

**Industrie 4.0 –
Herausforderungen und Lösungen**

28. Instandhaltungsforum

TÜV Media

Instandhaltung im Wandel

H. Biedermann (Hrsg.)

Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek

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

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier.

ISBN 978-3-8249-1823-2

© by TÜV Media GmbH, TÜV Rheinland Group, Köln 2014

® TÜV, TUEV und TUV sind eingetragene Marken der TÜV Rheinland Group.
Eine Nutzung und Verwendung bedarf der vorherigen Zustimmung durch das Unternehmen.

Gesamtherstellung: TÜV Media GmbH, Köln 2014

Printed in Germany

Inhaltsverzeichnis

Autorenverzeichnis	7
Industrie 4.0 - Bedeutung für Produktion und Instandhaltung	
Industrie 4.0 - Herausforderungen und Handlungsfelder in der industriellen Produktion	9
Sebastian Schlund	
Anlagenmanagement im Zeitalter von Industrie 4.0	23
Hubert Biedermann	
Mit Technologieunterstützung ins Industriezeitalter 4.0	
Big Data Analytics in Produktion und Instandhaltung	33
Jochen Deuse, Mario Wiegand, Olga Erohin, Daniel Lieber, Ralf Klinkenberg	
Simulationsgestütztes Engineering im Anlagenbau 4.0	49
Markus Vorderwinkler	
Das digitale Produkt, Basis für neue Customer Service und Maintenance Repair and Overhaul Integrationen für den ersten Schweizer Helikopter	59
Daniel Schultheiss	
Picture of the Future - Service Parts Logistics 2025	89
Frank Debus	
Digitales Ersatzteilmanagement mittels 3D-Druck	97
Matthias Baldinger	
IT-Systeme und mobile Instandhaltung 4.0	
Instandhaltung 4.0 aus Sicht der IT – Wo die Reise hingeht	109
Friedrich Szukitsch	
Mobile Lösungen und Condition Monitoring im Zeitalter von Industrie 4.0	119
Ivan Gallo	

Intelligentes Condition Monitoring für Smart Factories	131
Christian Kaps	
Werte durch Wartung - Wie Industrie 4.0 die Instandhaltung verändert und zum Mehrwerttreiber im Unternehmen wird	143
Sunita Mathur, Johannes Michael Weiß	
Optimierung der Schnittstelle Anlagenbetreiber - Dienstleister	
Schnittstelle Anlagenbetreiber/Dienstleister – Was ist anders, was ist neu unter Industrie 4.0?	155
Clemens Mittelviehhaus	
Im Spannungsfeld des Kundenwunschs nach mehr Leistung zu geringeren Kosten: Die Flugzeugwartung der Lufthansa Technik	163
Claudius Platz	
Management- und Organisationskonzepte 4.0	
Kognitive Ergonomie - Produktivitätsfaktor für das Arbeiten in digitalen Welten	173
Thomas Mühlbradt, Peter Kuhlang	
ISO 55000 - Asset Management - Anforderungen an ein Asset Management System	185
Werner E. Schröder	

Autorenverzeichnis

Matthias Baldinger

M.Sc., Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Betriebswirtschaftliches Zentrum der ETH Zürich
Zürich

Hubert Biedermann

o.Univ.-Prof. Dr.mont., Departmentleiter, Präsident der ÖVIA
Department Wirtschafts- und Betriebswissenschaften
Montanuniversität Leoben

Frank Debus

Dr., Senior Vice President Customer Service Material Logistics
Siemens
Erlangen

Jochen Deuse

Univ.-Prof. Dr.-Ing., Institutsleiter
Institut für Produktionssysteme
TU Dortmund

Olga Erohin

Dipl.-Wirt.-Ing., Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Institut für Produktionssysteme
TU Dortmund

Ivan Gallo

Dipl.-Ing., CEO
East Gate
Wien

Christian Kaps

Dipl.-Ing.(FH), National Sales & Marketing Manager
Prüftechnik
München

Ralf Klinkenberg

Dipl.-Inform., General Manager
RapidMiner
Dortmund

Peter Kuhlang

Prof. Dr., Geschäftsführender Leiter MTM-Institut
Deutsche MTM-Vereinigung e.V.
Zeuthen

Daniel Lieber

Dipl.-Wirt.-Ing., Technical Customer Services Special Applications/Aerospace
Deutsche Edelstahlwerke
Witten

Sunita Mathur

Dipl.-Ing.
SAP Österreich
Wien

Clemens Mittelviefhaus

Dr.-Ing., Geschäftsleiter
InfraServ Knapsack
Hürth

Thomas Mühlbradt

Dr. Dipl.-Psych., Leiter Forschung MTM-Institut
Deutsche MTM-Vereinigung e.V.
Hamburg

Claudius Platz

Dipl.-Wirtsch.-Ing., Leiter Lean Production Flugzeugwartung
Lufthansa Technik
Hamburg

Sebastian Schlund

Dr.-Ing., Leitung Competence Center Produktionsmanagement
Fraunhofer IAO
Stuttgart

Werner E. Schröder

Dipl.-Ing. Dr.mont., Assistenzprofessor, Geschäftsführer der ÖVIA
Lehrstuhl Wirtschafts- und Betriebswissenschaften
Montanuniversität Leoben

Daniel Schulteis

Dipl.-Masch.-Ing., Mitglied der Geschäftsführung
Marengo Swisshelicopter
Niederurnen

Friedrich Szukitsch

Ing., Geschäftsführer
Ing. Friedrich Szukitsch EDV-Dienstleistungen
Wien

Markus Vorderwinkler

Dr., Teamleiter
Profactor
Steyr-Gleink

Johannes M. Weiß

Program Manager Mobility
SAP Österreich
Wien

Mario Wiegand

M.Sc., Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Institut für Produktionssysteme
TU Dortmund

Industrie 4.0 – Herausforderungen und Handlungsfelder in der industriellen Produktion

Sebastian Schlund

Die industrielle Produktion durchlief in den letzten Jahrzehnten tiefgreifende Veränderungen. Neben diesen Themen haben sich vor allem zwei Megatrends herauskristallisiert: die Dynamisierung der Produktlebenszyklen und die Durchdringung industrieller Wertschöpfung mit neuen Technologien. Beide finden sich direkt in den momentanen Entwicklungen der industriellen Produktion wieder – ersteres in der immer weitergehenden Erhöhung der Flexibilität – letzteres in neuen Produktionstechnologien und vor allem in der durchgängigen Digitalisierung und Automatisierung industrieller Wertschöpfungsprozesse. Zusammen mit einer neuen Stufe der Automatisierung und die Umsetzung des Konzepts des Internet der Dinge und Dienste vollzieht sich momentan die Übertragung in die industrielle Produktion. In Deutschland wird von dieser Entwicklung nicht weniger als die vierte industrielle Revolution erwartet. Industrie 4.0 in der Gesamtheit der darunter subsummierten Anwendungen wird sicher nicht innerhalb der nächsten Monate realisiert, sondern schrittweise in den nächsten 5-20 Jahren Gestalt annehmen. Neben der reinen Implementierung von Anwendungen wird es vor allem darauf ankommen, diese Fragen zu beantworten und gemeinsam mit allen Beteiligten so umzusetzen, dass »Industrie 4.0« keine reine Technologieimplementierung bleibt, sondern tatsächlich die Gesamtproduktivität der Arbeitsprozesse nachhaltig steigert. Dazu bedarf es eines gesamtheitlichen arbeitsgestalterischen Optimierungsansatzes, der sich an der Verbesserung des Unternehmenswertstroms orientiert und die einzelnen Industrie 4.0-Anwendungen in diesem einbettet.

1 Ausgangssituation der industriellen Produktion

Die industrielle Produktion durchlief in den letzten Jahrzehnten tiefgreifende Veränderungen. Weltweit lässt sich dies am rasanten Aufstieg Chinas zur weltweit führenden Produktionsnation ablesen. Im Jahre 2010 überholte die Industrie im Reich der Mitte hinsichtlich des industriellen Wertbeitrags der hergestellten Güter die USA. Knapp ein Viertel (23%) der weltweiten Industrieproduktion wird heute in China durchgeführt. Zusammen mit den USA (17%) und Japan (10%) sind allein drei Nationen für die Hälfte des Wertbeitrags der hergestellten Güter verantwortlich¹.

¹ Vgl. United Nations Accounts Main Database (2014).

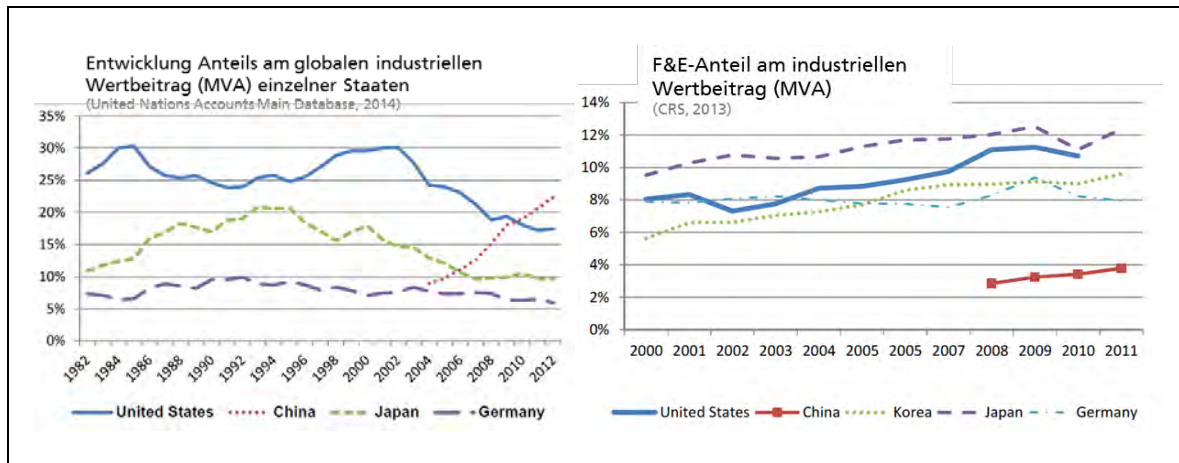


Abb. 1: Internationale Entwicklung der industriellen Produktionsanteile² sowie der F&E-Ausgaben am industriellen Wertbeitrag³

Deutschland belegt im globalen Ranking den vierten Platz mit 6% des weltweiten industriellen Wertbeitrags. Während die industrielle Produktion in Deutschland in absoluten Zahlen weiter steigt, sinkt ihre relative Bedeutung. Dies gilt im internationalen Maßstab, da die Wachstumsraten weit unterhalb Chinas und weiterer aufstrebender Nationen, insbesondere im asiatischen Raum, liegen. Gleiches gilt für die Bedeutung der industriellen Produktion im nationalen Vergleich. Der Anteil der Produktion an der Bruttowertschöpfung geht langfristig zugunsten des Dienstleistungssektors zurück, beträgt jedoch momentan immer noch 26 Prozent und liegt damit wesentlich höher als im europäischen Durchschnitt von 20 Prozent⁴. In anderen traditionellen Industrieländern Europas hat sich die Bedeutung in den letzten Jahren rapide verringert (Italien: 19%, Spanien: 17%, Großbritannien: 17%, Frankreich: 13 %). Selbst in den USA als lange bedeutendstem Industriestandort beträgt der Anteil heute nur noch 12 Prozent.

Diese Situation ist insofern bemerkenswert, als das sich im Zuge der Aufarbeitung der letzten Wirtschaftskrise von 2009 die Meinung durchgesetzt hat, dass sich Nationen mit einem höheren Industrieanteil schneller und tiefgreifender von derartigen Einbrüchen erholen. Am Vergleich Deutschlands mit Frankreich lässt sich die Entwicklung sehr gut nachvollziehen. Während in Deutschland das Bruttoinlandsprodukt im Jahre 2009 um mehr als 5 Prozent einbrach (Frankreich: -3%), wurde dies in den darauffolgenden Jahren mehr als überkompensiert. Allein der Wachstumsunterschied im Jahr 2010 betrug 50 Milliarden Euro mehr im Vergleich zum Nachbarn auf der anderen Rheinseite.⁵

² Vgl. United Nations Accounts Main Database (2014).

³ Vgl. OECD STAN R&D expenditures in industry (2014).

⁴ Vgl. Statistisches Bundesamt, Destatis. Wiesbaden (2013).

⁵ Vgl. Spath et al. (2013a).

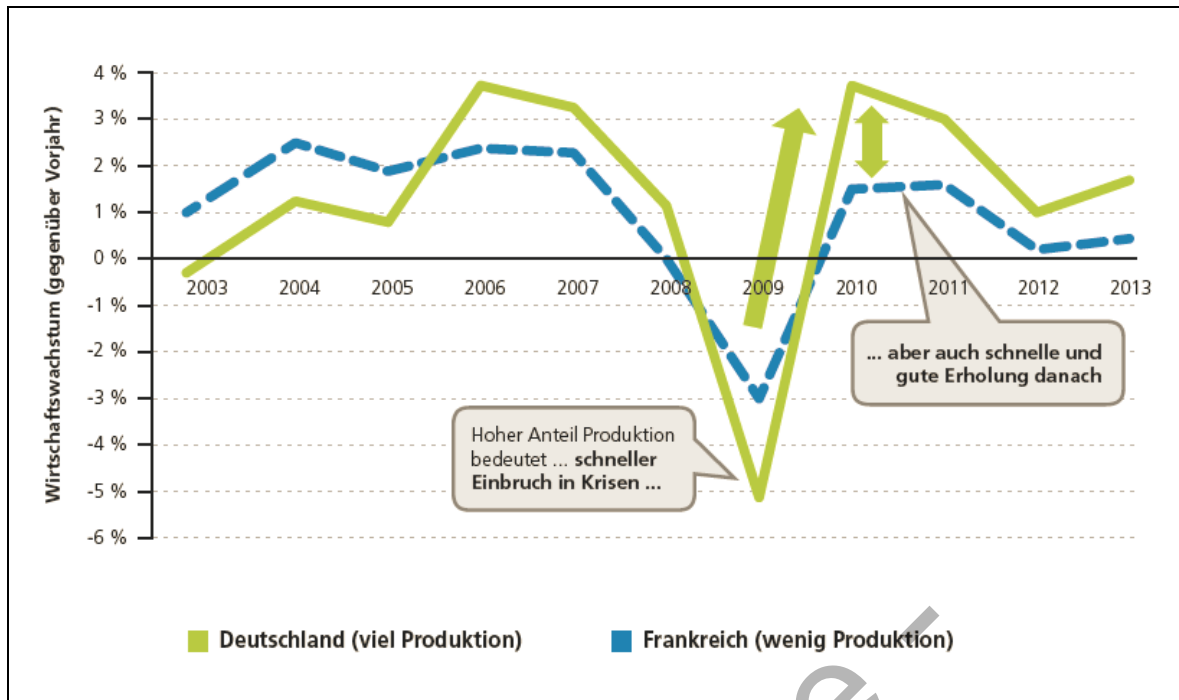


Abb. 2: Vergleich der Wachstumskurven Deutschlands und Frankreichs durch die Krise 2009/10⁶

Zudem stellt die industrielle Produktion traditionell das Rückgrat der Innovationsfähigkeit eines Landes dar. Dies wird vor allem mit Blick auf die Ausgaben für Forschung und Entwicklung deutlich. Allein in Deutschland wurden 2012 F&E-Ausgaben in Höhe von 57,5 Mrd. Euro getätigt. Dies entspricht 8 Prozent des Wertbeitrags der Produktion, ein Wert der noch deutlich unter den Anteilen in Korea, Japan oder den USA liegt⁷. Für Deutschland machte dieser Wert jedoch 86,5 Prozent der F&E-Ausgaben der Gesamtwirtschaft aus. An dieser Zahl wird eine weitere Funktion der industriellen Produktion deutlich. Während der Dienstleistungssektor in den letzten Jahrzehnten überproportional stark gewachsen ist, hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass gerade die Kombination zwischen exzellentem Service und Technologie-Knowhow auf Produkt- und Prozessebene nachhaltig innovative Dienstleistungen ermöglicht. Dies wiederum setzt einen Anteil an Hardware-Kompetenz voraus, der nicht allein zugekauft werden kann.

Im Laufe der vergangenen Jahre zeichnete sich eine Reihe von Trends ab, die heute und morgen die Entwicklung der industriellen Produktion maßgeblich beeinflussen werden⁸. Neben der weiter fortschreitenden Globalisierung und der daraus abgeleiteten weiter differenzierteren Arbeitsteilung sowie dem Risiko instabiler Lieferketten sind dies die Verknappung natürlicher Ressourcen und damit eng verbunden der befürchtete Klimawandel sowie als Reaktion darauf die Anpassung des Energiemixes (in Deutschland die Energiewende). Weiterhin eröffnet die weitergehende Individualisierung neue Chancen durch die Gestaltung neuer Lebens, Mobilitäts- und Logistikmuster, neue Bedarfe für Produkte und Services im Bereich Lebensqualität sowie Gesundheit. Der demographische Wandel (zumindest in den entwickelten Industriestaaten) und die Entwicklung hin zu einer lernenden Gesellschaft erlauben schon heute andere Formen der industriellen Wertschöpfung und eine neue Verknüpfung von Wissens- und Produktionsarbeit. Neben diesen Themen haben

⁶ Vgl. Spath et al. (2013a).

⁷ Vgl. OECD STAN R&D expenditures in industry (2014).

⁸ Vgl. Abele et al. (2011).

sich vor allem zwei Megatrends herauskristallisiert: die Dynamisierung der Produktlebenszyklen und die Durchdringung industrieller Wertschöpfung mit neuen Technologien. Beide finden sich direkt in den momentanen Entwicklungen der industriellen Produktion wieder – ersteres in der immer weitergehenden Erhöhung der Flexibilität – letzteres in neuen Produktionstechnologien und vor allem in der durchgängigen Digitalisierung und Automatisierung industrieller Wertschöpfungsprozesse.

2 Flexibilität als Treiber weiteren Wachstums

Im ungefähr gleichen Maß wie der Markt immer stärker konfigurierte und individualisierte Produkte fordert und die Komplexität über alle Stufen der industriellen Wertschöpfungskette spürbar steigt, nehmen die akzeptierten Lieferzeiten immer weiter ab. Im Vergleich zu 2008 gingen allein im der deutschen Maschinenbau die Lieferzeiten im Durchschnitt von 28 auf 15,5 Tage zurück. Die besten Unternehmen beliefern ihre Kunden heute im Durchschnitt in weniger als zwei Tagen⁹. Diese Entwicklung betrifft nicht nur den deutschen Maschinenbau, sondern lässt sich branchenübergreifend feststellen. Der Trend zur »Amazonisierung« der Lieferzeiten lässt sich zudem unabhängig vom Produkt und der Unternehmensgröße feststellen. Der Stellenwert extrem kurzer Lieferzeiten und der damit verbundenen Reduzierung der Gesamtdurchlaufzeiten, der Kapitalbindungskosten und der Bestände geht für die Kunden einher mit den klassischen Zielen schlanker Produktion. Selbst wenn in einzelnen Branchen die extrem kurzen Lieferzeiten noch nicht angekommen sind, ist zu erwarten, dass sich mit dem ersten Unternehmen, welches unter Beibehaltung exzellenter Liefertreue und -qualität ein solches Konzept umsetzt, die Anforderungen im gesamten Markt verschieben werden.

Begleitet wird diese Entwicklung von einer steigenden Volatilität der Absatzzahlen. Sowohl langfristig als auch kurzfristig überlagern sich unterschiedliche unternehmensinterne und -externe Einflüsse auf Stückzahlchwankungen. Neben altbekannten Faktoren wie Saisonalität und Konjunktur haben in den letzten Jahren vor allem die Verkürzung der Produktlebenszyklen und die starke Erhöhung des Projektgeschäfts, gerade mit Überseekunden, zu einer weiteren Erhöhung der Volatilität beigetragen. Verschärft wird dies durch die Erhöhung montagewirksamer Varianten aufgrund individueller Kundenanforderungen. Bereits heute sind produzierende Unternehmen mit Schwankungen konfrontiert, die durchschnittlich im Wochen- bis Monatsraster stattfinden. Dies zeigt eine aktuelle Umfrage unter 661 produzierenden Unternehmen¹⁰. Hierbei wurde nach dem Schwankungsraster im personalseitigen Kapazitätsbedarf gefragt. Dieser gibt über die erforderliche Flexibilität von Anlagen und Materialversorgung Aufschluss darüber, wie flexibel Unternehmen auf marktseitige Schwankungen reagieren können bzw. können müssen. Darüber hinaus sind bereits heute 26% der Unternehmen mit Schwankungen auf Tagesbasis oder kürzer konfrontiert. Beim Blick in die Zukunft (5 Jahre ab heute) fällt auf, dass sich die Erwartungshaltung stark in Richtung noch kurzfristiger Schwankungen verschiebt (Abbildung 3).

⁹ Vgl. Handfield et al. (2013).

¹⁰ Vgl. Spath et al. (2013a).

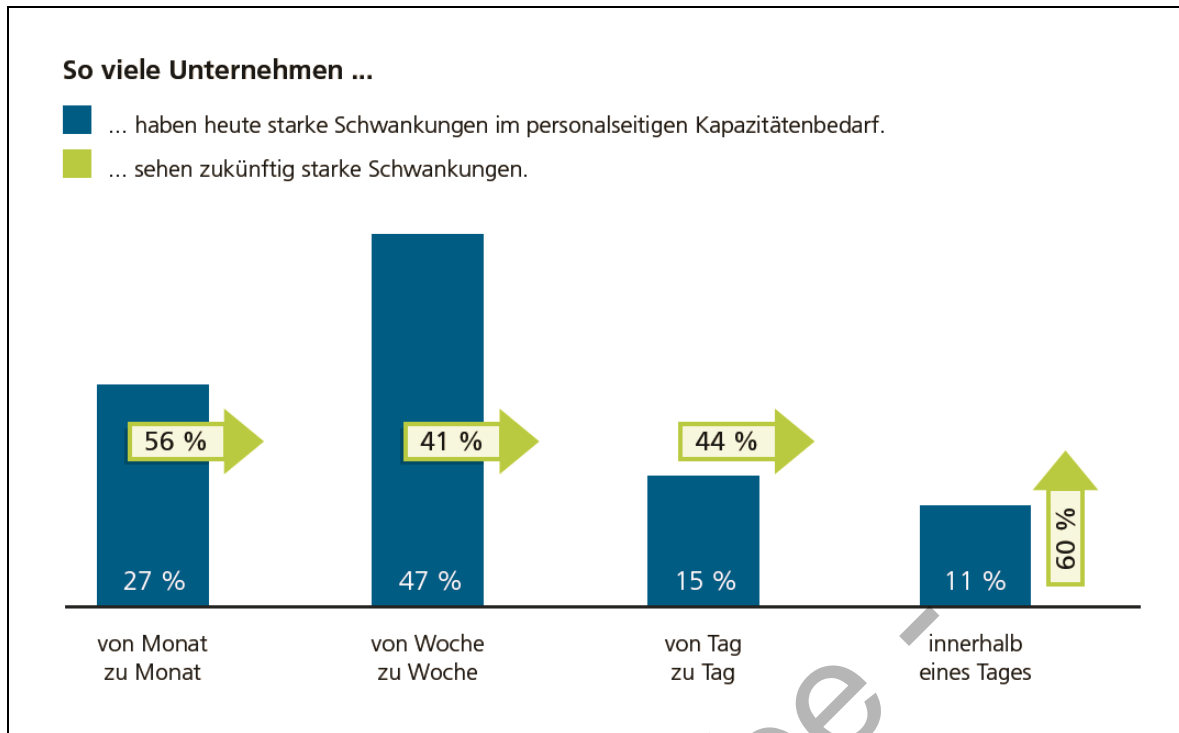


Abb. 3: Zukünftig werden noch kurzfristiger auftretende Marktschwankungen erwartet¹¹

Falls diese Entwicklung eintritt, so wie es momentan erwartet wird, führt dies neben weiter sinkenden Losgrößen in der Produktion zu einer Verschiebung des gesamten unternehmerischen Planungsrasters in Richtung kurzfristigere Planung und Steuerung. Dies betrifft neben der Planung der Personalkapazitäten auch die Anlagennutzung und die Materialbereitstellung sowie die gesamte nachgelagerte Wertschöpfungskette.

3 Intelligente Vernetzung als Schlüsselinnovation

Internet und Mobiltechnologien haben über die letzten 10 Jahre unser Leben und Arbeiten grundlegend verändert. Der Megatrend einer vernetzten Welt durchdringt immer weitere Bereiche – gerade die Wissensarbeit im Büro hat sich fundamental verändert. Zusammen mit einer neuen Stufe der Automatisierung und die Umsetzung des Konzepts des Internet der Dinge und Dienste vollzieht sich momentan die Übertragung in die industrielle Produktion. In Deutschland wird von dieser Entwicklung nicht weniger als die vierte industrielle Revolution erwartet, aber auch andere Industriestaaten versprechen sich signifikante Produktionsgewinne durch die Digitalisierung und Automatisierung industrieller Wertschöpfung.

Einordnen lässt sich diese Entwicklung in die als Kondratieff-Zyklen beschriebenen langen Wellen der Konjunktur. Ausgelöst durch Schlüsselinnovationen im Gebiet der Informations- und Kommunikationstechnologie – das Internet und die Möglichkeiten mobiler Kommunikation, befinden wir uns heute im Zeitalter der Wissensgesellschaft bzw. der Digitalisierung. Deren Basis stellen Informations- und Kommunikationstechnologien dar – übergreifend über alle Bereiche unserer Arbeitswelt und unseres Lebens.

¹¹ Vgl. Spath et al. (2013a).

Unter den 12 Schlüsseltechnologien, denen im McKinsey-Report »Disruptive Technologies« das Potenzial zugetraut wird, unsere Welt drastisch zu verändern, befinden sich auf den vorderen vier Plätzen mit dem mobilen Internet, der Automatisierung von Wissensarbeit, dem Internet der Dinge und Cloud-Technologien vier Innovationstreiber, die alle dem Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien zugeordnet werden können. Deren erwartetes jährliches Einsparpotenzial reicht bis zu 10 Billionen Dollar im optimistischen Fall.¹² Damit liegt diese Veröffentlichung im Trend der Digitalisierung und Vernetzung immer weiterer Bereiche unseres Lebens. Seit Daten aus immer neuen Quellen sprudeln und Nutzern zur Verfügung gestellt werden, eröffnen sich neue Möglichkeiten, die erst in Ansätzen in Form neuer Anwendungen und Geschäftsmodelle genutzt werden. Die erzeugten Datenmengen steigen exponentiell mit dem Ausmaß der Vernetzung und verdoppeln sich alle zwei Jahre¹³. Bereits im Jahre 2012 betrug das weltweit erzeugte Datenvolumen 2,8 Zettabyte. Wird das Wachstum des Datenverkehrs heute noch vor allem aus Foto- und Videoportalen, Streaming-Angeboten, Social Media-Aktivitäten und den Zustandsdaten von Smartphones gespeist, wird der nächste Schritt aus der Anbindung von physischen Objekten an das Internet erwartet. Für das Jahr 2020 wird prognostiziert, dass bereits 50 Milliarden Geräte mit dem Internet verbunden sind¹⁴. Die Entwicklung ist momentan bereits in vollem Gange. Der Begriff des Internets der Dinge (Internet of Things oder Internet of Everything) gewinnt immer schneller an Bedeutung. „Das Internet der Dinge ist die technische Vision, Objekte beliebiger Art in ein universales digitales Netz zu integrieren. Dabei haben die Objekte eine eindeutige Identität (Smart Objects) und befinden/bewegen sich in einem ‘intelligenten’ Umfeld.“¹⁵ Gegenstände der realen Welt werden Teil des Internets und gleichzeitig wird das Internet Teil der physischen Welt. Zahlreiche Beispiele der Nutzung von der Anbindung von Lampen¹⁶, Fitnessarmbändern¹⁷, Thermostaten¹⁸, Betten¹⁹ bis hin zu Mülleimern²⁰ existieren bereits. Ermöglicht wurde dies durch die rasante Entwicklung im Bereich günstiger und leistungsfähiger Hard- und Software. Sowohl RFID-Chips als ID-Träger und intelligente Lokalisierung als auch weitere Sensoren (bspw. Licht-, Farb-, Abstands-, Temperatur-, Lautstärke-, Feuchtigkeits- und Beschleunigungssensoren, Gyroskope, Kameras) stehen ebenso zur Verfügung wie die Netz-Infrastruktur (kabellos und kabelgebunden) zumindest in großen (urbanen) Gebieten. Mit der Abstimmung des IPv6-Internetprotokolls werden zudem die Möglichkeiten der IP-Adressverteilung vergrößert. Weiterhin ermöglichen Cloud-Plattformen die dezentrale Speicherung größerer Datenmengen zu immer geringeren Kosten und bieten gleichzeitig Möglichkeiten der Datenanalyse an. Im Bereich industrieller Anwendungen kommt hinzu, dass der produktive Einsatz von Mobilgeräten bisher auf Einzelanwendungen im Bereich Logistik und Instandhaltung beschränkt war und die Möglichkeiten der Hard- und Software bisher bestenfalls in Ansätzen genutzt hat. Dazu kommt, dass im Bereich der Hardware durch die Entwicklung von einsatztauglichen Datenbrillen neue Geräte zur Verfügung stehen und sich die Kosten industrietauglicher Embedded Systems rapide verringert haben. In Einzelfällen wird bereits heute bei der Komponentenentwicklung die Möglich-

¹² Vgl. McKinsey Global Institute (2013).

¹³ Vgl. Bitcom (2012).

¹⁴ Vgl. Evans (2011).

¹⁵ Federal Ministry of Economics and Technology (2007).

¹⁶ Vgl. Good Night Lamp (2014).

¹⁷ Vgl. Fitbit (2014).

¹⁸ Vgl. Nest (2014).

¹⁹ Vgl. Beddit (2014).

²⁰ Vgl. Venturevillage (2014).

keit der dezentralen Datenaufnahme, -verarbeitung und -übertragung eidesignt (bspw.²¹) oder gänzlich neue Komponenten entwickelt, deren integraler Bestandteil die schnelle Reaktion auf Zustandsänderungen der Umgebung darstellen, wie etwa der iBin – ein intelligenter Behälter für Logistikanwendungen²².

Kurzum steht heute die technologische Basis für die intelligente Vernetzung unserer Lebens- und Arbeitswelten bereits zu großen Teilen zur Verfügung. Was bisher weitestgehend fehlt, ist die Umsetzung in praktische wirtschaftliche Anwendungsfälle und neue innovative Geschäftsmodelle.

4 Industrie 4.0 in Deutschland

Im Bereich der Umsetzung innovativer Lösungen der Digitalisierung und Automatisierung von Arbeitsabläufen in industriellen Anwendungen hat sich in Deutschland der Begriff »Industrie 4.0« etabliert. Begriffskern ist die echtzeitfähige, intelligente Vernetzung von Menschen, Maschinen und Objekten zu einem Management von Systemen.²³ »Der Begriff Industrie 4.0 steht für die vierte Industrielle Revolution, eine neue Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten. Die zunehmend individualisierten Kundenwünsche lassen sich nur durch ein lebenszyklusübergreifendes Management nachhaltig umsetzen. Diese Zyklusbetrachtung umfasst alle Phasen von der Idee, dem Auftrag über die Entwicklung und Fertigung, die Auslieferung eines Produkts an den Endkunden bis hin zum Recycling, einschließlich der damit verbundenen Dienstleistungen.«²⁴

Die erwarteten Auswirkungen der Implementierung der neuen Vernetzungstechnologien werden als so fundamental eingeschätzt, dass dieser Vision der Umfang einer industriellen Revolution zugetraut wird. Diese Erwartungshaltung findet sich im Begriff »Industrie 4.0« wieder, der auf eine vierte industrielle Revolution (nach Mechanisierung, Industrialisierung und Fabrikautomatisierung) verweist und das ».0« als Referenz auf den starken IT-Bezug im Namen trägt.

Der Begriff Industrie 4.0 wurde vor allem im Rahmen der Hannover Messe 2013 für die breite Öffentlichkeit geprägt und 2014 wieder aufgegriffen (in seiner englischen Entsprechung »Integrated Industry«). Er wird inzwischen von Anbietern von Hard- und Softwarelösungen aus dem Feld der Automatisierung, der Informations- und Kommunikationstechnik sowie dem Maschinen- und Anlagenbau gleichermaßen verwendet. Unter den Beteiligten besteht ein gemeinsames Verständnis über die zukünftigen Möglichkeiten von Industrie 4.0-Technologien. Dies gilt insbesondere für das Anwendungsgebiet der Produktion und Logistik. Die Ziele, die durch die intelligente Vernetzung von Objekten, Maschinen und Personen erzielt werden sollen, unterscheiden sich jedoch stark in Abhängigkeit der jeweiligen Anwendungsfälle. Bezogen auf die deutsche Industrie wird vor allem die Flexibilität der industriellen Wertschöpfung betont und die Produktion individueller Produkte zu Kosten von Serienprodukten angestrebt. Damit wird gleichzeitig der vorrangige Fokus der Initiative auf Bereiche und Branchen gelegt, die sich durch die starke Kundennähe und die schnelle Umsetzung der Kundenanforderungen in individualisierte Produkte unterscheiden.

²¹ Vgl. Endress (2014).

²² Vgl. Würth Industrie (2014).

²³ Vgl. Heng (2014).

²⁴ Plattform Industrie 4.0 (2014a).

Begrifflichkeiten, Zielsetzung sowie erste Anwendungsbereiche wurden von einem breit aufgestellten Expertengremium im Auftrag der Forschungsunion in den »Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0« zusammengetragen²⁵. Angestrebt wird hier eine duale Strategie, die darauf abzielt, dass die heimische Wirtschaft ihre Rolle als Leitmarkt und Leitanbieter für Industrie 4.0-Technologien auf- bzw. ausbaut. Hierfür werden drei wesentliche Stoßrichtungen ausgemacht, in denen signifikante Produktivitätspotenziale erwartet werden:

- Horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke
- Durchgängigkeit des Engineering über die gesamte Wertschöpfungskette
- Vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme²⁶

Im Laufe der vergangenen zwei Jahre wurden unter dieser gemeinsamen Klammer zahlreiche Projekte und Initiativen angestoßen. Neben mehreren Förderprogrammen der Bundesministerien für Bildung und Forschung bzw. für Wirtschaft werden in weiteren Förderinitiativen der Bundesländer – allen voran Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz Forschungsprojekte zum Thema angestoßen. Weiterhin haben sich Verbände, wie der VDMA, ZVEI und BITKOM sowie Initiativen beim VDI, VDE, BDA und BDI gebildet, um nur einige der wichtigsten zu nennen. Die drei erstgenannten Verbände betreuen gemeinsam die »Plattform Industrie 4.0«²⁷, die eine Mittlerfunktion zwischen den Bereichen der Ausrüster (IT- und Elektronikindustrie) sowie der Anwenderunternehmen bilden soll.

Inzwischen existieren bereits erste Anwendungsfälle, die zumindest im Pilotbetrieb umgesetzt wurden. Beispielfhaft können hier folgende Aktivitäten in den Bereichen:

- Social Machines (bspw. Trumpf²⁸, Wittenstein²⁹)
- Mobilgeräteinsatz in der Produktion (bspw. Fraunhofer IAO³⁰ – Projekt KapaflexCy, Datenbrilleneinsatz³¹)
- Leichtbauroboter und Handling-Assistenten (bspw. Kuka, Bosch, ABB)
- Smart Factories (bspw. DFKI³², TU München³³)
- Intelligente Objekte (bspw. Würth³⁴, SEW³⁵)
- Predictive Maintenance (bspw. Siemens³⁶)
- Smart Data (bspw. Smart Data Innovation Lab am KIT³⁷)
- Unternehmens-App Stores (bspw. Virtual Fort Knox³⁸)

²⁵ Vgl. Forschungsunion (2012).

²⁶ Vgl. Forschungsunion (2012), S.35 f.

²⁷ Vgl. Plattform Industrie 4.0 (2014b).

²⁸ Vgl. Bauer (2013).

²⁹ Vgl. Schlick et al. (2014).

³⁰ Vgl. Spath (2013b).

³¹ Vgl. Itizzimo (2014).

³² Vgl. SmartFactroyKL (2014).

³³ Vgl. Pantförder (2014).

³⁴ Vgl. Würth Industrie (2014).

³⁵ Vgl. Soder (2014).

³⁶ Vgl. Müller-Heinzerling (2014).

³⁷ Vgl. KIT (2014).

³⁸ Vgl. Virtual Fort Knox (2014).

Gemeinsam haben alle bestehenden Umsetzungsinitiativen, dass sie weitestgehend auf bestehender und funktionierender Technik basieren und somit keine technologischen Innovationen darstellen. Der entscheidende Mehrwert wird sich darin widerspiegeln, wie schnell die Anwendungsfälle implementiert werden können, welche Produktivitätspotenziale erzielt werden können und wie sich daraus veränderte oder gänzlich neue Geschäftsmodelle entwickeln lassen. Dies wird aller Voraussicht nach ein Prozess sein, der heute bestenfalls angefangen hat und dessen Auswirkungen erst in den nächsten 5 bis 10 Jahren sichtbar werden.³⁹

5 Rolle der Arbeitsgestaltung und -organisation

Der Arbeitsgestaltung und -organisation kommt im Prozess der Umsetzung von Industrie 4.0-Aktivitäten eine Schlüsselposition zu. Dies gilt insbesondere deshalb, weil durch die erwarteten Produktivitätspotenziale Auswirkungen auf die Arbeitsprozesse, die eingesetzten Technologien und Hilfsmittel, die notwendigen Kompetenzen und Qualifizierung, die Art der Kommunikation und Kooperation mit Menschen, Maschinen und Objekten und in letzter Konsequenz auf die Beschäftigung erfolgen werden. Zu großen Teilen können diese Konsequenzen heute noch nicht abgeschätzt werden, da sie sehr stark von den Technologie- und Anwendungsfeldern abhängen, die sich letztendlich durchsetzen werden. Im Gegenteil, mit der Veröffentlichung der beiden MIT-Studien »Race against the Machine«⁴⁰ und »The Second Machine Age«⁴¹ sowie der Oxford-Studie »The Future of Employment«⁴² wird eine Erwartungshaltung umfangreicher Arbeitsplatzverluste durch Automatisierung und Digitalisierung geschürt. Diesen Studien ist gemein, dass sie:

- von sehr optimistischen Annahmen hinsichtlich des Substitutionspotenzials menschlicher Arbeit durch Digitalisierung und Automatisierung ausgehen,
- das Risiko der Einführung neuer Technologien für Arbeitsplatzverluste ausschließlich in bestehenden Berufsbildern beziffern,
- parallele Entwicklungen der Produktionsarbeit (steigende Volatilität der Märkte, höhere Flexibilität, weiter steigende Individualisierung der Produkte) nicht berücksichtigen,
- die prinzipielle Ersetzbarkeit einer Arbeitstätigkeit untersuchen, nicht jedoch die Umsetzbarkeit in der praktischen Anwendung.

Weiterhin stehen die Prognosen im Gegensatz zur Erfahrung aus vergangenen technologischen Revolutionen und deren Effekten für die Beschäftigung. Bevor belastbare Aussagen über die notwendigen Kompetenzen und Qualifizierungspfade sowie die Auswirkungen auf die Beschäftigung getätigt werden können, gilt es die Auswirkungen der »Industrie 4.0« auf die Produktionsarbeit bzw. deren »Industrie 4.0«-induzierte Veränderung zu verstehen. Einen ersten Schritt in diese Richtung liefert die Studie »Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0«⁴³, in deren Rahmen das Fraunhofer IAO die im vergangenen Jahr 661 Praktiker und 21 Industrie 4.0-Experten zu deren Erwartungshaltung an die Zukunft der Produktionsarbeit befragte.

³⁹ Vgl. Bitkom (2014).

⁴⁰ Vgl. Brynjolfsson et al. (2011).

⁴¹ Vgl. Brynjolfsson et al. (2014).

⁴² Vgl. Frey (2013).

⁴³ Vgl. Spath et al. (2013a).

Im Ergebnis ließen sich die folgenden Kernaussagen ableiten:

1. Automatisierung wird für immer kleinere Serien möglich – dennoch bleibt menschliche Arbeit weiterhin ein wichtiger Bestandteil der Produktion.
2. Flexibilität ist nach wie vor der Schlüsselfaktor für die Produktionsarbeit in Deutschland – in Zukunft aber noch kurzfristiger als heute.
3. Flexibilität muss in Zukunft zielgerichtet und systematisch organisiert werden – »Pauschal-Flexibilität« reicht nicht mehr aus.
4. Industrie 4.0 heißt mehr als CPS-Vernetzung. Die Zukunft umfasst intelligente Datenaufnahme, -speicherung und -verteilung durch Objekte und Menschen. Dezentrale Steuerungsmechanismen nehmen zu. Vollständige Autonomie dezentraler, sich selbst steuernder Objekte gibt es aber auf absehbare Zeit nicht.
5. Sicherheitsaspekte (Safety und Security) müssen schon beim Design intelligenter Produktionsanlagen berücksichtigt werden.
6. Aufgaben traditioneller Produktions- und Wissensarbeiter wachsen weiter zusammen.
7. Produktionsarbeiter übernehmen vermehrt Aufgaben für die Produktentwicklung.
8. Mitarbeiter müssen für kurzfristigere, weniger planbare Arbeitstätigkeiten On-the-Job qualifiziert werden.

Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse und den seitdem realisierten Anwendungsfällen stellt sich die Frage, wie der erwartete Wandel erfolgreich gestaltet und in die zukünftige Arbeitswelt im Unternehmen umgesetzt werden kann und welche Rolle der Mensch zukünftig einnehmen wird. Unabhängig davon zeichnen sich heute bereits arbeitswissenschaftliche Fragestellungen ab, die im Rahmen der Einführung von Industrie 4.0-Anwendungen beantwortet werden sollten.

- Wie lassen sich schnelle Entscheidungen absichern und Systeme zur Entscheidungsunterstützung auf Basis von Echtzeitdaten entwickeln und mit Mobilgeräten betreiben?
- Wie können intuitiv bedienbare Mensch-Maschine-Schnittstellen geschaffen und an die individuellen Bedürfnisse der Nutzer angepasst werden?
- Wie lassen sich sensorische Lücken über die gesamte Wertschöpfungskette vermeiden sowie Konzepte und Hilfsmittel zur schnellen Informationsaufnahme, -weitergabe und -dokumentation durch die Nutzer entwickeln?
- Wie lässt sich Handlungssicherheit systematisch stärken; Strukturwissen und Querschnittskompetenzen (vor allem an der Schnittstelle zwischen Produktion und IT) entwickeln?
- Wie kann menschliche Arbeit intelligent unterstützt werden; wie lassen sich manuelle Tätigkeiten für komplexe, unregelmäßige und individuelle Produkte human und alternsgerecht gestalten?
- Wie lässt sich flexibler Kapazitätseinsatz gestalten; dezentrale Einsatzsteuerung ermöglichen, Akzeptanz absichern sowie neue Formen der Kompensation schaffen?
- Wie wird es möglich, dynamisch Prozesse anzupassen und unternehmensübergreifende Systeme zur Adaption und Optimierung von Prozessen zu realisieren?
- Wie kann ein neuer, zeitgemäßer Umgang mit persönlichen Daten (Position, Qualifizierung, Historie) zur kontextbasierten Informationsbereitstellung entwickelt werden?

Neben der reinen Implementierung von Anwendungen wird es vor allem darauf ankommen, diese Fragen zu beantworten und gemeinsam mit allen Beteiligten so umzusetzen, dass »Industrie 4.0« keine reine Technologieimplementierung bleibt, sondern tatsächlich die Gesamtproduktivität der Arbeitsprozesse nachhaltig steigert. Dazu bedarf es eines gesamtheitlichen arbeitsgestalterischen Optimierungsansatzes, der sich an der Verbesserung des Unternehmenswertstroms orientiert und die einzelnen Industrie 4.0-Anwendungen in diesem einbettet.

6 Fazit und Ausblick

Zusammenfassend hat auf der Grundlage des heute technologisch Machbaren die Digitalisierung und Automatisierung der industriellen Wertschöpfung sehr gute Aussichten auf Umsetzung und die Realisierung beträchtlicher Produktivitätspotenziale. Industrie 4.0 wird ein ähnlich großes Potential für die Produktion in Deutschland zugetraut wie die Digitalisierung der Wissensarbeit. Für sechs ausgewählte Branchen wurden in einer Studie zu den erwarteten volkswirtschaftlichen Effekten⁴⁴ bis 2025 jährliche Steigerungen der Bruttowertschöpfung von 1,7 Prozent prognostiziert (Abbildung 4).



Abb. 4: Erwartetes Industrie 4.0-induziertes Wachstum für ausgewählte Branchen⁴⁵

Heute kommt es jedoch bereits darauf an, schnell erste nachweisbare Erfolge vorzuweisen und nicht bei Diskussionen an einer Vision stehen zu bleiben. Dazu sollten möglichst potenzialträchtige Anwendungsfälle realisiert und in die Arbeitsorganisation eingebunden werden. Auf Ausrüsterseite gilt es, das Internet der Dinge und Dienste in nachhaltig tragfähige Geschäftsmodelle umzusetzen. Dazu zeigt sich, dass ein ausgewogener Mix aus Forschung und Realisierung zur Sammlung von Erfahrung sowie die Integration aller Beteiligten in den Prozess und frühzeitige Qualifizierung für neue Aufgaben diesen Innovationsprozess beschleunigen können.

Selbstverständlich existieren darüber hinaus weitere ungelöste Herausforderungen. Datensicherheit und Datenschutz, Cybersecurity sowie der damit verbundene Schutz sensibler Informationen vor dem Zugriff nicht autorisierter Dritter sind sicherlich die aktuell am

⁴⁴ Vgl. Bitkom (2014).

⁴⁵ Vgl. Bitkom (2014).

publikumswirksamen diskutierten Themen. Eng damit verbunden wird die Frage zu beantworten sein, wem erhobene Daten gehören und wer diese wirtschaftlich verwerten darf. Weiterhin erfordert die durchgängige Verknüpfung intelligenter Anlagen, Objekte und Menschen Standards und schnittstellenfreie Kommunikation, zuverlässige Netzzugänge (sowohl kabelgebunden als auch kabellos) ebenso wie leicht zu bedienende Entwicklungsumgebungen, um prozessnah und sicher Anpassungen an der verwendeten Software durchführen zu können. Hierbei kommt voraussichtlich dem stärker integrativen Zusammenwirken von produktionsnaher Prozesskompetenz mit Umsetzungskompetenz aus dem Bereich Informations- und Elektrotechnik eine entscheidende Rolle zu. Gleiches gilt für die Zusammenarbeit zwischen Ausrüstern, Anwendern und Mitarbeitern bei der Konzeption und Implementierung von Prozessverbesserungen mit State-of-the-Art-Technologie. Diese »Industrie 4.0-Kompetenz« muss aufgebaut und zielgerichtet qualifiziert werden.

Aktuell befindet sich das Thema jedoch in einer Hype- Phase die von großer Medienpräsenz geprägt ist, mit der die Umsetzungsgeschwindigkeit nicht schritthalten kann. Industrie 4.0 in der Gesamtheit der darunter subsumierten Anwendungen wird sicher nicht innerhalb der nächsten Monate realisiert, sondern schrittweise in den nächsten 5-20 Jahren Gestalt annehmen.

7 Literatur

- Abele, E.; Reinhart, G. (Hrsg.); Zukunft der Produktion – Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen. Hanser, 2011.
- Bauer, K: Industrie 4.0 bei Trumpf – Vision trifft Realität; Vortrag im Rahmen des Fraunhofer-Forums München »Zukunftsvision Industrie 4.0«; 29.04.2013.
- Beddit: <http://www.beddit.com/>; Stand: 26.08.2014.
- Bitkom / Fraunhofer IAO: Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland, Berlin, 2014
[http://www.bitkom.org/files/documents/Studie_Industrie_4.0.pdf; Stand: 26.08.2014].
- Bitkom: Big Data im Praxiseinsatz – Szenarien, Beispiele, Effekte; Berlin, 2012
[[http://www.bitkom.org/files/documents/BITKOM_LF_big_data_2012_online\(1\).pdf](http://www.bitkom.org/files/documents/BITKOM_LF_big_data_2012_online(1).pdf); Stand: 26.08.2014].
- Brynjolfsson, E.; McAfee, A.: Race Against the Machine: How the Digital Revolution is Accelerating Innovation, Driving Productivity, and Irreversibly Transforming Employment and the Economy, 2011.
- Brynjolfsson, E.; McAfee, A.: Second Machine Age : Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies, W. W. Norton & Company; New York, 2014.
- Endress+Hauser-Industrie 4.0-Aktivitäten
<http://www.de.endress.com/eh/sc/europe/dach/de/home.nsf/#page/~Industrie4null-Prozessindustrie>; Stand: 26.08.2014.
- Evans, D.: The Internet of Things, How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything; Cisco; 2011.
- Federal Ministry of Economics and Technology (Hrsg.): European Policy Outlook RFID. In cooperation with Federal Ministry of Education and Research; Berlin, 2007.
- Fitbit: <http://www.fitbit.com/de>; Stand: 26.08.2014.

- Forschungsunion: Im Fokus: Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 Handlungsempfehlungen zur Umsetzung; Bericht der Promotorengruppe Kommunikation, Berlin, 2012.
- Frey, C. B., Osborne, M. A.: The Future of Employment: How Susceptable are Jobs to Computerisation?, Oxford University Press, 2013.
- Good Night Lamp: <http://goodnightlamp.com/>; Stand: 26.08.2014.
- Handfield, R.; Straube, F.; Pfohl, H.-C.; Wieland, A.: Trends and Strategies in Logistics and Supply Chain Management (BVL-Studie); DVV, Hamburg, 2013.
- Heng, S: Infografik zu Industrie 4.0 (DB Research), [http://www.dbresearch.de/servlet/reweb2.ReWEB?rwsite=DBR_INTERNET_DE-PROD&rwobj=ReDisplay.Start.class&document=PROD0000000000339013; Stand: 26.08.2014].
- Itizzimo: Video zum beispielhaften Einsatz von Business Glasses: <http://www.itizzimo.com/business-glasses/>; Stand: 26.08.2014.
- KIT, Presseankündigung des Smart Data Innovation Lab; http://www.kit.edu/kit/pi_2014_14408.php; Stand: 26.08.2014.
- McKinsey Global Institute: Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy, 2013.
- Müller-Heinzerling, T: Integrated Maintenance Management; Vortragsfolien zur NAMUR-Hauptsitzung 2013 [http://www.industry.siemens.com/topics/global/en/magazines/process-news/Documents/namur-annual-general-meeting-pdf/Workshop%2003%20Instandhaltungsmanagement_DE.pdf; Stand: 26.08.2014].
- Nest: <https://nest.com/>; Stand: 26.08.2014.
- OECD STAN R&D expenditures in industry, http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=ANBERD_REV4, and value-added data in United Nations National Accounts Main Aggregates Database, <http://unstats.un.org/unsd/snaama/resQuery.asp>. 2013; In: Levinson, M.: U,S, Manufacturing in International Perspective – Congressional Research Service, 20.02.2014.
- Pantförder, D.; Mayer, F.; Diedrich, C.; Göhner, P.; Weyrich, M.; Vogel-Heuser, B.: Agentenbasierte dynamische Rekonfiguration von vernetzten intelligenten Produktionsanlagen – Evolution statt Revolution; In: Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.; Vogel-Heuser, B.: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik; Springer, Berlin, 2014.
- Plattform Industrie 4.0: Was Industrie 4.0 (für uns) ist [<http://www.plattform-i40.de/blog/was-industrie-40-f%C3%BCr-uns-ist>; Stand: 26.08.2014]. 2014a.
- Plattform Industrie 4.0: <http://www.plattform-i40.de/>; Stand: 26.08.2014]. 2014b.
- Schlick, J.; Stephan, P.; Loskyll, M.; Lappe, D: Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung; In: Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.; Vogel-Heuser, B.: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik; Springer, Berlin, 2014.
- SmartFactoryKL: <http://www.smartfactory-kl.de/>; Stand: 26.08.2014.
- Soder, J: Von CIM über Lean Production zu Industrie 4.0; In: Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.; Vogel-Heuser, B.: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik; Springer, Berlin, 2014.
- Spath, Dieter (Hrsg.); Ganschar, Oliver; Gerlach, Stefan; Hämmerle, Moritz; Krause, Tobias; Schlund, Sebastian: Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Fraunhofer-Verlag, Stuttgart, 2013a.

- Spath, D., Gerlach, S., Hämmerle, M., Schlund, S., Strölin, T.: Cyber-physical system for self-organised and flexible labour utilisation; 22nd International Conference on Production Research (ICPR), Iguazu Falls; 2013b.
- Statistisches Bundesamt, Destatis. Wiesbaden 2013.
- United Nations Accounts Main Database, Value added by economic activity at current prices – U.S. dollars; In: Levinson, M.: U,S, Manufacturing in International Perspective – Congressional Research Service, 20.02.2014.
- Venturevillage: <http://venturevillage.eu/city-of-london-cans-bin-mobile-tracking-programme>; Stand: 26.08.2014.
- Virtual Fort Knox: <https://www.virtualfortknox.de/>; Stand: 26.08.2014.
- Würth Industrie: [http://www.wuerth-indutrie.de/web/de/wuerthindustrie/cteile-management_5/kanban/die_revolution_im_c_teile-_management behaelter_ibin_1/ibin_kanbanbehaelter.php](http://www.wuerth-indutrie.de/web/de/wuerthindustrie/cteile-management_5/kanban/die_revolution_im_c_teile-_management_behaelter_ibin_1/ibin_kanbanbehaelter.php); Stand: 26.08.2014.

– Leseprobe –