

**Hartmut Hirsch-Kreinsen**

**Digitalisierung von Arbeit: Folgen,  
Grenzen und Perspektiven**

**Soziologisches Arbeitspapier Nr. 43/2015**

**Herausgeber**

**Prof. Dr. H. Hirsch-Kreinsen**

**Prof. Dr. J. Weyer**

**Prof. Dr. M. Wilkesmann**

**Digitalisierung von Arbeit: Folgen, Grenzen und Perspektiven**

**Hartmut Hirsch-Kreinsen**

**Arbeitspapier Nr. 43 (Oktober 2015)**

ISSN 1612-5355

## **Herausgeber:**

Prof. Dr. Hartmut Hirsch-Kreinsen

Prof. Dr. Johannes Weyer

Prof. Dr. Maximiliane Wilkesmann

Fachgebiet Techniksoziologie

Lehrstuhl Wirtschafts- und Industriesoziologie

[johannes.weyer@tu-dortmund.de](mailto:johannes.weyer@tu-dortmund.de)

[is@wiso.tu-dortmund.de](mailto:is@wiso.tu-dortmund.de)

[www.wiso.tu-dortmund.de/TS](http://www.wiso.tu-dortmund.de/TS)

[www.wiso.tu-dortmund.de/IS](http://www.wiso.tu-dortmund.de/IS)

Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät

Technische Universität Dortmund

D-44221 Dortmund

## **Ansprechpartnerin:**

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

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

# Inhalt

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Zur Entwicklung von Arbeit</b> .....	<b>5</b>
2.1 Arbeitsplätze: Umstrittene Beschäftigungseffekte .....	5
2.2 Tätigkeiten und Qualifikationen: zwischen Upgrading und Polarisierung .....	8
2.3 Fortschreitende Flexibilisierung und Entgrenzung .....	12
<b>3. Widersprüche und Grenzen</b> .....	<b>15</b>
3.1 Grenzen des Qualifikationswandels .....	16
3.2 Ökonomische Grenzen .....	21
<b>4. Perspektiven</b> .....	<b>25</b>
<b>Literatur</b> .....	<b>28</b>

## **Zusammenfassung**

Gegenstand des vorliegenden Beitrages ist die Frage nach dem Wandel von Arbeit im Kontext der absehbar schnellen Verbreitung digitaler Technologien. Dabei steht vor allem die industrielle Entwicklung im Fokus, die in Deutschland unter dem Label Industrie 4.0 diskutiert wird. In dieser Diskussion wird davon ausgegangen, dass gegenwärtig ein ausgesprochener technologischer Entwicklungsschub mit geradezu disruptiven sozialen und ökonomischen Folgen stattfindet. Dieses Thema wird in mehreren Argumentationsschritten behandelt: Erstens wird die aktuelle, sehr technologiezentrierte Debatte zusammengefasst, zweitens wird die laufende Diskussion über die Digitalisierung von Arbeit resümiert, drittens wird nach der anzunehmenden Reichweite, den Widersprüchen sowie Grenzen der Digitalisierung von Arbeit gefragt und viertens werden die Perspektiven der weiteren Entwicklung thematisiert. Es wird gezeigt, dass mit einem uneindeutigen Wandel von Arbeit zu rechnen ist und die digitalen Technologien die Heterogenität der Arbeitslandschaft vertiefen werden. Die Argumentation basiert im Wesentlichen auf einer Literaturlauswertung, die durch einige eigene empirische Evidenzen ergänzt wird. Methodisch hat der Beitrag daher explorativen Charakter, er zielt auf eine systematische Analyse des Gegenstandsbereichs und die Generierung Hypothesen für die weitere Forschung.

## **Abstract**

This paper is dealing with the change in work because of the rapid diffusion of digital technologies. Its focus is especially on the digitalization of manufacturing, a process which is discussed in Germany under the label "Industry 4.0". It is assumed that currently a far reaching technological push takes place which has disruptive social and economic consequences. The paper includes the following steps of reasoning: First, the current, highly technology-centered debate is summarized, secondly, the ongoing debate on the digitization of work is discussed, thirdly contradictions and limits of digitization of work are outlined and fourth the prospects for further development are addressed. It is shown that the ongoing change of work can be described as unclear and ambiguous and that digital technologies will deepen the heterogeneity of work. Methodically, the contribution has exploratory character, it aims at a first systematic analysis of the possible development perspectives of industrial work and the the generation of hypotheses for further research. The paper is based on an in-depth literature research supplemented by first empirical findings of own ongoing research activities in this field.

## 1. Einleitung

Gegenstand des vorliegenden Beitrages ist die Frage nach dem Wandel von Arbeit im Kontext der weiteren Verbreitung digitaler Technologien. Im Mainstream der aktuellen Diskussion über die Entwicklungs- und Anwendungsmöglichkeiten der Informationstechnologie wird davon ausgegangen, dass gegenwärtig ein ausgesprochener technologischer Entwicklungsschub stattfindet. Er öffne bislang völlig neue und unbekanntere technologische Nutzungspotentiale mit geradezu disruptiven sozialen und ökonomischen Folgen (Avant 2014). Es wird danach ein neues Zeitalter erkennbar, das in der internationalen Debatte als „The second machine age“ (Brynjolfsson/McAfee 2014) oder die „Third Industrial Revolution“ (Rifkin 2011; Markillie 2012), im deutschen Sprachraum als „4. Industrielle Revolution“ bzw. „Industrie 4.0“ (Forschungsunion/acatech 2013) bezeichnet wird. Oder es wird gar ein neues Produktionsregime wie der „Digitale Kapitalismus“ oder auch der „Distributed Capitalism“ (Zuboff 2010) ausgerufen. Ohne Frage weist diese Debatte alle Merkmale eines „Hypes“ auf und es werden spektakuläre sozio-ökonomische Entwicklungsperspektiven prognostiziert. Indes finden sich aber jenseits aller rhetorischen Übertreibungen durchaus überzeugende Argumente dafür, dass gegenwärtig ein technologischer Entwicklungsschub Platz greift, dessen strukturelle Konsequenzen bislang kaum absehbar sind. Zentral hierbei ist die Annahme, dass die Entwicklung digitaler Technologien ein Stadium erreicht hat, das eine völlig neue Qualität ihrer Anwendung eröffne (z. B. in unterschiedlicher Perspektive: Geisberger/Broy 2012; Avant 2014; Brynjolfsson/McAfee 2014; Evangelista et al. 2014). Der gesellschaftliche Wandel der durch diese Entwicklung angestoßen werde, so die Autoren, sei ambivalent: Einerseits habe er überaus vorteilhafte Konsequenzen vor allem in Hinblick auf Konsum- und Einkommensmöglichkeiten. Andererseits aber bringe die Digitalisierung auch sehr „dornige“ Herausforderungen etwa in Hinblick auf die Veränderung sozialer und wirtschaftlicher Strukturen und den Wandel von Arbeit mit sich (Brynjolfsson/McAfee 2014, S. 10 f.).

Ein Schwerpunkt dieser aktuellen Debatte ist die Digitalisierung der industriellen Produktion, die insbesondere in Deutschland von Informatikern, Ingenieurwissenschaftlern, einflussreichen Wirtschaftsverbänden, technologieintensiven Unternehmen der Elektro- und Maschinenbauindustrie sowie der Politik vorangetrieben und seit spätestens 2012 unter dem eingängigen Label „Industrie 4.0“ propagiert wird (Forschungsunion/acatech 2013). Einerseits wird damit an seit langer Zeit diskutierte und auch teilweise realisierte Produktionskonzepte auf der Basis einer fortschreitenden integrierten Nutzung von Datenbeständen zur Planung, Steuerung und Überwachung der Produktion angeknüpft (z. B. Westkämper et al. 2013). Andererseits wird betont, dass das Konzept Industrie 4.0 im Vergleich zu den vorangegangenen Ansätzen

auf eine neue Stufe von Prozessautomatisierung ziele. Durch eine hoch flexible Verknüpfung der jetzt durch das Internet vernetzten Datenebene mit realen Fabrikabläufen eröffnen sich grundlegend neue Potentiale für die Planung, die Steuerung und die Organisation von Produktionsprozessen und ganzer Wertschöpfungsketten (z. B. Broy 2010; Forschungsunion/acatech 2013; Reinhart et al. 2013; Sandler 2013).

An diese sehr informationstechnologisch orientierte Debatte knüpft die folgende Argumentation an. Sie hat explorativen Charakter und zielt auf eine erste Analyse des Gegenstandsreichs und die Diskussion von Annahmen über den Wandel Arbeit, insbesondere von Produktionsarbeit. Die Argumentation basiert im Wesentlichen auf einer Literaturlauswertung.<sup>1</sup> Es handelt sich dabei zum einen um informations- und produktionstechnische Studien, die sich mehr oder weniger explizit mit der Frage nach den Konsequenzen der Digitalisierung für Arbeit befassen. Zum zweiten werden die Ergebnisse sozialwissenschaftlicher Studien herangezogen, die sich in den letzten Jahren mit Fragen der Diffusion von Informationstechnologien und ihren Folgen für Arbeit befassen; im Einzelnen sind dies eine Reihe arbeitspsychologischer Untersuchungen sowie einige wenige neuere arbeits- und industriesoziologische Berichte zum Thema Industrie 4.0.<sup>2</sup> Zudem wird dabei vor allem auch auf internationale und US-amerikanische Studien zurückgegriffen, die das Thema vielfach in makrostruktureller Perspektive aufgreifen. Dabei soll unter *Digitalisierung* der Prozess des sozio-ökonomischen Wandels verstanden werden, der durch Einführung digitaler Technologien, darauf aufbauender Anwendungssysteme und vor allem ihrer Vernetzung angestoßen wird.<sup>3</sup>

Davon ausgehend umfasst die folgende Argumentation drei große Schritte: Im ersten Schritt (Abschn. 2) wird die laufende Diskussion über die Digitalisierung von Arbeit resümiert und zu einer Reihe von Thesen gebündelt. Im zweiten Schritt (Abschn. 3) wird Widersprüchen sowie Grenzen der Digitalisierung von Arbeit gefragt. In einem abschließenden dritten Schritt (Abschn. 4) werden die Perspektiven der weiteren Entwicklung thematisiert.

---

<sup>1</sup> Die durch einige Evidenzen aus ersten eigenen empirischen Erhebungen ergänzt und gestützt wird.

<sup>2</sup> Zu nennen sind hier beispielsweise: Spath et al. 2013; Hirsch-Kreinsen 2014; Botthof/Hartmann 2015; Kersten et al. 2014; Hirsch-Kreinsen et al. 2015.

<sup>3</sup> Unterschieden wird davon Digitalisierung im ausschließlich technischen Sinn als Überführung von Informationen von einer analogen in eine digitale Speicherung (englisch: digitizing im Unterschied zu digitilization) (Hess 2015).

## 2. Zur Entwicklung von Arbeit

Für die Analyse der Digitalisierung von Arbeit bietet sich konzeptionell der Rückgriff auf Kategorien an, mit denen Shoshana Zuboff in ihrer wegweisenden Publikation aus dem Jahr 1988 den Wandel von Arbeit im Kontext der Anwendung von Informationstechnologien analysiert hat (Zuboff 1988; S. 10 f.). Die besonderen Kapazitäten moderner Informationstechnologien fasst sie als funktionale Dualität zwischen „automate“ und „informaté“. Diese Unterscheidung, so ihr Argument, ermögliche ein Verständnis der Digitalisierung, das sowohl bekannte Kontinuitäten als auch neue Qualitäten und Diskontinuitäten industrieller Entwicklung einschlieÙe. Zum einen haben Informationstechnologien eine Automatisierungsfunktion, die die traditionelle Logik technologischer Rationalisierung fortsetze, die Abhängigkeit der Prozesse von Qualifikation und Arbeit reduziere und damit vor allem Substitutionseffekte von Arbeit nach sich ziehe. Zum anderen weisen sie eine Informationsfunktion auf, die zu einer steigenden Verfügbarkeit von Informationen und einer hohen Veränderungsdynamik der Strukturen von Tätigkeiten und Arbeitsprozessen führe. Diese beiden Seiten von Informationstechnologien, so weiter die Autorin, seien allerdings keine Gegensätze, sondern die Ausweitung der Informationsfunktion sei eine, oftmals ungeplante, Folge der in der Regel hauptsächlich realisierten Automatisierungsfunktion. Insgesamt führt dies zu nachhaltigen Strukturveränderungen bisheriger Arbeit und den damit zusammenhängenden sozialen Beziehungen (ebd., S. 11). Andere Autoren ergänzen daher die beiden genannten Funktionen der Automatisierung und der Informatisierung, durch eine dritte Dimension, die als Transformation von Arbeitsprozessen gefasst wird (Boos et al. 2013). Fasst man nun ausgehend von diesen Unterscheidungen den Stand der Forschung über die Konsequenzen der Digitalisierung für Arbeit zusammen, so lassen sich die folgenden Thesen zur Entwicklung von digitalisierter Arbeit formulieren.

### **2.1 Arbeitsplätze: Umstrittene Beschäftigungseffekte**

Eine gegenwärtig wissenschaftlich aber auch gesellschaftspolitisch intensiv diskutierte und umstrittene Frage ist, welche Beschäftigungseffekte die fortschreitende Digitalisierung und damit verbundene Automatisierung von Tätigkeiten und Arbeitsprozessen nach sich ziehen werden. Unstrittig ist in der vorliegenden Literatur, dass kurzfristig durchaus mit Freisetzungseffekten zu rechnen sei. Umstritten ist aber, ob diese sich dauerhaft durchsetzen oder ob Freisetzungseffekte längerfristig durch neu entstehende Aufgaben und Arbeitsplätze kompensiert werden.



### a) Dauerhafte Jobverluste

Die Auffassung, wonach digitale Technologien dauerhaft zu ganz erheblichen Arbeitsplatzverlusten führen, hat in der aktuellen Debatte eine hohe Prominenz gewonnen. So betonen Brynjolfsson und McAfee (2014, S. 177 ff.), dass unter den Bedingungen der Diffusion digitaler Technologien nicht mehr wie in der Vergangenheit kurzfristige Arbeitsplatzverluste langfristig durch neue Beschäftigungsmöglichkeiten kompensiert würden. Zum einen impliziere die überaus schnelle Entwicklung und Verbreitung digitaler Technologien eine zunehmend größer werdende Lücke zwischen den Automatisierungseffekten und neuen Erfordernissen der Technologien und in der Regel nur langsam wirksamen sozio-ökonomischen Anpassungsmechanismen für Beschäftigte und Institutionen. Ähnlich argumentiert beispielsweise auch Pratt, indem er insbesondere auf die dynamisch sich entwickelnden Anwendungspotentiale von Robotertechnologien verweist, die weitreichende Jobverluste in nahezu allen Wirtschaftssektoren nach sich zögen (Pratt 2015). Zum zweiten reduziere sich durch Automatisierung zunehmend das verfügbare Volumen verfügbarer Arbeitsplätze für Jobsuchende, da die Nachfrage nach vielen Tätigkeiten und Qualifikationen zurückgehe. Viele Jobs werden durch die Digitalisierung ersetzt, wodurch in zunehmendem Maß Arbeitslosigkeit entstehe. Bestätigt sehen die beiden Autoren ihre Annahmen durch das Auseinanderdriften von steigender Arbeitsproduktivität und der Erwerbstätigkeit seit der ersten Hälfte der letzten Dekade (Brynjolfsson/McAfee 2014, S. 165).

Diese Sicht verstärken Frey und Osborne mit einer Analyse des US-amerikanischen Arbeitsmarktes, wonach mit digitalen Technologien ganz erhebliche Freisetzungspotentiale von Arbeit einhergehen. Ihre Analyse richtet sich auf die Frage, welche Berufe durch Digitalisierung automatisiert werden können. Dabei gehen sie davon aus, dass sowohl Berufe mit einfachen und routinemaßigen Tätigkeiten als auch teilweise Berufe mit nicht routinisierten komplexeren Tätigkeiten automatisiert und ersetzt werden können. Sie kommen zu dem Schluss, dass knapp die Hälfte aller gegenwärtigen Berufe aus verschiedensten Wirtschaftssektoren substituiert werden könnten. Ihre zentrale Aussage ist, dass auf dem amerikanischen Arbeitsmarkt in den nächsten ein oder zwei Dekaden rund 47 Prozent aller Berufe potentiell von Automatisierung bedroht seien (Frey/Osborne 2013, S. 38 ff.). Frey und Osborne sprechen von zwei Wellen unterschiedlich weitreichender Beschäftigungseffekten des Computereinsatzes in den nächsten Dekaden: Danach umfasst die erste Welle ein Muster der Automatisierung, das die Substitution von Berufen mit vornehmlich routinisierten Tätigkeiten in den verschiedensten Sektoren umfasst. Im Anschluss daran erwarten sie eine zweite Welle von Automatisierung, die auch auf Berufe mit kreativen und sozial-interaktiven Aufgaben übergreifen wird. Ihre Erwartung ist, dass demgegenüber „...most management, business, and finance occupations,

which are intensive in generalist tasks requiring social intelligence, are largely confined to the low risk category. The same is true of most occupations in education, healthcare, as well as arts and media jobs." (Frey/Osborne 2013, S. 40)

Basierend auf dem gleichen Analysekonzept berechnet Bowles (2014) ein ähnlich hohes Substitutionsrisiko für den europäischen Arbeitsmarkt. In Hinblick auf den deutschen Arbeitsmarkt kommt er zu dem Ergebnis, dass mehr als 51 Prozent aller Berufe langfristig durch die Automationseffekte der Digitalisierung gefährdet seien. Weitreichender noch argumentieren andere Autoren, wonach in Folge der digitalen Automatisierung in der deutschen Wirtschaft insgesamt 59 Prozent oder mehr als 18 Mio. Arbeitsplätze gefährdet seien. Dabei handele es sich insbesondere auch um einfachere industrielle Tätigkeiten wie Maschinenbedienung (Brzeski/Burk 2015).

## **b) Kompensation von Jobverlusten**

Indes werden diese weitreichenden Prognosen über absehbar hohe Beschäftigungsverluste, von einer ganzen Reihe anderer Autoren zwar nicht völlig verworfen, aber doch sehr stark relativiert. Es wird betont, dass sich die Freisetzungsprognosen nur auf das Automatisierungspotential der neuen Technologien beziehen, die keineswegs mit Jobverlusten gleichgesetzt werdend dürften. Zwar würden durch die Technologien Tätigkeiten oftmals verändert, jedoch nicht unbedingt ersetzt, da auch neue Aufgaben entstünden. Argumentiert wird, dass diese Dynamik von Tätigkeiten mit einer Analyse, die sich wie bei Frey und Osborne (2015) lediglich auf Berufe beziehe, nicht erfasst werden könne und daher die vorgelegten Prognosen überzogen seien (Bonin et al. 2015; Pfeiffer/Suphan 2015). So geht Autor (2015) davon aus, dass beim Einsatz von Informationstechnologien oftmals neue und zu den bisherigen komplementäre Tätigkeiten entstehen, die es zuvor kaum gab. Als Beispiel hierfür führt er die Entwicklung im Finanzwesen an, wo einerseits weitreichende Automatisierungseffekte beobachtbar sind, andererseits aber völlig neue kundenorientierte Tätigkeiten entstanden sind und weiterhin entstehen werden. Ähnliche Beispiele führen Pfeiffer und Suphan (2015) für den industriellen Sektor aus. Ihnen zu Folge gehe es bei Industrie 4.0 nicht (nur) um die Frage, ob ein Fertigungsmitarbeiter durch einen Schweißroboter ersetzt wird oder die Sachbearbeitungstätigkeit in der Beschaffung verschwindet, weil die Bewertung von Zulieferfirmen durch die intelligente Auswertung von Beschaffungsdaten von einem Algorithmus übernommen wird. Vielmehr müsse gefragt werden, wie sich diese Tätigkeiten faktisch verändern und welche Möglichkeiten für Veränderungen sich damit verbinden.

Auf der Basis dieser Überlegungen zeigen Bonin et al. (2015), dass in Deutschland durch Digitalisierung lediglich ca. 12 Prozent der Arbeitsplätze automatisierungsgefährdet seien. Dabei fällt die Automatisierungswahrscheinlichkeit allerdings umso geringer aus, je höher das Bildungsniveau der beschäftigten ist. So weisen insbesondere Beschäftigte mit Elementar- oder Primarbildung, d. h. Geringqualifizierte und Geringverdiener, eine Automatisierungswahrscheinlichkeit von 80 Prozent auf (ibid.: 16). Dieser Befund deckt sich mit weit verbreiteten Annahmen in der deutschen Industrie 4.0 Debatte, wonach insbesondere industrielle „Einfacharbeiten“ durch die fortschreitende Automatisierung durchaus reduziert werden würden (z. B. Schuh/Stich 2013; Bauernhansel 2014).

Gesamtwirtschaftlich gesehen wird in dieser Debatte häufig allerdings auch davon ausgegangen, dass durch Effizienzvorteile der neuen Technologien, neue Produkte, neue Märkte und neue Beschäftigungsmöglichkeiten eröffnet werden, die Jobverluste kompensieren (z. B. Evangelista et al. 2014; Autor 2015; Bonin et al. 2015). So sehen Evangelista et al. auf der Basis ihrer ausführlichen Recherche internationaler Literatur in Hinblick auf die Einführung digitaler Technologien nur wenig eindeutige Beschäftigungseffekte. Insbesondere betonen sie, dass es besonders schwierig sei, diesen Technologien Beschäftigungseffekte kausal zuzurechnen. Der Grund hierfür liege in der potentiell weiten Verbreitung und ihrer Nutzung in vielen Bereichen. Obgleich substantielle empirische Untersuchungen fehlen, überwiege in der Literatur eine optimistische Sicht der langfristigen Beschäftigungseffekte digitaler Technologien. Denn man müsse sowohl unmittelbar negative Beschäftigungseffekte als auch mittelbar positive Effekte auf die Beschäftigung in Folge von Effizienzsteigerungen und Preissenkungen und dem Erschließen neuer Absatzmöglichkeiten sehen (Evangelista et al. 2014, S. 806). Aus diesem Grund werden insbesondere auch im Kontext der deutschen Industrie 4.0 Debatte von verschiedenen Studien längerfristig sehr positive Arbeitsmarkteffekte der Digitalisierung erwartet. So wird beispielsweise ein Beschäftigungszuwachs in der Industrie von bis zu sechs Prozent für die nächsten zehn Jahre prognostiziert. Dieser basiere vor allem auf einem steigenden Bedarf an hochqualifizierten Industriearbeiten u. a. im Maschinenbau und der Automobilindustrie (Rüßmann et al. 2015; auch: Spath et al. 2013).

## ***2.2 Tätigkeiten und Qualifikationen: zwischen Upgrading und Polarisierung***

Die widersprüchlichen Thesen und Befunden über mögliche Freisetzungseffekte legen zugleich Annahmen über strukturelle Folgen für Tätigkeiten und Qualifikationsanforderungen nahe. Freilich ist es nicht überraschend, dass sich in Hinblick auf die Frage, wie sich Tätigkeiten und

damit zusammenhängende Qualifikationsanforderungen unter dem Einfluss der Digitalisierung wandeln, sehr unterschiedliche Antworten finden lassen. Die vorliegenden Befunde können dahingehend gebündelt werden, dass von einem breiten Spektrum divergierender Entwicklungsperspektiven von Tätigkeiten und Qualifikationen auszugehen ist. Die Pole dieses Spektrum können zum einen als *Upgrading von Qualifikationen* und zum anderen als *Polarisierung von Qualifikationen* bezeichnet werden.

### **a) Upgrading von Qualifikationen**

Die These von einer Aufwertung bzw. einem Upgrading von Tätigkeiten und Qualifikationen in Folge der Digitalisierung ist sowohl in der wissenschaftlichen als auch in der öffentlichen Debatte relativ weit verbreitet. Folgt man den Kategorien von Zuboff (1988, S. 10 f.), so ist ein Upgrading von Qualifikationen zunächst Folge der skizzierten Automatisierung einfacher und gering qualifizierter Tätigkeiten und dem Erhalt bzw. der kontinuierlichen Aufwertung qualifizierter Tätigkeiten. Dieses Upgradingmuster wird in der Literatur auch als „skill-biased technical change“ bezeichnet, d. h. als die Gewinner des fortschreitenden Einsatzes digitalisierter Technologien gelten jene Beschäftigtengruppen, die ohnehin schon über höhere Qualifikationen und Handlungsressourcen verfügen.<sup>4</sup> Darüber hinaus kann Upgrading aber auch als ein Prozess verstanden werden, der generell alle Beschäftigtengruppen erfasst. Digitalisierung von Arbeit wird in dieser Perspektive als Informatisierung von Arbeit verstanden, die zu einer steigenden Verfügbarkeit einer großen Vielfalt von Informationen über laufende Prozesse führt. Deren Komplexität und Nutzung führt danach ganz generell zu neuen und bislang nicht gekannten Anforderungen an Tätigkeiten. Zuboff spricht von einer wachsenden Bedeutung von „intellective skills“, die vor allem auf einem theoretischen Verständnis von Prozessen beruhen, das Voraussetzung und Folge der Nutzung der jetzt verfügbaren Informationen sei (ebd., S. 94 f.). Die generelle Konsequenz sei „better jobs – jobs that at every level would be enriched by an informing technology“ (ebd., S. 159).

Diese Tendenzen zum Qualifikationsupgrading werden in der Literatur insbesondere bei aktuellen informationstechnologischen Anwendungen des Internets der Dinge gesehen, da solche Systeme über ihre Datenerfassung und -auswertung Transparenz über Produktionsprozesse in bislang nicht bekannter Weise ermöglichen (Zammuto et al 2007; Evengelista et al. 2014; Boos et al. 2013). So wird auch in der öffentlichen und innovationspolitischen Debatte über Industrie 4.0 verschiedentlich hervorgehoben, dass eine generelle Aufwertung von Qualifikationen stattfinden werde. Verwiesen sei hier stellvertretend für eine Vielzahl von Autoren und

---

<sup>4</sup> Vgl. dazu Brynjofsson/McAfee und die dort angeführte Literatur (2014, S. 136).

Stellungnahmen auf Kagermann, einer der maßgeblichen Vertreter der Vision von Industrie 4.0 in Deutschland, dem zu Folge Mitarbeiter in Zukunft weniger als „Maschinenbediener“ eingesetzt werden, „sondern mehr in der Rolle des Erfahrungsträgers, Entscheiders und Koordinators...die Vielzahl der Arbeitsinhalte für den einzelnen Mitarbeiter nimmt zu“ (Kagermann 2014, S. 608).

## **b) Polarisierung von Qualifikationen**

Demgegenüber wird vor allem in der internationalen Diskussion von einer ganzen Reihe von Autoren die These vertreten, dass sich mit der Digitalisierung eine ausgeprägte Polarisierung von Tätigkeiten und Qualifikationen verbindet. Zu nennen sind hier insbesondere Autor und Dorn (2013), Collins (2013) sowie Brynjolfsson und McAfee (2014), die auf die Entwicklung des US-amerikanischen Arbeitsmarktes verschiedentlich aber auch auf die den Wandel des Arbeitsmarktes in der EU verweisen (z. B. Bowles 2014).<sup>5</sup> Der Kern der Polarisierungsthese ist, dass sich zunehmend eine Schere zwischen komplexen Tätigkeiten mit hohen Qualifikationsanforderungen einerseits und einfachen Tätigkeiten mit niedrigem Qualifikationsniveau andererseits öffnet und mittlere Qualifikationsgruppen dramatisch an Bedeutung verlieren. Denn durch den Einsatz digitaler Technologien werde zunehmend eine Automatisierung und Entwertung der Jobs mittlerer Qualifikationsgruppen Platz greifen. Daher werden einfache Tätigkeiten auch kaum, wie die Upgradingthese unterstellt, durch Automatisierung verschwinden, vielmehr werden neue einfache Tätigkeiten mit niedrigen Qualifikationsanforderungen entstehen.

Als Ursache einer fortschreitenden Polarisierung und insbesondere der Erosion der mittleren Qualifikationsgruppen kann ein Zusammenspiel von Automatisierung und Informatisierung angesehen werden: Zum einen wird davon ausgegangen, dass gerade auch Tätigkeiten mittleren Qualifikationsniveaus automatisiert und damit substituiert werden können. Die Voraussetzung hierfür ist, dass es sich auch dabei um Tätigkeiten handelt, die einen gut strukturierten und regel-orientierten Charakter aufweisen und daher, ähnlich wie viele einfache Tätigkeiten, algorithmisiert bzw. automatisiert werden können. Zum anderen wird argumentiert, dass durch Informatisierung die Beschäftigten zwar über ein mehr an Informationen und Daten über laufende Prozesse u.ä. verfügen, jedoch computergestützte Informationsvorgaben ursprünglich komplexe Tätigkeiten durch ihre Modellierung und Formalisierung zugleich weitreichend standardisieren können. Etwa durch den Einsatz entsprechend ausgelegter Assistenz-

---

<sup>5</sup> Vgl. zur Polarisierungsthese auch Münchner Kreis (2013) und zuletzt Autor (2015) und die dort angeführte Literatur.

systeme können viele Tätigkeiten relativ problemlos arbeitsteilig in Teiloperationen zerlegt und vereinfacht werden sowie mit restriktiven Arbeitsvorgaben, die kaum noch Handlungsspielräume erlauben, versehen werden. Damit eröffnen sich zudem deutlich gestiegene Kontrollmöglichkeiten über die die Arbeit (Kuhlmann/Schumann 2015, S. 130 f.).<sup>6</sup> Diese Arbeitssituation, so weiter die Argumentation, führe zur Dequalifizierung ursprünglich anspruchsvoller Jobs. Konkret handelt es sich dabei sowohl um bislang qualifizierte Produktionsarbeiten etwa der Montage und Überwachung wie aber auch um Verwaltungs- und Sevicetätigkeiten auf mittleren Niveaus (Autor 2010; Acemuglo/Autor 2010; Marin 2014). Ähnliches befürchten auch die Autoren einer breit angelegten deutschen Studie über die Entwicklung qualifizierter Sach- und Facharbeitertätigkeiten in industriellen Unternehmen. Sie postulieren eine fortschreitende „Dequalifizierung und Teilsubstituierung“ der mittleren Qualifikationsebene in Folge ihrer informationstechnischen Automatisierung. Bestenfalls könne von dem Verbleib von „Residualkategorien“ von qualifizierter Arbeit gesprochen werden, die nicht oder nur mit einem unverhältnismäßigen Aufwand automatisiert werden können (TA 2007; Kinkel et al. 2008; Düll 2013). Dieser vermutete Trend zur Entwertung von Qualifikationen wird – im Grunde nicht überraschend – neuerdings auch als „Digital Taylorism“ bezeichnet, da die digitalen Technologien eine Optimierung von Taylors Prinzipien der Arbeitsvereinfachung und der Arbeitskontrolle gerade auch für komplexe Tätigkeiten erlaubten (The Economist 2015, S. 63).

Ein instruktives empirisches Beispiel für Polarisierungstendenzen im industriellen Bereich liefern Windelband et al. (2011) mit einer Untersuchung die Arbeit im Kontext intelligent vernetzter Logistiksysteme. Widersprüchliche Entwicklungstrends ergeben sich danach daraus, dass einerseits mit der neuen Technik Prozesse automatisiert werden mit der Folge, dass verbleibende Tätigkeiten vereinfacht würden. Die Handlungsspielräume dieser Beschäftigtengruppe sind auf Grund strikter Systemvorgaben naturgemäß sehr eng. Die Konsequenz sei, dass die Betriebe niedrig qualifiziertes Personal kostengünstig und ohne lange Anlernzeiten einsetzen können. Andererseits aber sei diese Erosion bestimmter Qualifikationen begleitet von der Aufwertung anderer Tätigkeits- und Qualifikationsgruppen, die neuerdings systemübergreifende Steuerungs- und Kontrollaufgaben übernehmen. Ähnliches zeigen eigene Evidenzen über die Einführung digitalisierter Instandhaltungssysteme. In deren Gefolge werden ursprünglich relativ komplexe Instandhaltungstätigkeiten aufgesplittet in einerseits komplexe Tätigkeiten der Systemsteuerung und andererseits in nur mehr reine ausführende Tätigkeiten ohne jeglichen Handlungsspielraum. Insgesamt entsteht damit eine polarisierte Arbeitsland-

---

<sup>6</sup> Vgl. dazu insbesondere auch die gesellschaftstheoretisch orientierte Debatte um die fortschreitende Modellierung und Abstraktifizierung von Arbeit im Zuge ihrer Informatisierung bei Schmiede et al. (z. B. Schmiede 1996; Baukrowitz et al. 2006).

schaft, die Goos und Manning anschaulich mit dem Diktum fassen, dass nunmehr nur noch „Lousy and Lovely Jobs“ anzutreffen seien (Goos/Manning 2007).

### **2.3 Fortschreitende Flexibilisierung und Entgrenzung**

Folgt man weiterhin den Kategorien von Zuboff u. a. so eröffnen digitale Technologien auch die Möglichkeit einer nachhaltigen Transformation von Unternehmens- und Prozessstrukturen (Boos et al. 2013, S. 455). Resümiert man hierzu einschlägige Studien, so lassen sich in Hinblick auf den Wandel von Arbeit – in Anschluss an bekannte arbeitssoziologische Kategorien – mit dieser Kategorie Tendenzen der Flexibilisierung und beschleunigten Entgrenzung von Arbeitsprozessen fassen. Diese sind in der vorliegenden Literatur weitgehend unumstritten. Dabei weisen sie betriebliche und überbetriebliche Dimensionen auf.

#### **a) Innerbetrieblich**

Folgt man der vorliegenden Literatur so steht eine fortschreitende innerbetriebliche Flexibilisierung und Entgrenzung von Arbeit vor allem im Kontext einer durchgreifenden Dezentralisierung bisheriger Unternehmensstrukturen (z. B. Zäh et al. 2003; Scholz-Reiter et al. 2009; Forschungsunion/acatech 2013). Dezentralisierung wird hierbei zunächst einmal informationstechnologisch als eine Abkehr von den bisherigen hierarchisch aufgebauten IT-Steuerungssystemen verstanden, wobei damit arbeitsorganisatorisch zugleich eine weitreichende Verlagerung von dispositiven Funktionen auf ausführende Ebenen angestrebt wird. Die Annahme ist daher, dass dadurch die bisherigen Formen der Fabrikorganisation, insbesondere auch die bis heute existierenden mehr oder weniger zentralisierten Muster der Arbeitsorganisation und des Personaleinsatzes umgebaut, dezentralisiert und flexibilisiert werden (z. B. Geisberger/Broy 2012; BMWi 2013; Spath et al. 2013; Bauernhausl 2014). Dies betrifft die unterschiedlichsten Funktionsbereiche vom Shop-floor bis hin zu anspruchsvollen Engineeringtätigkeiten und kann im Kontext unterschiedlichster konkreter Qualifikationsmuster Platz greifen. So wird als eine besonders flexibilitätsförderliche Perspektive der Arbeitsorganisation und des Personaleinsatzes in der Literatur ein Modell hervorgehoben, dass in Anlehnung an die Debatte über internetbasierte Regulationsformen (Dolata/Schrape 2013) als Schwarm-Organisation bezeichnet wird (Neef/Burmeister 2005; Hirsch-Kreinsen 2014). Diese Form der Arbeitsorganisation ist durch eine weitgehende organisationale Entgrenzung in Form einer nur lockeren Vernetzung qualifizierter und gleichberechtigt agierender Beschäftigter gekennzeichnet. Das hier anzutreffende Qualifikationsmuster entspricht daher dem oben skizzierten Upgradingmodell (Abschn. 3.2). Zentrales Merkmal dieses Musters ist, dass es keine definierten Aufgaben für einzelne Beschäftigte gibt, vielmehr ist die Arbeitsteilung zwischen

den Beschäftigten fließend, das Arbeitskollektiv selbst organisiert und in hohem Maße informell, hoch flexibel und situationsbestimmt.

Manche Autoren betonen darüber hinaus, dass Arbeit zunehmend einen raum- und zeitungebundenen Charakter gewinne (z. B. Münchner Kreis 2013; Kremer 2015). Weit mehr als bisher könnten sich auf der Basis digitalisierter Planungs- und Steuerungssysteme wie etwa Internetplattformen zeitlich und räumlich flexible Formen der Projektarbeit durchsetzen, die nicht mehr nur unternehmensinterne, sondern auch unternehmensexterne Beschäftigte umfassen. Die Beschäftigten werden danach zunehmend in teamorientierte Arbeitsformen an unterschiedlichen Projekten, an verschiedenen Orten und im Kontext sehr verschiedener Wissensdomänen arbeiten. Zusammenfassend, temporäre Projektorganisationen und Netzwerke ersetzen in Zukunft feste Organisationsstrukturen und „Führung auf Zeit“ werde immer wichtiger.

### **b) Überbetrieblich: „Crowdwork“**

Die angeführte Netzwerkperspektive verweist zugleich auf überbetriebliche Entwicklungstendenzen. Einer ganzen Reihe von Autoren zu Folge führen die weitreichenden Möglichkeiten einer Ausdifferenzierung von Tätigkeiten, Vernetzung und internetbasierten Koordination zu einer durchgreifenden Reorganisation und den Wandel ganzer Wertschöpfungsstrukturen, die die bisherigen Formen überbetrieblicher Arbeitsteilung und des Outsourcings deutlich transzendieren. Danach verschränken sich scheinbar widersprüchliche Trends: Zum einen ermöglicht die Digitalisierung von Produktionsprozessen, wie schon im Zusammenhang mit der Polarisierungsthese angesprochen (Abschn. 3.2), eine weit präzisere Beschreibung, Abgrenzung und Modularisierung ursprünglich komplexer Arbeitsschritte und führt damit zu einer Vertiefung gegebener Formen der Arbeitsteilung. Konkret kann es sich beispielsweise um marketingspezifische Aufgaben oder Innovationsfunktionen handeln (Leimeister/Zogaj 2013). Zum anderen erlaubt dies eine sehr viel weitergehende Ausdifferenzierung und Öffnung von Produktionsprozessen als früher und den via Internet koordinierten Einbezug unterschiedlichster unternehmensexterner Akteure in den Wertschöpfungsprozess. Zugleich macht die internetbasierte Vernetzung dieser Funktionen ihre effektive und hoch flexible Steuerung sowie übergreifende Abstimmung möglich. Insbesondere, so wird hervorgehoben, impliziert diese weitreichende Ausdifferenzierung von Prozessfunktionen keinerlei zusätzliche Transaktionskosten. Vielmehr ermöglicht die Digitalisierung von Kommunikations- und Koordinationsprozesse in jedem Fall eine radikale Senkung von Transaktionskosten und stimuliere damit geradezu ihre schnelle Realisation (Benkler 2006; Petschow et al. 2014). Bezeichnet wird diese Entwick-



lungsperspektive auch als „Hyperspecialization“ (Malone et al. 2011), die neue Formen entgrenzter und kollaborativer Wertschöpfung und Arbeit ermögliche.

In der Literatur wird dieser Prozess auch als „Crowdsourcing“ bezeichnet (Leimeister/Zogaj 2013; Benner 2014). Verstanden wird darunter die Ausdifferenzierung von Produktions- und Arbeitsfunktionen nicht mehr in Form einer formalisierten Auslagerung vertraglich definierten Aufgaben an ein Drittunternehmen oder eine bestimmte Institution, vielmehr geht es beim Crowdsourcing um die Verlagerung von verschiedensten Funktionen an eine ex ante nicht definierte Anzahl unterschiedlich spezialisierter Akteure. Die technologische Basis hierfür sind Vernetzung und Internetplattformen, die eine offene Ausschreibung von Aufgaben in einer Internetöffentlichkeit möglich werden lässt. Organisatorisch entsteht damit eine neue Form verteilter internetbasierter, tendenziell globaler Arbeitszusammenhänge, die verschiedene Autoren als „Crowdwork“ charakterisieren. Sie verstehen darunter ein offenes und nur wenig strukturiertes Wertschöpfungsmodell, das – in Anlehnung an die bekannte Netzwerkdebatte – zwischen den formalisierten Koordinationsformen Markt und Hierarchie verortet wird. Empirisch wird diese Entwicklung bislang hauptsächlich in Sektoren wie der IT- und Softwarebranche und bei Engineeringfunktionen im industriellen Bereich verortet. Ganz offensichtlich versuchen Unternehmen aus diesen Sektoren durch solche Externalisierungsstrategien die Komplexität neuer technologischer Entwicklungen und ihre Kosten zu beherrschen (Leimeister/Zogaj 2013; Boes et al. 2014).

Die möglichen Konsequenzen dieser Entgrenzungstendenzen für Arbeit und Qualifikationen werden in der vorliegenden Literatur sehr widersprüchlich eingeschätzt. Auf der einen Seite finden sich, ähnlich wie im Zusammenhang mit der Upgradingthese, 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 autonomer als früher regulieren. Auf der anderen Seite werden damit zusammenhängende Risiken diskutiert. Hingewiesen wird hierbei etwa auf fehlende Regulation und damit neu entstehende prekäre Arbeitsformen sowie auch auf das bislang kaum einschätzbare digitale Kontrollpotential (s. o.). Verschiedentlich wird auch auf eine mögliche, durchaus als widersprüchlich zu begreifende Tendenz der Taylorisierung solchermaßen entgrenzter Arbeitsformen hingewiesen (Leimeister et al. 2014, S. 34; Absch. 3.2).

### 3. Widersprüche und Grenzen

Trotz der teilweise sehr widersprüchlichen Thesen geht die Mehrheit der oben diskutierten Autoren davon aus, dass derzeit ein „technology push“ mit technologisch induzierten und mehr oder weniger prognostizierbaren Veränderungstendenzen von Arbeit abläuft. Jedoch lässt sich aus sozialwissenschaftlicher Sicht einwenden, dass diese technikzentrierte Perspektive mit ihrem teilweise weitreichenden Prognoseanspruch zu kurz greift. Denn sowohl die sozialwissenschaftliche Innovationsforschung als auch die industriesoziologische Technikforschung verfügen über einen breiten Fundus konzeptioneller und empirischer Forschungsergebnisse, die instruktiv zeigen, dass die Entwicklung und die Diffusion neuer Technologien alles andere als bruchlos und widerspruchsfrei verlaufen und daher die sozialen Effekte kaum eindeutig aus den Potentialen neuer Technologien ableitbar sind. So betonen seit langer Zeit evolutionstheoretische Ansätze der Innovationsforschung, dass Innovationen zwar stets zielgerichtet und dynamisch verlaufen, ihr Verlauf zugleich jedoch risikoreich und ihr Ausgang ungewiss ist. Entscheidend für die sich jeweils einspielenden Verlaufsmuster von Innovationen und die dadurch angestoßenen strukturellen Veränderungen sind danach zum einen die Erarbeitung und Variation technologisch möglicher Entwicklungspotentiale, zum anderen ihre Selektion im Lichte von Anwendungserfordernissen und Vermarktungschancen neuer Technologien.<sup>7</sup> Mehr noch, es muss davon ausgegangen werden, dass gerade weitreichende Innovationen wie die Einführung digitaler Technologien einen ausgeprägt *paradoxalen Charakter* haben, d. h., diesen Innovationen sind Widersprüche immanent.<sup>8</sup>

Ähnlich argumentiert die arbeitssoziologische Technikforschung. Spätestens seit der kritischen Debatte um den „Technikdeterminismus“ in den 1970er und 1980er Jahren wird davon ausgegangen, dass zwischen der Implementation bestimmter technischer Systeme und den Konsequenzen für Arbeit eine komplexe und von vielen nicht-technischen, sozialen, arbeitspolitischen und ökonomischen Faktoren beeinflusste Beziehung besteht. Keineswegs darf daher eine durch Technikauslegung eindeutige und festliegende Beziehung zwischen beiden Dimensionen angenommen werden.<sup>9</sup> Insgesamt lässt sich festhalten, dass der Zusammenhang zwischen der Verbreitung digitaler Technologien und ihren sozialen Konsequenzen keinesfalls

---

<sup>7</sup> Zu nennen sind hier die klassischen Arbeiten aus dem Umfeld der „Sussex-Schule“ um Nelson/Winter (1977), Dosi et al. (1982)

<sup>8</sup> In der Innovationsforschung wird von einem „innovation paradox“ dann gesprochen, wenn eine technologische Innovation Gründe für ihr Scheitern in sich trägt. Ein viel diskutierter Aspekt ist hier beispielsweise der Widerspruch zwischen einem erwarteten Innovationspotential und oft unüberwindbaren Problemen seiner Realisation und Nutzung (z. B. Andriopoulos/Lewis 2009).

<sup>9</sup> Vgl. insbesondere Lutz (1987).

linear und deterministisch zu verstehen ist. Vielmehr handelt es sich dabei um einen komplexen und wechselseitigen Zusammenhang, der von einer Vielzahl ökonomischer und sozialer Einflussfaktoren geprägt wird und deren Einfluss letztlich darüber entscheidet, in welcher Weise die technologisch gegebenen neuen Nutzungspotentiale tatsächlich ausgeschöpft werden (Evangelista et al. 2014, S. 803).

Diese Zusammenhänge sollen im Folgenden in Hinblick auf die möglichen Konsequenzen der Digitalisierung für Arbeit ein Stück weit konkretisiert werden. Die These ist, dass die Einführung digitaler Technologien im industriellen Sektor von einer Vielzahl von Widersprüchen geprägt ist und dabei vielfach auch an Grenzen ihrer Nutzbarkeit stoßen. Diese Aspekte sind bislang allenfalls partiell (z. B. Frey/Osborne 2013; Autor 2015; Pfeiffer/Suphan 2015) in der vorliegenden Literatur berücksichtigt worden. Sollen indes Aussagen über die Entwicklungsperspektiven digitaler Arbeit gemacht werden, so müssen diese Bedingungen systematische Berücksichtigung finden. Erste Hinweise, um welche Bedingungen und Faktoren es sich dabei handelt und inwieweit die oben skizzierten Thesen zur Entwicklung von Arbeit dadurch ggf. modifiziert, präzisiert oder verworfen werden können, soll die folgende Argumentation liefern.

### **3.1 Grenzen des Qualifikationswandels**

#### **a) Probleme der Automatisierung**

Auf widersprüchliche bzw. paradoxe Effekte der Einführung und der Nutzung digitaler Technologien weisen seit längerem die Arbeitswissenschaften und die arbeitspsychologischen Forschung hin. Sie zeigen, dass mit fortschreitender Automatisierung und der damit verbundenen Steigerung der Komplexität der Systeme oftmals nur mehr eine begrenzte Beherrschbarkeit der Technologien, damit ein hohes funktionales und ökonomisches Störpotential und unkalkulierbare Anforderungen an das Arbeitshandeln einhergehen. Den Forschungsergebnisse zu Folge, sind effektive Arbeitseingriffe in Systemabläufe, um Störungen präventiv zu vermeiden oder zu beheben, nicht immer möglich, da Beschäftigte oftmals nicht in der Lage sind, autonome Systeme wirksam zu kontrollieren und damit die Verantwortung über den Systembetrieb zu übernehmen.<sup>10</sup> Als zentrale Ursache hierfür gilt, dass auf Grund einer informationstechnologisch begründeten hohen funktionalen und informationellen Distanz zum Systemablauf das Personal kein hinreichend valides Wissen und Erfahrungen über relevante Systemfunktionen akkumulieren kann. Dies sei selbst dann der Fall, wenn den Beschäftigten ein Mehr an Infor-

---

<sup>10</sup> Z. B. Grote (2015) und die dort angegebene Literatur.

mationen über den laufenden Prozess zur Verfügung gestellt werde. Denn die Arbeitenden konzentrierten sich immer stärker auf Symbolverarbeitung sowie den Umgang mit abstrakten Information und ihren gegenständlichen Trägern, sie haben jedoch kaum mehr Gelegenheit, sich mit den unmittelbaren funktionalen und stofflichen Prozessbedingungen auseinanderzusetzen. Vor allem im Widerspruch zur obigen Upgradingthese (Abschn. 3.2) wird daher als Folge von Informatisierung ein dauerhafter Verlust von praktischen Handlungskompetenzen, Erfahrungswissen und vor allem für die Bewältigung von unerwartet auftretenden Störsituationen unverzichtbaren Problemlösungsfähigkeiten angesehen (auch: Kuhlmann/Schumann 2015). Als beispielhaft werden hier Überwachungstätigkeiten angeführt, die sich nicht mehr direkt auf die physischen und stofflichen Anlagenprozesse auf dem Shop-floor beziehen, sondern etwa über Messwarten mediatisiert sind. Die Folge ist, dass „the informal feedback associated with vibrations, sounds, and smells that many operators relied upon“ eliminiert wird, daher das Bedienungspersonal die Anlagenzustände nicht mehr zutreffend einschätzen kann und unter Umständen falsche Entscheidungen in Hinblick auf Eingriffe in den automatischen Prozess trifft (Lee/Seppelt 2009, S. 419). Weitere Folge ist ein „loss of situation awareness“ in Arbeitssituationen (Cummings/Bruni 2009, S. 442). Konkret werden diese Risiken auch beim Einsatz von Assistenzsystemen an der Mensch-Maschine-Schnittstelle von Industrie 4.0-Systemen gesehen. So wird befürchtet, dass auf Grund der Vorgabe detaillierter Arbeits- und Handlungsanweisungen genaue Kenntnisse des Arbeitsprozesses überflüssig werden und die Konsequenz ein Know-how Verlust bei den Beschäftigten ist (Agiplan 2015, S. 94).<sup>11</sup>

Verstärkt wird diese Situation unter Umständen durch eine Arbeitshaltung, das als „automation bias“ oder „complacency ...operator overreliance on automation“ bezeichnet wird (Hancock et al. 2013). Es handelt sich dabei um ein zu stark ausgeprägtes Vertrauen der Beschäftigten und des Managements in die Fähigkeit digitaler Systeme Arbeitshandeln verlässlich zu automatisieren und zu unterstützen. Dadurch würden Aufmerksamkeit, menschliche Entscheidungs- und Urteilsfähigkeit eingeschränkt. Eine Vielzahl von Evidenzen aus unterschiedlichsten Arbeits- und Anwendungsbereichen stützen dieses Argument (zusammenfassend z. B. Parasuraman/Manzey 2010). Es entsteht oftmals eine Arbeitssituation, die Bainbridge schon im Jahr 1983 instruktiv als „ironies of automation“ beschreibt. Danach erzeugen hoch automatisierte Prozesse auf Grund ihres ausgeprägten Routineablaufs bei unerwartet auftretenden (in der Regel aber unvermeidbaren) Störungen nur schwer zu bewältigende Arbeitssituationen. Denn

---

<sup>11</sup> Vgl. hierzu insbesondere auch die Befunde älterer arbeitssoziologischer Automationsstudien, die die hohe Bedeutung subjektiver Qualifikationselemente wie Erfahrungswissen im Kontext der fortschreitenden Automatisierung von Produktionsprozessen instruktiv herausgearbeitet haben (z. B. Böhle/Milkau 1988; Böhle/Rose 1992).

zur Störungsbewältigung seien Qualifikationen und Kompetenzen, insbesondere Erfahrungswissen erforderlich, die oftmals im informatisierten Routinebetrieb weder aufgebaut noch auf Dauer erhalten werden könnten.

Aus den Tendenzen einer fortschreitenden Automatisierung lassen sich daher kaum eindeutige Aussagen in Hinblick auf eine mögliche Ab- oder Aufwertung von Tätigkeiten und Qualifikationsanforderungen deduzieren. Vielmehr spielt eine ganze Reihe von Zusatzbedingungen eine maßgebliche Rolle, die die je konkrete Automatisierungs- und Arbeitssituation und damit die konkreten Arbeitsanforderungen bestimmen. Wie auch die Befunde schon älterer arbeitssoziologischer Studien instruktiv zeigen, nimmt die Bedeutung subjektiver Qualifikationselemente wie Erfahrungswissen im Kontext der fortschreitenden Automatisierung von Produktionsprozessen kontinuierlich zu. So wurden diese Zusammenhänge zunächst bei der Einführung CNC-gesteuerter Werkzeugmaschinen (Böhle/Milkau 1988) und später auch am Beispiel computergestützter Steuerungen komplexer Produktionsanlagen in der Prozessindustrie (z. B. Böhle/Rose 1992; Bauer et al. 2006) belegt. Die Autoren dieser Forschungsrichtung heben hervor, dass automatisierte Prozesse in Folge ihrer Komplexität und ihren inhärenten Unberechenbarkeiten generell und grundlegend Grenzen ihrer technischen Beherrschbarkeit aufweisen und daher Erfahrungswissen für deren effektive Kontrolle und Steuerbarkeit unverzichtbar seien.

## **b) Erfahrungswissen als Grenze der Automatisierung**

Grenzen der Automatisierung von Arbeit erwachsen nicht nur aus den beschriebenen Widersprüchen des Prozesses der Automatisierung und den Problemen ihrer Beherrschbarkeit, sondern auch aus der damit verbundenen hohen und ganz offensichtlich steigenden Bedeutung von Erfahrungswissen. Es handelt sich dabei um den Wissenstypus des „tacit knowledge“ und die damit verbundene Aufgaben sperren sich auf Grund fehlender und nicht explizierbarer Handlungsregeln gegen Automatisierung bzw. Algorithmierung grundlegend. Bezeichnet wird damit das grundlegende, aus der Wissenstheorie bekannte Problem, dass viele Tätigkeiten auf einem impliziten Verständnis ihrer Erfordernisse beruhen und die Methoden und Regeln ihrer Ausführung oftmals nur begrenzt oder überhaupt nicht explizierbar sind und daher auch ohne weiteres nicht in regelbasierten Algorithmen von Computerprogramme gefasst werden können (z. B. Amin/Cohendet 2004). Autor (2015) bezeichnet dieses Problem als „Polanyi's Paradox“ und bezieht sich auf Michael Polanyis Formel „We know more than we can tell“ (Polanyi 1966). Danach ist anspruchsvolles Handeln und Denken oft auf Grund seines regelbasierten Charakters relativ einfach zu computerisieren, während dies für viele sensomotorische Fähig-

keiten nicht möglich ist.<sup>12</sup> Konkret wird dabei auf Tätigkeitselemente verwiesen, die ein hohes Maß an Flexibilität, Urteilsvermögen, sozialer Interaktion und Kommunikation sowie eben auch akkumulierter Erfahrung über bestimmte Abläufe aufweisen (Autor 2015, S. 11). Diese Tätigkeitselemente finden in kognitiv-intellektuellen Jobs, die ein hohes Maß an Kreativität, Problemlösungsfähigkeit und Intuition aufweisen. Sie finden sich aber auch in Bereichen einfacher manueller Tätigkeiten, wo situative Anpassungsfähigkeit und flexibles Handeln, soziale Interaktion, körperliche Geschicklichkeit und Fingerspitzengefühl gefordert sind.

Ohne Frage lässt sich mit diesen Argumenten, wie oben diskutiert (Abschn. 3.2), eine weitreichende Polarisierungsthese begründen. Denn diese Tätigkeitselemente finden sich einerseits in anspruchsvollen hochqualifizierten Tätigkeiten, andererseits in einfachen manuellen Jobs. Einzuwenden ist dabei allerdings, dass - wie oben gezeigt - Anforderungen an flexibles, situationsadäquates und intuitives Handeln ganz generell mit steigender Automatisierung und Komplexität der eingesetzten Technologie steigen und daraus paradoxerweise stets neue Grenzen der Digitalisierbarkeit von Arbeit erwachsen. Angenommen werden kann, dass diese Entwicklung tendenziell alle Tätigkeiten betrifft und einer geradlinigen und bruchlosen Digitalisierung von Arbeit entgegensteht. Empirische Hinweise auf diesen Zusammenhang geben die Ergebnisse einer Untersuchung von Pfeiffer und Suphan (2015). In einer kritischen Auseinandersetzung mit den Freisetzungsthese von Frey und Osborne (2013) zeigen sie, dass mehr als 70 Prozent der Erwerbstätigen aller Qualifikationsniveaus in Deutschland mit solchen schwer oder gar nicht explizierbaren Aufgaben umgehen und ihre Jobs für störungsfreie Prozesse unterschiedlichster Art unverzichtbar seien. Generalisierend lässt sich daher festhalten, dass sowohl die oben diskutierten Annahmen über Automatisierungs- und Freisetzungspotentiale digitaler Technologien als auch die über mögliche Strukturveränderungen von Tätigkeiten, Qualifikationen und Prozessen deutlich zu relativieren sind und Thesen über mögliche Veränderungen von Arbeit stets auf den Kontext ihrer konkreten technisch-organisatorischen Strukturbedingungen zu beziehen sind.

### **c) Dynamik von Tätigkeiten und Qualifikationen**

Diese hohe und wachsende Bedeutung von Erfahrungswissen ist ein Hinweis darauf, dass Arbeit und Qualifikationen sich unter den Bedingungen der fortschreitenden Digitalisierung dynamisch wandeln. Die Mehrzahl der oben diskutierten Studien über die Entwicklung von

---

<sup>12</sup> Computerwissenschaftler sprechen in diesem Zusammenhang auch vom „Moravec's Paradox“, wonach es relativ einfach ist, komplexe Tätigkeiten von Erwachsenen in Computerprogramme zu übersetzen, nicht aber die sensomotorischen Fähigkeiten eines einjährigen Kindes, das gerade laufen lernt (Brynjolfsson/McAfee 2014).

Arbeit berücksichtigen diese Dynamik nur sehr unzureichend und kommen daher zu vermeintlich eindeutigen, methodisch und konzeptionell aber verkürzten Schlussfolgerungen und Prognosen.

Die Ursache hierfür findet sich in einem Wechselspiel von Automatisierung und Informatisierung: Zum einen werden routinemäßige Aufgaben einer bestimmten Tätigkeit automatisiert mit der Folge, dass bei ein und derselben Tätigkeit größere Spielräume für neue Aufgaben entstehen, die durch Aufgabenanreicherung und -erweiterung genutzt werden können. Damit kann vor allem die Polarisierungsthese, wonach insbesondere mittlere Qualifikationsgruppen von einer fortschreitenden Erosion bedroht seien, in Frage gestellt werden. Denn oft sind die Tätigkeiten dieser Beschäftigtengruppen von sehr verschiedenen Aufgaben geprägt, sodass die Automatisierung routinemäßiger Tätigkeitselemente eine Ausweitung und Intensivierung der verbleibenden anspruchsvolleren Aufgaben erlaubt (Autor 2015, S. 26 f.). Zum zweiten sind auch an dieser Stelle Effekte der Informatisierung, insbesondere der Aspekt der steigenden Verfügbarkeit einer großen Vielfalt von Daten und Informationen über laufende Prozesse für die Beschäftigten in Rechnung zu stellen. Deren Komplexität führt unter Umständen ganz generell zu neuen und bislang nicht gekannten Anforderungen an Tätigkeiten. David Autor zu Folge erweitert Informatisierung daher in vielen Fällen den Horizont von Tätigkeiten (ebd.).

Von einer Qualifikationsaufwertung profitieren daher, wie es etwa die Upgradingthese nahelegt, nicht mehr nur ohnehin schon qualifizierte und privilegierte Beschäftigtengruppen, sondern Informatisierung führt möglicherweise zu einem generellen Prozess der Tätigkeits- und Qualifikationsaufwertung. Einen Hinweis hierauf geben neuere empirische Befunde über den Wandel industrieller Einfacharbeit im deutschen Verarbeitenden Gewerbe in den letzten Jahren. Danach ist ein Entwicklungspfad dieser Arbeitsform von einer kontinuierlichen Qualifikationserweiterung geprägt, die durch steigende Arbeitsanforderungen in Folge eines computertechnologisch ermöglichten verbreiterten Aufgabenzuschnitts begründet ist. Dabei handelt es sich oftmals um zusätzliche indirekt-produktive Aufgaben wie Prozessdokumentation, Arbeitsplanung und Qualitätssicherung (Abel et al. 2014). Ähnliche Entwicklungstendenzen finden sich im Logistikbereich, wo vernetzte Steuerungssysteme dem Personal einen erweiterten Überblick und früher nicht vorhandene Entscheidungsmöglichkeiten über ihre Arbeitsabläufe ermöglichen (Bauernhansel et al. 2014). Nicht von der Hand zu weisen sind daher auch Annahmen im Kontext der deutschen Industrie 4.0-Debatte, wonach auf Grund der wachsenden Komplexität der Arbeitsprozesse ein steigender Bedarf an qualifizierten Beschäftigten für neu entstandene und anspruchsvolle Aufgaben entstehe, der mögliche Automatisierungseffekte mehr als kompensiere.

## **3.2 Ökonomische Grenzen**

### **a) „Produktivitätsparadox“**

In Hinblick auf mögliche Konsequenzen und Perspektiven der Digitalisierung sind zudem strukturell-ökonomische Paradoxien und Grenzen der Diffusion digitaler Technologien in Rechnung zu stellen. So kann die Digitalisierung von Arbeitsprozessen als sehr widersprüchlich in Hinblick auf ihre tatsächlich erreichbaren Rationalisierungseffekte und damit auch auf die damit verbundenen Jobverluste interpretiert werden. Einerseits werden den digitalen Technologien ganz erhebliche ökonomische Wachstumseffekte zugeschrieben. So werden relativ konkret in der Debatte um Industrie 4.0 Produktivitätsgewinne für das gesamte Verarbeitende Gewerbe im Laufe von zehn Jahren von mindestens 30 Prozent prognostiziert (Heng 2014; Rüßmann et al. 2015). Begründet diese erwarteten Effekte mit umfassenden Möglichkeiten der Kosteneinsparung, wobei besonders auf die hohen betrieblichen Einsparpotentiale von Personal und Personalkosten verwiesen wird (z. B. Agiplan 2015, S. 88). So bestehen Bauernhansel zu Folge Einsparmöglichkeiten in Folge eines optimierten Personaleinsatzes, durch die Reduktion von Komplexität insbesondere in den indirekten Arbeitsbereichen und auch im Managementbereich (Bauernhansel 2014, S. 31 ff.). Insofern decken sich diese Erwartungen mit den Thesen über mögliche weitreichende Freisetzungseffekte (Abschn. 3.1).

Andererseits aber belegt eine Vielzahl von Forschungsergebnissen unterschiedlichster Provenienz, dass nicht in jedem Fall ein positiver Zusammenhang zwischen einer Investition in Informations- und Kommunikationstechnologie und Produktivitätssteigerungen existiert und entsprechende Prognosen über Kosteneinsparungen vielfach völlig überzogen sind und an der wirtschaftlichen Realität nicht entsprechen. Diese These wird seit den 1980er Jahren unter dem Label „Produktivitätsparadox“ moderner Informationstechnologien diskutiert. Danach kommt es trotz steigender Investitionen und einem zunehmenden Einsatz von Informationstechnologien nicht zu einer steigenden Produktivität, einer verbesserten Wettbewerbsfähigkeit und insgesamt einer erhöhten Rentabilität von Unternehmen (Piller 1998). Aktuellen Daten zu Folge hat sich diese Situation vor allem in den letzten Jahren nicht grundlegend geändert (Plickert 2015). So wird an Hand von US-Daten gezeigt, dass insbesondere die IT-Sektoren wie auch Wirtschaftssektoren mit besonders intensiver Nutzung von Informationstechnologien von sehr mäßigen Produktivitätszuwächsen gekennzeichnet sind. In einen Special Issue des Economist lautet daher der Titel eines entsprechenden Artikels „Technology isn’t working“ und es wird ergänzt: „The digital revolution has yet to fulfill its promises of higher productivity and better jobs“ (Avent 2014).



Eine verbreitete Erklärung für diese zögerliche Produktivitätsentwicklung ist der Hinweis auf derzeit noch hemmende, freilich überwindbare Faktoren wie etwa Einführungsprobleme der neuen Techniken, fehlende Erfahrungen und sehr zögerliche organisatorische Veränderungen (Brynjolfsson/McAfee 2014, S. 99 f.). Zudem begrenzen die absehbar hohen Investitions- und Implementationskosten die schnelle Verbreitung der vernetzten und komplexen Systeme. Als Gründe hierfür gelten ihre Komplexität die absehbar unklaren und oft umstrittenen Rentabilitätsaussichten (Agiplan 2015, S. 133). Dies gilt offensichtlich auch für IT-gestützte Formen überbetrieblicher Wertschöpfung wie dem genannten Crowdsourcing (Abschn. 3.3), dessen Kosten auf Grund hoher dispositiver Aufwände und Probleme der Qualitätssicherung oftmals nur schwer kalkulierbar sind (Leimeister/Zogaj 2013).

Ein anderer grundlegenderer Erklärungsansatz betont darüber hinaus den nur schwer über-gehbaren Widerspruch zwischen durchaus vorhandenen Produktivitätspotentialen der neuen Technologien einerseits und ihrer organisationalen Nutzung und Einbettung in gewachsene betriebliche Strukturen andererseits. In der Regel werde übersehen, dass neue Informationstechnologien stets auch Innovationen in den sie umgebenden funktionalen und organisatorischen Bereichen erfordern. Brynjolfsson und McAfee gebrauchen hier den Terminus der notwendigen, oft aber nicht angegangenen „complementary innovations“ wie etwa neue Geschäftsmodelle, geänderte Prozessstrukturen und eben auch arbeitsorganisatorische Innovationen. Andernfalls könnten die ökonomischen und sozialen Innovationspotentiale der neuen Technologien nicht wirklich ausgeschöpft werden (Brynjolfsson/McAfee 2014, S. 102). Als eine zentrale Ursache hierfür gilt vielfach das technologisch verkürzte Verständnis bei vielen Entscheidern und Akteuren in Unternehmen, das auf eine möglichst weitreichende Algorithmisierung von Tätigkeiten und Prozessen setzt, ohne den arbeitsorganisatorischen Kontext zu berücksichtigen (z. B. Brödner 1997).

Die Folgen dieser ökonomisch widersprüchlichen Situation für Arbeit lassen sich kaum prognostizieren. Vor allem verbieten sich geradlinige Annahmen über Freisetzungseffekte und eindeutigen Qualifikationswandel, vielmehr sind widersprüchliche Konsequenzen denkbar: Einerseits führen lediglich technikzentrierte Einführungsprozesse, fehlende organisatorische Umstellungen und eine mangelnde Ausschöpfung von Innovationspotentialen faktisch zu einer Stabilisierung und Verfestigung existierender und gewachsener Organisations- und Personalstrukturen. Andererseits kann Arbeit gerade auch den Bedingungen defizitärer Einführungsstrategien die oben beschriebene eine wachsende Bedeutung in Hinblick auf die Ausführung ex ante nur schwer kalkulierbare Funktionen eines erfahrungsbasierten „trouble-shooting“ gewinnen. Erbracht werden müssen unter Umständen nur schwer kalkulierbare Anpassungs-

maßnahmen, um Inkompatibilitäten verschiedener Teilsysteme, kostenträchtige Störungen und risikoreichen Systemzustände zu vermeiden. Erforderlich sind vielfach daher nicht nur qualifizierte und breit ausgebildete Fabrikplaner, sondern vor allem auch praktisch versierte und erfahrene Mitarbeiter auf dem Shop-floor, die in der Lage sind, Anlagenstillstände schnell und effektiv zu beheben und unvermeidbare Automatisierungslücken kenntnisreich zu kompensieren.

## **b) Betriebsstrukturelle Grenzen**

Betriebsstrukturelle Faktoren stellen weitere entscheidende Einflussfaktoren für mögliche Brüche und Grenzen für die Diffusion digitaler Technologien dar. Zunächst ist der Einfluss unterschiedlicher Betriebsgrößen auf die Verbreitung digitaler Technologien hervorzuheben. So verläuft seit jeher die Implementation von neuen Technologien durchschnittlich gesehen betriebsgrößenabhängig (z. B. Widmaier 2000). Die Gründe liegen in den betriebsgrößenabhängig sehr unterschiedlichen Ressourcen und Kompetenzstrukturen. Insbesondere kleinere und mittlere Unternehmen dürften auf Grund ihrer knappen Ressourcen noch auf lange Sicht mit der Einführung digitaler Technologien überfordert sein. Zudem wird das für digitale Technologien verfügbare Finanzierungsbudget in den allermeisten mittleren und kleineren Unternehmen von Experten als „überschaubar gering“ angesehen, das auch in den kommenden Jahren auch nur wenig ansteigen werde (Agiplan et al. 2015, S. 133). Nicht zufällig gab daher bei einer Befragung von mittleren Betrieben über die Bedeutung der Digitalisierung ein gutes Drittel an, das Thema sei für sie derzeit überhaupt nicht relevant; bei kleinen und mittleren Betrieben waren es sogar 70 Prozent (Maier/Student 2015); so titelt etwa die FAZ Ende 2014 „Kleinbetriebe verschlafen die Digitalisierung“ (FAZ 2014).

Zudem sind in Hinblick auf betriebsstrukturelle Bedingungen die je gegebenen Möglichkeiten der Standardisier- und Beschreibbarkeit von verschiedenen Funktionen und Bereichen und der, produktionstechnisch gesprochen, der Seriengröße der jeweiligen Produktion ein wichtiger Einflussfaktor für die Reichweite der Systemauslegung. Je nach der gegebenen Prozessstruktur ergeben sich unterschiedliche Einsatzbereiche und Anwendungsmöglichkeiten digitalisierter Systeme,<sup>13</sup> aber auch Probleme und grundsätzliche Grenzen ihrer Realisierbarkeit. Es wird daher, wie Experten betonen, auf absehbare Zeit keine umfassend sich selbstorganisierende Fabrik Industrie 4.0 geben. Vielmehr werden technologische „Autonomie und Selbstorganisation ... zunächst nur möglich sein für Teilsysteme der Fabriken, deren Verhalten und Abhängigkeiten geschlossen beschreibbar und informationstechnisch nachvollziehbar sind.“ (Spath

---

<sup>13</sup> Vgl. hierzu etwa die Fallbeschreibungen in Bauernhansel et al. (2014).

et al. 2013, S. 120). Insgesamt lässt sich daher annehmen, dass sich unter diesen Bedingungen auch in längerfristiger Hinsicht eingespielte und tradierte Formen der Arbeit erhalten.

Ein zusätzlicher Faktor, der die Verbreitung der neuen Technologien und einen damit zusammenhängenden Wandel von Arbeit nachhaltig einschränkt, sind nicht nur die in sehr vielen Betrieben nur begrenzt verfügbaren technologischen Kompetenzen und das fehlende Know-how, sondern auch Zeitdruck und konkurrenzbedingte Kurzfristorientierung. Diese Situation drängt Betriebe vielfach dazu, gegebene Prozessstrukturen zu optimieren, statt längerfristig ausgerichtete und risikoreiche Innovationsstrategien zu verfolgen. Anders formuliert, in der einschlägigen Digitalisierungsdiskussion wird vielfach übersehen, dass Unternehmen konkurrenzbedingt nicht nur einem Druck auf Innovation ihrer Prozesse und Produkte zur Verbesserung ihrer Kostenstrukturen und Marktposition unterliegen, sondern auch dem Druck, die je erreichte Situation strukturkonservativ zu optimieren und zu sichern sowie kostenträchtige Risiken zu vermeiden. Eine systematisch geplante Einführung digitaler Technologien ist unter diesen Bedingungen vermutlich oft nur in Ausnahmesituationen möglich. Dies gilt nicht nur für betriebsinterne Anwendungen, sondern auch für die Möglichkeiten überbetriebliche Wertschöpfungszusammenhänge weitreichend zu reorganisieren (Abschn. 3.3). Neben fehlenden Kompetenzen resultieren hierbei Grenzen insbesondere aus möglichen Kontrollproblemen überbetrieblich dezentralisierter Prozesse und der Furcht vieler Betriebsleitungen vor dem Abfluss betrieblichen Wissens (Leimeister/Zogaj 2013).

Typische Beispiele für diese Situation sind oftmals wenig forschungs- und technologieintensive mittlere und kleinere Betriebe aus traditionellen Branchen wie der Metallindustrie, der Kunststoffherstellung oder der Ernährungsindustrie, die im Kontext relativ standardisierter Prozesse zumeist relativ einfache Produkte herstellen und deren Automatisierungsgrad oftmals sehr beschränkt ist (Hirsch-Kreinsen 2008). Diese Betriebe weisen oftmals traditionelle, taylorisierte Formen der Arbeitsorganisation mit einem Arbeitstypus auf, der als industrielle Einfacharbeit bezeichnet werden kann. Wie eine neue Studie belegt, weist dieser Arbeitstypus mit weit über 20 Prozent bislang einen überraschend hohen Anteil an der Gesamtbeschäftigung der deutschen Industrie auf (Abel et al. 2014). Auf Grund der skizzierten Strukturbedingungen dürfte sich dieser hohe Anteil einfacher, niedrig qualifizierter Arbeit technologiebedingt absehbar kaum verändern. Vielmehr wird er auf Grund marktbedingter und unkalkulierbarer Flexibilitätsanforderungen und einer hohen Bedeutung von informellen Arbeitshandeln und Improvisationsnotwendigkeiten weiterhin eine hohe Stabilität aufweisen. Anders formuliert, die prognostizierte breite Substitution einfacher und wenig qualifizierter Tätigkeiten wird in diesen Bereichen allenfalls in Grenzen Platz greifen.

## 4. Perspektiven

Fasst man die voranstehenden Argumente zusammen, so ist unstrittig, dass die Arbeitsfolgen und die Rationalisierungseffekte der Digitalisierung uneindeutig sind. Zwar ist mit Jobverlusten zu rechnen, jedoch sind deren Reichweite und längerfristigen Kompensationsmöglichkeiten umstritten. Ähnlich offen ist die absehbare Entwicklung von Tätigkeiten und Qualifikationen. Die vorliegenden Befunde stützen sowohl die Polarisierungsthese wie auch die Annahme einer generellen Aufwertung von Qualifikationen. Schließlich werden dabei fraglos Tendenzen einer fortschreitenden Flexibilisierung und Entgrenzung von Arbeit Platz greifen. Indes sind auch deren Folgen und Reichweite keineswegs eindeutig prognostizierbar. Wie deutlich wurde, verbieten verkürzte technikdeterministische Annahmen und Prognosen und es müssen vor allem systematischer als bisher in der einschlägigen Debatte Paradoxien und Grenzen der Diffusion der neuen Technologien in Rechnung gestellt werden.

Indes argumentieren einige der genannten Autoren, dass die derzeit wenig eindeutige Situation insbesondere die noch vorhandenen Grenzen des Einsatzes der digitalen Technologien ihren bislang noch vorhandenen Entwicklungsdefiziten geschuldet seien, die über kurz oder lang überwunden werden. Einerseits betonen etwa Frey und Osborne die Problematik von verschiedensten „engineering bottlenecks“, die eine schnelle technologische Weiterentwicklung bremsen und die die möglichen Jobverluste begrenzen. Wie oben diskutiert, sehen sie hohe Grenzen für eine umfassende Digitalisierung von Arbeit in der begrenzten Fähigkeit der Technologien nicht routinierbare Tätigkeiten und Aufgaben zu automatisieren und sie gehen zudem davon aus, dass auch im Fall im Prinzip automatisierbarer Tätigkeiten stets unkalkulierbare Aufgabenvariationen einer weitreichenden Automatisierung entgegenstehen können (Frey/Osborn 2013, S. 43). Andererseits aber ist es für die beiden Autoren nur eine Frage der Zeit, bis diese Probleme überwunden sind und das Rationalisierungspotential der neuen Technologien voll ausgeschöpft werden können. Sie und eine ganze Anzahl weiterer Autoren begründen diese Perspektive mit der weiteren absehbar schnellen Entwicklung der digitalen Technologien (z. B. Brynjolfsson/McAfee 2014; Autor 2015; Pratt 2015). Als besonders relevante technologische Entwicklungslinien begreifen sie insbesondere die weitere Entwicklung von Systemen der Künstlichen Intelligenz, insbesondere lernfähiger Algorithmen sowie die damit verbundene rasante Roboterentwicklung hin zu universell anwendbaren Systemen. So bezeichnet Pratt beide Entwicklungslinien als „newly blossoming technologies“, die einen geradezu „virtuous cycle of explosive growth“ in Gang setzen werden (ebd., S. 51). Denn erwartet wird ein weiterer technologischer Qualitätssprung, nämlich die Entwicklung von Systemen, die in der Lage sind jenseits formaler Regeln nicht explizierbares, letztlich implizites Kontextwissen zu generieren und situationsspezifisch anzuwenden. Mit dieser auch als „machine learn-

ing“ oder „deep learning“ bezeichneten Entwicklungslinie<sup>14</sup> verbindet sich die durchaus realistische Möglichkeit, so etwa Autor (2015), „Polanyi’s Paradox“ maschinell in absehbarer Zeit beherrschbar zu machen.

Ohne Frage sind die Anwendungsmöglichkeiten und möglichen sozialen Konsequenzen dieser neuen Entwicklungslinien noch keineswegs ausgelotet. Einmal mehr verbindet sich mit ihnen gerade auch in sozialwissenschaftlicher Hinsicht eine Vielzahl offener Fragen. Festzuhalten ist aber: Selbst wenn sich diese Entwicklung als erfolgsträchtig und unter industriellen Bedingungen als nutzbar erweisen sollten, dürften sich kaum eindeutigere und prognostizierbare Trends in Hinblick auf den Wandel von Arbeit abzeichnen. Vielmehr ist davon auszugehen, dass sich mit der Einführung der neuen Technologien stets nicht antizipierbare Folgen, eben Widersprüchen und Grenzen ihrer Nutzung verbinden. Die zentrale Ursache hierfür die sozio-ökonomische Dynamik, mit der die Diffusion der neuen Technologien einhergeht. Die oben skizzierten dynamischen Wandlungsprozesse von Tätigkeiten und Qualifikationen sind hierfür hinreichendes Beleg (Abschn. 4.1). Denn wie die sozialwissenschaftliche Arbeitsforschung seit langer Zeit konzeptionell und empirisch instruktiv zeigt (z. B. Trist/Bamforth 1951; Emery/Trist 1960), ist die Einführung der neuen Technologien als komplexer sozio-technischer Prozess zu begreifen, bei dem stets der wechselseitige Zusammenhang der technischen und nicht-technischen Elemente eines Systems von Produktion und Arbeit der Produktion in Rechnung zu stellen sind. Diese Zusammenhänge prägen sich in Hinblick auf funktional und strukturell unterschiedliche Segmente von Arbeit und Produktion völlig unterschiedlich aus. In Hinblick auf die überbetriebliche Ebene müssen hier die skizzierten sektoralen Strukturdivergenzen vor allem zwischen Sektoren unterschiedlicher Technologieintensität in Rechnung gestellt werden, mit denen sich tendenziell Arbeitsformen sehr unterschiedlicher Digitalisierungsniveaus verbinden. Auf der betrieblichen Ebene müssen strukturell verschiedene Ebenen wie Shop-floor, Engineeringbereiche, Leitungsebenen wie auch überbetriebliche Arbeitszusammenhänge in den Blick genommen werden. Jeder dieser Sektoren und Segmente ist von spezifischen sozio-technischen Konstellationen mit einer jeweils eigenen Entwicklungslogik und spezifischen Anforderungen an die Technologienutzung geprägt. Es ist zu vermuten, dass der Einsatz digitaler Technologien gerade wegen ihres hoch flexiblen Charakters als „general purpose technologies“ (Brynjolfsson/McAfee 2014) segmentspezifisch verläuft und auch auf diesen Ebenen vorhandene Divergenzen vertieft. Insgesamt ist daher anzunehmen, dass der Wandel von Arbeit unter dem Einfluss der Digitalisierung strukturell bestehende Segmentationslinien zwischen unterschiedliche Tätigkeits- und Qualifikationsniveaus, die mit unterschiedlichen Bran-

---

<sup>14</sup> Zu einer Einführung in die Grundlagen des Deep Learning vgl. z. B. Bengio 2009.

chen, Betriebstypen und Funktionsbereichen korrelieren, vertiefen werden. Von einer Substitution ganzer Arbeitssegmente und einer Angleichung der verbleibenden kann daher absehbar nicht Rede sein. Vielmehr ist von einer zunehmend hoch differenzierten Landschaft digitalisierter Arbeit auszugehen.

## Literatur

- Abel, J./Ittermann, P./Steffen, M. 2013: Wandel von Industriearbeit. Herausforderungen und Folgen neuer Produktionssysteme in der Industrie. Soziologisches Arbeitspapier, Nr. 32 (März 2013). Dortmund
- Abel, J./Hirsch-Kreinsen, H./Ittermann, P. 2014: Einfacharbeit in der Industrie. Strukturen, Verbreitung und Perspektiven. Berlin
- acatech (Hg.) 2011: Cyber-Physical Systems. Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion Berlin
- Acemuglo, D./Autor, D. 2010: Skills, Tasks and Technologies: Implications for Employment and Earnings. Working Paper, National Bureau of Economic Research, Nr. 16082 (Juni 2010). Cambridge
- Agiplan, Fraunhofer IML, Zenit 2015: Erschließen der Potentiale von Industrie 4.0 im Mittelstand, Studie im Auftrag des BMWI, Dortmund
- Andriopoulos, C./Lewis, M. W. 2009: Exploitation-Exploration Tensions and Organizational Ambidexterity: Managing Paradoxes of Innovation In: *Organization Science*, Jg. 20 (2009), H. 4, S. 696 – 717
- Autor, D. 2010: The Polarization of Job Opportunities in the U.S. Labor Market. Internet: <http://economics.mit.edu/files/5554> [zuletzt aufgesucht 13.07.2014]
- Autor, D./Dorn, D. 2013: The Growth of Low-Skill Service Jobs und the Polarization of the US labor Market. In: *American Economic Review*, Jg. 103 (2013), H. 5, S. 1553 – 1597
- Autor D. 2015: Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation. In: *Journal of Economic Perspectives*, Jg. 29 (2015), H. 3, S. 3–30
- Avant, R. 2014: The third great Wave. In: *The Economist*, October 4<sup>th</sup> 2014, Special Report
- Bainbridge, L. 1983: Ironies of automation, *Automatica*, Jg. 19, H.6, S. 775 – 779
- Bauer, H. G./Böhle, F./Munz, C./Pfeiffer, S./Woicke, P. 2006: Hightech-Gespür. Erfahrungsgeleitetes Arbeiten und Lernen in hoch technisierten Arbeitsbereichen: Ergebnisse eines Modellversuchs beruflicher Bildung in der chemischen Industrie. Bielefeld
- Bauernhansel, Thomas 2014: Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma. In: Bauernhansel, Thomas/ten Hompel, Michael/Vogel-Heuser, Birgit (Hg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 5 – 36.
- Baukrowitz, A.; Thomas Berker, Andreas Boes, Sabine Pfeiffer, Rudi Schmiede, Mascha Will (Hg.) 2006: *Informatisierung der Arbeit – Gesellschaft im Umbruch* Berlin
- Baxter, G./Rooksby, J./Wang, Y./Khajeh-Hosseini, A. 2012: The ironies of automation ... still going strong at 30? *Proceedings of the 30th European Conference on Cognitive Ergonomics ECCE '12*, S. 65–71
- Benner C. 2014: *Crowd Work – Zurück in die Zukunft*. Frankfurt am Main
- Bengio, Y. 2009: Learning Deep Architectures for AI, In: *Foundations and Trends in Machine Learning*, Vol. 2, No. 1, S. 1–127
- Benkler, Yochai. 2006: *The Wealth of Networks. How Social Production Transforms Markets and Freedom*. New Haven: Yale University Press.
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie 2013: *Mensch-Technik-Interaktion*. Berlin

- Boes, A./Kämpf, T./Lühr, T./Marrs, K. 2014: Kopfarbeit in der modernen Arbeitswelt: Auf dem Weg zu einer „Industrialisierung neuen Typs“. In: Sydow, J./Sadowski, D./Conrad, P. (Hg.): Arbeit – eine Neubestimmung. Wiesbaden, S. 33 – 62
- Böhle, F./Milkau, B. 1988: Vom Handrad zum Bildschirm: Eine Untersuchung zur sinnlichen Erfahrung im Arbeitsprozess. Frankfurt am Main/New York
- Böhle, F./Rose, H. 1992: Technik und Erfahrung: Arbeit in hochautomatisierten Systemen. Frankfurt am Main/New York
- Bonin, H., Gregory, T. & Zierahn, U. (2015): Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland, ZEW.
- Boos, D./Guenter, H./Grote, G./Kinder, K. 2013: Controllable accountabilities: The Internet of Things and its challenges for organisations. In: Behaviour & Information Technology, Jg. 32 (2013), H. 5, S. 449 – 467
- Botthof, A.; Hartman, E. A. 2015: Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin/Heidelberg
- 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: [www.bruegel.org/nc/blog/detail/article/1394-the-computerisation-of-european-jobs/](http://www.bruegel.org/nc/blog/detail/article/1394-the-computerisation-of-european-jobs/) [zuletzt aufgesucht am 09.04.2015]
- Brödner, P. 1997: Der überlistete Odysseus. Über das zerrützte Verhältnis von Menschen und Maschinen. Berlin
- Broy, Manfred (Hg.) 2010: Cyber-physical systems. Innovation durch softwareintensive eingebettete Systeme. Berlin/Heidelberg
- Brynjolfsson, E./McAfee, A. 2014: The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies. Norton
- Brzeski, C.; Burk, I. 2015: Die Roboter kommen. Folgen für den deutschen Arbeitsmarkt, INGDiBa, Economic Reserach. Internet: <https://www.ing-diba.de/pdf/ueberuns/presse/publikationen/ing-diba-economic-research-die-roboter-kommen.pdf> [zuletzt aufgesucht am 12.06.2015]
- Bullinger, H.-J./ten Hompel, M. (Hg.) 2007: Internet der Dinge. Berlin
- Collins, R. 2013: The end of middle class work: No more escapes. In: Wallerstein, I./Collins, R./Derlugian, G./Calhoun, C. (Hg.): Does Capitalism Have a Future? Oxford/New York, S. 37 – 70
- Cummings, M./Bruni, S. 2009: Collaborative Human-Automation Decision Making. In: Nof, S. (Hg.): Handbook of Automation. Berlin, S. 437 – 447
- Cukier, K., N.; and Viktor Mayer-Schoenberger 2013: The Rise of Big data. In: Foreign Affairs, May/June 2013
- Dolata, U./Schrape, J.-F. 2013: Zwischen Individuum und Organisation. Neue kollektive Akteure und Handlungskonstellationen im Internet. SOI Discussion Paper, Nr. 2. Stuttgart
- Dosi, G. 1982: Technological Paradigms and Technological Trajectories. In: Research Policy, Vol. 11, S. 147 – 162
- Düll, N. (Hg.) 2013: Arbeitsmarkt 2030 Fachexpertisen und Szenarien. Trendanalyse und qualitative Vorausschau. Internet: <http://www.wbv.de/openaccess/artikel/6004384w> [zuletzt aufgesucht am 05.01.2014]
- Emery, F. E./Trist, E. L. 1960: Socio-technical Systems. In C. W. Churchman & M. Verhurst (Eds), Management Science, Models and Techniques, Vol. 2, S. 83 – 97. London
- Evangelista, R./Guerrieri, P./Meliciani, V. 2014: The economic impact of digital technologies in Europe. In: Economics of Innovation and New Technology, Jg. 23 (2014), H. 8, S. 802 – 824
- FAZ 2014: Kleinbetriebe verschlafen die Digitalisierung, 9. Dezember, S. 18



- Forschungsunion/acatech 2013: Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Berlin
- Frey, C./Osborne, M. 2013: The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation? Oxford Martin School (OMS) working paper. Oxford
- Geisberger, E./Broy, M. 2012: agenda CPS. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. Heidelberg
- Goos, M./Manning, A. 2007: Lousy and lovely jobs: The rising polarization of work in Britain. *The Review of Economics and Statistics*, Jg. 89 (2007), H. 1, S. 118 – 133
- Grote, G. 2015: Gestaltungsansätze für das komplementäre Zusammenwirken von Mensch und Technik in Industrie 4.0. In: Hirsch-Kreinsen, Hartmut/Ittermann, Peter/Niehaus, Jonathan (Hg.): *Digitalisierung industrieller Arbeit*. Baden-Baden, S. 131 – 146
- Hancock, P. A./Jagacinski, R. J./Parasuraman, R./Wickens, C. D./Wilson, G. F./Kaber, D. B. 2013: Human-Automation Interaction Research: Past, Present, and Future. In: *Ergonomics in Design: The Quarterly of Human Factors Applications* 2013 Jg. 21 (2013), H. 9; S. 9 – 14
- Heng, Stefan 2014: Industrie 4.0. Upgrade des Industriestandortes Deutschland steht bevor. Deutsche Bank Research. Internet: [http://www.dbresearch.de/PROD/DBR\\_INTERNET\\_DE-PROD/PROD000000000328961/Industrie+4\\_0%3A+Upgrade+des+Industriestandorts+Deutschland+steht+bevor.pdf;jsessionid=B765F15B47E61B38546D5351016F7209.srv-net-dbr-de](http://www.dbresearch.de/PROD/DBR_INTERNET_DE-PROD/PROD000000000328961/Industrie+4_0%3A+Upgrade+des+Industriestandorts+Deutschland+steht+bevor.pdf;jsessionid=B765F15B47E61B38546D5351016F7209.srv-net-dbr-de) [zuletzt aufgesucht am 10.06.2014]
- Hess, Thomas 2015: Digitalisierung. Internet: <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/technologien-methoden/Informatik--Grundlagen/digitalisierung/> [zuletzt aufgesucht am 22.02.2015]
- Hirsch-Kreinsen, H. 2008: „Low-Tech“ Innovations. In: *Industry & Innovation*, Vol. 15, No. 1 (February 2008), S. 19 – 43
- Hirsch-Kreinsen, H. 2014: Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“. In: *WSI-Mitteilungen*, Jg. 67 (2014), H. 6, S. 421 – 429
- Kagermann, H. 2014: Chancen von Industrie 4.0 nutzen. In: Bauernhansl, Th/ten Hompel, M./Vogel-Heuser, B. (Hg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration*. Wiesbaden, S. 603 – 614
- Kinkel, S./Friedewald, M./Hüsing, B./Lay, G./Lindner, R. 2008: *Arbeiten in der Zukunft – Strukturen und Trends der Industriearbeit*. Berlin
- Kremer, Thomas 2015: Quo vadis, digitale Welt? In: *FAZ*, 17. Februar, S. 18
- Kuhlmann, M./Schumann, M. 2015: Digitalisierung erfordert Demokratisierung der Arbeitswelt heraus. In: Hoffmann, R. (Hg.): *Arbeit der Zukunft*. Frankfurt am Main, 122 – 140
- Lee, J./Seppelt, B. 2009: Human Factors in Automation Design. In: Nof, S. (Hg.): *Handbook of Automation*. Berlin, S. 417 – 436
- Leimeister, J. M./Zogaj, S. 2013: Neue Arbeitsorganisation durch Crowdsourcing. Eine Literaturstudie. In: *Arbeitspapier der Hans-Böckler-Stiftung, Reihe Arbeit und Soziales*, Nr. 287 (Juli 2013), S. 1 – 112
- Lutz, B. 1987: Das Ende des Technikdeterminismus und die Folgen. In: Lutz, B. (Hg.): *Technik und Sozialer Wandel. Verhandlungen des 23. Deutschen Soziologentages*. Frankfurt am Main, S. 34 – 57
- Malone, T. W. 2011: The Big Idea: The Age of Hyperspecialization. In: *Harvard Business Review*, Jg. 89 (2011), H.7/8, S. 56 – 65
- Marin, D. 2014: Die brillanten Roboter kommen. In: *FAZ*, 21. November 2014, S. 16
- Markillie, P. 2012: Manufacturing: The third industrial revolution. In: *The Economist*, April 21<sup>st</sup> 2012, Special Report

- Münchener Kreis 2013: Arbeit in der digitalen Welt. Internet:  
<https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/A/arbeit-in-der-digitalen-welt,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> [zuletzt aufgesucht am 05.05.2015]
- 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/Heidelberg, S. 563 – 572
- Nelson, R. R./Winter, S. G. 1977: In Search of Useful Theory of Innovation. In: Research Policy, No. 6, S. 36 – 76
- Parasuraman, R./Manzey, D. (2010). Complacency and bias in human use of automation: An attentional integration. Human Factors, Jg. 52, H. 3, S. 381 – 410
- Petschow, U./Ferdinand, J.-P./Diekel, S./Flämig, H. 2014: Dezentrale Produktion, 3D-Druck und Nachhaltigkeit, Schriftenreihe des IÖW 206/14, Berlin
- Pfeiffer, S. 2013: Arbeit und Technik. In: Hirsch-Kreinsen, Hartmut/Minssen, Heiner (Hg.): Lexikon der Arbeits- und Industriesoziologie. Berlin, S. 48 – 53
- Pfeiffer, S./Suphan, A. 2015: Industrie 4.0 und Erfahrung – das Gestaltungspotential der Beschäftigten anerkennen und nutzen. In: Hirsch-Kreinsen, Hartmut/Ittermann, Peter/Niehaus, Jonathan (Hg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Baden-Baden, S. 205 – 230
- Piller, F. Th. 1998: Das Produktivitätsparadoxon der Informationstechnologie. In: WIST, Jg. 27 (1998), H. 5, S. 257 – 262.
- Plickert, P. 2015: Die mühsame IT-Revolution. In: FAZ.NET. Internet:  
<http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/internet-in-der-industrie/trotz-it-produktivitaet-steigt-nur-langsam-13764864.html> [zuletzt aufgesucht am 10.09.2015]
- Polanyi, M. 1966: The Tacit Dimension. New York
- Pratt, G. A.2015: Is a Cambrian Explosion Coming for Robotics? In: Journal of Economic Perspectives, Jg. 29 (2015), H. 3, S. 51 – 60
- Reinhart, G./Engelhardt, P./Geiger, F./Philipp, T./Wahlster, W./Zühlke, D./Schlick, J./Becker, T./Löckelt, M./Pirvu, B./Stephan, P./Hodek, S./Scholz-Reiter, B./Thoben, K./Gorltd, C./Hribernik, K./Lappe, D./Veigt, M. 2013: Cyber-Physische Produktionssysteme. Produktivitäts- und Flexibilitätssteigerung durch die Vernetzung intelligenter Systeme in der Fabrik. In: wt-online, Jg. 103 (2013), H. 2, S. 84 – 89
- Rifkin, J. 2011: The Third Industrial Revolution. How Lateral Power is Transforming Energy, the Economy, and the World. Basingstoke
- Rüßmann, M.; Markus Lorenz, Philipp Gerbert, Manuela Waldner, Jan Justus, Pascal Engel, Michael Harnisch 2015: Industry 4.0. The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries BCG (Boston Consulting Group). Internet:  
[https://www.bcgperspectives.com/content/articles/engineered\\_products\\_project\\_business\\_industry\\_40\\_future\\_productivity\\_growth\\_manufacturing\\_industries/](https://www.bcgperspectives.com/content/articles/engineered_products_project_business_industry_40_future_productivity_growth_manufacturing_industries/) [zuletzt aufgesucht am 05.05.2015]
- Schmiede, R. (Hg.) 1996: Virtuelle Arbeitswelten. Arbeit, Produktion und Subjekt in der „Informationsgesellschaft“, Berlin
- Scholz-Reiter, B./Gorges, M./Philipp, T. 2009: Autonomously controlled production systems – Influence of autonomous control level on logistic performance. CIRP Annals – Manufacturing Technology 58, No. 1
- Schuh, G./Stich, V. (Hg.) 2013: Produktion am Standort Deutschland. Ergebnisse der Untersuchung 2013, Aachen
- Sendler, U. (Hg.) 2013: Industrie 4.0. Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM. Heidelberg u. a. O.

- Spath, D./Ganschar, O./Gerlach, S./Hämmerle, M./Krause, T./Schlund, S. (Hg.) 2013: Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Stuttgart
- TA – Technikfolgenabschätzung 2007: Zukunftsreport: Arbeiten in der Zukunft – Strukturen und Trends der Industriearbeit. Bericht des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung (18. Ausschuss) gemäß § 56a der Geschäftsordnung. Deutscher Bundestag, Drucksache 16/7959
- The Economist 2015: Digital Taylorism. Sept 12<sup>th</sup> (2015), S. 63
- 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
- Westkämper, E./Spath, D./Constantinescu, C./Lentes, J. (Hg.) 2012: Digitale Produktion. Berlin/Heidelberg
- Widmaier, U. (Hrsg.) 2000: Der deutsche Maschinenbau in den neunziger Jahren. Kontinuität und Wandel einer Branche. Frankfurt am Main
- 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 (Hg.): Zukünftige Qualifikationserfordernisse durch das Internet der Dinge in der Logistik. Zusammenfassung der Studienergebnisse. Bremen, S. 5 – 9
- Zäh, F./Patron, C./Fusch, T. 2003: Die Digitale Fabrik – Definition und Handlungsfelder, ZWF 98, 3/2003, S. 75 – 77
- Zammuto, R. F./Griffith, T. L./Majchrzak, A./Dougherty, D. J./Faraj, S. 2007: Information Technology and the Changing Fabric of Organization. In: Organization Science, Jg. 18 (2007), H. 5, S. 749 – 762
- Zuboff, S. 1988: In the age of the smart machine. The future of work and power. New York
- Zuboff, S. 2010: Creating value in the age of distributed capitalism. McKinsey Quarterly. Internet: <http://glennas.files.wordpress.com/2010/12/creating-value-in-the-age-of-distributed-capitalism-shoshana-zuboff-september-2010.pdf> [zuletzt aufgesucht am 20.12.13]

## Seit 2009 erschienene Soziologische Arbeitspapiere

Früher erschienene Arbeitspapiere sind auf der folgenden Website zu finden:

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

- 24/2009 Jörg Abel/Hartmut Hirsch-Kreinsen/Peter Ittermann  
Einfacharbeit in der Industrie. Status quo und Entwicklungsperspektiven  
(Mai 2009)
- 25/2009 Robin D. Fink  
Attributionsprozesse in hybriden Systemen. Experimentelle Untersuchung des Zusammenspiels von Mensch und autonomer Technik  
(Juli 2009)
- 26/2009 Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Innovative Arbeitspolitik im Maschinenbau?  
(September 2009)
- 27/2010 Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Technological Innovation and Finance  
(Oktober 2010)
- 28/2010 Robin D. Fink/Tobias Liboschik  
Bots – Nicht-menschliche Mitglieder der Wikipedia-Gemeinschaft  
(Dezember 2010)
- 29/2011 Jörg Abel/Peter Ittermann/Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Einfacharbeit in der Ernährungsindustrie  
(Februar 2011)
- 30/2012 Jörg Abel/Peter Ittermann/Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Einfacharbeit in der Gummi- und Kunststoffindustrie  
(Januar 2012)
- 31/2012 Peter Ittermann/Jörg Abel/Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Einfacharbeit in der Metallbearbeitung – Anforderungen und Perspektiven  
(Februar 2012)
- 32/2013 Jörg Abel/Peter Ittermann/Marlies Steffen  
Wandel von Industriearbeit. Herausforderung und Folgen neuer Produktionssysteme in der Industrie  
(März 2013)
- 33/2013 Fabian Lücke/Johannes Weyer/Robin D. Fink  
Steuerung komplexer Systeme – Ergebnisse einer soziologischen Simulationsstudie  
(April 2013)
- 34/2013 Marco Hellmann/Sarah Rempe/Jan Schlüter  
Die Katastrophe der Deepwater Horizon – Eine Ursachenforschung im Kontext der Theorie der High Reliability Organizations  
(November 2013)

- 35/2013 Johannes Weyer  
Experimentelle Soziologie - Der Beitrag der Computersimulation zur Weiterentwicklung der soziologischen Theorie  
(November 2013)
- 36/2013 Johannes Weyer/Fabian Adelt/Robin D. Fink  
Steuerung komplexer Systeme - Ein Mehrebenen-Modell von Governance  
(November 2011)
- 37/2013 Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Wie viel akademische Bildung brauchen wir zukünftig? Ein Beitrag zur Akademisierungsdiskussion  
November 2013
- 38/2014 Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“  
Januar 2014
- 39/2014 Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Financialization of Innovation – the Case of the German Industrial Innovation System  
August 2014
- 40/2014 Katrin Hahn  
Innovationsfinanzierung im Spannungsfeld von Risiko und Unsicherheit: Bremsen die gegenwärtigen Finanzmarktbedingungen unternehmerische Innovationen?  
Oktober 2014
- 41/2015 Daniel Ruppel  
Hindernisse und Herausforderungen bei der Implementierung von Ganzheitlichen Produktionssystemen  
Januar 2015
- 42/2015 Johannes Weyer/Fabian Adelt/Sebastian Hoffmann  
Governance of complex systems -A multi-level model  
Juni 2015