

Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“

Unter dem prominenten Label „Industrie 4.0“ wird seit längerem die Vernetzung der virtuellen Computerwelt mit der physischen Welt der industriellen Produktion diskutiert. Diesem Konzept zufolge sollen in Zukunft Produktionssysteme in der Lage sein, sich weitgehend autonom zu steuern und zu optimieren. Es liegt auf der Hand, dass solche Systeme – sofern sie sich durchsetzen – die bisherige Landschaft der Arbeit in der industriellen Produktion nachhaltig verändern werden. Davon werden nicht nur die operativen Tätigkeiten auf der Werkstattebene betroffen sein, sondern auch indirekte Funktionen und die Leitungsebenen. Erforderlich wird daher eine Neugestaltung des gesamten sozio-technischen Systems der Produktion.

HARTMUT HIRSCH-KREINSEN

1. Vorbemerkung

Thema des vorliegenden Beitrags 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 in Deutschland seit längerem unter dem Label „Industrie 4.0“ thematisiert werden. Der Begriff verweist auf die Einschätzung, dass derzeit eine vierte 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.

Die Einführung autonomer CPS-basierter Produktionssysteme ist von großem arbeitssoziologischem wie auch arbeitspolitischem Interesse. Es ist in der Debatte um Industrie 4.0 unumstritten, dass solche autonomen Systeme im Fall ihrer breiten Durchsetzung die industrielle Arbeitssphäre nachhaltig verändern werden (Geisberger/Broy 2012; BMWI 2013; Kurz 2013; Spath et al. 2013). Denn das Konzept Industrie 4.0 zielt auf ein völlig neues Niveau von Produktionsautomatisierung durch eine hoch flexible Verknüpfung der virtuellen und vernetzten Datenebene mit realen Fabrikabläufen. Angestrebt wird ein Automatisierungssprung, der im Anschluss an die Innovationsdebatte kate-

gorial als *disruptive Prozessinnovation* bezeichnet werden kann (Christensen 1997). 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 ihrer autonomen Anpassungsfähigkeit an dynamisch sich wandelnde externe Bedingungen beispielsweise auf den Absatzmärkten, in der Produktions- und Lieferkette oder von Umweltauflagen, die in *Echtzeit* erfolgen soll (acatech 2011, S. 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 (Forschungsunion/acatech 2013).

Zu betonen ist nun allerdings, dass es sich bei Industrie 4.0 bislang hauptsächlich um eine technologische Vision handelt. Sie wird seit wenigen Jahren in Deutschland von Informatikern, Ingenieurwissenschaftlern, innovationspolitischen Akteuren, einflussreichen Wirtschafts-

verbänden und größeren technologieintensiven Unternehmen der Investitionsgüterindustrie als vierte Industrielle Revolution propagiert. Auch international werden diese Automatisierungstendenzen seit Längerem vor allem in Bereichen der Produktionswissenschaften und des Industrial Engineering, etwa am Beispiel adaptiver Robotersysteme, diskutiert (z. B. Lee 2001; Terwisch/Ganz 2009). Freilich wird derzeit auch schon über eine ganze Reihe von Entwicklungs- und Einführungsprozessen solcher Systeme in Unternehmen der Metallindustrie berichtet, die sich insbesondere auf Produktionsbereiche mit den Funktionen Logistik, Planung und Steuerung sowie Fertigung richten (z. B. Forschungsunion/acatech 2013; o. V. 2013; wt-online 2013).

Um die mögliche und zukünftige Funktionsweise eines autonomen Industrie 4.0-Systems zu veranschaulichen, sei auf ein derzeit laufendes Entwicklungsprojekt verwiesen, das einen sich selbstorganisierenden Produktionsprozess realisieren will: Basis hierfür ist, dass die zu bearbeitenden Werkstücke die erforderlichen Fertigungsinformationen mit sich führen und mit eingebetteter Softwareintelligenz ausgestattet sind. Hierdurch, so die Entwickler, könnten die Werkstücke mit den Bearbeitungsstationen „verhandeln“ und so selbstgesteuert ihren Weg durch die Fertigung zu den erforderlichen Bearbeitungsmaschinen finden. Angestrebt wird damit „produktgesteuerte Fertigung statt der bisherigen zentralen Planung und Steuerung durch den Einsatz intelligenter Werkstücke. Sie kommunizieren direkt untereinander, bilden ein agiles Adhoc-Netzwerk und sollen so autonom den Produktionsablauf gestalten“ (Uhlmann et al. 2013, S. 114f.).

Im Folgenden wird versucht, eine erste Einschätzung der Konsequenzen für Produktionsarbeit bei Einführung solcher autonomer Produktionssysteme vorzunehmen. Der Fokus der Analyse richtet sich primär auf innerbetriebliche Wandlungstendenzen der Arbeit. Methodisch basiert die Argumentation auf einer Durchsicht und einer systematischen Zusammenfassung der vorliegenden Literatur aus dem Bereich der sozialwissenschaftlichen Arbeitsforschung, die sich mit dem Wandel von Produktionsarbeit unter den Bedingungen automatisierter Systeme befasst. Zum einen handelt es sich dabei um schon ältere Studien über die Probleme von Automationsarbeit (z. B. Böhle/Rose 1992; Schumann et al. 1994) und rechnerintegrierter Produktion (z. B. Schultz-Wild et al. 1986; Hirsch-Kreinsen et al. 1990), deren Ergebnisse zumindest teilweise als relevant für die gegenwärtige Diskussion anzusehen sind. Zum anderen handelt es sich um die Ergebnisse einiger weniger Studien, die sich aktuell mit den möglichen Konsequenzen intelligenter Systeme auseinandersetzen (z. B. Ausschuss 2008; Kinkel et al. 2008; Lee/Seppelt 2009; Spath et al. 2013). In einigen Abschnitten basiert der Argumentationsgang außerdem auf Ergebnissen und Erkenntnissen, die der Autor im Kontext der Teilnahme an der laufenden Experten-debatte über die Entwicklungsperspektiven von Industrie 4.0 gewonnen hat.

2. Zum Wandel von Arbeit

Konzeptionell wird im Folgenden davon ausgegangen, dass eine Analyse des Zusammenspiels der neuen Technologie mit den dadurch induzierten personellen und organisatorischen Veränderungen grundsätzlich den Blick auf das Gesamtsystem der Produktion und die hier wirksamen Interdependenzen erfordert. CPS-basierte Produktionssysteme können daher, einer lange zurückreichenden arbeitssoziologischen Debatte folgend (Trist/Bamforth 1951; zusammenfassend Sydow 1985), als *sozio-technische Systeme* verstanden werden. Obgleich nicht immer einheitlich definiert, kann in einer ersten Annäherung und in Anlehnung an Rice (1963) unter einem sozio-technischem System eine Produktionseinheit verstanden werden, die aus interdependenten technologischen, organisatorischen und personellen Teilsystemen besteht. Wie nicht zuletzt auch grundlegende Überlegungen zum Kontext von Industrie 4.0 zeigen, erlaubt allein dieser analytische Zugriff auf das Gesamtsystem hinreichend begründete Aussagen über Gestaltungsmöglichkeiten und Konsequenzen für Arbeit (Forschungsunion/acatech 2013, S. 40 ff.). Darüber hinaus gehen die folgenden Überlegungen von einem *weiten Verständnis von Produktionsarbeit* aus. Gemeint sind damit alle direkt und indirekt wertschöpfenden Tätigkeiten in Industriebetrieben, was die operative und ausführende Ebene des Fertigungspersonals ebenso umfasst wie die strategische Ebene der Planung, Steuerung und Kontrolle, die Bereiche des unteren und mittleren Managements von Produktionsprozessen sowie die Gruppe der technischen Experten. Folgt man diesen kategorialen Bestimmungen, so lassen sich derzeit Wandlungstendenzen von Produktionsarbeit in den folgenden Dimensionen herausarbeiten:¹

2.1 Mensch-Maschine Interaktion und die Bedeutung von Erfahrungswissen

Folgt man dem Konzept des sozio-technischen Systems, so ist Ausgangspunkt der Analyse die Frage nach der unmittelbaren Mensch-Maschine Interaktion und den damit zusammenhängenden Qualifikationsanforderungen an die Beschäftigten. Als relevant können hier vor allem Forschungen der Arbeitswissenschaften und die Arbeitspsychologie angesehen werden, die sich mit der Gestaltung der Interaktion von Mensch und autonomen technologischen Prozessen befassen (z. B. Grote 2009; Ulich 2011). Als grundsätzliches

1 Vor allem aufgrund der bislang sehr begrenzten Materiallage können im Folgenden freilich keineswegs alle arbeitssoziologisch und arbeitspolitisch interessierenden Dimensionen des Wandels von Arbeit angesprochen werden. Nicht thematisiert werden beispielsweise Fragen wie die nach dem Kontrollpotenzial der neuen Technologien oder die Frage nach den möglichen Strukturveränderungen überbetrieblicher Wertschöpfungsketten.

Problem von Produktionsarbeit wird unisono hervorgehoben, inwieweit die entsprechenden Arbeitskräfte überhaupt in der Lage seien, insbesondere autonome technische Systeme zu kontrollieren und damit die Verantwortung über den Systembetrieb zu übernehmen. Denn es sei davon auszugehen, dass es den überwachenden Personen nicht in jedem Fall möglich ist, diesen Funktionen nachzugehen, da die funktionale und informationelle Distanz zum Systemablauf zu groß sei. Beispielhaft werden hier Überwachungstätigkeiten genannt, die sich nicht mehr direkt auf die physischen und stofflichen Anlagenprozesse auf dem Shopfloor beziehen, sondern etwa über Messwarten mediatisiert sind. Die Folge ist, dass „the informal feedback associated with vibrations, sounds, and smells that many operators relied upon“ eliminiert wird, daher das Bedienungspersonal die Anlagenzustände nicht mehr zutreffend einschätzen kann und unter Umständen falsche Entscheidungen im Hinblick auf Eingriffe in den automatischen Prozess trifft (Lee/Seppelt 2009, S. 419).

Zu ähnlichen Befunden und Schlussfolgerungen kommen auch ältere 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 (vgl. zusammenfassend Pfeiffer 2013), dass automatisierte Prozesse infolge ihrer wachsenden Komplexität und ihre inhärenten Unberechenbarkeiten stets Grenzen ihrer technischen Beherrschbarkeit aufweisen. Den vorliegenden Befunden zufolge entsteht oftmals eine Arbeitssituation, die Bainbridge (1983) instruktiv als „ironies of automation“ beschreibt, wonach automatisierte Prozesse aufgrund ihres hohen Routinecharakters bei Störungen nur schwer zu bewältigende Arbeitssituationen erzeugen. In solchen Situationen seien Qualifikationen erforderlich, die im automatisierten Routinebetrieb nicht aufgebaut werden könnten (Windelbrand et al. 2011). Den Studien von Böhle et al. zufolge (zusammenfassend Böhle 2013) 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.

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 unvermeid-

baren Störfall mit einschließt (Schumann et al. 1990). Die neuere Literatur verweist darauf, dass die Bedeutung dieser „subjektivierenden“ Seite des menschlichen Arbeitshandelns für die Störungsfreiheit hoch technisierter Prozesse nicht hoch genug eingeschätzt und kaum durch selbst-regulative Systemlösungen kompensiert werden könne (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.

2.2 Heterogene Aufgaben- und Tätigkeitsstrukturen

Eine weitere zentrale Dimension sozio-technischer Analysen sind die Aufgaben und Tätigkeitsstrukturen im Kontext neuer technologischer Systeme. Im Hinblick auf diese Dimension verweisen erste Ergebnisse sozialwissenschaftlicher Untersuchungen der Arbeit an autonomen Systemen, ähnlich wie die Ergebnisse früherer Automationsstudien,² auf die Durchsetzung heterogener Aufgaben und Tätigkeitsstrukturen an den neuen Produktionssystemen. Dabei steht insbesondere die operative Arbeits- und Organisationsebene an den Systemen im Fokus.

Diese These wird explizit in einer Studie des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (Ausschuss 2008; Kinkel et al. 2008) im Hinblick auf die industrielle Nutzung von intelligenten IT-Systemen in der Produktion 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 bisher manuellen Datenerfassung und -eingabe genannt. In welchem Umfang Substitutionsprozesse aber eintreten werden, sei derzeit allerdings kaum abschätzbar (ebd., S. 242f.). Mit Blick auf die Ebene mittlerer Qualifikationen, d. h. Facharbeiter und Techniker in Fertigungsbereichen, gehen die Autoren von widersprüchlichen Veränderungstendenzen aus (ebd., S. 243ff.):

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 ▶

2 Vgl. beispielsweise Schultz-Wild et al. 1986; Hirsch-Kreinsen et al. 1990; Moldaschl 1991; Schumann et al. 1994.

von Produktionsanlagen könnten weitgehend selbstständig angefordert werden, sodass 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., S. 244f.).

Zum anderen gehen die Autoren aber auch von einer Tätigkeitsanreicherung aus. Dies sei die Folge einer erhöhten Komplexität der Fertigung und der informationstechnologischen Dezentralisierung von Entscheidungs-, Kontroll- und Koordinationsfunktionen. Daher, so wird argumentiert, werden die betroffenen Facharbeiter gefordert sein, zunehmend eigenständig zu planen und Abläufe abzustimmen. Damit sei 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 manuelle Fertigkeiten an Bedeutung verlieren, während zunehmend bestimmte Programmierkenntnisse sowie das Steuern, Führen und Einstellen von komplexen Systemen an Gewicht gewinnen.

Ähnlich wird in einer aktuellen Studie von Spath et al. (2013) argumentiert: Danach werde auch unter den Bedingungen von Industrie 4.0 die menschliche Arbeit zwar ein wichtiger Bestandteil der Produktion bleiben, sich aber angesichts der Anforderungen an Komplexität, Innovationsfähigkeit und Flexibilität erheblich verändern (ebd., S. 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 zu 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 aufgrund spezifischer, nur schwer standardisierbarer Produktionsbedingungen erhalten bleiben müssen (ebd., S. 101).

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 (dazu auch: Düll 2013, S. 178ff.). 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 wegen strikter Systemvorgaben naturgemäß sehr eng. Andererseits aber würden solche Logistiksysteme genutzt, um Arbeitsabläufe unter Berücksichtigung verfügbarer Qualifikationen zu optimieren. Dabei werde teilweise das Aufgabenspektrum der Mitarbeiter erweitert und die Betriebe setzten auf gut ausgebildetes und qualifiziertes Personal. Die Autoren betonen, dass daher 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“ (ebd., S. 5).

2.3 Indirekt betroffene Leitungsebenen

Fragt man, wie sich Arbeit in der hierarchischen Dimension verändert, so finden sich bislang nur wenig eindeutige Forschungsergebnisse. Höhere hierarchische Ebenen der Planungs- und Managementbereiche, so bislang die Befunde über mögliche Konsequenzen von Industrie 4.0-Systemen, können in widersprüchlicher Weise von Systemeingführungen betroffen sein:

Zum einen deuten Evidenzen darauf hin, dass infolge 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, S. 123).

Verstärkt werden dürfte diese unklare Situation durch ein sich ebenso widersprüchlich wandelndes Kontrollpotenzial höher Positionsinhaber: Folgt man der Untersuchung von Kinkel et al. (2008, S. 242), so eröffnen die Systeme und ihre informationstechnische Abbildung realer Prozessabläufe dem Produktionsmanagement neue Mög-

lichkeiten zur Kontrolle der Prozesse und zur Störungsdiagnose. Es wird freilich auch auf das damit aufkommende Problem verwiesen, dass neuartige Probleme der Bewältigung und sinnvollen Filterung großer Datenmengen zu erwarten seien (ebd.). Zugleich wird aber auch nicht ausgeschlossen, dass die Abläufe autonomer Systeme für Planungsbereiche und Produktionsleitungen aufgrund 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 Management befürchtet (Spath et al. 2013, S. 100).

Obgleich diese Hinweise bislang wenig eindeutig sind, lassen sie den Schluss zu, dass die Planungs- und Managementbereiche infolge 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.

2.4 Zwischenfazit: Divergierende Muster der Arbeitsorganisation

Resümiert man die vorliegenden Befunde über den Wandel von Tätigkeits- und Qualifikationsstrukturen, so wird zunächst deutlich, dass im Unterschied zur CIM-Diskussion der 1980er Jahre die Perspektive einer vollständigen Automatisierung und menschenleeren Fabrik aus technologischen und ökonomischen Gründen keine realistische Entwicklung aufzeigt (Kinkel et al. 2008, S. 241). Zugleich ist aber auch kein „one-best-way“ der Arbeitsformen an CPS-basierten Produktionssystemen erkennbar. Auszugehen ist vielmehr von einem breiten Spektrum divergierender Muster der Arbeitsorganisation, das durch zwei Pole begrenzt wird:³

Der eine Pol entspricht einem Gestaltungsmuster, das auf den skizzierten Tendenzen der innerbetrieblichen Heterogenisierung von Aufgaben, Qualifikationen und Personaleinsatz beruht. Es finden sich in den Produktionssystemen einerseits eine vermutlich nur noch geringe Zahl einfacher Tätigkeiten mit geringem oder keinem 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. Ihnen 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 aus 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 Gestaltung folgen. Verkürzt soll daher dieses arbeitsorganisatorische Muster als *Polarisierte Organisation* bezeichnet werden.

Der andere Pol des Spektrums wird von einem arbeitsorganisatorischen Muster gebildet, das metaphorisch als *Schwarm-Organisation* bezeichnet werden kann (Neef/Burmeister 2005; auch: Lee/Seppelt 2009; Cummings/Bruni 2009). Ziel dieser Organisationsform ist es, durch größtmögliche Offenheit und Flexibilität auf der Basis hoher Qualifikationen der Beschäftigten nicht antizipierbare Stör- und Sondersituationen jederzeit durch kompetentes und erfahrenes Handeln 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 einzelne Beschäftigte gibt, vielmehr handelt das Arbeitskollektiv selbst organisiert, hoch flexibel und situationsbestimmt je nach zu lösenden Problemen im und am technologischen System. Allerdings existiert ein von der Leitungsebene vorgegebener Handlungsrahmen, der grundlegende Handlungsregeln, strategische Ziele, kollektive Orientierungen und Leitvorstellungen etwa im Hinblick auf einen möglichst störungsfreien und optimalen technologischen Prozess vorgibt (Neef/Burmeister 2005, S. 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.

3. Bestimmungsgrößen

Da es im Fall von intelligenten Produktionssystemen offensichtlich sehr unterschiedliche Entwicklungspfade von Produktionsarbeit gibt, liegt die Frage nahe, welche Bestimmungsgrößen die Entwicklung von Arbeit beeinflussen. ►

3 Zu ähnlichen Ergebnissen kommen die früheren arbeitssoziologischen CIM-Studien (z. B. Schultz-Wild et al. 1986; Hirsch-Kreinsen et al. 1990, S. 79ff.).

Eine erste Antwort hierauf gibt der Blick auf die Interdependenzbeziehungen zwischen den technischen und nicht-technischen Elementen eines sozio-technischen Systems, insbesondere die Auslegung des technischen Teilsystems und die sich damit verbindenden Gestaltungsspielräume für Produktionsarbeit. Folgt man älterer Literatur über die Einführung von CIM-Systemen (Schultz-Wild et al. 1986; Hirsch-Kreinsen et al. 1990), spielen hierbei das jeweils von den Anwenderbetrieben verfolgte Automatisierungskonzept und damit zusammenhängend die Gestaltungs- und Einführungsprozesse der neuen Systeme eine zentrale Rolle.

3.1 Alternative Automatisierungskonzepte

Zwar ist grundsätzlich davon auszugehen, dass Automatisierungstechnologien die Gestalt der Arbeit keineswegs determinieren, jedoch können diese Spielräume je nach konkreter Systemauslegung sehr unterschiedlich sein. Fasst man die entsprechende Literatur zur Konzeption autonomer Produktionssysteme zusammen, so kann von divergierenden Systemkonzepten gesprochen werden (z. B. Hollnagel/Bye 2000; Kaber/Endsley 2004; Cummings/Bruni 2009; Lee/Seppelt 2009; Grote 2005):⁴

(1) 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 Überwachungstätigkeiten. Anders gewendet: 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.

(2) 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 (z. B. Grote 2005) wird übereinstimmend davon ausgegangen, dass allein eine komplementäre Systemauslegung eine hin-

reichende 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 Lernprozesse ermöglichen und damit eine hinreichende Kontrollierbarkeit des Systems möglich werden lassen.

3.2 Langwierige Einführungsprozesse

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 gesamten sozio-technischen Systems auch in technischer, arbeitsorganisatorischer und personeller Hinsicht. Die Bedeutung des betrieblichen Einführungsprozesses für die letztendliche Systemauslegung und die sich durchsetzenden Muster von Produktionsarbeit begründet sich vor allem durch den Umstand, dass die neuen smarten Systeme erfahrungsgemäß 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 Inselösungen 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. Verwiesen wird hier insbesondere auf den äußerst aufwendigen Abgleich der neuen Systeme mit vorhandenen Datenbeständen und Systemen (Spath et al. 2013, S. 123; auch: Schuh/Stich 2013, S. 229ff.). Insgesamt ist daher von langlaufenden Einführungs- und Anfahrphasen von Industrie 4.0-Systemen auszugehen, in deren Verlauf Tätigkeiten und Arbeitsorganisation eine hohe Flexibilität und Problemlösungsfähigkeit aufweisen müssen und dabei kaum einen definierbaren (End-)Zustand erreichen können. Ver-

4 Vgl. hierzu auch frühere CIM-Diskussion, in der zwischen einem technozentrischen und einem anthropozentrischen Entwicklungspfad von Technik unterschieden wurde (Brödner 1985). Ganz offensichtlich sind diese Differenzierungen bis heute relevant.

schiedentlich wird auf den „Lifecycle“ einer solchen komplexen Anlage verwiesen, mit dem sich neue, schwer beherrschbare Systemzustände verbinden können, die stets neue Formen der Arbeitsorganisation und des Personaleinsatzes erfordern (BMW 2013).

4. Perspektiven in Grenzen

Fragt man nach den Anwendungsperspektiven des Konzepts Industrie 4.0 und den damit verbundenen Konsequenzen für Produktionsarbeit, so muss betont werden, dass seine Realisationsmöglichkeiten bei Weitem nicht ausgelotet sind. Denn die industrielle Diffusion von Industrie 4.0-Systemen ist aufgrund ihres disruptiven und strukturverändernden Charakters mit nur schwer überwindbaren technischen, ökonomischen und sozialen Einführungsbarrieren konfrontiert. Anders formuliert: Es muss davon ausgegangen werden, dass Industrie 4.0-Innovationen einen ausgeprägt *paradoxalen Charakter* haben. Denn ihre strukturverändernden Effekte rufen zugleich Widerstände, Grenzen und Barrieren ihrer Realisierung hervor.⁵ Neben den oben erwähnten aufwendigen und komplexen Herausforderungen der Abstimmung mit den bestehenden produktions- und informationstechnischen Strukturen der Betriebe sind hier besonders die folgenden Faktoren hervorzuheben:

(1) Hinweise auf Akzeptanzprobleme des neuen Konzepts auf der Managementseite und bei Betriebspraktikern sind unübersehbar. Eine gewichtige Rolle spielt hierbei ganz offensichtlich eine verbreitete skeptische Haltung gegenüber den Automatisierungs- und Effizienzversprechungen des Konzepts, die sich in langjährigen praktischen und widersprüchlichen Automatisierungserfahrungen begründet. Darüber hinaus kollidiert Industrie 4.0 mit seinen technologischen Prinzipien der dezentralen automatisierten Selbstorganisation mit weit verbreiteten organisatorischen Konzepten ganzheitlicher Produktionssysteme und ihren Zielsetzungen der Standardisierung und Prozessbeschleunigung (Abel et al. 2013). In dieser Hinsicht widerspricht dieses Konzept vielfach vorherrschenden Leitbildern über die Gestaltung einer effizienten Fabrik. Zudem bestehen oftmals Vorbehalte aus sehr einsichtigen Befürchtungen um die Datensicherheit der komplexen Datenbestände, die im Kontext von Industrie 4.0 verarbeitet werden müssen.

(2) Auch sind organisationsstrukturelle Beharrungskräfte in Rechnung zu stellen. Dies dürfte insbesondere Folge des erforderlichen Umbaus der betrieblichen Planungs- und Steuerungsbereiche und einer geänderten Kompetenzverteilung zwischen IT und Produktionstechnik sein. Denn generell dürften IT-Kompetenzen massiv an Bedeutung gewinnen und mit weiteren herkömmlichen produktionstechnischen Kompetenzen verschmolzen werden. Betroffen

sind davon insbesondere technische Experten, die ihre bisherige einflussreiche Position nutzen können, um schnellen Wandel zu bremsen oder gar zu blockieren. Möglicherweise wird diese Abwehr eines Kompetenzverlustes verstärkt durch die Furcht vor dem Kontrollpotenzial der digitalen Systeme und der Gefahr, nun endgültig zum „gläsernen Mitarbeiter“ zu werden.

Angenommen werden kann daher, dass sich im industriellen Sektor insgesamt mittelfristig eine differenzierte Landschaft von Industrie 4.0-Anwendungen durchsetzen wird. Es werden vor allem solche Unternehmen auf die neuen Systeme zugreifen, die aufgrund hoher Flexibilitätsanforderungen ständig unter Innovations- und Rationalisierungsdruck stehen und in den neuen Systemen eine Chance zu einer durchgreifenden Produktivitätssteigerung sehen. Typisch hierfür sind technologieintensive mittelständische Firmen, die vor allem über die erforderlichen personellen Qualifikationen und Kompetenzen verfügen. Zudem dürfte der Logistikbereich wegen seiner standardisierten Prozesse und seines schnellen Wachstums mittelfristig ein aussichtsreiches Anwendungsfeld von Industrie 4.0-Systemen eröffnen.

Eher zurückhaltend gegenüber einer Einführung solcher Systeme werden jene Unternehmen sein, die etwa als flexible Großserienproduzenten ohnehin produktionstechnologisch und organisatorisch 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, 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 herstellen. Diese Unternehmen, etwa aus dem Ernährungsgewerbe, der Möbelindustrie und Metallerzeugung, unterliegen nur begrenzten Flexibilitätsanforderungen, sodass aufwendige und risikoreiche Automatisierungsmaßnahmen nicht ernsthaft in Erwägung gezogen werden dürften. Die hier anzutreffenden Formen niedrig qualifizierter und einfacher Industriearbeit dürften daher auf absehbare Zeit erhalten bleiben.⁶ ▶

5 In der Innovationsforschung wird von einem „innovation paradox“ dann gesprochen, wenn eine technologische Innovation Gründe für ihr Scheitern in sich trägt (z. B. Andriopoulos/Lewis 2009).

6 Vgl. hierzu aktuelle Forschungsergebnisse über die bemerkenswerte Stabilität industrieller Einfacherarbeit in der deutschen Industrie (Abel et al. 2014).

5. Herausforderungen für die Arbeitsforschung

Das Thema Industrie 4.0 setzt ein lange vernachlässigtes, früher zentrales Thema der sozialwissenschaftlichen Arbeitsforschung, 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, trotz aller Hemmnisse schnelle Entwicklungsschübe durchlaufen und Arbeit sich nachhaltig wandeln wird. Wie im vorliegenden Beitrag ausgeführt wurde, können hierzu aktuell bestenfalls allererste Annahmen formuliert werden. Damit aber lassen sich mehrere Bündel von Forschungsfragen für zukünftige Untersuchungen über den Wandel von Produktionsarbeit bei der Einführung von Industrie 4.0-Systemen formulieren:

Ein erstes Bündel von Forschungsfragen richtet sich auf die verschiedenen Dimensionen, in denen der Wandel von Arbeit im Produktionsprozess verläuft. Wie konzeptionell und empirisch 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. Neben den grundlegenden Dimensionen der Qualifikationen, Tätigkeiten und Arbeitsorganisation sind hier vor allem bislang überhaupt nicht thematisierte Fragen nach dem Kontrollpotenzial der technologischen Systeme, den Möglichkeiten der zeitlichen und räumlichen Entgrenzung von Arbeit und den Konsequenzen für die viel diskutierte „work-life-balance“ aufzugreifen.

Ein zweites Bündel von Fragen zielt auf die je konkrete Systemauslegung und die damit verbundenen betrieblichen Einführungsprozesse der neuen Technologien. Denn es ist anzunehmen, dass beide Faktoren und hierbei wirksame Einflussmechanismen den Wandel von Arbeit stark beeinflussen. Insbesondere ist hier nach den Chancen der Einflussnahme von Beschäftigten und Interessenvertretungen auf die Einführung und Auslegung der Systeme zu fragen. Vermutet werden kann, dass allein schon die Komplexität der Systeme und die Widersprüche ihrer Einführung eine Beteiligung bestimmter qualifizierter Beschäftigtengruppen unverzichtbar macht.

Ein drittes Bündel von Forschungsfragen richtet sich schließlich auf überbetriebliche Strukturveränderungen. So ist zu eruieren, wie der Gesamtprozess einer überbetrieblichen Wertschöpfungskette auf der Basis neuer Planungs- und Steuerungsinstrumente verändert werden kann und welche Konsequenzen sich damit für die Arbeit auf den unterschiedlichsten Ebenen verbinden. Damit verknüpft sind Fragen nach strukturellen Widersprüchen und Grenzen der Technologiediffusion. Und schließlich sind auch Überlegungen einzubeziehen, inwieweit sich die Bedingungen des Produktionsstandortes Deutschland infolge einer solchen weitreichenden Prozessinnovation verändern.

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 Forschungsprogramm kann sowohl analytisch orientierte Grundlagenforschung als auch Projekte der Begleitforschung technologisch ausgerichteter Entwicklungs- und Anwendungsvorhaben umfassen. Ein aktuell besonders drängender Forschungsbedarf ist allerdings, die erkennbaren und zukünftigen Problemlagen für die Entwicklung von Arbeit systematisch herauszuarbeiten, um damit eine begründete Basis für weitergehende arbeitsorientierte Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen zu legen. Methodisch müsste eine solche Untersuchung zum einen die

Ergebnisse der bisherigen Automationsforschung möglichst umfassend aufarbeiten und mit den neuen technologischen Entwicklungstendenzen verknüpfen sowie zum anderen anlaufende Industrie 4.0-Vorhaben im Hinblick auf ihre Konsequenzen für Arbeit begleitend untersuchen. In jedem Fall aber legen die Neuartigkeit und die Komplexität des Gegenstandsbereichs ein interdisziplinäres Vorgehen zwischen Technikwissenschaften und Sozialwissenschaften nahe. Alles in allem geht es dabei um die keineswegs endgültig geklärte Frage, ob die wirtschaftliche und soziale Entwicklung sich tatsächlich an der Schwelle zu einer vierten industriellen Revolution befindet. ■

LITERATUR

- Abel, J./Hirsch-Kreinsen, H./Ittermann, P.** (2014): *Einfacharbeit in der Industrie – Strukturen, Verbreitung und Perspektiven*, Berlin
- Abel, J./Ittermann, P./Steffen, M.** (2013): *Wandel von Industriearbeit. Herausforderungen und Folgen neuer Produktionssysteme in der Industrie*: TU Dortmund, Soziologisches Arbeitspapier 32/2013, Dortmund
- acatech** (Hrsg.) (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), S. 696–717
- Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung** (2008): *Zukunftreport: Arbeiten in der Zukunft – Strukturen und Trends der Industriearbeit*, Deutscher Bundestag Drucksache 16/7959
- Bainbridge, L.** (1983): *Ironies of automation*, in: *Automatica* 19 (6), S. 775–779
- Bauer, H./Böhle, F./Munz, C./Pfeiffer, S./Woicke, P.** (Hrsg.) (2006): *Hightech-Ge-spür. Erfahrungsgelaitetes Arbeiten und Lernen in hoch technisierten Arbeitsbereichen*, Bielefeld
- Böhle, F.** (2013): *Subjektivierendes Arbeitshandeln*, in: Hirsch-Kreinsen, H./Minssen, H. (Hrsg.): *Lexikon der Arbeits- und Industriosozologie*, Berlin, S. 425–430
- Böhle, F./Rose, H.** (Hrsg.) (1992): *Technik und Erfahrung. Arbeit in hochautomatisierten Systemen*, Frankfurt a. M./New York
- Brödner, P.** (1985): *Alternative Entwicklungspfade in die Zukunft der Fabrik*, Berlin
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)** (2013): *Mensch-Technik-Interaktion*, Berlin
- Christensen, C. M.** (1997): *The innovator's dilemma: When new technologies cause great firms to fail*, Boston
- Cummings, M./Bruni, S.** (2009): *Collaborative human-automation decision making*, in: Nof, S. (Hrsg.): *Handbook of automation*, Berlin, S. 437–447
- Düll, N.** (Hrsg.) (2013): *Arbeitsmarkt 2030: Fachexpertisen und Szenarien. Trendanalyse und qualitative Vorausschau*, <http://www.wbv.de/openaccess/artikel/6004384w> (letzter Zugriff: 05.01.2014)
- Forschungsunion/acatech** (Hrsg.) (2013): *Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0*, Frankfurt a. M.
- Geisberger, E./Broy, M.** (2012): *agenda CPS. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems*, Heidelberg
- Grote, G.** (2005): *Menschliche Kontrolle über technische Systeme – Ein irreführendes Postulat*, in: Karrer, K./Gauss, B./Steffens, C. (Hrsg.): *Beiträge der Forschung zur Mensch-Maschine-Systemtechnik aus Forschung und Praxis*, Düsseldorf, S. 65–78
- Grote, G.** (2009): *Die Grenzen der Kontrollierbarkeit komplexer Systeme*, in: Weyer, J. (Hrsg.): *Management komplexer Systeme*, München, S. 149–168
- Hacker, W.** (1987): *Software-Ergonomie: Gestaltung rechnergestützter geistiger Arbeit*, in: Schönpluf, W./Wittstock, M. (Hrsg.): *Software Ergonomie 1987. Berichte des German Chapter of the AMC*, Bd. 29, Stuttgart, S. 31–45
- Hirsch-Kreinsen, H.** (2009): *Innovative Arbeitsgestaltung im Maschinenbau?*: TU Dortmund, Soziologisches Arbeitspapier 26/2009, Dortmund
- Hirsch-Kreinsen, H./Schultz-Wild, R./Köhler, C./Behr, M. von** (1990): *Einstieg in die rechnerintegrierte Produktion: alternative Entwicklungspfade der Industriearbeit im Maschinenbau*, Frankfurt a. M./New York
- Hollnagel, E./Bye, A.** (2000): *Principles for modelling function allocation*, in: *International Journal of Human-Computer Studies* 52 (2), S. 253–265

- 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* 5 (2), S. 113–153
- Kinkel, S./Friedewald, M./Hüsing, B./Lay, G./Lindner, R.** (2008): *Arbeiten in der Zukunft: Strukturen und Trends der Industriearbeit*, Berlin
- Kurz, C.** (2013): Industrie 4.0 verändert die Arbeitswelt, in: *Gegenblende. Das gewerkschaftliche Debattenmagazin*, www.gegenblende.de/24–2013 (letzter Zugriff: 15.01.2014)
- Lee, J. D.** (2001): Emerging challenges in cognitive ergonomics: Managing swarms of self-organizing agent-based automation, in: *Theoretical Issues in Ergonomics Science* 2 (3), S. 238–250
- Lee, J. D./Seppelt, B.** (2009): Human factors in automation design, in: *Nof, S. (Hrsg.), a. a. O.*, S. 417–436
- Moldaschl, M.** (1991): *Frauenarbeit oder Facharbeit?* Frankfurt a. M./New York
- Neef, A./Burmeister, K.** (2005): Die Schwarm-Organisation – Ein neues Paradigma für das e-Unternehmen der Zukunft, in: *Kuhlin, B./Thielmann, H. (Hrsg.): Real-Time Enterprise in der Praxis*, Berlin et al., S. 563–572
- Nof, S.** (Hrsg.) (2009): *Handbook of Automation*, Berlin, S. 127–143
- o.V.** (2013): Revolution der Evolution, in: *Bergische Wirtschaft* 07/2013, S. 10
- Pfeiffer, S.** (2013): Arbeit und Technik, in: *Hirsch-Kreinsen, H./Minssen, H. (Hrsg.): Lexikon der Arbeits- und Industriesoziologie*, Berlin, S. 48–53
- Rice, A.** (1963): *The enterprise and its environment*, London
- Schuh, G./Stich, V.** (Hrsg.) (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 a. M./New York
- Schumann, M./Baethge-Kinsky, V./Kuhlmann, M./Kurz, C./Neumann, U.** (1994): *Trendreport Rationalisierung. Automobilindustrie, Werkzeugmaschinenbau, Chemische Industrie*, Berlin
- Schumann, M./Baethge-Kinsky V./Neumann U./Springer, R.** (1990): Breite Diffusion der neuen Produktionskonzepte – zögerlicher Wandel der Arbeitsstrukturen, in: *Soziale Welt* 41 (1), S. 47–69
- 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 a. M./New York
- Terwisch, P./Ganz, C.** (2009): Emerging trends and challenges in automation, in: *Nof, S. (Hrsg.), a. a. O.*, S. 127–143
- Trist, E./Bamforth, K.** (1951): Some social and psychological consequences of the long wall method of coal-getting, in: *Human Relations* 4 (1), S. 3–38
- Uhlmann, E./Hohwieler, E./Kraft, M.** (2013): Selbstorganisierende Produktion mit verteilter Intelligenz, in: *wt-online* 103 (2), S. 114–117
- Ulich, E.** (2011): *Arbeitspsychologie*, Stuttgart
- Windelband, L./Fenzl, C./Hunecker, F./Riehle, T./Spöttel, G./Städtler, H./Hribernik, K./Thoben, K.-D.** (2011): Zukünftige Qualifikationsanforderungen durch das „Internet der Dinge“ in der Logistik, in: *FreQueNz (Hrsg.): Zukünftige Qualifikationserfordernisse durch das Internet der Dinge in der Logistik, Zusammenfassung der Studienergebnisse*, Bremen, S. 5–9
- wt-Online** (2013): Sonderheft Industrie 4.0 103 (2), S. 83–167

AUTOR

HARTMUT HIRSCH-KREINSEN, Prof. Dr., lehrt an der Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät der TU Dortmund. Arbeitsschwerpunkte: Wirtschafts- und Industriesoziologie.

 hartmut.hirsch-kreinsen@tu-dortmund.de