein ausgeprägter Forschungsbedarf sowohl im Hinblick auf die weitere Realisierbarkeit technologischer Anwendungen im Zuge von Industrie 4.0 und ähnlicher Konzepte als auch bezüglich der Wirkungen und Herausforderungen für Beschäftigte, Qualifizierung und Arbeitsorganisation konstatiert.

Link: <http://www.vditz.de/meldung/zukuenftige-produktion-in-der-chemischen-industrie>

**VDMA – Verband
des deutschen Anla-
gen- und Maschi-
nenbau**

Lehrstuhl Soziologie,
Universität Hohen-
heim

**Industrie 4.0 im An-
lagen- und Maschi-
nenbau – Qualifizie-
rung 2025**

Die Branchenstudie fokussiert auf Basis qualitativer Forschung auf die Analyse möglicher Veränderungen von Arbeits- und Qualifikationsstrukturen der Beschäftigten im Anlagen- und Maschinenbau durch Industrie 4.0.

Link: <https://soziologie.uni-hohenheim.de/industrie-4-00>, Laufzeit:
1/2015 bis 1/2016

**Fraunhofer IAO,
Stuttgart**

Innovationsnetzwerk Produktionsarbeit 4.0: Die Produktionsarbeit der Zukunft gemeinsam gestalten – eine Initiative für die Industrie 4.0

Im Mittelpunkt des Netzwerks steht der Austausch über Umsetzungsprojekte von Industrie 4.0 in der Praxis. Im Dialog mit Sozialpartnern und Unternehmen werden, flankiert von arbeitswissenschaftlichen Analysen, die Gestaltungsmöglichkeiten neuer Produktionstechnologien ausgelotet. Inhaltliche Schwerpunkte bilden u. a. die Mitarbeiterakzeptanz sowie sich verändernde Führungsstile.

Link: <http://www.produktionsarbeit.de/>

**Volkswagen AG,
Wolfsburg**

IG Metall, Frankfurt
a.M.

Gute Arbeit in der Fabrik 4.0 – Eine offene Plattform für die Gestaltung der Arbeitswelt von morgen

Die Plattform, die vom Management und Betriebsrat der Volkswagen AG sowie der IG Metall gegründet wurde, zielt auf einen offenen Dialog über die zukünftigen arbeitspolitischen Herausforderungen der Industrie 4.0. Im Zentrum steht die Frage, wie sozialverträgliche Arbeits- und Beschäftigungsbedingungen im Kontext von Produktionsautomatisierungen gestaltet werden können.

Link: <http://www.gutearbeit4punkt0.de>

Tabelle A2: Modellfabriken und Demonstratoren der Industrie 4.0

Name	Koordination	Schwerpunkt	Projektbeschreibung
Anwendungszentrum Industrie 4.0, Potsdam	Uni Potsdam, Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik und Electronic Government	Produktion	Im „Anwendungszentrum Industrie 4.0“ können Industrieunternehmen Fertigungs- und Logistikprozesse unter den Aspekten digitalisierter und selbststeuernder Produktionsbedingungen simulieren als auch praktisch umsetzen lassen.
Cluster Logistik, Aachen	RWTH Aachen, Institut FIR e. V.	Logistik, Geschäftsmodelle	Das „Cluster Logistik“ der RWTH Aachen besteht aus mehreren Demonstratoren und Entwicklungslaboren, sogenannten Innovation Labs, zur Erprobung und Weiterentwicklung von Industrie-4.0-Techniken, Software und Geschäftsmodellen mit Schwerpunkt auf Logistik und Produktion. Beispielsweise werden Teile für ein Elektrofahrzeug sowie eines Elektrofahrrads in digitalisierten Produktionsumgebungen gefertigt.

Effiziente Fabrik 4.0, Darmstadt	TU Darmstadt, Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion	Produktion	In der „Effizienten Fabrik 4.0“ soll, aufbauend auf bereits bestehenden Einrichtungen und Produktionsstrukturen, die Implementierung von neuen Industrie-4.0-Anlagen anhand von Demonstratoren untersucht und optimiert werden. Dabei soll die (technische) Anschlussfähigkeit moderner digitalisierter Produktionsbedingungen an etablierte Technologien zusammen mit Industriepartnern interdisziplinär erforscht werden. Die projektförmige Arbeit wird auch gewerkschaftlich begleitet.
Experimentier- und Digitalfabrik (EDF), Chemnitz	TU Chemnitz, Professur Fabrikplanung und Fabrikbetrieb	Produktion, Logistik	In der „EDF“ werden in einem breiten Anwendungskontext die Bedingungen und Potentiale digitaler Fabrikstrukturen untersucht. Dabei liegt ein Schwerpunkt auf der Wandlungsfähigkeit von Produktionsprozessen und der Digitalisierung von Materialflüssen sowie der Fabrikorganisation. Zahlreiche Partner aus der Industrie beteiligen sich an den Vorhaben.
Fabrik der selbststeuernden Produkte, Bremen	BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH an der Uni Bremen	Logistik, Produktion	Im Sonderforschungsbereich (SFB 637) an der Uni Bremen werden logistische Selbststeuerungssysteme sowohl in Bereichen der Grundlagenforschung als auch der Produktionsanwendung erforscht. In einem Demonstrator zur Produktionslogistik steuern sich beispielsweise mit RFID-Chips ausgerüstete Autorückleuchten autonom durch die Montagesysteme je

			nach Information in den digitalen Produktionsdaten. Jede Rückleuchte wird dabei von einem softwaregestützten Agenten vertreten, der dessen Bearbeitungsstand laufend kontrolliert sowie auf Produktionsbedingungen flexibel reagiert.
LogDynamics Lab, Bremen	BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH an der Uni Bremen	Logistik	Im „LogDynamics Lab“ werden, in Kooperation mit Industriepartnern sowie Fachbereichen der Uni Bremen sowie Jacobs University, Lösungen für digitalisierte und vernetzte Logistiksysteme entwickelt und getestet. Dabei liegt ein Schwerpunkt auf der Erforschung und Anwendung intelligenter Sensorsysteme.
Modellfabrik iTRAME, Stuttgart	Uni Stuttgart, Institut für industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) und Festo Didactic	Produktion	Die „Modellfabrik iTRAME“ dient als Anwendungsmöglichkeit und Schulungsplattform für die digitale Produktionsplanung. Durch den modularen Aufbau in Form von robotergestützten Montageeinheiten, manuellen Handarbeitsplätzen oder automatisierten Logistiksystemen soll die wandlungsfähige Produktion eines Schreibtischsets in variantenreichen Losgrößen demonstriert werden.
Smart Data Innovation Lab	12 „Kernpartner“, darunter DFKI, Bayer, SAP, IBM und Fraunhofer IAIS sowie weitere rund 24 Partner	IT	Das „Smart Data Innovation Lab“ ist ein aus Forschungseinrichtungen und Industriepartnern bestehender Verband, der datenbasierte Geschäfts- und Produktionsprozesse in der Industrie 4.0 simuliert und zur Anwendung bringt. Dabei liegt ein besonderer

	aus Wissenschaft und Industrie		Schwerpunkt auf der Entwicklung von Software zur vorausschauenden Maschinenwartung sowie der Fehlersuche in komplexen Wertschöpfungen.
Smart Factory KL e.V., Kaiserslautern	DFKI; über 32 Mitglieder aus Forschung und Industrie, darunter Siemens, Bosch und BASF	Produktion, Logistik, Arbeitsplätze	Es werden zahlreiche Demonstratoren mit unterschiedlichen Automatisierungsniveaus betrieben, wie eine Anlage zur kundenindividuellen Befüllung und Gestaltung von Shampoo- und Seifenflaschen mittels RFID-Chips auf den Behältern. Des Weiteren werden smarte Handarbeitsplätze entwickelt, an denen die Produktionsmitarbeiter über Datenbrillen und Hologrammen assistiert und angeleitet werden sollen.
SmartFactoryOWL, Lemgo	Fraunhofer IOSB – INA, Hochschule Ostwestfalen Lippe	Produktion	Im Rahmen des Forschungsclusters „it’s OWL“ werden in der im Bau befindlichen „SmartFactoryOWL“ Einsatzmöglichkeiten und Anforderungen intelligenter Produktionsbedingungen getestet. Dabei richtet sich die Modellfabrik vor allem an klein- und mittelständische Unternehmen, die innerhalb der Fabrik eigene Pilotanlagen fahren können. So sollen etwa mögliche Einsatzfelder von computerisierten Uhren, sogenannten Smart Watches, erprobt werden. Damit sollen Produktionsmitarbeiter etwa die Maschinensteuerung übernehmen können.
SOPRO: Selbstorganisierende Produkti-	TU Berlin, Fraunhofer-Institut für Produkti-	Produktion	Im „SOPRO-Demonstrator“ werden die Ergebnisse aus Forschungsprojekten zur Anwendung gebracht.

on, Berlin	onsanlagen und Konstruktionstechnik IPK		Dabei wird eine für KMU-typische Produktion demonstriert, in der selbstorganisierende, kundenindividuelle Werkstücke in minimaler Losgröße hergestellt werden.
Wittenstein Innovation Factory, Igersheim-Harthausen	Wittenstein AG	Produktion, Logistik, Engineering	In der „Wittenstein Innovation Factory“ werden sowohl mechatronische Systeme und Antriebstechniken für den Einsatz in der Industrie 4.0 entwickelt als auch die eigenen Abteilungen wie Entwicklung, Produktion und Logistik sowie Arbeitsstrukturen an den Grundsätzen digitalisierter Produktion für die Serienfertigung ausgerichtet. Die Wittenstein AG ist zudem mit der „Innovation Factory“ an dem Forschungsprojekt CyProS (Förderung: BMBF) beteiligt, bei der cyber-physische Systemmodule entwickelt werden.
Zukunftsmeile, Paderborn	Universität Paderborn, Heinz Nixdorf Institut	Produktion	An der „Zukunftsmeile Fürstenallee“ entsteht ein Forschungs- und Entwicklungskluster mit Demonstratoren von Industrie-4.0-Anwendungen. In einem vom Heinz Nixdorf Institut zusammen mit Industriepartnern geführten Forschungsprojektes werden selbstkorrigierende Fertigungsprozesse in der Umformtechnik erprobt, die bislang mechanisch abliefen.