

Hartmut Hirsch-Kreinsen
Peter Iftermann
Jonathan Niehaus (Hg.)

Digitalisierung industrieller Arbeit

Die Vision Industrie 4.0
und ihre sozialen Herausforderungen

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese
Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet
über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-8487-2225-9 (Print)

ISBN 978-3-8452-6320-5 (ePDF)

edition sigma in der Nomos Verlagsgesellschaft

1. Auflage 2015

© Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden 2015. Printed in Germany. Alle Rechte,
auch die des Nachdrucks von Auszügen, der fotomechanischen Wiedergabe und der
Übersetzung, vorbehalten. Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier.

Druck: Rosch-Buch, Scheßlitz



Nomos



edition
sigma

Daniela Ahrens, Georg Spöttl

Industrie 4.0 und Herausforderungen für die Qualifizierung von Fachkräften

1. Einleitung

Nachdem der amerikanische Soziologe Daniel Bell vor rund 40 Jahren die nachindustrielle Gesellschaft verkündete, erleben wir gegenwärtig eine erneute Hinwendung zur industriellen Arbeit unter dem Stichwort Industrie 4.0. Der im 20. Jahrhundert proklamierte Strukturwandel zur Dienstleistungsgesellschaft wird von der Industrie wieder eingeholt. Der Anteil der Industrie an der Bruttowertschöpfung ist in Deutschland seit den 1990er Jahren relativ stabil und beträgt um die 25% (vgl. Bauernhansl 2014, S. 7). Für Schumann ist Deutschland nach wie vor eine Industriegesellschaft (vgl. Schumann 2013, S. 9). „Industrie 4.0“ ist zu einem neuen Leitbegriff im Kontext „Zukunft der Arbeitswelt“ geworden. Die industrielle Produktion hierin sowie die „industriebasierte Dienstleistung“ (ebd., S. 8) sind nicht nur aus wirtschaftspolitischer Sicht von Bedeutung, sondern stehen auch sinnbildlich für neue Formen der Arbeitsorganisation im Zuge fortschreitender Automatisierung und Digitalisierung. Auf Bundesebene sind für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 bis zu 200 Millionen Euro Fördergelder vorgesehen, um dessen Implementierung zu beschleunigen. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gründete 2011 den Arbeitskreis Industrie 4.0. Zentrale Akteure waren zu Beginn die Verbände BITKOM, VDMA und der Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) (www.plattform-i40.de). Mit Beginn des Jahres 2015 erfolgte eine Umgestaltung der Plattform zugunsten einer stärkeren Einbeziehung der Gewerkschaften (IG Metall) und der Wissenschaft (Fraunhofer Gesellschaft). Die Erweiterung der Plattform signalisiert, dass das Thema Industrie 4.0 als gesellschaftliches Phänomen zu begreifen ist und keine reine Verbändeplattform darstellt.

Im Vergleich zu den vorangegangenen industriellen Revolutionen wird mit Industrie 4.0 insbesondere von Wirtschafts- und Technikverbänden die vierte industrielle Revolution bereits vorab postuliert, obgleich die technologische Entwicklung und Durchdringung in die Arbeitswelt sich noch in den Anfängen befindet. Die Diskussion um Industrie 4.0 pendelt zwischen der Frage „Alter Wein

in neuen Schläuchen?“ (Jaspermeite 2012), der Vermutung eines IT-Hypes (vgl. VDMA 2013) und der Ankündigung einer vierten industriellen Revolution. Kennzeichnend für Industrie 4.0 ist

„die technische Integration von cyber-physischen Systemen (CPS) in die Produktion und die Logistik sowie die Anwendung des Internets der Dinge und Dienste in industriellen Prozessen – einschließlich der sich daraus ergebenden Konsequenzen für die Wertschöpfung, die Geschäftsmodelle sowie die nachgelagerten Dienstleistungen und die Arbeitsorganisation.“ (Promotorengruppe 2013, S. 18)

Diese technologische Entwicklung ist als ein längerfristiges evolutionäres, strategisches Projekt zu verstehen, welches das Ziel verfolgt, Produktionsprozesse flexibel zu gestalten und auf individuelle Kundenwünsche ohne zeitaufwändige Umrüstzeiten unmittelbar reagieren zu können. Anspruch der CPS-Vernetzung ist es, auf Veränderungen in der Wertschöpfungskette oder dem Marktumfeld in Echtzeit zu reagieren. Der Arbeitskreis Industrie 4.0 nennt vier Charakteristika von Industrie 4.0: horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke, digitale Durchgängigkeit des Engineerings über die gesamte Wertschöpfungskette, vertikale Integration sowie vernetzte Produktionssysteme (ebd., S. 57). Zudem, und das ist das eigentlich Neue an Industrie 4.0, wird das Ziel einer zentralen Steuerung, so wie noch bei der Implementierung der rechnerintegrierten Produktion (CIM) in den 1980er und 1990er Jahren, zugunsten dezentraler Steuerungskonzepte aufgegeben.

Dieser Perspektivwechsel bleibt nicht ohne Wirkungen auf die Fachkräfte. Die Rolle der menschlichen Arbeitskraft wird sich mittels Industrie 4.0 verändern. In welche Richtung das gehen wird, ist noch ungewiss. Auffällig ist, dass im Vergleich zur Debatte um Computer Integrated Manufacturing (CIM) in der Diskussion um Industrie 4.0 Fragen der Aus- und Weiterbildung, der Arbeitsgestaltung sowie die Frage des Zusammenspiels zwischen technischer und sozialer Intelligenz explizit gemacht werden (vgl. Acatech 2013; Hartmann 2014).

„Die Smart Factory enthält Gelegenheitsstrukturen für eine neue Arbeitskultur, die sich an den Interessen der Beschäftigten orientiert. (...) Über die Qualität der Arbeit entscheiden nicht die Technik oder technische Sachzwänge, sondern Wissenschafter und Manager, welche die Smart Factory modellieren und umsetzen. Gefragt ist in diesem Zusammenhang eine sozio-technische Gestaltungsperspektive, in der Arbeitsorganisation, Weiterbildungsaktivitäten sowie Technik- und Software-Architekturen in enger wechselseitiger Abstimmung, aus einem Guss mit dem Fokus darauf entwickelt werden, intelligente, kooperative, selbstorganisierte Interaktionen zwischen den Beschäftigten und/oder den technischen Operationssystemen entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu ermöglichen.“ (Kahrmann/Wahler 2013, S. 57)

Signalisiert wird damit ein Gestaltungspotenzial trotz oder gerade aufgrund zunehmender Automatisierung und Vernetzung. Unser Beitrag knüpft hier an und fragt nach den sich wandelnden Aufgabenstrukturen und den damit verbundenen Implikationen für Qualifizierungsnotwendigkeiten sowie den Risiken einer Dequalifizierung durch Industrie 4.0. Ziel des Beitrags ist es, die bislang getrennt geführten Diskurse zu Industrie 4.0 und damit verbundene technologische und arbeitsorganisatorische Veränderungen auf der einen Seite und zum Wandel der Qualifizierungsnotwendigkeiten beruflich ausgebildeter Personen auf der anderen Seite zu verknüpfen. Leitend ist die Frage, wie sich Qualifikationsanforderungen und -notwendigkeiten durch Industrie 4.0 verändern und welche Herausforderungen sich dadurch für die berufliche Bildung stellen. Angesprochen sind hier insbesondere die zwölf metall- und elektrotechnische Ausbildungsberufe (Mechatroniker/in, Anlagenmechaniker/in, Industriemechaniker/in, Elektroniker/in für Betriebstechnik u.a.) mit knapp 300.000 Auszubildenden pro Jahr im Bundesgebiet.

Industrie-4.0-Visionen gehen dahin, dass die Objekte zukünftig miteinander „verhandeln“, um den effizientesten Ablauf sicherzustellen (vgl. Baumhansl 2013, S. 30). Annahmen über umfassende autonome Produktionssysteme sind in diesem Zusammenhang jedoch wenig realistisch (vgl. Hirsch-Kreinsen 2013). Auch ein hohes Automatisierungsniveau geht nicht mit der Annahme einer menschenleeren Fabrik einher. Im Gegenteil: Zum einen sind unterschiedliche Automatisierungsgrade je nach betriebsstrukturellen Gegebenheiten und Flexibilitätsnotwendigkeiten wahrscheinlich, zum anderen hat sich bereits bei vorangegangenen Automatisierungsprozessen gezeigt, dass die Beschäftigten mit sich wandelnden Aufgabeninhalten konfrontiert werden, bei einem gleichzeitigen Abbau einfacher manueller Tätigkeiten (vgl. Kurz 2013). Trotz des gegenwärtig zu beobachtenden Bias auf technologische Entwicklungen im Kontext von Industrie 4.0 bleiben die Beschäftigten Dreh- und Angelpunkt für deren erfolgreiche Umsetzung. Daher erfordert die Diskussion um Industrie 4.0 den Fokus auf Kompetenzentwicklung, Qualifizierungsmöglichkeiten und sich wandelnde Aufgabenprofile von Fachkräften.

2. Entwicklungsetappen der Industrie aus qualifikatorischer Sicht

Der Wandel der Produktionsarbeit durch technologische Entwicklungen manifestiert sich im Anschluss an Hirsch-Kreinsen (2014, S. 13) auf drei Ebenen: erstens auf der Ebene der Mensch-Maschine-Interaktion, zweitens auf der Ebene der Aufgabenstrukturen und drittens auf der Ebene der Arbeitsorganisation. Hinsichtlich des jeweils für die einzelnen Ebenen erforderlichen Qualifikationsbedarfs lassen sich im Zeitraum von 1950 bis heute vier Paradigmen nennen.

(4) 2010 bis heute: virtuelle Vernetzung und Konsequenzen für die Qualifizierung

Gegenwärtig erleben wir aufgrund der Entwicklungen in der Mikroelektronik und Sensortechnologie eine neue Qualität in der Vernetzung. Wegbereitend hierfür sind cyber-physische Systeme (CPS). CPS können über Sensorik unmittelbar physikalische Daten erfassen und durch Aktorik auf physikalische Vorgänge wirken. Die erfassten Daten können ausgewertet sowie gespeichert werden und aktiv bzw. reaktiv mit der realen sowie digitalen Welt interagieren. Die Vernetzung der CPS untereinander sowie in verteilten Netzen erfolgt über digitale Kommunikationseinrichtungen, deren verfügbare Daten bzw. Dienste prinzipiell weltweit nutzbar sind. Die zu produzierenden Gegenstände werden somit „intelligent“.

Die Auswirkungen auf die Qualifizierung von Fachkräften auf den unterschiedlichsten Hierarchieebenen sind bei diesen Entwicklungen noch nicht absehbar. Es ist allerdings anzunehmen, dass die Vernetzungen zu einer weiteren Intensivierung softwaregesteuerter Produktion führen und sich deshalb der Anspruch an Qualifizierungskonzepte erheblich verändern wird, um dem Wandel in der Produktionsorganisation gerecht zu werden. Auffallend ist, dass zwei Richtungen diskutiert werden: eine Richtung, die auf die Nach- und Weiterqualifizierung von Facharbeitern setzt, damit sie als Partner auch bei veränderten technologischen und arbeitsorganisatorischen Strukturen agieren können; eine andere Diskussionsrichtung versucht, der selbstständigen Steuerung durch Maschinen vorrangige Priorität einzuräumen, um auf das Know-how der Facharbeiter verzichten zu können (vgl. Brynjolfsson/McAfee 2014). Wie die Weichenstellungen letztlich vorgenommen werden, kann derzeit nur vermutet werden.

3. Implementierung von Industrie 4.0 und Wirkungen in Anwendungsfeldern

3.1 Entwicklungsszenarien für Mensch und Maschine

„Die Industrie 4.0 nimmt in den Fabriken Fahrt auf. Der Handlungsbedarf wird konkreter.“ (Ciupek/Hartbrich 2015, S. 1) Diese Einschätzung zum aktuellen Implementierungsstand ist weit verbreitet. Es findet ein kontinuierliches Herantasten der Industrie an eine digitale Zukunft statt. In der Debatte um Industrie 4.0 lassen sich drei Szenarien unterscheiden (vgl. Buhr 2015; Windelband/Spöttl 2012, S. 217):

- das Werkzeugenszenario: Entwicklung von Expertensystemen mit Werkzeugcharakter für qualifizierte Fachkräfte. Die Gestaltung der Technologien er-

öffnet Fachkräften verschiedene Möglichkeiten, Aufgaben auf der Shop-floor-Ebene wahrzunehmen;

- das Automatisierungsszenario: Einschränkungen des Gestaltungsspielraums für Fachkräfte und Entwertung deren Qualifikationen durch das Vordringen intelligenter, sich selbst steuernder Technologien bei Anlagen und Maschinen, Produktion und Logistik;
- das Hybridszenario: Die Entwicklung von neuen Interaktions- und Kooperationsformen bei Steuerungs- und Kontrollaufgaben führt zu neuen Anforderungen an die Fachkräfte, da Menschen und Maschinen zusammenarbeiten. Die Art und Qualität der Anforderungen wird in letzter Konsequenz von den Zuschnitten der Arbeitsorganisation bestimmt.

Wenn die zukünftige Entwicklung in Richtung Werkzeugenszenario geht und der Mensch (Facharbeiter) eine Mitgestaltungsmöglichkeit erhält, wird Industrie 4.0 als „Assistenzsystem“ betrieblich eingebettet. Die fachliche Kompetenz der Beschäftigten wird in diesem Szenario durch die Gestaltung der Technologien gestärkt. Die Kompetenzanforderungen setzen voraus, dass die notwendigen Informationen zur Beherrschung der Arbeitsprozesse bereitgestellt werden und für die Kompetenzentwicklung passende Qualifizierungsansätze zur Verfügung stehen. Facharbeiter und Technologie würden sich hier gegenseitig kontrollieren und beeinflussen, jedoch würde der Mensch immer noch die Entscheidungsgehalt behalten. Der Facharbeiter wäre hier noch der „Lenker und Denker“ im System (vgl. Windelband 2014, S. 156).

Beim Automatisierungsszenario kann hingegen davon ausgegangen werden, dass mittels der Vernetzung und intelligenten Selbststeuerung der Produktion die Fachkräfte durch eine intelligente Produktion gelenkt werden. Sie werden kaum mit Informationen versorgt. Ihnen obliegt die Übernahme von Restfunktionen in Form einfacher Tätigkeiten. Als Maschinenbediener sind Angelernte gefragt; wenn die Intelligenz der Anlagen versagt, Probleme auftreten und Reparaturen oder Instandhaltung notwendig werden, dann sind hoch qualifizierte Fachkräfte erforderlich. Angesprochen sind hier beispielsweise Experten für Visual Control, die Kamera-, Laser- und Sensortechnik sowie Roboterinstandsetzung beherrschen. Für diese Fälle ist ein Expertenwissen notwendig, das heute bereits Gegenstand in verschiedenen Berufsbildern der Metall- und Elektrotechnik ist (z.B. beim Mechatroniker/in). Die Antwort auf diese Herausforderung ist oft eine hoch entwickelte, sich selbst optimierende Technik, die eine gelenkte Gestaltung der Arbeitsprozesse anstrebt. Diese Entwicklungsrichtung hat jedoch deutliche Grenzen, weil nicht alle Unwägbarkeiten vorhersehbar sind, wie sich auch in der hoch entwickelten Diagnosetechnik zeigt (vgl. Becker 2003). Anzunehmen ist folgende Entwicklung:

„Während einfache Tätigkeiten durch die Rationalisierungs- und Automatisierungspotenziale wegfallen werden, werden gleichzeitig höhere Anforderungen an die menschliche Arbeit durch eine Ausweitung und Spezialisierung der Aufgaben gestellt.“ (Bothhof et al. 2009, S. 13)

Eine der zentralen Fragen ist dabei, mit welchen Qualifikationsprofilen die höheren Anforderungen zu bewältigen sind, wie also Menschen, die nicht der Rationalisierung zum Opfer fallen, zu qualifizieren sind.

Im Hybridszenario wird der Dualismus zwischen Mensch und Technik zugunsten neuer Kooperationsformen aufgebrochen (vgl. Buhr 2015). Die Interaktion findet zwischen humaner und maschineller Intelligenz statt, wobei sich die „Akteure“ in ihren grundsätzlichen Verhaltensweisen erheblich voneinander unterscheiden. Der im Diskurs um Industrie 4.0 formulierte Aspekt der verbesserten Flexibilitätorganisation und Work-Life-Balance (Promotorengruppe 2013, S. 20) knüpft hier durch das interaktive Zusammenspiel zwischen Mensch und Technik an. Das Hybridszenario unterstreicht, dass die Einführung vernetzter technischer Systeme keineswegs automatisch der Logik technisch-wissenschaftlicher Rationalität folgen muss. Durch die neuen Möglichkeiten der cyber-physischen Systeme wird es möglich, Prozessdaten zu erfassen und zu visualisieren, um so dem Menschen Einblick in die Systemkomplexität zu verschaffen. Ähnlich formuliert auch Kagermann (2014) die Chancen der intelligenten Produktion. Danach ermöglicht Industrie 4.0 eine „bessere Qualität an Arbeit“ (ebd., S. 608), da sich einerseits Arbeitszeiten und -räume flexibilisieren und individualisieren lassen und somit eine bessere Work-Life-Balance möglich werde. Andererseits führe die intelligente Produktion – so Kagermanns Prognose – dazu, dass Mitarbeiter immer weniger als Maschinenbediener eingesetzt werden, „sondern mehr in der Rolle des Erfahrungsträgers, Entscheiders und Koordinators, um die richtige Balance zwischen Effizienz und Flexibilität auszuloten“ (ebd.). Sollte dieses Szenario zum Tragen kommen, dann stellt sich die Frage, wie die Personen „oberhalb“ des Maschinenbedieners zu qualifizieren sind, was das für Wirkungen auf Berufsprofile hat und welche Rolle dabei zukünftig Hochschulabsolventen spielen werden.

Mit den Szenarien gehen sehr unterschiedliche Ausprägungen der Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine einher. Während im Automatisierungsszenario physisch belastende ebenso wie intelligente Arbeit (Steuerungs- und Kontrollaufgaben ebenso wie predictive maintenance) von den Maschinen übernommen werden, ist die Mensch-Maschine-Schnittstelle im Werkzeugenszenario von der jeweiligen Expertise des Beschäftigten und den Arbeitsorganisationsformen abhängig. Die Maschine assistiert und der Beschäftigte übernimmt die Gestaltungshoheit. Im Hybridszenario kommt es zu einer Ausdifferenzierung der Mensch-Maschine-Schnittstellen sowie zu einer lernenden Mensch-Maschine-Interaktion.

Welches der drei Szenarien dominieren wird oder ob letztlich ein Querschnitt der verschiedenen Möglichkeiten zum Tragen kommt, hängt maßgeblich davon ab, wie in den Unternehmen die CPS-Technologien anschlussfähig gemacht werden können und inwieweit im Umsetzungsprozess die Arbeitsorganisation im sozio-technischen System verstanden wird. In Veröffentlichungen zur Hightech-Strategie der Bundesregierung dominiert das Automatisierungsszenario. Die Entscheidungen fallen jedoch letztlich in den Unternehmen und hängen sehr stark von dort vorhandenen Gestaltungskompetenz ab. Über welche Expertise Fachkräfte deshalb verfügen müssen, hängt von den jeweiligen einzelnen betrieblichen Entwicklungspfaden ab und ist bisher in letzter Konsequenz kaum überzeugend zu beantworten.

3.2 Einsatzbereiche des „Internet der Dinge“ als Teilsystem von Industrie 4.0

Es gibt verschiedene Bereiche, die für einen Einsatz von Teilgebieten von Industrie 4.0 sinnvoll scheinen. Das „Internet der Dinge“ ist solch ein Anwendungsfall. Im Folgenden wird ein Überblick über wirtschaftlich besonders relevante Anwendungsgebiete gegeben. Abschließend wird verdeutlicht, warum gerade in der Logistik und in der industriellen Produktion ein Einsatz solcher Technologien langfristig zu erwarten ist.

„Angesichts von Outsourcing und der Verlagerung von Tätigkeiten an Zulieferer, verteilter Fertigungsprozesse an unterschiedlichen Standorten, Verringerung von Lagerbeständen durch just in time Produktion etc. kommt einer ausgefeilten und effizienten Logistik eine Schlüsselrolle in modernen Industriestaaten zu.“ (Bothhof et al. 2009, S. 12)

Um im Bereich des Waren- und Gütertransports dieser Schlüsselrolle gerecht zu werden, bietet die Einführung von Technologien wie das Internet der Dinge zahlreiche Optimierungspotenziale. So lässt sich eine höhere Dynamik der logistischen Prozesse erzielen, während die Waren- und Informationsflüsse gleichzeitig sicherer und schneller werden.

Zu den Zielen, die durch den Einsatz von RFID oder gar des Internets der Dinge in der Logistik verfolgt werden, können folgende gezählt werden:

- „Tracking & Tracing“ – die örtliche und zeitliche Verfolgung des Warenstroms und der Warenträger,
- Beobachtung der durchlaufenden Zustände oder Verfahrensweisen,
- Unterstützung bei der Klärung von Haftungs- bzw. Rechtsfragen,
- Automatisierung der Prozesssteuerung,
- Automatisierung von Warenkontrollen,
- Automatisierung von Informationsflüssen (vgl. ebd.).

Um wettbewerbsfähig zu bleiben, erweitern immer mehr Logistik-Dienstleister ihr Aufgabenspektrum zugunsten eines Services rund um Waren-, Daten- und Informationsflüsse (Kontrakt-Logistik). Um auf diese Weise sowohl produktions- als auch kundennahe Schritte in der Wertschöpfungskette übernehmen zu können, bietet sich das Internet der Dinge als Werkzeug an (vgl. Windelband/Spöttl 2012).

Im Bereich des Supply-Chain Managements können durch den Einsatz der Internet-der-Dinge-Technologien die Materialbewegungen und die Verfügbarkeiten automatisch ermittelt und analysiert werden. Zudem können Gegenstände durch den Einsatz von „Smart Labels“ in Kombination mit unterschiedlicher Sensorik ein „digitales Produktgedächtnis“ (englisch „Semantic Product Memory“ oder „Semprom“) erhalten und eigenständige Informationen aus der Umgebung sammeln, speichern und auf Abruf preisgeben. Hierdurch wird es nicht nur möglich, eine lückenlose Rückverfolgung zu realisieren und Informationen zum Warenzustand, Frischegrad, Lagertemperatur, Lagerort etc. zu sammeln, zu speichern und jederzeit per Funk auszulesen, sondern auch Dienstleistungsangebote zu verbessern (vgl. Brand et al. 2009, S. 106f.).

Mit dem Einsatz des Internets der Dinge in der industriellen Produktion werden verschiedene Anwendungsfelder adressiert. Zeller et al. (2010) nennen dazu:

- Überwachung von Anlagen durch intelligente und miteinander kommunizierende Maschinen,
- Überwachung der Produktion durch Informationsspeicherung am Produkt,
- intelligente Materialbeschaffung über automatisierte Kanban-Systeme,
- selbstorganisierende Produktion in der digitalen Fabrik.

Eine der wichtigen Fragen ist, welche Konsequenzen diese technologischen Anwendungsfelder für die Qualifizierung der Mitarbeiter haben werden. Antworten dazu sind noch zu untersuchen.

4. Qualifizierungsansprüche und Industrie 4.0

4.1 Spannungsfeld Qualifizierung

Kärcher (2014, S. 20) stellt fest, dass

„der Mensch (...) ein integraler und unverzichtbarer Bestandteil der Produktionswelt der Zukunft [bleibt], denn er ist der flexibelste und intelligenteste Teil der heutigen und auch künftigen Fabrik. Mit der Industrie 4.0 wandern Mensch und Technik noch enger zusammen.“

Solche normativen Aussagen sind bei der Diskussion um Industrie 4.0 häufig anzutreffen. Sie klären jedoch nicht, wie das Verhältnis zwischen Mensch und Maschine näher ausgestaltet werden soll (vgl. dazu die oben formulierten Szenarien). Positiv ist, dass eine deutliche Abkehr von einer menschenleeren Fabrik signalisiert wird. Als evolutionärer Prozess knüpft das Konzept Industrie 4.0 an bereits vorhandene Steuerungsarchitekturen an, die in den letzten Jahrzehnten im Rahmen von CIM entwickelt wurden. Die Wahrscheinlichkeit allerdings, dass es in Zukunft einzelne Produktionsprozesse geben wird, die weitgehend ohne ein menschliches Eingreifen funktionieren werden, ist sehr groß. Ob sich diese auf einzelne Bereiche mit einer hohen Standardisierung begrenzen werden (vgl. Hirsch-Kreinsen 2013, S. 2), ist eine bisher offene Frage. Die vorsichtige Verbreitung des Internet der Dinge (vgl. Abicht/Spöttl 2012) zeigt, dass die Einführung von Industrie 4.0 zum einen maßgeblich von bereits vorhandenen Produktionstechnologien und zum anderen von den jeweiligen Arbeitsorganisationsformen abhängig ist. Derzeit wird davon ausgegangen, dass für Arbeiten, die Expertenwissen voraussetzen, das Automatisierungsszenario eher unwahrscheinlich ist – Entscheidungen über die Implementierung neuer Technologien werden erheblich beeinflusst von möglichen organisatorischen Gestaltungsformen, dem vorhandenen Qualifikationsniveau, den Gewinnerwartungen und den Interessen der beteiligten Entscheider.

4.2 „Rollenverteilung“ zwischen Mensch und Maschine in der industriellen Produktion

Die Digitalisierung der Arbeitswelt in den letzten Jahren zeigt, dass sich die Rolle der Mitarbeiter in der industriellen Produktion weiter verändert. Die Zunahme des Automatisierungsniveaus hat zur Folge, dass vor allem einfache Routineaufgaben sowie körperlich anstrengende oder hochpräzise Aufgaben – beispielsweise Qualitätskontrollen durch Lasertechnologie – von Maschinen übernommen werden. Weyer begreift die Rolle des Individuums in der Automationsarbeit als ambivalent, da direkte, manuelle Eingriffe des Menschen und somit schwere körperliche Belastungen weitgehend eliminiert werden, die Anforderungen in Bezug auf planerische und überwachende Tätigkeiten jedoch steigen (vgl. Weyer 2005).

Die Automatisierung von Produktionsprozessen führt zu Arbeitsprozessen, die zunehmend komplizierter, komplexer und qualitativ anspruchsvoller werden. Der Einsatz computergestützter Maschinen macht aus einst teils simplen Vorgängen ein hochkomplexes System, welches Mitarbeiter mitunter nicht einmal mehr vollständig überblicken oder gar verstehen. Diese anspruchsvollen hochautomatisierten Prozesse sowie deren Intransparenz erschweren die mentale Repräsentation des Gesamtgeschehens, welche für eine rechtzeitige Identifikation

Um wettbewerbsfähig zu bleiben, erweitern immer mehr Logistik-Dienstleister ihr Aufgabenspektrum zugunsten eines Services rund um Waren-, Daten- und Informationsflüsse (Kontrakt-Logistik). Um auf diese Weise sowohl produktions- als auch kundennahe Schritte in der Wertschöpfungskette übernehmen zu können, bietet sich das Internet der Dinge als Werkzeug an (vgl. Windelband/Spöttl 2012).

Im Bereich des Supply-Chain Managements können durch den Einsatz der Internet-der-Dinge-Technologien die Materialbewegungen und die Verfügbarkeiten automatisch ermittelt und analysiert werden. Zudem können Gegenstände durch den Einsatz von „Smart Labels“ in Kombination mit unterschiedlicher Sensorik ein „digitales Produktgedächtnis“ (englisch „Semantic Product Memory“ oder „Sempro“) erhalten und eigenständige Informationen aus der Umgebung sammeln, speichern und auf Abruf preisgeben. Hierdurch wird es nicht nur möglich, eine lückenlose Rückverfolgung zu realisieren und Informationen zum Warenzustand, Frischegrad, Lagertemperatur, Lagerort etc. zu sammeln, zu speichern und jederzeit per Funk auszulesen, sondern auch Dienstleistungsangebote zu verbessern (vgl. Brand et al. 2009, S. 106f.).

Mit dem Einsatz des Internets der Dinge in der industriellen Produktion werden verschiedene Anwendungsfelder adressiert. Zeller et al. (2010) nennen dazu:

- Überwachung von Anlagen durch intelligente und miteinander kommunizierende Maschinen,
- Überwachung der Produktion durch Informationsspeicherung am Produkt,
- intelligente Materialbeschaffung über automatisierte Kanban-Systeme,
- selbstorganisierende Produktion in der digitalen Fabrik.

Eine der wichtigen Fragen ist, welche Konsequenzen diese technologischen Anwendungsfelder für die Qualifizierung der Mitarbeiter haben werden. Antworten dazu sind noch zu untersuchen.

4. Qualifizierungsansprüche und Industrie 4.0

4.1 Spannungsfeld Qualifizierung

Kärcher (2014, S. 20) stellt fest, dass

„der Mensch (...) ein integraler und unverzichtbarer Bestandteil der Produktionswelt der Zukunft [bleibt], denn er ist der flexibelste und intelligenteste Teil der heutigen und auch künftigen Fabrik. Mit der Industrie 4.0 wandern Mensch und Technik noch enger zusammen.“

Solche normativen Aussagen sind bei der Diskussion um Industrie 4.0 häufig anzutreffen. Sie klären jedoch nicht, wie das Verhältnis zwischen Mensch und Maschine näher ausgestaltet werden soll (vgl. dazu die oben formulierten Szenarien). Positiv ist, dass eine deutliche Abkehr von einer menschenleeren Fabrik signalisiert wird. Als evolutionärer Prozess knüpft das Konzept Industrie 4.0 an bereits vorhandene Steuerungsarchitekturen an, die in den letzten Jahrzehnten im Rahmen von CIM entwickelt wurden. Die Wahrscheinlichkeit allerdings, dass es in Zukunft einzelne Produktionsprozesse geben wird, die weitgehend ohne ein menschliches Eingreifen funktionieren werden, ist sehr groß. Ob sich diese auf einzelne Bereiche mit einer hohen Standardisierung begrenzen werden (vgl. Hirsch-Kreinsen 2013, S. 2), ist eine bisher offene Frage. Die vorsichtige Verbreitung des Internet der Dinge (vgl. Abicht/Spöttl 2012) zeigt, dass die Einführung von Industrie 4.0 zum einen maßgeblich von bereits vorhandenen Produktionstechnologien und zum anderen von den jeweiligen Arbeitsorganisationsformen abhängig ist. Derzeit wird davon ausgegangen, dass für Arbeiten, die Expertenwissen voraussetzen, das Automatisierungsszenario eher unwahrscheinlich ist – Entscheidungen über die Implementierung neuer Technologien werden erheblich beeinflusst von möglichen organisatorischen Gestaltungsformen, dem vorhandenen Qualifikationsniveau, den Gewinnerwartungen und den Interessen der beteiligten Entscheider.

4.2 „Rolleverteilung“ zwischen Mensch und Maschine in der industriellen Produktion

Die Digitalisierung der Arbeitswelt in den letzten Jahren zeigt, dass sich die Rolle der Mitarbeiter in der industriellen Produktion weiter verändert. Die Zunahme des Automatisierungsniveaus hat zur Folge, dass vor allem einfache Routineaufgaben sowie körperlich anstrengende oder hochpräzise Aufgaben – beispielsweise Qualitätskontrollen durch Lasertechnologie – von Maschinen übernommen werden. Weyer begreift die Rolle des Individuums in der Automationsarbeit als ambivalent, da direkte, manuelle Eingriffe des Menschen und somit schwere körperliche Belastungen weitgehend eliminiert werden, die Anforderungen in Bezug auf planerische und überwachende Tätigkeiten jedoch steigen (vgl. Weyer 2005).

Die Automatisierung von Produktionsprozessen führt zu Arbeitsprozessen, die zunehmend komplizierter, komplexer und qualitativ anspruchsvoller werden. Der Einsatz computergestützter Maschinen macht aus einst teils simplen Vorgängen ein hochkomplexes System, welches Mitarbeiter mitunter nicht einmal mehr vollständig überblicken oder gar verstehen. Diese anspruchsvollen hochautomatisierten Prozesse sowie deren Intransparenz erschweren die mentale Repräsentation des Gesamtgeschehens, welche für eine rechtzeitige Identifikation

von Störfällen notwendig ist. Die Schwachstellen hochautomatisierter Systeme werden vor allem darin gesehen, im Vertrauen auf den technischen Fortschritt zu ignorieren, dass mit der Informatisierung technischer Systeme neben Effizienzvorteilen auch bisher nicht bekannte Belastungen und Risiken verbunden sind. In Untersuchungen zum Internet der Dinge ist deutlich geworden, dass besonders die „Bildung eines inneren Bildes“ vielen Mitarbeitern schwer fällt. Eine verstärkte Automatisierung der Produktionsprozesse und deren virtuelle Steuerung dürften diesen Sachverhalt verstärken. Das regelrechte „Einfließen durch den Computer“ führt dazu, dass dem Mitarbeiter jegliches Situationsbewusstsein abhandenkommt (vgl. Fenzl et al. 2010, S. 22).

Offen ist derzeit noch, wie mit der wachsenden Distanz von Fachkräften zum Fertigungsprozess umgegangen werden soll und welche Konsequenzen damit für die Qualifizierung und Kompetenzentwicklung einhergehen. Gerade die bei intelligenten Fertigungsprozessen in den Prozess integrierte Fertigungssteuerung führt dazu, dass traditionelle Kontrollaufgaben entfallen und immer mehr Entscheidungen an die Maschinen übertragen werden. Damit sind auch Risiken verbunden:

- „Die fortschreitende Verwissenschaftlichung und Technisierung aller gesellschaftlichen Bereiche beinhaltet die Gefahr, dass wir – so paradox es klingen mag – zunehmend die Kontrolle über die Prozesse verlieren, weil wir immer mehr Entscheidungen an hochautomatisierte, intelligente Systeme delegieren.“ (Weyer 2005, S. 2)

Dabei gewinnen die bereits vor über 30 Jahren formulierten „Ironies of Automation“ (Bainbridge 1983) an Aktualität. Kennzeichnend für die Automatisierungsdilemmata ist, dass bei zunehmender Prozessautomatisierung die Aufgaben der Beschäftigten in erster Linie in der Überwachung und Steuerung liegen, die konkreten Prozessschritte intransparent bleiben und die „funktionale und informationelle Distanz“ (Hirsch-Kreinsen 2014, S. 14) zunimmt. Die Ironie besteht nun darin, dass bei Störungen der Mensch eingreifen muss, obgleich er immer weniger konkret im Bilde ist (vgl. Hartmann 2014). Dazu kommt, dass Störungen in der Regel anspruchsvolle und nicht alltägliche Aufgaben stellen, so dass dem Menschen immer weniger Gelegenheiten eröffnet wird, konkrete Erfahrungen zu sammeln.

4.3 Verlust von Expertise und Erfahrungswissen?

Die Annahme, dass Fachkräfte in vielen Fällen nicht länger aktiver Bestandteil des Produktionsgeschehens sind und in eine distanzierte Kontrollposition verdrängt werden, hat zur Folge, dass die Mitarbeiter an Expertise und Erfahrung im Produktionsprozess verlieren und komplexere Produktionsprozesse nicht

mehr beherrschen. Die Gefahr hierbei ist, dass sie sich auf funktionierende automatische Prozesse verlassen und an Wissen und Erfahrung zur Bewältigung der Prozesse verlieren (vgl. Fleisch et al. 2005, S. 33). Aufgrund der Komplexität der hochtechnisierten Systeme sowie der Fülle von Einflussfaktoren, die weder in ihrer Art noch in ihrer Wirkung hinreichend fassbar sind, gewinnt neben dem fundierten theoretischen Fachwissen und einem planmäßig systematischen, sogenannten objektivierenden Arbeitshandeln das erfahrungsgelernte Handeln an Bedeutung (vgl. Bauer et al. 2002, S. 277). Die Potenziale von Industrie 4.0 lassen vermuten, dass unser bisheriges Verständnis von Erfahrungswissen als ein körpergebundenes, haptisches und intuitives Wissen dahingehend zu hinterfragen ist, inwieweit durch zunehmende Vernetzung und Automatisierung ein Erfahrungswissen an Relevanz gewinnt, das sowohl ein „Gespür für die Maschine“ als auch ein „Gespür für die Vernetzungsstrukturen“ bedingt. Als ausgewählte charakteristische Merkmale für subjektivierendes, erfahrungsgelerntes Arbeitshandeln können nach Bauer et al. (ebd., S. 278f.) folgende benannt werden:

- Eine sinnliche Wahrnehmung von Informationen, die weder technisch vorgegeben noch exakt definierbar oder messbar sind.
- Die Bildung eines „inneren Bildes“ von Anlagen. Hier werden beispielsweise Eigenschaften von Anlagen, bestimmte Produktionsereignisse, aber auch Gerüche oder Geräusche aufgenommen und im Gedächtnis behalten.

Es wird eine Sache der Gestaltung der sozio-technischen Systeme sein, ob allein objektivierende und zweckrationale Ausrichtungen zum Tragen kommen oder auch subjektivierendes, erfahrungsgelerntes Handeln eine Chance hat. Nach bisherigen Erkenntnissen wird es eher als Voraussetzung für ein funktionierendes hybrides System aus Mensch und Maschine in der industriellen Produktion gesehen, dass sowohl objektivierendes, das heißt planmäßiges und systematisches, als auch subjektivierendes, das heißt erfahrungsgelerntes Arbeitshandeln notwendig sind. Für eine kompetente Anlagenführung wird es nicht ohne Qualifikationsprofile gehen, welche eine Kombination von theoretischem Wissen und praktischer Erfahrung garantieren. Ein solches Qualifikationsprofil ist letzten Endes Voraussetzung für ein improvisatorisch-experimentelles Arbeitshandeln in nicht zu vermeidenden Störfällen und für einen effizienten Anlagenbetrieb.

4.4 Anforderungen an die Qualifikation von Fachkräften

Die Entwicklungsrichtungen für die Gestaltung von Arbeit sind noch ungeklärt (vgl. Ciupek/Hartbrich 2015, S. 1). Dabei reicht es beispielsweise nicht, nur festzustellen, dass Industrie 4.0 nicht allein von IT-Technik dominiert ist, sondern es geht um die Gestaltung und Nutzung hoch automatisierter Anlagen (vgl. Ciupek 2015, S. 11). Deshalb kommt es darauf an, die Auswirkungen auf die

Arbeitsorganisation, die Verteilung von Arbeitsaufgaben und Arbeitsinhalte in der industriellen Produktion genauer zu untersuchen. Fünf Parameter lassen sich dazu aus den bisherigen Ausführungen generieren:

- durchgehende Vernetzung und Informationstransparenz,
- steigende Automatisierung von Produktionssystemen,
- Selbststeuerung und Entscheidungsfindung von Objekten,
- digitale Kommunikation und interaktive Managementfunktionen,
- Flexibilisierung des Mitarbeiterinsatzes.

Weiland (2013, S. 56ff.), der als einer der wenigen bisher den Qualifikationsbedarf auf der Grundlage genannter fünf Parameter empirisch erhoben hat, fasst seine Ergebnisse in Tabelle 1 zusammen. Bei der Erhebung wurde quantitativ vorgegangen.

Die Darstellung der Erhebungsergebnisse folgt einer der gängigen analytischen Differenzierungen zu Kompetenzen. Das hat zur Folge, dass sehr spezifische Herausforderungen bei den einzelnen in Tabelle 1 genannten Parametern nicht zum Tragen kommen, sondern eher der Qualifikationsbedarf auf einer Überblicksebene diskutiert wird. Viele der Aussagen wie beispielsweise erhöhte Flexibilität, kreative Fähigkeiten, Assoziationsfähigkeit und andere sind als überfachliche Kompetenzen nicht typisch für Industrie 4.0. Sie geben jedoch einen ersten Einblick in einen möglichen Qualifikationsbedarf. Einige der genannten Qualifikationsdimensionen wie

- Teamfähigkeit,
- Zuverlässigkeit,
- Mobilität,
- Präzisionsvermögen,
- Verhandlungsfähigkeit,
- Lernbereitschaft,
- Kooperationsbereitschaft

sind bereits heute fester Bestandteil von Metall- und Elektroberufen seit den Neuordnungen von 2003 und 2004. Andere, allerdings nur ganz wenige, wie

- generelles Verständnis für Maschineninteraktionen,
- allgemeine interdisziplinäre Methodenkenntnisse,
- grundlegende statistische Kenntnisse (Datenanalyse/-interpretation),

können als charakteristisch für Industrie 4.0 eingestuft werden. Mittels qualitativer empirischer Erhebungen zum Internet der Dinge konnten Weiland und Spöttl nachstehende Aufgaben identifizieren, die Personen beherrschen müssen, um die Prozessstabilität sicherzustellen (vgl. Weiland/Spöttl 2012):

Tab. 1: Qualifikationsbedarf bei Einführung von Industrie 4.0

| Kompetenzklasse | Anforderungen an direkte Mitarbeiter | Anforderungen an indirekte Mitarbeiter |
|---|--|--|
| Fachlich-methodische Kompetenzen | <ul style="list-style-type: none"> • Grundlegende Informationstechnische Kenntnisse • Generelles Verständnis für Maschineninteraktionen • Erhöhtes Präzisionsvermögen hinsichtlich taktischer und sensorischer Fähigkeiten • Weitgehendes Verständnis von Social Media-Funktionalitäten | <ul style="list-style-type: none"> • Allgemeine interdisziplinäre Fachkenntnisse • Allgemeine interdisziplinäre Methodenkenntnisse • Weitgehende Informationstechnische Kenntnisse • Weitgehende Ingenieurwissenschaftliche Kenntnisse • Weitgehende Kenntnisse in der Automatisierungstechnik • Grundlegende statistische Kenntnisse (Datenanalyse/-interpretation) • Weitgehendes Verständnis von Social Media-Funktionalitäten |
| Sozial-kommunikative Kompetenzen | <ul style="list-style-type: none"> • Kooperationsbereitschaft • Erhöhte Kommunikationsfreude • Partnerschaftliches Denken • Teamfähigkeit • Vertrauenswürdigkeit • Weitgehende Kundenorientierung • Erweiterte Aufgeschlossenheit bzw. Zusammenarbeitsbereitschaft mit Maschinen | <ul style="list-style-type: none"> • Kooperationsbereitschaft • Erhöhte Kommunikationsfreude • Partnerschaftliches Denken • Teamfähigkeit • Verhandlungsfähigkeit • Vertrauenswürdigkeit • Weitgehende Kundenorientierung |
| Personale Kompetenzen | <ul style="list-style-type: none"> • Stetige und kurzfristige Lernbereitschaft • Erhöhte Stressresistenz • Zuverlässigkeit • Eigenverantwortung | <ul style="list-style-type: none"> • Stetige und kurzfristige Lernbereitschaft • Erhöhte Stressresistenz • Zuverlässigkeit • Eigenverantwortung |
| Aktivitäts- und umsetzungsorientierte Kompetenzen | <ul style="list-style-type: none"> • Erhöhte Flexibilität bzgl. Tätigkeit • Erhöhte Flexibilität bzgl. Arbeitszeit • Kreative Fähigkeiten • Assoziationsfähigkeit • Ganzheitliche Sichtweise • Grundsätzliche Leistungsorientierung • Weitgehende Entscheidungsfreude • Grundsätzliche Mobilität | <ul style="list-style-type: none"> • Erhöhte Flexibilität bzgl. Tätigkeit • Erhöhte Flexibilität bzgl. Arbeitszeit • Kreative Fähigkeiten • Assoziationsfähigkeit • Ganzheitliche Sichtweise • Grundsätzliche Leistungsorientierung • Weitgehende Entscheidungsfreude • Grundsätzliche Mobilität |
| Kognitive Kompetenzen | <ul style="list-style-type: none"> • Erhöhte Reaktionsfähigkeiten • Schlussfolgerndes Denken • Weitgehendes technisches Verständnis | <ul style="list-style-type: none"> • Erhöhte Reaktionsfähigkeiten • Schlussfolgerndes Denken • Weitgehendes technisches Verständnis |

Quelle: Weiland 2013, S. 72

- Zusammenarbeit mit Ingenieuren und anderen Experten zur Software- und Produktkonzipierung und -entwicklung,
- Analyse der Arbeitsprozesse,
- Software-Anpassung/-Programmierung für die betriebspezifischen Anforderungen,
- Kommunikation sichern zu anderen Bereichen, wie Disposition und Abrechnung,
- Installation von Software und zusätzlichen Diensten; Vernetzung mit anderen IT-Systemen,
- Implementierung des Systems im Arbeitsprozess (Montage, Installation, Anpassung und Einweisung der Mitarbeiter),
- Pflege, Wartung und Optimierung der Systeme (Telematikanwendung, RFID-Ausleser),
- Datenmanagement (Störmeldungen erfassen) und
- Steuerung, Stabilisierung und Optimierung logistischer Abläufe.

Aber auch hier ist feststellbar, dass der fehlende Kontextbezug dazu führt, dass die Aussagen nur eine Orientierung geben können. Hinweise für ein geeignetes Qualifizierungsniveau, das in einem Berufsbild verankert werden müsste, können diese Anforderungen nicht liefern. Auch sind die Informationen noch zu oberflächlich, um entscheiden zu können, ob Berufsbilder zu verändern oder neue Berufsbilder zu initiieren sind.

Die vorläufigen Erkenntnisse zur Qualifikationsentwicklung lassen noch keine grundsätzlichen Schlussfolgerungen zum Qualifikationsbedarf zu. Um das leisten zu können, sind empirische Untersuchungen in Anwendungsfeldern von Industrie 4.0 erforderlich.

5. Zusammenfassung

Generell werden sich im Zusammenhang mit Industrie 4.0 alle Beschäftigten der mittleren Qualifikationsstufe höheren Komplexitäts-, Abstraktions- und Problemlösungsanforderungen stellen müssen, da das Zusammenspiel und die Vernetzung technischer Systeme in den Gesamtprozessen zunehmen werden. Besonders für die geringqualifizierten Mitarbeiter wird der Gestaltungsspielraum weiter abnehmen, denn sie haben immer weniger Eingriffsmöglichkeiten in den Arbeitsprozess und müssen häufig vorgegebenen Arbeitsschritte nur noch abarbeiten.

Um den mit der Digitalisierung einhergehenden Wandel beschäftigungs- politisch und sozial verträglich zu gestalten, ist es dringend erforderlich, auf der mittleren Qualifizierungsebene zu untersuchen, wie sich das Aufgabenspektrum verändert. Dazu muss aber bekannt sein, auf welche Inhalte es ankommt. Bis-

lang fehlen allerdings empirische Befunde dazu, wie sich Aufgaben- und Kompetenzprofile verändern, wenn Produktionsprozesse verstärkt elektronisch und mit cyber-physischen Systemen dezentral gesteuert und eng vernetzt erfolgen und intelligente Werkstücke ihren Weg selbstständig organisieren. Um die Aufgabenveränderungen zu erschließen, bietet es sich an, grundlegende arbeits- und berufswissenschaftliche Studien zu initiieren, die sich mit der Entwicklung und Veränderung der Arbeitsprozesse auseinandersetzen, um davon ausgehend Rückschlüsse auf die Notwendigkeiten einer Aus- und Weiterbildung und die Ausgestaltung von Berufsbildern zu ziehen.

Ob gestalterische und planerische Aufgaben mit Möglichkeiten, in Prozessabläufe einzugreifen, der mittleren Beschäftigungsebenen vorbehalten bleibt oder aber angesichts der Systemkomplexität auf Ingenieursebene erfolgt, ist davon abhängig, inwieweit die Implementierung vernetzter Technologien als ein sozialer und arbeitsorganisatorischer Gestaltungsprozess verstanden wird, der auf die Expertise der Facharbeiter angewiesen ist. Erfolgt die Entwicklung und Steuerung der Prozessabläufe im Sinne des Werkzeugenszenarios, dann ist es möglich, dass die technischen Potenzialitäten nicht vollkommen ausgeschöpft werden. Das Gegenteil wäre der Fall, wenn die maschinelle Intelligenz so weit entwickelt sein sollte, dass sie die Entscheidungen selbst trifft. Einen anderen Stellenwert hat die Implementierung entsprechend dem Hybridszenario. Hier werden auf allen Qualifizierungsebenen neue Formen der Zusammenarbeit von Mensch und Technik mit erheblichen Flexibilitätsspielräumen, aber auch -notwendigkeiten für die Beschäftigten möglich.

Literatur

- Abicht, L./Spöttl, G. (Hg.) 2012: Qualifikationsentwicklungen durch das Internet der Dinge – Trends in Logistik, Industrie und „Smart House“. Bielefeld
- Acatelch 2013: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, Frankfurt/M.
- Bainbridge, L. 1983: Ironies of Automation. In: *Automatica*, Vol. 19 (1983), No. 6, S. 775–779
- Bauer, H. G./Böhle, F./Munz, C./Pfeiffer, S./Wöckle, P. 2002: Hightech-Gespür – Erfahrungsgelaitetes Arbeiten und Lernen in hochtechnisierten Arbeitsbereichen. Bielefeld
- Bauernhansl, T. 2013: Forschen für agile IT-Infrastrukturen. In: *VDMA Nachrichten*, Ausgabe März 2013 S. 30–31 (Internet: http://www.vdma.org/documents/105628/1169735/03-2013+VDMA-Nachrichten_BP.pdf?7bd7949e-de7e-412d-afc3-ba011eba6aff); zuletzt aufgesucht am 21.03.2014)
- Bauernhansl, T. 2014: Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschöpfendes Produktionsparadigma. In: Bauernhansl, T./ten Hompel, M./Vogel-Heuser, B. (Hg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung – Technologien – Migration*. Wiesbaden, S. 6–35

- Becker, M. 2003: Diagnosearbeit im Kfz-Handwerk als Mensch-Maschine-Problem. Bielefeld
- Bothof, A./Bovenshulte, M./Domröse, W./Gäßner, K./Hartmann, E. A./Wessels, J. 2009: Das Internet der Dinge – ein Überblick. In: Bothof, A./Bovenshulte, M. (Hg.): Das „Internet der Dinge“ – Die Informatisierung der Arbeitswelt und des Alltags. Arbeitspapier 176 der Hans-Böckler-Stiftung. Düsseldorf, S. 7–14.
- Brand, L./Hülser, T./Grimm, V./Zweck, A. 2009: Internet der Dinge. Übersichtsstudie. Hg. v. Zukunftsige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH, Zukunftsige Technologien, 80. Düsseldorf: VDI-Technologiezentrum, S. 106–117 (Internet: http://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur/dps_bilder/TZ2009/Band%2080_IdD_komplett.pdf; zuletzt aufgesucht am 16.10.2011)
- Brynjolfsson, E./McAfee, A. 2014: The Second Machine Age. Wie die nächste digitale Revolution unser aller Leben verändern wird. Kalmbach
- Buhr, D. 2015: Soziale Innovationspolitik für die Industrie 4.0. Expertise im Auftrag der Abteilung Wirtschafts- und Sozialpolitik der Friedrich-Ebert-Stiftung. Bonn
- Ciupke, M. 2015: „So schnell wie möglich zu einer Initiative des Maschinenhaus kommen.“ In: VDI nachrichten, Nr. 6, 06. Februar 2015, S. 11
- Ciupke, M./Harbrich, J. 2015: Industrie tastet sich an digitale Zukunft heran. In: VDI nachrichten, Nr. 5, 30. Januar 2015, S. 1
- Fenzl, C./Hirbarnik, K./Humecker, F./Riehl, T./Spötl, G./Städler, H. et al. 2010: QInDi – Abschlussbericht zur Studie „Qualifikationsanforderungen durch das Internet der Dinge in der Logistik“. BMBF-Abschlussbericht. Bremen
- Fleisch, E./Christ, O./Dierkes, M. 2005: Die betriebswirtschaftliche Vision des Internet der Dinge. In: Fleisch, E./Mattern, F. (Hg.): Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis: Visionen, Technologien, Anwendungen, Handlungsanleitungen. Berlin, S. 3–37
- Hartmann, E. 2014: Arbeitsgestaltung für Industrie 4.0: Alte Wahrheiten, neue Herausforderungen. In: Bothof, A./Hartmann, E. A. (Hg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Wiesbaden, S. 9–20
- Hirsch-Kreinsen, H. 2013: Industrie 4.0. Die menschenleere Fabrik bleibt eine Illusion. In: VDI nachrichten vom 20.09.2013
- Hirsch-Kreinsen, H. 2014: Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“. Soziologisches Arbeitspapier, Nr. 38 (2014). Dortmund
- Jasperse, J. 2012: Alter Wein in neuen Schläuchen? In: computer-automation (Internet: http://www.cit-ow1.de/uploads/media/410-10%20gh%20jasperse%20CA%202012-12_lowres1.pdf; zuletzt aufgesucht am 10.03.2015)
- Kagermann, H./Wahlster, W. (Hg.) 2013: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Frankfurt/M.
- Kagermann, H. 2014: Chancen von Industrie 4.0 nutzen. In: Bauernhansl, T./ten Hompel, M./Vogel-Heuser, B. (Hg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung Technologien – Migration. Wiesbaden, S. 603–614
- Kärcher, B. 2014: Erfahrungen und Herausforderungen in der Industrie. Alternative Wege in die Industrie 4.0. Möglichkeiten und Grenzen. In: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin, S. 19–25
- KMK 1996: Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Hg.): Handreichungen für die Erarbeitung von Rahmenlehr-

plänen der Kultusministerkonferenz (KMK) für den berufsbezogenen Unterricht in der Berufsschule und ihre Abstimmung mit Ausbildungsordnungen des Bundes für anerkannte Ausbildungsberufe (Internet: <http://www.kmk.org/doc/publ/handreich.pdf>; zuletzt aufgesucht am 13.07.2008)

Kurz, C. 2013: Qualität der Arbeit wird sich ändern. In: VDMA Nachrichten, März 2013, S. 26

Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft (Hg.) 2013: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Berlin

Schumann, M. 2013: Einleitung. Das Jahrhundert der Industriearbeit. In: ders.: Das Jahrhundert der Industriearbeit. Soziologische Erkenntnisse und Ausblicke. Weinheim, Basel, S. 7–42

VDMA 2013: Industrie 4.0: Revolution, Zukunftsthema oder IT-Hype? In: VDMA-Nachrichten, Ausgabe März (2013) (Internet: <http://www.vdma.org/article/-/articleview/1178359>; zuletzt aufgesucht am 10.03.2015)

Weiland, T. 2013: Arbeitsorganisation und Qualifikation in der Industrie 4.0. Bremen: Universität Bremen (FB Produktionstechnik: Masterarbeit)

Weyer, J. 2005: Bedeutung und Perspektiven der Wissenschaft in der hybriden Gesellschaft des 21. Jahrhunderts. In: Hartmann, W. (Hg.): Die Bedeutung der Wissenschaft für den Sport des 21. Jahrhunderts, Bonn

Windelband, I. 2014: Zukunft der Facharbeit im Zeitalter „Industrie 4.0“. In: Journal of Technical Education (JOTED), Jg. 2 (2014), Heft 2, S. 138–160

Windelhand, L./Spötl, G. 2012: Diffusion von Technologien in die Facharbeit und deren Konsequenzen für die Qualifizierung am Beispiel des „Internets der Dinge“. In: Faßhauer, U./Fürstenau, B./Wütke, E. (Hg.): Berufs- und wirtschaftspädagogische Analysen – aktuelle Forschungen zur beruflichen Bildung. Opladen, Farmington Hills, S. 205–219

Zeller, B./Achtenhagen, C./Föst, S. 2010: Internet der Dinge in der industriellen Produktion. Studie zu künftigen Qualifikationsanforderungen auf Fachkräfteebene. Abschlussbericht. Hg. v. Bundesministerium für Bildung und Forschung. Nürnberg, S. 106–117