

1 Untersuchungsgegenstand

Wie kaum eine technische Entwicklung wirft die Digitalisierung der Arbeitswelt gesellschaftliche und insbesondere rechtliche Fragestellungen auf. In der Rechtswissenschaft wurden bisher vor allem die Auswirkungen dieser Entwicklung auf Büro­tätigkeiten im weitesten Sinne thematisiert.¹ Aus datenschutzrechtlicher Sicht stand dabei vor allem die Kontrolle und Überwachung der Informations- und Kommunikationsmittel des Arbeitnehmers im Fokus.²

In letzter Zeit tut sich jedoch ein weiteres Entwicklungsfeld auf: Unter dem Schlagwort der „Industrie 4.0“ soll auch das produzierende Gewerbe umfassend digitalisiert werden. Das hierfür propagierte Konzept basiert auf der Idee eines „Internets der Dinge“, welches durch die Verknüpfung von Internetanwendungen mit realen Objekten entsteht. Die so vernetzten Maschinen und Werkstücke sollen in der Lage sein, untereinander Daten auszutauschen und sich selbständig gegenseitig zu steuern. Das Ziel dieser Entwicklung ist es, eine qualitativ neue Ebene der Automatisierung zu erreichen und so letztlich erhebliche Flexibilisierungs- und Effizienzgewinne zu realisieren.

Mit der Entwicklung zur Industrie 4.0 wird nun auch die Arbeitswelt der industriellen Produktion digitalisiert. Die fortschreitende Automatisierung wird zwar keine menschenleeren Fabriken hinterlassen, wohl aber die darin organisierte Arbeit einem tiefgreifenden Wandel unterziehen. Die Aufgaben der Beschäftigten – und vor allem der Fachkräfte – werden sich nicht nur umfangreicher, sondern auch vielfältiger gestalten.³ Um sie zu bewältigen, sollen in Zukunft verstärkt Assistenzsysteme zur Unterstützung der Mitarbeiter zum Einsatz kommen. Sie sollen dazu dienen, die Arbeit der Beschäftigten besser zu planen, ihnen die in der jeweiligen Situa-

1 Zuletzt z.B. *Krause*, NZA-Beil. 2017, S. 53–59; *Schwemmler/Wedde* 2012; *Thüsing*, Soziales Recht 2016, S. 87–108.

2 Speziell zur multimedialen Systemen *Neu* 2014; *Spanke* 2011; *Steidle* 2005; allgemein *Baier* 2010; *Block* 2012; *Elschner* 2004; *Hoppe* 2010; *Koepfen* 2007; *Mattl* 2008; *Meyer-Michaelis* 2014; *Mölter* 2012; *Neu* 2014; *Schmitz* 2016; zur Ausweitung auf andere Arbeitsfelder siehe auch *Höller/Wedde*, Magazin Mitbestimmung 10/2018, 6.

3 *Windelband/Spöttl* 2012, S. 214 f.

on notwendigen Informationen optimal aufbereitet zur Verfügung zu stellen oder physisch Hilfestellung bei manuellen Verrichtungen zu leisten.

- 4 Der Einsatz solcher Assistenzsysteme wirft eine Fülle von Rechtsfragen⁴ auf, die – wenngleich sie nicht als dringendstes Problem wahrgenommen werden – ein Umsetzungshindernis für die Entwicklung zur Industrie 4.0 darstellen können.⁵ Gerade die Akzeptanz durch die Belegschaft wird hier ein entscheidender Faktor sein. Darum sollen in dieser Arbeit zwei Rechtsfragen herausgegriffen und vertieft werden, die eben dieses Feld betreffen:
 - Die Entwicklung der Arbeit in der Industrie 4.0 ist gegenwärtig ungewiss. Hierzu werden verschiedene Gestaltungsansätze diskutiert, die stellenweise zur Dequalifizierung von Mitarbeitern, teilweise aber auch zu einem Aufgabenzuwachs führen sollen. Gleiches gilt für die damit einhergehenden Belastungen der Beschäftigten. Hier stellt sich die Frage, inwiefern das Arbeitsrecht und insbesondere das Arbeitsschutzrecht diesen Entwicklungsmöglichkeiten Grenzen setzen. Dies soll im ersten Schwerpunkt der Arbeit diskutiert werden.
 - Um ihre Leistung an den aktuellen Bedarf anzupassen, müssen Assistenzsysteme die Situation, in der sich der Mitarbeiter befindet, möglichst genau erfassen. Der damit verbundene Umgang mit personenbezogenen Daten wirft Fragen nach der datenschutzrechtlichen Zulässigkeit dieser Systeme auf. Der zweite Schwerpunkt dieser Arbeit liegt darum auf dem Beschäftigtendatenschutz.

1.1 Unterbau: Ubiquitous Computing und das Internet der Dinge

- 5 Das Konzept der Industrie 4.0 baut auf den Ansätzen des Ubiquitous Computing und des Internets der Dinge auf und versucht, sie in die Umgebung der industriellen Produktion zu übertragen.⁶ Beide Ansätze sollen darum hier skizziert werden.
- 6 Ebenso wie der Begriff der Industrie 4.0 selbst bezeichnen weder Ubiquitous Computing noch das Internet der Dinge abgrenzbare technische Entwicklungen. Sie sind vielmehr Sammelbegriffe, mit denen in der Debatte um die Zukunft des Computers und die gesellschaftlichen Auswirkungen

4 Für eine Systematisierung der drängendsten Rechtsfragen siehe *Hornung/Hofmann* 2018.

5 *Acatech* 2013, S. 29.

6 *Acatech* 2013, S. 18; *Kagermann et al.*, VDI Nachrichten, Ausgabe 13 v. 1.4.2011, S. 2.

der technischen Entwicklung verschiedene Ansätze gekennzeichnet werden. Beide Ansätze beruhen auf der gemeinsamen Vorstellung, dass Datenverarbeitung nicht länger nur in wenigen zentralen Geräten stattfindet, sondern zunehmend in die verschiedensten uns umgebenden Dinge wandert.⁷ Um diesen Sammelbegriffen etwas Kontur zu geben, sollen im Folgenden einige dieser Ansätze kurz dargestellt werden.

1.1.1 Ubiquitous Computing

Der Begriff des Ubiquitous Computing geht auf *Weiser*⁸ zurück und beschreibt einen Designansatz, bei dem die Technik zwar – daher der Name – allgegenwärtig ist, dabei aber gleichsam in den Hintergrund tritt. Ziel ist es, die Interaktion des Menschen mit dem Computer intuitiver und weniger belastend zu gestalten und dem Benutzer der Technik so zu erlauben, sich weniger auf deren Bedienung und mehr auf seine eigentliche Tätigkeit zu konzentrieren. Dies soll gelingen, indem die Fortschritte der Mikroelektronik – Miniaturisierung der Computerchips bei gleichzeitiger Steigerung der Leistung und Verringerung des Energieverbrauchs⁹ –, der Sensorik¹⁰ und der Kommunikationstechnik¹¹ dazu genutzt werden, auch alltägliche Dinge für den Nutzer nahezu unsichtbar mit Mikrocomputern auszustatten. Solche Computer sind – anders als bspw. Arbeitsplatzcomputer – stark in einem technischen Kontext eingebunden und an dessen spezifische Anforderungen angepasst und werden darum als eingebettete Systeme bezeichnet. Werden sie in Alltagsgegenstände eingebracht, reichern sie deren Gebrauchswert um bestimmte elektronisch gesteuerte Anwendungen an. *Weiser* nennt hierfür das Beispiel einer Tür, die Berechtigte erkennt und nur für sie automatisch aufschwingt.¹² Der Fokus im Ubiquitous Computing liegt jedoch auf Anwendungen, die durch die Interaktion

7 *Siemoneit* 2005a, S. 21; *Sprenger/Engemann* 2015, S. 8 ff.

8 *Weiser*, *Scientific American* 3/1991, S. 66–75.

9 *Acatech* 2009, S. 12 ff.; beispielhaft kann hier die als „Moore’sches Gesetz“ bekannte Faustregel genannt, der zufolge sich die Zahl der auf einem Chip integrierbaren elektronischen Komponenten alle 18 bis 24 Monate verdoppelt, was sich sowohl auf die Leistungsfähigkeit als auch den Energieeffizienz positiv auswirkt, siehe *Mattern* 2005, S. 42 f.; *Sprenger/Engemann* 2015, S. 14; *ULD/IWI* 2006, S. 15 f.

10 *ULD/IWI* 2006, S. 18.

11 *Acatech* 2009, S. 20 f.; *Friedewald* 2009, S. 12.

12 *Weiser*, *Scientific American* 3/1991, S. 66, 69.

mehrerer eingebetteter Systeme realisiert werden. Dies geht so weit, dass der Nutzer diese Anwendungen unabhängig von einem konkreten Endgerät nutzen können soll. Sie wandern gewissermaßen mit ihm mit und können durch jedes prinzipiell geeignete Gerät in seiner Nähe verfügbar gemacht werden.¹³

- 8 Im Mittelpunkt *Weisers* Überlegungen steht der Mensch, dem die Technik stets verfügbar hilfreich zu Seite stehen soll. Als Beispiele nennt er Geräte, die ihren Standort ermitteln und ihren Benutzer identifizieren können und dadurch in der Lage sind, ihr Verhalten nach der Funktion des Raumes und den Vorlieben des Nutzers auszurichten.¹⁴ Komplexere Anwendungen könnten dem Nutzer Zusatzinformationen zu (ebenfalls mit Mikrocomputern ausgestatteten) Produkten liefern oder seine Interaktion mit solchen Gegenständen zur Gedächtnisstütze mitprotokollieren.¹⁵
- 9 Im Verlauf der technischen Entwicklung wurden ähnliche Ansätze unter verschiedenen Begriffen wie „Pervasive Computing“¹⁶ oder „Ambient Intelligence“¹⁷ in die Debatte eingeführt.¹⁸ Sie folgen ebenfalls der Grundidee des umfassenden Einsatzes eingebetteter Systeme, unterscheiden sich vom Ubiquitous Computing aber vor allem durch den zeitlichen Erwartungshorizont. Während Ubiquitous Computing eher als ferne Zukunftsvision betrachtet wurde,¹⁹ ging es in diesen Ansätzen mehr um die Realisierung kurz- oder mittelfristiger Lösungen. Im Wesentlichen ging mit diesen Begriffen aber kein Bedeutungswandel einher.²⁰

1.1.2 Das Internet der Dinge

- 10 In der Vision des Ubiquitous Computing wird zu ersten Mal das Bild einer Welt gezeichnet, in der in Alltagsgegenstände eingebettete Prozessoren allgegenwärtig werden und gleichzeitig unmerklich Daten erfassen. Insofern ergeben sich starke Parallelen zur Vision des Internets der Dinge, wie sie

13 *BSI* 2006, S. 8; *Weiser*, *Scientific American* 3/1991, S. 66, 72.

14 *Weiser*, *Scientific American* 3/1991, S. 66, 68 f.

15 *Weiser*, *Scientific American* 3/1991, S. 66, 72.

16 Z.B. die Studie des *BSI* 2006.

17 Z.B. *ISTAG* 2001.

18 *Fabian/Hansen* 2006, S. 11 f.; *Ferscha* 2007, S. 5; *Friedewald* 2009, S. 9 f.; *Mattern* 2005, S. 40; *Siemoneit* 2005a, S. 20.

19 *Mattern* 2005, S. 40.

20 *BSI* 2006, S. 52; *Friedewald* 2009, S. 9 f.; *Mattern* 2005, S. 41; *Siemoneit* 2005a, S. 20.

wohl erstmals von *Ashton*²¹ postuliert wurde. Sie beruht auf der Diagnose, dass das Internet zwar mithilfe von Computern (Server, Router, ...) betrieben werde, die darin verarbeiteten Informationen im Wesentlichen aber erst von Menschen erfasst werden müssten, etwa indem diese einen Wert eintippen oder einen Barcode scannen. Im „Internet of Things“ soll der Mensch als Mittler wegfallen. Die Gegenstände sollen die Informationen stattdessen selbst ermitteln können. Das kann entweder dadurch geschehen, dass sie ihre Umwelt über Sensoren unmittelbar wahrnehmen oder die notwendigen Daten durch die Interaktion mit anderen, mit ihnen vernetzten Dingen, erfassen können.

Durch das Internet der Dinge sind Informationen über die unterschiedlichsten Gegenstände weltweit verfügbar und können ausgetauscht, miteinander verknüpft und verarbeitet werden.²² Infolge dieser Vernetzung – teilweise aber auch erst, wenn die Fähigkeit, Daten zu erfassen und zu verarbeiten hinzutritt²³ – werden Gegenstände als „smart“²⁴ oder „intelligent“²⁵ bezeichnet. Das soll jedoch keinesfalls bedeuten, dass sie eine dem Menschen auch nur ansatzweise vergleichbare Intelligenz aufwiesen. Die „Intelligenz“ dieser Systeme bezieht sich vielmehr auf die umfassende Verfügbarkeit von Informationen und soll sie in dem Sinne nur von Gegenständen abgrenzen, die nicht über eine derartige erweiterte Funktionalität verfügen.²⁶

1.1.2.1 Begriffsgeschichte und Interpretationen

Das Internet der Dinge soll nicht nur die Lebensbereiche, die mit ihm in Kontakt kommen, einem tiefgreifenden Wandel unterziehen, sein Konzept hat sich mit der Zeit ebenfalls gewandelt und der aktuellen technischen Entwicklung angepasst. Auffallend ist dabei die stetige Dezentralisie-

21 *Ashton*, RFID Journal, 22.6.2009; in der ersten Veröffentlichung, die den Begriff verwendet (*Schoenberger*, Forbes, Ausgabe 6 v. 18.3.2002, S. 155, 158) wird *Ashton* zitiert mit „We need an 'Internet-for-things', a standardized way for computers to understand the real world.“, siehe *Mattern/Flörkemeier*, Informatik Spektrum 2010, S. 107, 108.

22 *Botthof, et al.* 2009, S. 7.

23 *Müller/Riedel* 2014, S. 214 f.

24 *Botthof, et al.* 2009, S. 7; *Mattern* 2008, S. 12.

25 *Geisberger/Broy* 2012, S. 24.

26 *Acatech* 2009, S. 9.

rung der Lösungsansätze, bei der die einzelnen Teile des Netzwerks gleichsam an Funktionalität und Bedeutung gewinnen.

1.1.2.1.1 Auto-ID und EPC

- 13 Eine erste Umsetzung erfuhr die Idee eines Internets der Dinge mit der Arbeit am „Electronic Product Code (EPC)“.²⁷ Dabei handelt es sich um eine eindeutige Nummer, mit der theoretisch jedes einzelne weltweit gehandelte Objekt ausgezeichnet werden kann. Die Nummer wird auf einem RFID-Transponder gespeichert und am physischen Objekt angebracht. Von dort kann sie von RFID-Lesegeräten kontaktlos und ohne, dass eine Sichtverbindung bestehen muss, ausgelesen werden.²⁸ Informationen über das Produkt sowie die Ereignisdaten, die beim Auslesen des RFID-Transponders entstehen, können mit dem EPC verknüpft in einer lokalen Hintergrunddatenbank gespeichert werden, die ihrerseits mit dem Internet verbunden ist. Anhand des EPC können diese Datenbanken mithilfe des „Object Name Service (ONS)“ aufgefunden werden. Auf diese Weise ist es theoretisch möglich, mit dem EPC eines Objekts dessen Spur zurückzuverfolgen oder Zusatzinformationen über dieses Objekt abzurufen.²⁹
- 14 Das EPC-Netzwerk ist als universelles System angelegt, mit dem jedes handelbare Objekt unabhängig von seinen sonstigen Eigenschaften ausgezeichnet werden kann. Um diese Masse an Objekten bewältigen zu können, folgt sein Konstruktionsprinzip dem des Internets. Entsprechend basiert auch das EPC-Netzwerk auf lokalen Datenbanken, die – gleichwohl dies in der Praxis wohl überwiegend unterbleibt³⁰ – mithilfe einheitlicher Standards miteinander vernetzt werden können.³¹

27 Flörkemeier 2005; Hellenschmidt/Wichert 2007, S. 91; Mattern/Flörkemeier, Informatik Spektrum 2010, S. 107, 108; Sarma, et al. 2000.

28 Zur RFID-Technologie allgemein s. BSI 2004, S. 27 ff.; Lampe, et al. 2005.

29 Flörkemeier 2005, S. 93; Gaßner 2009, S. 23; Mattern/Flörkemeier, Informatik Spektrum 2010, S. 107, 114 f.; Sarma, et al. 2000, S. 5.

30 Mattern/Flörkemeier, Informatik Spektrum 2010, S. 107, 115; Gaßner 2009, S. 23 ff.

31 Mattern/Flörkemeier, Informatik Spektrum 2010, S. 107, 115; Sarma, et al. 2000, S. 4 f.

1.1.2.1.2 Bedeutung des „Internets der Dinge“

An diesem Beispiel zeigt sich, dass der Begriff des Internets der Dinge 15
durchaus unterschiedliche Bedeutungen aufweisen kann. Am nächsten
liegt wohl die Interpretation, Dinge über den Internet Protocol (IP)-Stan-
dard mit dem Internet zu verbinden. In diesem Kontext kommen unter
anderem technische Innovationen wie IPv6³² oder die fünfte Mobilfunkge-
neration³³ zum Tragen.

Bei einem System wie dem EPC-Netzwerk findet der Datenaustausch zwi- 16
schen den Dingen, also RFID-Transponder und Lesegerät – der sich hier
ohnehin auf das Auslesen der eindeutigen Nummer des RFID-Transpon-
ders beschränkt – nicht unter Verwendung des Internet Protocol, sondern
RFID-eigener Protokolle statt.³⁴ „Internet“ ist hier nur in einem übertrage-
nen Sinne gemeint, weil eines seiner Prinzipien auf ein anderes System
übertragen wurde oder sonst ein Bezug zum Internet besteht. Allein hin-
sichtlich des EPC trifft dies in mehrfacher Weise zu.

Ein Bezug ist sein Aufbau als ein aus eigenständigen Netzwerken bestehendes, 17
interoperables und frei skalierbares Netzwerk. Als eine weitere Par-
allele wurde die individuelle Auszeichnungsmöglichkeit und die Zuord-
nung zu einem Datenbankeintrag herangezogen, in deren Folge „jedem
Ding seine Homepage“ zugewiesen werden kann.³⁵ Ein anderer Vergleich
richtet sich auf das Prinzip der Paketvermittlung, durch dessen Anwen-
dung in einer dezentral organisierten Logistik physische Pakete ihr Ziel
kennen und sich selbst ihren Weg dorthin suchen.³⁶ Eine sehr weite Inter-
pretation stellt schließlich darauf ab, dass Maschinen auf irgendeine Art
miteinander über das Internet kommunizieren, egal, mit welcher Technik
dabei „der letzte Meter“ überbrückt wird. Wie schon bei *Ashton* soll mit
der Betonung der Dinge herausgestellt werden, dass das Internet nicht

32 *Fabian/Hansen* 2006, S. 39; *Mattern/Flörkemeier*, Informatik Spektrum 2010, S. 107, 116 f.; durch IPv6 wurde der Adressraum des Internet-Protocol so stark er-
weitert, dass weltweit jedem Gegenstand eine eindeutige IP-Adresse zugewiesen
werden kann, s. *Freund/Schnabel*, MMR 2011, S. 495.

33 5G soll insbesondere durch seine erhöhten Übertragungsraten und geringen La-
tenzzeiten die Steuerung von Maschinen unmittelbar über das Mobilfunknetz er-
möglichen. Erst dadurch werde das Internet der Dinge realisierbar, siehe *Bösch*,
VDI Nachrichten, Ausgabe 11 v. 13.3.2015, S. 20.

34 *Mattern* 2005, S. 48; *Mattern/Flörkemeier*, Informatik Spektrum 2010, S. 107, 108.

35 *Bullinger* 2007, S. XXIV; wobei dies eher auf ein „WWW der Dinge“ schließen las-
se würde.

36 *Mattern* 2005, S. 48; *Mattern/Flörkemeier*, Informatik Spektrum 2010, S. 107, 108.

mehr nur zur Mensch-Mensch oder Mensch-Maschine-Kommunikation verwendet wird.³⁷

1.1.2.1.3 Unterschied zum Ubiquitous Computing

- 18 Trotz der augenfälligen Parallelen zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Konzepten des Ubiquitous Computing und des Internets der Dinge. Das betrifft zum einen die Zielsetzung. Während *Weiser* vor allem einen Designansatz beschreibt, um Menschen in ihrem (Büro-) Alltag unauffällig zu unterstützen,³⁸ verfolgt das Internet der Dinge einen offenen, nicht notwendigerweise humanzentrierten Ansatz. Die Fähigkeit von Gegenständen, Daten selbst zu erfassen, soll auch in Bereichen eingesetzt werden, in denen – infolge dieses Einsatzes – die Prozesse weitgehend automatisiert und ohne den Eingriff des Menschen ablaufen. Als Anwendungsbereiche z.B. des EPC werden folglich u.a. die Optimierung von Lieferketten (Supply-Chain-Management) oder Inventursystemen genannt.³⁹ Der zweite Unterschied betrifft die Rolle der Vernetzung. Die Geräte in *Weisers* Ubiquitous Computing verfügen zwar teilweise über einen globalen Anschluss,⁴⁰ die Interaktion dieser eingebetteten Systeme und die damit verbundene Datenverarbeitung findet aber überwiegend lokal statt.⁴¹ Demgegenüber betonen die unterschiedlichen Interpretationen des Internets der Dinge die globale Vernetzung und eine Interaktion in offenen und erweiterbaren Strukturen.

1.1.2.2 Anwendungsbeispiele

- 19 Die Funktionalität und Komplexität der im Internet der Dinge vernetzten Gegenstände können ebenso wie die Art und die technische Umsetzung

37 *Mattern* 2005, S. 48 f.; *Mattern/Flörkemeier*, Informatik Spektrum 2010, S. 107, 108.

38 Um diesen Aspekt zu betonen, benutzte *Weiser* im weiteren Verlauf der Debatte den Begriff der „Calm Technology“, *Weiser/Brown* 2015; siehe hierzu *Sprenger* 2015, S. 76.

39 *Sarma, et al.* 2000, S. 4.

40 Er geht bereits 1996 auf die Möglichkeit ein, mit dem Internet Protokoll IPv6 „mehr als tausend Geräte für jedes Atom auf der Erdoberfläche zu adressieren“, *Weiser/Brown* 2015, S. 62.

41 *Siemoneit* 2005a, S. 31; *Sprenger/Engemann* 2015, S. 15.

der Vernetzung stark variieren und richten sich ganz nach der Anwendung, die damit realisiert werden soll.⁴²

1.1.2.2.1 Speicher

Anwendungen wie das EPC-Netzwerk setzen bewusst nur einen sehr geringen Funktionsumfang der in den einzelnen Gegenständen eingebetteten Systeme voraus.⁴³ Hier werden RFID-Tags lediglich dazu eingesetzt, einzelne Gegenstände wie Güter, Ladungsträger, Regale oder Transportfahrzeuge, an denen diese Tags haften, zu identifizieren. Die eigentliche Datenverarbeitung findet in Hintergrundsystemen statt, in denen jedem Gegenstand ein Eintrag zugeordnet wird.⁴⁴ Zu einer über den Austausch der ID hinausgehenden Kommunikation zwischen den Gegenständen oder gar einer Datenverarbeitung kommt es nicht.

Einen Schritt weiter gehen hier Anwendungen, bei denen die relevanten Informationen nicht mehr (allein) in einem Hintergrundsystem abgelegt, sondern (auch) auf dem integrierten Speicher des Gegenstandes geschrieben werden.⁴⁵ Für Anwendungen in der Logistik oder der Produktionssteuerung können dort das Ziel des Transportguts bzw. bestimmte Eigenschaften des Werkstücks vermerkt werden. Werden diese Speicher nicht mehr zu ihrem ursprünglichen Zweck gebraucht, können sie neu beschrieben und anderweitig genutzt werden. Ein RFID-Transponder, der ursprünglich zur Produktionssteuerung an der Karosserie eines Fahrzeuges angebracht wurde, kann z.B. mit wesentlichen Fahrzeugdaten überschrieben werden, die helfen können, den illegalen Export von Altfahrzeugen zu verhindern.⁴⁶

42 Die folgende Darstellung orientiert sich maßgeblich an *Mattern/Flörkemeier*, Informatik Spektrum 2010, S. 107, 110 ff.

43 *Sarma, et al.* 2000, S. 5.

44 Hauptanwendungsfeld sind hier Handel und Logistik, s. *Friedewald* 2009, S. 14; *Gaßner* 2009.

45 *Botthof, et al.* 2009, S. 8; *Bullinger* 2007, S. XXIV; *Kröner* 2010, S. 193 f.

46 *Urban, et al.* 2011, S. 107 f.

1.1.2.2.2 Vernetzung

- 22 Ein besonders breites Anwendungsfeld eröffnet sich für Gegenstände, die nicht nur über einen beschreibbaren Speicher verfügen, sondern vielmehr in der Lage sind, Daten selbst zu erfassen.⁴⁷ Der Vernetzungsaspekt kommt hier allein schon deswegen oft zum Tragen, weil diese Gegenstände regelmäßig über keine Benutzerschnittstelle verfügen, über die sie alle erfassten Daten an den Menschen ausgeben könnten und folglich von hierfür geeigneten Geräten ausgelesen werden müssen. Beispiele sind ein Feuchtigkeitssensor⁴⁸, der über RFID, ein Fitnessarmband⁴⁹, das über Bluetooth oder ein Stromzähler⁵⁰, der über WLAN durch ein Smartphone ausgelesen wird.
- 23 Von dort ist es nur ein kleiner Schritt, diese Gegenstände direkt oder über ein anderes Gerät an Internetdienste anzubinden, von wo aus sie umgekehrt auch selbst Informationen beziehen können.⁵¹ Dadurch kann z.B. der Füllstand von Verkaufsautomaten aus der Ferne ermittelt⁵², ein Stromzähler durch den Stromanbieter in kurzen Abständen abgelesen⁵³ und ein Navigationsgerät mit dem neusten Staubericht versorgt werden. In der Summe dieser Vorgänge entsteht ein virtuelles Abbild der körperlichen Welt, welches – u.a. nach intensiver Auswertung – wiederum in der körperlichen Welt verfügbar wird und auf sie einwirkt.⁵⁴
- 24 Dies zeigt sich besonders anschaulich an den Dienstleistungen, die auf Basis der durch die internetfähigen Gegenstände gewonnenen Informationen angeboten werden können.⁵⁵ Maschinen, die in der Lage sind, ihre Nutzung und ihren Zustand zu ermitteln und dem Anbieter zu übermitteln, ermöglichen flexible nutzungs-basierte Abrechnungsmethoden und zustandsbasierte Wartungsdienstleistungen.⁵⁶ An dieser Stelle ergeben sich

47 BMBF 2007, S. 21.

48 Microsensus, RFID im Blick, 17.10.2013.

49 Janssen/Porteck, c't 3/2015, S. 108, 110.

50 Weiss, et al. 2009.

51 Mattern/Flörkemeier, Informatik Spektrum 2010, S. 107, 110 f.; Das zeigt das Beispiel der Aktivitätstracker: Nur eines von elf der in c't 3/2015 getesteten Geräte verzichtete auf einen Zwang, Daten in die Cloud zu laden, s. Janssen, c't 3/2015, S. 114, 115.

52 Tellkamp/Kubach 2005.

53 Karg, DuD 2010, S. 365 f.

54 Roßnagel 2007a, S. 43; Schlick, et al. 2014, S. 58.

55 Mattern 2008, S. 12 f.

56 Zu Wartungsdiensten, s. Acatech 2013, S. 107.

Verbindungspunkte zum Konzept des Internets der Dienste⁵⁷, nämlich dem Konzept, statt einzelner Produkte internetbasiert die eigentlich damit bezweckte komplexe Dienstleistung anzubieten. Anstatt einen Drucker zu kaufen oder als Gerät zu mieten, kann auch lediglich die Druckleistung als solche in Anspruch genommen werden. Der Hersteller ist aufgrund der vom Drucker ermittelten Daten in der Lage, festzustellen, wie viele Seiten gedruckt wurden und wann das nächste Mal der Toner ausgetauscht und das Papier aufgefüllt werden muss.⁵⁸

1.1.2.2.3 Kooperation

Besonders komplexe Anwendungen sollen schließlich dadurch realisiert werden, dass Gegenstände miteinander kooperieren und ihr Verhalten wechselseitig beeinflussen.⁵⁹ Voraussetzung hierfür ist eine gewisse Leistungsfähigkeit der vernetzten Komponenten, die über die Fähigkeit, ihre Umwelt mittels Sensoren zu erfassen und sich mit anderen Gegenständen zu vernetzen, hinausgeht. Sie müssen in der Lage sein, mittels Aktoren auf physikalische Vorgänge in ihrer Umgebung einzuwirken sowie Daten nicht nur zu speichern, sondern auszuwerten und zur Grundlage der Interaktion mit ihrer Umwelt machen zu können. Diese fortgeschrittenen Systeme werden aufgrund ihrer Fähigkeit, die reale und die virtuelle Welt in beide Richtungen miteinander zu verbinden, auch cyber-physische Systeme (CPS) genannt.⁶⁰

Durch den Einsatz von CPS kann z.B. die Sicherheit im Straßenverkehr verbessert werden. Selbstfahrende Autos sollen nicht nur in der Lage sein, mithilfe ihrer Sensoren die Umgebung zu erfassen und gefährliche Objekte und Personen zu erkennen. Sie sollen die Informationen hierüber auch mit anderen Fahrzeugen und der Straßeninfrastruktur austauschen. Kommt es zu einer Gefahrensituation, werden alle Fahrzeuge in der Umgebung hierüber informiert, worauf diese entsprechende Gegenmaßnahmen einleiten.⁶¹

57 *Acatech* 2013, S. 85; *Weiner, et al.* 2010.

58 *Sieber, ZDNet*, 18.6.2012; *ULD/IWI* 2006, S. 52 beschreibt dies noch als Zukunftsszenario.

59 *Hellenschmidt/Wichert* 2007, S. 94 ff.; *Mattern* 2008, S. 12.

60 *Broy* 2010, S. 21 f.; *Geisberger/Broy* 2012, S. 22; *ten Hompel/Kerner*, *Informatik Spektrum* 2015, S. 176, 177.

61 *Geisberger/Broy* 2012, S. 34 f.; *ULD/IWI* 2006, S. 47.

- 27 Die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation kann noch durch eine Fahrzeug-zu-Fußgänger-Kommunikation ergänzt werden. Hierbei liefert das Mobiltelefon des Fußgängers zusätzliche Daten, die helfen, seine Position zu ermitteln und seine Bewegungen zu prognostizieren.⁶² Bei Gefahr kann nicht nur der Fahrer des Wagens, sondern auch der Fußgänger gewarnt werden.⁶³ Ein weiteres Beispiel ist die Vernetzung von lokalen Stromversorgern und -abnehmern zu einem „Micro Grid“. Dies soll es ermöglichen, den Stromverbrauch bis auf die Ebene einzelner Geräte zu regulieren, etwa indem nicht zeitkritische Haushaltsgeräte wie die Waschmaschine oder der Geschirrspüler gezielt so betrieben werden, dass Lastspitzen im Stromnetz gemieden und Lastkurven gedehnt werden.⁶⁴

1.2 Industrie 4.0

- 28 Der Trend zum Internet der Dinge betrifft eine Vielzahl, wenn nicht alle Lebensbereiche, von der zukünftigen Mobilität über die Stromversorgung und Anwendungen in der Medizin bis hin zum Leben im „intelligenten“ Heim.⁶⁵ Im industriegeprägten⁶⁶ Deutschland, in dem das verarbeitende Gewerbe mit 6,4 Millionen Beschäftigten für fast ein Viertel der Bruttowertschöpfung verantwortlich ist,⁶⁷ kommt dem Einsatz des Internets der Dinge in der produzierenden und der Ausrüsterindustrie jedoch eine hervorgehobene Bedeutung zu. Dieser Trend hat in der betrieblichen Praxis bereits Fuß gefasst: Die Hälfte der Unternehmen setzen bereits entsprechende Anwendungen ein.⁶⁸ Das Potential des Internets der Dinge für die Industrie ist jedoch bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Die Diskussion wird darum weiterhin stark zukunftsgerichtet geführt.

62 David/Flach, IEEE Veh. Technol. Mag. 5 (2010), Heft 1, S. 70–76; Schulz et al., ZD 2012, S. 510, 511.

63 Anaya, et al. 2014.

64 BMBF 2007, S. 22; Geisberger/Broy 2012, S. 49.

65 Geisberger/Broy 2012, S. 29 ff.; ULD/IWI 2006, S. 45 ff.

66 Acatech 2013, S. 18.

67 BMWi/BMBF 2019, S. 28.

68 In einer repräsentativen Umfrage des Verbandes Bitkom (2019) geben 53 % der befragten 555 Unternehmen an, spezielle Anwendungen für die Industrie 4.0 zu nutzen.

Ausgehend von einem Förderprogramm der Bundesregierung, dem „Zukunftsprojekt Industrie 4.0“,⁶⁹ hat sich für den Einsatz des Internets der Internets der Dinge im verarbeitenden Gewerbe die Bezeichnung Industrie 4.0 etabliert.⁷⁰ Der Begriff spielt auf die verschiedenen historischen Stufen der Industrialisierung an. Nach dem Einsatz dampf- oder wasserkraftgetriebener mechanischer Produktionsanlagen (erste Stufe), der Einführung arbeitsteiliger Massenproduktion (zweite Stufe) und der Automatisierung von Produktionsprozessen durch Elektronik und IT (dritte Stufe) folge nun mit dem Internet der Dinge die vierte Stufe, die vierte industrielle Revolution.⁷¹ Im Ausland werden vergleichbare Projekte – unter Zusammenfassung der ersten beiden Stufen – als dritte industrielle Revolution oder als „Industrial Internet“ bezeichnet.⁷²

1.2.1 Automatisierung in der Produktion und Logistik

Der disruptive Wandel, der die vierte Stufe der Industrialisierung einläutert, basiert vor allem auf der Veränderung bisheriger Muster der Automatisierung. Statt auf einer zentral gesteuerten, im Vorhinein festgelegten und optimierten Abfolge von Schritten basieren neue Automatisierungskonzepte auf der laufenden Selbstoptimierung zunehmend dezentral gesteuerter Abläufe.⁷³ Der Schlüssel hierzu liegt in einer möglichst durchgängigen Informationsverarbeitung, durch die bestehende, bislang aber getrennte Informationsquellen miteinander verbunden werden.⁷⁴

Technisch soll dies durch den Einsatz von Cyber-Physical Systems (CPS, siehe 1.1.2.2, S. 54) gewährleistet werden.⁷⁵ Auf diese Weise ausgerüstete Produktionsressourcen (Produktionsmaschinen, Roboter, Förder- und Lagersysteme, Betriebsmittel) verfügen zusätzlich zu ihren primären Eigenschaften über die Fähigkeit, Daten zu erfassen, zu verarbeiten und unter-

69 *Acatech* 2013, S. 81; *Kagermann et al.*, VDI Nachrichten, Ausgabe 13 v. 1.4.2011, S. 2.

70 Siehe z.B. *Buchenau/Höpner*, Handelsblatt Online, 13.4.2015; zum aktuellen Stand *IG Metall* 2018 m.w.N.

71 *Acatech* 2013, S. 17 f.

72 *Acatech* 2013, S. 71.

73 *Hirsch-Kreinsen* 2014, S. 6; *Spath* 2013, S. 95 ff.

74 *Schlick, et al.* 2014, S. 59.

75 *Hirsch-Kreinsen* 2014, S. 7.

1 Untersuchungsgegenstand

einander sowie mit den Planungs- und Steuerungssystemen auszutauschen.⁷⁶

- 32 Ziel der Industrie 4.0 ist es, den Grad der Automatisierung insgesamt zu steigern und die Produktion dadurch flexibler, individueller, störungsunempfindlicher und ressourceneffizienter zu machen. Die Unternehmen sollen in der Lage sein, ihre Produktion schneller den sich wandelnden Anforderungen des Absatzmarktes anzupassen und insbesondere auch speziellen Kundenwünschen in geringen Losgrößen bis hin zur Einzelanfertigung rentabel entsprechen zu können. Die umfassende Verfügbarkeit von Informationen soll die Entscheidungsfindung in der Planung und der Produktion erleichtern und der dezentrale Steuerungsansatz soll es erlauben, die zunehmende Komplexität der Produkte und Prozesse zu bewältigen.⁷⁷ Insgesamt soll die Industrie 4.0 so Unternehmen in die Lage versetzen, sich weiterhin unter den verschärften Bedingungen des Wettbewerbs behaupten zu können.⁷⁸

1.2.1.1 Transparenz und Entscheidung

- 33 Der Einsatz von CPS ermöglicht es, die damit realisierten Prozesse durchgehend und in Echtzeit transparent zu gestalten. In dem Maße wie Ereignisse, Lasten und Zustände erfasst werden, entsteht bei entsprechender Analyse und Auswertung dieser Daten ein permanent aktuelles virtuelles Abbild der Fabrik und der darin ablaufenden Prozesse.⁷⁹ Dadurch kann z.B. die Genauigkeit der Produktionsplanung und -steuerung wesentlich gesteigert werden.⁸⁰ Die gewonnenen Erkenntnisse können dabei durch die Fähigkeit von CPS, durch Aktoren auf ihre Umwelt einzuwirken, direkt auf die realen Abläufe in der Fabrik zurückwirken.⁸¹ So kann z.B. die Geschwindigkeit von Produktionsmaschinen anhand von Echtzeitdaten aneinander angepasst werden, was sowohl Verschleiß als auch Energieverbrauch verringert, ohne die Produktion insgesamt zu drosseln.⁸²

76 *Acatech* 2013, S. 24; *Bauernhansl* 2014, S. 15 ff.

77 Zu den Zielen insgesamt *Acatech* 2013, S. 19 f.; *Hirsch-Kreinsen* 2014, S. 6.

78 *Acatech* 2013, S. 18.

79 *Bauernhansl* 2014, S. 16.

80 *Binder*, *Industrie 4.0 Magazin* 2015, S. 18, 21; *Büttner/Brück* 2014, S. 123; *Schöning/Dorchain* 2014, S. 549; *Spath* 2013, S. 92 ff.; *Stich/Hering*, *Industrie 4.0 Magazin* 2015, S. 8, 10.

81 *Schöning/Dorchain* 2014, S. 546.

82 *Acatech* 2013, S. 107; *Schöning/Dorchain* 2014, S. 546.

Darüber hinaus können Simulationen, die mit Echtzeitdaten vorgenommen werden, die Entscheidungsfindung erleichtern.⁸³ Mithilfe von Daten über Lasten und Zustände einer Maschine und Erfahrungen über die Lebensdauer von Komponenten können Prognosen über den Ausfallzeitpunkt dieser Maschine angestellt werden. Mit diesem Wissen können die Wartungsintervalle flexibel gestaltet und Stillstand vermieden werden.⁸⁴ Fällt tatsächlich eine Maschine aus oder kommt es zu einer kurzfristigen Änderung der Auftragslage oder sonstiger Parameter, kann mithilfe der Echtzeitdaten und spezieller Modelle automatisch ermittelt werden, wie darauf am besten reagiert werden sollte.⁸⁵

1.2.1.2 Automatisierung durch dezentrale Steuerung und Selbstkonfiguration

Ein weiteres Anwendungsfeld für CPS besteht dort, wo sie über das Erfassen und Austauschen von Daten hinaus auch ihr Verhalten gegenseitig beeinflussen. Durch den Einsatz von Softwareagenten⁸⁶ – gekapselten Computerprogrammen mit definierten Zielen, die selbständig mit ihrer Umwelt interagieren – können z.B. Produktions- oder Logistikprozesse dezentral organisiert werden. Anstatt von einer zentralen Einheit gesteuert zu werden, steuern sich hier die am Prozess unmittelbar beteiligten CPS gegenseitig.⁸⁷

Bei einem solchen Ansatz kennen CPS ihre Fähigkeiten und Bedürfnisse und teilen sie sich gegenseitig mit. Das Werkstück weiß also, wie es bearbeitet werden⁸⁸ und zu welcher Stelle in der Fabrik es gelangen⁸⁹ muss. Umgekehrt weiß die Produktionsmaschine, welche Bearbeitungsschritte sie vornehmen und das Förderband, zu welchem Punkt es Dinge beför-

83 *Stich/Hering*, Industrie 4.0 Magazin 2015, S. 8, 10 f.

84 *Acatech* 2013; *Rexroth* 2011; *Schöning/Dorchain* 2014, S. 545.

85 *Acatech* 2013, S. 46; *Geisberger/Broy* 2012, S. 55 ff.; *Schöning/Dorchain* 2014, S. 549.

86 Zu den Eigenschaften von Softwareagenten *Gitter* 2007b, S. 48; *Kirn/Müller-Hengstenberg*, MMR 2014, S. 225–232, jeweils m.w.N.

87 *Acatech* 2013, S. 24 f.; *Felix*, Industrie 4.0 Magazin 2015, S. 32, 33; *Günthner, et al.* 2014, S. 300 f.; *Pantförder, et al.* 2014; *Spath* 2013, S. 98; *ten Hompel/Kerner*, Informatik Spektrum 2015, S. 176, 177; *Welter, et al.* 2016, S. 658 f. Zur Kooperationsfähigkeit von Agenten *Kirn/Müller-Hengstenberg*, MMR 2014, S. 225, 229 ff.; *Kirn/Müller-Hengstenberg*, KI 2015, S. 59, 64 ff.

88 *Vogel-Heuser* 2014, S. 42.

89 *Bauernhansl* 2014, S. 22.

dern kann. Der Prozess wird nun ganz oder teilweise so gesteuert, dass die daran beteiligten CPS selbständig Dienstleistungen anbieten oder nachfragen, ohne dass es einer zentralen Vorgabe bedürfte.⁹⁰

- 37 Darüber hinaus sollen Maschinen in der Lage sein, sich untereinander abzustimmen – also gewissermaßen sich selbst zu konfigurieren⁹¹ –, und auch dafür eventuell benötigte Daten selbst nachzuladen. So mag es vorkommen, dass sich ein Werkstück ankündigt, zu dem der Maschine keine materialspezifischen Technologiedaten vorliegen, bei dem sie also nicht „weiß“, wie es genau zu bearbeiten ist. In diesem Fall soll sich das vernetzte Produktionssystem künftig selbsttätig mit anderen Maschinen oder einer entsprechenden Datenbank des Herstellers verbinden und dort nach geeigneten Technologiedaten suchen.⁹²

1.2.1.3 Flexiblere Produktion

- 38 Mithilfe dieser Ansätze kann die Produktion flexibel gestaltet werden, sodass auch verschiedene Produktionsvarianten auf einer Produktionslinie gefertigt werden können.⁹³ Der dezentrale Steuerungsansatz sorgt dabei für die notwendige Reduktion der Komplexität. Das Aufteilen in überschaubare, dezentral verhandelte Dienstleistungen lässt auch Prozesse beherrschbar werden, die durch eine zentrale Steuerung nicht mehr bewältigt werden könnten.⁹⁴
- 39 So kann z.B. eine Produktionslinie modular aufgebaut und hinsichtlich der Reihenfolge, Funktion und Anzahl der Produktionsmodule verändert werden.⁹⁵ Neue Module können nach dem Prinzip „plug and produce“ hinzugefügt werden, vernetzen sich also mit dem bestehenden System und den „intelligenten“ Produkten und konfigurieren sich auf diese Weise selbst.⁹⁶ Die verschiedenen Produktvarianten werden in einem solchen System nicht zentral vorgegeben. Entscheidend ist vielmehr, welcher Bauplan dem Werkstück mitgegeben wird und welche Dienstleistungen es

90 *Kerkmann*, Handelsblatt Online, 7.4.2014.

91 *Kerkmann*, Handelsblatt Online, 7.4.2014.

92 *Acatech* 2013, S. 106.

93 *Acatech* 2013, S. 105.

94 *Günthmer, et al.* 2014, S. 299 f.; *Spath* 2013, S. 19; *ten Hompel/Kerner*, Informatik Spektrum 2015, S. 176, 179.

95 *Pantförder, et al.* 2014; *Vogel-Heuser* 2014, S. 42 ff.

96 *Acatech* 2013, S. 96; *Kerkmann*, Handelsblatt Online, 7.4.2014.

daraufhin in der Produktionslinie abfragt. Dies ermöglicht es, auch geringe Stückzahlen zum Preis der Massenfertigung herzustellen und so auch die Produktion nach individuellen Kundenanforderungen rentabel zu gestalten.⁹⁷

1.2.2 Unternehmensübergreifender Austausch

Die Vernetzung von CPS soll nicht auf eine Fabrik beschränkt bleiben. Die Technik hat vielmehr das Potenzial standort- und unternehmensübergreifend Wertschöpfungsnetzwerke entstehen zu lassen, in denen die notwendigen Informationen medienbruchfrei und automatisch untereinander ausgetauscht werden.⁹⁸

In ein solches Netzwerk können z.B. Zulieferer, Hersteller, Logistikdienstleister und Händler eingebunden werden.⁹⁹ Die in einem Netzwerk beteiligten Partner erfassen z.B. sämtliche relevanten Status- und Positionsveränderungen eines Produkts oder Transportguts. Über eine gemeinsame „Informationsdrehscheibe“¹⁰⁰ werden diese Daten den jeweils Berechtigten zur Verfügung gestellt. Dadurch werden der Informationsfluss und letztlich auch der Materialfluss zwischen den Beteiligten optimiert. Verzögert sich die Produktion beim Zulieferer oder kann ein Liefertermin aufgrund eines Verkehrsstaus nicht gehalten werden, wird dies automatisch an den Hersteller gemeldet. Dies versetzt ihn in die Lage, seine Produktion zeitnah so umzuorganisieren, dass die Verzögerungen nicht darauf durchschlagen.¹⁰¹ Der optimierte Informationsaustausch kann auch neue, nachgelagerte Dienstleistungen ermöglichen. Die für ein flexibles Instandhaltungsmanagement notwendigen Prognosen über den Ausfallzeitpunkt einer Maschine können auch durch externe Anbieter, z.B. den Maschinenhersteller selbst, vorgenommen werden.¹⁰² Er verfügt nicht nur über die

97 *Kerkmann*, Handelsblatt Online, 7.4.2014.

98 In Deutschland wurde hierzu mit dem Projekt „Industrial Data Space“ ein dezentraler Ansatz gefördert, *Fraunhofer* 2016, dazu näher 3.6.2.4.1.3, S. 556. Die hieraus hervorgegangene Initiative tritt nunmehr als „International Data Space“ auf, *IDS* 2018.

99 *Acatech* 2013, S. 24; *Binder*, *Industrie 4.0 Magazin* 2015, S. 18, 19. Ein Beispiel hierfür in das RAN-Projekt, s. *Müller* 2013; *Scholz-Reiter/Brandwein* 2013.

100 *Müller* 2013, S. 4.

101 *Kaufmann/Forstner* 2014, S. 365.

102 *Rexroth* 2011, S. 10.

größere Expertise, sondern auch über eine breite Vergleichsbasis mehrerer Maschinen in verschiedenen Produktionsstätten.¹⁰³

1.2.3 Die Rolle des Menschen in der Industrie 4.0

- 42 In der bisherigen Darstellung ist die Entwicklung zur Industrie 4.0 vornehmlich im Hinblick auf ihre technischen Aspekte und wirtschaftlichen Potenziale beschrieben worden. Den Diskurs hierauf zu beschränken, würde jedoch deutlich zu kurz greifen. Denn selbst wenn die Industrie 4.0 ein im Vergleich zu früheren Stufen der Industrialisierung bislang ungekanntes Automatisierungsniveau auszeichnet, wird auch die Fabrik der Zukunft nicht menschenleer sein.¹⁰⁴

1.2.3.1 Die spezifischen Fähigkeiten des Menschen

- 43 Der Mensch ist auch in der Industrie 4.0 unverzichtbar. Das liegt zum einen daran, dass er über sensorische und motorische Fähigkeiten verfügt, die es ihm ermöglichen Tätigkeiten zu übernehmen, deren Automatisierung zumindest derzeit technisch nicht umsetzbar ist.¹⁰⁵ Darüber hinaus sind Menschen weitaus flexibler als Maschinen und beherrschen auch in kürzester Zeit eine Fülle von Aufgaben.¹⁰⁶ Sie werden darum auch künftig mit Aufgaben betraut sein, die zu individuell sind, als dass sie rentabel automatisiert werden könnten.¹⁰⁷ Die Beschäftigten in der Industrie 4.0 sind aber keineswegs auf die Rolle des „Lückenbüßers“ der Automatisierung festgelegt. Denn Menschen zeigen sich vor allem dann selbst leistungsfähigen Systemen der künstlichen Intelligenz überlegen, wenn es darum geht, Entscheidungen unter Bedingungen zu treffen, die unsicher sind und keinen klaren Mustern folgen.¹⁰⁸

103 *Schöning/Dorchain* 2014, S. 545.

104 *Haase, et al.* 2015, S. 189; *Ittermann, et al.* 2016, S. 16; *Spath* 2013, S. 50 ff.

105 *Spath* 2013, S. 130, z.B. das Polieren von Oberflächen, s. *Spath* 2013, S. 101 oder das Kommissionieren in der Logistik, s. *Günthner, et al.* 2014, S. 314; allgemein *Schlick, et al.* 2010, S. 1022.

106 *Spath* 2013, S. 53.

107 *Spath* 2013, S. 101.

108 *Gorecky, et al.* 2014, S. 526; *Haase, et al.* 2015, S. 188; *Spath* 2013, S. 130.

Diese menschlichen Fähigkeiten werden auch weiterhin dringend benötigt. Die Herausforderungen, denen die Industrie 4.0 vornehmlich begegnen soll – die Flexibilisierung und Individualisierung der Produktion – lassen sich nicht im Wege der Vollautomatisierung lösen. Ein solcher Ansatz führt bei hochflexiblen Systemen vielmehr zu einem Überschießen der Komplexität, die nur mit wirtschaftlich unvertretbarem Aufwand bewältigt werden kann. Selbst wenn die Komplexität von Prozessen durch eine dezentrale Steuerung reduziert wird, bleibt der Mensch als flexibles und im eigentlichen Sinne intelligentes Element in der Produktion auch künftig unverzichtbar.¹⁰⁹

Das Arbeitsumfeld der und damit einhergehend auch die Anforderungen an die Beschäftigten werden durch die Entwicklung zur Industrie 4.0 dennoch einem tiefgreifenden Wandel unterzogen. Welche Rolle die Beschäftigten genau einnehmen werden, ist dabei nicht abschließend geklärt.¹¹⁰ Dass die Einbindung des Menschen aber ein entscheidender Faktor für den Erfolg der Entwicklung zur Industrie 4.0 darstellt, ist allgemein anerkannt.¹¹¹ Zur Begründung wird hier auf das Konzept des sozio-technischen Systems verwiesen. Danach ist die Produktion kein allein technisch determiniertes System, sondern wird vielmehr auch durch die Wechselwirkungen mit dem organisatorischen und dem personellen Teilsystem bestimmt. Das technologische Teilsystem gibt zwar den Rahmen der Entwicklung vor, wird aber von beiden anderen Teilsystemen beeinflusst.¹¹²

1.2.3.2 Szenarien der Mensch-Technik-Interaktion

In der Diskussion zur Zukunft der Arbeit werden im Wesentlichen zwei unterschiedliche Entwicklungspfade für das Zusammenspiel von Mensch und Technik in der Industrie 4.0 aufgezeigt, die sich vor allem hinsichtlich der Kontrollmöglichkeiten des Menschen und der Differenziertheit der

109 Aehnelt 2017, S. 30; Spath et al., IM 2012, S. 50, 52; Spath 2013, S. 52 f.

110 Zu den widersprüchlichen Prognosen zur Zukunft der Arbeit, s. Ittermann, et al. 2016, S. 13 ff.

111 Becker 2015, S. 25; Geisberger/Broy 2012, S. 163; Görke et al., ZWF 2017, S. 41, 43; Hirsch-Kreinsen 2014, S. 13; Kagermann 2014b, S. 244; Kärcher 2015, S. 49; Kinkel, et al. 2008, S. 241; Spath 2013, S. 6.

112 Acatech 2013, S. 56 ff.; Botthoff/Hartmann 2015, S. 161; Hirsch-Kreinsen 2014, S. 10 f.; Hirsch-Kreinsen 2015a, S. 13 f.; Ittermann, et al. 2016, S. 24 ff.

Qualifikationsstruktur unterscheiden.¹¹³ Gerade der Kontrast zwischen beiden Ansätzen verdeutlicht anschaulich die Herausforderungen, die sich bei der Organisation der Arbeit in der Industrie 4.0 stellen werden.

- 47 Keines der beiden Szenarien hat unmittelbare rechtlichen Bedeutung. Die Entwicklung zur Industrie 4.0 muss nicht zwingend in die eine oder andere Richtung gestaltet werden. Dennoch lassen sich – wie noch unter den Gliederungspunkten 2.3.2.4.4.2 (S. 137) und 2.3.5.2.3.2 (S. 172) gezeigt werden wird – einzelne Anforderungen der menschengerechten Gestaltung der Arbeit nur begrenzt im Szenario der Polarisierung umsetzen.

1.2.3.2.1 Polarisierung – „Automatisierungsszenario“

- 48 Eine tendenziell kritischere Auffassung erwartet, dass es zu einer Polarisierung der Qualifikation kommt, die sich besonders auf die untere und mittlere Qualifikationsebene negativ auswirkt. Die Tätigkeiten mit niedrigen Qualifikationsanforderungen werden zwar nicht verschwinden, aber im Zuge der Automatisierung der entsprechenden Abläufe in hohem Maße verdrängt werden.¹¹⁴ Für den Menschen bleiben nur ausführende Tätigkeiten, die durch einseitige körperliche Belastungen und dequalifizierende Aufgaben ohne relevanten Handlungsspielraum gekennzeichnet sind.¹¹⁵
- 49 Hinsichtlich der mittleren Qualifikationsebene werden widersprüchliche Veränderungstendenzen erwartet. Einen Aufgabenzuwachs werden die Beschäftigten dort erleben, wo die automatisierte Produktion flexibel und individuell gestaltet werden soll. Hier ist der Mensch mit seinen diesbezüglich überlegenen Fähigkeiten als Entscheider und Koordinator der autonom ablaufenden Prozesse gefragt.¹¹⁶ Um den damit einhergehenden Zuwachs an Planungs- und Abstimmungsaufgaben zu bewältigen, müssen sie stärker als bisher über Abstraktionsvermögen, kommunikative und soziale Kompetenzen und Fähigkeiten zur Selbstorganisation verfügen.¹¹⁷

113 Die Darstellung folgt im Wesentlichen der Zusammenfassung der Diskussion in *Hirsch-Kreinsen* 2014, S. 17 ff.; *Hirsch-Kreinsen, et al.* 2015, S. 10 ff.; *Hirsch-Kreinsen* 2015a, S. 15 ff.

114 *Ittermann/Niehaus* 2015, S. 41; *Spath* 2013, S. 101.

115 Allgemein in Bezug auf die Digitalisierung der Arbeitswelt *Rothe, baua: Aktuell* 2/2015, S. 12.

116 *Kinkel, et al.* 2008, S. 243; *Schlick, et al.* 2014, S. 78 ff.; *Spath* 2013, S. 48.

117 *Kinkel, et al.* 2008, S. 243 f.

Bestimmte Bereiche der Facharbeit werden jedoch eine ähnliche Entwicklung wie ein Großteil der Einfacharbeit nehmen und entweder inhaltlich verarmen oder schlicht ersetzt werden. Dies betrifft in erster Linie gut automatisierbare Tätigkeiten wie einfache Maschinenbedienung oder Entscheidungen in der Produktionslogistik. Wenn Maschinen sich künftig anhand des Werkstücks selbst konfigurieren oder benötigte Güter selbst nachordern, greift der Mensch gar nicht mehr oder nur noch selten in die Produktionsabläufe ein. Entsprechende Steuerungsaufgaben für den Menschen entfallen.¹¹⁸ Stattdessen trifft die Technik die wesentlichen Entscheidungen und führt programmgesteuert die vordefinierten Arbeitsroutinen durch. Die Maschinenbedienung und operativen Aufgaben, die den Beschäftigten in diesem „Automatisierungsszenario“¹¹⁹ verbleiben, werden zwar vereinfacht, Umfang und Vielfalt dieser Aufgaben nehmen dafür aber zu.¹²⁰

In der Folge dieser Automatisierung kommt es zu Problemen, die unter dem Begriff der „Ironien der Automation“ diskutiert werden.¹²¹ Wenn Prozesse weitgehend automatisch ablaufen, beschränkt sich die Rolle des Menschen darauf, diese Systeme zu überwachen. Muss er dennoch einmal eingreifen, weil das System selbst überfordert ist, kann er diese Situationen aus mehreren Gründen nur schlecht bewältigen. Erstens ist die Situation, mit der das automatisierte System nicht mehr fertig wird, selbst sehr fordernd. Zweitens hat der Mensch die Situation nicht selbst herbeigeführt und ist darum weniger gut in der Lage, sie schnell zu analysieren und Maßnahmen zu treffen. Und drittens kann der Mensch infolge seiner Beschränkung auf Überwachungsaufgaben keine Fähigkeiten zur Bewältigung komplexer Aufgaben wie etwa der Störungsbeseitigung aufbauen.¹²² Der Überwacher einer Anlage ist also wegen der Automatisierung dieser Anlage kaum noch in der Lage, seiner Aufgabe nachzukommen.¹²³ Folg-

118 Kinkel, et al. 2008, S. 244.

119 Windelband/Spöttl 2011, S. 12.

120 Bächler, et al. 2015a, S. 57; Gerst, DGUV-Forum 6/2015, S. 34, 36; Günthner, et al. 2014, S. 310; Karthaus, NZA 2017, S. 558, 560; Windelband/Spöttl 2011, S. 11 f.; Windelband/Spöttl 2012, S. 214 f.

121 Dazu allgemein BMWi 2013, S. 8; Lüdtke 2015, S. 126 ff.; Schlick, et al. 2010, S. 1024.

122 Aehnelt 2017, S. 24 f.; Gerst, DGUV-Forum 6/2015, S. 34, 36; Kublmann/Schumann 2015, S. 131; Spath, et al. 2015, S. 117; Suva, Bestellnummer 2965.d, S. 40; Windelband/Dworschak 2015, S. 77.

123 Zum Ganzen BMWi 2013, S. 8.

lich müssen mehr und mehr Experten herangezogen werden,¹²⁴ was die Rolle des vormaligen Bedieners zusätzlich marginalisiert.

- 52 Weitgehend unberührt von dieser polarisierenden Entwicklung bleiben nur solche Tätigkeiten, die einer rentablen Automatisierung nicht zugänglich sind. Hierzu werden etwa die genannten anspruchsvollen Wartungsaufgaben oder manuelle Produktionsfertigkeiten gezählt, die Experten- und Erfahrungswissen erfordern.¹²⁵ Im Zuge dieser gegenläufigen Entwicklungen wird erwartet, dass insgesamt die mittlere Qualifikationsebene erodiert und sich eine Tätigkeitsstruktur entwickelt, die vor allem aus anspruchsvoller, qualifizierter Arbeit einerseits sowie abgewerteter Fachtätigkeit und Einfachtätigkeit andererseits besteht.

1.2.3.2.2 Allgemeine Aufwertung – „Werkzeugszenario“

- 53 Die Gegenauffassung prognostiziert statt einer Polarisierung eine allgemeine Aufwertung der Qualifikationen, die sämtliche Beschäftigtengruppen erfasst. Als hierfür maßgeblicher Entwicklungstreiber wird die, durch Anwendungen des Internets der Dinge ermöglichte, umfassende Verfügbarkeit von Informationen angesehen. Soll die durchgehende Transparenz der Produktionsprozesse genutzt werden, erfordert dies in größerem Maße ein theoretisches Verständnis von Prozessen. Ähnlich der aufgewerteten Facharbeit im Polarisierungsszenario wandelt sich auch hier die Rolle der Beschäftigten vom Maschinenbediener zum Entscheider und Koordinator; ihre Aufgaben werden komplexer und gleichzeitig vielfältiger.¹²⁶
- 54 Anders als im Polarisierungsszenario sind diese Aufgaben aber nicht nur einer kleinen Expertengruppe vorbehalten, die in einer stark arbeitsteiligen Organisationsform die Arbeitsinhalte der anderen Beschäftigten vorstrukturiert. Leitbild ist vielmehr eine „Schwarmorganisation“, in der kompetente Mitarbeiter gleichberechtigt und in loser, situationsbezogener Vernetzung konkrete Probleme lösen. Statt enger Handlungsvorgaben wird diesem Arbeitskollektiv von der Leitungsebene nur ein Handlungsrahmen vorgegeben, innerhalb dessen die konkrete Aufgabe selbstorganisiert erledigt wird.¹²⁷ Diese auf Flexibilität ausgerichtete Arbeitsorganisation setzt verstärkt auf die Kommunikation und Kooperation zwischen den

124 *Windelband/Spöttl* 2011, S. 11 f.

125 *Kinkel, et al.* 2008, S. 244; *Spath, et al.* 2015, S. 118 f.

126 *Acatech* 2013, S. 25; *Gorecky, et al.* 2014, S. 526 f.; *Kagermann* 2014a, S. 608.

127 *Hirsch-Kreinsen* 2014, S. 24 ff.; *Neef/Burmeister* 2005.

einzelnen Mitarbeitern und soll dadurch besser in der Lage sein, die komplexen, ebenfalls auf Flexibilität und Dezentralität ausgelegten, CPS-gesteuerten Prozesse zu beherrschen. Die Mitarbeiter können auf der Ebene der „intelligenten“ Maschinen und Anlagen direkt in die selbstorganisierte Abstimmung des Produktionsprozesses einbezogen werden.¹²⁸

Dazu passt eine Technikgestaltung, welche dem Facharbeiter die Kontrolle über die Produktionsabläufe belässt und ihm hierfür „intelligente“ Systeme als Werkzeuge zur Verfügung stellt. Sie legen insofern das Informationsfundament, auf dem die Beschäftigten ihre Fähigkeiten und ihren Erfahrungsschatz in die Produktion einbringen können.¹²⁹ Hier bleibt auch den Beschäftigten der mittleren Qualifikationsebene weiterhin ein substantieller Anteil der Entscheidungen überlassen. Anders als im „Automatisierungsszenario“ übernehmen sie damit nicht nur Überwachungsaufgaben, sondern auch höherwertige Aufgaben wie die Prozessoptimierung, die Störungsbeseitigung und die Problemlösung, die dort hochqualifizierten Experten vorbehalten blieben. Damit sind vielfältige und meist höhere Anforderungen verbunden.¹³⁰ Dieses Entwicklungsszenario wird darum auch als „Werkzeugszenario“¹³¹ oder „Spezialisierungsszenario“¹³² bezeichnet.

1.3 Assistenzsysteme in der Industrie 4.0

Die Entwicklung zur Industrie 4.0 kann nur erfolgreich verlaufen, wenn die Beschäftigten in diesen Prozess eingebunden werden. Gleichzeitig sehen sich diese Beschäftigten in allen Entwicklungspfaden und über sämtliche Qualifikationsstufen hinweg steigenden Anforderungen gegenüber. Um sie zu bewältigen, müssen die Mitarbeiter durch Assistenzsysteme unterstützt werden. Mittelbar hängt der Erfolg der Industrie 4.0 also auch von der – nicht zuletzt rechtskonformen – Entwicklung geeigneter Assistenzsysteme ab.

128 Hirsch-Kreinsen 2014, S. 26; Spath 2013, S. 115 ff.

129 Acatech 2013, S. 57 Siehe das Beispiel in Ittermann, et al. 2016, S. 30 f.

130 Windelband/Dworschak 2015, S. 78.

131 Windelband/Spöttl 2011, S. 12, speziell auf die typischerweise mit Werkzeug arbeitenden Beschäftigten der mittleren Qualifikationsebene.

132 Windelband/Dworschak 2015, S. 77, für alle Qualifikationsebenen.

1.3.1 Gesteigerte Anforderungen an Beschäftigte

- 57 Hochqualifizierte Arbeiter, die – übereinstimmend nach beiden Entwicklungspfaden – die Rolle des Entscheiders und Koordinators einnehmen, stehen vor der Herausforderung, die gestiegene Komplexität der vernetzten und teilweise autonomen Produktionssysteme zu beherrschen.¹³³ Bereits heute werden Mitarbeiter mit sehr vielen Informationen überfrachtet, die sie nicht mehr sinnvoll verarbeiten können. In der Folge werden viele Entscheidungen nur intuitiv getroffen.¹³⁴ Die gesteigerte Verfügbarkeit von Informationen in der Industrie 4.0 würde diesen Trend noch verstärken und den einzelnen Mitarbeiter schnell überfordern.¹³⁵ Es ist darum notwendig, die einzelnen Informationen gezielt auf die jeweilige Situation hin für den Menschen aufzubereiten und ggf. bereits Handlungsoptionen aufzuzeigen.¹³⁶ Im Szenario der Schwarmorganisation kommt noch ein gesteigerter Koordinationsbedarf hinzu. Wenn Mitarbeiter in stets wechselnden Konstellationen zusammenarbeiten, muss dies auch stets neu abgestimmt und organisiert werden. Auch hierfür wird eine Form der Assistenz von Nöten sein.
- 58 Soweit in der Industrie 4.0 noch Bedarf an Tätigkeiten der unteren und mittleren Qualifikationsbereiche besteht, werden auch die Anforderungen an die damit beschäftigten Mitarbeiter steigen. Ihre Aufgaben werden zwar im Einzelnen nicht komplexer, aber vielfältiger und mit weniger Einarbeitungszeit versehen. Es wird notwendig sein, Mitarbeiter schneller mit neuen Arbeitsprozessen vertraut zu machen und sie u.U. zur Vermeidung von Fehlern dabei zu kontrollieren. Auch in diesem Bereich steigt demnach der Bedarf an technischer Hilfestellung.
- 59 Schließlich wirken sich außerhalb der geschilderten, gewissermaßen Industrie 4.0-internen Aspekte, auch allgemeine gesellschaftliche Entwicklungen auf die zukünftige Gestaltung der Arbeit aus. Besonders der demografische Wandel¹³⁷ wirft verstärkt die Frage nach humanen und gesunden Arbeitsbedingungen auf. Das Konzept der Industrie 4.0 kommt diesen Zielen bereits insofern entgegen, als es „einen Großteil [der] stumpfsinnigen Arbeit“¹³⁸ automatisiert, die Beschäftigten also davon befreit. Sollen Arbeit-

133 *Acatech* 2013, S. 57.

134 *Spath* 2013, S. 117 f.; *Windelband/Dworschak* 2015, S. 80.

135 *Deuse, et al.* 2015a, S. 161.

136 *Jost, et al.* 2017, S. 159; *Spath, et al.* 2015, S. 119.

137 *Acatech* 2013, S. 27; *Cernavin, et al.* 2015.

138 Zitat von *Broy* in *Spath* 2013, S. 54.

nehmer aber auch den übrigen, ggf. auch körperlich anstrengenden Tätigkeiten länger als bisher nachgehen, müssen die damit verbundenen Belastungen reduziert werden.¹³⁹

1.3.2 Übersicht zu Assistenzsystemen

Vor dem Hintergrund der geschilderten Anforderungen werden verschiedene Assistenzsysteme für die Industrie 4.0 diskutiert. Sie lassen sich grob drei Gruppen zuordnen.¹⁴⁰

- Systeme, die Handlungsanweisungen optisch oder akustisch wahrnehmbar machen, um dem Beschäftigten Aufgaben zuzuweisen¹⁴¹ oder ihm bei der konkreten Verrichtung manueller Tätigkeiten wie der Instandhaltung von Maschinen, der Montage oder beim Kommissionieren in der Logistik anzuleiten.¹⁴² Dies kann mit Kontrollansätzen kombiniert werden, bei denen etwa automatisch überprüft wird, ob ein Arbeitsschritt vergessen, eine Baugruppe falsch montiert oder ein Objekt in den falschen Behälter einsortiert wurde.¹⁴³
- Systeme, die mithilfe der durch CPS erzeugten Daten die Produktionsprozesse überwachen und dem einzelnen Mitarbeiter die jeweiligen Prozess- und Maschinendaten kontextsensitiv aufbereiten und zur Verfügung stellen.¹⁴⁴

139 *Acatech* 2013, S. 99.

140 Die Zuordnung basiert auf *Windelband/Dworschak* 2015, S. 76. Siehe dazu auch der kurze Überblick bei *Gerst*, DGUV-Forum 6/2015, S. 34, 35 f.; zu den Anwendungsbereichen von Assistenzen aufgeteilt nach verschiedenen Beschäftigtengruppen, *Varadinek, et al.* 2018, S. 10.

141 *Wieland, et al.* 2009, S. 17 ff.

142 *Aehnelt/Bader* 2014; *BAuA* 2016; *Eisenbauer, et al.* 2007, S. 56 ff.; *Paelke* 2014; *Senderek*, UdZPraxis 2015, S. 15–17; *Tonndorf, et al.* 2012.

143 *Bächler, et al.* 2015b; *Bächler, et al.* 2015a, S. 57; *Bannat, et al.* 2008, S. 3; *Berndt et al.*, IT&Produktion 12/2014; *Günthner, et al.* 2014, S. 310; *Haase, et al.* 2015, S. 199 f.; *Karthus*, NZA 2017, S. 558, 559; *Korn, et al.* 2012, S. 3; *Windelband/Dworschak* 2015, S. 80.

144 *Acatech* 2013, S. 108; *Deuse, et al.* 2015a, S. 161 f.; *Haase, et al.* 2015, S. 200 f.; *Jost, et al.* 2017; *Kärcher* 2015, S. 51; *Meier, et al.* 2015, S. 226 f.; *Müller/Riedel* 2014; *Spath* 2013, S. 63; *Vogel-Heuser* 2014, S. 45 ff.

- Leichtbauroboter, die eng und ohne trennende Sicherheitskäfige mit Menschen zusammenarbeiten und sie bei körperlicher Arbeit unterstützen.¹⁴⁵

1.3.3 Potenzieller Ablauf eines Arbeitstags

- 61 Das Zusammenspiel dieser Assistenzsysteme mit den Beschäftigten und die Wirkweise der Systeme lassen sich am eindrücklichsten am potenziellen Ablauf eines Arbeitstages¹⁴⁶ in der Industrie 4.0 verdeutlichen:
- 62 Als der Werker die Fabrik betritt, werden ihm auf seinem mobilen Endgerät – Tablet, Smartphone oder Datenbrille – bereits die heute zu erledigenden Aufgaben angezeigt. Mit Hilfe eines „Fabrik-Navis“ findet er dabei zielsicher zu seinem Einsatzort. Dort werden die Maschinendaten ausgelesen und auf seinem mobilen Endgerät übersichtlich und kontextbezogen visualisiert.¹⁴⁷ Sein Assistenzsystem macht ihm darüber hinaus Vorschläge, welche Einstellungen an der Maschine vorzunehmen sind,¹⁴⁸ um etwa einen Eilauftrag eines Kunden in der unter diesen Umständen bestmöglichen Qualität erledigen zu können. Ob er den Empfehlungen folgt und welche Einstellungen er wählt, wird in allen Einzelheiten festgehalten.¹⁴⁹
- 63 Muss er hingegen – etwa um eine ausgefallene Maschine in Stand zu setzen – manuell eingreifen, kann sein Assistenzsystem ihm die dafür notwendigen Handgriffe und Arbeitsschritte anzeigen.¹⁵⁰ Auch das für die Aufgabenerledigung notwendige Werkzeug befindet sich schon am Einsatzort. Ein „autonomer“ Werkzeugkasten hat sie direkt dorthin gefahren. Jedes Werkzeug ist mit einem RFID-Chip ausgestattet und kann – wie jede Entität einschließlich des Arbeitnehmers selbst – auf dem Fabrikgelände

145 *Acatech* 2013, S. 99; *Bauernhansl* 2014, S. 24; *Deuse, et al.* 2015b, S. 104 ff.; *Drath, et al.* 2016; *Haase, et al.* 2015, S. 197 f.; *Heß/Wagner, ZWF* 2015, S. 755–757; *Ittermann, et al.* 2016, S. 30; *Windelband/Dworschak* 2015, S. 81 ff.

146 Das Szenario basiert wesentlich auf den Beschreibungen bei *Hartmann* 2009, S. 32 ff.; *Siemoneit* 2005b, S. 113 ff.; *Stephan* 2010; kritisch zu solchen Szenarien *Friedewald/Lindner* 2007, S. 212 f.

147 *Gorecky, et al.* 2014, S. 532; *Stocker et al., e & i* 2014, S. 207–211; *Windelband/Dworschak* 2015, S. 79.

148 *BMBF* 2015, S. 29; *Hirayama et al., Hitachi Review* 2016, S. 134 f.; *Hitachi* 2015, S. 1 f.

149 *Müller* 2014, S. 180.

150 *Kraft, Magazin Mitbestimmung* 1/2015.

geortet werden.¹⁵¹ Nur begrenzt verfügbare Spezialwerkzeuge werden von einer zentralen Instanz ausgegeben und dem ausleihenden Mitarbeiter individuell zugeordnet. Wird ein solches Werkzeug an anderer Stelle benötigt, kann von dort direkt bei den „besitzenden“ Mitarbeitern angefragt werden. Sobald der Werker schließlich mit der Reparatur beginnt, werden er und sein Arbeitsumfeld von Kameras erfasst. Ein Programm zur automatisierten Bildauswertung erkennt die Ersatzteile und das Werkzeug und analysiert die Bewegungen des Mitarbeiters. Lässt er einen Arbeitsschritt aus, warnt es ihn und weist auf die richtige Vorgehensweise hin.¹⁵²

Seine Assistenzsysteme beschränken sich nicht auf hilfreiche Anleitungen und kontrollierende Hinweise. Roboter sollen vielmehr in Zukunft in der Lage sein, ohne schützende Trennzäune mit Menschen zusammenzuarbeiten.¹⁵³ Roboterarme können z.B. ein Werkstück stets so positionieren, dass der Arbeiter die daran auszuführenden Arbeiten in einer ergonomisch angenehmen und gesunden Körperhaltung vornehmen kann.¹⁵⁴ Dafür erfasst das System die anthropometrischen Merkmale des Arbeiters (z.B. Schritt-, Arm- und Rückenlänge) und richtet sich danach und nach dessen Position und Bewegungen aus. Um dies zu erkennen und auch, um zu verhindern, dass es zu Kollisionen kommt, überwachen Kameras ständig das Arbeitsumfeld des Roboters und die darin tätigen Menschen.

Nicht nur seine Handgriffe und sein Wissen, auch seine Arbeitsergebnisse können detailliert vermerkt werden: Wie schnell konnte der Arbeiter die Maschine reparieren? Wie lange dauerte es, bis sie danach wieder ausfiel? Die so gewonnenen Erkenntnisse können zusammen mit Angaben über den aktuellen Standort, die fachliche Qualifikation und die zeitliche Verfügbarkeit im System hinterlegt und zur Aufgabenverteilung herangezogen werden. Eilige Aufgaben können so an denjenigen Arbeiter vergeben werden, der sie unter Berücksichtigung seines Standorts und seiner Fähigkeiten am schnellsten bewältigen kann. Weniger eilige Aufgaben hingegen können an die Arbeiter verteilt werden, die diesbezüglich noch über Übungsbedarf verfügen.

151 Schürzinger, IT&Produktion 4/2014.

152 Gorecky, et al. 2014, S. 535 f.

153 BMBF 2015, S. 29; Eck/Schilling 2013, S. 23.

154 Busch/Deuse 2014; Deuse, et al. 2015b, S. 104 f.