

Hartmut Hirsch-Kreinsen

**Wandel von Produktionsarbeit –
„Industrie 4.0“**

Soziologisches Arbeitspapier Nr. 38/2014

Herausgeber

Prof. Dr. H. Hirsch-Kreinsen

Prof. Dr. J. Weyer

Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“

Hartmut Hirsch-Kreinsen

Arbeitspapier Nr. 38 (Januar 2014)

ISSN 1612-5355

Herausgeber:

Prof. Dr. Hartmut Hirsch-Kreinsen

Lehrstuhl Wirtschafts- und Industriesoziologie

Is.wiso@tu-dortmund.de

www.wiso.tu-dortmund.de/IS

Prof. Dr. Johannes Weyer

Fachgebiet Techniksoziologie

johannes.weyer@tu-dortmund.de

www.wiso.tu-dortmund.de/TS

Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät

Technische Universität Dortmund

D-44221 Dortmund

Ansprechpartnerin:

Britta Tusk, e-mail: britta.tusk@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

1. Vorbemerkung	3
2. Automatisierungssprung Industrie 4.0	5
3. Industrie 4.0 als Sozio-technisches System	8
4. Zum Wandel von Arbeit.....	12
4.1 Mensch-Maschine Interaktion und die Bedeutung von Erfahrungswissen	13
4.2 Heterogene Aufgaben- und Tätigkeitstrukturen	16
4.3 Leitungsebenen.....	21
4.4 Zwischenresümee: Divergierende Muster der Arbeitsorganisation	23
5. Bestimmungsgrößen	27
5.1 Alternative Automatisierungskonzepte	28
5.2 Betrieblicher Einführungsprozess	30
5.3 Verbreitung in Grenzen	32
6. Offene Fragen und Forschungsbedarf.....	35
Literatur.....	40

Zusammenfassung

Thema des vorliegenden Papiers ist der Wandel von Produktionsarbeit unter den Bedingungen anpassungsintelligenter Produktionssysteme. Aufgegriffen werden damit technologische Entwicklungstendenzen, die auf eine neuartige Form der Produktionsautomatisierung zielen und die in der deutschen ingenieurwissenschaftlichen und innovationspolitischen Debatte seit längerem unter dem prominenten Label „Industrie 4.0“ thematisiert werden. Bislang liegen keine systematischen sozialwissenschaftlichen Untersuchungen über neue Arbeitsanforderungen und Formen der Arbeitsorganisation im Rahmen solcher Systeme vor. In dem vorliegenden Papier werden daher vorläufige und verstreut vorliegende Forschungsergebnisse und Expertenmeinungen zu den Entwicklungstendenzen von Produktionsarbeit zusammengefasst. Konzeptionell wird dabei davon ausgegangen, dass Industrie 4.0-Systeme eine disruptive, strukturverändernde Prozessinnovation darstellen. Um die damit verbundenen Wandlungstendenzen hinreichend erfassen zu können, wird auf das Konzept des Sozio-technischen Systems zurückgegriffen. In Hinblick auf den denkbaren Wandel von Arbeit wird von einem breiten Spektrum divergierender arbeitsorganisatorischer Muster ausgegangen. Diese Muster werden einerseits als Polarisierter Organisation, andererseits als Schwarm-Organisation gekennzeichnet. Welches Muster sich im konkreten Fall durchsetzt, ist allerdings von Reihe von Zusatzbedingungen wie dem Automatisierungskonzept und den betrieblichen Einführungsprozessen abhängig. Schließlich wird verdeutlicht, dass allenfalls von einer mittelfristig begrenzten Verbreitung von Industrie 4.0-Systemen ausgegangen werden kann.

Abstract

This paper refers to change processes of production work under the conditions of adaptive intelligent production systems. These are technological concepts aiming at a new form of industrial automation and they are discussed in the engineering science and innovation policy debate in Germany under the prominent label "Industry 4.0". To date, no systematic social science studies of new work demands and forms of work organization in the context of such systems are available. Therefore, preliminary research results and expert opinions on trends of production work are summarized in the present paper. The basic assumption is that industry 4.0 systems represent a disruptive, structure-changing process innovation. In order to analyze the associated conversion trends of work sufficiently the paper refers to the concept of Socio-Technical Systems. With regard to the change processes of production work it is assumed that there are divergent patterns of work organization. These patterns are characterized on the one hand as a polarized organization, on the other hand, as a swarm organization. The realization of one of the patterns depends on a number of additional factors, such as the company automation concept and the implementation process of the new systems. Finally, it is underlined that in the near future industry 4.0 systems will have only a limited diffusion in the industrial sector.

1. Vorbemerkung¹

Thema des vorliegenden Papiers ist der Wandel von Produktionsarbeit unter den Bedingungen anpassungsintelligenter Produktionssysteme. Aufgegriffen werden damit technologische Entwicklungstendenzen, die auf eine neuartige Form der Produktionsautomatisierung zielen und die in der ingenieurwissenschaftlichen und innovationspolitischen Debatte seit längerem unter dem Label „Digitale Fabrik“ thematisiert werden. Es handelt sich dabei um einen Oberbegriff für einen fabrikübergreifenden Einsatz digitaler Modelle und Methoden der Produktionsplanung und Steuerung und ihre Verknüpfung mit realen Teilsystemen der Produktion, Fertigungskomponenten und Werkzeugen. Dieses Konzept zielt auf eine ganzheitliche Planung, Realisierung, Steuerung und laufende Optimierung aller wesentlichen Fabrikprozesse und -ressourcen mit den Konsequenzen einer grundlegenden Transformation der Geschäftsprozesse nicht nur von einzelnen Unternehmen, sondern auch von unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsketten (Zäh et al. 2003). Faktisch umfasst das Konzept der Digitalen Fabrik bis heute eine große Ansammlung von Teilkonzepten und isolierter Lösungsansätze. Ein in Deutschland in den letzten Jahren besonders prominent gewordenes Konzept figuriert in diesem Kontext als „Industrie 4.0“. Abgestellt wird damit darauf, dass derzeit eine 4. Industrielle Revolution beginne, deren zentrales Merkmal die Vernetzung der virtuellen Computerwelt mit der physischen Welt der Dinge durch den Einsatz von „Cyber-physischen Systemen (CPS)“ ist. Auf CPS basierende Produktionssysteme sollen in der Lage sein, sich je nach externen Anforderungen weitgehend eigenständig und autonom zu steuern, optimieren und konfigurieren. Damit werde im Unterschied zu früheren industriellen Entwicklungsphasen ein bislang nicht gekanntes Automatisierungsniveau erreicht (Broy 2010; Forschungsunion/achatech 2013; Reinhart et al. 2013).

Bei der Gestaltung und der Einführung autonomer CPS-basierter Produktionssysteme handelt es sich um einen weitreichenden Schub industrieller Prozessinnovationen, der von hohem arbeitssoziologischen wie auch arbeitspolitischen Interesse ist. Denn es liegt auf der Hand, dass solche autonomen Systeme im Fall ihrer breiten Durchsetzung die bisherige Landschaft der Arbeit in der industriellen Produktion nachhaltig verändern wird. Dabei geht es nicht nur um innerbetriebliche, sondern auch um überbetriebliche

¹ Der Autor dankt Peter Ittermann für seine weiterführenden Kritik an einer früheren Fassung des Papiers

Wandlungsprozesse, da sich die Strukturen ganzer Wertschöpfungsketten verändern können. Mit dem vorliegenden Papier wird nun versucht, eine erste Einschätzung möglicher Wandlungstendenzen von Produktionsarbeit im Kontext des Einsatzes autonomer Produktionssysteme vorzulegen und daraus relevante, weiterführende Forschungsfragen für grundlagen- und anwendungsorientierte Untersuchungen abzuleiten. Zu Grunde gelegt wird dabei ein *weites Verständnis von Produktionsarbeit*. Es umfasst alle direkt und indirekt wertschöpfenden Tätigkeiten in Industriebetrieben und bezieht sich damit auf die operative und ausführende Ebene des Fertigungspersonals, aber auch auf die strategische Ebene der Planung, Steuerung und Kontrolle, die Bereiche des unteren und mittleren Managements von Produktionsprozessen sowie die Gruppe der technischen Experten.

Der Fokus der folgenden Analyse richtet sich primär auf innerbetriebliche Wandlungstendenzen der Arbeit im Zusammenhang mit der Einführung autonomer Produktionssysteme in den Funktionsbereichen Produktion, Logistik und Transport oder Prozessplanung und -steuerung. Funktional begrenzte Systemlösungen befinden sich ganz offensichtlich in einzelnen Betrieben im Entwicklungs- und Einführungsstadium (wt-online 2013). Ausgeklammert wird im Folgenden hingegen die Frage nach Wandlungsprozessen im Zusammenhang mit der Realisation betriebs- und wertschöpfungskettenübergreifender Planungs- und Steuerungssysteme, deren technologische Entwicklung derzeit erst völlig am Anfang steht. Darüber hinaus richtet sich der Fokus des vorliegenden Papiers nicht auf die Frage der überbetrieblichen und sektoralen Entwicklung von Produktionsarbeit in Folge des Wandels von Standortbedingungen durch die Einführung neuer Produktionssysteme.

Methodisch basiert die folgende Argumentation auf einer Durchsicht und einer systematischen Zusammenfassung der vorliegenden Literatur aus dem Bereich der sozialwissenschaftlich orientierten Arbeitsforschung,² die sich mehr oder weniger explizit mit dem Wandel von Produktionsarbeit unter den Bedingungen fortgeschritten automatisierter Systeme befasst. Allerdings bezieht sich bislang nur einer kleiner Teil der vorliegenden Literatur explizit auf autonom automatisierte Produktionssysteme. In einigen Abschnitten basiert die folgende Argumentation außerdem auf Ergebnisse und Er-

² *Im Wesentlichen handelt es sich um Studien aus den Teildisziplinen Industrial Engineering, Arbeitspsychologie, Arbeitssoziologie und Techniksoziologie.*

kenntnissen, die der Autor im Kontext der Teilnahme an der laufenden Expertendebatte über die Entwicklungsperspektiven von Industrie 4.0 gewonnen hat.

Die vorliegende Argumentation gliedert sich in die folgenden Abschnitte: Zunächst werden das Konzept Industrie 4.0 näher erläutert (Abschn. 2); im nächsten Schritt wird mit dem Konzept des Sozio-technischen Systems eine sozialwissenschaftliche Analyseperspektive auf autonome Produktionssysteme vorgestellt (Abschn. 3); davon ausgehend wird im dritten Schritt der absehbare Wandel von Produktionsarbeit in seinen verschiedenen Dimensionen herausgearbeitet (Abschn. 4); im vierten Schritt werden relevante Bestimmungsgrößen für den Wandel von Arbeit herausgehoben; dabei wird insbesondere auf unterschiedliche Automatisierungskonzepte, betriebliche Einführungsprozesse und die widersprüchlichen Diffusionschancen von Industrie 4.0-Systemen abgestellt (Abschn. 5); schließlich werden offene und weiterführende Forschungsfragen resümiert (Abschn. 6).

2. Automatisierungssprung Industrie 4.0

Das Konzept Industrie 4.0 zielt auf ein völlig neues Niveau von Produktionsautomatisierung. Einerseits wird an bestehende Produktionskonzepte wie die fortschreitende Vernetzung der Datenbestände angeknüpft, die in den letzten Jahrzehnten unter dem Stichwort Computer Integrated Manufacturing (CIM) diskutiert und in den 1980er und 1990er Jahren zumindest teilweise realisiert worden sind (z. B. Harrington 1973). Andererseits aber zielt das Konzept Industrie 4.0 auf eine bislang allenfalls in Ansätzen realisierte Stufe von Prozessautomatisierung durch eine hoch flexible Verknüpfung der vernetzten Datenebene mit realen Fabrikabläufen, mit der sich grundlegend neue Formen der Steuerung und Organisation von Produktionsprozessen eröffnen. Angestrebt wird damit ein Automatisierungssprung, der in Anschluss an die Innovationsdebatte kategorial als *disruptive Prozessinnovation* bezeichnet werden kann.³

³ Der Begriff „disruptive innovation“ oder auch „disruptive technologies“ wird in der Regel auf Produkte bezogen, die bisherige Produkttechnologien völlig verdrängen und damit zugleich neue Märkte schaffen. Dabei können disruptive Technologien bisher genutzten Technologien in Hinblick auf Kosten unterlegen sein, sie setzen sich jedoch auf Grund unbestreitbarer Vorteile langfristig durch. Diese Merkmale lassen sich auch auf Prozessinnovationen beziehen, die oftmals die Voraussetzung für neue Produkte und erweiterte Marktchancen darstellen. Im Unterschied zu disruptiven Innovationen wird von „sustaining innovation“ gesprochen, die sich lediglich auf die Verbesserung bestehender

Der disruptive Wandel von Prozessstrukturen ist vor allem dadurch gekennzeichnet, dass die bisher vorherrschenden Muster der Automatisierung der Produktion, die auf sequentiellen und ex ante optimierten Abläufen definierter Funktionszusammenhänge basieren, grundlegend verändert werden. Das neue Automatisierungsniveau basiert auf der laufenden Selbstoptimierung intelligenter dezentraler Systemkomponenten und ihre autonome Anpassungsfähigkeit an dynamisch sich wandelnde externe Bedingungen beispielsweise auf den Absatzmärkten, in der Produktions- und Lieferkette oder von Umwelтанforderungen, die in Echtzeit erfolgen soll (acatech 2011: 23). Generelles Ziel dieser Konzeption ist es, wachsende Flexibilitätsanforderungen der Absatzmärkte, eine zunehmende Individualisierung der Produkte, kürzer werdende Produktlebenszyklen sowie eine steigende Komplexität der Prozessabläufe und Produkte automatisierungstechnologisch zu bewältigen; anders formuliert, die bisherigen technologischen und wirtschaftlichen Grenzen der Automatisierung sollen gerade angesichts steigender Flexibilitätsanforderungen hinausgeschoben werden (z. B. Scholz-Reiter et al. 2009; Forschungsunion/acatech 2013).

Die technologische Basis hierfür bilden die eingangs erwähnten Cyber-physischen Systeme (CPS) (z. B. Gill 2006; Geisenberger/Broy 2012; Kagermann et al. 2012; Sandler 2013). Konkret handelt es sich dabei um datentechnisch vernetzte Produktionsanlagen, Produkte und Materialien sowie Transporttechnologien, sogenannte „Smart Objects“, die ihre Nutzung, den Ablauf der Bearbeitungsprozesse und die entsprechenden logistischen Funktionen autonom organisieren und steuern und an externe Anforderungen wie wechselnde Nachfrage und unerwartete Prozessstörungen anpassen. Technologische Voraussetzungen hierfür sind die Verfügbarkeit über neue Sensortechniken und auf dezentraler IT-Intelligenz basierende eingebettete mechatronische Komponenten. Weitere zentrale Voraussetzung ist die Vernetzung dieser intelligenten Komponenten und Teilsysteme durch die flächendeckende Verfügbarkeit einer informationstechnischen Infrastruktur in Form von industriell einsetzbaren Internetverbindungen (z. B. Weiss 2000; Uhlmann et al. 2013), die sich konzeptionell am seit Längerem propagierten „Internet der Dinge“ (z. B. Bullinger/ten Hompel 2007; Uckelmann et al. 2011) ori-

entieren.⁴ Damit soll die Integration von realer und virtueller Welt ermöglicht werden und einzelne Produkte, Geräte und Objekte mit eingebetteter Software sollen zu verteilten und zugleich integrierten Systemen zusammenwachsen (Abb. 1).

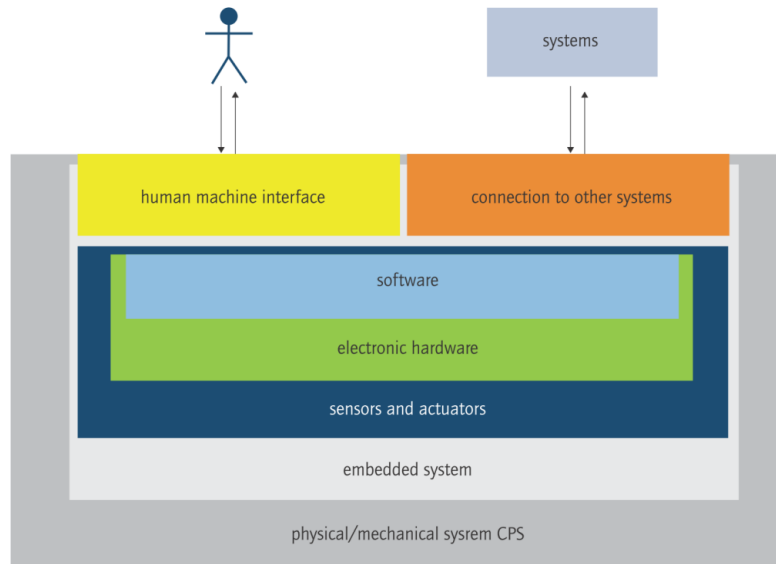


Abb. 1: Modell eines Cyber-physischen Systems (Broy 2010)

Das Konzept der CPS und wird seit einigen Jahren in Deutschland von Informatikern, Ingenieurwissenschaftlern, einflussreichen Wirtschaftsverbänden und der Politik als 4. Industrielle Revolution propagiert. Auch international werden diese Automatisierungstendenzen seit Längerem vor allem in Bereichen der Produktionswissenschaften und des Industrial Engineering, etwa am Beispiel autonomer Robotersysteme, diskutiert (z. B. Johnson/Bay 1995; Lee 2001; Terwisch/Ganz 2009; White et al. 2010). Betont wird in diesem Diskurs die spezifische neue Qualität dieser Automatisierung, die metaphorisch auch als „swarm automation“ bezeichnet wird.⁵ Ihre Vorteile seien eine robuste Anpassungsfähigkeit an variable Umweltbedingungen und weite Einsatzmöglichkeiten gerade im industriellen Bereich (Lee/Seppelt 2009: 430ff.).

⁴ In einer generelleren, über den industriellen Bereich hinausweisenden Perspektive wird auch der Begriff der „Ambient Intelligence“ für dieses Konzept einer intelligenten Vernetzung verschiedenster Handlungsbereiche und der hier genutzten Gegenstände verwendet; weitere, in eine ähnliche Richtung weisende Begriffe sind „Ubiquitous Computing“ und „Pervasive Computing“ (Kinkel et al. 2008: 229f.).

⁵ Ein anderer hierfür verwendeter Begriff ist der der Multiagentensysteme. Solche Systeme finden schon in einer Vielzahl von Bereichen, etwa bei der Auswertung großer Datenmengen oder als autonome Roboter bei der Landminensuche, Verwendung (Lee/Seppelt 2009: 429).

Insgesamt ist davon auszugehen, dass mit Industrie 4.0 längerfristig nachhaltige und in ihren Konsequenzen bislang nicht absehbare Wandlungsprozesse der industriellen Produktion angestoßen werden. Mehr noch, verschiedentlich wird in makroökonomischer Perspektive die These formuliert, dass sich entwickelte Gesellschaften am Anfang „highly disruptive period of economic growth“ befänden.⁶ Zentrale Treiber dieser Entwicklung sind die sich ständig erweiternden funktionalen und ökonomischen Nutzungspotentiale von IuK-Technologien, die im industriellen Bereich bislang kaum auf breiter Front ausgeschöpft worden sind. Weiterhin werden Komponenten und Teilsysteme auf Grund ihrer sinkenden Kosten und der kontinuierlichen Verbesserung der Anwendbarkeit schnell diffundieren. Zudem stellt für viele Systementwickler und Hersteller dieses Konzept eine Chance dar, ihre bisherige technologisch führende Position auf dem Weltmarkt gegenüber einer schnell wachsenden Konkurrenz zu behaupten. Um die Einführungsprobleme möglichst zu begrenzen (vgl. Abschn. 5), dürften daher zunehmend Teillösungen mit im Einzelnen unterschiedlichen Automatisierungsgraden auf den Markt kommen. Derzeit wird über eine ganze Reihe von Entwicklungs- und Einführungsprozessen solcher Systeme in technologieintensiven Unternehmen der Metallindustrie berichtet, die sich insbesondere auf Produktionsbereiche mit den Funktionen Logistik, Planung und Steuerung sowie Fertigung (Abb.2) richten (z. B. Forschungsunion/acatech 2013; Reinhart et al. 2013; o. V. 2013; wt-online 2013).

⁶ So *The Economist* mit Bezug auf ein demnächst erscheinendes Buch von Brynjolfson und McAfee mit dem Titel „*The second Machine Age*“ (*The Economist* 2014).

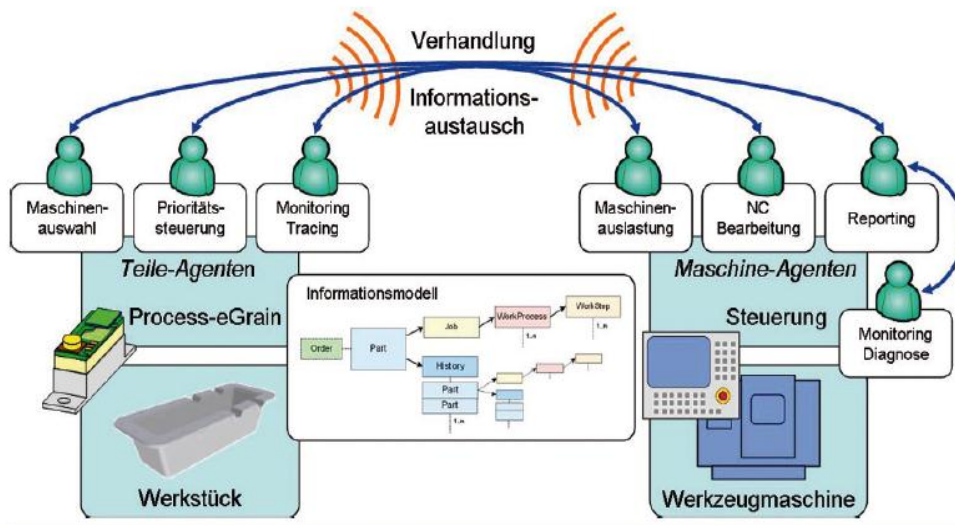


Abb. 2: Beispiel für eine Anwendung in der Fertigung; technologisch autonome Kooperation von sog. Werkstück-Agenten mit sog. Werkzeugmaschine-Agenten (Uhlmann et al. 2103).

3. Industrie 4.0 als Sozio-technisches System

Eine Analyse des Zusammenspiels der neuen Technologie mit den dadurch induzierten personellen und organisatorischen Veränderungen erfordert grundsätzlich den Blick auf das Gesamtsystem der Produktion und die hier wirksamen Interdependenzen. Denn allein damit können die Konsequenzen der längerfristig disruptiven Innovationen angemessen erfasst und ihre Effekte hinreichend untersucht werden. Einen Einstieg in eine sozialwissenschaftlich informierte analytisch-konzeptionelle Sicht auf die skizzierten Automatisierungstendenzen bietet zunächst die neuere techniksoziologische Forschung über die Interaktion von autonomer bzw. teilautonomer Technik einerseits und menschlichem Handeln andererseits sowie die dort diskutierte Frage, welche Formen der Interaktion sich zwischen beiden einspielen (Rammert/Schulz-Schaeffer 2002; Rammert 2003). Vor allem theoretisch inspiriert von Latours Actor-Network-Theory, die eine weitgehende Gleichheit menschlicher und nicht-menschlicher Aktanten unterstellt (zusammenfassend z. B. Schulz-Schaeffer 2000), wird im Unterschied zur traditionellen Perspektive auf Technik als passives Objekt der Technik die Rolle eines handlungsfähigen Akteurs zugeschrieben. Gesprochen wird daher auch von „hybriden“ Systemen, in denen sich das Aufgaben- und Handlungsverhältnis zwischen Technik und Mensch in spezifischer Weise stets erneut einspielt.

Rammert argumentiert mit einem Konzept des „verteilten Handelns“, das in Hinblick auf die funktionale Verteilung von Aufgaben sowohl innerhalb eines technischen Systems als auch zwischen einem technischen System und menschlichem Handeln durch folgende Merkmale gekennzeichnet ist: *Parallelität* statt Sequentialität der Problembearbeitung, *Selbstorganisation* in einem vorgegebenen Rahmen statt hierarchischer Vorstrukturierung, *lockere Kopplung* der integrierten Elemente statt fester Verzahnung der Ablaufschritte, *situative Verteilung von Aktivitäten* auf Handeln, Technik und Programme und menschliches Handeln sowie *interaktivitätsgesteuerte* Mensch-Maschine-Umwelt-Beziehungen statt Programmierung durch feste Parameter. Daher müsse, so Rammert weiter, von einer fragmentalen und interaktiven Verteiltheit des Handelns im Unterschied zur bisherigen funktionalen und hierarchischen Aufteilung des Handelns gesprochen werden. Fragmental meint danach, dass die Prozesse oftmals parallel und getrennt voneinander, aber mit Bezug auf das Gesamtsystem nebeneinander herlaufen; interaktiv meint danach, dass die Wege und Lösungen der Zielerreichung nicht ex ante programmhaft festgelegt sind, sondern im Kontext von Aushandlungs- und Abstimmungsprozessen zwischen den verschiedenen technischen und nicht technischen Elementen des Gesamtsystems festgelegt werden. Damit, so die Schlussfolgerung, könne nur in einer Technik und Mensch umfassenden Hybridperspektive in sozio-technischen Konstellationen die Verteilung von Aktivitäten und Autonomiegraden sichtbar gemacht werden (Rammert 2003: 309f.). In der techniksoziologischen Forschung wird daher die traditionelle Sicht auf den Dualismus zwischen Technik und nicht-technischen, respektive sozialen Elementen verlassen und es wird deren wechselseitiger Zusammenhang und Verknüpfung zu komplexen sozio-technischen Systemen hervorgehoben. Mit dem Begriff des sozio-technischen Systems wird in dieser Debatte auf das Zusammenspiel technischer und sozialer Komponenten abgestellt (z. B. Ropohl 2009). Mit dem Begriff der Komplexität wird der neueren systemtheoretisch informierten Governancedebatte folgend vor allem auf die technisch induzierte Eigendynamik, Nicht-Linearität und Emergenz von Systemprozessen verwiesen (Weyer 2009; auch: Rammert 2003).

In Hinblick auf die hier verfolgte Fragestellung lässt sich diese analytische Perspektive erweitern, indem auf eine lang laufende und zeitweise intensive arbeitssoziologische Debatte zum Zusammenspiel technischer und nicht-technischer Elemente zur Analyse bestimmter Arbeitsformen angeknüpft wird. Schon im Rahmen sehr früher Untersu-

chungen technisierter und automatisierter Produktionsprozesse wurde hier das Konzept des sozio-technischen Systems entwickelt (Trist/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. Zwar begrenzt das technologische Teilsystem die Gestaltungsmöglichkeiten der beiden anderen Teilsysteme, jedoch weisen diese eigenständige soziale und arbeitspsychologische Eigenschaften auf, die wiederum auf die Funktionsweise des technologischen Teilsystems zurückwirken. Zudem steht das Gesamtsystem stets in enger Wechselwirkung mit seinen Umweltbedingungen.

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 der 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: 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-technischen Systemkonzept programmatisch auch in der aktuellen Diskussion um Industrie 4.0 Bezug genommen (Forschungsunion/acatech 2013: 40ff.). Konzeptionell wird damit auf den – vor allem technisch dominierten Diskursen – häufig übersehenen Umstand verwiesen, dass Automation keineswegs nur einzelne Arbeitsplätze, Tätigkei-

ten und die Qualifikationen individueller Personen berühren, sondern darüber hinaus Konsequenzen für das gesamte organisatorisch-soziale Gefüge eines Produktionssystems haben. Seinerseits ist dieses sozio-technischen System wiederum verknüpft mit übergeordneten strategischen Vorgaben und es ist Element im Gesamtprozess einer Wertschöpfungskette (Abb. 3).⁷ Eröffnet wird mit diesem Konzept zudem eine dynamische Perspektive auf den technologisch induzierten Wandel von Produktionsarbeit, insofern als es die wechselseitigen Zusammenhänge zwischen dem technologischen und den sozialen Teilsystem thematisiert.

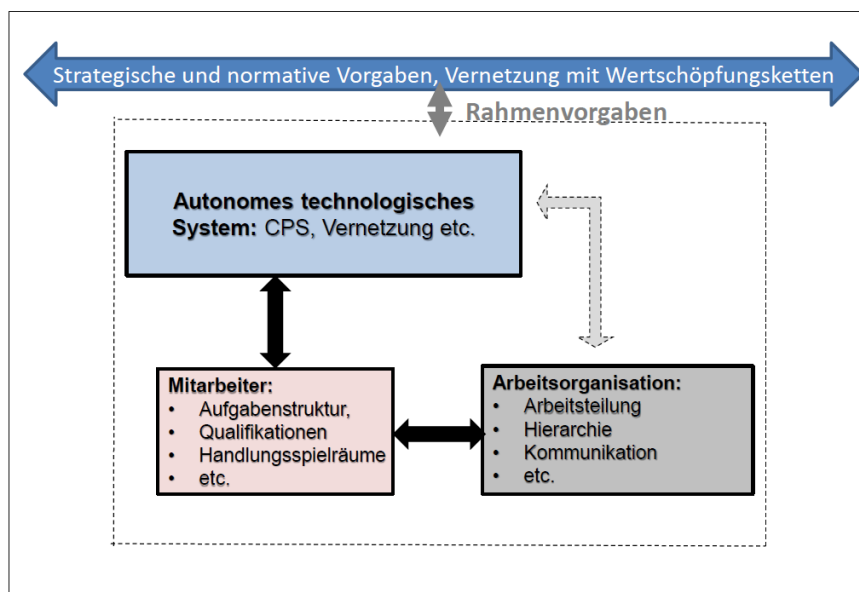


Abb.3: Industrie 4.0 als Sozio-technisches System (eigene Darstellung)

4. Zum Wandel von Arbeit

Fragt man nach den möglichen und denkbaren Wandlungstendenzen von Produktionsarbeit im Kontext der neuen Automatisierungsformen, so ist in der einschlägigen informatik- und technikzentrierten Debatte unumstritten, dass die Diffusion derartiger Systeme die bisherigen Formen der Fabrikorganisation, insbesondere auch die heute bekannten Muster der Arbeitsorganisation und des Personaleinsatzes, nachhaltig verändern werden (z. B. Lee 2001; Cummings/Bruni 2009; Lee/Seppelt 2009; Dworschak

⁷ In dieser auf nur einzelne Arbeitsplätze verkürzten Sichtweise sehen Lee und Seppelt (2009: 424) eine der Hauptursachen für unerwartete Einsatzprobleme fortgeschrittener Automatisierungstechniken.

et al. 2011; Geisberger/Broy 2012; BMWI 2013; Spath et al. 2013). Unumstritten ist dabei allerdings auch, dass im Unterschied zur CIM-Diskussion der 1980er Jahre die Perspektive einer vollständigen Automatisierung und menschenleeren Fabrik aus technologischen und ökonomischen Gründen keine realistische Perspektive darstellen kann (auch: Kinkel et al. 2008: 241).

Folgt man dem Konzept des sozio-technischen Systems, so lassen sich die hier relevanten Dimensionen des Wandels von Produktionsarbeit im Kontext autonomer Produktionssysteme, präzise benennen: a) die unmittelbare Mensch-Maschine Interaktion und die unmittelbar damit zusammenhängenden Qualifikationsanforderungen, b) die Aufgabenstrukturen und die Tätigkeiten der unmittelbar im System Beschäftigten sowie c) die Arbeitsorganisation als die arbeitsteilige Strukturierung von Aufgaben und Tätigkeiten in horizontaler und hierarchischer Hinsicht und damit verbundene Gestaltung von Kooperation und Kommunikation zwischen den im und am System Beschäftigten. Zu diesen Dimensionen liegen einige erste Untersuchungsbefunde aus verschiedenen Teildisziplinen der Arbeitsforschung vor, auf die im Folgenden zurückgegriffen werden soll. Teilweise kann hierbei auch auf ältere Automatisierungs- und CIM-Studien Bezug genommen zurückgegriffen werden. Diese Forschungsergebnisse werden im folgende zusammengefasst. Dabei steht zumeist die operative Handlungsebene des laufenden Systembetriebes im Fokus, während die übergeordnete Leitungsebene der Systemplanung und des Systemmanagements eher am Rande Berücksichtigung findet.

4.1 Mensch-Maschine Interaktion und die Bedeutung von Erfahrungswissen

Fragt man zunächst nach den Formen der Mensch-Maschine Interaktion und den damit zusammenhängenden Qualifikationsanforderungen an die Beschäftigten, so ist man vor allem auf Forschungen der Arbeitswissenschaften und die Arbeitspsychologie zu verweisen, die sich traditionell mit der Gestaltung der Interaktion von Mensch und computer-gestützten maschinellen Prozessen befassen (z. B. Hacker 1987; Ulich 2005). In diesem Kontext wird in einigen Studien auf das als zentral angesehene Problem von Produktionsarbeit an automatischen Systemen verwiesen, nämlich inwieweit die entsprechenden Arbeitskräfte überhaupt in der Lage sind, autonome Systeme zu kontrollieren und damit die Verantwortung über den Systembetrieb zu übernehmen (z. B. Grote 2009). Denn es wird davon ausgegangen, dass die überwachenden Personen nicht in jedem Fall in der Lage sind, diesen Funktionen nachzugehen, da die funktionale und

informationelle Distanz zum Systemablauf zu groß sei. Als beispielhaft werden hier Überwachungstätigkeiten genannt, die sich nicht mehr direkt auf die physischen und stofflichen Anlagenprozesse auf dem Shop-floor beziehen, sondern etwa über Messwerten 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: 419). Grundsätzlich gehe es darum „complacency and loss of situation awareness“ von Produktionsarbeit zu vermeiden (Cumings/Bruni 2009: 442).

Um eine solche Situation mit hohem Störpotential eines komplexen Systems gar nicht erst eintreten zu lassen, seien Prinzipien einer auf Mensch und Maschine komplementär ausgerichteten oder gar einer „human-centred“ Systemauslegung anstelle traditioneller technologiezentrierter Ansätze zu verfolgen (vgl. Abschn. 5.1). Insbesondere gehe es dabei um eine Systemauslegung, die Möglichkeiten zum Lernen und der Akkumulation von Erfahrungen biete (Kaber/Endsley 2004). Verschiedentlich wird daraus der grundlegende Schluss gezogen, dass diese Zusammenhänge schon im Prozess der Systemgestaltung Berücksichtigung finden müssen und etwa auch mit Hilfe von Verfahren der Modellierung und Simulation der technisch-sozialen Prozesse vorweggenommen werden können (z. B. Grote 2005; BMWI 2013).

Zu ähnlichen Befunden und Schlussfolgerungen kommen auch arbeitssoziologische Studien über die besonderen Anforderungen an Automationsarbeit. Prominent geworden ist hier ein seit den 1980er Jahren bis heute laufender Forschungsstrang, der die hohe Bedeutung subjektiver Qualifikationselemente wie Erfahrungswissen im Kontext der fortschreitenden Automatisierung von Produktionsprozessen herausarbeitet. Die Autoren dieser Forschungsrichtung, so insbesondere Böhle, Pfeiffer et al., heben hervor (zusammenfassend z. B. Pfeiffer 2013), dass automatisierte Prozesse in Folge ihrer wachsenden Komplexität und ihren inhärenten Unberechenbarkeiten stets Grenzen ihrer technischen Beherrschbarkeit aufweisen. Den vorliegenden Befunden zu Folge entsteht oftmals eine Arbeitssituation, die Bainbridge (1983) instruktiv als „ironies of automation“ beschreibt, wonach automatisierte Prozesse auf Grund ihres hohen Routinecharakters bei Störungen nur schwer zu bewältigende Arbeitssituationen erzeugen. In solchen Situationen seien Qualifikationen erforderlich, die im automatisierten Routi-

nebetrieb nicht aufgebaut werden könnten (Windelbrand/Spöttl 2011). Den Studien von Böhle et al. zu Folge sind dabei Handlungsweisen wie Intuition und Gespür, Aus-dem-Bauch-heraus-Handeln oder auch Gefühl und Empathie gerade im Umgang mit komplexen Anlagen unverzichtbar – eine Seite von Arbeitshandeln, die die Autoren als „subjektivierendes Arbeitshandeln“ fassen (zusammenfassend Böhle 2013). Die Relevanz dieser Aspekte wurde im Rahmen von Studien über Produktions- und Steuerungsarbeit im Kontext hochautomatisierter komplexer Produktionsanlagen instruktiv belegt (Böhle/Rose 1992; Schumann et al. 1994). Prominent geworden ist hier insbesondere der Arbeitstypus des „Systemregulierers“, dessen Handlungsvoraussetzungen ein „Qualifikationsamalgam“ von theoretischem Wissen und praktischer Erfahrung sind. Dieses spezifische Qualifikationsmuster wird als die zentrale Bedingung für eine kompetente Anlagenführung angesehen, die ein improvisatorisch-experimentelles Arbeitshandeln im unvermeidbaren Störfall mit einschließt (Schumann et al. 1990). Freilich, so auch diese Autoren, müsse durch entsprechende Systemgestaltung sichergestellt werden, dass die qualifizierten Arbeitskräfte auch in der Lage sind, ihren Überwachungsaufgaben effektiv nachzukommen (Schumann et al. 1994).

Die Relevanz dieser Zusammenhänge belegen instruktiv neuere arbeitssoziologische Studien über die Tätigkeiten von Piloten, welche im Kontext nicht nur komplexer, sondern auch vernetzter und autonomer technischer Systeme agieren. Danach kann die Bedeutung dieser „subjektivierenden“ Seite des menschlichen Arbeitshandelns gerade in solchen Systemen nicht hoch genug eingeschätzt und es kann kaum durch selbst-regulative Systemlösungen kompensiert werden (z. B. Bauer et al. 2006; Böhle 2013). Daher liegt die Annahme nahe, dass diese Wechselwirkung gerade auch im Kontext komplexer und sich selbst-regulierender Produktionssysteme des Typs Industrie 4.0 funktional von zentraler Bedeutung ist. Folgt man den Befunden von Böhle und Rose (1992: 223ff.), so müssen hierbei die Dimensionen Arbeitsplatzausstattung und Arbeitsumfeld, Anlagenkonfiguration und Prozessdatenerfassung, Steuerungstechnik und Informationshandhabung sowie Arbeitsgestaltung als offener Planungsprozess bei der Analyse der Systeme Berücksichtigung finden (vgl. Abschn. 5.2).

4.2 Heterogene Aufgaben- und Tätigkeitsstrukturen

a) Ältere Studien über Automationsarbeit

Einige erste Hinweise auf mögliche Entwicklungstrends von Aufgaben- und Tätigkeitsstrukturen unter den Bedingungen autonomer Produktionssysteme lassen sich aus Forschungsergebnisse aus den späten 1980er, frühen 1990er Jahren über Arbeit im Kontext IT-gestützter und vernetzter Produktionssysteme herleiten (z. B. Brödner 1985; Schultz-Wild et al. 1986; Pries et al. 1990; Schumann et al. 1994). Ein besonderer Fokus richtete sich damals auf die Einführung von CIM-Systemen (z. B. Hirsch-Kreinsen et al. 1990), die aktuell gesehen als Vorläuferkonzepte für die aktuellen Konzepte anpassungsintelligenter Produktionssysteme angesehen werden können (Mentgen 2012; Scheer 2013). Insgesamt gesehen, lassen sich die Forschungsergebnisse dieser Studien wie folgt bündeln: Die damaligen Formen der Automatisierung führten keineswegs, wie möglicherweise ingenieurwissenschaftlich intendiert, zu einer Substitution von Produktionsarbeit. Vielmehr wurde ihre widersprüchliche Transformation hervorgehoben (Hirsch-Kreinsen et al. 1990; Moldaschl 1991; Schumann et al. 1994):

- Einerseits wird darauf verwiesen, dass eine große Zahl von Arbeitsplätzen und Tätigkeiten auf dem Niveau „einfacher Handarbeiter“ oder „Lückenbüßer“ der Automatisierung verbleiben. Zudem wird auf die Folgen einer verbesserten Abbildung und Steuerung der Arbeitsprozesse durch vernetzte Systeme verweisen, die zu einer stärkeren Transparenz, Einengung von Handlungsspielräumen und letztlich zu Dequalifizierungstendenzen führen.
- Andererseits wird als Merkmal dieses Transformationsprozesses, so insbesondere die Ergebnisse einer breit angelegten Studie von Schumann et al. über Entwicklungstrends der industriellen Rationalisierung (Schumann et al. 1994: 643ff.), die wachsende Bedeutung von „Produktionsintelligenz“ in den Produktionsprozessen hervorgehoben. Als Ursache hierfür gilt die wachsende Bedeutung von „Gewährleistungsarbeit“; danach tritt Produktionsarbeit in Folge der Automatisierung zunehmend aus ihrem direkten Herstellungsprozess heraus und übernimmt zunehmend planende, steuernde und kontrollierende Funktionen.

Ähnliche Forschungsergebnisse legen arbeitssoziologische Studien vor, die in einer generellen Perspektive die Informatisierung von Arbeit thematisieren (zusammenfassend

Boes/Kämpf 2013; Schmiede 2013). Dieser Forschungsstrang fragt nach den mit der Computerisierung respektive der Informatisierung materieller und immaterieller Arbeit einhergehenden Strukturveränderungen der kapitalistischen Produktionsweise (z. B. Schmiede 1996, 1999). Als zentrales Moment dieses Strukturwandels gilt danach, dass materielle Prozesse zunehmend informationstechnisch modellierbar, berechenbar, in ihren Varianten simulierbar und in ihren Wirkungen kalkulierbar werden (Schmiede 2013). Wie betont wird, ist damit ein wachsendes Gewicht technisch-geistiger Tätigkeiten, etwa der Produktionsplanung und -steuerung sowie der industriellen FuE, in modernen Arbeitsprozessen zu Lasten traditioneller industrieller Arbeitsbereiche zu beobachten. Nach Schmiede (1999) konzentriert sich die Arbeit unter diesen neuen Bedingungen auf Symbolverarbeitung, den Umgang mit Information und ihren gegenständlichen Trägern. Das Denken und Handeln in abstrakten Kategorien von Information, Organisation und System stelle hierbei neuartige abstraktere Anforderungen an die Qualifikation der Beschäftigten. Wie weitere Studien über die Konturen der neuen, wissensintensiven Arbeitsbereiche zeigen (z. B. Abel et al. 2005; Ittermann 2009), sind indes die Konsequenzen für Wissensarbeit ambivalent: Einerseits verbinden sich mit ihnen neue Handlungs- und Autonomiespielräume, andererseits wird auf steigende individuelle Anforderungen in Folge eines anwachsenden Unsicherheitspotentials und hoher Flexibilitätserfordernisse hingewiesen. Obgleich sich die damaligen Untersuchungen auf nicht intelligente Formen der Vernetzung und Automatisierung richteten, geben ihre Befunde insgesamt Hinweise auf Entwicklungstendenzen von Produktionsarbeit, die auch unter den Bedingungen von Industrie 4.0-Systemen große Relevanz besitzen.

b) Studien über Arbeit an autonomen Produktionssystemen

Die Ergebnisse der wenigen sozialwissenschaftlichen Untersuchungen über Produktionsarbeit im Kontext von autonomen Systemen haben in hohem Maße hypothetischen Charakter und basieren methodisch in der Regel auf allerersten empirischen Evidenzen sowie auf einer Zusammenfassung von Expertenmeinungen über mögliche Wandlungstendenzen. Insgesamt verweisen diese ersten und sehr vorläufigen Forschungsergebnisse, ähnlich wie die skizzierten älteren Automationsstudien, auf differenzierte Entwicklungstendenzen von Arbeit.

Diese These wird explizit in einer schon im Jahr 2007 vorgelegten Studie des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB 2007; Kinkel et al. 2008) im Hinblick auf die industrielle Nutzung von Systemen der „Ambient Intelligence“, insbesondere der RFID Technologie⁸ formuliert. Die Autoren gehen zunächst davon aus, dass Arbeitsplätze mit niedrigen Qualifikationsanforderungen und einfachen, repetitiven Tätigkeiten durch intelligente Systeme von Automatisierung substituiert werden. Als Beispiele hierfür werden einfache Tätigkeiten in der Logistik, bei der Maschinenbedienung und bei der der bisher manuellen Datenerfassung und -eingabe genannt. In welchem Umfang Substitutionsprozesse aber eintreten werden, sei derzeit allerdings kaum abschätzbar (ebd.: 242f.). In Hinblick auf die Ebene mittlerer Qualifikationen, d. h. Facharbeiter und Techniker in Fertigungsbereichen, gehen die Autoren von widersprüchlichen Veränderungstendenzen aus (ebd.: 243ff.):

(1) Zum einen wird für die früher qualifizierte Facharbeiterebene eine „Dequalifizierung und Teilsubstituierung“ von Tätigkeitsinhalten befürchtet. Angeführt werden hier Aufgaben wie einfachere Maschinenbedienung, material- und werkstoffbedingte Einstellungen sowie verschiedene Kontroll- und Überwachungsfunktionen, die automatisiert werden. Auch Dispositionsentscheidungen in der Produktionslogistik könnten mithilfe der neuen Systeme teilweise automatisiert werden. Denn benötigte Güter und Waren von Produktionsanlagen könnten weitgehend selbstständig angefordert werden, so dass die entsprechenden Steuerungsaufgaben der in der Fertigung eingesetzten Mitarbeiter entfallen. Sie greifen folglich nur noch in seltenen Ausnahmefällen in die Produktionsabläufe ein. Die Autoren sprechen daher von einer verbleibenden „Residualkategorie“ von qualifizierter Produktionsarbeit, die jene Tätigkeiten umfasst, die nicht oder nur mit einem unverhältnismäßigen Aufwand automatisiert werden können. Dazu zählen etwa anspruchsvolle Wartungs- und Rüstaufgaben, bestimmte Einlegearbeiten, die Zuführung von Material und Halbfertigprodukten oder manuelle Produktionsfertigkeiten, die Experten- und Erfahrungswissen voraussetzen (ebd.: 244f.).

(2) Zum anderen gehen die Autoren aber auch von einer Tätigkeitsanreicherung aus. Dies sei die Folge einer erhöhten Komplexität der Fertigung und der informationstech-

⁸ *RFID (radio-frequency identification) ermöglicht die automatische Identifizierung und Lokalisierung von Gegenständen und Lebewesen und erleichtert damit erheblich die Erfassung und den Transfer von Daten.*

nologischen Dezentralisierung von Entscheidungs-, Kontroll- und Koordinationsfunktionen. Daher, so wird argumentiert, werden die betroffenen Facharbeiter gefordert sein, zunehmend eigenständig zu planen und Abläufe abzustimmen. Damit ist ein verbreitetes Verständnis über das Zusammenwirken des gesamten Produktionsprozesses, der Logistikanforderungen sowie der Lieferbedingungen verbunden. Neben dem steigenden Bedarf an Überblickswissen erlangen auch soziale Kompetenzen einen erhöhten Stellenwert, da mit der intensivierten Integration früher getrennter Funktionsbereiche der Bedarf an Interaktion – real wie computervermittelt – mit unterschiedlichen Personengruppen und weiteren Funktionsbereichen ansteigt. Erwähnt wird in diesem Zusammenhang das Schlagwort des „Facharbeiteringenieurs“, mit dem zum Ausdruck gebracht werden soll, dass – ganz ähnlich zu dem oben erwähnten Arbeitstypus des Systemregulierers - manuelle Fertigkeiten an Bedeutung verlieren, während zunehmend bestimmte Programmierkenntnisse sowie das Steuern, Führen und Einstellen von komplexen Systemen an Gewicht gewinnen.

Ähnlich argumentiert eine aktuelle Studie von Spath et al. (2013), die an einer disziplinären Schnittstelle zwischen Arbeitswissenschaften und Industrial Engineering anzusiedeln ist und die sich explizit auf autonome Produktionssysteme, wie sie vom Konzept Industrie 4.0 verfolgt werden, bezieht. Danach werde die menschliche Arbeit zwar ein wichtiger Bestandteil der Produktion bleiben, sich aber angesichts der Anforderungen an Komplexität, Innovationsfähigkeit und Flexibilität erheblich verändern (ebd.: 20ff.). Direkte Produktionstätigkeiten würden zugunsten indirekter Arbeiten deutlich abnehmen und traditionelle Produktionsarbeit und moderne Wissensarbeit weiter zusammenwachsen. Die Fokussierung auf kreative, wertschöpfende Tätigkeiten setze eine fortschreitende Automatisierung von Routineaufgaben der Beschäftigten voraus und führe zur einer deutlichen Abnahme geringqualifizierter Repetitivarbeiten. Standardisierte, langfristig planbare Aufgaben werden technologisch-maschinell bewältigt, während individuelle oder unvorhersehbare Anforderungen der menschlichen Arbeitskraft überantwortet werden. Zugleich freilich wird in der Studie betont, dass auch traditionelle Arbeitsbereiche wie körperliche und manuelle Arbeit auf Grund spezifischer, nur schwer standardisierbarer Produktionsbedingungen erhalten bleiben müssen (ebd.: 101) – mithin weist in dieser Perspektive Produktionsarbeit einen zunehmend segmentierten Charakter auf.

Vergleichbare Thesen finden sich auch in einer Studie von Windelband et al. (2011) auf der Basis einer Untersuchung über die Arbeit im Kontext intelligent vernetzter Logistiksysteme.⁹ Widersprüchliche Entwicklungstrends ergeben sich danach daraus, dass einerseits mit der neuen Technik Prozesse automatisiert werden mit der Folge, dass sich Aufgaben und Tätigkeiten vereinfachen. Die Konsequenz sei, dass die Betriebe niedrig qualifiziertes Personal kostengünstig und ohne lange Anlernzeiten einsetzen können. Die Handlungsspielräume dieser Beschäftigtengruppe sind auf Grund strikter Systemvorgaben naturgemäß sehr eng. Andererseits aber würde solche Logistiksysteme genutzt, um Arbeitsabläufe unter der Berücksichtigung verfügbarer Qualifikationen zu optimieren. Dabei werde teilweise das Aufgabenspektrum der Mitarbeiter erweitert und die Betriebe setzen auf gut ausgebildetes und qualifiziertes Personal. Die Autoren betonen, dass qualifizierte Mitarbeiter verschiedentlich an Bedeutung gewinnen. Diese müssten in der Lage sein, „diszipliniert und fehlerfrei nötige Dateneingaben zu machen und zugleich ein gutes Verständnis für den Prozess mitbringen“ (Windelband et al. 2011: 5). Die Autoren heben hervor, dass Rationalisierungseffekten durch stabile IT-Prozesse Aufgaben höherer Qualität gegenüber stünden, die sich insbesondere auf Problemlösungskompetenzen richten. Allerdings könne längerfristig auch der gegenläufige Fall eintreten, wonach auf Grund der Automatisierungstendenzen die Anforderungen an Problemlösungskompetenzen zurückgingen. Hinzu komme, dass Problemlösungen oftmals zunehmend durch hierarchisch übergeordnete Informatik-Spezialisten durchgeführt würden.

Ähnlich widersprüchlich argumentiert auch die neuere techniksoziologische Forschung, die sich mit autonomen technischen Systemen auseinandersetzt. Wie oben (vgl. Abschn. 3) schon angesprochen, wird hier nicht von einem festen Muster der Aufteilung von Funktionen zwischen menschlichem Arbeitshandeln und Technologien ausgegangen, sondern es wird von einem Konzept der *verteilten Handlungsträgerschaft* zwischen Mensch und Technik gesprochen. Diese verteilte Handlungsträgerschaft spielt sich gleichsam situationsspezifisch im Kontext von Aushandlungs- und Abstimmungsprozessen zwischen den verschiedenen technischen und nicht technischen Elementen des Gesamtsystems ein (Rammert/Schulz-Schäffer 2002: 22). Dieser, auch als „hybrid“ bezeichnete Zusammenhang zwischen Technik und Mensch wird auch am Beispiel der

⁹ Vgl. hierzu auch die Zusammenfassung dieser Forschungsergebnisse in der umfangreichen Trendanalyse zum Arbeitsmarkt 2030 von Düll et al. (Düll 2013: 178ff.).

Tätigkeit von Piloten untersucht (Weyer 1997, 2007). Herausgearbeitet werden hier generelle Wandlungstendenzen, die mit Stichworten wie Virtualisierung, Entgrenzung der Wechselbeziehung zwischen technischem Teilsystem und menschlichen Handlungen, adaptive, d. h. an bestimmte situative Bedingungen anpassungsfähige Handlungsweisen sowie neuen, technisch gestützten Mustern der Transparenz und Kontrolle über das Arbeitshandeln gefasst werden. Betont wird, dass die Arbeit in solchen hybriden Systemen von widersprüchlichen Trends, sowohl Gewinne als auch Verluste von Entscheidungsautonomie, gekennzeichnet sei. Ähnlich wie in der arbeitspsychologischen und der arbeitssoziologischen Forschung wird insbesondere auch auf Handlungssituationen der Unwägbarkeit der technischen Teilsysteme und die Grenzen ihrer Kontrollierbarkeit verwiesen. Damit, so die Schlussfolgerung, entstehe ein neuer genereller Typus von Arbeit, der sich vor allem durch den „Umgang mit Unsicherheit“ auszeichne (Weyer 1997: 239).

4.3 Leitungsebenen

Höhere hierarchische Ebenen der Planungs- und Managementbereiche, so bislang die Befunde, sind kaum direkt von der Systemeinführung betroffen, allenfalls kann man von durchaus widersprüchlichen „Ausstrahlungseffekten“ der Systemeinführung auf die hierarchische Ebene sprechen. So sind die Entscheidungskompetenzen der technischen Experten und des mittleren Produktionsmanagements von gegenläufigen Trends betroffen:

- Zum einen deuten Evidenzen darauf hin, dass auf Grund der dezentralen Selbstorganisation der Systeme und einer entsprechend flexiblen Arbeitsorganisation auf der operativen Ebene ein Teil von bisher auf der Leitungsebene von technischen Experten und vom Produktionsmanagement ausgeführten Planungs- und Steuerungsfunktionen „nach unten“ abgegeben werden. Das heißt, mit Industrie 4.0-Systemen verbindet sich ein Dezentralisierungsschub und Hierarchieabbau innerhalb oft ohnehin schon relativ „flach“ strukturierter Fabrikorganisationen.
- Zum anderen dürften komplexitätsbedingt erweiterte und neue Planungsaufgaben auf diese Bereiche zukommen. Einige Autoren sprechen davon, dass angesichts der Systemkomplexität Aufgaben des „trouble shooting“ deutlich an Bedeutung gewinnen (Uhlmann et al. 2013). Zudem kann davon ausgegangen werden, dass auf der

Planungs- und Managementebene früher getrennte Aufgaben und Kompetenzen, beispielsweise IT- und Produktionskompetenzen, verschmelzen (Spath et al. 2013: 123).

Verstärkt werden dürfte diese unklare Situation durch ein sich ebenso widersprüchlich wandelndes Kontrollpotential höher Positionsinhaber: Folgt man der Untersuchung von Kinkel et al. (2008: 242), so eröffnen die Systeme und ihre informationstechnische Abbildung realer Prozessabläufe dem Produktionsmanagement neue Möglichkeiten zur Kontrolle der Prozesse und zur Störungsdiagnose. Zudem können Kostenbarrieren, die früher die Sammlung vollständiger Informationen verhinderten, durch den Einsatz autonomer Systeme zunehmend überwunden werden. Für das Management besteht somit zumindest die Möglichkeit, betriebswirtschaftliche Entscheidungen vermehrt auf der Basis genauer Echtzeitdaten zu treffen. Es wird freilich auch auf das damit aufkommende Problem verwiesen, dass damit zugleich neuartige Probleme der Bewältigung und sinnvollen Filterung großer Datenmengen zu erwarten sein (ebd.). Zugleich wird aber auch nicht ausgeschlossen, dass die Abläufe autonomer Systeme für Planungsbereiche und Produktionsleitungen auf Grund der ihrer Komplexität weitgehend intransparent bleiben und daher die bisherigen Entscheidungskompetenzen dieser Managementgruppe sich systembedingt auf die operative Ebene verlagern und nun entweder automatisiert oder von den dortigen qualifizierten Operateuren wahrgenommen werden müssen. Als Konsequenz dieser Situation wird eine mangelnde Akzeptanz der neuen Technologien bei Managern befürchtet (Spath et al. 2013: 100).

Obgleich sie bislang wenig eindeutig sind, lassen aber diese Hinweise den Schluss zu, dass die Planungs- und Managementbereiche in Folge der Einführung von Industrie 4.0-Systemen längerfristig ebenso nachhaltig betroffen sein werden wie die operative Ebene. Mehr noch, es ist davon auszugehen, dass der Wandel auch der Leitungsebenen unverzichtbare Voraussetzung für die Beherrschung der neuen Technologien ist. Nur lassen sich hier bislang kaum eindeutige Entwicklungstrends erkennen.

4.4 Zwischenresümee: Divergierende Muster der Arbeitsorganisation

Resümiert man die vorliegenden Befunde über den Wandel von Tätigkeits- und Qualifikationsstrukturen insbesondere auf der operativen Systemebene, so lassen sich zusammenfassend verschiedene Typen bzw. Muster der Arbeitsorganisation herausarbeiten. Wie oben eingeführt (Abschn. 3) wird mit dem Begriff der Arbeitsorganisation die arbeitsteilige Strukturierung von Aufgaben und Tätigkeiten in horizontaler und hierarchischer Hinsicht und damit verbundene Gestaltung von Kooperation und Kommunikation zwischen den im und am System Beschäftigten verstanden. Erkennbar wird ein breites Spektrum divergierender Muster der Arbeitsorganisation, das durch zwei Pole begrenzt wird:¹⁰

(1) Der eine Pol entspricht einem Gestaltungsmuster, das auf den skizzierten Tendenzen der innerbetrieblichen Polarisierung von Aufgaben, Qualifikationen und Personaleinsatz beruht. Es finden sich in den Produktionssystemen einerseits eine vermutlich nur noch geringe Zahl einfacher Tätigkeiten mit geringem oder keinen Handlungsspielraum, die laufende standardisierte Überwachungs- und Kontrollaufgaben ausführen. Andererseits ist eine ausgeweitete oder auch neu entstandene Gruppe hoch qualifizierter Experten und technischer Spezialisten anzutreffen, deren Qualifikationsniveau deutlich über dem bisherigen Facharbeiterniveau liegt (Abb. 4). Diesen Beschäftigten obliegen nicht nur dispositive Aufgaben etwa der Störungsbewältigung, sondern sie übernehmen verschiedentlich auch Aufgaben des Produktionsmanagements. Diese Beschäftigten sind, im Unterschied zu den einfach Beschäftigten, fraglos die Gewinner des absehbaren Technologieschubs. Dieses Muster der Arbeitsorganisation entspricht weitgehend den derzeit schon in vielen hoch technisierten Betrieben vorherrschenden Arbeitsformen, die als widersprüchliche Kombination von Gestaltungsprinzipien der Dezentralisierung und Aufgabenerweiterung einerseits und Strukturierung und Standardisierung andererseits gekennzeichnet werden kann (z. B. Kinkel et al. 2008; Hirsch-Kreinsen 2009; Abel et al. 2013). Insofern vermeiden die Betriebe neben den ohnehin aufwendigen technologischen Innovationen risikoreiche und mit Ungewissheit behaftete organisatorische Innovationen, wenn sie diesem etablierten Pfad arbeitsorganisatorischer

¹⁰ Zu ähnlichen Ergebnissen kommen die früheren arbeitssoziologischen CIM-Studien (z. B. Hirsch-Kreinsen et al. 1990: 79ff.).

Gestaltung folgen. Verkürzt soll daher dieses arbeitsorganisatorische Muster als *Polarisierte Organisation* bezeichnet werden.

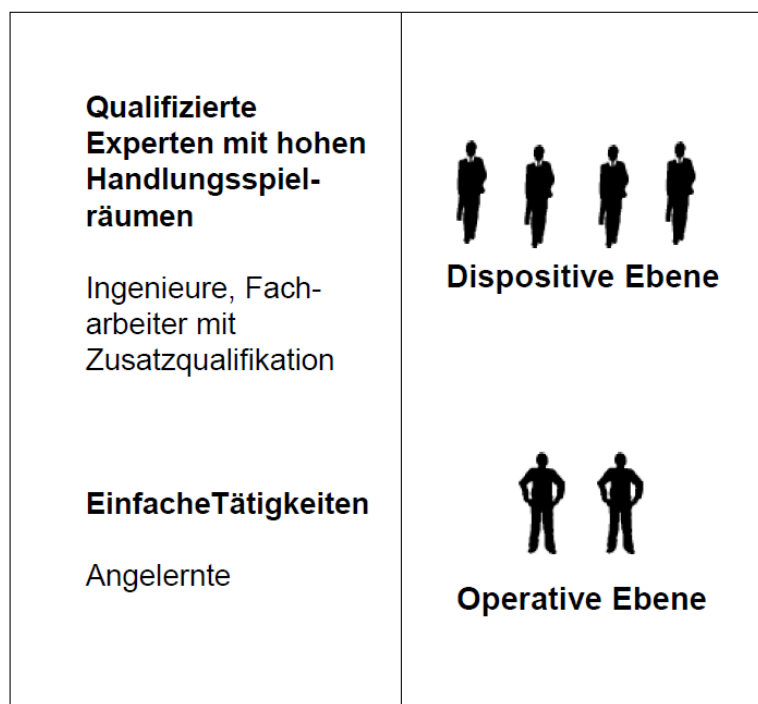


Abb. 4: Polariserte Organisation (eigene Darstellung)

(2) Der andere Pol des Spektrums wird von einem arbeitsorganisatorischen Muster gebildet, das metaphorisch als *Schwarm-Organisation* bezeichnet werden kann (Abb. 5).¹¹ Ziel dieser Organisationsform ist es, durch höchstmögliche Offenheit und Flexibilität auf der Basis hoher Qualifikationen der Beschäftigten nicht antizipierbare Stör- und Sondersituationen jederzeit durch kompetentes und erfahrenes Arbeitshandeln bewältigen zu können. Diese Form der Arbeitsorganisation ist durch eine lockere Vernetzung sehr qualifizierter und gleichberechtigt agierender Beschäftigter gekennzeichnet. 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 einzelnen Beschäftigten

¹¹ Vgl. zu diesem Begriff in der Managementdebatte Neef/Burmeister (2005) sowie insbesondere die soziologische Debatte über internetbasierte soziale Prozesse, in der mit dem Begriff des „Swarms“ eine soziale Formation bezeichnet wird, die sich durch ein sehr lockeres Netzwerk von individuellen und nicht kollektiv orientierten Akteuren auszeichnet (Dolata/Schrage 2013: 11ff.). Ergänzend dazu ist hier allerdings die für betriebliche Abläufe unverzichtbare kollektive bzw. überindividuelle Handlungsorientierung eines solchen Swarms zu betonen.

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 in Hinblick auf einen möglichst störungsfreien und optimalen technologischen Prozess (Neef/Burmeister 2005: 569ff.). 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.¹² Es ist davon auszugehen, dass die in diesem Kontext Beschäftigten über ein Qualifikationsniveau verfügen, das noch deutlich über dem des Systemregulierers an konventionell automatisierten Anlagen liegt (s. o.). Zugleich aber ist dieses Muster eingebunden in die übergeordneten betriebsorganisatorischen Strukturen und die Optimierungsvorgaben der Wertschöpfungskette, deren Element das jeweilige autonome System ist und deren Vorgaben im Rahmen des skizzierten arbeitsorganisatorischen Musters situationsabhängig und flexibel umgesetzt werden sollen.

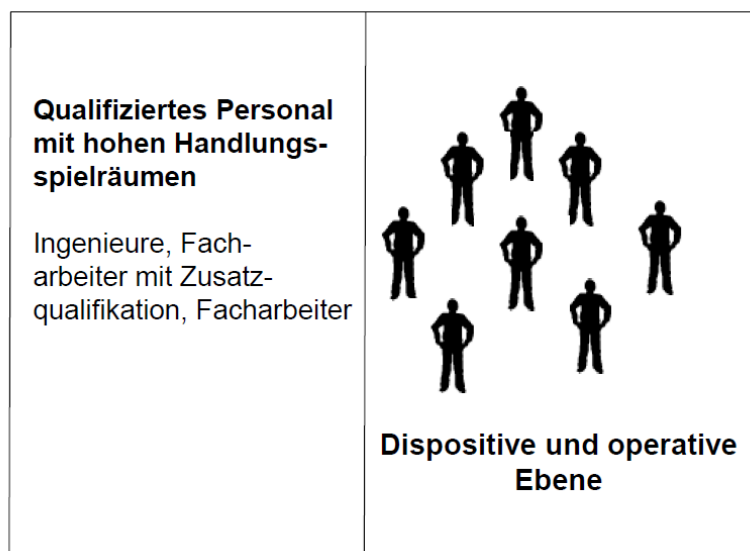


Abb. 5: Schwarm-Organisation (eigene Darstellung)

¹² Böhle et al. folgend wird hiermit auf das notwendige Zusammenspiel von allgemeinen sozialen Kompetenzen wie etwa Kommunikationsfähigkeit und methodische Fähigkeiten mit einem auf den konkreten Arbeitsprozess bezogenen praktischem Arbeitsprozesswissen abgestellt (Böhle 2004).

In der Arbeitsforschung werden einige Gründe für die mögliche Relevanz einer Schwarm-Organisation im Kontext von Industrie 4.0-Systemen hervorgehoben: Eine effektive Systembeherrschung durch qualifizierte Arbeitskräfte sei vor allem durch wenig geregelte, informelle und kooperative Formen der Arbeitsprozesse in besonderer Weise gesichert (Lee/Seppelt 2009; Cummings/Bruni 2009). Darüber hinaus sei es im Rahmen eines solchen Musters der Arbeitsorganisation gut möglich, die nun in Echtzeit stattfindende Entscheidungs- und Kommunikationsprozesse zu beherrschen (Spath et al. 2013: 115f.). Zudem wird betont, dass sich die Zustände komplexer Systeme „spontan“ ändern und intransparente und unvorhersehbare Effekte haben (Weyer/Grote 2012), die ebenso wenig planbares, nicht regelbares und hoch flexibles Arbeitshandeln erfordern. Zudem wird von langwierigen Einführungs- und Anfahrphasen von Industrie 4.0-Systemen auf Grund ihrer Komplexität ausgegangen, in deren Verlauf Tätigkeiten und Arbeitsorganisation eine hohe Flexibilität und Problemlösungsfähigkeit aufweisen müssen und dabei kaum einen definierbaren (End-)Zustand erreichen könnten. Schließlich wird auf den „Lifecycle“ einer solchen komplexen Anlage verwiesen, mit dem sich stets neue schwer beherrschbare Systemzustände verbinden können; 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).

Abschließend lässt sich festhalten, dass im Fall von Industrie 4.0-Systemen ganz offensichtlich nicht von einem „one-best-way“ der Aufgaben- und Organisationsgestaltung gesprochen werden kann. Dabei ist zu betonen, dass die skizzierten Pole des Spektrums möglicher arbeitsorganisatorischer Muster denkbare Extremfälle der Arbeitsorganisation bezeichnen. Es ist davon auszugehen, dass sich je nach konkreten Anwendungsbedingungen, Systemfunktionen und betrieblichen Strukturbedingungen dazwischenliegende und divergierende Muster der Arbeitsorganisation einspielen werden.¹³

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 (vgl.

¹³ Vgl. hierzu die drei Szenarien der Qualifikationsentwicklung, die Windelbrand et al. (2013) für die Arbeit in autonomen Logistiksystemen herausgearbeitet haben.

Kinkel et al. 2008: 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 Schwarm-Organisation setzt sich möglicherweise als dominante Form einer *weitgehend entgrenzten* Arbeitsorganisation durch.¹⁴

Insgesamt gesehen, ist freilich zu betonen, dass auf kurze Sicht kaum von einem schnellen Wandel von industriellen Prozessen und von Produktionsarbeit auszugehen ist. Vielmehr ist auf Grund einer Vielzahl ungeklärter technologischer Anwendungsprobleme, damit zusammenhängender unkalkulierbarer Kosten und vor allem auch von Abstimmungserfordernisse mit existierenden Fabrik- und Prozessstrukturen bei ihrer Einführung von einer schrittweisen und langsamen Diffusion der neuen Technologien auszugehen. Zudem ist anzunehmen, dass auf absehbare Zeit ein ungleichzeitiger Wandel stattfinden wird und technologisch sehr weit fortgeschrittene Produktionssegmente und Betriebe neben traditionell technisierten und manuellen Prozessen anzutreffen sein werden (vgl. Abschn. 5.3).

5. Bestimmungsgrößen

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 in 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 Automatisierungskon-

¹⁴ Zur arbeitssoziologischen Debatte über die Entgrenzung von Arbeit vgl. zusammenfassend Hirsch-Kreinsen (2010)

zept und damit zusammenhängend die Gestaltungs- und Einführungsprozesse der neuen Systeme eine zentrale Rolle. Darüber hinaus ist die ungleichzeitige Diffusion der Systeme in verschiedenen Industriebranchen und Betriebstypen in Hinblick auf die Reichweite des Wandels von Arbeit Rechnung zu stellen

5.1 Alternative Automatisierungskonzepte

Zwar ist grundsätzlich davon auszugehen, dass Automatisierungstechnologien die Gestalt der Arbeit keineswegs determinieren, sondern sich mit ihnen stets Gestaltungsspielräume verbinden.¹⁵ Jedoch 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.¹⁶ Grob lassen sich hier dichotomisch grundlegende Muster der Systemauslegung unterscheiden (z. B. Hollnager/Bye 2000; Kaber/Endsley 2004; Cummings/Bruni 2009; Lee/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. Ihm verbleiben Aufgaben, die nur schwer oder nicht zu automatisieren sind und sie 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.

¹⁵ Angesprochen wird hiermit die konzeptionelle arbeitssoziologische Diskussion über das „Ende des Technikdeterminismus“ (vgl. zusammenfassend Pfeiffer 2013).

¹⁶ Im Kontext der früheren CIM-Diskussion unterschied Brödner grundsätzlich zwischen einem technozentrischen und einem anthropozentrischen Entwicklungspfad von Technik (Brödner 1985). In empirischen Untersuchungen wurde zwischen CIM-Konzepten unterschieden, die auf eine tayloristische oder eine ganzheitlich-integrierte Form der Arbeitsorganisation hinauslaufen (Hirsch-Kreinsen et al. 1990). Ganz offensichtlich sind diese Differenzierungen bis heute relevant.

- 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 (vgl. Abschn. 4.1) 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: 67 – Hervorheb. i. Org.). Als hierfür unabdingbare Gestaltungskriterien werden beispielsweise genannt (ebd.): die Kontrollierbarkeit der Technik, eine motivationsorientierte Aufgabengestaltung sowie eine organisatorisch ermöglichte Selbstregulation der Tätigkeiten (Abb. 6).

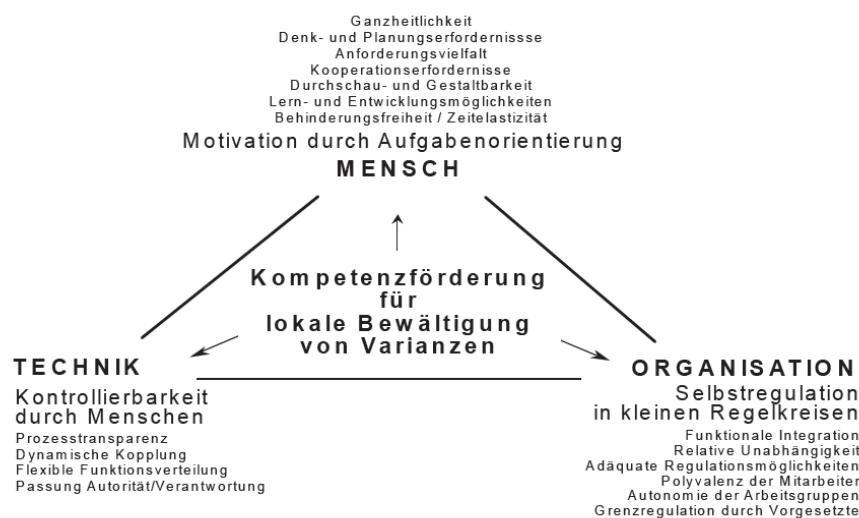


Abb. 6: Komplementäre Systemgestaltung (Grote 2005: 67)

5.2 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 je 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 begründet 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-organisatorischen 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 (vgl. Abschn. 5.3).

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 Systeme 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 CIM-Systeme verweisen hier auf wenig überraschende Zusammenhänge und geben Hinweise auf mögliche Einführungsstrategien (Hirsch-Kreinsen et al. 1990: 139ff.): 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 das Ziel, 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 betrieb-

liche Tradition und Praxis im Umgang mit technologischen Innovationen. Freilich steht zu vermuten, dass der disruptive Charakter von Industrie 4.0-Innovationen nachhaltige Veränderungen der bisherigen Einführungsstrategien von Unternehmen erfordert, sollen sie erfolgreich sein.

5.3 Verbreitung in Grenzen

Fragt man schließlich nach den generellen industriellen Entwicklungs- und Anwendungsperspektiven dieses Konzepts und ihren Einfluss auf die Veränderungen von Arbeit so muss zunächst betont werden, dass es sich bei diesem Automatisierungskonzept bislang weitgehend um eine technologische Vision handelt und bislang nur wenige Anwendungsfälle existieren. Ihre 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 (s. o. Abschn. 5.2) ist die industrielle Diffusion von Industrie 4.0-Systemen auf Grund ihres disruptiven und strukturverändernden Charakters mit nur schwer überwindbaren technischen, ökonomischen und sozialen Einführungsbarrieren konfrontiert. Mehr noch, es muss davon ausgegangen werden, dass disruptive Innovationen wie Industrie 4.0 einen ausgeprägt *paradoxalen Charakter* haben, d. h. dieser Innovation sind ihre Widersprüche immanent. Denn ihre strukturverändernden Effekte rufen zugleich Widerstände, Grenzen und Barrieren ihrer Realisierung hervor.¹⁷ 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 Abstimmungserfordernissen 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

¹⁷ 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).

PPS, ERP und den vorhandenen kaufmännischen Systemen (Spath et al. 2013: 123).¹⁸

- 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 Konzeptes, die sich in langjährigen praktischen und widersprüchlichen Automatisierungserfahrungen begründet. Darüber hinaus kollidiert Industrie 4.0 mit seinen technologischen Prinzipien der dezentralen automatisierten Selbstorganisation mit weit verbreiteten organisatorischen Konzepten der Standardisierung und Leanfertigung, mit denen vielfach eine nachhaltige Effizienzsteigerung und eine Erhöhung des Steuerungspotentials von Prozessen realisiert wird. In dieser Hinsicht widerspricht dieses Konzept vielfach vorherrschenden Leitbildern über die Gestaltung einer effizienten Fabrik.¹⁹ Zudem bestehen oftmals Vorbehalte aus sehr einsichtigen Befürchtungen um die Datensicherheit der komplexen 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 geänderter Kompetenzverteilung zwischen IT und Produktionstechnik sein. Denn generell dürften IT-Kompetenzen massiv an Bedeutung gewinnen und mit weiteren herkömmlichen produktionstechnischen Kompetenzen verschmolzen werden (vgl. Abschn. 4.3). 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 Kontrollpotential der digitalen Systeme und der Gefahr nun endgültig zum „gläsernen Mitarbeiter“ zu werden.

¹⁸ Zu den Problemen, die aus den weit verbreiteten heterogenen und nichteindeutigen Datenbestände in Hinblick auf eine betriebsübergreifende Datenintegration resultieren vgl. instruktiv auch Schuh/Stich (2013: 229ff.).

¹⁹ Dabei kann es sich beispielsweise um das verbreitete Konzept der Ganzheitlichen Produktionssysteme (GPS) handeln, das im Kern auf eine Effizienzsteigerung durch eine Standardisierung der Prozesse hinausläuft (Abel et al. 2013).

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.: 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 Indonesien aufzubauen, als im hoch industrialisierten Stuttgarter Raum“. Angenommen werden kann daher, dass sich im industrieller 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 auf Grund hoher Flexibilitätsanforderungen ständig unter Innovations- und Rationalisierungsdruck stehen und in den neuen Systemen eine Chance zu einer durchgreifenden Produktivitätssteigerung sehen. Typisch hierfür sind technologieintensive mittelständischen Firmen, die vor allem über die erforderlichen personellen Qualifikationen und Kompetenzen verfügen.²⁰ Zudem dürfte der Logistikbereich auf Grund seiner standardisierten Prozesse und seines schnellen Wachstums und 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 organisatorische schon sehr weit fortgeschritten sind. Denn die spezifische und neue – disruptive - Automatisierungslogik von Industrie 4.0-Systemen würde das hier erreichte hohe Produktivitätsniveau und damit die existierenden Wettbewerbsvorteile gefährden.
- Absehbar dürften sich diese Systeme kaum im weiten Bereich wenig technologieintensiver kleiner und mittlerer Unternehmen (KMU) durchsetzen. Die Gründe hierfür liegen zum einen in den begrenzten Ressourcen und Kompetenzen sehr vieler KMU,

²⁰ Ein viel zitiertes Beispiel hierfür ist die Fa. Wittenstein AG, die im Rahmen eines Fabrikneubaus die Voraussetzung für den Einsatz von Industrie 4.0-Systemen schaffen will (<http://www.wittenstein.de/industrie-4.htm>).

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 Metallherzeugung unterliegen nur begrenzten Flexibilitätsanforderungen, so dass aufwendige und risikoreiche Automatisierungsmaßnahmen nicht ernsthaft in Erwägung gezogen werden.

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

6. Offene Fragen und Forschungsbedarf

Das Thema Industrie 4.0 setzt ein lange vernachlässigtes zentrales Thema der Industrie- und Arbeitssoziologie, nämlich die Frage nach dem Verhältnis von Technik und Arbeit wieder auf die Forschungsagenda. Denn es ist davon auszugehen, dass die Digitalisierung der industriellen Produktion fortschreiten und trotz aller Hemmnisse schnelle Entwicklungsschübe durchlaufen wird. Es ist weiterhin davon auszugehen, dass sich auf Grund des disruptiven Charakters dieses Technologieschubs nachhaltige Strukturveränderungen von Arbeit wie aber auch der industriellen Produktion insgesamt verbinden. Freilich sind die Reichweite und die Konsequenzen dieses Wandlungsprozesses derzeit kaum hinreichend überschaubar. Wie im vorliegenden Papier ausgeführt wurde, können hierzu bestenfalls allererste Annahmen formuliert werden. Im Grunde werden aber mehr Fragen aufgeworfen als Antworten gegeben. Es handelt sich dabei um mehrere Bündel von Forschungsfragen für zukünftige Untersuchungen über den Wandel von Produktionsarbeit der Einführung von Industrie 4.0-Systemen:

(1) Ein erstens Bündel von Forschungsfragen richtet sich auf die verschiedenen Dimensionen, in denen der Wandel von Arbeit im Produktionsprozess verläuft. Wie konzeptionell und empirischen deutlich geworden ist, kann sich dabei der Fokus nicht allein auf die operative Ebene der Produktion richten, sondern muss das sozio-technische System

der industriellen Produktion auch in seinen vertikalen und strategischen Dimensionen in die Analyse einbeziehen. Dabei muss es beispielsweise um folgende Fragen gehen:

- Welche neuen Arbeitsbedingungen und Qualifikationsanforderungen sind auf den Ebenen des Shop-floor Personals, der Steuerungs- und Planungsexperten, des unteren und mittleren Betriebsmanagements sowie des betrieblichen Leitungssystems insgesamt zu beobachten?
- Wie verändert sich die Struktur von Produktionsarbeit in quantitativer Hinsicht; welche Substitutions- und Kompensationseffekte sind erkennbar?
- Wie werden einzelne sozio-technische Teilsysteme betriebsintern und betriebsübergreifende mit dem Gesamtprozess einer Wertschöpfungskette, den damit verbundenen betrieblichen Strategien und betrieblichen Optimierungsvorgaben verknüpft und welche Konsequenzen verbinden sich damit für Arbeit auf den unterschiedlichsten Ebenen?
- Wie verändern auf den verschiedenen Arbeitsebenen die Arbeitsbedingungen und Beschäftigungsformen; muss man im arbeitssoziologischen Sinn von einer weiteren Entgrenzung und Subjektivierung von Arbeit ausgehen und welche Konsequenzen verbinden sich damit für die viel diskutierte „work-life-balance“?
- In welcher technisch-organisatorischen Weise kann eine lernförderliche Arbeitssituation für die unterschiedlichen Beschäftigtengruppen hergestellt werden? Denn es ist davon auszugehen, dass unter den Bedingungen von Industrie 4.0 nicht nur neue, sondern auch sehr dynamische Anforderungen an die menschliche Arbeit gestellt werden.
- Wie verändern sich die Kontrollpotentiale von Arbeit, in welcher Weise werden diese genutzt und wie verändern sich generell die eingespielten arbeitspolitischen Konstellationen in Betrieben?

Konzeptionell verbindet sich damit die Frage, ob die bisherigen Kategorien der sozialwissenschaftlichen Arbeitsanalyse mögliche Wandlungstendenzen von Arbeit hinreichend erfassen. Wie beispielsweise der metaphorische Begriff der Schwarmorganisation belegt, ist eine erweiterte Begrifflichkeit von Mustern der Arbeitsorganisation erforderlich.

(2) Eng verwoben damit ist ein Bündel von Fragen, das sich auf die je konkrete Systemauslegung und den damit verbundenen betrieblichen Einführungsprozess der neuen Technologien richtet. Denn es ist anzunehmen, dass beide Faktoren und hierbei wirksame Einflussmechanismen den Wandel von Arbeit stark beeinflussen. Im Einzelnen sind hier die folgenden Aspekte von besonderem Interesse:

- Welche Typen der Systemauslegung in einem Spektrum zwischen einem technologiezentrierten und einem komplementären Automatisierungskonzept sind möglich und realisierbar und wie spielt sich dabei die Mensch-Maschine-Funktionsteilung ein?
- Welches sind die typischen Verlaufsmustern von Einführungsprozessen, die strategischen und operationalen Ziele eines Betriebes, die Widersprüche und Konflikte bei der Einführung und die Konstellation der beteiligten Akteure, z. B. verschiedene Managementvertreter, Betriebsräte, Berater und weitere?
- Welcher Art sind ggf. innerbetriebliche Akzeptanzprobleme und Aversionen gegenüber den neuen Technologien und von welchen Beschäftigungsgruppen werden sie vorgetragen? Wie gezeigt, kann es sich dabei um Gruppen des operativen Personals als auch um technische Experten und Managementvertreter handeln.

Zudem ist in konzeptioneller Perspektive zu fragen, welchen Einfluss die jeweilige mikropolitische Situation eines Betriebs oder eines bestimmten Betriebstyps auf Technologieeinführung und Arbeitsgestaltung haben und welche Vermittlungsmechanismen hierbei eine Rolle spielen.

(3) Dies verweist auf ein drittes Bündel von Forschungsfragen, das sich auf die Reichweite und die Richtung der technologischen Entwicklung richtet. Insbesondere bedarf der Zusammenhang zwischen Verbreitung der neuen Systeme und ihren Grenzen der systematischen Analyse, will man Aussagen darüber machen, welche Beschäftigtengruppen von den technologischen Veränderungen betroffen sind und wie sich ihren Arbeitsbedingungen wandeln. Die hierbei zu klärenden konzeptionellen und empirischen Fragen sind:

- Handelt es sich bei der fortlaufenden Digitalisierung der Produktion in Form von Industrie 4.0-Systemen tatsächlich um, wie unterstellt, einen disruptiven Wand-

lungsprozess, der nachhaltige Strukturveränderungen der industriellen Produktion zur Folge hat?

- Welcher Art sind die vermutlich vielfältigen technologischen, ökonomischen sowie betriebs- und produktionsstrukturelle Grenzen und Blockaden, die einer schnellen Verbreitung dieser Technologie entgegenstehen?
- Welches sind die absehbaren Verbreitungsschwerpunkte von Industrie 4.0-Systemen in Hinblick auf Produktionsfunktionen, Betriebstypen und Branchen? Welche Rolle spielen dabei strukturelle Divergenzen in Hinblick Betriebsgröße und Technologieintensität der Betriebe?

Ergänzend ist zu fragen, in welcher Weise die Entwicklung und Verbreitung von autonomen Produktionssystemen im Kontext einer generellen Digitalisierung der Produktion mit weiteren aktuellen Ansätzen von Prozessinnovationen konvergiert, diese möglicherweise fördert oder ihnen entgegensteht. Zu verweisen ist hier insbesondere auf das weite Feld sogenannter additiver Produktionsverfahren, deren informationstechnische Basis die digitale Abbildung von Produkten ist und denen absehbar nachhaltige Auswirkungen auf die gegebenen industriellen Strukturen attestiert werden (The Economist 2012).

(4) Ein viertes Bündel von Forschungsfragen muss sich auf strukturelle Rahmenbedingungen des Wandels von Arbeit auf der betrieblichen Ebene richten. Bezeichnet werden damit soziale, ökonomische und politische Aspekte, die längerfristig in enger Wechselwirkung mit der Einführung von Industrie 4.0-Systemen stehen. Hier können die folgenden Fragen als zentral angesehen werden:

- Wie müssen sich Arbeitskräfteangebot und Berufsbildung verändern, um einerseits die qualifikatorischen Voraussetzungen für eine breite System Einführung schaffen, um andererseits die neuen Anforderungen bewältigen zu können? Wie sehen neue Berufsbilder und Studiengänge aus, die einer notwendigen Verschmelzung von informations- und produktionstechnischem Wissen Rechnung tragen?
- Welche Konsequenzen haben die neuen Technologien für die bisherigen Branchenstrukturen? Kann angenommen werden, dass insbesondere im Investitionsgüterbereich die spezifischen technologischen Anforderungen neue Branchenzuschnitte und Herstellerstrukturen erfordern, die auch auf der branchenstrukturellen Ebene der

Notwendigkeit einer immer stärkeren Verschmelzung von Informationstechnologien und Produktionstechnik Rechnung tragen? Möglicherweise eröffnen sich damit völlig neue Arbeits- und Beschäftigungsfelder.

- Wie verändern sich die Branchen- und Standortbedingungen und die Wettbewerbssituation der industriellen Produktion; haben die neuen Technologien Konsequenzen für die bisherigen Outsourcing- und Verlagerungsstrategien und stabilisieren sie nachhaltig die industrielle Beschäftigung in Deutschland?
- Schließlich ist zu fragen, welche Rolle in Zukunft die Forschungs- und Technologiepolitik im Feld Industrie 4.0 spielen sollte, um wünschenswerte Konsequenzen für Arbeit zu unterstützen? Die konkrete Frage hierbei ist, wie und ob die Forschungs- und Technologiepolitik auf den unterschiedlichsten Ebene Fragen der Arbeitsforschung systematisch mit der Förderung von Technologieentwicklung verknüpfen kann? Auf Grund des disruptiv-strukturverändernden Charakters der neuen Technologien dürfte es unstrittig sein, dass hier ein hoher Handlungsbedarf besteht.

Diese und weitere Fragen stecken das Feld eines sozialwissenschaftlich orientierten Forschungsprogramms ab, das sich mit dem Wandel von Produktionsarbeit im Kontext der Einführung autonomer Produktionssysteme befasst. Ein solches Programm kann sowohl analytisch orientierte Grundlagenforschung als auch Projekte der Begleitforschung technologisch ausgerichteter Entwicklungs- und Anwendungsvorhaben umfassen. In jedem Fall aber legen die Neuartigkeit und die Komplexität des Gegenstandsreichs ein interdisziplinäres Vorgehen zwischen Technikwissenschaften und Sozialwissenschaften nahe.

Literatur

- Abel, J./Ittermann, P./Pries, L. 2005: Erwerbsregulierung in hochqualifizierter Wissensarbeit – individuell und kollektiv, diskursiv und partizipativ. In: Industrielle Beziehungen, Jg. 12 (1), S. 28-50
- Abel, Jörg/Ittermann, Peter/Steffen, Marlies 2013: Wandel von Industriearbeit. Herausforderung und Folgen neuer Produktionssysteme in der Industrie. Soziologisches Arbeitspapier TU Dortmund, Nr. 32, 03/2013
- acatech (Hg.) 2011: Cyber-Physical Systems. Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion Berlin
- Andriopoulos, C./Lewis, M. W. 2009: Exploitation-Exploration Tensions and Organizational Ambidexterity: Managing Paradoxes of Innovation In: Organization Science, 20(4), pp. 696-717
- Bainbridge, L. 1983: Ironies of automation, Automatica, Jg. 19 (6), S. 775-779
- Bauer, H./Böhle, F./Munz, C./Pfeiffer, S./Woicke, P. (Hg.) 2006: Hightech-Gespür. Erfahrungsgeleitetes Arbeiten und Lernen in hoch technisierten Arbeitsbereichen, Bielefeld
- BMWI – Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie 2013: Mensch-Technik-Interaktion, Berlin
- Boes, A./Kämpf, T. 2013: Informations- und Wissensarbeit. In: Hirsch-Kreinsen, H., Minssen, H. (Hg.): Lexikon der Arbeits- und Industriosozologie, Berlin, S. 280-284
- Böhle, F. 2013: Subjektivierendes Arbeitshandeln. In: Hirsch-Kreinsen, H./Minssen, H. (Hg.), Lexikon der Arbeits- und Industriosozologie, Berlin, S. 425-430
- Böhle, F./Rose, H. (Hg.) 1992: Technik und Erfahrung. Arbeit in hochautomatisierten Systemen, Frankfurt am Main/New York
- Brödner, P. 1985: Fabrik 2000. Alternative Entwicklungspfade in die Zukunft der Fabrik, Berlin
- Broy, Manfred (Hg.) 2010: Cyber-physical systems. Innovation durch softwareintensive eingebettete Systeme, Springer, Berlin/Heidelberg
- Bullinger, H.-J./ten Hompel, M. (Hg.) 2007: Internet der Dinge, Springer, Berlin
- Clegg, Chris W. 2000: Sociotechnical principles for system design. In: Applied Ergonomics 31, pp. 463-477
- Cummings, M./Bruni, S. 2009: Collaborative Human-Automation Decision Making. In: Nof, S. (Hg.), Handbook of Automation, Berlin, S. 437-447
- Dolata, U./Schrape, J.-F. 2013: Zwischen Individuum und Organisation. Neue kollektive Akteure und Handlungskonstellationen im Internet, Universität Stuttgart, SOI Discussion Paper 2013-02
- Düll, N. (Hg.) 2013: Arbeitsmarkt 2030 Fachexpertisen und Szenarien. Trendanalyse und qualitative Vorausschau, <http://www.wbv.de/openaccess/artikel/6004384w> (05.01.2014)
- Dworschak, B./Zaiser, H./Achtenhagen, C. 2011: Zukünftige Qualifikationserfordernisse durch das Internet der Dinge in der industriellen Produktion, Nürnberg
- Fleisch, E./Dierkes, M. 2003: Ubiquitous Computing aus betriebswirtschaftlicher Sicht. In: Wirtschaftsinformatik 45, Nr. 6, S. 611-620
- Fleisch, E./Mattern, F. (Hg.) 2005: Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis, Berlin/Heidelberg
- Forschungsunion/acatech (Hg.) 2013: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, Frankfurt am Main
- Geisberger, E./Broy, M. 2012: agendaCPS. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems, Heidelberg
- Gill, H. 2006: NSF Perspective and Status on Cyber-Physical Systems, Austin
- Grote, G. (Hg.) 1999: Wie sich Mensch und Technik sinnvoll ergänzen: die Analyse automatisierter Produktionssysteme mit KOMPASS, Zürich
- Grote, G. 2005: Menschliche Kontrolle über technische Systeme – Ein irreführendes Postulat. In: Karrer, K./Gauss, B./Steffens, C. (Hg.): Beiträge der Forschung zur Mensch-Maschine-Systemtechnik aus Forschung und Praxis, Düsseldorf, S. 65-78
- Grote, G. 2009: Die Grenzen der Kontrollierbarkeit komplexer Systeme. In: Weyer, J. (Hg.), Management komplexer Systeme, München, S. 149-168
- Hacker, W. 1987: Software-Ergonomie: Gestaltung rechnergestützter geistiger Arbeit. In: Schönpflug, W./Wittstock, M. (Hg.): Software Ergonomie 1987. Berichte des German Chapter of the AMC, Band 29. Stuttgart, S. 31-45
- Hirsch-Kreinsen, H. 2009: Innovative Arbeitsgestaltung im Maschinenbau? Soziologisches Arbeitspapier, Nr. 27, Dortmund
- Hirsch-Kreinsen, H. 2010: Entgrenzung von Unternehmen und Arbeit. In: Becker, J./Deutschmann, C. (Hg.): Wirtschaftssoziologie, Sonderheft 49 der KZfSS 2010, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, S. 447-465

- Hirsch-Kreinsen, H./Schultz-Wild, R./Köhler, C./Behr, M. von 1990: Einstieg in die rechnerintegrierte Produktion: alternative Entwicklungspfade der Industriearbeit im Maschinenbau, Frankfurt am Main/New York
- Hollnagel, E./Bye, A. 2000: Principles for modelling function allocation. In: International Journal of Human-Computer Studies 52/2, S. 253-265
- Ittermann, P. 2009: Betriebliche Partizipation in Unternehmen der Neuen Medien. Frankfurt am Main/New York
- Johnson, P./Bay, J. 1995: Distributed control of simulated autonomous mobile robot collectives in payload transportation. In: Autonomous Robots, Jg. 2 (1), S. 43-63
- Joseph Harrington 1973: Computer Integrated Manufacturing, New York
- 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. In: Theoretical Issues in Ergonomics Sciences, Jg. 5 (2), S. 113-153
- Kagermann, H./Wahlster, W./Helbig, J. (Hg.) 2012: Bericht der Promotorengruppe Kommunikation. Im Fokus: Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Berlin
- Kinkel, S./Friedewald, M./Hüsing, B./Lay, G.; Lindner, R. 2008: Arbeiten in der Zukunft: Strukturen und Trends der Industriearbeit, Berlin
- Lee, J. 2001: Emerging challenges in cognitive ergonomics: Managing swarms of self-organizing agent-based automation. In: Theoretical Issues in Ergonomics Science, Jg. 2 (3), S. 238-250
- Lee, J./Seppelt, B. 2009: Human Factors in Automation Design. In: Nof, S. (Hg.), Handbook of Automation, Berlin, S. 417-436
- Mentgen, A. 2012: Interview Epson: Industrie 4.0 gleich CIM?
<http://www.produktion.de/unternehmen-maerkte/interview-epson-industrie-4-0-gleich-cim>
- Moldaschl, M. 1991: Frauenarbeit oder Facharbeit? Frankfurt/New York
- 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 et al., 563-572
- o. V. 2013: Revolution oder Evolution. In: Bergische Wirtschaft 07, S. 10
- Pfeiffer, S. 2013: Arbeit und Technik. In: Hirsch-Kreinsen, H., Minssen, H. (Hg.): Lexikon der Arbeits- und Industriosozologie. Berlin, S. 48-53
- Pries, L./Schmidt, R./Trinczek, R. 1990: Entwicklungspfade von Industriearbeit, Opladen
- Rammert, W. 2003: Technik in Aktion: Verteiltes Handeln in soziotechnischen Konstellationen. In: Christaller, T./Wehner, J. (Hg.): Autonome Maschinen, Wiesbaden, S. 289-315
- Rammert, W./Schulz-Schäffer, I. 2002: Technik und Handeln. Wenn soziales Handeln sich auf menschliches Verhalten und technische Abläufe verteilt. In: Rammert, W./Schulz-Schäffer, I. (Hg.): Können Maschinen handeln? Frankfurt am Main/New York, S. 11-64
- Reinhart, G./Engelhardt, P./Geiger, F./Philipp, T./Wahlster, W./Zühlke, D./Schlick, J./Becker, T./Löckelt, M./Pirvu, B./Stephan, P./Hodek, S./Scholz-Reiter, B./Thoben, K./Gorltd, C./Hribnik, 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 (2), S. 84-89
- Rice, A. 1963: The enterprise and its environment, London
- Ropohl 2009: Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik, 3. Überarb. Aufl., Karlsruhe
- Scheer, A. 2013: Industrie 4.0: Alter Wein in neuen Schläuchen? <http://www.august-wilhelm-scheer.com/2012/02/08/industrie-4-0-alter-wein-in-neuen-schlauchen/> (Zugriff: 01.07.2013)
- Schmiede, R. (Hg.) 1996: Virtuelle Arbeitswelten. Arbeit, Produktion und Subjekt in der „Informationsgesellschaft“, Berlin
- Schmiede, R. 1999: Informatisierung und Subjektivität. In: Konrad, W./Schumm, W. (Hg.): Wissen und Arbeit. Münster, S. 134-151
- Schmiede, R. 2013: Informationsgesellschaft. In: Hirsch-Kreinsen, H./Minssen, H. (Hg.), Lexikon der Arbeits- und Industriosozologie, Berlin, S. 285-290
- Scholz-Reiter, B./Böse, F./Lampe, W./Virnich, A. 2009: Auf dem Weg zur Selbststeuerung der Prozesse. In: Industrie Management, Jg. 25 (6), S. 21-26
- Schuh, G./Stich, V. (Hg.) 2013: Produktion am Standort Deutschland. Ergebnisse der Untersuchung 2013, Aachen
- Schultz-Wild, R./Asendorf, I./Behr, M. von/Köhler, C./Lutz, B./Nuber, C. 1986: Flexible Fertigung und Industriearbeit. Frankfurt am Main/New York
- Schumann, M./Baethge-Kinsky V./Neumann U./Springer, R. 1990: Breite Diffusion der neuen Produktionskonzepte – zögerlicher Wandel der Arbeitsstrukturen. In: Soziale Welt, Jg. 41 (1), S. 49-69
- Schumann, M./Baethge-Kinsky, V./Kuhlmann, M./Kurz, C./Neumann, U. 1994: Trendreport Rationalisierung. Automobilindustrie, Werkzeugmaschinenbau, Chemische Industrie, Berlin
- Sendler, U. (Hg.) 2013: Industrie 4.0. Berlin/Heidelberg

- Spath, D./Ganschar, O./Gerlach, S./Hämmerle, M./Krause, T./Schlund, S. 2013: Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Stuttgart
- Sydow, J. 1985: Der soziotechnische Ansatz der Arbeits- und Organisationsgestaltung. Frankfurt am Main/New York
- Sydow, Jörg 1985: Der soziotechnische Ansatz der Arbeits- und Organisationsgestaltung, Campus, Frankfurt
- TAB 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
- Terwisch, P./Ganz, C. 2009: Emerging Trends and Challenges in Automation. In: Nof, S. (Hg.): Handbook of Automation, Berlin, S. 127-143
- The Economist 2012: Manufacturing: The third industrial revolution, April 21st
- The Economist 2014: The on rushing wave, January 18th 2014, pp. 18-21
- Trist, E./Bamforth, K. 1951: Some social and psychological consequences of the long wall method of coal-getting. In: Human Relations, Jg. 4 (1), S. 3-38
- Uckelmann, D./Harrison, M/Michaelles, F. (Hg.) 2011: Architecting the Internet of Things, Springer, Berlin
- Uhlmann, E./Hohwieler, E./Kraft, M. 2013: Selbstorganisierende Produktion mit verteilter Intelligenz. In: wt-online, Jg. 103 (2), S. 114-117
- Ulrich, E. 2005: Arbeitspsychologie. 6. Aufl. Stuttgart
- Weiss, G. (Hg.) 2000: Multiagent Systems. A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence, 2. Aufl. Cambridge MA
- Weyer, J. 1997: Die Risiken der Automationsarbeit. Mensch-Maschine-Interaktion und Störfallmanagement in hochautomatisierten Verkehrsflugzeugen. In: Zeitschrift für Soziologie, Jg. 26 (4), S. 239-257
- Weyer, J. 2007: Autonomie und Kontrolle. Arbeit in hybriden Systemen am Beispiel Luftfahrt. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis, Jg. 16 (2), S. 35-42
- Weyer, J. 2009: Dimensionen der Komplexität und des Komplexitätsmanagements. In: Weyer, J., Schulz-Schaeffer, I. (Hg.), Management komplexer Systeme, S. 3-28
- Weyer, J./Grote, G. 2012: Die Grenzen der Beherrschbarkeit technischer Systeme. In: Böhle, F., Busch, S. (Hg.), Management von Ungewissheit. Bielefeld, S. 189-212
- White, J./Clarke, S./Groba, C./Dougherty, B./Thompson, C./Schmidt, D. C. 2010: R&D challenges and solutions for mobile cyber-physical applications and supporting Internet services. In: Journal of Internet Services and Applications, Jg. 1 (1), S. 45-56
- Windelband, L. et al. 2011: Zukünftige Qualifikationsanforderungen durch das „Internet der Dinge“ in der Logistik“. In: Zukünftige Qualifikationserfordernisse durch das Internet der Dinge in der Logistik, Zusammenfassung der Studienergebnisse, Hrsg. v. FreQueNz, S. 5-9
- wt-online 2013: Sonderausgabe Industrie 4.0, Jg. 103 (2), S. 83- 162
- Zäh, F./Patron, C./Fusch, T. 2003: Die Digitale Fabrik – Definition und Handlungsfelder, ZWF 98, 3/2003, S. 75-77

**Seit 2009 erschienene Soziologische Arbeitspapiere;
frühere erschienene Arbeitspapier sind unter http://www.wiso.tu-dortmund.de/wiso/is/de/forschung/soz_arbeitspapiere/index.html
zu finden.**

- 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 Perspekti-
ven
(Februar 2012)
- 32/2013 Jörg Abel/Peter Ittermann/Marlies Steffen
Wandel von Industriearbeit. Herausforderung und Folgen neuer Produk-
tionssysteme in der Industrie.
(März 2013)
- 33/2013 Fabian Lücke/Johannes Weyer/Robin D. Fink
Steuerung komplexer Systeme - Ergebnisse einer soziologischen Simula-
tionsstudie
(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 Wei-
terentwicklung der soziologischen Theorie
(November 2013)
- 36/2013 Johannes Weyer/Fabian Adelt/Robin D. Fink
Steuerung komplexer Systeme - Ein Mehrebenen-Modell von Gover-
nance
(November 2011)
- 37/2013 Hartmut Hirsch-Kreisen
Wie viel akademische Bildung brauchen wir zukünftig? Ein Beitrag zur
Akademisierungsdebatte
November 2013