

Industrie 4.0 –  
Annäherung  
an ein Konzept

Von  
Hansjürgen Paul

**Auf den Punkt**

- Die Entwicklung industrieller Produktionssysteme wird seit ca. fünf Jahren vom Konzept „Industrie 4.0“ dominiert.
- Dieses Konzept sieht vor, dass „Cyber-Physische Produktionssysteme“ zum Einsatz kommen, deren Komponenten via Internet vernetzt sind.
- Diese sollen dezentral gesteuert werden, das entstehende Produkt den Produktionsprozess selbst bestimmen.
- „Industrie 4.0“ verändert nicht nur die Art und Weise, wie produziert wird. „Industrie 4.0“ verändert Tätigkeiten und Berufe, Unternehmen und Branchen, die Art und Weise, wie Betriebe kooperieren.
- „Industrie 4.0“ ist Ausdruck der „Digitalisierung“.
- „Digitalisierung“ meint den Prozess des sozioökonomischen Wandels, der durch Einführung digitaler Technologien, darauf aufbauende Anwendungen und deren Vernetzung angestoßen wird.
- Es geht bei „Industrie 4.0“ und „Digitalisierung“ nicht um Veränderung in *einem* großen Schritt.
- Es geht um einen permanenten Wandlungsprozess – und um die Fähigkeit zu lernen und sich zu verändern. Als Unternehmen, als Organisation, als Individuum.
- Was „Digitalisierung“ bewirkt, ist nicht naturgesetzlich festgelegt; es ist gestaltbar.

Zentrale Einrichtung der  
Westfälischen Hochschule  
Gelsenkirchen Bocholt  
Recklinghausen in  
Kooperation mit der  
Ruhr-Universität Bochum

 **Westfälische  
Hochschule**

**RUHR  
UNIVERSITÄT  
BOCHUM** **RUB**

### Die Sache mit der Nummer

Verfolgt man die Publikationen und Diskussionen um den industriellen bzw. wirtschaftlichen Wandel im deutschsprachigen Raum, so drängt sich der Verdacht auf, dass es ohne die Label „Digitalisierung“ oder „4.0“ nicht geht. Der Sprachgebrauch bei der Digitalisierung reicht von der „digitalen Wirtschaft“, über die „digitale Revolution“, „digitale Strategien“, „digitale Kompetenzen“, „digitale Identität“, „digitale Klassenzimmer“, „Digitalisierungskongresse“, „Digitalität in den Geistes- und Kulturwissenschaften“ (JGU Mainz 2015), „digitale Kommunikation“, „digitale Werkzeuge“, über das „Digitalisierungszeitalter“, das „digitale Debakel“ (Keen 2015) bis hin zum „digitalen Wir“ (Schaar 2015) und zur „digitalen Gesellschaft“ (ID21 / TNSI 2014). Ob man sich mit den aktuellen Trends in der industriellen Fertigung als „Industrie 4.0“ auseinandersetzt (vgl. z.B. AK Industrie 4.0 2013, Bauer et al. 2014, Bauernhansl et al. 2014, Hirsch-Kreinsen et al. 2015) oder ob man über die wirtschaftliche Zukunft der Stadt Bochum und die Nachnutzung der ehemaligen Bergbauflächen des dortigen Opel-Werks unter dem Label „Bochum 4.0“ in einer öffentlichen Ringvorlesung nachdenkt (Bochum Marketing 2016), ob es um „Logistik 4.0“ (Hompel / Kerner 2015), „Energie 4.0“ (Rehtanz 2015), „Consulting 4.0“ (Werth et al. 2016), „Mittelstand 4.0“ (BMW 2015, 2016, Bischoff et al. 2015, Ludwig et al. 2016), Veranstaltungen zum Thema „Planen-Bauen 4.0“<sup>1</sup>, „Bergbau 4.0“<sup>2</sup>, „Kultur 4.0“, „Essen 4.0“ (MUKEBW 2015), „Zivilgesellschaft 4.0“ (HKW 2016), „Gender 4.0“ – nicht zu vergessen: „Frau 4.0“ (FES 2016) – oder dann schließlich doch um Arbeit bzw. „Arbeiten 4.0“ (z.B. BMAS 2015, 2016) geht – ohne den magischen Zusatz „4.0“ kommt man offenbar nicht mehr aus. Dieser Beitrag wird in diesem Punkt auch keine Ausnahme bilden.

Angefangen hat dieses „Bezeichnungsversioning“ wohl mit dem Schlagwort „Web 2.0“ für die anstehende Weiterentwicklung der Nutzung des World Wide Web. „Web 2.0“ geht nicht, wie oft vermutet, auf Tim O’Reillys Ausführungen 2005 zurück, sondern auf einen Zeitschriftenartikel von Eric Knorr aus dem Jahr 2003, in dem er Scott Dietzen zitiert (Knorr 2003)<sup>3</sup>. Durch diesen Artikel stieß die Öffentlichkeit erstmalig auf die Formulierung „Web 2.0“ – so zumindest die aktuell auf den Seiten von Wikipedia vertretene und bis in Vorlesungsskripte und Lehrbücher vorgedrungene Theorie (Wikipedia 2016).

Wären diese Versionsnummern nur Ausdruck eines gemeinsamen inhaltlichen Bezugs – dass also beispielsweise „Consulting 4.0“ (Werth et al. 2016) eine systematische, inhaltliche Erweiterung der Konzepte von „Industrie 4.0“ in Fragen des Consultings wäre –, so könnte man diese begriffliche Kennzeichnung als Ausdruck einer typisch nachlässigen Vorgehensweise der Informatik bei der „Begriffsbildung“ interpretieren, sie akzeptieren und adaptieren. Leider garantiert aber die gemeinsame Verwendung dieses Zusatzes „4.0“ keine inhaltliche Kompatibilität der Konzepte, keinen gleichwertigen Entwicklungsgrad, nicht einmal ein kompatibles Verständnis zentraler Bezeichnungen.<sup>4</sup>

Zur Verwendung von Versionsnummern gehört die Vorstellung, dass die neue Version die ältere Version ersetzt, es von einem Moment zum nächsten die alte Version nicht mehr gibt. Diese Vorstel-

<sup>1</sup> Siehe dazu [www.planen-bauen40.de](http://www.planen-bauen40.de)

<sup>2</sup> Siehe dazu [www.bergbau-vier-punkt-null.com](http://www.bergbau-vier-punkt-null.com)

<sup>3</sup> „...This is nothing less than the start of what Scott Dietzen, CTO of BEA Systems, calls the Web 2.0, where the Web becomes a universal, standards-based integration platform. Web 1.0 (HTTP, TCP/IP and HTML) is the core of enterprise infrastructure...” (Knorr 2003).

<sup>4</sup> In der Informatik bzw. im Software-Engineering ist Versionsverwaltung ein Versuch, die nahezu beliebige Änderbarkeit des Rohstoffs Quellcode in den Griff zu bekommen – so, dass Änderungen protokolliert, kooperatives Arbeiten und Archivierungsaufgaben unterstützt und vor allem unterschiedliche Entwicklungslinien organisiert werden können. So entstehen möglichst deterministisch Software-Artefakte mit Versionskennungen. Die Versionsnummer mit Haupt- und Nebenversionsnummer, Revisionsnummer usw. ist somit Ausdruck des Entwicklungsgrades in einem Entwicklungszweig. Nur weil zwei Programme die gleiche Versionsnummer haben, sind sie nicht zueinander kompatibel oder haben eine gemeinsame Schnittstelle. Sie teilen sich nur zufällig die gleiche Ziffernfolge.

lung überträgt sich durch den problematischen Sprachgebrauch – insbesondere bei Verwendung der ominösen Versionsnummer „4.0“ – auf das jeweilige Themengebiet, das unmittelbar zum verbesserungswürdigen Stück Software degradiert wird, wie etwa „Industrie 4.0“.

#### Was ist eigentlich dieses „Industrie 4.0“...?

Nicht wenige Publikationen zum Themenbereich „Industrie 4.0“ oder „Digitalisierung“ kommen ohne präzise Vorstellung dessen aus, was unter dieser Bezeichnung subsummiert wird. Das Deutsche Institut für Normung bringt es in der Selbstdarstellung seiner Arbeit auf den Punkt: „...Industrie 4.0 geht so: Die reale Welt vernetzt sich mit der virtuellen. Disziplinen wie Maschinenbau, Logistik und IT spielen zusammen. Global, reibungslos, effizient. ... Denn beim Thema Industrie 4.0 geht es jetzt vor allem darum: alle Akteure an einen Tisch bringen, die Interessen der deutschen Industrie bündeln, die Strategien für ein gemeinsames Vorgehen definieren. Und das alles am besten gestern...“ (DIN 2016).

Diese vermischte Darstellung von metaphorischer Beschreibung und zu erreichenden Zielen, mehr Charakterisierung als Definition, findet sich bereits bei den ersten öffentlichen Auftritten von „Industrie 4.0“. Die Bezeichnung „Industrie 4.0“ geht zurück auf die Handlungsempfehlungen der Promotorengruppe *Kommunikation* der Forschungsunion Wirtschaft-Wissenschaft. Diese hat am 25. Januar 2011 der Bundesregierung das Zukunftsprojekt „Industrie 4.0“ vorgeschlagen (Kagermann et al. 2011); im April 2011 wurde auf der Hannover Messe diese Zukunftsinitiative der Öffentlichkeit vorgestellt. Zwei Jahre später wurde der Abschlussbericht des Arbeitskreises mit den *Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt „Industrie 4.0“* der Bundesregierung übergeben (AK Industrie 4.0 2013). Dementsprechend mag es nicht verwundern, wenn es keine eindeutige, präzise Definition dafür gibt, was „Industrie 4.0“ ist, woran man an einem Stück Produktionstechnologie erkennen kann, ob es zu „Industrie 4.0“ gehört. „Industrie 4.0“ war und ist ein Szenario, ein Wunschbild, wie Produktion zukünftig aussehen soll:

„...Durch die digitale Veredelung von Produktionsanlagen und industriellen Erzeugnissen bis hin zu Alltagsprodukten mit integrierten Speicher- und Kommunikationsfähigkeiten, Funksensoren, eingebetteten Aktuatoren und intelligenten Softwaresystemen entsteht hier eine Brücke zwischen virtueller („cyber space“) und dinglicher Welt bis hin zur wechselseitigen feingranularen Synchronisation zwischen digitalem Modell und der physischen Realität ... In der Industrie führt dieser Ansatz zu einem Paradigmenwechsel, bei dem das entstehende Produkt erstmals eine aktive Rolle übernimmt: Nicht eine zentrale Steuerung, sondern quasi der Rohling für ein Produkt „sagt“, wie er in den einzelnen Fertigungsschritten bearbeitet werden muss. Das entstehende Produkt steuert somit den Produktionsprozess selbst, überwacht über die eingebettete Sensorik die relevanten Umgebungsparameter und löst bei Störungen entsprechende Gegenmaßnahmen aus – es wird gleichzeitig zum Beobachter und zum Akteur...“ (Kagermann et al. 2011).

Bereits diese frühe Eigendarstellung lieferte die Begründung für die „4.0“, es ging um die vierte industrielle Revolution. Als erste industrielle Revolution interpretierten Kagermann et al. 2011 die Einführung mechanischer Produktionsanlagen Ende des 18. Jahrhunderts. Die zweite industrielle Revolution war dann die arbeitsteilige Massenproduktion von Gütern mit Hilfe elektrischer Energie, verbunden mit den Konzepten des Fordismus und Taylorismus, seit der Wende zum 20. Jahrhundert. Ab Mitte der 1970er Jahre brach dann die bis heute andauernde dritte industrielle Revolution mit der von Elektronik und IT getriebenen weiteren Automatisierung von Produktionsprozessen aus (Kagermann et al. 2011). Auch in anderen Publikationen (z.B. Bauernhansl et al. 2014, Swisscom 2015) werden die einzelnen „Versionen“ anhand technischer Innovationen aus den letzten 270 Jahren industrieller Revolution beschrieben.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Nach Bauernhansl et al. (2014:5ff.) startete die erste industrielle Revolution um 1750, getrieben durch die Entwicklung der Dampfmaschine und die entsprechenden Transporttechnologien Dampfschiff und Eisenbahn. Für

Bei näherer Betrachtung fällt auf, dass die erste industrielle Revolution ca. 100 Jahre dauerte, die zweite ca. 120 Jahre und die dritte dann 40 Jahre. Revolutionen aber verändern Strukturen abrupt oder in sehr kurzer Zeit. Diese „industriellen Revolutionen“ charakterisieren Epochen – Zeiträume, in denen soziale Transformationen stattfanden. Diese lassen sich aber offenbar nicht an einzelnen Erfindungen festmachen; sie sind abhängig von sozialen Prozessen, von Strukturen, von Machtverhältnissen. Es sind keine neuen Versionen, die gemäß einer Roadmap installiert werden.

#### Und was ist dann „Digitalisierung“ ...?

Kaum eine Darstellung der mit dem Label „Industrie 4.0“ verknüpften Produktionsszenarien, Erwartungen, Wunschvorstellungen, aber auch kaum eine Schilderung der fatalen Konsequenzen, die mit „Industrie 4.0“ für Arbeitnehmer und Unternehmen, für Branchen und Wirtschaftsräume drohen, kommt ohne „Digitalisierung“ aus. Dabei verlassen sich zu viele Autoren und Redner dann in ihren weiteren Ausführungen darauf, dass die Bedeutung von „Digitalisierung“ intuitiv klar sei und alle Beteiligten auch das gleiche Verständnis von „Digitalisierung“ hätten.

Dem muss nicht so sein, „Digitalisierung“ ist eindeutig mehrdeutig. So kann „Digitalisierung“ auch den Umbau eines bisher analog gesteuerten Systems auf eine digitale Steuerung beschreiben, beispielsweise bei elektrischen Antriebssystemen von schienengebundenen Fahrzeugen, bei denen eine zuvor kontinuierliche Energiezufuhr durch von einem Computer anwählbare Fahrstufen ersetzt wird.

„Digital“ versteht sich als Antonym zu „analog“: „Analog“ meint „stetig“, „kontinuierlich“; „digital“ steht für „gestuft“, „diskret“ – nicht zu verwechseln mit „binär“ (umgangssprachlich: mit Nullen und Einsen). Digitaluhren stellen den Zeitverlauf gestuft dar, Analoguhren kontinuierlich<sup>6</sup>. Vinyl-Schallplatten geben Audiosignale kontinuierlich, stetig wieder, CDs gestufte Abbildungen des analogen Signals.

Moderne Computersysteme arbeiten<sup>7</sup> digital, d.h. dass die Daten in ihnen nicht in physikalischen Größen, sondern in Bitkombinationen (Dualdarstellung) dargestellt und verarbeitet werden. Somit bezeichnet man mit „Digitalisierung“ den Vorgang der Aufbereitung von nahezu jeder Form von Information zum Zweck der Speicherung und Verarbeitung in digitaler Form, beispielsweise Texte, Bilder, Audio- und Videodaten.

Mit „Digitalisierung“ bezeichnet man auch den Einsatz von Dokumentenkameras, um Buchbestände von Bibliotheken zu erschließen. Hierzu zählt auch der Einsatz von 3D-Laserscannern, um beispielsweise Kunstobjekte, archäologische Artefakte u.ä. für virtuelle Museen zu erfassen. Die Archäologie nutzt mit Kamerasystemen bestückte Flug- und Unterwasser-Drohnen, um Fundstätten histo-

---

die Swisscom-2015-Darstellung, die Unternehmer für die „digitale Transformation“ interessieren soll, beginnt die erste industrielle Revolution 1790 mit der ersten mechanischen Webmaschine, der Eisenbahn 1804 und dem Fotoapparat 1826 unter der Überschrift „Handwerk wird maschinell“. Die zweite industrielle Revolution war von der elektrischen Energie und von standardisierten Prozessen geprägt, 1878 mit der Erfindung der Glühbirne, 1894 mit der des Telefons, 1913 mit der des Fließbands. Der Mikroprozessor 1970 ermöglichte die speicherprogrammierte Steuerung der dritten industriellen Revolution, hier führten Elektronik und IT zur Automatisierung der Produktion. Ab 2011 ist dann alles mit allem vernetzt – das Internet of Things. Virtuelle und reale Welt verschmelzen in diesem Szenario miteinander (Swisscom 2015).

<sup>6</sup> Analoguhren, analoge Messinstrumente stellen über den aktuellen Wert auch noch die Distanz bis zu einem anderen Zeitpunkt bzw. Messwert dar – in vielen Anwendungssituationen eine höchst relevante zusätzliche Information. Und einer der Streitpunkte in den Feuilleton-Debatten beim Aufkommen der Digitaluhren in den 1970ern.

<sup>7</sup> Rechensysteme müssen nicht zwangsläufig digital arbeiten, Analogrechner kamen bis in die 1980er zum Einsatz, für Spezialaufgaben nutzte man auch Hybridrechner. Ein Rechenschieber ist Beispiel für einen mechanischen Analogrechner. Sein digitales Pendant ist der Abakus.

rischer Bebauungen zu erfassen.<sup>8</sup> Aus den Aufnahmen der Kameras können dann digitale 3D-Modelle errechnet werden, die weitere wissenschaftliche Auswertungen ermöglichen.

Weitere Digitalisierungsbeispiele für den Einsatz bildgebender Verfahren finden sich u.a. in der Medizin, in der Energiewirtschaft, in der Immobilienwirtschaft und beim Immobilienmanagement, im Marketing, in der Logistik und zahlreichen weiteren Dienstleistungs- und Produktionsbranchen.

Dieser technische Prozess der Aufbereitung von Information von einer analogen Existenz in ein digitales Abbild auf den Speichermedien eines Computers ist trotz seiner mannigfaltigen Erscheinungsformen nur eine Seite der Medaille. In der englischsprachigen Welt bezeichnet man sie als *digitization*.

“... In the OED, digitization refers to ‘the action or process of digitizing; the conversion of analogue data (esp. in later use images, video, and text) into digital form.’ Digitalization, by contrast, refers to ‘the adoption or increase in use of digital or computer technology by an organization, industry, country, etc.’ ... We follow this distinction in this article and define digitization as the material process of converting individual analogue streams of information into digital bits. In contrast, we refer to digitalization as the way in which many domains of social life are restructured around digital communication and media infrastructures...” (Brennen / Kreiss 2014)

Mit *digitalization* meint man demnach im Englischen gemäß Oxford English Dictionary die Annahme oder verstärkte Nutzung von Computertechnologie durch eine Organisation, eine Branche, ein Land bzw. in der Differenzierung von Brennen / Kreiss (2014) die Art, in der viele Bereiche des Soziallebens um digitale Kommunikation und mediale Infrastruktur neu ausgerichtet werden.

Die deutsche Sprache kennt eine solche Unterscheidung nicht. Dementsprechend beschreibt „Digitalisierung“ entweder den primär technischen Vorgang der Aufbereitung von Information in digitale Daten oder den Prozess des sozio-ökonomischen Wandels, der durch Einführung digitaler Technologien, darauf aufbauende Anwendungssysteme und ihre Vernetzung angestoßen wird (Hirsch-Kreinsen 2015c:10).

Diese Form der „Digitalisierung“ wirkt nicht in allen Wirtschaftsbereichen gleichmäßig und zur selben Zeit. Hirsch-Kreinsen (2015c:11) identifiziert für diesen Prozess des Wandels zwei Phasen. Die erste Phase hat sich seit Ende der 1990er Jahre dort durchgesetzt, wo Produktion, Konsumtion und Kommunikation unmittelbar auf immateriellen Transaktionen und der Nutzung von Daten und Informationen basieren. Als Beispiele nennt er Musikherstellung und -distribution, Verlags- und Zeitschriftenwesen sowie Finanzdienstleistungen.

Gegenwärtig findet die zweite Phase dieser Digitalisierung statt – eben jene Phase, in der sich in so unterschiedlichen Bereichen wie Wohnen, Medizin, Verkehr oder industrieller Produktion potentiell neue Nutzenpotenziale eröffnen und Digitalisierung sich auf Kernbereiche ökonomischen Handelns ausrichtet. Und in denen „Cyber-Physische Systeme“ zum Einsatz kommen.

#### Und was sind dann „Cyber-Physische Systeme“...?

Während „Industrie 4.0“ das Zukunftsszenario der digital vernetzten Produktion beschreibt und „Digitalisierung“ den Prozess des sozio-ökonomischen Wandels bezeichnet, meinen Cyber-Physische Systeme (CPS) bzw. Cyber-Physische Produktionssysteme (CPPS) jene Systeme, auf denen das informationstechnologische Zusammenspiel von einerseits physischen Systemen mit eingebetteter Software und andererseits globalen Datennetzen mit verteilten und interaktiven Anwendungssystemen stattfindet (Hirsch-Kreinsen 2015c:11).

Die Bezeichnung „cyber-physical systems“ tauchte erstmalig 2006 auf: Helen Gill von der National Science Foundation in den USA bezeichnete mit „cyber systems“ jene Systeme, die zu einer diskre-

<sup>8</sup> Archaeocopter und Archaeonautic der HTW Dresden und der FU Berlin, siehe dazu [www.archaeocopter.de](http://www.archaeocopter.de)

ten<sup>9</sup> Verarbeitung und Kommunikation von Information genutzt werden – während „physical systems“ zeitkontinuierlich arbeiten. Gill nutzte die Bezeichnung, um damit jene Systeme zu klassifizieren, in denen „cyber systems“ und „physical systems“ auf allen Ebenen eng mit einander verbunden sind (siehe dazu auch Lee / Seshia 2015, Jasperneite 2012:25).

Die Idee eines Cyber-Physischen Systems ist älter, als einen die Diskussionen rings um „Industrie 4.0“ glauben lassen (Jasperneite 2012:24f.). Bereits in den 1960er Jahren prognostizierte der Kybernetiker Karl Steinbuch, dass es in wenigen Jahrzehnten bereits keine Industrieprodukte mehr geben werde, in die nicht Computer hineingewoben sind (Steinbuch 1966, 1968:98ff.). 1969 führte das japanische Unternehmen Yaskawa Electric Corporation den noch heute üblichen Begriff *Mechatronik* ein (Jasperneite 2012:24). In den 1990er Jahren prägte dann Mark Weiser die Vorstellung von der Vernetzung der Welt, vom allgegenwärtigen Rechnen, vom „ubiquitous computing“ (Weiser 1999).

Etwa zur selben Zeit arbeitete man am Auto-ID-Center um Kevin Ashton am Massachusetts Institute of Technology (MIT) an der Vernetzung von Alltagsgegenständen und konkretisierte die Vorstellung vom Internet der Dinge (Jasperneite 2012:24f.). Dabei entwickelte man neue Standards für die RFID-Technologie – eine Technologie, die auf dem Sekundärradar zur Freund-Feind-Kennung aus dem Zweiten Weltkrieg basierte.

In Deutschland wurde die Bezeichnung des „Cyber-Physischen Systems“ von der *Forschungsagenda CPS* im Rahmen der Hightech-Strategie der Bundesregierung geprägt (Geisberger / Broy 2012). Demnach umfassen sie eingebettete Systeme, Logistik-, Koordinations- und Managementprozesse sowie Internetdienste, die mittels Sensoren unmittelbar physikalische Daten erfassen und mittels Aktoren<sup>10</sup> auf physikalische Vorgänge einwirken, mittels digitaler Netze untereinander verbunden sind, weltweit verfügbare Daten und Dienste nutzen und über multimodale<sup>11</sup> Mensch-Maschine-Schnittstellen verfügen. „Cyber-Physische System“ sind „...offene soziotechnische Systeme und ermöglichen eine Reihe von neuartigen Funktionen, Diensten und Eigenschaften, die über die heutigen Fähigkeiten eingebetteter Systeme mit kontrolliertem Verhalten weit hinausgehen...“ (Geisberger / Broy 2012:244).

Diese Definitionsansätze genügen aber nicht für die konkrete Entwicklungsarbeit. So stellte dann auch die VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) nach Vorstellung der *Forschungsagenda CPS* (Geisberger / Broy 2012) die Frage, was denn nun genau unter einem „Cyber-Physischen System“ zu verstehen sei, und stellt fest, es gäbe keine allgemein anerkannte, scharfe Definition (GMA 2013:2): „...Vermutlich wird eine solche auch nie existieren, sondern es wird wie bei dem Begriff des ‚eingebetteten Systems‘ zu einem weitgehend übereinstimmenden Verständnis kommen, das immer noch Platz für unterschiedliche Schwerpunktsetzungen lässt...“

Die GMA kritisierte ferner, dass die Kopplung von informationsverarbeitenden Komponenten mit physischen Objekten und Prozessen in Automatisierungssystemen bereits seit den 1970er-Jahren umgesetzt sei. Auch die permanente Vernetzung der Komponenten sei in der Automation heute selbstverständlich (GMA 2013:2).

Als wesentlicher neuer Aspekt kommt für die GMA hinzu, dass diese Vernetzung über offene und globale Informationsnetze, also über das Internet, geschieht. Hierin sieht sie auch eine zentrale Herausforderung. Die Vernetzung über das Internet erlaubt es, Systeme beliebig zu verkoppeln, Verbindungen während der Betriebszeit zu modifizieren oder öffentliche bzw. private Daten, Informationen

<sup>9</sup> „Diskret“ im mathematischen Sinn. Diskrete Mathematik arbeitet mit endlichen oder abzählbar unendlichen Mengen, z.B. mit den natürlichen Zahlen, in Abgrenzung zu überabzählbaren Mengen, z.B. den reellen Zahlen. Die physikalische Zeit (wie auch der Raum) sind kontinuierlich, in Computersystemen ist Zeit diskret.

<sup>10</sup> Ein Aktor ist das Gegenstück zu einem Sensor: er setzt die Signale einer Regelung in mechanische Arbeit um, z.B. durch das Öffnen und Schließen eines Ventils.

<sup>11</sup> Multimodale Mensch-Maschine-Schnittstellen sprechen gleichzeitig mehrere Sinne an (Sinnesmodalitäten).

und Dienste an beliebiger Stelle im „Cyber-Physischen System“ – und damit Komponenten irgendwo im Internet – bereitzustellen und zu verwenden.

Für die erfolgreiche Einführung von „Cyber-Physischen Systemen“ entwickelte die GMA mit dem entsprechenden Fachausschuss eine Reihe von Thesen und identifizierte dazu entsprechende Handlungsfelder (GMA 2013:7f.).

- Die Einführung von „Cyber-Physischen Systemen“ und die Realisierung von „Industrie 4.0“ können nicht auf einen Schlag geschehen (evolutionäre Vorgehensweise, basierend auf existierenden Automatisierungstechnischen Lösungen).
- Der zukünftig erreichbare Automationsgrad wird durch die offene und globale Vernetzung und die virtuelle Präsenz der automatisierten Komponenten deutlich ansteigen. Gleichzeitig sind die zukünftigen Produkte anders nicht realisierbar.
- Security und Safety sind kritische Erfolgsfaktoren. Die Daten-, Informations- und Kommunikationssicherheit (Security) ist der kritischste Erfolgsfaktor. Die zusätzliche Vernetzung schafft eine neue Qualität von Security-Gefährdungen mit Auswirkungen auf die funktionale Sicherheit (Safety). Erforderlich sind Sicherheitsarchitekturen, Schutzmaßnahmen und Validierungsmethoden.
- Produktion, Informatik und Automation müssen zusammenwirken (einheitliche Begriffswelt, technische Regelsetzung, Standardisierung).
- „Cyber-Physische Systeme“ erfordern neue methodische Ansätze für Planung, Entwicklung und Betrieb, um beherrschbar zu sein. Sie setzen neuen Standards bzgl. Komplexität und Heterogenität in der Automation, für die Optimierung komplexer, verteilter, zeitvarianter Systeme.
- Der Mensch muss bei Einführung und Einsatz „Cyber-Physischer Systeme“ im Mittelpunkt stehen (neue Benutzungsschnittstellen, Trainings-, Qualifikations- und Weiterbildungsangebote).
- Aufgrund der freien Anordnung von Daten, Informationen und Diensten ergeben sich neue Möglichkeiten für Geschäftsmodelle, die systematisch gesucht und erkundet werden müssen.
- Durch den evolutionären Prozess zur Realisierung von „Industrie 4.0“ kann der konkrete Nutzen für jedes einzelne Unternehmen noch nicht abgeschätzt werden. Dies erfordert insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen Plattformen und Anlaufstellen für den Wissens- und Erfahrungsaustausch, für Beratung und Qualifikation.
- Zu allen Handlungsfeldern ist interdisziplinäre Forschungsarbeit gefragt.

Mit „Cyber-Physischen Systemen“ verbinden sich insbesondere kommerzielle Interessen, hier geht es auch um (Markt-)Macht. Dementsprechend befindet sich die deutsche „Plattform Industrie-4.0“<sup>12</sup> in Konkurrenzsituation zum „Industrial Internet Consortium“ (IIC)<sup>13</sup>; dementsprechend bestimmen in erster Linie wirtschaftliche Interessen, wie die Standards und technischen Schnittstellen der „Cyber-Physischen Systeme“ aussehen. Und möglicherweise setzt sich hier nicht der Gründlichere, der Beste, sondern der Schnellste durch – wie Reinhard Clemens, CEO der T-Systems International GmbH, es formulierte (Zühlke 2015).

---

<sup>12</sup> Siehe dazu [www.plattform-i40.de](http://www.plattform-i40.de)

<sup>13</sup> Siehe dazu [www.iiconsortium.org](http://www.iiconsortium.org)

### Und welche Auswirkungen hat „Industrie 4.0“ ...?

Von Anfang an war „Industrie 4.0“ mit wirtschaftlichen und wirtschaftspolitischen Zielen verknüpft. Mit am deutlichsten werden diese intendierten Wirkungen in Kagermann et al. (2011). Deutschland soll sich als Produktionsstandort auch in einer Hochlohnregion behaupten können, soll bis 2020 Leitanbieter auf diesem neuen Markt werden. „...Die dritte industrielle Revolution, die durch neue Materialien, Robotereinsatz und zentrale Steuerungssysteme geprägt war, wird in der nächsten Dekade mit dem Internet der Dinge auf der Basis Cyber-Physischer Systeme abgelöst: Deutschland sollte hierbei die erste Geige spielen...“

Welche nicht-intendierten Wirkungen „Industrie 4.0“ darüber hinaus haben wird, wie intensiv welche Wirtschaftszweige, welche Unternehmen, welche Berufe, welche Tätigkeiten, welche Menschen von ihnen betroffen sind, lässt sich zu diesem Zeitpunkt nur erahnen. Entsprechende Forschungsprojekte und Studien gehen davon aus, dass mit der Diffusion und Realisation von Industrie-4.0-Systemen soziale und wirtschaftliche Prozesse längerfristig nachhaltige und in ihren Konsequenzen noch nicht absehbare Wandlungsprozesse sozio-ökonomischer Strukturen anstoßen werden (Hirsch-Kreinsen 2015:12).

Wie mögliche Wandlungsprozesse aussehen können und welche Wirkungen damit auf verschiedenste Gruppen verbunden sind, soll im Folgenden anhand der Zukunftsperspektiven von Einfacharbeit, anhand der spezifischen Spannungsfelder mittelständischer Unternehmen und anhand der möglichen Folgen für die Unternehmensfinanzierung aufgezeigt werden. Allen drei Beispielen ist dabei gemein, dass es sich um Gestaltungsfelder handelt, d.h. dass die Effekte von „Industrie 4.0“ dort nicht mit der Unabänderbarkeit von Naturgesetzen wirken bzw. wirken müssen – nicht, wenn die Betroffenen zu Akteuren werden und sie an der Realisation von „Industrie 4.0“ gestaltend mitwirken.

### Einfacharbeit 4.0

Wandlungsprozesse mit der dazu korrespondierenden Forschungs- und Innovationspolitik wie beispielsweise jene unter der Bezeichnung „Digitalisierung“ sind primär auf stark technologieorientierte Unternehmen mit relativ hoch qualifizierten Arbeitnehmern ausgerichtet, versteht sich doch „Industrie 4.0“ als „Hightech-Strategie“ (vgl. z.B. BMBF 2014). Betriebe aus entsprechend technologieintensiven Branchen mit einer traditionell entsprechend differenzierten Qualifikationsstruktur der Mitarbeiterschaft können potentiell unmittelbarer und schneller von den Innovationen profitieren als weniger technologieintensive Branchen und Betriebe der Einfacharbeit – eine spezielle Erscheinungsform der „digitalen Kluft“ (digital divide, siehe dazu auch OECD 2000).

„Einfacharbeit“ bezeichnet berufliche Tätigkeiten, die keine spezifische Berufsausbildung<sup>14</sup> voraussetzen und bereits nach relativ kurzen Einarbeitungsphasen ausgeführt werden können (Abel et al. 2009). Beispiele für entsprechende Tätigkeiten sind die manuelle Bedienung einfacher Werkzeugmaschinen, kurzzyklische Maschinenbeschickung, repetitive Verpackungsarbeiten, aber auch monotone Überwachungstätigkeiten. Dass dies keine marginalen Randgruppen des Arbeitsmarkts beschreibt, zeigt beispielsweise ein Anteil von 23 Prozent der Gesamtbeschäftigten des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland im Jahr 2013 (vgl. z.B. Hirsch-Kreinsen 2015a, Abel et al. 2014).

Versucht man abzuschätzen, welche Beschäftigungseffekte Digitalisierung für Einfacharbeit im Verarbeitenden Gewerbe mit sich bringt, so ergibt sich kein einheitliches Bild – allein schon, weil sich „Digitalisierung“ in den industriellen Branchen uneinheitlich entwickelt. Mit hoher Wahrscheinlich-

<sup>14</sup> Dies bedeutet nicht zwangsläufig, dass diese Arbeitnehmer über keine Berufsausbildung verfügen – diese Ausbildung ist aber möglicherweise auf dem aktuellen Arbeitsmarkt nicht mehr gefragt, beispielsweise Ausbildungen aus dem Bergbau.



keit ist mit Arbeitsplatzverlusten zu rechnen, hat doch „Industrie 4.0“ u.a. die noch weitergehende Automatisierung von einfacher, routinierter Arbeit im Fokus. Unklar ist, ob diese Arbeitslosigkeit sich strukturell dauerhaft etabliert oder ob sie durch neu entstehende Arbeitsplätze wettgemacht werden kann (siehe Hirsch-Kreinsen 2015a, auch Stich et al. 2015). Und ob diese neuen Arbeitsplätze auch den freigesetzten Einfacharbeitenden wieder zu neuen, längerfristigen Anstellungen verhelfen oder ob zeitnah ihr neuer Arbeitgeber bestenfalls eine Leiharbeitsfirma für Einfacharbeit wird.

Bezüglich der Qualifikationsentwicklung zeichnen sich zwei Entwicklungsoptionen ab. So könnte es zu einer Steigerung des Qualifikationslevels durch Digitalisierung kommen, die auch Einfacharbeit umfasst – Einfacharbeit wird weniger einfach. Ebenso ist denkbar, dass durch die Veränderungsprozesse neue Formen von Einfacharbeit entstehen. Beide Entwicklungen schließen sich nicht gegenseitig aus. Darüber hinaus befinden sich unter der Bezeichnung Crowdsourcing bzw. Crowdworking neue, überbetriebliche Arbeitsformen in der Entwicklung, die mittelfristig auch neue Formen von Einfacharbeit einschließen können (Hirsch-Kreinsen 2015a, Abel et al. 2014).

Es kann somit nicht von einem einheitlichen Trend von Einfacharbeit unter dem Einfluss von Digitalisierung ausgegangen werden. Es tun sich vielmehr vier divergierende Entwicklungspfade auf. Da wäre zunächst die Automatisierung von Einfacharbeit. Dem gegenüber steht eine qualifikatorische Aufwertung von Einfacharbeit unter dem Label „Upgrading“ (vgl. z.B. Ittermann et al. 2015:45ff., Hirsch-Keinsen 2015c:15ff.). Ein dritter Entwicklungspfad setzt auf das Aufkommen neuer Formen von Einfacharbeit als „digitalisierte Einfacharbeit“. Dem gegenüber steht der vierte Entwicklungspfad, der eine strukturkonservative Stabilisierung von Einfacharbeit zum Ziel hat. In diesem Szenario ist kein Wandel der bisherigen personellen und organisatorischen Strukturen vorgesehen (Hirsch-Kreinsen 2015a).

Diese Entwicklungspfade machen einen grundsätzlichen Zielkonflikt deutlich. Will man die Qualität von Arbeit verbessern – Stichwort „gute“ Arbeit (vgl. z.B. BMAS 2015, BMAS 2016, Schröder 2015, Schröder / Urban 2016) –, indem man etwa die Automatisierung standardisierter, einfacher Tätigkeiten unterstützt und in die Qualifikationsentwicklung der Arbeitnehmer investiert, so schränkt man damit signifikant die Beschäftigungsmöglichkeiten für Geringqualifizierte weiter ein. Dem gegenüber steht eine sozial- und arbeitsmarktpolitische Notwendigkeit, die verschiedenen Formen von mehr oder weniger taylorisierter Einfacharbeit, also „schlechter“ Arbeit, zu stabilisieren und damit Beschäftigungsmöglichkeiten für eine wachsende Zahl gering qualifizierter Arbeitskräfte zu erhalten (Hirsch-Kreinsen 2015a, Hirsch-Kreinsen 2015b).

#### Mittelstand 4.0

Kleine und mittlere Unternehmen (KMU)<sup>15</sup> prägen die deutsche Industrielandschaft, ihre volkswirtschaftliche Bedeutung kann man sich anhand einiger wenigen Zahlen verdeutlichen. Im Jahr 2013 zählten rund 3,62 Millionen Unternehmen zu den deutschen KMU, was 99,6 Prozent aller Unternehmen entspricht. Sie erwirtschafteten mit ihren knapp 16 Millionen Beschäftigten ca. 35 Prozent des gesamten Umsatzes der deutschen Unternehmen (vgl. IfM 2015, 2016).<sup>16</sup>

<sup>15</sup> Die genaue Definition eines KMU ist kontextabhängig; so geht beispielsweise das Institut für Mittelstandsforschung von anderen Größenintervallen bzgl. Beschäftigtenzahl und Jahresumsatz aus als die Bundesregierung oder die EU (Kommission 2003, Bischoff et al. 2015:13f.). Hinzu kommt noch die Unterscheidung von KMU und „mittelständisch“: als mittelständisch gelten Unternehmen, wenn Eigentum und Leitung in einer Hand liegen, etwa bei familiengeführten Unternehmen. Dadurch sind auch große Familienunternehmen mit über 500 Beschäftigten und mit mehr als 50 Millionen Euro Jahresumsatz mittelständische Unternehmen – ohne zu den KMU zu zählen (vgl. IfM 2015).

<sup>16</sup> In Nordrhein-Westfalen haben 95 Prozent der über 1.600 Maschinenbaubetriebe weniger als 500 Mitarbeiter, nur ein Drittel davon hat mehr als 100 Beschäftigte (LeitmarktAgentur.NRW 2014).

So grundlegende Veränderungen in Produktionstechnologien und Geschäftsmodellen, wie sie mit „Industrie 4.0“ verbunden sind, transformieren nicht nur einzelne Unternehmen, sondern haben Rückwirkungen auf Branchen und Regionen. Dies gilt insbesondere aufgrund des sensiblen Geflechts der mittelständischen Unternehmen mit der besonderen Bedeutung der Erfahrungen und des Arbeitsvermögens der Mitarbeiter für den wirtschaftlichen Erfolg des jeweiligen Unternehmens. Werden die Konzepte und Technologien von „Industrie 4.0“ ausgestaltet, ohne dieser Bedeutung Rechnung zu tragen, können nicht nur einzelne Betriebe in Schwierigkeiten geraten. Hinzu kommt, dass viele dieser Unternehmen in Nischenmärkten operieren und Kleinserien oder Einzelstücke nach speziellen Kundenanforderungen produzieren – Segmente, in die auch größere Unternehmen durch die erhofften Potenziale von „Industrie 4.0“ hoffen vorzudringen (vgl. u.a. Bischoff et al. 2015, BMWi 2015, 2016).

Umso wichtiger ist es, bereits im Vorfeld potentielle Spannungsfelder für mittelständische Unternehmen im Kontext von „Industrie 4.0“ zu identifizieren und geeignete Konzepte zu entwickeln. Die Universität Siegen hat auf Basis von Expertenworkshops mit Geschäftsführern und Unternehmensberatern kleiner und mittelständischer Unternehmen sowie durch Interviews mit Vertretern der IG Metall im Hinblick auf die Veränderung von Arbeit im Kontext von „Industrie 4.0“ eine Reihe von Spannungsfeldern identifiziert, in denen soziale Fragestellungen bei der Ausgestaltung von „Industrie 4.0“ angesiedelt sind (vgl. zu den Spannungsfeldern Ludwig et al. 2016:75ff.).

#### *Einführungsstrategien von Industrie 4.0 und Adaptierbarkeit von Cyber-Physischen Produktionssystemen*

Aktuelle Konzepte Cyber-Physischer Produktionssysteme fokussieren auf Großserien mit autonom durchführbaren Änderungen, die sich nicht ohne Friktionen auf mittelständische Unternehmen adaptieren lassen. Es ist für KMU offen, ob sich Investitionen in Industrie-4.0-Technologien in einem wirtschaftlich vertretbaren Zeitrahmen amortisieren (vgl. dazu Wischmann et al. 2015:8ff., Apt et al. 2016). Darüber hinaus ist der manuelle Fertigungsgrad sehr hoch und das benötigte Fachwissen der Mitarbeiter nicht ohne weiteres externalisierbar (Bracht et al. 2011). Das Arbeits- und Innovationsvermögen der Mitarbeiter ist mitunter die Basis für die Marktstellung der Unternehmen, die durch eine autonome Steuerung der Produktionsprozesse durch Cyber-Physische Produktionssysteme verloren geht. Die Integration Cyber-Physischer Produktionssysteme und die Migration alter Infrastrukturen stellen eine sozio-technische Herausforderung dar. IT-getriebene Leitideen wie das Computer-Integrated-Manufacturing (CIM) haben bei nicht wenigen KMU früher bereits Zweifel aufkommen lassen, ob die technische Vernetzung der Produktion als grundlegendes Architekturelement im eigenen Unternehmen funktioniert (Ludwig et al. 2016:76f.). Vielmehr sollten Cyber-Physische Produktionssysteme menschliche Reflexions- und Anpassungsfähigkeit durch maschinelle Präzision und Geschwindigkeit unterstützen und im Sinne einer „Intelligenzverstärkung“ konzipiert und nutzbar sein (vgl. dazu Brödner 2015).

Innerhalb dieses Spannungsfeldes wurden in der Siegener Studie darüber hinaus technische Flexibilität und Erweiterbarkeit, technisches Projektmanagement, integrierte Wartungskonzepte, Weiterqualifizierung mit Industrie 4.0 und evolutionäre Einführungsprozesse mit sozialpartnerschaftlichem Vorgehen identifiziert (Ludwig et al. 2016:76f.).

#### *Qualifikationsanforderungen und Mitarbeiterqualifikation*

Die arbeitsorganisatorischen Veränderungen im Rahmen von „Industrie 4.0“ werden in erster Linie von der Einführung neuer digitaler Vernetzungssysteme getragen. Die notwendige resultierende Durchdringung von Arbeitsprozessen mit digitalen Arbeitswerkzeugen und virtuellen Kooperations- und Informationsinstrumenten verändert die Tätigkeitsprofile und -anforderungen tiefgreifend. So

werden verstärkt Anforderungen an das Vorstellungsvermögen über Arbeitszusammenhänge, Bedarfslagen, Abläufe der anderen Akteure der Wertschöpfungsketten (z.B. Zulieferer, Kunden, Anlagenhersteller und -betreiber) gestellt. Auch die Fähigkeit, sich in fachfremde Prozesse kurzfristig einzuarbeiten, wird immer wichtiger.

Die Arbeit in bereichs-, unternehmens- und branchenübergreifenden Netzwerken impliziert damit neue Qualifikationsanforderungen und erfordert neue Ansätze für Weiterbildung wie auch für arbeitsplatznahe Qualifizierung. Integratives und übergreifendes Wissen, das nicht tätigkeitsspezifisch ist, gewinnt an Bedeutung. Die traditionelle Unterscheidung zwischen Produktions-, Dienstleistungs-, und Administrationsarbeit verliert an Bedeutung; es entwickeln sich hybride Produkte, die sich aus Sachgütern, Dienstleistungen und spezifischer Expertise zusammensetzen. Arbeit wird ebenfalls „hybrid“. Der Anteil manueller, analoger Tätigkeiten verringert sich zugunsten immaterieller Gewährleistungsarbeiten. Eine konkrete betriebliche Untersuchung, wie sich Digitalisierung auf Berufsbilder und Tätigkeitsprofile auswirkt, steht noch aus und könnte im Rahmen betrieblicher Umsetzungsprojekten erfolgen (Ludwig et al. 2016:77f.).

Aufgrund der kontinuierlichen Weiterentwicklung der technologischen Basis von „Industrie 4.0“ sind große Weiterbildungsanstrengungen der Beschäftigten erforderlich. Lebenslanges Lernen gewinnt noch mehr an Bedeutung – Weiterbildung wird zum Regelfall.

Darüber hinaus identifizieren Ludwig et al. (2016:78f.) die folgenden Themen: Integration von Wissensmanagement und Training-On-The-Job, Etablierung und Unterstützung unternehmensinterner und -übergreifender Lerngemeinschaften, Erweiterung betrieblicher und überbetrieblicher Qualifizierungsmöglichkeiten, zertifizierte Aus- und Weiterbildungskonzepte auch für kleinere Bildungsabschnitte, Kontrolle und Anpassung von Weiterbildungsbedarfen und -maßnahmen (Lernkarrieren), Anpassung von Ausbildungsstrukturen, bildungspolitische Impulse aus der Praxis.

### *Mensch-Maschine-Kooperation*

Bedingt durch Variantenvielfalt, kleinere Losgrößen und erhöhte Produktkomplexität werden Fertigungssteuerung und -überwachung zunehmend unübersichtlich. Eine Vielzahl von Prozessparametern unterschiedlich integrierter Produktionsressourcen steht in unmittelbarer Wechselwirkung mit den Eigenschaften und der Beschaffenheit der Fertigungsergebnisse – eine Vielzahl an Anlagenzuständen und abhängigen Prozessparametern muss beherrscht werden (Ludwig et al. 2016:79f.).

Die Herausforderung liegt in einer adäquaten Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion mit dem Ziel, eben auch in diesen vernetzten Arbeitsumgebungen „Herr des Geschehens“ zu bleiben. Besonders kritisch kommt diese Problematik bei Störungen oder Fehlern zum Tragen, gerade bei vollautomatisierten Systemen (vgl. Pipek / Wulf 2009). Adäquate Informationssysteme fehlen bisher weitestgehend. Neue Benutzungsschnittstellen und Unterstützungswerkzeuge sind erforderlich, welche die Mitarbeiter in die Lage versetzen, die Maschine selbstständig zu verstehen und effektiv sowie effizient für ihre Arbeit zu nutzen.<sup>17</sup>

Ludwig et al. (2016:80f.) identifizieren im Detail die folgenden Fragestellungen: Verbesserung von Kontrolle und Steuerbarkeit komplexer Produktionsanlagen (Stichwort: Usability), Umsetzung kooperativer Entscheidungsstrukturen unter echtzeitnahen Bedingungen, Konzepte und Infrastrukturen zur Aneignung neuer Technologien, Industrie 4.0 im Qualitäts- und Compliance-Management (inklusive juristischer Rahmenbedingungen), Kooperations- und Standardisierungsfragen entlang der Wertschöpfungskette, Standardisierungsimpulse aus der KMU-Praxis.

---

<sup>17</sup> Beispielsweise durch exploratives Agieren (vgl. Paul 1995).

### *Arbeits- und Gesundheitsschutz, neuer Flexibilitätskompromiss*

Ein zentrales Argument für „Industrie 4.0“ ist aus Sicht der Unternehmen – auch aus der der mittelständischen Unternehmen – das Plus an Flexibilität. Man kooperiert mit neuen Partnern, Betriebe und Produktionsstätten wachsen über Grundstücksgrenzen hinaus zu virtuellen Unternehmen, die wiederum ihre Zusammensetzung von Produkt zu Produkt, von Charge zu Charge, verändern können, man entwickelt neue Produkte, man erschließt neue Märkte, man verkauft neue Güter und neue Dienstleistungen. Und man arbeitet potentiell zu anderen Zeiten. Die Echtzeitvernetzung von Arbeitsprozessen, auch über Ländergrenzen und Zeitzonen hinweg, erfordert genauso flexibel einsetzbare Mitarbeiter – eine Vorstellung von Arbeitsorganisation, die beispielsweise mit Arbeitszeitkonzepten wie „Kernarbeitszeit“ nur bedingt vereinbar ist.

Auch ohne die zukünftigen Produktionstechnologien ist bereits heute die Entgrenzung von Arbeit und Freizeit Alltag. In vielen Branchen ist eine solche Zeit- und Ortsflexibilität auch von Seiten der Arbeitnehmer gewünscht, um Privates und Berufliches besser vereinbaren zu können. Gleichzeitig können permanente Erreichbarkeit, überlange Arbeitszeiten und Entgrenzung sich negativ auf Gesundheit und Leistungsfähigkeit auswirken (vgl. z.B. Collatz / Gudat 2011). Psychische Erkrankungen wie „Burn Out“, die bisher eher in anderen Branchen dokumentiert wurden (Gerlmaier / Latniak 2011), könnten auch in der Produktionsarbeit von „Industrie 4.0“ auftreten. Hier ist neben einem adäquaten Regulierungsrahmen für Arbeitszeiten und Verfügbarkeiten, der auch bei entsprechend autonomer Gestaltung durch den Arbeitnehmer einer Selbstaussbeutung vorbeugt, ein an die digitale Arbeitswelt angepasster Arbeits- und Gesundheitsschutz gefragt, der eine bessere Work-Life-Balance mit Flexibilitätsanforderungen der Unternehmen in Einklang bringt.<sup>18</sup>

Die Siegener Studie benennt hier über die Bewertung von Entgrenzungspotenzialen (Work-Life-Balance) hinaus die Vermeidung von Über- und Fehlbelastungen und die Entwicklung und Umsetzung entsprechender Arbeitsorganisationskonzepte und Arbeitszeitsysteme, die die Problematiken von Entgrenzung und erweiterter Verfügbarkeit aufgreifen als Untersuchungsthemen (Ludwig et al 2016:81).

### *Sicherheit von Unternehmensdaten und -prozessen*

Vereinfachend ausgedrückt geht „Industrie 4.0“ von einer transparenten Wertschöpfungskette, einer realzeitlichen Produktionsverfolgung und einer Schnittstelle für externe Sichten auf die Produktion und somit auf das jeweilige Unternehmen aus. Für ein kleines oder mittleres Unternehmen, das primär die Rolle eines Zulieferers in den Wertschöpfungsketten einnimmt, leitet sich daraus eine unangenehme Ambivalenz ab.

Das zusätzliche Datenmaterial verschafft dem Unternehmen Einblick in die Abläufe und Zustände der anderen Partner im Netz und stärkt dadurch seine Position in der Wertschöpfung. Gleichzeitig wird das Unternehmen dadurch geschwächt, da es im Netzwerk potentiell austauschbarer wird, sowohl durch ausländische Hersteller wie auch durch den Konkurrenten in der Region. Wissens- bzw. Kompetenzträger sind in „Cyber-Physikalischen Produktionssystemen“ identifizierbar und können somit zum Ziel von Abwerbungsversuchen durch die Konkurrenz werden (Ludwig et al. 2016:81ff.).

Auch bei den produktionsbegleitend erzeugten Industriedaten halten sich Chancen und Risiken die Waage. Die in großen Mengen anfallenden Sensordaten, Produktinformationen, Lieferdaten, Alarmdaten, Fehlermeldungen oder Testergebnisse sind nicht nur für das Unternehmen selbst wertvoll. Mit den entsprechenden Sensordaten lassen sich nicht nur Effizienzsteigerungen erreichen,

<sup>18</sup> In diesem Zusammenhang sollten die Einführungsprozesse von „Industrie 4.0“ genutzt werden und die Auswirkungen auf Gesundheit und Leistungsfähigkeit zu evaluieren.

störungsbedingte Stillstände vermeiden oder Dienstleistungen wie eine weltweite Fernwartung realisieren. Gleichzeitig werden unternehmensinterne Prozesse zu transparent und das Unternehmen gerät möglicherweise projektintern gegenüber anderen Partnern unter Preisdruck. Genauso können Betriebsgeheimnisse aus der Fertigung an die Konkurrenz verloren gehen.

Wem gehören die Daten über Produktionsprozesse? Wie sind sie vor fremden Zugriffen geschützt? Sind Sensordaten Eigentum des Maschinenherstellers, des produzierenden Unternehmens oder womöglich des Kunden, der für den Produktionsprozess zahlt? Das deutsche Recht kennt bisher kein originäres Schutzrecht an Daten. Straf- und zivilrechtlich geschützt sind lediglich physische Datenträger gegen Beschädigung und Veränderung sowie natürliche Personen gegen den rechtswidrigen Umgang mit personenbezogenen Daten. Es gibt keine deutsche bzw. europäische „Rechtsordnung 4.0“, die in dieser Frage den spezifischen Rahmenbedingungen von „Industrie 4.0“ gerecht wird (Ludwig et al. 2016:81f.; siehe zu der juristischen Seite der Digitalisierung auch BDI / Noerr 2015, KPMG 2014).

Zu den juristischen Fragen der Datensicherheit kommen allgemeine IT-Sicherheitsbedrohungen, etwa der Ausfall kritischer IT-Infrastrukturen durch Defekt oder durch Sabotage.<sup>19</sup> Speziell für mittelständische Unternehmen ergibt sich mit den ersten Schritten in Richtung „Industrie 4.0“ ein konkreter praktischer Beratungsbedarf – für den Schutz der Daten und Systeme, für den Geheimnis- bzw. Know-how-Schutz, aber auch für eigentumsartige Verwertungsrechte.

Darüber hinaus leiten sich aus der Studie die Themen Ausfallsicherheitsanalysen von Industrie-4.0-Infrastrukturen samt Risiken- und Folgenmanagement, gleichwertige Betrachtung harter (z.B. Verschlüsselung) und weicher (z.B. Datensichtbarkeit, rechtliche Strukturen) Datenschutzaspekte, Vereinbarungen von Dateneignerschaft, Weiterentwicklung des rechtlichen Schutzes von Daten als Immaterialgüter (Ludwig et al. 2016:81ff.) ab.

#### *Beschäftigtendatenschutz*

Die Omnipräsenz von Computertechnologie sowie die Vernetzung durch mobile Systeme verändern nicht nur Arbeitstätigkeiten, sondern ermöglichen auch die permanente Erfassung und Auswertung des Verhaltens der Mitarbeiter. Die Einbindung der Mitarbeiter in einen durchgängigen Informationsfluss entlang der Wertschöpfungskette und neue wechselseitige Informations-, Konsultations- und Aushandlungsansätze durch digitale Technologien setzen die Erfassung, Speicherung, Auswertung und Zuordnung von Technologie- und Mitarbeiterdaten aber voraus. Hieraus erwachsen Anforderungen an neue Ansätze des Beschäftigtendatenschutzes (vgl. auch Hornung / Hoffmann 2015).

Ein sensibles Vorgehen bei der Verknüpfung von Technologiedaten und personenbezogenen Daten ist zentrale Voraussetzung für die Akzeptanz der Industrie-4.0-Infrastruktur bei den KMU-Mitarbeitern.

Als zu untersuchende Themenschwerpunkte benennen Ludwig et al. (2016:83f.) hier die Ermittlung und Berücksichtigung von Vertrauensgrenzen durch beteiligungsorientierte Einführung neuer technologischer Systeme, die Nutzung personenbezogener Daten nach den Grundsätzen der Erforderlichkeit, der Datensparsamkeit und der Zweckbindung sowie die Anonymisierung und Pseudonymisierung von Personendaten.

#### *Finanzierung 4.0*

Die Konzepte und Technologien von „Industrie 4.0“ verändern nicht nur die Art und Weise, wie Produktionsarbeit durchgeführt und organisiert wird – mit ihr verändern sich auch die Geschäftsmodel-

---

<sup>19</sup> Über „Honeypots“ zur Erforschung von Hacker-Angriffsstrategien auf vernetzte industrielle Infrastruktursysteme siehe beispielsweise Scott / Carbone (2014).

le, die Produkte bzw. die Leistungen der Unternehmen. Mit diesen Veränderungen bei den Geschäftsmodellen verändern sich auch mittelbar die Strukturen der Unternehmensfinanzierung durch die Kreditinstitute. Dabei geht es nicht nur um die Investitionen in neue Produktionsmaschinen und den Um- bzw. Neubau der Produktionsstätten; die Veränderungen sind aller Voraussicht nach grundsätzlicher Natur. Die Ursachen sind in erster Linie die mit der Digitalisierung einhergehende unternehmensübergreifende Vernetzung sowie der immaterielle Charakter vieler Produktionsmittel, in die es zu investieren gilt (vgl. BDI 2015, Paul 2015) – auch wenn noch eine Reihe weiterer Faktoren wie beispielsweise der Zugang zu und der Umgang mit Risikokapital in die Finanzierungsbedingungen hineinwirken (vgl. z.B. Schröder 2016:16f.).

Eine erprobte Praxisformel aus dem Kreditgeschäft lautet „finance has to fit to the business“. Das Kreditrisiko – aus Sicht der Banken – berechnet sich üblicherweise über die Multiplikation der drei Faktoren Ausfallwahrscheinlichkeit, Verlustwahrscheinlichkeit und Höhe des Kreditbetrags (siehe dazu Paul 2015).

Die Ausfallwahrscheinlichkeit nimmt aus Sicht des Kreditgebers zu, da die neuen Wertschöpfungsketten zu einer stärkeren inner- und überbetrieblichen Vernetzung führen – unter Umständen mit einer häufigeren Einbindung von Startups. Die verstärkte unternehmensübergreifende Kooperation stellt die Frage nach Bonitätseinschätzung im Rahmen des Bankenratings neu; die Unternehmensfinanzierung wird zur Projektfinanzierung (Paul 2015). Größere Investitionen werden in einem Netzwerk mehrerer Unternehmen getätigt, deren Abhängigkeit von den Partnern steigt. Für die Zahlung der Kreditverpflichtungen ist nicht länger ein einzelnes Unternehmen verantwortlich. Es ist vielmehr die Verpflichtung aller beteiligten Partner – und die bringen nicht nur unterschiedliche Kompetenzen in das gemeinsame Vorhaben ein, sondern auch mitunter sehr unterschiedliche Bonitäten. Grundsätzlich nur noch Netzwerke mit Partnern gleich guter Bonität zu finanzieren, wäre eine signifikante Einschränkung des innovativen Potenzials. Das Rating des Projekts löst sich tendenziell vom Rating des Unternehmens; finanziert werden Projekte mit Potenzial – nicht Unternehmen, die einer Finanzierung im Grunde nicht bedürfen.

Die Werthaltigkeit der Sicherheiten ist traditionell die Grundlage der Kalkulation der Verlustquote. Digitalisierung erfordert auch hier eine neue Sicht der Dinge. Digitalisierung bedeutet weniger Investition in konventionelles Anlagevermögen, wohl aber in immaterielle Vermögenswerte; dazu zählen neben Patenten und Software ebenso das Investieren in Ausbildung und Pflege bzw. Adaption der digitalen Infrastruktur. Das Problem der Kreditinstitute: hier greifen die üblichen Bewertungsschemata nicht länger (Paul 2015). Hinzu kommt das Problem der unternehmensübergreifenden Vernetzung; wenn in immaterielle Güter gemeinschaftlich investiert wird und diese gemeinschaftlich genutzt werden, macht eine individuelle Zuordnung keinen Sinn.

Mit der digitalisierungsbedingten Vernetzung steigen auch die Kreditvolumina. Je „vernetzter“ ein Vorhaben ist, umso größer sind die Kreditbeträge. Hinzu kommt, dass die Projektlaufzeiten sich zunächst tendenziell verlängern, weil es an Erfahrung mit den dazugehörigen Prozessen, einschließlich Beschaffung und Produktabsatz, mangelt. Für viele Kreditgeber leitet sich daraus eine Mehrbelastung des regulatorischen Eigenkapitals ab (siehe Paul 2015).

Insbesondere, wenn die unternehmensübergreifenden Vernetzungen in der „Industrie 4.0“ sich so intensiv entwickeln wie erwartet, ist absehbar, dass die Veränderungen in der Realwirtschaft auch das Kreditgeschäft verändern werden. Die Veränderungen bei den Kreditgebern und den Finanzierungsbedingungen sind ein Beispiel für weitere, indirekte bzw. zeitlich verzögerte Veränderungsprozesse, die sich aktuell noch nicht in ihrem vollen Umfang abschätzen lassen.

### Was wird denn nun mit „Industrie 4.0“...?

Es scheint ein Charakteristikum von „Industrie 4.0“ zu sein, dass nahezu jeder Versuch einer Annäherung an dieses Konzept mehr neue Fragen aufwirft als beantwortet. Man mag argumentieren, dass dies ein Merkmal disruptiver Technologien sei und es demnach Ausdruck des Potenzials von „Industrie 4.0“ ist: „Industrie 4.0“ stellt etablierte Technologien und ihren Einsatz in der industriellen Produktion in Frage – und bringt die Beteiligten dazu, über organisationale Veränderungen, neue Produkte, alternative Geschäftsmodelle nachzudenken.

Dieses Potenzial von „Industrie 4.0“ ist durchaus bemerkenswert – als Motiv für die Auseinandersetzung mit diesem Thema sind bei vielen vermutlich aber eher die Abschätzungen des volkswirtschaftlichen Potenzials und der Wunsch, davon zu profitieren, handlungsleitend. Je nachdem, welche Zeiträume man betrachtet und wie man beispielsweise die Gruppe der einkalkulierten Branchen definiert, liegen die Abschätzungen der volkswirtschaftlichen Potenziale für Deutschland zwischen 78,77 Mrd. Euro bis 2025 (Bauer et al. 2014) und 153,5 Mrd. Euro in den kommenden fünf Jahren (Wischmann et al. 2015).

Die Fragen, die sich aus der Auseinandersetzung mit dem Konzept „Industrie 4.0“ ableiten, richten sich tendenziell entweder an Aspekten der technologischen Umsetzung oder an mit der Realisation von „Industrie 4.0“ einhergehenden sozio-ökonomischen Veränderungen aus – geprägt durch die individuelle Vorgeschichte, basierend auf aktuellen Interessen.

Aus der Vernetzung der Produktionssysteme leiten sich beispielsweise unmittelbar Fragen nach der Sicherheit von „Cyber-Physischen Systemen“ ab. Können vernetzte Produktionssysteme überhaupt hinreichend gesichert werden? Die Erfahrungen, die nicht nur deutsche Krankenhäuser mit Ransom-Software vor einiger Zeit machen mussten, sind ein erster Vorgeschmack auf die Probleme, die die Betriebe der industriellen Produktion mit ihren hochvernetzten „Cyber-Physischen Systemen“ erwarten. Ist das Verhalten von „Cyber-Physischen Systemen“ kontrollierbar, sind die Resultate abschätzbar – handelt es sich doch um nicht-triviale Maschinen (vgl. Brödner 2015:234ff.)? Ist die Infrastruktur des Internets dem „Internet of Things“ überhaupt gewachsen? Reicht die Kapazität eines vermeintlichen Hochgeschwindigkeitsnetzes – beispielsweise unter Echtzeitanforderungen? Und was machen die Unternehmen, wenn diese kritische Infrastruktur Internet – aus welchen Gründen auch immer – ausfällt? Es gibt Algorithmen, die vollautomatisch auf den Ausfall von Komponenten eines Netzwerks reagieren, Aufträge umdisponieren und bei Wiederverfügbarkeit der Komponente diese wieder ins Netzwerk integrieren. Was aber, wenn die ausgefallene Komponente im Netzwerk keine einzelne ausgefallene Maschine war, sondern ein ganzer Unternehmensstandort?

Die Fragen nach den sozio-ökonomischen Veränderungen haben entweder die Veränderungen in der Arbeitswelt, im Unternehmen und in der Branche im Fokus oder richten das Augenmerk auf gesamtgesellschaftliche Folgen. Die Erfahrungen mit der ersten Digitalisierungswelle erscheinen manchem nur als kleiner Vorgeschmack. Sie haben gezeigt, wie grundlegend sich hier Veränderungsprozesse niederschlagen können – man denke nur an die Umwälzungen im Finanzwesen, im Telekommunikationssektor oder im Handel und an das, was sich dadurch nicht nur in der Berufswelt, sondern gerade im Alltag geändert hat.

„Veränderung“ erscheint im Zusammenhang mit „Industrie 4.0“ als konstanter Faktor. „Digitalisierung“ ist dabei aber kein einmal zu vollziehender Schritt, kein Update oder Upgrade von „Industrie 3.0“ auf „Industrie 4.0“, vergleichbar mit der von Dueck (2016) kritisierten Managementhaltung „...Digitalisierung? Müssen wir wohl bald einführen...“

„Digitalisierung“ und damit „Industrie 4.0“ und „Cyber-Physische Systeme“ sind Bestandteile eines kontinuierlichen Wandlungsprozesses – eines Prozesses, der selten gleichmäßig abläuft, wohl aber abhängig von regionalen Bedingungen, kontextabhängig im weitesten Sinn, geprägt auch von

technischen Innovationen. Entscheidend ist es hierbei, die Fähigkeit zur Veränderung und damit die Fähigkeit zu Lernen nicht zu verlieren – als Individuum wie auch als Organisation.

„Digitalisierung“, „Industrie 4.0“ und „Cyber-Physische Systeme“ sind nicht Ausdruck einer naturgesetzlich vorgegebenen, unausweichlichen Entwicklung – vielmehr bestehen zahlreiche Gestaltungsoptionen, die es zu nutzen gilt. „Industrie 4.0“ ist erst der Anfang, es ist lediglich das vermutlich aktuell elaborierteste Konzept mit den agilsten Akteuren. „Digitalisierung“ wird nicht in der industriellen Produktion haltmachen.

## Literatur

Abel, Jörg; Hirsch-Kreinsen, Hartmut; Ittermann, Peter (2009): Einfacharbeit in der Industrie. Status quo und Entwicklungsperspektiven. Hg. v. Technische Universität Dortmund. Dortmund (Soziologisches Arbeitspapier Nr. 24/2009). Online verfügbar unter [http://www.wiso.tu-dortmund.de/wiso/is/de/forschung/soz\\_arbeitspapiere/AP-SOZ-24.pdf](http://www.wiso.tu-dortmund.de/wiso/is/de/forschung/soz_arbeitspapiere/AP-SOZ-24.pdf), zuletzt geprüft am 18.04.2016.

Abel, Jörg; Hirsch-Kreinsen, Hartmut; Ittermann, Peter (2014): Einfacharbeit in der Industrie. Strukturen, Verbreitung und Perspektiven. Berlin: Edition Sigma.

Apt, Wenke; Bovenschulte, Marc; Hartmann, Ernst A.; Wischmann, Steffen (2016): Roadmaps ins Jahr 2030. In: Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) (Hg.): Werkheft 01. Digitalisierung der Arbeitswelt. Berlin (Arbeiten 4.0), S. 28–39, zuletzt geprüft am 18.03.2016.

Arbeitskreis Industrie 4.0 (2013): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern. Abschlussbericht. Frankfurt. Online verfügbar unter [https://www.bmbf.de/files/Umsetzungsempfehlungen\\_Industrie4\\_0.pdf](https://www.bmbf.de/files/Umsetzungsempfehlungen_Industrie4_0.pdf), zuletzt geprüft am 04.03.2016.

Bauer, Wilhelm; Schlund, Sebastian; Marrenbach, Dirk; Ganschar, Oliver (2014): Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. Studie. Hg. v. Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM) und Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO). Berlin. Online verfügbar unter <https://www.bitkom.org/Publikationen/2014/Studien/Studie-Industrie-4-0-Volkswirtschaftliches-Potenzial-fuer-Deutschland/Studie-Industrie-40.pdf>, zuletzt geprüft am 04.03.2016.

Bauernhansl, Thomas; Hompel, Michael ten; Vogel-Heuser, Birgit (Hg.) (2014): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Wiesbaden: Springer Vieweg (SpringerLink : Bücher).

Bischoff, Jürgen; Taphorn, Christoph; Wolter, Denise; Braun, Nomo; Fellbaum, Manfred; Goloverov, Alexander et al. (2015): „Erschließen der Potenziale der Anwendung von ‚Industrie 4.0‘ im Mittelstand“. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). Hg. v. Jürgen Bischoff und agiplan GmbH. Mülheim an der Ruhr. Online verfügbar unter [http://www.zenit.de/fileadmin/Downloads/Studie\\_im\\_Auftrag\\_des\\_BMWi\\_Industrie\\_4.0\\_2015\\_agiplan\\_fraunhofer\\_uml\\_zenit\\_Langfassung.pdf](http://www.zenit.de/fileadmin/Downloads/Studie_im_Auftrag_des_BMWi_Industrie_4.0_2015_agiplan_fraunhofer_uml_zenit_Langfassung.pdf), zuletzt geprüft am 04.03.2016.

Bochum Marketing GmbH, Projektbüro UniverCity Bochum (2016). „Öffentliche Ringvorlesung Bochum 4.0 gibt Einblicke in Beiträge der UniverCity Bochum zur Zukunftsfähigkeit von Stadt und Gesellschaft“. Online verfügbar unter <http://www.univercity-bochum.de/component/k2/item/394-ringvorlesung-bochum4-0-news>, zuletzt geprüft am 14.04.2016

Brennen, Scott; Kreiss, Daniel (2014): Digitalization and Digitization. Culture Digitally. Online verfügbar unter <http://culturedigitally.org/2014/09/digitalization-and-digitization/>, zuletzt aktualisiert am 08.09.2014, zuletzt geprüft am 24.04.2016.

Brödner, Peter (2015): Industrie 4.0 und Big Data – wirklich ein neuer Technologieschub? In: Hartmut Hirsch-Kreinsen, Peter Ittermann und Jonathan Niehaus (Hg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. 1. Aufl. Baden-Baden: Nomos, S. 231–250.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) (Hg.) (2015): Grünbuch Arbeiten 4.0. Arbeit weiter denken. Berlin. Online verfügbar unter [http://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Publikationen-DinA4/gruenbuch-arbeiten-vier-null.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Publikationen-DinA4/gruenbuch-arbeiten-vier-null.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 15.04.2016.



- Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) (Hg.) (2016): Werkheft 01. Digitalisierung der Arbeitswelt. Berlin (Arbeiten 4.0). Online verfügbar unter [http://www.arbeitenviernull.de/fileadmin/Downloads/BMAS\\_Werkheft-1.pdf](http://www.arbeitenviernull.de/fileadmin/Downloads/BMAS_Werkheft-1.pdf), zuletzt geprüft am 18.03.2016.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hg.) (2014): Die neue Hightech-Strategie. Innovationen für Deutschland. Berlin. Online verfügbar unter [https://www.bmbf.de/pub\\_hts/HTS\\_Broschüre\\_Web.pdf](https://www.bmbf.de/pub_hts/HTS_Broschüre_Web.pdf), zuletzt geprüft am 15.04.2016.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hg.) (2016): Zukunftsprojekt Industrie 4.0 - BMBF. Digitale Wirtschaft und Gesellschaft. Online verfügbar unter <https://www.bmbf.de/de/zukunftsprojekt-industrie-4-0-848.html>, zuletzt aktualisiert am 19.04.2016, zuletzt geprüft am 25.04.2016.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hg.) (2015): Förderinitiative Mittelstand 4.0. Digitale Produktions- und Arbeitsprozesse. Berlin. Online verfügbar unter <http://www.mittelstand-digital.de/MD/Redaktion/DE/PDF/faktenblatt-mittelstand4.0,property=pdf,bereich=md,sprache=de,rwb=true.pdf>, zuletzt geprüft am 23.04.2016.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2016): Mittelstand 4.0 – Digitale Produktions- und Arbeitsprozesse. Berlin. Online verfügbar unter <http://www.mittelstand-digital.de/DE/Foerderinitiativen/mittelstand-4-0.html>, zuletzt geprüft am 23.04.2016.
- Bundesverband deutscher Banken e.V.; Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) (Hg.) (2015): Positionspapier des Bankenverbands und des Bundesverbands der Deutschen Industrie zur Finanzierung von Industrie 4.0. Berlin. Online verfügbar unter [http://bdi.eu/media/themenfelder/konjunktur\\_und\\_finanzmaerkte/downloads/01102015\\_Positionspapier\\_Industrie\\_4.0.pdf](http://bdi.eu/media/themenfelder/konjunktur_und_finanzmaerkte/downloads/01102015_Positionspapier_Industrie_4.0.pdf), zuletzt geprüft am 04.03.2016.
- Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI); Noerr (Hg.) (2015): Industrie 4.0 - Rechtliche Herausforderungen der Digitalisierung. Ein Beitrag zum politischen Diskurs. Berlin. Online verfügbar unter [http://bdi.eu/media/presse/publikationen/information-und-telekommunikation/201511\\_Industrie-40\\_Rechtliche-Herausforderungen-der-Digitalisierung.pdf](http://bdi.eu/media/presse/publikationen/information-und-telekommunikation/201511_Industrie-40_Rechtliche-Herausforderungen-der-Digitalisierung.pdf), zuletzt geprüft am 28.04.2016.
- Collatz, Annelen; Gudat, Karin (2011): Work-Life-Balance. Göttingen: Hogrefe (Praxis der Personalpsychologie, 25).
- Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN) (2016): Besser am Ball bleiben. Online verfügbar unter <http://www.din.de/de/forschung-und-innovation/industrie4-0>, zuletzt geprüft am 14.04.2016.
- Dueck, Gunter (2016): „Digitalisierung? Müssen wir wohl bald einführen!“ Hg. v. Stifterverband für die deutsche Wissenschaft. Essen (Merton Magazin). Online verfügbar unter <https://merton-magazin.de/%E2%80%9Edigitalisierung-m%C3%BCssen-wir-wohl-bald-einf%C3%BChren%E2%80%9C>, zuletzt aktualisiert am 16.03.2016, zuletzt geprüft am 22.04.2016.
- Friedrich-Ebert-Stiftung (FES) (Hg.) (2016): Frau.Total.Global. Wie schaffen wir Gleichstellung in Arbeit und Gesellschaft? Online verfügbar unter <http://niedersachsen.dgb.de/termine/++co++4bd0c43e-ca84-11e5-a29e-52540023ef1a>, zuletzt geprüft am 23.04.2016.
- Geisberger, Eva; Broy, Manfred (Hg.) (2012): agendaCPS. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften. München (acatech STUDIE). Online verfügbar unter [https://www.bmbf.de/files/acatech\\_STUDIE\\_agendaCPS\\_Web\\_20120312\\_superfinal.pdf](https://www.bmbf.de/files/acatech_STUDIE_agendaCPS_Web_20120312_superfinal.pdf), zuletzt geprüft am 14.04.2016.
- Gerlmaier, Anja; Latniak, Erich (Hg.) (2011): Burnout in der IT-Branche. Ursachen und betriebliche Prävention. Kröning: Asanger.
- Grunwald, Armin (Hg.) (2003): Technikgestaltung zwischen Wunsch und Wirklichkeit. Tagung „Technikgestaltung zwischen Wunsch und Wirklichkeit. Interdisziplinäre Annäherungen“ am 24./25. Oktober 2002 in Darmstadt. TU Darmstadt. Berlin: Springer.
- Haus der Kulturen der Welt (2016): Zivilgesellschaft 4.0 – Geflüchtete und digitale Selbstorganisation. Haus der Kulturen der Welt. Berlin. Online verfügbar unter [http://www.hkw.de/de/programm/projekte/2016/civil\\_society\\_4\\_0/civil\\_society\\_4\\_0\\_start.php](http://www.hkw.de/de/programm/projekte/2016/civil_society_4_0/civil_society_4_0_start.php), zuletzt geprüft am 23.04.2016.

- Hirsch-Kreinsen, Hartmut (2015a): Wandel industrieller Einfacharbeit durch Digitalisierung. In: Eva Ellereit, Christian Krell und Tobias Mörschel (Hg.): Die digitale Gesellschaft. Impulse zum Digitalisierungskongress. #Di-giKon15. Friedrich-Ebert-Stiftung (FES). Bonn, S. 8–9.
- Hirsch-Kreinsen, Hartmut (2015b): Digitalisierung von Arbeit: Folgen, Grenzen und Perspektiven. Hg. v. Technische Universität Dortmund. Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät. Dortmund (Soziologisches Arbeitspapier Nr. 43/2015). Online verfügbar unter <http://www.wiso.tu-dortmund.de/wiso/de/forschung/gebiete/fp-hirschkreinsen/aktuelles/meldungsmedien/20151015-Hirsch-Kreinsen-2015-Digitalisierung-von-Arbeit-Soz-Arbeitspapier.pdf>, zuletzt geprüft am 18.04.2016.
- Hirsch-Kreinsen, Hartmut (2015c): Digitalisierung industrieller Arbeit. Einleitung. In: Hartmut Hirsch-Kreinsen, Peter Ittermann und Jonathan Niehaus (Hg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. 1. Aufl. Baden-Baden: Nomos, S. 9–30.
- Hirsch-Kreinsen, Hartmut; Ittermann, Peter; Niehaus, Jonathan (Hg.) (2015): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. 1. Aufl. Baden-Baden: Nomos.
- Hompel, Michael ten; Kerner, Sören (2015): Logistik 4.0. In: Informatik Spektrum 38 (3), S. 176–182.
- Hornung, Gerrit; Hofmann, Kai (2015): Datenschutz als Herausforderung der Arbeit in der Industrie 4.0. In: Hartmut Hirsch-Kreinsen, Peter Ittermann und Jonathan Niehaus (Hg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. 1. Aufl. Baden-Baden: Nomos, S. 165-182.
- Initiative D21 e.V.; TNS Infratest (Hg.) (2014): Die Entwicklung der digitalen Gesellschaft in Deutschland. D21 – Digital-Index 2014. Online verfügbar unter [http://www.initiaved21.de/wp-content/uploads/2014/11/141107\\_digitalindex\\_WEB\\_FINAL.pdf](http://www.initiaved21.de/wp-content/uploads/2014/11/141107_digitalindex_WEB_FINAL.pdf), zuletzt geprüft am 25.04.2016.
- Institut für Mittelstandsforschung (IfM) (Hg.) (2015): Mittelstand im Überblick. Online verfügbar unter <http://www.ifm-bonn.org/statistiken/mittelstand-im-ueberblick/#accordion=0&tab=0>, zuletzt geprüft am 21.04.2016.
- Institut für Mittelstandsforschung (IfM) (Hg.) (2016): Informationen zum Mittelstand aus erster Hand. Stand 2016. Bonn. Online verfügbar unter [http://www.ifm-bonn.org/fileadmin/data/redaktion/ueber\\_uns/ifm-flyer/IfM-Flyer-2016.pdf](http://www.ifm-bonn.org/fileadmin/data/redaktion/ueber_uns/ifm-flyer/IfM-Flyer-2016.pdf), zuletzt geprüft am 21.04.2016.
- Ittermann, Peter; Niehaus, Jonathan; Hirsch-Kreinsen, Hartmut (2015): Arbeiten in der Industrie 4.0. Trendbestimmungen und arbeitspolitische Handlungsfelder. Study. Hg. v. Hans-Böckler-Stiftung. Düsseldorf. Online verfügbar unter <http://www.wiso.tu-dortmund.de/wiso/de/forschung/gebiete/fp-hirschkreinsen/aktuelles/meldungsmedien/20150721-Ittermann-et-al-2015-Arbeiten-in-der-Industrie-4-0-HBS.pdf>, zuletzt geprüft am 18.04.2016.
- Jasperneite, Jürgen (2012): Alter Wein in neuen Schläuchen. In: Computer Automation (12), S. 24–28. Online verfügbar unter [http://www.ciit-owl.de/uploads/media/410-10%20gh%20Jasperneite%20CA%202012-12\\_lowres1.pdf](http://www.ciit-owl.de/uploads/media/410-10%20gh%20Jasperneite%20CA%202012-12_lowres1.pdf), zuletzt geprüft am 26.04.2016.
- Johannes-Gutenberg-Universität Mainz (09.11.2015): mainzed – Mainzer Zentrum für Digitalität in den Geistes- und Kulturwissenschaften gegründet. Mainz. Bruhn, Nicole, Geschäftsstelle mainzed, Hochschule Mainz, Lucy-Hillebrand-Str. 2, 55128 Mainz. Online verfügbar unter <https://www.uni-mainz.de/presse/73447.php>, zuletzt geprüft am 07.04.2016.
- Kagermann, Henning; Lukas, Wolf-Dieter; Wahlster, Wolfgang (2011): Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. Hg. v. VDI Verlag. Düsseldorf. Online verfügbar unter <http://www.ingenieur.de/Themen/Produktion/Industrie-40-Mit-Internet-Dinge-Weg-4-industriellen-Revolution>, zuletzt aktualisiert am 01.04.2011, zuletzt geprüft am 25.04.2016.
- Kenn, Andres (2015): Das digitale Debakel. Warum das Internet gescheitert ist – und wie wir es retten können. München: Deutsche Verlags-Anstalt.
- Knorr, Eric (2003): 2004: The Year of Web Services. In: CIO magazine, S. 90. Online verfügbar unter <http://www.cio.com/article/2439869/web-services/2004--the-year-of-web-services.html>, zuletzt geprüft am 21.04.2016.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften (20.05.2003): Empfehlung der Kommission vom 6. Mai 2003 betreffend die Definition der Kleinstunternehmen sowie der kleinen und mittleren Unternehmen, AZ K(2003) 1422. In: Amtsblatt der Europäischen Union, S. 36–41. Online verfügbar unter [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=uriserv:OJ.L\\_.2003.124.01.0036.01.DEU](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=uriserv:OJ.L_.2003.124.01.0036.01.DEU), zuletzt geprüft am 21.04.2016.

- KPMG (Hg.) (2014): IT-Sicherheit in Deutschland. Handlungsempfehlungen für eine zielorientierte Umsetzung des IT-Sicherheitsgesetzes. Online verfügbar unter [http://bdi.eu/media/presse/publikationen/KPMG\\_IT-Sicherheit\\_in\\_Deutschland.pdf](http://bdi.eu/media/presse/publikationen/KPMG_IT-Sicherheit_in_Deutschland.pdf), zuletzt geprüft am 28.04.2016.
- Lee, Edward Ashford; Seshia, Sanjit Arunkumar (2015): Introduction to Embedded Systems. A Cyber-Physical Systems Approach. 2. Aufl.: LeeSeshia.org. Online verfügbar unter [http://leeseshia.org/releases/LeeSeshia\\_DigitalV2\\_0.pdf](http://leeseshia.org/releases/LeeSeshia_DigitalV2_0.pdf), zuletzt geprüft am 26.04.2016.
- LeitmarktAgentur.NRW (Hg.) (2014): Gesucht: Neue Ideen für den Leitmarkt Maschinen und Anlagenbau / Produktionstechnik in NRW. Produktion.NRW. Jülich. Online verfügbar unter [https://www.leitmarktagentur.nrw/lw\\_resource/datapool/items/item\\_93/wettbewerbsaufrufproduktionnrw.pdf](https://www.leitmarktagentur.nrw/lw_resource/datapool/items/item_93/wettbewerbsaufrufproduktionnrw.pdf), zuletzt geprüft am 21.04.2016.
- Ludwig, Thomas; Kotthaus, Christoph; Stein, Martin; Durt, Hartwig; Kurz, Constanze; Wenz, Julian et al. (2016): Arbeiten im Mittelstand 4.0 – KMU im Spannungsfeld des digitalen Wandels. In: HMD 53 (1), S. 71–86.
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg; Akademie für Natur- und Umweltschutz (Hg.) (2015): Nachhaltiger Konsum: Essen 4.0: Wie essen wir in der Zukunft? Online verfügbar unter <http://www4.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/123716/>, zuletzt aktualisiert am 13.12.2015, zuletzt geprüft am 23.04.2016.
- OECD - Centre for Educational Research and Innovation (2000): Learning to Bridge the Digital Divide. Schooling for Tomorrow. Paris: OECD Publishing.
- Paul, Hansjürgen (1995): Exploratives Agieren. Ein Beitrag zur ergonomischen Gestaltung interaktiver Systeme. Frankfurt am Main: Lang (Europäische Hochschulschriften Reihe 41, Informatik, 16).
- Paul, Stephan (2015): Industrie 4.0 krepelt die Unternehmensfinanzierung um. Ansichtssache. In: Börsen Zeitung (228), S. 6. Online verfügbar unter [http://www.ruhr-uni-bochum.de/fin-kred/downloads/Paul%20-%20Industrie%204\\_0%20klein.pdf](http://www.ruhr-uni-bochum.de/fin-kred/downloads/Paul%20-%20Industrie%204_0%20klein.pdf), zuletzt geprüft am 22.04.2016.
- Pipek, Volkmar; Wulf, Volker (2009): Infrastructuring: Toward an Integrated Perspective on the Design and Use of Information Technology. In: Journal of the Association for Information Systems (JAIS) 10 (5), S. 447–473. Online verfügbar unter [https://www.uni-siegen.de/infme/start\\_ifm/downloads/tagungen/eusset/pipek\\_wulf\\_infrastructuring.pdf](https://www.uni-siegen.de/infme/start_ifm/downloads/tagungen/eusset/pipek_wulf_infrastructuring.pdf), zuletzt geprüft am 25.04.2016.
- Rehtanz, Christian (2015): Energie 4.0 – Die Zukunft des elektrischen Energiesystems durch Digitalisierung. In: Informatik Spektrum 38 (1), S. 16–21.
- Schaar, Peter (2015): Das digitale Wir. Unser Weg in die transparente Gesellschaft. Hamburg: Edition Körber-Stiftung.
- Schröder, Christian (2016): Herausforderungen von Industrie 4.0 für den Mittelstand. Hg. v. Friedrich-Ebert-Stiftung (FES). Bonn (Gute Gesellschaft – soziale Demokratie #2017plus). Online verfügbar unter <http://library.fes.de/pdf-files/wiso/12277.pdf>, zuletzt geprüft am 04.03.2016.
- Schröder, Lothar (2015): Wie sich die Digitalisierung entwickelt und warum die Zukunft in der Guten Arbeit liegt. In: Christopher Schlick (Hg.): Arbeit in der digitalisierten Welt. Beiträge der Fachtagung des BMBF 2015. Frankfurt: Campus-Verl., S. 44–54.
- Schröder, Lothar; Urban, Hans-Jürgen (Hg.) (2016): Gute Arbeit. Digitale Arbeitswelt – Trends und Anforderungen. Jahrbuch 2016. Frankfurt am Main: Bund-Verlag GmbH (2016).
- Scott, Charlie; Carbone, Richard (2014): Designing and Implementing a Honeypot for a SCADA Network. In: The SANS Institute Reading Room. Online verfügbar unter <https://www.sans.org/reading-room/whitepapers/detection/designing-implementing-honeypot-scada-network-35252>, zuletzt geprüft am 22.04.2016.
- Steinbuch, Karl (1966): Die informierte Gesellschaft. Geschichte und Zukunft der Nachrichtentechnik. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt.
- Steinbuch, Karl (1968): Falsch programmiert. Über das Versagen unserer Gesellschaft in der Gegenwart und vor der Zukunft und was eigentlich geschehen müßte. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt.

- Stich, Volker; Gudergan, Gerhard; Senderek, Roman (2015): Arbeiten und Lernen in der digitalisierten Welt. In: Hartmut Hirsch-Kreinsen, Peter Ittermann und Jonathan Niehaus (Hg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. 1. Aufl. Baden-Baden: Nomos, S. 109-130.
- Swisscom (2015): Schneller, intelligenter, vernetzter: Die vierte industrielle Revolution. Online verfügbar unter [http://documents.swisscom.com/product/1000174-Internet/Documents/Diverse/Digitalisierung\\_Infografik\\_PDF\\_151016.pdf](http://documents.swisscom.com/product/1000174-Internet/Documents/Diverse/Digitalisierung_Infografik_PDF_151016.pdf), zuletzt aktualisiert am 16.10.2015, zuletzt geprüft am 01.04.2016.
- VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) (Hg.) (2013): Cyber-Physical Systems: Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation. Thesen und Handlungsfelder. Online verfügbar unter [https://www.vdi.de/uploads/media/Stellungnahme\\_Cyber-Physical\\_Systems.pdf](https://www.vdi.de/uploads/media/Stellungnahme_Cyber-Physical_Systems.pdf), zuletzt geprüft am 26.04.2016.
- Weiser, Mark (1999): The computer for the 21st century. In: ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review 3 (3), S. 3-11.
- Werth, Dirk; Greff, Tobias; Scheer, August-Wilhelm (2016): Consulting 4.0 – Die Digitalisierung der Unternehmensberatung. In: HMD 53 (1), S. 55–70.
- Wischmann, Steffen; Wangler, Leo; Botthof, Alfons (2015): Industrie 4.0. Volks- und betriebswirtschaftliche Faktoren für den Standort Deutschland. Studie im Rahmen der Begleitforschung zum Technologieprogramm AUTONOMIK für Industrie 4.0. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Berlin. Online verfügbar unter [https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/F/industrie-4-0-volks-und\\_20betriebswirtschaftliche-faktoren-deutschland,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf](https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/F/industrie-4-0-volks-und_20betriebswirtschaftliche-faktoren-deutschland,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf), zuletzt geprüft am 24.04.2016.
- Zühlke, Karin (2015): »Deutschland hat die erste Halbzeit verloren«. Plattform Industrie 4.0 vor dem Aus. Online verfügbar unter <http://www.elektroniknet.de/elektronikfertigung/strategien-trends/artikel/116855/>, zuletzt aktualisiert am 10.02.2015, zuletzt geprüft am 27.04.2016.

**Autor:**

Dr.-Ing. Hansjürgen Paul ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungsschwerpunkt Raumkapital und in der Studiengruppe CultNature.

Kontakt:

[paul@iat.eu](mailto:paul@iat.eu)

**Forschung Aktuell**

ISSN 1866 – 0835

Institut Arbeit und Technik der Westfälischen Hochschule  
Gelsenkirchen – Bocholt – Recklinghausen

Redaktionsschluss: 2. Mai 2016

<http://www.iat.eu/forschung-und-beratung/publikationen/forschung-aktuell.html>

**Redaktion**

Claudia Braczko

Tel.: 0209 - 1707 176

Institut Arbeit und Technik

Fax: 0209 - 1707 110

Munscheidstr. 14

E-Mail: [braczko@iat.eu](mailto:braczko@iat.eu)

45886 Gelsenkirchen

IAT im Internet: <http://www.iat.eu>