
Digitalisierung industrieller Arbeit

Entwicklungsperspektiven und Gestaltungsansätze

Hartmut Hirsch-Kreinsen und Michael ten Hompel

Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag werden Überlegungen und erste Forschungsergebnisse zu den Konsequenzen für Arbeit und Qualifikation bei Industrie 4.0 zusammengefasst. Konzeptionell wird dabei Industrie 4.0 als sozio-technisches System begriffen. Davon ausgehend wird im Hinblick auf die Entwicklung von Arbeit zwischen zwei Perspektiven unterschieden, die als „Upgrading“ und als „Polarisierung“ von Qualifikationen gefasst werden. Welche konkreten Veränderungen sich tatsächlich ergeben, ist allerdings besonders von dem realisierten Automatisierungskonzept und der tatsächlichen Reichweite der Systemverbreitung abhängig. Abschließend wird verdeutlicht, dass allenfalls von einer mittelfristig begrenzten Verbreitung von Industrie-4.0-Systemen ausgegangen werden kann.

1 Technologieschub Digitalisierung

In der gegenwärtigen Diskussion über die Entwicklungs- und Anwendungsmöglichkeiten der Informationstechnologie wird davon ausgegangen, dass gegenwärtig ein ausgesprochener technologischer Entwicklungsschub stattfindet. Er öffne bislang völlig neue und unbekannte technologische Nutzungspotenziale 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 und McAfee 2014) oder die „Third Industrial Revolu-

H. Hirsch-Kreinsen (✉)

Technische Universität Dortmund, Dortmund, Deutschland

E-Mail: hartmut.hirsch-kreinsen@tu-dortmund.de

M. ten Hompel

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, Dortmund, Deutschland

E-Mail: michael.ten.hompel@iml.fraunhofer.de

tion“ (Rifkin 2011), im deutschen Sprachraum als „Vierte Industrielle Revolution“ bzw. „Industrie 4.0“ (Forschungsunion und acatech 2013) bezeichnet wird. Ohne Frage weist diese Debatte alle Merkmale eines „Hypes“ auf. Es werden spektakuläre Veränderungen und Entwicklungsperspektiven prognostiziert, und in der Fachöffentlichkeit, in der Politik und weit darüber hinaus wird häufig keinem anderen Thema eine so bedeutende Rolle für die zukünftige gesellschaftliche und ökonomische Entwicklung eingeräumt. Man fühlt sich an die zweite Hälfte der 1990er-Jahre erinnert, als die New Economy und mit ihr Schlagworte wie Multimedia, das World Wide Web und E-Commerce als die Vorboten einer prosperierenden gesellschaftlichen Zukunft gefeiert wurden. Zu Recht fragen daher manche Beobachter der gegenwärtigen Entwicklung, ob mit der aktuellen Debatte nicht „Alter Wein in neuen Schläuchen“ aufgegossen werde (z. B. Jasperneite 2012).

Resümiert man die Debatte genauer, so 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. Ausgangspunkt ist die Annahme, dass die Entwicklung digitaler Technologien ein Stadium erreicht habe, das eine völlig neue Qualität ihrer Anwendung eröffne. Diese Situation ist mit der Phase der letzten Jahrzehnte strukturell nicht vergleichbar. Zur Begründung für diese neue Qualität technologischer Entwicklung mit deutlich erweiterten Anwendungspotenzialen und strukturverändernden Konsequenzen wird in der Literatur nahezu unisono auf die technologische Entwicklung der letzten Jahre verwiesen (z. B. in unterschiedlicher Perspektive: Geisberger und Broy 2012; Avant 2014; Evangelista et al. 2014). In instruktiver Weise bringen *Erik Brynjolfsson* und *Andrew McAfee* die besondere Qualität der Entwicklung auf den Punkt (2014, S. 39 ff.): Zum einen sei die Leistungsfähigkeit der Hardware in den letzten Jahren dramatisch gestiegen und ihre Kosten seien massiv gefallen; die digitalen Technologien hätten nach vielen Jahren ihrer Entwicklung derzeit ihre „full force“ erreicht (ebd.: 9). Dies betrifft Aspekte wie die Verarbeitungsgeschwindigkeiten, die Speicherkapazitäten, die Energieeffizienz und die Packungsdichte der Mikroprozessoren. Zum zweiten wird die umfassende Digitalisierung, insbesondere die Vernetzung aller verfügbaren Informationen und die Angleichung ihrer zuvor unterschiedlichen medialen Repräsentation hervorgehoben, die im Hinblick auf ihr Volumen, ihre Breite und ihre Diffusionsgeschwindigkeit geradezu explodiert sei; damit erhöhten sich im globalen Maßstab die gesellschaftlichen und ökonomischen Nutzungsmöglichkeiten dramatisch. Stichwort ist hier „Big Data“, worunter die Sammlung, Auswertung und gezielte Nutzung großer Datenbestände verstanden wird (z. B. Cukier und Mayer-Schönberger 2013). Zum dritten wird vielfach betont, dass die digitalen Technologien in bisher nicht da gewesener Weise als „general purpose technologies“ zu begreifen seien; sie erfassten nicht nur nahezu alle gesellschaftlichen Bereiche, sondern ihre Anwendungspotenziale und Kombinationsmöglichkeiten stimulierten Innovationen nachhaltig (Brynjolfsson und McAfee 2014, S. 81). Der gesellschaftliche Wandel, der durch diese Entwicklung ermöglicht werde, so die Autoren weiter, sei ambivalent: Einerseits habe er überaus vorteilhafte Konsequenzen vor allem im Hinblick auf Konsum- und Einkommensmöglichkeiten. Andererseits aber bringe die Digitalisierung

auch sehr „dornige“ Herausforderungen, etwa im Hinblick auf die Veränderung wirtschaftlicher Strukturen und den Wandel von Arbeit mit sich (ebd.: 10 f.).

Im Folgenden soll daher 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 (Hess 2015). Dabei können zwei Phasen der Digitalisierung unterschieden werden: In einer *ersten Phase* hat sich dieser Prozess seit spätestens dem Ende der 1990er-Jahren schon in jenen Wirtschaftsbereichen durchgesetzt, wo Produktion, Konsumtion und Kommunikation unmittelbar auf immateriellen Transaktionen und der Nutzung von Daten und Informationen basieren. Zu nennen sind hier Dienstleistungssektoren wie die Musikherstellung und -distribution, das Verlags- und Zeitschriftenwesen oder auch Finanzdienstleistungen, deren Digitalisierung weitreichende Strukturveränderungen einzelner Geschäftsmodelle wie aber auch von Firmen- und Branchenstrukturen nach sich gezogen hat (Zuboff 2010; Brynjolfsson und McAfee 2014). Als Beispiel wird oftmals die Firma Amazon angeführt, bei der es immer weniger Sinn mache zu fragen, ob diese Firma ein Einzelhändler, ein Logistikunternehmen, ein webbasiertes Dienstleistungsunternehmen oder, so kann man hinzufügen, vielleicht neuerdings auch ein Lebensmittelhändler sei. Vielmehr ist für dieses Unternehmen, wie für viele ähnliche Unternehmen die systematische Nutzung von großen Datenbeständen die Basis seines Geschäftsmodells.

Gegenwärtig kann von einer *zweiten Phase* der Digitalisierung gesprochen werden, die sich auf die Verknüpfung der Digitalisierung mit physischen Gegenständen unterschiedlichster Art richtet. *Shoshana Zuboff* bezeichnet diese Entwicklung als „second-wave-mutation“ des technologischen und damit verbundenen sozio-ökonomischen Wandels (Zuboff 2010, S. 8). In einer primär technologischen Perspektive wird dieser Zusammenhang auch unter dem Schlagwort „Internet der Dinge“ thematisiert (z. B. Fleisch und Mattern 2005; Bullinger und ten Hompel 2007). In diesem Kontext wird auch von cyber-physischen Systemen (CPS) gesprochen, die in den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen wie Wohnen, Medizin, Verkehr oder industrielle Produktion große und bislang nicht gekannte Nutzenpotenziale eröffnen (z. B. Geisberger und Broy 2012). Unter dem Begriff der CPS wird das informationstechnologische Zusammenspiel von einerseits physischen Systemen mit eingebetteter Software und andererseits globalen Datennetzen mit verteilten und interaktiven Anwendungssystemen verstanden. Konkreter, CPS bezeichnen „intelligente“ Geräte, Verkehrsmittel, Maschinen wie aber auch Logistik-, Koordinations- und Managementprozesse, die mit fortgeschrittenen Internetanwendungen verknüpft sind. Es wird daher auch die These formuliert, dass der Prozess der Digitalisierung nun im Begriff sei, auf die Kernbereiche ökonomischer Aktivitäten überzugreifen und sich damit bislang nicht gekannte und völlig neue Anwendungspotenziale und gesellschaftliche Folgen verbinden. Aufgrund der Materialität der infrage stehenden Prozesse sei diese Digitalisierungswelle allerdings weit komplexer als die erste (z. B. Zuboff 2010; Geisberger und Broy 2012).

Ein Themenschwerpunkt dieser aktuellen Debatte ist die Digitalisierung der industriellen Produktion und Logistik bzw. der industrielle Einsatz und die Vernetzung von

CPS, 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 und 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); besondere Prominenz erlangte schon in den 1980er-Jahren das Konzept des Computer-integrated Manufacturing (CIM) (Harrington 1973; Scheer 1987; Hirsch-Kreinsen et al. 1990). 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 Potenziale für die Planung, die Steuerung und die Organisation von Produktionsprozessen und ganzer Wertschöpfungsketten (z. B. Broy 2010; Reinhart et al. 2013; Sandler 2013). Wie angedeutet, gehen daher unisono alle Autoren davon aus, dass mit der Diffusion und Realisation von Industrie 4.0-Systemen wie auch generell mit der fortschreitenden Digitalisierung sozialer und wirtschaftlicher Prozesse längerfristig nachhaltige und in ihren Konsequenzen bislang nicht absehbare Wandlungsprozesse sozio-ökonomischer Strukturen, wie insbesondere auch von Arbeit, angestoßen werden (zusammenfassend z. B. Hirsch-Kreinsen et al. 2015).

2 Industrie 4.0 als sozio-technisches System

Fragt man nun nach den Konsequenzen des Einsatzes digitaler Technologien für Arbeit, so legt eine Vielzahl von Studien und Analysen eine Auffassung nahe, die von einem mehr oder weniger deterministischen Verhältnis zwischen technologischer Entwicklung und den Konsequenzen für Arbeit ausgeht. Danach findet derzeit ein „technology push“ mit letztlich eindeutigen und prognostizierbaren sozialen und ökonomischen Veränderungstendenzen statt (zusammenfassend z. B. Evangelista et al. 2014). Demgegenüber verfügen sowohl die sozialwissenschaftliche Innovationsforschung als auch die arbeitssoziologische Technikforschung über einen breiten Fundus konzeptioneller und empirischer Forschungsergebnisse, die instruktiv zeigen, dass die Entwicklung, die Diffusion und die Implementation neuer Technologien alles andere als bruchlos und widerspruchsfrei verlaufen und vor allem die sozialen Effekte kaum eindeutig 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 Entwicklungspotenziale, zum anderen ihre Selektion im Lichte von Anwendungserfordernissen und Vermarktungschancen neuer Technologien (z. B. Fagerberg 2005). Ähnlich argumentiert die Arbeitssoziologie. Spätestens seit der kritischen Debatte um den „Technikdeterminis-

mus“ in den 1970er- und 1980er-Jahren wird davon ausgegangen, dass zwischen der Implementation bestimmter technischer Systeme und den Konsequenzen für Arbeit eine von vielen nicht-technischen und sozialen Faktoren beeinflusste Beziehung besteht. Keineswegs darf eine durch Technikauslegung eindeutige und festliegende Beziehung zwischen beiden Dimensionen angenommen werden (Lutz 1987; zusammenfassend Pfeiffer 2013).

Insgesamt lässt sich daher festhalten, dass der Zusammenhang zwischen der Verbreitung digitaler Technologien und ihren sozialen Konsequenzen keinesfalls linear und deterministisch zu verstehen ist. Vielmehr handelt es sich dabei um einen komplexen und wechselseitigen Zusammenhang, der von einer Vielzahl ökonomischer, sozialer und arbeitspolitischer Einflussfaktoren geprägt wird und deren Einfluss letztlich darüber entscheidet, in welcher Weise die technologisch gegebenen neuen Nutzungspotenziale tatsächlich ausgeschöpft werden und welche Konsequenzen für Arbeit sich einspielen (Evangelista et al. 2014, S. 803). Mehr noch, wie die arbeitssoziologische Technikforschung der letzten Dekaden gezeigt hat, ist vielfach die Form der arbeitsorganisatorischen Einbettung und Ausgestaltung der neuen Technologien der bestimmende Faktor für deren Nutzung. Deutlich wurde insbesondere, dass dabei stets technisch-organisatorische Alternativen der Gestaltung existieren, die Gegenstand betrieblicher und arbeitspolitischer Entscheidungsprozesse sind (Hirsch-Kreinsen et al. 1990; Brödner 1997).

Die Analyse und auch die Gestaltung des Prozesses der Digitalisierung von Arbeit, d. h. des Zusammenspiels der neuen Technologie mit den dadurch induzierten personellen und organisatorischen Veränderungen, erfordert daher konzeptionell den Blick auf den Gesamtzusammenhang der Produktion und die hier wirksamen Interdependenzen. Einen analytischen Ansatzpunkt hierfür bietet das Konzept des sozio-technischen Systems, das den interdependenten Zusammenhang zwischen den technologischen, organisatorischen und personellen Elementen eines Gesamtsystems der Produktion in den Blick nimmt (Trist und Bamforth 1951; zusammenfassend Sydow 1985). Obgleich in der Forschung nicht immer einheitlich definiert, kann in einer ersten Näherung und in Anlehnung an Rice (1963) unter einem sozio-technischem System eine Produktionseinheit verstanden werden, die aus interdependenten technologischen, organisatorischen und personellen Teilsystemen besteht. Danach begrenzt zwar das technologische Teilsystem die Gestaltungsmöglichkeiten der beiden anderen Teilsysteme, jedoch weisen diese eigenständige arbeitspsychologische, arbeitspolitische und organisationale Eigenschaften auf, die wiederum auf die Funktionsweise des technologischen Teilsystems zurückwirken.

Mit diesem Konzept wird vermieden, allein nach der Funktionsweise und den Wandlungsprozessen einzelner technischer und nicht-technischer Elemente zu fragen, sondern es werden die Wechselwirkung und die Kombination der Elemente, mithin *technisch-soziale Konfigurationen*, ins Zentrum der Analyse gerückt. Zudem wird nicht nur unspezifisch und generell von technischen und sozialen Elementen eines Systems gesprochen, sondern die Analyse schließt neben Technik differenziert die Dimensionen der Organisation und des Personaleinsatzes ein. Verbunden damit ist die Grundannahme dieses Konzepts, wie sie Chris W. Clegg auf den Punkt bringt: „Sociotechnical theory has at its core the notion that the

design and performance of new systems can be improved, and indeed can only work satisfactorily, if the ‚social‘ and the ‚technical‘ are brought together and treated as interdependent aspects of a work system.“ (Clegg 2000, S. 464).

Wie nicht zuletzt auch erste grundlegende Überlegungen im Kontext der Debatte um anpassungsintelligente Produktionssysteme zeigen, erlaubt allein dieser analytische Zugriff auf das Gesamtsystem hinreichend begründete Aussagen über Gestaltungsmöglichkeiten und Konsequenzen für Arbeit. Methodisch erlaubt dieses Konzept zudem, unterschiedliche abgrenzbare Ebenen und Segmente von Produktionsprozessen vergleichend in eine Analyse einzubeziehen. Aus diesen Gründen wird auf das sozio-technische Systemkonzept programmatisch auch in der aktuellen Diskussion um Industrie 4.0 Bezug genommen (Forschungsunion und acatech 2013, S. 40 ff.). Konzeptionell wird damit auch auf den häufig übersehenen Umstand verwiesen, dass Automation keineswegs nur einzelne Arbeitsplätze, Tätigkeiten und die Qualifikationen individueller Personen berührt, sondern darüber hinaus Konsequenzen für das gesamte organisatorisch-soziale Gefüge eines Produktionssystems hat. Seinerseits ist dieses sozio-technische System wiederum verknüpft mit übergeordneten strategischen Vorgaben und es ist Element im Gesamtprozess einer Wertschöpfungskette. Bezogen auf das Konzept Industrie 4.0 lässt sich der sozio-technische Ansatz grafisch wie folgt darstellen (Abb. 1):

3 Entwicklungsperspektiven von Arbeit

Ausgehend von diesen konzeptionellen Überlegungen soll im Folgenden in erster Näherung ein möglicher Entwicklungsraum von Arbeit im Kontext ihrer fortschreitenden Digitalisierung abgesteckt werden. Absicht ist es, damit den Stand der Debatte zu resümieren und einen Rahmen für differenziertere Analysen der Entwicklung von Industriearbeit, zu geben. Die Materialbasis hierfür ist die vorliegende Literatur, die sich zumeist in genereller Perspektive mit dem Wandel von Arbeit befasst, ohne systematisch auf unterschiedliche Aufgaben, Tätigkeiten und Beschäftigungssegmente, insbesondere etwa auf Industriearbeit im Unterschied zu anderen Tätigkeitsbereichen einzugehen. Gleichwohl lassen sich die vorliegenden Befunde zu unterschiedlichen Entwicklungsperspektiven von Arbeit zuspitzen. Herausarbeiten lässt sich auf dieser Basis ein breites Spektrum divergierender Entwicklungsperspektiven von Arbeit, das von zwei Polen begrenzt wird. Diese Pole werden zum einen als *Upgrading von Qualifikationen* und zum anderen als *Polarisierung von Qualifikationen* bezeichnet.

3.1 Upgrading von Qualifikationen

Der erste Pol bezeichnet eine Entwicklungsperspektive, wonach die Digitalisierung der Arbeit eine Aufwertung bzw. ein „Upgrading“ von Qualifikationen nach sich zieht. Diese Entwicklungsperspektive ist sowohl in der wissenschaftlichen als auch in der öffentlichen Debatte relativ weit verbreitet. Folgt man Zuboff (1988, S. 10 f.),

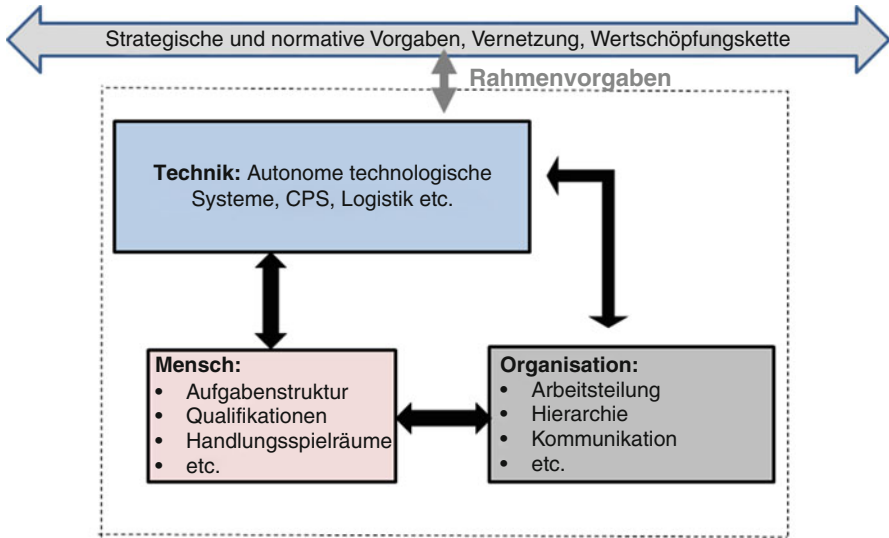


Abb. 1 Industrie 4.0 als sozio-technisches System (Quelle: eigene Darstellung)

so kann ein Upgrading von Qualifikationen auf zwei Wegen mit völlig unterschiedlichen Konsequenzen makrostrukturell für den Arbeitsmarkt generell wie auch für konkrete Tätigkeiten und Qualifikationen auf der betrieblichen Ebene stattfinden:

- Zum einen wird dies als Folge einer fortschreitenden computertechnischen Automatisierung einfacher Tätigkeiten angesehen, die damit weitgehend substituiert werden. Die Voraussetzung hierfür ist, dass es sich dabei um Tätigkeiten handelt, die einen routinisierten und in hohem Maße regelbasierten Charakter aufweisen und daher relativ problemlos von Computeralgorithmen übernommen werden können. Frey und Osborne (2013) sprechen in diesem Kontext von in den nächsten Jahren absehbaren Wellen weitreichender Substitutionseffekte des Computereinsatzes. 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 (vgl. auch Brynjolfsson und McAfee 2014, S. 136).
- Zum zweiten kann Upgrading als ein Prozess verstanden werden, der generell alle Beschäftigtengruppen erfasst. Digitalisierung von Arbeit wird in dieser Perspektive als Prozess der Informatisierung von Arbeit verstanden, der zu einer steigenden Verfügbarkeit einer großen Vielfalt von Informationen über laufende Prozesse führt. Deren Komplexität und Nutzung führt ganz generell zu neuen und bislang nicht gekannten Anforderungen an Tätigkeiten. Zuboff spricht daher 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 (Zuboff 1988, S. 94 f.). Die generelle Konsequenz seien „better jobs – jobs that at every level would be enriched by an informing technology“ (ebd.: 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; Evangelista et al. 2014; Boos et al. 2013). So wird auch in der öffentlichen und innovationspolitischen Debatte über Industrie 4.0 hervorgehoben, dass eine generelle Aufwertung von Qualifikationen möglich sein und auch stattfinden werde. Verwiesen sei hier stellvertretend für eine Vielzahl von Autoren und Stellungnahmen auf *Henning Kagermann*, einen der führenden Vertreter der Vision von Industrie 4.0 in Deutschland, demzufolge 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; z. B. auch Bauernhansel 2014; Wissenschaftlicher Beirat 2014).

Dieser Entwicklungsperspektive entspricht ein arbeitsorganisatorisches Muster, das sich durch ein hohes Maß an struktureller Offenheit, eine sehr begrenzte Arbeitsteilung und hohe Flexibilität auszeichnet. Denn wie arbeitssoziologische Befunde belegen, ist dies die organisatorische Voraussetzung dafür, dass die Qualifikationen und Erfahrungen der Beschäftigten im laufenden System zur Geltung gebracht und vor allem nichtantizipierbare Stör- und Sondersituationen jederzeit durch kompetentes und erfahrenes Arbeitshandeln bewältigt werden können. In der Debatte um die Digitalisierung von Arbeit wird verschiedentlich als arbeitsorganisatorisches Leitbild dieser Entwicklungsperspektive ein Muster hervorgehoben, das metaphorisch als *Schwarm-Organisation* bezeichnet wird (Hirsch-Kreinsen 2014). Dieses Organisationsmuster ist durch eine lockere Vernetzung qualifizierter und gleichberechtigt agierender Beschäftigter gekennzeichnet (Abb. 2). Einfache und niedrig qualifizierte Tätigkeiten sind hier nicht anzutreffen, denn sie sind weitgehend durch die Automatisierung substituiert worden. Zentrales Merkmal dieses Organisationsmusters ist, dass es keine definierten Aufgaben für einzelne Beschäftigte gibt, vielmehr handelt das Arbeitskollektiv selbst organisiert, hoch flexibel und situationsbestimmt je nach zu lösenden Problemen im und am technologischen System. Allerdings existiert ein von der Leitungsebene vorgegebener Handlungsrahmen, der grundlegende Handlungsregeln, strategische Ziele und kollektive Orientierungen und Leitvorstellungen etwa im Hinblick auf einen möglichst störungsfreien und optimalen technologischen Prozess umfasst (Neef und Burmeister 2005, S. 569 ff.).

Anders formuliert, dieses Muster der Arbeitsorganisation zielt auf die explizite Nutzung informeller sozialer Prozesse der Kommunikation und Kooperation und der damit verbundenen extrafunktionalen Kompetenzen und des akkumulierten spezifischen Prozesswissens der Beschäftigten. Folgt man Böhle (2013), so wird hiermit auf das notwendige Zusammenspiel von allgemeinen sozialen Kompeten-

Abb. 2 Schwarm-Organisation (Quelle: eigene Darstellung)



zen wie etwa Kommunikationsfähigkeit und methodische Fähigkeiten mit einem auf den konkreten Arbeitsprozess bezogenen praktischen Arbeitsprozesswissen abgestellt.

3.2 Polarisierung von Qualifikationen

Eine zweite Entwicklungsperspektive soll mit dem Begriff der Polarisierung von Qualifikationen gefasst werden. Ihr zufolge ist, im Gegensatz zur Upgradingperspektive, mit einer zunehmenden Tendenz zur Polarisierung von Aufgaben und Qualifikationen zu rechnen. Die Begründung hierfür ist, dass von einer zunehmenden Erosion mittlerer Qualifikationsebenen auszugehen sei und zugleich ein wachsender Anteil von sowohl anspruchsvollen, hochqualifizierten Tätigkeiten als auch einfachen, aber nicht routinisierten und daher nicht automatisierbaren Tätigkeiten anzutreffen sei. Besonders prominent wird diese These von Autor und Dorn (2013); Collins (2014) sowie Brynjolfsson und McAfee (2014) vertreten, die vor allem in makrostruktureller Perspektive auf die Entwicklung des US-amerikanischen Arbeitsmarktes, verschiedentlich aber auch auf den Wandel des Arbeitsmarktes in der EU verweisen (z. B. Goos et al. 2009; Bowles 2014). Danach haben generell in den letzten beiden Jahrzehnten die Anteile anspruchsvoller Jobs von manageriellen, technischen und professionellen Berufen wie Technikern einerseits und wenig anspruchsvoller Tätigkeiten im Sektorservice andererseits zu Lasten mittlerer Qualifikationsgruppen aus Bereichen wie Verkauf, Verwaltung und industrieller Produktion zugenommen.

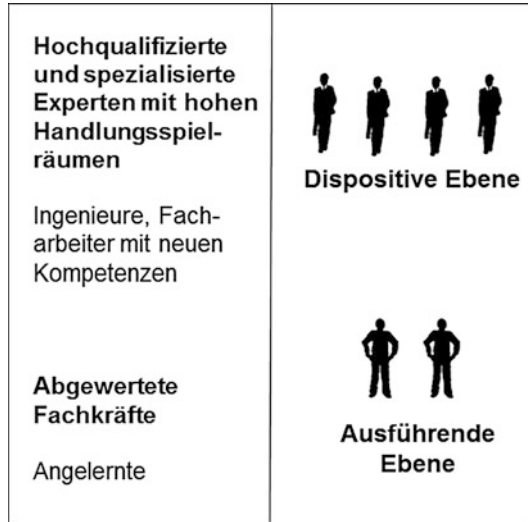
Als Ursache für diese Entwicklung gilt, dass nicht nur einfache routinisierte Tätigkeiten automatisiert, sondern gerade auch Tätigkeiten mittleren Qualifikationsniveaus automatisiert und damit substituiert werden können. Die Voraussetzung hierfür ist, dass es sich auch dabei um Tätigkeiten handelt, die einen gut strukturierten und regelorientierten Charakter aufweisen und daher algorithmisiert werden können. Konkret handelt es sich dabei sowohl um bislang durchaus anspruchsvolle Produktionsarbeiten etwa der Montage und Überwachung wie aber

auch um Verwaltungs- und Sevicetätigkeiten auf mittleren Qualifikationsniveaus (z. B. Autor 2010; Marin 2014). Anders formuliert, durch die neuen Technologien wird auch relativ routinisierte Arbeit, die sich im mittleren Tätigkeits- und Einkommenssegmenten befindet, zunehmend automatisiert. Komplexe Tätigkeiten im Hochlohnbereich, wie Manager, Berater oder Finanzdienstleister, und im Niedriglohnbereich, wie Krankenschwestern oder Altenpfleger, erfreuen sich hingegen einer hohen Nachfrage (Marin 2014). Goos und Manning fassen diesen Trend anschaulich mit dem Titel „Lousy und Lovely Jobs“ (Goos und Manning 2007).

Diese makrostrukturelle Begründung für eine Polarisierungstendenz findet ihre Entsprechung in Forschungsergebnissen, die sich auf die Betriebsebene fokussieren. So befürchten die Autoren einer breit angelegten deutschen Studie über die Entwicklung qualifizierter Sach- und Facharbeitertätigkeiten in industriellen Unternehmen eine fortschreitende „Dequalifizierung und Teilsubstituierung“ der mittleren Qualifikationsebene infolge ihrer informationstechnischen Automatisierung. Bestenfalls könne von dem Verbleib von „Residualkategorien“ von qualifizierter Arbeit gesprochen werden, also jenen Tätigkeiten, die nicht oder nur mit einem unverhältnismäßigen Aufwand automatisiert werden können (TA 2007; Kinkel et al. 2008; Düll 2013). Ähnlich argumentieren Windelband et al. (2011) auf der Basis einer Untersuchung über die Arbeit im Kontext intelligent vernetzter Logistiksysteme. Damit entsteht auf betrieblicher Ebene tendenziell eine ausdifferenzierte Tätigkeitsstruktur zwischen anspruchsvollen, qualifizierten Tätigkeiten einerseits und verbliebenen abgewerteten Fachtätigkeiten und nicht automatisierten einfachen Tätigkeiten andererseits. Denn trotz aller Automatisierungstrends weisen überraschenderweise Tätigkeiten, die als industrielle Einfacharbeit charakterisiert werden können, eine hohe Stabilität auf (Abel et al. 2014).

Dieser Polarisierungsperspektive entspricht ein arbeitsorganisatorisches Gestaltungsmuster, das durch eine ausgeprägte Arbeitsteilung gekennzeichnet ist. Einerseits ist es durch eine nur geringe Zahl einfacher Tätigkeiten mit geringem oder keinem Handlungsspielraum wie standardisierte Überwachungs- und Kontrollaufgaben charakterisiert. Andererseits ist eine ausgeweitete oder auch neu entstandene Gruppe hochqualifizierter Experten und technischer Spezialisten anzutreffen, deren Qualifikationsniveau deutlich über dem bisherigen Facharbeiterniveau liegt. Diesen Beschäftigten obliegen nicht nur dispositive Aufgaben etwa der Störungsbewältigung, sondern sie übernehmen verschiedentlich auch Aufgaben des Produktionsmanagements. Dieses Muster der Arbeitsorganisation entspricht weitgehend den derzeit schon in vielen hochtechnisierten Betrieben vorherrschenden Arbeitsformen, die als widersprüchliche Kombination von Gestaltungsprinzipien der Dezentralisierung und Aufgabenerweiterung einerseits und Strukturierung und Standardisierung andererseits gekennzeichnet werden können (z. B. Kinkel et al. 2008). Insofern vermeiden die Betriebe neben den ohnehin aufwendigen technologischen Innovationen der Digitalisierung in diesem Fall risikoreiche und mit Ungewissheit behaftete organisatorische Innovationen, wenn sie diesem etablierten Pfad arbeitsorganisatorischer Gestaltung folgen. Verkürzt soll daher dieses arbeitsorganisatorische Muster als *Polarisierte Organisation* bezeichnet werden (Abb. 3).

Abb. 3 Polarisierte Organisation (eigene Darstellung)



3.3 Gestaltungsalternativen

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass von sehr divergierenden Entwicklungsperspektiven digitalisierter Arbeit auszugehen ist. Ganz offensichtlich kann nicht von einem „one best way“ der Aufgaben- und Organisationsgestaltung gesprochen werden kann. Dabei ist zu betonen, dass die skizzierten Pole des Spektrums möglicher Entwicklungstendenzen und arbeitsorganisatorischer Muster denkbare Extremfälle der zukünftigen Situation bezeichnen. Es ist vielmehr davon auszugehen, dass sich je nach konkreten Anwendungsbedingungen, Systemfunktionen und betrieblichen Strukturbedingungen dazwischenliegende und divergierende Muster der Arbeitsorganisation einspielen und Gegenstand betrieblicher Entscheidungsprozesse sein werden.

Allerdings werden in der Arbeitsforschung plausible Gründe für die mögliche Relevanz einer Schwarmorganisation im Kontext des Einsatzes digitalisierter Produktionssysteme genannt: Eine effektive Systembeherrschung durch qualifizierte Arbeitskräfte sei vor allem durch wenig geregelte, informelle und kooperative Formen der Arbeitsprozesse in besonderer Weise gesichert (Lee und Seppelt 2009; Cummings und Bruni 2009). Darüber hinaus sei es im Rahmen eines solchen Musters der Arbeitsorganisation gut möglich, die nun in Echtzeit stattfindenden Entscheidungs- und Kommunikationsprozesse zu beherrschen (Spath et al. 2013, S. 115 f.). Zudem wird betont, dass sich die Zustände komplexer Systeme „spontan“ ändern und intransparente und unvorhersehbare Effekte haben könnten (Grote 2005), die ebenso wenig planbares, nichtregelbares und hochflexibles Arbeitshandeln erforderten. Zudem wird von langwierigen Einführungs- und Anfahrphasen von Industrie-4.0-Systemen aufgrund ihrer Komplexität ausgegangen, in deren Verlauf Tätigkeiten und Arbeitsorganisation eine hohe Flexibilität und Problemlösungsfähigkeit aufweisen müssten und dabei kaum einen definierbaren (End-)

Zustand erreichen könnten. Schließlich wird auf den „Lifecycle“ komplexer Anlagen verwiesen, mit dem sich stets neue schwer beherrschbare Systemzustände verbinden könnten; sowohl unerwartete Anfahrprobleme als auch laufende Probleme und unerwartete Störungen im Normalbetrieb lassen sich danach allein im Kontext offener und informell gestalteter Arbeitsformen bewältigen (BMW 2013).

Schließlich ist in diesem Zusammenhang auch zu fragen, welche Effekte die informationstechnisch mögliche zeitliche und räumliche Trennung der Arbeitsfunktionen vom realen Prozess und vor allem die Möglichkeiten ihrer zeitlichen und räumlichen Flexibilisierung für die Gestaltung der Arbeit und Kompetenzverteilung haben werden (Kinkel et al. 2008, S. 245). Diese Möglichkeit betrifft sowohl die Tätigkeiten auf der operativen Ebene als auch jene auf höheren hierarchischen Ebenen. Denn damit verschwimmen die Grenzen organisatorischer Strukturen, es wird vermutlich immer schwieriger, von eindeutigen Mustern der Arbeitsorganisation und der betrieblichen Hierarchie zu sprechen, und die Arbeitsprozesse gewinnen einen gesteigerten informellen und unstrukturierten Charakter. Kommunikation und soziale Interaktion im Arbeitsprozess findet dann möglicherweise nur mehr informationstechnisch und medial vermittelt statt, und das obige Muster der Schwarmorganisation setzt sich möglicherweise als dominante Form *weitgehend entgrenzter* Arbeit durch. Damit werden neue Formen überbetrieblich verteilter internetbasierter, tendenziell globaler Arbeitszusammenhänge denkbar, die neuerdings unter dem Stichwort „Crowdwork“ diskutiert werden (z. B. Leimeister und Zogaj 2013; Benner 2014).

4 Bestimmungsgrößen der System- und Arbeitsgestaltung

Da es offensichtlich im Fall von Industrie-4.0-Systemen keinen eindeutigen Entwicklungspfad von Arbeit gibt, liegt die Frage nahe, welche Bestimmungsgrößen die Entwicklung von Arbeit beeinflussen. Naturgemäß liegen dazu im Hinblick auf die Einführung autonomer Produktionssysteme bislang keine validen empirischen Untersuchungsergebnisse vor. Allerdings finden sich hierzu einige eher konzeptionelle Überlegungen, und es lassen sich auf der Basis früherer Untersuchungsergebnisse der Arbeitsforschung über die Einführung von vernetzten Produktionssystemen relevante Zusammenhänge benennen (Schultz-Wild et al. 1986; Hirsch-Kreinsen et al. 1990). Danach spielen hierbei das jeweils von den Anwenderbetrieben verfolgte Automatisierungskonzept und damit zusammenhängend die Gestaltungs- und Einführungsprozesse der neuen Systeme eine zentrale Rolle. Darüber hinaus ist der ungleichzeitigen Diffusion der Systeme in verschiedenen Industriebranchen und Betriebstypen im Hinblick auf die Reichweite des Wandels von Arbeit Rechnung zu tragen.

4.1 Alternative Automatisierungskonzepte

Wie oben betont, ist grundsätzlich davon auszugehen, dass Automatisierungstechnologien die Gestaltung der Arbeit keineswegs determinieren, sondern sich mit ihnen stets Gestaltungsspielräume verbinden. Freilich können diese Spielräume je nach konkreter Systemauslegung sehr unterschiedlich sein. Fasst man die entsprechende Literatur zur Auslegung rechnerintegrierter Systeme und zur Konzeption autonomer Produktionssysteme zusammen, so kann von divergierenden Systemkonzepten gesprochen werden, mit denen sich unterschiedliche Konsequenzen und Gestaltungsmöglichkeiten für Arbeit verbinden. Grob lassen sich hier dichotomisch grundlegende Muster der Systemauslegung unterscheiden (z. B. Kaber und Endsley 2004; Cummings und Bruni 2009; Lee und Seppelt 2009; Grote 2005):

- Zum einen kann von einem *technologiezentrierten Automatisierungskonzept* gesprochen werden. Diese Konzeption läuft auf eine weitreichende Substituierung von Arbeitsfunktionen durch die automatische Anlage hinaus. Die Rolle von menschlichem Arbeitshandeln hat in diesem Fall kompensatorischen Charakter. Dem Menschen verbleiben Aufgaben, die nur schwer oder nicht zu automatisieren sind, und diese umfassen generelle Überwachungsaufgaben. Anders formuliert, menschliches Arbeitshandeln hat in diesem Fall eine Lückenbüßerfunktion, und der denkbare Endzustand einer solchen Systemauslegung ist die vollständige Automation. Es steht außer Frage, dass sich mit diesem Systemkonzept fortschreitend engere Spielräume für die Gestaltung von Arbeit verbinden.
- Zum anderen kann von einem *komplementären Automatisierungskonzept* gesprochen werden. Dieses Gestaltungskonzept richtet sich darauf, eine Aufgabenteilung zwischen Mensch und Maschine zu entwerfen, die eine zufriedenstellende Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems ermöglicht. Dies setzt eine ganzheitliche bzw. kollaborative Perspektive auf die Mensch-Maschine-Interaktion voraus, die die spezifischen Stärken und Schwächen von menschlicher Arbeit und technischer Automatisierung identifiziert. Für die Gestaltung von Arbeit wird bei dieser Systemkonzeption ein technologischer Rahmen gesetzt, der in unterschiedlicher Weise genutzt werden kann.

In der einschlägigen sozialwissenschaftlichen Literatur wird nun übereinstimmend davon ausgegangen, dass allein eine komplementäre Systemauslegung eine hinreichende Voraussetzung für eine optimale Ausschöpfung der technologischen und ökonomischen Potenziale des automatisierten Produktionssystems darstellt. Denn sie überlässt nicht wie das technologiezentrierte Automatisierungskonzept menschlichem Arbeitshandeln lediglich fragmentierte Restfunktionen. Vielmehr eröffnet die komplementäre Konzeption Gestaltungsmöglichkeiten der Arbeit, die die oben genannten Awareness- und Feedback-Probleme des Handelns an komplexen Anlagen minimieren, informelles Arbeitshandeln und laufende Lernmöglichkeiten ermöglichen und damit eine hinreichende Kontrollierbarkeit des Systems möglich werden lassen.

Folgt man einer Formulierung von *Grote*, so werden bei einer solchen Vorgehensweise die spezifischen Stärken und Schwächen von Mensch und Technik „nicht im Sinne eines *entweder* Mensch *oder* Technik gegeneinander ausgespielt, sondern durch eine durchgängige Gestaltung der Mensch-Technik-Interaktion zu einer neuen Qualität des Gesamtsystems verschmolzen“. Dazu werden gleichermaßen die drei Dimensionen des sozio-technischen Systemkonzepts in die Gestaltung einbezogen, um damit das System zu einer Bewältigung von Schwankungen und Störungen zu befähigen (Grote 2005, S. 67 – Hervorheb. im Orig.). Als hierfür unabdingbare Gestaltungskriterien werden beispielsweise genannt (Grote 2005, S. 67): die Kontrollierbarkeit der Technik, eine motivationsorientierte Aufgabengestaltung sowie eine organisatorisch ermöglichte Selbstregulation der Tätigkeiten.

4.2 Betrieblicher Einführungsprozess

Insgesamt verweisen diese Überlegungen und Befunde auf den hohen Einfluss nicht nur des grundlegenden Entwicklungs- und Gestaltungsprozesses der neuen Produktionssysteme, sondern auch auf den jeweils konkreten Einführungsprozess der neuen Systeme bei Anwenderbetrieben. Denn erst in dessen Verlauf konkretisiert sich in der Regel die Gestaltung des Systems auch in arbeitsorganisatorischer und personeller Hinsicht. Die Bedeutung des betrieblichen Einführungsprozesses für die letztendliche Systemauslegung und die sich durchsetzenden Muster von Produktionsarbeit begründen sich vor allem in dem Umstand, dass die neuen Systeme in der Regel keineswegs schlüsselfertig in einem Plug-and-Play-Verfahren in den Betrieben implementiert werden können. Denn es wird wohl nur selten der Fall eintreten, dass eine intelligente Fabrik als Gesamtkonzept auf die „grüne Wiese“ gestellt wird. Vielmehr dürften die meisten autonomen Systeme zunächst einmal als Insellösungen innerhalb bestimmter Produktionssegmente in bestehende technisch-organisatorische Strukturen von Anwenderbetrieben integriert werden. Erforderlich wird daher im konkreten Einführungsfall ein unter Umständen langwieriger und aufwendiger wechselseitiger Abstimmungsprozess zwischen den neuen Systemen einerseits und den bestehenden betrieblichen Bedingungen andererseits.

Ob und wie diese Herausforderungen bewältigt werden, hängt dabei wiederum von einer Vielzahl zusätzlicher betriebsstruktureller Bedingungen ab. So verweisen frühere Untersuchungen über die Einführung rechnerintegrierter Systeme auf oftmals überforderte betriebliche Ressourcen wie Planungskapazitäten, Know-how und verfügbare finanzielle Spielräume. Ein restriktiver Einfluss mangelnder Ressourcen wird sich insbesondere dann bemerkbar machen, wenn kleinere und wenig technologieintensive Unternehmen CPS einführen wollen. Darüber hinaus wird der Verlauf des Einführungsprozesses von arbeits- und betriebspolitischen Einflüssen geprägt. Als relevant ist die innerbetriebliche Konstellation der an der Einführung beteiligten Akteure anzusehen, wie sie sich etwa an den bestimmenden Promotoren aus dem Management oder an der Art der Projektgruppenbildung zur Entscheidungsfindung festmachen lassen. Welches Automatisierungskonzept im Einzelfall

verfolgt und wie die Arbeitsorganisation gestaltet wird, dürfte entscheidend davon beeinflusst werden, welche Akteure hierbei besonders einflussreich sind.

Die Befunde älterer Untersuchungen über die Einführung rechnerintegrierter Produktionssysteme verweisen hier auf wenig überraschende Zusammenhänge und geben Hinweise auf mögliche Einführungsstrategien (Hirsch-Kreinsen et al. 1990, S. 139 ff.): Einführungsprozesse, die auf technologiezentrierte Konzepte hinauslaufen, werden in der Regel ausschließlich vom mittleren technischen Management initiiert und vorangetrieben. Diese Managementgruppe verfolgt positions- und kompetenzbedingt bei der Systemrealisierung die Ziele, die eigenen technischen Vorstellungen zu realisieren und aufwendige Abstimmungsprozesse mit weiteren betrieblichen Bereichen oder dem Betriebsrat möglichst zu vermeiden. Einführungsprozesse, die systematisch arbeitsgestalterische Kriterien mit einbeziehen, werden hingegen von einem größeren Kreis von unterschiedlichen Akteuren aus dem Management vorangetrieben. Damit wird die Absicht verfolgt, die betrieblichen Erfordernisse möglichst umfassend zu berücksichtigen und etwa Akzeptanzprobleme zu minimieren. Daher sind in solchen Fällen vielfach auch sowohl das Topmanagement als auch der Betriebsrat kontinuierlich in die Systemeinführung involviert. Die Gründe, weshalb Betriebe die eine oder andere Einführungsstrategie (oder auch Mischformen von beiden) verfolgen, umfassen ein ganzes Bündel verschiedenster Faktoren. Zu nennen sind hier vor allem betriebliche Strukturbedingungen wie verfügbare Ressourcen, gegebene Kompetenzen und freie Kapazitäten, der Zeitdruck, unter dem eine Prozessinnovation steht, und schließlich die eingespielte betriebliche Tradition und Praxis im Umgang mit technologischen Innovationen. Freilich steht zu vermuten, dass der weitreichende Charakter von Industrie-4.0-Innovationen nachhaltige Veränderungen der bisherigen Einführungsstrategien von Unternehmen erfordert, sollen sie erfolgreich sein.

5 Resümee: Verbreitung in Grenzen

Fragt man schließlich nach den generellen industriellen Entwicklungs- und Anwendungsperspektiven von Industrie 4.0 und seinen Einfluss auf die Veränderungen von Arbeit, so muss zunächst betont werden, dass es sich bei diesem Konzept noch weitgehend um eine technologische Vision handelt und bislang nur wenige Anwendungsfälle existieren. Seine Realisationsmöglichkeiten unter den Bedingungen heterogener industrieller Strukturen sind noch bei Weitem nicht endgültig ausgelotet, und sie weisen langfristige und zugleich sehr differenzierte Entwicklungsperspektiven auf. Denn wie schon angedeutet, ist die industrielle Diffusion von Industrie-4.0-Systemen aufgrund ihres strukturverändernden Charakters mit nur schwer überwindbaren technischen, ökonomischen und sozialen Einführungsbarrieren konfrontiert. Obgleich von verschiedenen Studien weitreichende Produktivitätssteigerungen durch die Einführung von Industrie-4.0-Systemen prognostiziert werden (z. B. Bauernhansel 2014; BCG 2015), muss von Barrieren und Grenzen einer schnellen Einführung dieser Systeme ausgegangen werden. Denn disruptive Innovationen wie Industrie 4.0 weisen stets einen ausgeprägt *paradoxalen Charakter* auf, d. h., dieser Innovation sind Wider-

sprüche und nur schwer bewältigbare Herausforderungen immanent. Denn ihre strukturverändernden Effekte rufen zugleich Widerstände, Grenzen und Barrieren ihrer Realisierung hervor. So wird in der Innovationsforschung 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 Innovationspotenzial und oft unüberwindbaren Problemen seiner Realisation und Nutzung (z. B. Andriopoulos und Lewis 2009). Beim gegenwärtigen Stand der Überlegungen lassen sich hierzu die folgenden Aspekte anführen:

- Zum einen ist von kostenträchtigen, technologisch komplexen und langwierigen Einführungsproblemen auszugehen, die aus den Abstimmungsanforderungen mit bestehenden informations- und produktionstechnischen Strukturen der Betriebe resultieren. Verwiesen wird hier insbesondere auf den äußerst aufwendigen Abgleich der neuen Systeme mit vorhandenen Datenbeständen und Systemen wie PPS, ERP und den vorhandenen kaufmännischen Systemen (Spath et al. 2013, S. 123).
- Zum zweiten sind Hinweise auf Akzeptanzprobleme des neuen Konzeptes auf der Managementseite und bei Betriebspraktikern unübersehbar. Eine gewichtige Rolle spielt hierbei ganz offensichtlich eine verbreitete skeptische Haltung gegenüber den Automatisierungs- und Effizienzversprechungen des Konzepts, die sich in langjährigen praktischen und widersprüchlichen Automatisierungserfahrungen begründet. Darüber hinaus kann das Konzept Industrie 4.0 mit seinen technologischen Prinzipien der dezentralen automatisierten Selbstorganisation durchaus mit weitverbreiteten organisatorischen Konzepten der Standardisierung und Lean-Fertigung kollidieren, mit denen vielfach eine nachhaltige Effizienzsteigerung und eine Erhöhung des Steuerungspotenzials von Prozessen realisiert wird. In dieser Hinsicht widerspricht dieses Konzept – zumindest dem ersten Anschein nach – vorherrschenden Leitbildern über die Gestaltung einer effizienten Fabrik. Zudem bestehen oftmals Vorbehalte aus sehr einsichtigen Befürchtungen um die Datensicherheit der komplexen und notwendigerweise individuellen Datenbestände, die im Kontext von Industrie 4.0 verarbeitet werden müssen.
- Zum dritten sind organisationsstrukturelle Beharrungskräfte in Rechnung zu stellen. Dies dürfte insbesondere Folge des erforderlichen Umbaus der betrieblichen Planungs- und Steuerungsbereiche und einer geänderten Kompetenzverteilung zwischen IT, Produktionstechnik und Logistik sein. Denn generell dürften IT-Kompetenzen massiv an Bedeutung gewinnen und mit weiteren herkömmlichen produktionstechnischen Kompetenzen verschmolzen werden. Betroffen sind davon insbesondere technische Experten, die ihre bisherige einflussreiche Position nutzen können, um schnellen Wandel zu bremsen oder gar zu blockieren. Möglicherweise wird diese Abwehr eines Kompetenzverlustes verstärkt durch die Furcht vor dem Kontrollpotenzial der digitalen Systeme und der Gefahr, nun endgültig zum „gläsernen Mitarbeiter“ zu werden.

Insgesamt ist daher davon auszugehen, dass sich mittelfristig in der betrieblichen Realität hauptsächlich begrenzte Insellösungen von Industrie-4.0-Systemen finden werden. Es wird, wie Experten betonen, auf absehbare Zeit keine umfassend sich selbstorganisierende Fabrik 4.0 geben: „Autonomie und Selbstorganisation werden zunächst nur möglich sein für Teilsysteme der Fabriken, deren Verhalten und Abhängigkeiten geschlossen beschreibbar und informationstechnisch nachvollziehbar sind.“ (Spath et al. 2013, S. 120). Eine Expertin brachte im Rahmen eines Workshops diese Realisationsschwierigkeiten etwas ironisch auf den Punkt: dass es wahrscheinlich leichter sei, eine Industrie-4.0-Fabrik „auf der grünen Wiese in einer emerging economy aufzubauen, als im traditionsreichen hoch industrialisierten Stuttgarter Raum“. Angenommen werden kann daher, dass sich im industriellen Sektor insgesamt mittelfristig eine differenzierte Landschaft von Industrie-4.0-Anwendungen durchsetzen wird:

- Es werden vor allem solche Unternehmen auf die neuen Systeme zugreifen, die aufgrund hoher Flexibilitätsanforderungen ständig unter Innovations- und Rationalisierungsdruck stehen und in den neuen Systemen eine Chance zu einer durchgreifenden Produktivitätssteigerung sehen. Typisch hierfür sind technologieintensive mittelständische Firmen, die vor allem über die erforderlichen personellen Qualifikationen und Kompetenzen verfügen. Zudem dürfte der Logistikbereich auf Grund seiner standardisierten Prozesse und komplexen Netzwerke und auf Grund seines rapiden Wandels in Zeiten von „Same Day Delivery“ und „Mobile Commerce“ mittelfristig ein aussichtsreiches Anwendungsfeld von Industrie-4.0-Systemen eröffnen.
- Eher zurückhaltend gegenüber einer Einführung von Industrie-4.0-Systemen werden solche Unternehmen sein, die etwa als Großserienproduzenten ohnehin produktionstechnologisch und organisatorisch schon sehr weit fortgeschritten sind. Denn die spezifische und neue Automatisierungslogik von Industrie-4.0-Systemen könnte zunächst durchaus das hier erreichte hohe Produktivitätsniveau und damit die existierenden Wettbewerbsvorteile gefährden. Allenfalls in Teilbereichen werden hier absehbar intelligente Produktionssysteme Einsatz finden. Ein Beispiel hierfür ist der in einer Reihe von Automobilunternehmen geplante Einsatz sog. kollaborativer Roboter, die in intelligenter Weise unmittelbar mit Menschen zusammenarbeiten können (z. B. Paul 2014).
- Absehbar dürften sich diese Systeme kaum im weiten Bereich wenig technologieintensiver kleiner und mittlerer Unternehmen (KMU) durchsetzen. Die Formulierung „Kleinbetriebe verschlafen die Digitalisierung“ ist wohl nicht übertrieben (FAZ 2014). Die Gründe hierfür liegen zum einen in den begrenzten Ressourcen und Kompetenzen sehr vieler KMU, die sich daher nur ungern auf technologische Experimente mit ungewissem Ausgang einlassen werden. Zum zweiten sind viele KMU in Branchen anzutreffen, die bislang erfolgreich relativ standardisierte Güter im Rahmen eines begrenzten Automatisierungsniveaus und mit relativ niedrig qualifiziertem Personal herstellen. Diese Unternehmen, etwa aus dem Ernährungsgewerbe, der Möbelindustrie und der Metallerzeugung, unterliegen nur begrenzten Flexibilitätsanforderungen, sodass, wie eine

neuere Studie über Arbeitsformen in diesen Branchen instruktiv belegt (Abel et al. 2014), aufwendige und risikoreiche Automatisierungsmaßnahmen nicht ernsthaft in Erwägung gezogen werden.

Aus diesen Gründen ist mit einem schnellen Wandel von Produktionsarbeit zunächst nicht zu rechnen. Vielmehr dürften sich längerfristig industriestruktuell bestehende Segmentationslinien zwischen unterschiedlichen Qualifikationsniveaus, die mit unterschiedlichen Branchen und Betriebstypen korrelieren, vertiefen.

Literatur

- Abel J, Hirsch-Kreinsen H, Ittermann P (2014) *Einfacharbeit in der Industrie. Strukturen, Verbreitung und Perspektiven*. Berlin
- Andriopoulos C, Lewis MW (2009) Exploitation-exploration tensions and organizational ambidexterity: managing paradoxes of innovation. *Organ Sci* 20(4):696–717
- Autor D (2010) The polarization of job opportunities in the U.S. labor market. <http://economics.mit.edu/files/5554>. Zugegriffen am 13.07.2014
- Autor D, Dorn D (2013) The growth of low-skill service jobs and the polarization of the US labor market. *Am Econ Rev* 103(5):1553–1597
- Avant R (2014) The third great wave. *The Economist*, 04.10.2014, Special report
- Bauernhansel T (2014) Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma. In: Bauernhansel T, ten Hompel M, Vogel-Heuser B (Hrsg) *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden, S 5–36
- BCG (Boston Consulting Group) (2015) *Industry 4.0 the future of productivity and growth in manufacturing industries*. www.bcgperspectives.com/Images/Industry_40_Future_of_Productivity_April_2015_tcm80-185183.pdf. Zugegriffen am 15.04.2015
- Benner C (2014) *Crowd Work – Zurück in die Zukunft*. Frankfurt am Main
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2013) *Mensch-Technik-Interaktion*. Berlin
- Böhle F (2013) Subjektivierendes Arbeitshandeln. In: Hirsch-Kreinsen H, Minssen H (Hrsg) *Lexikon der Arbeits- und Industriezoologie*. Berlin, S 425–430
- Boos D, Guenter H, Grote G, Kinder K (2013) Controllable accountabilities: the internet of things and its challenges for organisations. *Behav Inform Technol* 32(5):449–467
- Bowles J (2014) The computerisation of European jobs – who will win and who will lose from the impact of new technology onto old areas of employment? www.bruegel.org/nc/blog/detail/article/1394-the-computerisation-of-european-jobs/. Zugegriffen am 09.04.2015
- Brödner P (1997) *Der überlistete Odysseus. Über das zerrüttete Verhältnis von Menschen und Maschinen*. Berlin
- Broy M (Hrsg) (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
- Bullinger H-J, ten Hompel M (Hrsg) (2007) *Internet der Dinge*. Berlin
- Clegg CW (2000) Sociotechnical principles for system design. *Appl Ergon* 31(5):463–477
- Collins R (2014) Das Ende der Mittelschichtarbeit: Keine weiteren Auswege. In: Wallerstein I, Collins R, Mann M, Derluguian G, Calhoun C (Hrsg) *Stirbt der Kapitalismus? Fünf Szenarien für das 21. Jahrhundert*. Frankfurt/New York, S 49–88
- Cukier K, Mayer-Schönberger V (2013) The rise of big data. *Foreign Aff* 5(6):28–40
- Cummings M, Bruni S (2009) Collaborative human-automation decision making. In: Nof S (Hrsg) *Handbook of automation*. Berlin, S 437–447

- Düll N (Hrsg) (2013) Arbeitsmarkt 2030 Fachexpertisen und Szenarien. Trendanalyse und qualitative Vorausschau. <http://www.wbv.de/openaccess/artikel/6004384w>. Zugegriffen am 05.01.2014
- Evangelista R, Guerrieri P, Meliciani V (2014) The economic impact of digital technologies in Europe. *Econ Innov N Technol* 23(8):802–824
- Fagerberg J (2005) Innovation: a guide to the literature. In: Mowery D, Nelson RR, Fagerberg J (Hrsg) *The Oxford handbook of innovation*. Oxford, S 1–27
- FAZ (Frankfurter Allgemeine Zeitung) (2014) Kleinbetriebe verschlafen die Digitalisierung, 9. Dez, S 18
- Fleisch E, Mattern F (Hrsg) (2005) *Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis*. Berlin/Heidelberg
- 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) *agendaCPS. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems*. Heidelberg
- Goos M, Manning A (2007) Lousy and lovely jobs: the rising polarization of work in Britain. *Rev Econ Stat* 89(1):118–133
- Goos M, Manning A, Salomons A (2009) The polarization of the European labor market. *Am Econ Rev Pap Proc* 99(2):58–63
- Grote G (2005) Menschliche Kontrolle über technische Systeme – Ein irreführendes Postulat. In: Karrer K, Gauss B, Steffens C (Hrsg) *Beiträge der Forschung zur Mensch-Maschine-Systemtechnik aus Forschung und Praxis. Festschrift für Klaus-Peter Timpe*. Düsseldorf, S 65–78
- Harrington J (1973) *Computer integrated manufacturing*. New York
- Hess T (2015) Digitalisierung <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/technologien-methoden/Informatik-Grundlagen/digitalisierung/>. Zugegriffen am 22.02.15
- Hirsch-Kreinsen H (2014) Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“. *WSI-Mitteilungen* 67 (6):421–429
- Hirsch-Kreinsen H, Schultz-Wild R, Köhler C, Behr MV (1990) *Einstieg in die rechnerintegrierte Produktion: Alternative Entwicklungspfade der Industriearbeit im Maschinenbau*. Frankfurt am Main/New York
- Hirsch-Kreinsen H, Ittermann P, Niehaus J (Hrsg) (2015) *Digitalisierung von Industriearbeit*. Berlin
- Jasperneite J (2012) *Alter Wein in neuen Schläuchen?* http://www.ciit-owl.de/uploads/media/410-10%20gh%20Jasperneite%20CA%202012-12_lowres1.pdf. Zugegriffen am 15.01.2015
- Kaber D, Endsley M (2004) The effects of level of automation and adaptive automation on human performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Theor Issues Ergon Sci* 5(2):113–153
- Kagermann H (2014) Chancen von Industrie 4.0 nutzen. In: Bauernhansl T, ten Hompel M, Vogel-Heuser B (Hrsg) *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration*. Wiesbaden, S 603–614
- Kinkel S, Friedewald M, Hüsing B, Lay G, Lindner R (2008) *Arbeiten in der Zukunft – Strukturen und Trends der Industriearbeit*. Berlin
- Lee J, Seppelt B (2009) Human factors in automation design. In: Nof S (Hrsg) *Handbook of automation*. Berlin, S 417–436
- Leimeister JM, 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 (Hrsg) Technik und Sozialer Wandel. Verhandlungen des 23. Deutschen Soziologentages. Frankfurt am Main, S 34–57
- Marin D (2014) Die brillanten Roboter kommen. In: FAZ, 21.11.2014. S 16
- Neef A, Burmeister K (2005) Die Schwarm-Organisation – Ein neues Paradigma für das e-Unternehmen der Zukunft. In: Thielmann H, Kuhlin B (Hrsg) Real-Time Enterprise in der Praxis. Berlin/Heidelberg, S 563–572
- Paul H (2014) Kollege Roboter. *Innov Manager* 31:12–15
- Pfeiffer S (2013) Arbeit und Technik. In: Minssen H, Hirsch-Kreinsen H (Hrsg) Lexikon der Arbeits- und Industriosozioogie. Berlin, S 48–53
- 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 Flexibilitätsteigerung durch die Vernetzung intelligenter Systeme in der Fabrik. *wt-online* 103 (2):84–89
- Rice A (1963) *The enterprise and its environment*. London
- Rifkin J (2011) *The third industrial revolution. How lateral power is transforming energy, the economy, and the world*. Basingstoke
- Scheer AW (1987) *CIM (Computer Integrated Manufacturing) – Der computergesteuerte Industriebetrieb*. Saarbrücken
- Schultz-Wild R, Asendorf I, von Behr M, Köhler C, Lutz B, Nuber C (1986) *Flexible Fertigung und Industriearbeit*. Frankfurt am Main/New York
- Sendler U (Hrsg) (2013) *Industrie 4.0*. Heidelberg et al.
- Spath D, Ganschar O, Gerlach S, Hämmerle M, Krause T, Schlund S (Hrsg) (2013) *Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0*. Stuttgart
- Sydow J (1985) *Der soziotechnische Ansatz der Arbeits- und Organisationsgestaltung*. Frankfurt/New York
- 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
- Trist E, Bamforth K (1951) Some social and psychological consequences of the long wall method of coal-getting. *Hum Relat* 4(1):3–38
- Westkämper E, Spath D, Constantinescu C, Lentens J (Hrsg) (2013) *Digitale Produktion*. Berlin/Heidelberg
- Windelband L, Fenzl C, Hunecker F, Riehle T, Spöttl G, Städtler H, Hribernik K, Thoben K-D (2011) Zukünftige Qualifikationsanforderungen durch das „Internet der Dinge“ in der Logistik“. In: FreQueNz (Hrsg) *Zukünftige Qualifikationserfordernisse durch das Internet der Dinge in der Logistik*. Zusammenfassung der Studienergebnisse. Bremen, S 5–9
- Wissenschaftlicher Beirat (2014) *Neue Chancen für unsere Produktion*. 17 Thesen des Wissenschaftlichen Beirats der Plattform Industrie 4.0.. Berlin
- Zammuto RF, Griffith TL, Majchrzak A, Dougherty DJ, Faraj S (2007) Information technology and the changing fabric of organization. *Organ Sci* 18(5):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. <http://glennas.files.wordpress.com/2010/12/creating-value-in-the-age-of-distributed-capitalism-shoshana-zuboff-september-2010.pdf>. Zugegriffen am 20.12.13