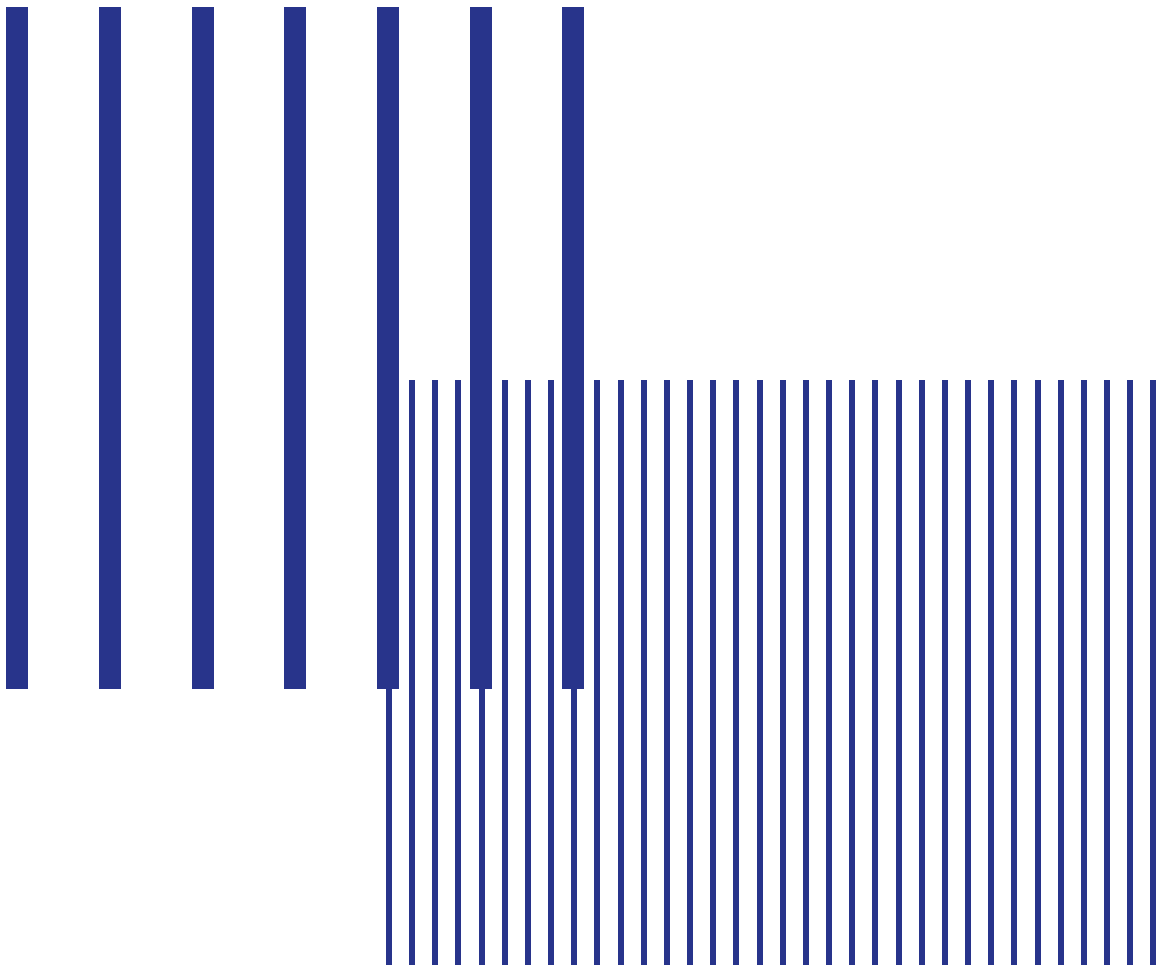




ITB-Arbeitsberichte | Band 7

Simon Matuszczyk | Markus G. Schwering

# Integration von Industrie 4.0 in das Supply Chain Management



||||| In nahezu allen Wirtschaftsbereichen sind digitalisierte Prozesse inzwischen weit verbreitet. Teilweise hat die Digitalisierung bereits zu einer völligen Neuordnung von industriellen Wertschöpfungsketten auf Basis moderner Informations- und Kommunikationstechnologien beigetragen. Vor allem im Bereich logistischer Prozesse finden sich angesichts des internationalen Wettbewerbs durch die Globalisierung und des stetig größeren Preis- und Innovationsdrucks vielfältige Anwendungsfälle für Industrie 4.0-Anwendungen.

In diesem Arbeitspapier werden die Potenziale aus Industrie 4.0 konkret auf die Logistik übertragen. Leitfrage der Untersuchung ist, wie die spezifischen Herausforderungen in der Logistik vor diesem Hintergrund beherrscht und weiter optimiert werden können.

## ||||| Die Autoren

Prof. Dr. Markus G. Schwering

Seit 2006 lehrt Markus G. Schwering an der Fachhochschule Münster und verantwortet dort am Institut für Technische Betriebswirtschaft das Lehr- und Forschungsgebiet Technologie- und Innovationsmanagement. Seit 2017 leitet er an der Hochschule als Dekan die zentrale wissenschaftliche Einrichtung Münster Centrum für Interdisziplinarität (MCI) und ist Mitglied im Institut für Prozessmanagement und Digitale Transformation (IPD).

Simon Matuszczyk, MBA&Eng.

Simon Matuszczyk schloss 2011 das duale Bachelorstudium zum Wirtschaftsingenieur ab. Nach diversen Funktionen im Rahmen der Leichtbau-Industrialisierung wechselte er 2016 in die internationale Logistikplanung des Mercedes-Benz Werks Düsseldorf. Nebenberuflich absolvierte Simon Matuszczyk von 2014 bis 2017 den Masterstudiengang der Fachrichtung Wirtschaftsingenieurwesen an der Fachhochschule Münster.

Fachhochschule Münster  
Institut für Technische Betriebswirtschaft

## Integration von Industrie 4.0 in das Supply Chain Management

**Simon Matuszczyk**  
**Markus G. Schwering**

## ITB-Arbeitsberichte

### **Herausgeber**

Fachhochschule Münster, Institut für Technische Betriebswirtschaft (ITB)

### **Band 7**

Integration von Industrie 4.0 in das Supply Chain Management  
Simon Matuszczyk und Markus G. Schwering

### **Verlag**

Fachhochschule Münster

### **Umschlaggestaltung/Layout**

Diana Jansing, Katharina Urbaniak

### **Druck**

Digital Print Group O. Schimek GmbH  
Neuwieder Straße 17, 90411 Nürnberg

**ISBN** 978-3-938137-99-4

### **Copyright 2018**

Fachhochschule Münster  
University of Applied Sciences

Hüfferstraße 27  
48149 Münster

[verlag@fh-muenster.de](mailto:verlag@fh-muenster.de)

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung des Neudrucks bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers sowie des Verfassers reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

## Inhaltsverzeichnis

Management Summary.....	5
Abbildungsverzeichnis .....	6
Tabellenverzeichnis .....	7
Abkürzungsverzeichnis.....	8
<b>1 Einleitung: Neue Chancen durch Industrie 4.0.....</b>	<b>9</b>
<b>2 Einordnung in den Gesamtkontext: Herleitung und Abgrenzung von Industrie 4.0 .....</b>	<b>11</b>
2.1 Industrielle Entwicklung bis ins 21. Jahrhundert.....	11
2.1.1 Überblick zu den bisherigen industriellen Revolutionen .....	11
2.1.2 Übergang von der dritten industriellen Revolution zum Industrie-4.0-Paradigma .....	12
2.2 Begriffsverständnis von Industrie 4.0 .....	13
2.2.1 Definition von Industrie 4.0 .....	13
2.2.2 Abgrenzung von Industrie 4.0, Digitalisierung und dem Internet der Dinge und Dienste.....	15
2.2.3 Industrie 4.0 im internationalen Kontext.....	17
2.3 Staatliche Strategieprogramme zu Industrie 4.0 in Deutschland	18
2.3.1 Digitale Agenda.....	18
2.3.2 Hightech-Strategie.....	19
2.3.3 Plattform Industrie 4.0 .....	19
<b>3 Potenzialanalyse von Industrie 4.0 im logistischen Kontext.....</b>	<b>21</b>
3.1 Analyse von Studienergebnissen zur Relevanz von Industrie 4.0 in der deutschen Wirtschaft.....	21
3.2 Potenzialfelder von Industrie 4.0 und deren Bedeutung für die Logistik .....	24
3.2.1 Horizontale Integration .....	24
3.2.2 Vertikale Integration .....	25
3.2.3 Integration über Produktlebenszyklus.....	25
3.2.4 Schnittstellen zwischen Mensch und Maschine .....	26

3.2.5	Weiterentwicklung und Standardisierung von Querschnittstechnologien .....	26
3.3	Logistische Anwendungsbeispiele und -potenziale aus der industriellen Praxis .....	27
3.3.1	Analyse von Anwendungsbeispielen und -potenzialen gemäß Plattform Industrie 4.0 .....	27
3.3.2	Resultierende technologische Treiber und Anwendungen von Industrie 4.0 für die Logistik .....	32
3.3.3	Interpretation der Analyseergebnisse zur Relevanz technologischer Treiber und logistischer Zielstellungen .....	35
<b>4</b>	<b>Fazit und Ausblick .....</b>	<b>38</b>
	Literaturverzeichnis .....	40
	Schriftquellen .....	40
	Internetquellen .....	46
	Kurzporträt der Autoren .....	47
	Kontakt .....	48

## Management Summary

Es ist nicht unbegründet zu vermuten, dass „Digitalisierung“ zum Schlagwort dieses Jahrzehnts gekürt werden wird. Kaum ein Tag, an dem nicht die Errungenschaften einer zunehmend digitalisierten Welt entweder gepriesen oder verdammt werden – je nach Perspektive und Intention. Jenseits dieser programmatischen Debatten sind in nahezu allen Wirtschaftsbereichen digitalisierte Prozesse inzwischen weit verbreitet. Teilweise hat die Digitalisierung bereits zu einer völligen Neuordnung von industriellen Wertschöpfungsketten auf Basis moderner Informations- und Kommunikationstechnologien beigetragen.

Hierzulande ist diese Entwicklung politisch induziert schon früh mit dem Label „Industrie 4.0“ belegt worden, das zwar symbolisieren soll, dass wir an der Schwelle zu einem neuen Industriezeitalter stehen, im Kern aber häufig nur das allgemeine Phänomen der Verschmelzung von Internet und physischer Welt beschreibt. Vor allem im Bereich logistischer Prozesse finden sich angesichts des internationalen Wettbewerbs durch die Globalisierung und des stetig größeren Preis- und Innovationsdrucks vielfältige Anwendungsfälle für Industrie 4.0-Anwendungen. Deshalb werden in diesem Arbeitspapier die Potenziale aus Industrie 4.0 konkret auf die Logistik übertragen. Leitfrage der Untersuchung ist, wie die spezifischen Herausforderungen in der Logistik vor diesem Hintergrund (besser als bisher) beherrscht und ggf. weiter optimiert werden können.

Da sich nachhaltiger Logistikerfolg nicht nur durch Maßnahmen zur Steigerung der operativen Exzellenz voraussetzt, sondern gleichermaßen durch langfristiges Denken und Handeln determiniert ist, wird die strategische Weiterentwicklung der Logistikleistung ins Zentrum der Betrachtung gerückt. Die Untersuchungen belegen, dass mit Industrie 4.0 große Potenziale verbunden sind. Ob die schrittweise Umsetzung dieser Potenziale letztlich zu einer Evolution oder Revolution der Industrie führen wird, kann aus heutiger Sicht aber nicht abschließend beantwortet werden.

Festgestellt werden kann indes, dass die Potenziale von Industrie 4.0 nicht isoliert von einzelnen Unternehmen umgesetzt werden können, sondern dass es dazu weiterer Standardisierungen entlang komplexer Wertschöpfungsketten oder sogar ganzer Wirtschaftszweige bedarf. Damit verbunden sind weitere Vereinheitlichungsnotwendigkeiten in Richtung Architektur und Regelwerke für die Kommunikation, bezüglich der Datensicherheit sowie hinsichtlich weiterer rechtlicher Rahmenbedingungen. Schließlich lässt sich auch im Hinblick auf die konkreten Zusammenarbeitsmodelle von Mensch und Maschine ein weitergehender Forschungsbedarf konstatieren, der auch eine ethisch-moralisch Legitimation der Digitalisierungsbestrebungen nicht aus dem Blick verlieren darf.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Digitalisierungsdilemma im Zuge von Industrie 4.0.....	14
Abbildung 2: Struktur der Plattform Industrie 4.0 (Stand 14.11.2016).....	21
Abbildung 3: Bedeutung von Industrie 4.0 für den Wirtschaftsstandort Deutschland ...	22
Abbildung 4: Investitionen in Industrie 4.0 von Industrieunternehmen in Deutschland nach Wertschöpfungsstufen .....	23
Abbildung 5: Technologische Treiber von Industrie 4.0 im logistischen Kontext gemäß Plattform Industrie 4.0 .....	36
Abbildung 6: Unternehmerische Zielstellungen von Industrie 4.0 im logistischen Kontext gemäß Plattform Industrie 4.0 .....	37



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Analyseergebnisse der logistischen Benchmark-Beispiele der Plattform Industrie 4.0 .....	31
--	----

## Abkürzungsverzeichnis

BDI	Bundesverband der Deutschen Industrie
BITKOM	Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMI	Bundesministerium des Inneren
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
CPS	Cyber-physische Systeme
DV	Datenverarbeitung
ERP	Enterprise-Resource-Planning
FTF	Fahrerlose Transportfahrzeuge
FTS	Fahrerloses Transportsystem
IIC	Industrial Internet Consortium
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
IoT	Internet of Things/Internet der Dinge
MES	Manufacturing Execution System
NIST	National Institute for Standards and Technology
PbL	Pick-by-Light
PbV	Pick-by-Vision
PDCA	Plan-do-check-act
PwC	PricewaterhouseCoopers
R&D	Research and Development (Forschung und Entwicklung)
RFID	Radio Frequency Identification
VDA	Verband der Automobilindustrie
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie

## 1 Einleitung: Neue Chancen durch Industrie 4.0

Vielerorts prognostizieren Experten, dass eine neue Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten industriellen Wertschöpfungskette auf Basis moderner Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) erreicht werden kann. Gemeinhin hat sich daher flächendeckend der Begriff „Industrie 4.0“ durchgesetzt, der makroperspektivisch gesehen die allgemeine Verschmelzung von Internet und physischer Welt beschreibt. Der Zusatz „4.0“ verkörpert die Zuversicht, dass durch die Potenziale dieser Verschmelzung die vierte industrielle Revolution ausgelöst wird.<sup>1</sup> Nicht zuletzt deshalb ist Industrie 4.0 fester Bestandteil von bundespolitischen Programmen (*neue Hightech-Strategie* sowie *Digitale Agenda 2014-2017*).

Die Erwartungen, die mit zunehmendem Einsatz von Industrie 4.0 einhergehen, sind einerseits durch vielfältige qualitative Ziele wie erhöhte Flexibilität, Reduzierung von Vor- bzw. Durchlaufzeiten, weitergehende Anpassungen an die Kunden oder neuartige Dienstleistungsangebote geprägt.<sup>2</sup> Andererseits bauen sie in hohem Maße auf quantitativen Zielen, sowohl Kosteneinsparungen als auch Umsatzverbesserungen, auf. Prognostiziert werden alleine für deutsche Unternehmen im Zeitraum zwischen 2014 und 2019 bis zu 14 Prozent Kostensenkungen sowie bis zu 13 Prozent Umsatzsteigerungen im direkten Zusammenhang mit der Anwendung von Industrie 4.0. Diese wird gemäß Expertenschätzungen in den Folgejahren mit annähernd 40 Milliarden Euro jährlich vorangetrieben.<sup>3</sup> Die Zahlen unterstreichen die wirtschaftliche und damit politische und gesellschaftliche Bedeutung von Industrie 4.0. Aus dieser Tatsache heraus ergibt sich der Bedarf, Industrie 4.0 fest in der strategischen Ausrichtung von Unternehmen zu verankern. Die Umsetzung von Innovationspotenzialen in Unternehmen erfordert dabei zwangsläufig ein systematisches Management von Innovationen.<sup>4</sup>

Gerade in der Logistik stehen dem Innovationsmanagement herausfordernde Rahmenbedingungen gegenüber. Vor dem Hintergrund des internationalen Wettbewerbs via Globalisierung und damit einhergehend eines stetig größeren Preis- und Innovationsdrucks entscheidet in Industriestaaten die Generierung von Wettbewerbsvorteilen über den Unternehmenserfolg. Insbesondere in Deutschland mit seinen tendenziell im Wettbewerbsvergleich erhöhten Lohnkosten ist es von herausragender Bedeutung, besondere Prozessbeherrschung und hohe Logistikleistungen gegenüber dem Wettbewerb aufzuweisen.<sup>5</sup> Diese Prozessbeherrschung in der globalisierten Weltwirtschaft

---

<sup>1</sup> Vgl. Fraunhofer Institut (2014), S. 5.

<sup>2</sup> Vgl. Heng (2014), S. 7f.

<sup>3</sup> Vgl. PwC (2014), S. 17, 22, 30.

<sup>4</sup> Vgl. Vahs; Brem (2015), S. 2ff.

<sup>5</sup> Vgl. Schuh; Schmidt (2014), S. 2.

impliziert die zentrale Forderung einer durchgehend flexiblen Ausrichtung an den Kunden.<sup>6</sup> Deshalb sollen im Kontext des Innovationsmanagements Potenziale aus Industrie 4.0 konkret auf die Logistik übertragen werden. Aus der Bedeutung der Logistikleistung für den Unternehmenserfolg resultiert zwangsläufig die Fragestellung, wie die spezifischen Herausforderungen in der Logistik beherrscht und optimiert werden können. Da sich langfristiger Logistikerfolg nicht nur durch Maßnahmen im operativen Geschäft, sondern gleichermaßen anhand strategischen Denkens und Handelns ergibt, ist die strategische Weiterentwicklung der Logistikleistung zentraler Betrachtungsgegenstand dieses Beitrags.<sup>7</sup>

Chancen und Risiken, sowohl Investitionsbedarfe als auch Kosteneinspar- bzw. Umsatzpotenziale sowie der Umfang der zu erwartenden Veränderungen machen Industrie 4.0 aus heutiger Sicht zu einem zentralen Thema der Strategieentwicklung. Zieht man in Betracht, dass Unternehmen im Rahmen einer Studie von PricewaterhouseCoopers (PwC) den größten qualitativen Vorteil von Anwendungen aus Industrie 4.0 in der besseren Planung und Steuerung von Produktion und Logistik sehen, zeigt sich umso mehr das logistische Anwendungspotenzial von Industrie 4.0.<sup>8</sup>

Vor dem Hintergrund der prognostizierten industriellen Revolution durch Industrie 4.0 wird hergeleitet, welche Potenziale und damit verknüpfte Veränderungen im logistischen Kontext aufgrund von Industrie 4.0 zu erwarten sind. Folgerichtig wird die unerlässliche strategische Einbettung des vielschichtigen Themenkomplexes ‚Industrie 4.0‘ beleuchtet.<sup>9</sup> Die vorausschauende Auseinandersetzung mit potenzialbasierten Innovationen von Industrie 4.0 orientiert sich an definierten Phasen des Frühaufklärungsprozesses im Innovationsmanagement.<sup>10</sup> Der Aufbau umfasst in Bezug auf Industrie 4.0 sowohl die Informationsbeschaffung als auch die Issue-Diagnose, die als tiefere inhaltliche Auseinandersetzung bis hin zur Auswahl strategischer Themen zu verstehen ist. Aufbauend auf diese Arbeit ergibt sich der Bedarf einer konkreten Strategieentwicklung.<sup>11</sup> Die hohe strategische Ebene impliziert, dass vielseitig diskutierte operative Umsetzungsthemen von Industrie 4.0, wie beispielsweise die technische Standardisierung oder die Implementierung zusätzlicher Sicherheitsanforderungen, nachfolgend nicht Betrachtungsgegenstand sind.

---

<sup>6</sup> Vgl. Gerberich (2011), S. 17.

<sup>7</sup> Vgl. Jehle (1993), S. 194.

<sup>8</sup> Vgl. PwC (2014), S. 7 sowie S. 23.

<sup>9</sup> Vgl. Gassmann; Wecht (2013), S. 25f.

<sup>10</sup> Vgl. zum Ansatz der potenzialorientierten Innovation grundlegend Pfeiffer; Weiß; Volz; Wettengl (1997).

<sup>11</sup> Vgl. Liebl (2000), S. 71ff.

## 2 Einordnung in den Gesamtkontext: Herleitung und Abgrenzung von Industrie 4.0

Dieses Kapitel gibt einen umfassenden Überblick zur technologischen und begrifflichen Entwicklung von Industrie 4.0, indem Inhalte, Schlüsselbausteine und -technologien definiert sowie die strategischen Förderprogramme in Deutschland dargelegt werden.

### 2.1 Industrielle Entwicklung bis ins 21. Jahrhundert

Wird im Zuge von Industrie 4.0 gemeinhin unter „4.0“ die vierte industrielle Revolution verstanden, so sollen an dieser Stelle in kompakter Form die bisherigen historischen Revolutionsstufen der Industrie zusammengefasst werden, um von der dritten Revolution auf das Industrie-4.0-Paradigma überleiten zu können.

#### 2.1.1 Überblick zu den bisherigen industriellen Revolutionen

Die erste industrielle Revolution, beginnend ab Mitte der 18. Jahrhunderts, basierte auf der Erfindung und Entwicklung von Kraftmaschinen, im Besonderen der Dampfmaschine. Mit ihnen konnten nicht nur erhebliche Produktivitätssteigerungen bzw. eine fortschreitende Industrialisierung erreicht werden, sondern insbesondere das Transportsystem, in Form der Eisenbahn, revolutioniert werden. Dies waren die Grundlagen dafür, dass in der Folge dem rapiden Bevölkerungswachstum und der Urbanisierung standgehalten werden konnte.<sup>12</sup>

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts startete die zweite industrielle Revolution, aus deren arbeitsteiliger Massenproduktion eine erhöhte Wohlstandsnachfrage generiert wurde. Basis dieser Revolution war die permanente Verfügbarkeit elektrischer Energie. Durch sie erhielt die industrielle Massenproduktion, gepaart mit den organisationsbezogenen Revolutionen in puncto Fließbandarbeit, Arbeitsteilung und Betriebsführung nach Ford und Taylor, Einzug in zahlreiche Branchen. Nicht zuletzt entwickelte sich auf dieser Grundlage die Automobilindustrie, was abermals neue Maßstäbe in Bezug auf die Mobilität der Gesellschaft setzte.<sup>13</sup>

Die Globalisierung von Gesellschaft und Industrie begann jedoch erst im letzten Drittel des 20. Jahrhunderts während der dritten industriellen Revolution, als zusätzlich zum mehrfach revolutionierten Personen- und Güterverkehr die Informationsverbreitung und -verarbeitung bis dato unbekannte Züge annahm. Dies wird im Wesentlichen auf die Entwicklungen in der IT und Elektronik zurückgeführt. Im Rahmen zunehmenden glo-

---

<sup>12</sup> Vgl. Conway (2009), S. 175f.

<sup>13</sup> Vgl. Bauernhansl (2017), S. 1f.

balen Wettbewerbs und variantenreicher Serienproduktion mittels neuer mechatronischer Systeme wurde die Industrie abermals revolutioniert.<sup>14</sup>

### 2.1.2 Übergang von der dritten industriellen Revolution zum Industrie-4.0-Paradigma

Diese Entwicklungen hielten, insbesondere in der IT, über die dritte Revolution hinaus beständig an. So sprach die Wissenschaft schon vor dem Wechsel ins 21. Jahrhundert von tiefgreifenden Veränderungen in industriellen Wertschöpfungsketten durch den Einsatz moderner IKT. Der Paradigmenwechsel, basierend auf immer leistungsstärkerer IT-Hard- und Software sowie dem Durchbruch des Internets, wurde jedoch noch in erster Linie auf den Informationsaspekt bezogen. Mithilfe der Nutzung und Organisation von Informationsressourcen stand die Integration der vor-, nach- und übergelagerten Prozesse in eine ganzheitliche Wertschöpfungskette im Vordergrund des Informationsmanagements.<sup>15</sup>

Aus industrieller Sicht fügt das Internet der Dinge (Internet of Things, IoT), die Vernetzung und Kommunikation von Dingen untereinander, diesen Entwicklungen im Informationsmanagement eine vollkommen neue Dimension zu. War das Management der Supply Chain in den einzelnen Prozessen zuvor noch klar von den Stufen Informationsinput, -verarbeitung und -output geprägt, können fortan Informationen von Dingen selbst getragen und Rückmeldungen zur Echtzeitsteuerung von Prozessen genutzt werden.<sup>16</sup> Die industrielle Implementierung neuer IKT in Kombination mit neuartigen IoT-Ansätzen und seinen wegbereitenden Techniken (siehe Kapitel 2.2.2) lässt fortan einen abermaligen Paradigmenwechsel in Form von komplexeren Produkten und Prozessen sowie neuen Geschäftsmodellen erwarten.<sup>17</sup> Diese Erwartung wird in Deutschland unter dem Begriff „Industrie 4.0“ zusammengefasst, der seinen Ursprung auf der Hannover Messe 2011 findet, als er erstmals veröffentlicht wurde.<sup>18</sup>

Der zentrale Unterschied zwischen den bisherigen industriellen Revolutionen und der potenziell vierten durch Industrie 4.0 liegt primär in der historischen Tatsache, dass in der Vergangenheit bahnbrechende Erfindungen die Revolutionen auslösten. Die vierte Revolution wird dagegen im Voraus prognostiziert und begründet sich somit nicht auf einer unvorhergesehenen Erfindung.<sup>19</sup> Vielmehr verkörpert sie die Erwartung und Option, die revolutionären Entwicklungen mitzugestalten.<sup>20</sup>

---

<sup>14</sup> Vgl. ebd., S. 2ff.

<sup>15</sup> Vgl. Nagel; Erben; Piller (1999), S. 5ff.

<sup>16</sup> Vgl. Kaufmann (2015), S. 5.

<sup>17</sup> Vgl. Bauernhansl (2017), S. 29.

<sup>18</sup> Vgl. Michels (2016), S. 246.

<sup>19</sup> Vgl. Hompel; Kerner (2015), S. 182.

<sup>20</sup> Vgl. Siepmann (2016), S. 19.

## 2.2 Begriffsverständnis von Industrie 4.0

Auf Basis der einleitenden Beschreibungen zum Industrie 4.0-Paradigma soll in diesem Kapitel zunächst das konkrete Begriffsverständnis von Industrie 4.0 und die Abgrenzung gegenüber verwandten Begriffen für den Rahmen dieser Arbeit deutlich definiert werden.

### 2.2.1 Definition von Industrie 4.0

In der einschlägigen, aber aufgrund des neuartigen Themas recht jungen Fachliteratur herrscht ein Diskurs darüber, ob sich für den Begriff „Industrie 4.0“ bereits eine weitestgehend anerkannte Definition durchgesetzt hat. Neuste Werke wie die von Huber oder Sandler greifen jedoch verstärkt auf die Definition zurück, die von der Plattform Industrie 4.0 (siehe Kapitel 2.3.3) geprägt wurde.<sup>21</sup> Sie definiert „Industrie 4.0“ wie folgt: *„Der Begriff Industrie 4.0 steht für die vierte industrielle Revolution, einer neuen Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten. [...] Basis ist die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit durch Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen sowie die Fähigkeit [sic] aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten“*<sup>22</sup>.

Während die Entwicklung zur vierten industriellen Revolution bereits erörtert ist (siehe Kapitel 2.1.2), sind bezüglich dieser Definition sowohl die inhaltlichen Erwartungen an jene Revolution als auch der Geltungsbereich sowie die technische Basis von besonderer Relevanz. Mit der industriellen Revolution wird die klare Forderung verbunden, eine neue Organisations- und Steuerungsstufe zu erreichen. Im erweiterten Sinne kann diese Forderung ihre Begründung in der Innovationsmatrix nach Pfeiffer finden: Nur, wenn neue Technik tatsächlich neu angewendet wird, kann von einer lateralen Innovation gesprochen werden.<sup>23</sup> Hier wiederum setzt Wehinger an, indem er den Revolutionsanspruch von Industrie 4.0 mit dem Einsatz entsprechender Technik in neuen Geschäftsmodellen oder gemäß Definition der Plattform Industrie 4.0 in neuen Organisations- und Steuerungsstufen verknüpft (siehe Abbildung 1).

---

<sup>21</sup> Vgl. Huber (2016), S. 7; Sandler (2016), S. 17.

<sup>22</sup> BITKOM; VDMA; ZVEI (2015), S. 8.

<sup>23</sup> Vgl. Pfeiffer; Weiß; Volz; Wettengl (1997), S. 14.

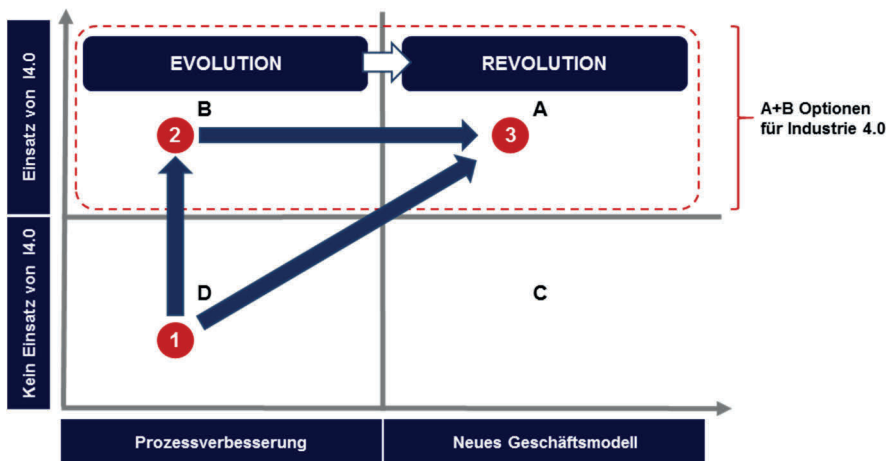


Abbildung 1: Digitalisierungsdilemma im Zuge von Industrie 4.0<sup>24</sup>

Im Hinblick auf vorherrschende Diskussionen, ob Industrie 4.0 lediglich eine Evolutions- oder doch eine Revolutionsentwicklung darstelle, gibt Obermaier gleichzeitig zu bedenken, dass nicht vorausschauend, sondern nur zurückblickend belegt werden könne, ob der Einsatz neuer Technik eine Evolution oder Revolution auslöste.<sup>25</sup> Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass nur aufgrund des Revolutionsgedankens aus heutiger Sicht kein Ausschluss potenziell neuer Techniken von Industrie 4.0 erfolgen kann und darf. In Bezug auf die dargelegte Definition der Plattform Industrie 4.0 sind vielmehr alle Techniken zu betrachten, die das Potenzial besitzen, mittels Vernetzung (Echtzeit-)Informationen in der Wertschöpfungskette verfügbar zu machen und/oder jederzeit die Ableitung eines optimalen Wertschöpfungsflusses zu ermöglichen. Diese weit gefasste Eingrenzung findet insofern eine weitere Einschränkung, als dass ein konkreter Produktbezug zur Wertschöpfungskette hergestellt wird. Allerdings ist zu beachten, dass dieser Bezug auf den gesamten Produktlebenszyklus zu referenzieren ist.

Wichtig ist daher, Industrie 4.0 tatsächlich in direkten Zusammenhang mit der gesamten Wertschöpfungskette zu bringen. Diese besteht aus unterschiedlichsten Prozessen und Instanzen: von der Forschung und Entwicklung bis zum Gebrauch durch den Kunden und zum Recycling oder zur Entsorgung des Produkts. Industrie 4.0 darf folglich nicht nur auf die Produktion zentralisiert werden, sondern muss als eine Bewegung verstanden werden, die die gesamte Industrie und all ihre Prozesse einschließt. Vollzogen sich infolge von Industrie 4.0 radikale Veränderungen in diesem Umfeld, führte

<sup>24</sup> Wehinger (2016), S. 427.

<sup>25</sup> Vgl. Obermaier (2016), S. 4.



dies letztlich zu durchgreifenden Folgen für die Gesellschaft, was wiederum den Revolutionsansatz von Industrie 4.0 belegte.<sup>26</sup>

Während die gesellschaftlichen Veränderungen nach heutigem Stand noch nicht beziffert werden können, nennt Roth vier zentrale Forderungen an die industriellen Revolutionsergebnisse durch Industrie 4.0:

- verstärkte Produktindividualisierung,
- eine hochflexible und -effiziente Produktion,
- Integration von Kunden und Geschäftspartnern in den Wertschöpfungsprozess sowie
- hybride Leistungsbündel als Verschmelzung von Sach- mit hochwertigen Dienstleistungen.<sup>27</sup>

Generell wird der Logistik für den Markterfolg von Industrieunternehmen eine hohe Bedeutung zugeschrieben.<sup>28</sup> Folgerichtig können die angestrebten Ziele von Industrie 4.0 nicht ohne erfolgreiche Veränderungen in der Logistik, gerade im Hinblick auf neue Stufen der Komplexität, erreicht werden. Daher findet in der Literatur in Anlehnung an „Industrie 4.0“ oftmals der Begriff „Logistik 4.0“ Anwendung, um technologische Neuanwendungen explizit in der Logistik zu beschreiben.<sup>29</sup> Da die Logistik ein fester Bestandteil von Industrieunternehmen und deren Wertschöpfungsketten ist, wird nachfolgend Logistik 4.0 als unverzichtbares Element von Industrie 4.0 verstanden und fortan nicht separat abgegrenzt, solange die Inhalte den dargelegten Definitionsansprüchen von Industrie 4.0 genügen.

### 2.2.2 Abgrenzung von Industrie 4.0, Digitalisierung und dem Internet der Dinge und Dienste

Zuallererst soll aufgrund der großen inhaltlichen Nähe der Begriffe Industrie 4.0 vom IoT abgegrenzt werden. „IoT“ ist ein Begriff, der bereits um die Jahrtausendwende im Zuge der ersten industriellen Anwendungen von Radio Frequency Identification (RFID) und damit weit vor „Industrie 4.0“ publiziert wurde. Dies erklärt gleichzeitig den Zusammenhang der beiden Paradigmen, die trotz inhaltlicher Kongruenzen nicht als Synonyme zu verstehen sind. Vielmehr sind die Technologien und Ideen des IoT eine unverzichtbare Basis für Industrie 4.0. Die vielfach diskutierte Frage, ob in diesem Kontext Industrie 4.0 als Bestandteil von IoT zu verstehen sei oder ein umgekehrter Bezie-

---

<sup>26</sup> Vgl. Sendler (2016), S. 18ff.

<sup>27</sup> Vgl. Roth (2016), S. 5f.

<sup>28</sup> Vgl. Walter (2003), S. 3.

<sup>29</sup> Vgl. Hompel; Kerner (2015), S. 176.

hungszusammenhang bestehe, soll bei ausreichender inhaltlicher Begriffsabgrenzung für diese Arbeit nicht relevant sein.<sup>30</sup>

Zur Abgrenzung definieren Rayes und Salam "IoT" wie folgt: „IoT is the network of things, with clear element identification, embedded with software intelligence, sensors, and ubiquitous connectivity to the Internet“<sup>31</sup>. Es kristallisieren sich drei Kernelemente von IoT heraus: die Dinge, das Internet und die Daten, die in der Verbindung aller Elemente das IoT ergeben. Für diese Verbindung bzw. die Kommunikation aller Dinge untereinander sind Schlüsseltechnologien notwendig, die im Wesentlichen durch Sensoren, Software und Internetkonnektivität gebildet werden.<sup>32</sup> Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Industrie 4.0 auf einer übergeordneten Ebene durch Vernetzung Veränderungen in der Steuerung und Organisation der gesamten Wertschöpfungskette beschreibt, während das IoT die technische Basis für diese Vernetzung bereitstellt. Das IoT umfasst die Vernetzung von milliardenfachen Gegenständen, prognostiziert sind bis 2020 schon über 100 Milliarden Dingen, und erhebt somit im Gegensatz zu Industrie 4.0 keinen Anspruch auf eine direkte industrielle respektive wirtschaftliche Zweckausrichtung.<sup>33</sup>

Als weiterer Schlüsselbaustein für Industrie 4.0 gilt das Internet der Dienste. Vom Internet der Dienste ist dann die Rede, wenn sich aus der Vernetzung von Objekten durch das IoT neue internetbasierte Dienstleistungen ergeben. In Bezug auf die Revolutionierung durch Industrie 4.0 bietet das Internet der Dienste eine attraktive Plattform, mittels zunehmender Verschmelzung von realer und virtueller Welt in Form von neuen Produkten in neuen Geschäftsmodellen laterale Innovationen voranzutreiben.<sup>34</sup>

Die reine Verschmelzung von physischen und virtuellen Elementen wird indes unter dem Schlagwort „Digitalisierung“ zusammengefasst, die grundsätzlich „für die umfassende Vernetzung aller Bereiche von Wirtschaft und Gesellschaft sowie die Fähigkeit, relevante Informationen zu sammeln, zu analysieren und in Handlungen umzusetzen“<sup>35</sup> steht. Die Digitalisierung soll im Rahmen dieses Artikels daher als Oberbegriff verstanden werden, der die stetig wachsende Bedeutung der Vernetzung der Informations- und Kommunikationswege im privaten und wirtschaftlichen Bereich beschreibt.<sup>36</sup> Damit sind sowohl das IoT als auch das Internet der Dienste sowie Industrie 4.0 konkrete Bestandteile der fortschreitenden Digitalisierung. Digitalisierungspotenziale, die folglich

---

<sup>30</sup> Vgl. Hoppe (2015), S. 268f.

<sup>31</sup> Rayes; Salam (2017), S. 2.

<sup>32</sup> Vgl. Rayes; Salam (2017), S. 2ff.

<sup>33</sup> Vgl. Andelfinger; Hänisch (2015), S. 9.

<sup>34</sup> Vgl. Brühl (2015), S. 61 sowie S. 64f.

<sup>35</sup> BMWi (2015a), S. 3.

<sup>36</sup> Vgl. Brühl (2015), S. 14.

der Zweckdefinition von Industrie 4.0 genügen, sind daher ebenso für die Erarbeitung von Logistikpotenzialen zu berücksichtigen.

### 2.2.3 Industrie 4.0 im internationalen Kontext

Auch wenn es sich bei „Industrie 4.0“ um einen explizit in Deutschland geprägten Begriff handelt, der mit der Hightech-Strategie der Bundesregierung auf der Hannover Messe eingeführt wurde, soll er in diesem Kapitel in den internationalen Kontext eingeordnet werden.<sup>37</sup> Die revolutionären Entwicklungen, die mit dem Schlagwort „Industrie 4.0“ umschrieben werden, haben andere Wirtschaftsregionen ebenso aufgegriffen. Einerseits existieren internationale Konsortien wie das in den USA gegründete Industrial Internet Consortium (IIC), das zum Zeitpunkt dieser Arbeit bereits fast 300 Mitglieder, darunter zahlreiche Großkonzerne, zählt.<sup>38</sup> Hier einigte man sich Anfang 2016 auf eine projektübergreifende Zusammenarbeit mit der Plattform Industrie 4.0 (siehe Kapitel 2.3.3), um insbesondere bei der Standardisierung die Interoperabilität zu wahren. In Abgrenzung stellt sich das IIC als bereichsübergreifende Bewegung über verschiedene Sektoren wie Energie- oder Gesundheitswesen dar, während Industrie 4.0 die zukünftige industrielle Wertschöpfungskette modelliert.<sup>39</sup>

Andererseits gibt es zahlreiche weitere staatlich gelenkte Projekte. So war die deutsche Initiative für viele europäische Partner Anlass, einen expliziten Bezug zu Industrie 4.0 herzustellen. Beispielhaft sei hier die französische *Alliance Industrie du Futur* erwähnt, mit der die deutsche Plattform Industrie 4.0 ebenfalls kooperiert.<sup>40</sup> Auch interkontinental gibt es Berührungspunkte mit anderen staatlichen Programmen, etwa mit Chinas Initiative *Made in China 2025*, die das Ziel verfolgt, in China eine intelligente Industrie zu etablieren. Zwar sind in diesem Fall viele strategische Ziele mit Industrie 4.0 vergleichbar, die unterschiedlichen Ausgangslagen beider Länder führen jedoch dazu, dass im Detail abweichende Themenschwerpunkte gesetzt werden.<sup>41</sup>

Zusammenfassend ist die Begrifflichkeit „Industrie 4.0“ zwar ursprünglich dem deutschen Raum zuzuweisen, das Paradigma allerdings, das sich hinter der deutschen Initiative verbirgt, findet in unterschiedlichen Ausprägungen weltweite Beachtung. Durch die frühzeitige Etablierung der deutschen Namensgebung ist es partiell sogar in einigen Ländern gelungen, „Industrie 4.0“ als internationalen Begriff zu implementieren. Der deutschen Bewegung kann folglich zusammen mit der amerikanischen Bewegung

---

<sup>37</sup> Vgl. BMBF (2016): <https://www.bmbf.de> (Stand 12.11.16).

<sup>38</sup> Vgl. Manzei (2016a), S. 11.

<sup>39</sup> Vgl. BMBF; BMWi (2016a): <https://www.plattform-i40.de> (Stand: 22.11.16).

<sup>40</sup> Vgl. Sendler (2016), S. 68ff.

<sup>41</sup> Vgl. Shubin; Zhi (2016), S. 102ff.

IIC durchaus eine führende Rolle in der Mitgestaltung der vierten industriellen Revolution zugesprochen werden.<sup>42</sup>

## 2.3 Staatliche Strategieprogramme zu Industrie 4.0 in Deutschland

Nachfolgend wird die strategische Relevanz anhand von nationalen Projekten in Deutschland dargelegt, um auf den Status quo von Industrie 4.0 in der deutschen Wirtschaft respektive in der Logistik überzuleiten.

### 2.3.1 Digitale Agenda

Die digitale Agenda 2014-2017 ist ein Projekt der deutschen Bundesregierung, das sich inhaltlich mit drei zentralen Themen beschäftigt<sup>43</sup>:

- Wachstum und Beschäftigung durch Digitalisierung und Vernetzung fördern,
- Zugang zu und Teilhabe an digitalen Technologien durch leistungsstarkes Internet ermöglichen sowie
- Vertrauen und Sicherheit durch Standardisierung und Verschlüsselung aufbauen.

Industrie 4.0 findet in diesem Kontext unter dem Punkt Digitalisierung explizite Erwähnung. Unter Digitalisierung werden aber ebenso die Begriffe „Big Data“, „Smart Data“ und „Smart Services“ genannt. Der Zusammenhang zwischen den Begrifflichkeiten wird hergestellt, indem die Sammlung von immer mehr Daten (Big Data) als Basis dargestellt wird, um sie intelligent miteinander zu verknüpfen (Smart Data) und letztlich neue Dienstleistungen (Smart Services) und Produkte hervorzurufen.<sup>44</sup> Daraus erwächst im Rahmen der digitalen Agenda die These, dass Big Data große Potenziale für die Anwendung von Industrie 4.0 bietet.<sup>45</sup> Dementsprechend werden Big Data und die resultierende intelligente Anwendung (Smart Data, Services, Products) in den weiteren Analysen berücksichtigt.

Auch in der digitalen Agenda wird die Definitionsauffassung gestützt, dass sich der Fokus von Industrie 4.0 nicht nur auf die Produktion, sondern im gleichen Maße auf die Logistik richtet. Im Zuge der Veränderungen in diesen Bereichen wird mit Industrie 4.0 die Erwartung verknüpft, dauerhaftes Wachstum, anhaltend hohe Beschäftigung und signifikante Produktivitätssteigerungen zu erreichen.<sup>46</sup> Die Ziele sollen durch das *Zukunftsprojekt Industrie 4.0* erreicht werden, das wiederum expliziter Teil der High-tech-Strategie der deutschen Bundesregierung ist.

---

<sup>42</sup> Vgl. Sandler (2016), S. 10f.

<sup>43</sup> Vgl. BMWi; BMI; BMVI (2014), S. 3f.

<sup>44</sup> Vgl. ebd., S. 13.

<sup>45</sup> Vgl. BMWi et al. (2014), S. 29.

<sup>46</sup> Vgl. ebd., S. 2ff.

### 2.3.2 Hightech-Strategie

Bereits 2006 formulierte die damalige deutsche Bundesregierung erstmals eine Hightech-Strategie für Deutschland, in der nationale Ziele in 17 erfolgskritischen Technologiefeldern der Zukunft definiert wurden. Seither wurde die Hightech-Strategie bis zur heutigen Form weiterentwickelt und trägt nun den Titel *die neue Hightech-Strategie*.<sup>47</sup> Als Ziel wird generell titulierte, „Deutschland auf dem Weg zum weltweiten Innovationsführer voranzubringen“<sup>48</sup>.

Die im Jahr 2010 proklamierte *Hightech-Strategie 2020* fokussierte sich im Wesentlichen auf die fünf Bedarfswfelder Klima und Energie, Gesundheit und Ernährung, Mobilität, Sicherheit und Kommunikation sowie dessen Schlüsseltechnologien und Rahmenbedingungen<sup>49</sup>. Als Weiterentwicklung folgte im Jahr 2014 die *neue Hightech-Strategie*, die die Strategie um soziale Innovationsaspekte erweiterte. Im Detail sind folgende Kernelemente Teil der strategischen Neuausrichtung: prioritäre Zukunftsaufgabe für Wertschöpfung und Lebensqualität, Vernetzung und Transfer, Innovationsdynamik in der Wirtschaft, innovationsfreundliche Rahmenbedingungen sowie Transparenz und Partizipation.<sup>50</sup>

Der Stellenwert von Industrie 4.0 wird dadurch unterstrichen, dass sie einerseits als eines der zentralen Aktionsfelder für die digitale Wirtschaft und Gesellschaft in Bezug auf Wertschöpfung und Lebensqualität, andererseits als Schlüsseltechnologie für die Innovationsdynamik der deutschen Wirtschaft explizit Erwähnung findet.<sup>51</sup> Folglich fällt auf, dass sowohl gesellschaftliche als auch wirtschaftliche Interessen gewahrt und verfolgt werden sollen.

Um eine entsprechende Umsetzung in der Praxis gewährleisten zu können, ist das *Zukunftsprojekt Industrie 4.0* eines der zehn Zukunftsprojekte der letzten Legislaturperiode gewesen, das die Bundesregierung über die Hightech-Strategie aktiv verfolgte.<sup>52</sup> Dies mündete in der zentralen Plattform für Industrie 4.0, die die inhaltliche Basis für die Darstellung der praktischen Umsetzungen von Industrie 4.0 in Deutschland sein soll.

### 2.3.3 Plattform Industrie 4.0

Die Plattform Industrie 4.0 wurde ursprünglich von drei bedeutenden deutschen Verbänden gegründet und auf der Hannover Messe 2013 vorgestellt. Als Gründer fungier-

---

<sup>47</sup> Vgl. Brühl (2015), S. 214.

<sup>48</sup> BMBF (2014), S. 3.

<sup>49</sup> Vgl. BMBF (2010), S. 5.

<sup>50</sup> Vgl. BMBF (2014), S. 4.

<sup>51</sup> Vgl. ebd., S. 16 sowie S. 32.

<sup>52</sup> Vgl. ebd., S. 50.

ten der Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien (BITKOM), der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) sowie der Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI). Wiederum auf der Hannover Messe erfolgte im Jahr 2015 die offizielle Übernahme der Plattform durch die deutsche Bundesregierung, die gleichzeitig erhebliche Erweiterungen mit sich zog.<sup>53</sup>

Die hohe wissenschaftliche, wirtschaftliche und politische Relevanz der Plattform spiegelt sich in der gestiegenen Anzahl der vertretenen Verbände und Institutionen, dem Mitwirken der IG Metall als größte Einzelgewerkschaft Deutschlands und der Leitung durch die derzeitigen Bundesministerien für Wirtschaft und Energie (BMWi) sowie für Bildung und Forschung (BMBF) wider (siehe Abbildung 2). Die ressortübergreifende Zusammenarbeit soll ermöglichen, ein einheitliches Verständnis von Industrie 4.0 zu gewährleisten, Rahmenbedingungen für dessen Integration in deutschen Unternehmen zu schaffen und zentrale Handlungsempfehlungen für die deutsche Wirtschaft abzuleiten.

Auf Basis der erarbeiteten Inhalte der genannten Arbeitsgruppen soll die Plattform sowohl als zentrale nationale Anlaufstelle rund um die Implementierung von Industrie 4.0 als auch als internationale Schnittstelle gegenüber ähnlichen ausländischen Initiativen fungieren. Durch die Bündelung der nationalen Aktivitäten, die zum Stand des Artikels zur Dokumentation von über 200 konkreten Anwendungen geführt hat, wird im Gesamten beabsichtigt, die breite Einführung von Industrie 4.0 in Deutschland zu forcieren.<sup>54</sup> Somit weisen die Ergebnisse der Plattform für diese Arbeit eine entsprechende Relevanz aus, um gegenwärtige und zukünftige Potenziale zu erarbeiten.

---

<sup>53</sup> Vgl. Sandler (2016), S. 53ff.

<sup>54</sup> Vgl. Banthien; Senff (2016), S. 136f.

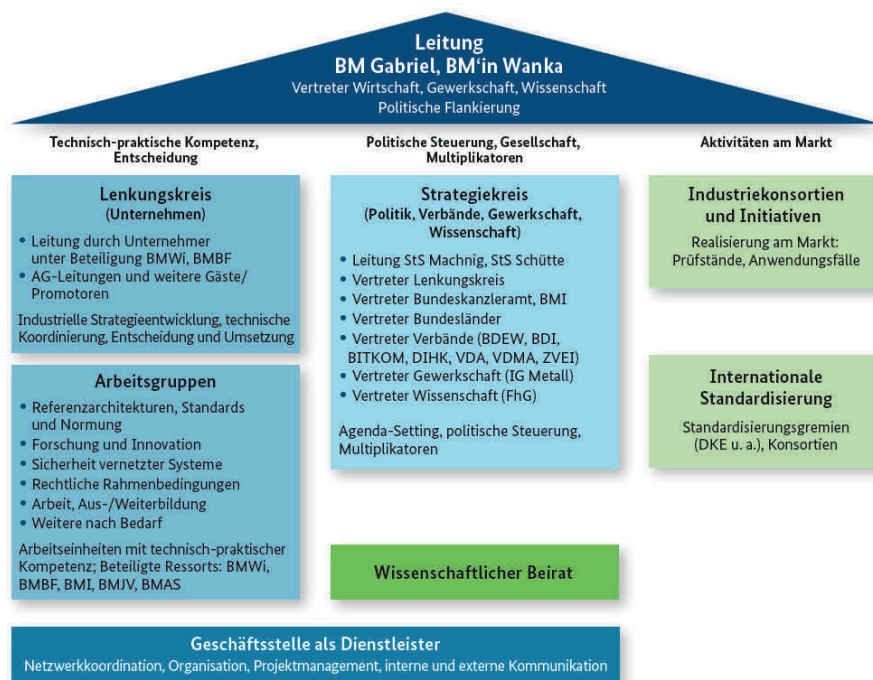


Abbildung 2: Struktur der Plattform Industrie 4.0<sup>55</sup> (Stand 14.11.2016)

### 3 Potenzialanalyse von Industrie 4.0 im logistischen Kontext

Ziel dieses Kapitels ist die Erarbeitung der logistischen Potenziale von Industrie 4.0. Hierzu soll zunächst die strategische Relevanz von Industrie 4.0 mit konkreten Studienergebnissen belegt werden. Der Definitionsumfang von Industrie 4.0 aus Kapitel 2 wird im Folgenden um grundlegende Innovationsfelder und deren logistischen Anwendungsbezug erweitert. Dies bildet den Rahmen, um im logistischen Kontext Praxisbeispiele von Industrie 4.0 im deutschlandweiten Vergleich zu analysieren und konkrete Umsetzungspotenziale von Industrie 4.0 aufzuzeigen.

#### 3.1 Analyse von Studienergebnissen zur Relevanz von Industrie 4.0 in der deutschen Wirtschaft

Aktuelle Studien über den Status quo von Industrie 4.0 in der deutschen Wirtschaft zeichnen ein ambivalentes Bild zur derzeitigen Umsetzungstiefe. So wies 2015 gemäß Analyse des BMWi nicht einmal ein Viertel aller deutschen Unternehmen einen hohen Digitalisierungsgrad in ihren Wertschöpfungsketten auf. Das herausragende Potenzial, das Industrie 4.0 zugerechnet wird, zeigt sich indes in der Prognose, dass sich dieser

<sup>55</sup> BMWi (2016): <https://www.bmwi.de> (Stand 14.11.16).

Wert bis zum Ende dieses Jahrzehnts auf über 80 Prozent erhöhen soll.<sup>56</sup> Diese Tendenz wird letztlich in einer Umfrage von PwC mit über 200 deutschen Industrieunternehmen gestützt. Aus ihr geht hervor, dass die bereits heute als hoch eingestufte Bedeutung von Industrie 4.0 im Fünfjahreshorizont bis Ende dieses Jahrzehnts aus Sicht der Unternehmen nochmals signifikant zunehmen soll (siehe Abbildung 3).

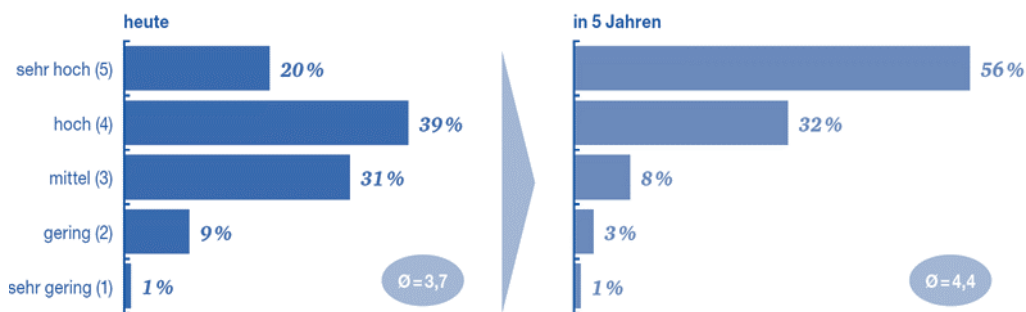


Abbildung 3: Bedeutung von Industrie 4.0 für den Wirtschaftsstandort Deutschland<sup>57</sup>

Die herausragende Bedeutung von Industrie 4.0 für Deutschland wird zusätzlich sichtbar, führt man sich den Anteil der Industrie am Bruttoinlandsprodukt (BIP) vor Augen. Dieser liegt mit einem rund 23-prozentigen Anteil am BIP seit 20 Jahren nahezu unverändert hoch. Verglichen mit dem europäischen Durchschnitt und mit weltweiten Tendenzen wird Deutschland damit eine exponierte Rolle zuteil. So lag der europäische Durchschnitt zuletzt lediglich bei knapp 16 Prozent.<sup>58</sup> Die Schlussfolgerung, dass gravierende volkswirtschaftliche Konsequenzen drohen, sollte Deutschland in Bezug auf Industrie 4.0 oder ähnlichen internationalen Ansätzen den Anschluss verlieren, liegt entsprechend nahe.<sup>59</sup>

Zum Status quo wird deutschen Unternehmen allerdings noch eine führende Rolle in Europa für die Entwicklung industrieller Produktionssysteme sowie bei der Umsetzung von Industrie 4.0 zugerechnet.<sup>60</sup> Als deutsches bzw. europäisches Defizit ist dagegen die Bedeutung der IKT-Industrie im weltweiten Vergleich zu sehen, da die Marktkapitalisierung europäischer Internetfirmen radikal hinter denen von US-amerikanischen oder asiatischen Firmen zurückbleibt.<sup>61</sup>

Zeigt sich die logistische Relevanz von Industrie 4.0 alleine in der Tatsache, dass teils eigene Begrifflichkeiten wie „Logistik 4.0“ (vgl. Kapitel 2.2.1) für die Anwendung von

<sup>56</sup> Vgl. BMWi (2015b), S. 7.

<sup>57</sup> PwC (2014), S. 38.

<sup>58</sup> Vgl. Statistisches Bundesamt (2015): <https://www.destatis.de> (Stand 31.12.16).

<sup>59</sup> Vgl. Roland Berger; BDI (2015), S. 9.

<sup>60</sup> Vgl. BMWi (2015b), S. 28.

<sup>61</sup> Vgl. Roland Berger; BDI (2015), S. 44.



Technologien aus Industrie 4.0 in der Logistik verwendet werden, so stützen Studienergebnisse die Bedeutung zusätzlich. Demnach sind für deutsche Unternehmen Investitionen in Industrie 4.0 direkt in der Supply Chain von höchster Priorität (siehe Abbildung 4).<sup>62</sup>

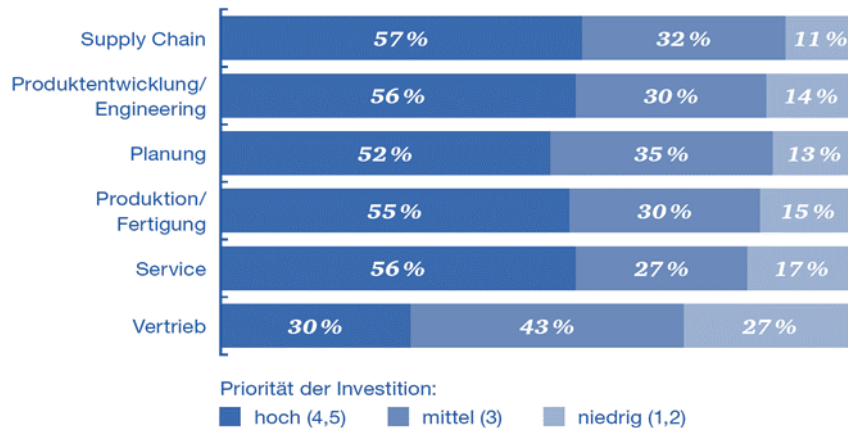


Abbildung 4: Investitionen in Industrie 4.0 von Industrieunternehmen in Deutschland nach Wertschöpfungsstufen<sup>63</sup>

In Bezug auf die zu erwartenden Nutzenpotenziale klassifiziert Bauernhansl sechs Kostenfelder (Bestands-, Fertigungs-, Logistik-, Komplexitäts-, Qualitäts- und Instandhaltungskosten), von denen mit den Bestands- und Logistikkosten zwei Felder direkt der Logistik zuzurechnen sind. Die übrigen Felder, insbesondere die Komplexitätskosten, werden ebenfalls von logistischen Parametern beeinflusst.<sup>64</sup> Die Logistik unterliegt nicht nur durch ihre Querschnittsfunktion als Integrator von Wertschöpfungsketten zu globalen Netzwerken sowohl in der horizontalen als auch in der vertikalen Lieferkettenfunktion starken Komplexitätseinflüssen.<sup>65</sup> Vielmehr steigern Flexibilisierungs- und Optimierungsmaßnahmen in der Produktion die Komplexität in der Logistik ebenso signifikant.<sup>66</sup>

Aus den zuvor genannten Chancen mittels Industrie 4.0 resultieren mehr als zusätzliche Wertschöpfungs- und Einsparpotenziale. Darüber hinaus ist zu beachten, dass im Zuge einer Verdrängung deutscher Unternehmen durch neue oder neu aufgestellte Wettbewerber, die durch Industrie 4.0 ihre Kundenposition in Zukunft deutlicher verbessern können, hohe Einbußen für deutsche Unternehmen in der industriellen Wertschöpfung drohen. Der Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) und Roland

<sup>62</sup> Vgl. PwC (2014), S. 18.

<sup>63</sup> PwC (2014), S. 18.

<sup>64</sup> Vgl. Bauernhansl (2017), S. 27f.

<sup>65</sup> Vgl. Baumgarten (2008), S. 14f.

<sup>66</sup> Vgl. Hompel; Kerner (2015), S. 176.

Berger beziffern dieses Verlustpotenzial auf bis zu 220 Milliarden Euro bis 2025. Die Bedeutung von Industrie 4.0 für die Logistik wird zusätzlich dadurch unterstrichen, dass der größte Anteil an diesem Verlustpotenzial mit 140 Milliarden Euro der Automobil- und Logistikindustrie zugerechnet wird. Abgerundet wird das Negativszenario durch die Prognose, dass der IKT-Anteil an der Bruttowertschöpfung bis 2025 in diesen Branchen um bis zu 18 Prozent steigen wird.<sup>67</sup> Führt man sich den Nachholbedarf deutscher respektive europäischer Unternehmen in der IKT-Branche vor Augen, ergibt sich zusammen mit Chancen und Potenzialen von Industrie 4.0 der dringende Bedarf, gerade in der Automobil- und Logistikindustrie die strategische Verankerung von Industrie 4.0 in den Unternehmen voranzutreiben.

## 3.2 Potenzialfelder von Industrie 4.0 und deren Bedeutung für die Logistik

Im Folgenden sollen Themen- und Forschungsfelder für innovative Anwendungen von Industrie 4.0 auf Basis der strukturierten Forschungsagenda der Plattform Industrie 4.0, erarbeitet durch BITKOM, VDMA und ZVEI, dargelegt werden. Diese Felder dienen fortan als weitere inhaltliche Eingrenzung, welche Erwartungen im Rahmen dieses Artikels konkret an die Anwendung von Industrie 4.0 gestellt werden.

### 3.2.1 Horizontale Integration

Die horizontale Integration ist gleichbedeutend mit der Implementierung von Industrie 4.0 entlang der Wertschöpfungskette. Es ist demnach in denjenigen meist IT-spezifischen Technologiefeldern zu forschen, die die einzelnen Wertschöpfungsprozesse unterstützen. Diese Felder betreffen insbesondere die Durchgängigkeit der Schnittstellen über verschiedene Instanzen wie Entwicklung, Fertigung, Logistik und Marketing. Ausdrücklich ist diese IT-Unterstützung sowohl auf unternehmensinterne als auch auf -externe Prozesse entlang der gesamten Supply Chain bezogen. So können einerseits neue Geschäftsmodelle entstehen, etwa durch neuartige Go-to-Market- oder Zahlungskonzepte. Andererseits bieten sich beträchtliche Flexibilisierungs- und Effizienzpotenziale, beispielsweise anhand von Transparenzverbesserungen oder von gemeinsamen Zielhierarchiesystemen in der gesamten Lieferkette.<sup>68</sup>

Im logistischen Kontext ist gerade das Schnittstellenmanagement relevant. Entscheidend ist die Feststellung, dass eine Optimierung von Teilbereichen nicht mit einer Leistungssteigerung der Supply Chain gleichbedeutend ist und mitunter sogar negative Gesamtfolgen bewirken kann. Dementsprechend ist die interdisziplinäre Einbindung von unternehmensinternen Organisationseinheiten einerseits und Lieferketten-

---

<sup>67</sup> Vgl. Roland Berger; BDI (2015), S. 10.

<sup>68</sup> Vgl. BITKOM et al. (2015), S. 19ff.

Akteuren andererseits sowohl für einen erfolgreichen operativen Betrieb als auch für potenzielle Optimierungen unerlässlich.<sup>69</sup>

### 3.2.2 Vertikale Integration

Als vertikal wird gemäß Plattform Industrie 4.0 die Anwendung dann definiert, wenn eine Lösung durchgehend über die Hierarchieebenen eines (Produktions-)Systems hinweg integriert wird. Unter Hierarchieebenen sind in diesem Kontext primär die verschiedenen Steuerungsebenen eines Systems zu verstehen: angefangen mit der Akteur-/Sensorebene über IT-seitige Bindeglieder zwischen Anlagenebene und Warenwirtschaftssystem bis hin zur Unternehmensleitung selbst. Oftmals übernehmen in diesem Zusammenhang IT-Systeme wie das Manufacturing Execution System (MES) in genannter Bindegliedrolle oder Enterprise-Resource-Planning-Anwendungen (ERP-Anwendungen) als ganzheitliches Warenwirtschaftssystem entscheidende Rollen. Ziel ist letztlich, geschlossene Regelkreise gemäß Regellogiken wie Plan-do-check-act (PDCA) in Echtzeit mittels intelligenter, flexibler sowie adaptiver (Produktions-)Systeme zu erreichen.<sup>70</sup>

Im logistischen Sinne ist diesbezüglich zunächst die Echtzeit-Implementierung eines PDCA-Regelkreises in der Produktionsplanung und -steuerung von Unternehmen naheliegend<sup>71</sup>. Detaillierte Betrachtungsgegenstände bilden erstens die Aufwandsminimierung für den Austausch von Waren sowie zweitens Potenziale für die vertikale Kooperation im Sinne der Lieferanten- bzw. Dienstleistersteuerung.<sup>72</sup>

### 3.2.3 Integration über Produktlebenszyklus

Im Mittelpunkt dieser Potenzialbetrachtung steht der gesamte Lebenszyklus eines Produkts, anfangend bei der Rohstoffherzeugung und endend mit dem Recycling nach Nutzung des Produkts durch den Endkunden. Im Rahmen der Plattform Industrie 4.0 findet dies primär Bezug auf die Entwicklungs- und Engineering-Prozesse eines Unternehmens. Demnach ist also bestmöglich sicherzustellen, dass im Sinne von Systems Engineering multidisziplinäre Engineering-Systeme zum Einsatz kommen, die alle Aspekte eines Produktlebenszyklus und damit die Gesamtheit aller Entwicklungsaktivitäten umfassen. Mithilfe dieser neuen Modellierungstheorien kann der (Kunden-)Nutzen von Produkten signifikant gesteigert werden.<sup>73</sup>

Zeigt dieser Ansatz in erster Linie keinen direkten Bezug zu den logistischen Fragestellungen, so kann dennoch der Leitgedanke der (Nutzen-)Optimierung über den Produkt-

---

<sup>69</sup> Vgl. Pfohl (2016), S. 22 sowie S. 275.

<sup>70</sup> Vgl. BITKOM et al. (2015), S. 26ff.

<sup>71</sup> Vgl. Kletti (2015), S. 12ff.

<sup>72</sup> Vgl. Pfohl (2010), S. 350f; Pfohl (2016), S. 339.

<sup>73</sup> Vgl. BITKOM et al. (2015), S. 23ff.

lebenszyklus auf den logistischen Kontext übertragen werden. Bezugnehmend auf die Bedeutung der ökologischen Komponente für den Produktlebenszyklus bietet die Logistik das Potenzial, in den Konzepten für die Steuerung, den Transport bzw. für die Verpackungsplanung und gegebenenfalls -rückführung Verbesserungen zu erzielen.<sup>74</sup>

### 3.2.4 Schnittstellen zwischen Mensch und Maschine

Bei der Betrachtung der sozialen Infrastruktur für die Arbeit rückt auf der Plattform Industrie 4.0 die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine in den Fokus. Im Detail stellt sich die Frage, wie Interaktion und Kooperation zwischen Mensch und Maschine so gestaltet werden können, dass eine verbesserte Arbeitsorganisation entsteht. Diese Verbesserungen beziehen sich nicht nur auf Arbeitsergebnisse, sondern im gleichen Maße auf eine Entlastung der Mitarbeiter durch Reduzierung von Routineaufgaben bei teils erhöhten Qualifikationsanforderungen sowie weitere, beispielsweise ergonomische, Unterstützungen. Im Zuge dessen stehen intelligente Assistenzsysteme wie Augmented Reality im Vordergrund, die virtuelle Hilfestellungen in das Blickfeld der Mitarbeiter einbetten.<sup>75</sup>

Gerade die Komponenten des Null-Fehler-Managements sind für das logistische Potenzial dieses Innovationsschwerpunkts von weitergehendem Interesse. Innerhalb der Logistikprozesse weisen vor allem die Vereinnahmung und Zusammenstellung von Waren ein erhöhtes Fehlerpotenzial auf.<sup>76</sup> Zieht man zusätzlich in Betracht, dass die Null-Fehler-Qualität von Zulieferern sowohl im Sinne der Warenqualität als auch der korrekten logistischen Leistung eines der bedeutendsten Auswahlkriterien für die Auftragsvergabe an Zulieferer darstellt, unterstreicht dies die Bedeutung des Fehlermanagements für die Logistik.<sup>77</sup> Die Prozesskomplexität und damit der fortwährende Optimierungsbedarf werden dadurch bestätigt, dass die Logistikleistung durch vielfache Dimensionen definiert wird. Die logistische Leistung wird allgemein dadurch determiniert, „die richtige Menge der richtigen Objekte zum richtigen Zeitpunkt in der richtigen Qualität zu den richtigen Kosten“<sup>78</sup> dem Kunden bereitzustellen.

### 3.2.5 Weiterentwicklung und Standardisierung von Querschnittstechnologien

Die Weiterentwicklung und Standardisierung von Querschnittstechnologien, insbesondere in Bezug auf Sprachvereinheitlichung und Sicherheit, komplettiert die Definition von relevanten Forschungsfeldern gemäß Plattform Industrie 4.0. Darunter wird diejenige Basis verstanden, die den notwendigen Datenaustausch für Industrie 4.0 ermög-

---

<sup>74</sup> Vgl. Göpfert; Schulz; Wellbrock (2013), S. 13.

<sup>75</sup> Vgl. BITKOM et al. (2015), S. 29ff.

<sup>76</sup> Vgl. Klug (2010), S. 199f.

<sup>77</sup> Vgl. Göpfert; Grünert; Schmid (2016), S. 198f.

<sup>78</sup> Jünemann (1989), S. 18; Weiterentwicklung von Plowman (1964), S. 2.

licht. Den Kern bilden Netzwerktechnologien, in erster Linie das Internet und dessen Verfügbarkeit und Standardisierungen, sowie weitere Hard- und Softwareinstallationen. Sind diese Standards in puncto Datenaustausch und Kommunikationskanäle weiterentwickelt, gilt es im nächsten Schritt, die großen Datenmengen (Big Data) zu beherrschen und gewinnbringend zu nutzen.<sup>79</sup>

Aufgrund der technischen Schwerpunkte dieses Themenfelds in IT und Mikroelektronik haben die Forschungen zur Standardisierung und Weiterentwicklung im Kontext dieser Arbeit keine direkte Relevanz. Entscheidend ist wiederum die Ermittlung der technologischen Treiber (siehe Kapitel 3.3.2) und ihres Nutzens, um passende Logistikpotenziale aus Industrie 4.0 zuordnen zu können. Das Ergebnis dieser Querschnittstechnologien, die Informationsgenerierung, -verteilung und -verarbeitung, ist folgerichtig ein entscheidendes Element für die genannten Innovationsfelder von Industrie 4.0. Die logistische Bedeutung von Informationen zeigt sich dadurch, dass physische Logistikketten stets an Informationsketten gekoppelt sind.<sup>80</sup> Daher wird die intelligente Informationsverwendung als eine Kernkompetenz für Logistikexzellenz manifestiert.<sup>81</sup>

### 3.3 Logistische Anwendungsbeispiele und -potenziale aus der industriellen Praxis

Ausgehend vom Status von Industrie 4.0 in Deutschland und im engeren Sinne im logistischen Kontext soll auf Basis der dargelegten Fakten mittels Kapitel 3.3 erörtert werden, welche expliziten Anwendungen von Industrie 4.0 derzeit im deutschen Wirtschaftsraum geplant sind oder bereits umgesetzt wurden. Da die Plattform Industrie 4.0 die zentrale Anlaufstelle in Deutschland für alle Belange rund um Industrie 4.0 darstellt (vgl. Kapitel 2.3.3), orientiert sich die Erhebung von Anwendungsbeispielen an der Plattform, namentlich an der *Landkarte Industrie 4.0*. Hierzu werden zunächst die Anwendungen eingegrenzt und hinsichtlich wesentlicher Charakteristika analysiert, bevor im weiteren Verlauf die Interpretation der Ergebnisse erfolgt.

#### 3.3.1 Analyse von Anwendungsbeispielen und -potenzialen gemäß Plattform Industrie 4.0

Insgesamt führt die Landkarte Industrie 4.0 zum Veröffentlichungsstand dieses Artikels 268 Anwendungsbeispiele in Deutschland. Für diese Arbeit sind jedoch nur Anwendungen relevant, die direkt mit logistischen Aufgabenstellungen zusammenhängen. Anhand der Filterfunktionen, die die Plattform zur Verfügung stellt, kann eine zielgerichtete Eingrenzung vorgenommen werden. Über die selektierten Anwendungsfelder

---

<sup>79</sup> Vgl. BITKOM et al. (2015), S. 32ff.

<sup>80</sup> Vgl. Gudehus (2010), S. 25.

<sup>81</sup> Vgl. Pfohl (2016), S. 70.

„Produktion und Lieferkette“ und „Logistik“ sowie über die zusätzliche Einschränkung des Wertschöpfungsbereichs auf den Filter „Logistik“ reduzieren sich die 268 Beispiele auf die Anzahl von relevanten 29 Anwendungen.<sup>82</sup>

Für die Zielstellung ist primär die Frage bedeutend, mit welchen technologischen Anwendungsfeldern welche logistischen Ziele im Kontext von Industrie 4.0 erreicht werden sollen. Tabelle 1 fasst im Folgenden die Analyseergebnisse zu den eingegrenzten Anwendungsfällen in komprimierter Form zusammen.

Anbieter	Projekttitel	Ziel	Technologisches Anwendungsfeld
(1) catkin GmbH	Integration von mobilem Personal und Personaldienstleistern bei TX Logistik	Personal-/Auftragsmanagement: direkte Personalbeauftragung mit Auftragsrückmeldung	Kopplung von unternehmensübergreifender App an ERP-Systeme
(2) catkin GmbH	Smart Logistics bei TX Logistik: durchgängige Transparenz bei Vor- und Nachlauf im kombinierten Verkehr	Beauftragung und Steuerung von Transportdienstleistern über digitale Prozesse (papierlose Abwicklung)	zentrale Plattform mit Anbindung aller Teilnehmer, operative Steuerung via App
(3) catkin GmbH	Integrierte Logistik für Hilfsprojekte bei HLO	Vernetzung verschiedener Organisationen für Synergieeffekte bei Ressourcenauslastung von Transportdienstleistern	zentrale Plattform mit Anbindung aller Teilnehmer, operative Steuerung via App
(4) L-mobile	Industrie-4.0-Softwarelösung inkl. Gesamtprojektentwicklung mit Beratung, Konzeptionierung, Hardware, Software und Service	Vernetzung von Lager, Produktion, Logistik, Sales und Service	Integration von RFID und elektronischen Etiketten in einer ganzheitlichen Lösung
(5) Universität Stuttgart	Vernetzte Industrie-4.0-Produktion von Modellautos	flexible Produktionsanlagen mit selbstständiger Integration in den Produktionsablauf (Plug & Produce)	vernetzte Produktionsautomatisierung mit Software-Agenten
(6) Technicity Consulting	Consistent R&D: durchgängige Forschung und Entwicklung (Research and Development, R&D)	Verschmelzung von Entwicklungs- und Produktionsprozess zur Reduzierung von Entwicklungskosten und Erreichung kürzerer Lieferzeiten bei steigender Variantenvielfalt	Selbststeuerung von Entwicklungsprozessen durch direkte Informationsspeicherung in Einzelteilen

<sup>82</sup> Vgl. BMBF; BMWi (2016b): <http://www.plattform-i40.de> (Stand 29.12.16).

(7) Robert Bosch GmbH	Autonomer Bodenroller	bedarfsgesteuerte Materialversorgung in der Intralogistik	autonom kooperierende, vernetzte Transportroboter mit Anbindung an ERP-System über Datencloud
(8) Schnellecke Logistics Group	Einsatz der Pick-by-Vision-Lösung xPick bei Schnellecke Logistics in Wolfsburg	Optimierung von Kommissionierungs- und Sequenzierungsprozessen	Pick-by-Vision-Datenbrillen auf Basis von Augmented Reality mit Anbindung an die Datenverarbeitung (DV) der Unternehmen
(9) Picavi GmbH	Picavi Pick-by-Vision beim Kosmetikhersteller Dr. Babor im Echtbetrieb	Optimierung von Kommissionierungsprozessen	Pick-by-Vision-Datenbrillen mit Anzeige aller relevanten Daten und Integration eines Scanners auf Basis der Anbindung an die DV der Unternehmen
(10) Robert Bosch GmbH	Ganzheitlicher Industrie-4.0-Ansatz	Intelligente Fabrik mit erhöhter Informationsverfügbarkeit in Produktion und Logistik	Ganzheitlicher Ansatz auf Basis eines eigenen MES
(11) GPIO Solutions	Assemble-by-Light: belegloser Montagearbeitsplatz	Fehlerfreie Abarbeitung einzelner (Montage- oder Kommissionierungs-) Prozessschritte an Mensch-Maschine-Schnittstellen	Pick-by-Light/Put-by-Light durch sensorabhängige LEDs und DV-Schnittstelle an das ERP-System
(12) Bosch Rexroth AG	Bosch Rexroth AG - I4.0 @ LoP2: horizontal & vertikal vernetzte Serialnummernfertigung	selbststeuernde Prozesse mit verbesserter Transparenz in der Fertigung bei stark erhöhter Produktvarianz	virtueller Produkt-Blueprint von ERP-System an angebundenes MES, das über Anlagenvernetzung mit Serialnummernscan der Produkte den Produktaufbau steuert
(13) Fraunhofer IML	Fraunhofer IML - Virtuelle Sprechblasen für die Logistik: kontextbasierte Informationsdarstellung über Augmented Reality	Prozessvereinfachung und -zeitsparung für dezentrale (Entscheidungs-)Prozesse	Informationsaufbereitung und -bündelung für dezentrale Bereitstellung von Daten auf Wearables, die stark auf das Wesentliche reduziert wurden
(14) EVO Informationssysteme GmbH	Durchgängige Digitalisierung und Vernetzung in der CNC-Fertigung: universelle Nachrüstpakete für Industrie 4.0	fortschreitende Digitalisierung durch Integration von intelligenten Komponenten in den Unternehmensprozessen bzw. der Fertigung	Schnittstellenanbindung von digitaler Hardware an DV- oder Anlagensysteme über jeweilige Netzwerktechniken
(15) SAP SE	Adaptive Intralogistik: echtzeitnahe Optimierung von Fahrzeugflotten und neue Geschäftsmodelle in Transport und Lagerhaltung	Optimierung von Transport-, Lager- und Wartungsprozessen bis hin zur autonomen selbstoptimierenden Steuerung der Intralogistik	Anbindung von intralogistischen Fahrzeugen an eine Daten-Cloud, die an die Unternehmens-DV adaptiert werden kann

(16) Smart Electronic Factory e. V.	Die Smart Electronic Factory im Hause Limtronik	Ganzheitlicher Ansatz zur Realisierung einer Smart Factory zur Implementierung eines selbstlernenden Systems mit den Zielen Null-Fehler-Produktion und „Losgröße 1“	Nutzung verschiedener Techniken wie Module, Scanner oder Sensoren für Schnittstellenanbindung von Dingen, ganzheitliche Steuerung bzw. Sammlung und Verarbeitung von Big Data über MES
(17) AutoID Center des Vorseiencenter/VDA (Verband der Automobilindustrie)	Volkswagen Gläserner Prototyp: RFID für das Tracking & Tracing von Versuchsfahrzeugen und Prototypenteilen	Automatisierung und Informatisierung der Supply Chain zum direkten Zugriff auf Teiledaten bei Prototypenfahrzeugen	unternehmensübergreifende Nutzung von RFID an Fahrzeugenteilen
(18) Deutsche Telekom AG	Mobile Objects Management/Management von Industriefahrzeugen: Produktivität steigern, präzise steuern, Arbeitsergebnisse dokumentieren, Daten intelligent nutzen	Überwachung, Navigation und Steuerung von Industriefahrzeugen	Anbindung von Industriefahrzeugen an Cloud-/DV-System für Big-Data-Anwendungen und -Auswertungen
(19) Diotasoft S.A.S./Volkswagen AG	M.A.R.S. - Markerloses Augmented Reality System	Ablösung aufwändiger Kontrollprozesse zur Überprüfung der Vollständigkeit und Maßhaltigkeit von Zusammenbauten	Erfassung der Objekte über Kamerasystem und Darstellung des Datenabgleichs über Tablet an Facharbeiter
(20) Siemens AG	Digitale Durchgängigkeit	Transparenz- und Effizienzsteigerungen entlang der Supply Chain	vertikale Verknüpfung verschiedener Datenbanken und horizontale Vernetzung entlang der gesamten Supply Chain zu einem Supply Network
(21) SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG	Smart Factory - Schaufensterfabrik Graben-Neudorf	Smart Factory-Ansatz realisieren: effizientere Produktion mit geringerem Fehlerpotenzial durch Abbildung der Produktionsprozesse über IT-System	Einsatz von cyber-physischen Systemen (CPS) und Schwarmintelligenz zur dezentralen Steuerung auf Basis der übergreifenden DV-Informationen
(22) Fraunhofer IWU	SmARt Assistance for Humans in Production Systems: Plattform zur Mensch-, Maschinen- und Prozessintegration für die dezentrale Fertigungssteuerung	gewinnbringende Nutzung von Big Data für dezentrale Entscheidungsprozesse	CPS in Anlagenebene, MES zur Verknüpfung von Anlagen- und ERP-Ebene, Wearables für die Informationsbereitstellung und -verarbeitung direkt vor Ort



(23) MB Ludwigsfelde GmbH und Systempartner	Optimierung der Montage - Logistik - Schnittstelle: vollautonome Materialanlieferung mittels fahrerloser Transportsysteme	Verschlankeung von Montage-Logistikprozess (Eliminierung von nicht-wertschöpfenden Tätigkeiten)	taktgenaue Bereitstellung exakter Verbausets von Montageteilen je Auto mit fahrerlosen Transportsystemen
(24) Hamburg Port Authority und Systempartner (SAP, Deutsche Telekom, Dakosy)	smartPORT logistics: höherer Warenumsatz im Hamburger Hafen durch eine optimierte Logistik	Effizienterer Containerumschlag im Hafen durch gezieltes Speditions- (Zielentladeorte/-zeiten) bzw. Lkw- Management (schnellste Route)	Big Data: Verarbeitung und Auswertung von Echtzeitdaten zu LKW-Standortpositionen, Staumeldungen, Terminalstatus und freien Stellflächen über Telemetrie- und SAP-Daten sowie Anbindung der Speditionen an die Daten
(25) Rota Yokogawa GmbH & Co. KG in Kooperation mit Fraunhofer IAO	Termingetreue Versandsteuerung mittels digitalen Pull-Systemen	Effizienteres Auftragsmanagement durch Digitalisierung der Produktions- und Logistikprozesse für das Zielbild „Losgröße 1“ (Optimierung des Personal- sowie Verpackungs- und Lagerflächenmanagements)	Digitale Anbindung der Produktionslinien mit werkerspezifischer Anmeldung und Echtzeitzugriff auf die Auftragssteuerung zur Maximierung der Transparenz
(26) Deutsche Telekom AG	smartPort Logistics	siehe Projekt (24) Hamburg Port Authority	siehe Projekt (24) Hamburg Port Authority
(27) Würth Industrie Service GmbH & Co. KG in Kooperation mit Fraunhofer IML	iDISPLAY + CPS MOBILE	effizientere, neuartige Lagerorganisation durch Virtualisierung der physischen Lagerbestückung	Bestückung der Behälter mit RFID-Technologie sowie der Regale mit neu entwickelten iDISPLAYs für flexibles Behältermanagement für virtuelle Lagernachbildung inklusive autonomer Nachbestückung der Regale
(28) BÄR Automation GmbH	Gestengesteuertes FTF (fahrerloses Transportfahrzeug)	Intuitive Bedienung von FTF durch Gestensteuerung zur flexiblen Bewältigung von Transportaufgaben	Kamerasystem am FTF zur Erkennung der Gesten, entsprechende Sensorik für die Interaktion mit der Umwelt während der Transportfahrt
(29) Celonis GmbH	Celonis-Process Mining: ganzheitliche Prozessoptimierung mittels Big Data	Prozessrekonstruktion und -visualisierung in Echtzeit	Verarbeitung und Auswertung von Big Data über spezialisierte Softwarelösung

Tabelle 1: Analyseergebnisse der logistischen Benchmark-Beispiele der Plattform Industrie 4.0<sup>83</sup>

<sup>83</sup> Eigene Darstellung, Inhalte analysiert aus BMBF; BMWi (2016b): <http://www.plattform-i40.de> (Stand 29.12.16).

### 3.3.2 Resultierende technologische Treiber und Anwendungen von Industrie 4.0 für die Logistik

Einerseits aus den Darlegungen von Fachliteratur und Studien, andererseits aus den Analyseergebnissen von Kapitel 3.3.1 sollen an dieser Stelle die technologischen Treiber von Industrie 4.0, die neben den notwendigen Querschnittstechnologien (siehe Kapitel 3.2.5) besonders bedeutend sind, ermittelt und in kompakter Form beschrieben werden. Das BMWi definiert in diesem Zusammenhang vier zentrale technologische Treiber: cyber-physische Systeme (CPS), Cloud-Technologien, additive Fertigungsverfahren und das Bündel aus integrierten Daten bzw. -strömen und Big Data.<sup>84</sup>

An erster Stelle dieser vier Treiber sind die CPS zu nennen, die als „Kombination von Software- und Hardwaresystemen zu einem komplexen und intelligenten Verbund“<sup>85</sup> verstanden werden. Basistechniken für die Entstehung von CPS sind entsprechende Sensoren und Aktoren und deren Vernetzung per Querschnittstechnologien, im weiteren Sinne dem IoT. Durch sie können Einheiten bzw. Dinge miteinander kommunizieren. Von einem CPS spricht man indes erst dann, wenn in Verbindung mit eingebetteten Systemen (embedded systems) aus der Kommunikation der Dinge autonomes Verhalten inklusive selbstständiger Optimierungszyklen resultiert.<sup>86</sup> Diese Basistechnik bieten im einfachsten Fall RFID-Chips, die jedoch den Einsatz weiterer zentraler oder dezentraler Dienste erfordern, um den Anforderungen an CPS gerecht zu werden. Die weiteren CPS-Entwicklungsstufen reichen von aktiven Sensoren und Aktoren über ein netzwerkfähiges Bündel eben solcher, das auch als Ubiquitous Computing bezeichnet wird, bis hin zum „System of the System“<sup>87</sup>, in dem mehrere CPS selbstständig untereinander kommunizieren und entsprechend agieren.<sup>88</sup>

Cloud-Technologien respektive Cloud Computing in Anlehnung an die Definition des National Institut for Standards and Technology (NIST) als Modelle begriffen werden, die über Netzwerke jederzeit den schnellen Zugriff auf einen geteilten Pool von konfigurierbaren Rechnerressourcen erlauben. Demnach müssen für Cloud Computing fünf wesentliche Eigenschaften gegeben sein: Bündelung und Sharing von Netzwerkressourcen, echtzeitbasierter Netzwerkzugriff, Transparenz über Zugriffe und Dienste, selbsterklärende Nutzung sowie flexible, bedarfsgerechte Ressourcenbereitstellung.<sup>89</sup>

---

<sup>84</sup> Vgl. BMWi (2015a), S. 8f.

<sup>85</sup> Siepmann (2016), S. 23.

<sup>86</sup> Vgl. Hompel; Kerner (2015), S. 177.

<sup>87</sup> Bauernhansl (2017), S. 13.

<sup>88</sup> Vgl. ebd., S. 12.

<sup>89</sup> Vgl. Mell; Grance (2011), S. 2f.

Als Konsequenz bildet Cloud Computing für Industrie 4.0 einen signifikanten Baustein, um die IT-Ressourcen für das Handling großer Datenmengen bereitzustellen.<sup>90</sup>

Gemäß BMWi werden unter additiven Fertigungsverfahren vor allem diejenigen Verfahren verstanden, die zur schnellen 3D-Herstellung von Teilen bzw. Prototypen dienen. In erster Linie sind hier 3D-Drucktechniken zu nennen.<sup>91</sup> Dabei werden aus meist pulverhaltigem oder je nach Verfahren auch flüssigem Material die Bauteile additiv, das heißt Schicht für Schicht durch Zugabe und Verschmelzung der Materialien, aufgebaut.<sup>92</sup> Durch die techniklastige Dimension dieses Treibers sollen die additiven Fertigungsverfahren im weiteren Verlauf nicht näher beleuchtet werden.

Abgeleitet aus den Darstellungen des BMWi verbleiben als weitere Treiber integrierte Daten, Datenströme und Big Data. Diese werden als Ergebnis der Vernetzung von Maschinen und Objekten durch CPS oder Cloud Computing definiert. Während CPS und Cloud Computing Daten erzeugen, ist die Kombination der Daten sowie deren resultierende Auswertung und Nutzung ein relevanter Erfolgsfaktor für Industrie 4.0. Die Kombinationsmöglichkeiten reichen sowohl entlang der horizontalen als auch der vertikalen Wertschöpfungskette.<sup>93</sup> Für die Definition von Big Data wird in der Literatur oftmals auf die im Jahr 2001 erstmals aufgestellte und seitdem im IT-Glossar kontinuierlich aktualisierte Definition der Gartner Group, einer der führenden Forschungs- und Beratungsfirmen in der IT, verwiesen.<sup>94</sup> Demnach wird Big Data im Vergleich zu bisherigen Datensätzen durch die „3 Vs“ determiniert: High Volume für deutlich größere Datenmengen, High Velocity für die Verfügbarkeit in Echtzeit und High Variety für die Vielfalt an Datenquellen und -arten.<sup>95</sup>

Im Vergleich dieser vier Treiber, die das BMWi benennt, mit den Analyseergebnissen der Plattform Industrie 4.0, ist zu schlussfolgern, dass die technologischen Treiber und Anwendungen von Industrie 4.0 zu erweitern sind. Auffällig ist, dass sich die 29 Anwendungsbeispiele der Plattform im Kern auf neun technologische Treiber erstrecken. Diese neun sind namentlich: CPS, Augmented Reality (Pick-by-Vision (PbV), Pick-by-Light (PbL), Wearables), Cloud-Anwendungen, RFID, fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF), Big Data, MES, Apps und Kamerasysteme. Dementsprechend sollen die vorangegangenen Erläuterungen in kompakter Form erweitert werden.

Unter Augmented Reality wird gemeinhin die Ergänzung der realen Welt um virtuelle Elemente verstanden. Es werden computergenerierte Zusatzobjekte in die Realität

---

<sup>90</sup> Vgl. Siepmann (2016), S. 22.

<sup>91</sup> Vgl. BMWi (2015a), S. 9.

<sup>92</sup> Vgl. Fastermann (2016), S. 11.

<sup>93</sup> Vgl. BMWi (2015a), S. 9.

<sup>94</sup> Vgl. Buyya; Calheiros; Dastjerdi (2016), S. 7.

<sup>95</sup> Vgl. Gartner (2017): <http://www.gartner.com> (Stand 07.01.17).

bzw. das Sichtfeld von Personen eingebettet.<sup>96</sup> In den Anwendungsbeispielen der Plattform Industrie 4.0 werden in diesem Kontext PbV-, PbL- oder Wearables-Technologien beschrieben. Der Einsatz von PbV oder PbL fokussiert sich im logistischen Kontext mittels Einblendung visueller Informationen im Blickfeld des jeweiligen Mitarbeiters vor allem auf Kommissionierarbeiten.<sup>97</sup> Wearables sind mobile Rechner, die personengebunden anhand von Tragesystemen oder in Form von Kleidung und Schmuck getragen werden. Wearable Computing verkörpert in diesem Zusammenhang den Oberbegriff, der in seinem Idealbild eine feste Beziehung zwischen Benutzer und Computersystem vorsieht, die vollkommen unabhängig von der jeweiligen Umgebung bzw. Infrastruktur funktioniert.<sup>98</sup>

RFID-Anwendungen sind in dieser Arbeit bereits als potenzielle CPS-Teillösung aufgeführt. RFID-Systeme bestehen mindestens aus einem RFID-Chip, der elektronische Daten speichert, sowie aus stationären oder mobilen Lesegeräten, die jene Daten über magnetische oder elektromagnetische Felder auslesen und zur weiteren Verwendung an eine Applikation senden.<sup>99</sup> Im Unterschied zu CPS sind RFID-Systeme damit nicht autark, sondern stehen in erster Linie für Informationstransporte und -weitergaben, können aber als integriertes Element in CPS fungieren.

RFIDs können somit Teil des technischen Aufbaus fahrerloser Transportsysteme (FTS) sein, die auf FTF basieren. FTF sind Fördermittel, die sich mit eigenem Antrieb automatisch steuern und ohne Berührung geführt werden können. Darauf aufbauend integriert ein FTS weitere Komponenten wie Leitsteuerung, Standortbestimmung oder Interaktion mit der Infrastruktur, so dass mittels FTS autonome intralogistische Systeme beispielsweise für Lager- oder Materialbereitstellungsaufgaben entstehen können.<sup>100</sup>

Dort, wo in Produktion und Logistik autonome Prozesse eingesetzt werden, die einen Informationsaustausch mit unternehmensspezifischen ERP-Systemen erfordern, kommen in der Praxis oftmals MES zum Einsatz. Ein MES kann grundsätzlich als Bindeglied zwischen der Anlagen- und der ERP-Ebene bezeichnet werden. Es ist eine Softwarelösung, die die Informationslücke zwischen beiden Ebenen durch schnittstellen-spezifische Adaption schließt und den Benutzern die Möglichkeit eröffnet, mithilfe der Kombination von Planungs- und Echtzeitdaten den Regelkreis zwischen Planung und Umsetzung durchgängig zu gestalten.<sup>101</sup>

---

<sup>96</sup> Vgl. Klein (2009), S. 1.

<sup>97</sup> Vgl. Schlatt (2014), S. 4407.

<sup>98</sup> Vgl. Rügge (2006), S. 34f.

<sup>99</sup> Vgl. Finkenzeller (2015), S. 9ff.

<sup>100</sup> Vgl. Klug (2010), S. 186f.

<sup>101</sup> Vgl. Kletti (2007), S. 7f; Kurbel (2013), S. 189f.

Gemäß den Anwendungsbeispielen der Plattform Industrie 4.0 bilden schlussendlich noch Apps und Kamerasysteme partielle Treiber der praktischen Umsetzungen. Apps als internetbasierende Softwareapplikationen auf smarten Geräten dienen in erster Linie der Verbesserung der anwendungsspezifischen Nutzerinteraktion und ermöglichen neue internetbasierte Dienstleistungen.<sup>102</sup> Kamerasysteme erweitern aufgrund der preisgünstigen Herstellbarkeit von Miniaturmodellen die digitalen IoT-Komponenten, da in der Kommunikation von Ding zu Ding oder Ding zu Mensch idealerweise alle Dimensionen der Interaktion zum Einsatz kommen sollten (Fühlen durch Sensoren, Kommunizieren durch Aktoren, Hören durch Mikrophone, Sehen durch Kameras).<sup>103</sup>

### 3.3.3 Interpretation der Analyseergebnisse zur Relevanz technologischer Treiber und logistischer Zielstellungen

Auf Basis dieser Analyseergebnisse soll nachfolgend die Zusammenfassung erfolgen, welche technologischen Anwendungsfelder sowie welche unternehmerischen Zielstellungen mit welcher Häufigkeit in der Praxis für Logistiklösungen zu Industrie 4.0 genutzt werden. Abbildung 5 gibt wieder, wie sich gemäß Plattform Industrie 4.0 die prozentuale Verteilung der technologischen Anwendungsfelder im logistischen Kontext ergibt. Es wird deutlich, dass sich die Anwendungen der neun technologischen Treiber ambivalent über die verschiedenen Benchmark-Beispiele erstrecken. Oftmals kommt es in der Praxis zu Lösungen, bei denen mehrere technologische Treiber für eine neue ganzheitliche Lösung Anwendung finden.

Es zeigt sich jedoch in der Praxis auch, dass CPS als technologischer Schlüssel für Industrie 4.0 verstanden werden. Ergänzend sei hinzugefügt, dass analog zur CPS-Definition in Kapitel 3.3.2 technologische Anwendungen im Zuge dieser Auswertung erst dann als CPS klassifiziert werden, wenn die Anwendungsbeschreibungen eindeutige Rückschlüsse auf eingebettete Systeme und davon abgeleitet autonomes Verhalten zulassen. Verzichtete man auf diese hinreichende Bedingung und fügte der CPS-Zählung auch diejenigen Beispiele hinzu, die nur CPS-Basistechnologien wie RFID-Chips enthalten und lediglich die notwendige Bedingung für CPS erfüllen, fiel die Häufigkeit von CPS-nahen Anwendungen signifikant höher aus.

---

<sup>102</sup> Vgl. Sendler (2016), S. 34.

<sup>103</sup> Vgl. Sendler (2016), S. 19.

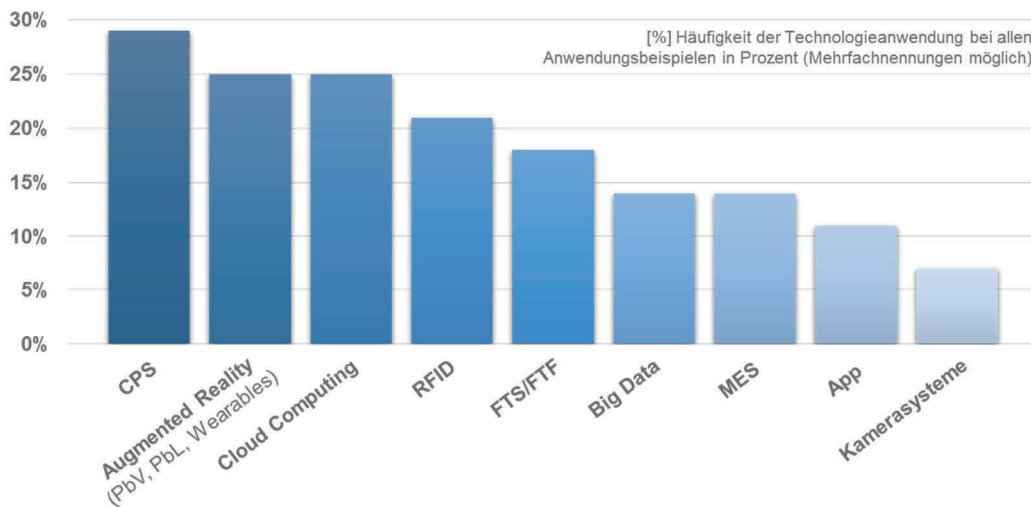


Abbildung 5: Technologische Treiber von Industrie 4.0 im logistischen Kontext gemäß Plattform Industrie 4.0

Insofern bestätigt sich die Einschätzung des BMWi, als primäre Treiber Cloud Computing und CPS zu definieren. Weitergehend ermöglichen sie durch ihre Basistechnologien wie RFID-Chips und ihre industriellen Anwendungen wie FTF die Realisierung vielversprechender Optimierungsmaßnahmen. Im logistischen Kontext haben die vom BMWi genannten additiven Fertigungsverfahren keine Bedeutung. Dagegen erfährt Augmented Reality, vom BMWi nicht als primäre Treiber beurteilt, in der Praxis eine deckungsgleiche Bedeutung wie Cloud Computing. Mit einigem Abstand folgen Big-Data-Anwendungen sowie spezifische Lösungen mittels MES, Apps oder Kamerasystemen.

Aus der Analyse der jeweiligen Zielstellungen der Praxisanwendungen lassen sich vier zentrale Zielcluster herausarbeiten. Zum einen kristallisieren sich im Hinblick auf horizontale oder vertikale Integrationen diejenigen Anwendungsziele heraus, die nach einer Verbesserung mehrerer Prozesse respektive derer Schnittstellen streben. Diese können wiederum in unternehmensinterne sowie -externe Optimierungen entlang der Supply Chain unterteilt werden. Zum anderen konzentrieren sich die analysierten Projekte teilweise auf die spezifische Verbesserung singulärer Prozesse. Hier zeigen sich grundsätzlich zwei Motive für die Anwendung von Industrie 4.0: einerseits zur Verbesserung der Effizienz, andererseits zur Optimierung der Qualität. Abbildung 6 fasst zusammen, welche Relevanz diese vier Zielcluster in der Praxis erfahren.

Über die Hälfte der analysierten Anwendungen von Industrie 4.0 enthält Zielstellungen, die Prozessoptimierungen innerhalb der Wertschöpfungsketten des eigenen Unternehmens beinhalten. In der Praxis priorisieren Unternehmen demzufolge die Verbesserung interner Prozesse gegenüber der Optimierung von Prozessen entlang der gesam-

ten Supply Chain. Auf Prozessebene zeigen analog der vernetzenden Potenziale von Industrie 4.0 die einzelprozessübergreifenden Projekte eine deutlich höhere Relevanz als singuläre Prozessverbesserungen auf.

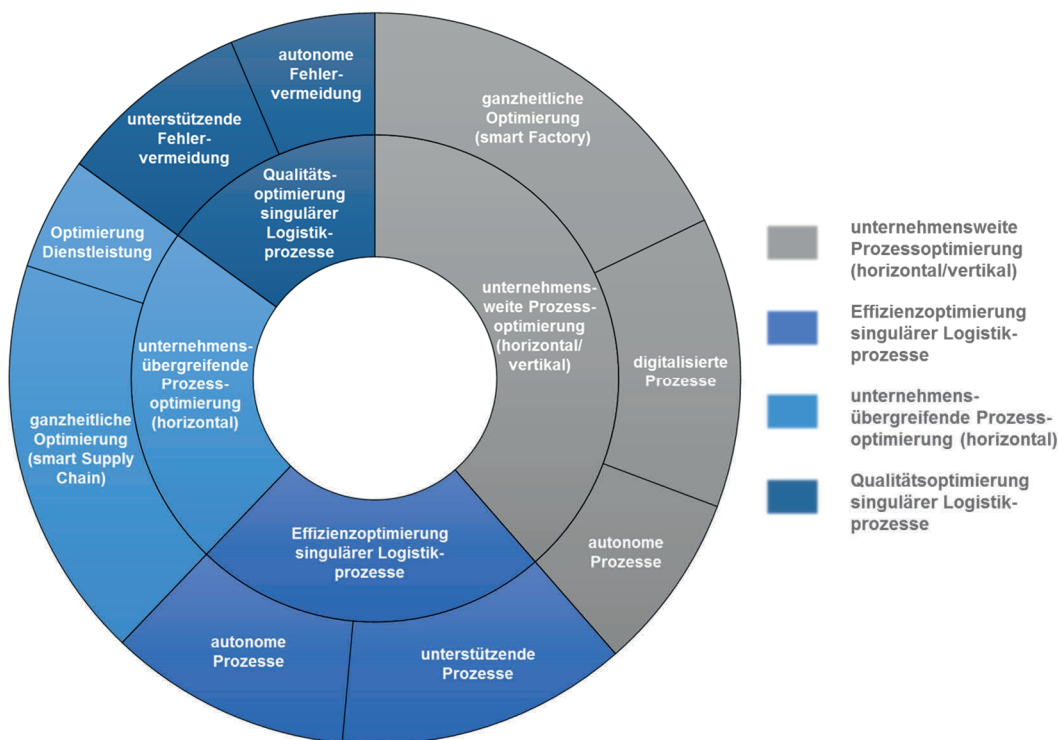


Abbildung 6: Unternehmerische Zielstellungen von Industrie 4.0 im logistischen Kontext gemäß Plattform Industrie 4.0

## 4 Fazit und Ausblick

Obschon Experten davon ausgehen, dass revolutionäre Bewegungen durch Industrie 4.0 auch in zehn Jahren noch nicht abgeschlossen sein werden, existiert bereits heute eine Vielzahl potenzieller Technologien und Anwendungen aus Industrie 4.0.<sup>104</sup> Diesbezüglich zeigt sich, dass die Umsetzung von Industrie 4.0 nicht in Extremen verstanden werden darf: Weder existiert die eine bahnbrechende Innovation, die alles bisher Dagewesene revolutioniert, noch sollte infolge der Umsetzung eine unmittelbare Effizienzpotenzierung erwartet werden. In Richtung Digitalisierung der gesamten Wertschöpfungskette führen auch kleine Umsetzungsschritte zum Erfolg. Auf diesem Weg ist die Ausrichtung an einem entsprechenden Zielbild unerlässlich.<sup>105</sup>

Im Sinne der Politik der kleinen Schritte sollte so zunächst die singuläre Implementierung von Industrie 4.0 etwa durch FTS oder Augmented Reality in den Lieferketten gefördert werden. Parallel dazu ist die Einleitung von spezifischen Projekten für alle Industrie-4.0-Optimierungen, die die gesamte Lieferkette betreffen, insbesondere Cloud Computing und Big Data, essenziell, um sich für die Zukunft zu wappnen und die Grundlage für eine zukünftige Neuausrichtung zu legen. Potenzialanwendungen, die weit über einzelne Lieferketten hinausgehen und gleichermaßen standardisierte Serienprozesse einzelner Prozessteilnehmer betreffen, beispielsweise RFID-Anwendungen auf Teileebene zur konsistenten CPS-Umsetzung entlang aller Wertschöpfungsprozesse, können dagegen nur auf Konzern- respektive Branchenebene protegirt werden. Sie stellen zweifelsohne das übergeordnete Ziel der Implementierung von Industrie 4.0 in Lieferketten dar und lassen revolutionäre Geschäftsmodellentwicklungen erwarten.

Hier zeigt sich jedoch auch, dass bestimmte Potenziale von Industrie 4.0 nicht isoliert von einzelnen Unternehmen umgesetzt werden können, sondern dass es an gewissen Ansatzpunkten weiterer Standardisierungen entlang ganzer Wirtschaftszweige bedarf. Ein Beispiel stellt in diesem Zusammenhang die flächendeckende Ausstattung von Ladungsträgern mit RFID-Chips dar, die nur durch eine entsprechende Neuausrichtung des VDA-Regelwerks zu Standardladungsträgern gelingen kann. Darüber hinaus existieren weitere Standardisierungsbedarfe in Richtung Architektur und Regelwerk für die Kommunikation, bezüglich der Datensicherheit sowie hinsichtlich rechtlicher Rahmenbedingungen oder weitergehender Forschungsbedarfe, etwa für die konkreten Zusammenarbeitsmodelle von Mensch und Maschine.<sup>106</sup> In Summe belegen die Ausfüh-

---

<sup>104</sup> Vgl. Weber; Schmidtman; Hong; Mainusch; Schäfer (2016), S. 235; Manzei (2016b), S. 245.

<sup>105</sup> Vgl. Wehberg (2016), S. 339ff.

<sup>106</sup> Vgl. Dais (2017), S. 266f; Huber (2016), S. 294.



rungen, dass sich infolge von Industrie 4.0 große Potenziale ergeben. Ob die schrittweise Umsetzung dieser Potenziale letztlich zu einer Evolution oder Revolution der Industrie führen wird, kann aus heutiger Sicht nur vermutet werden. Viele Faktoren sprechen mit Blick auf die Entwicklungen rund um das Internet jedoch dafür, dass am Ende dieser Bewegung die vierte industrielle Revolution stehen wird.<sup>107</sup>

Anknüpfend an die hergeleiteten Potenzialanwendungen aus Industrie 4.0 sind operative Projekte für die Beurteilung und Umsetzung wirtschaftlicher Implementierungslösungen aufzusetzen. Mithilfe einer zielstrebigen strategischen Planung kann somit die Wettbewerbsfähigkeit von Lieferketten gestärkt werden.

---

<sup>107</sup> Vgl. Dais (2017), S. 259f.

## Literaturverzeichnis

### Schriftquellen

**Andelfinger, Volker; Hänisch, Till (2015):** Grundlagen: Das Internet der Dinge. In: Andelfinger, Volker; Hänisch, Till (Hrsg.): Internet der Dinge. Technik, Trends und Geschäftsmodelle. Wiesbaden: Springer Gabler Verlag, S. 9-76.

**Banthien, Henning; Senff, Daniel (2016):** Plattform Industrie 4.0 – Ein Schulterchluss von Politik, Wirtschaft, Gewerkschaften und Wissenschaft. In: Manzei, Christian; Schleupner, Linus; Heinze, Roland (Hrsg.): Industrie 4.0 im internationalen Kontext. Kernkonzepte, Ergebnisse, Trends. Berlin, Offenbach: VDE Verlag GmbH, S.134-137.

**Bauernhansl, Thomas (2017):** Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma. In: Vogel-Heuser, Birgit; Bauernhansl, Thomas; Hompel, Michael ten (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0. Band 4. Allgemeine Grundlagen. Berlin: Springer-Verlag, 2. Auflage, S. 1-32.

**Baumgarten, Helmut (2008):** Das Beste der Logistik - Auf dem Weg zu logistischer Exzellenz. In: Baumgarten, Helmut (Hrsg.): Das Beste der Logistik. Innovationen, Strategien, Umsetzungen. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, S. 11-22.

**BITKOM e.V.; VDMA e.V.; ZVEI e.V. (Hrsg.) (2015):** Umsetzungsstrategie Industrie 4.0. Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0. Berlin, Stand April 2015.

**BITKOM e.V.; Fraunhofer Institut (Hrsg.) (2014):** Industrie 4.0. Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. Studie. Berlin, Stand April 2014.

**Brühl, Volker (2015):** Wirtschaft des 21. Jahrhunderts. Herausforderungen in der Hightech-Ökonomie. Wiesbaden: Springer Gabler Verlag.

**Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.) (2014):** Die neuen Hightech-Strategie. Innovationen für Deutschland. Berlin, Stand August 2014.

**Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.) (2010):** Ideen. Innovationen. Wachstum. Hightech-Strategie 2020 für Deutschland. Bonn, Stand Juni 2010.

**Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.) (2015a):** Industrie 4.0 und digitale Wirtschaft. Impulse für Wachstum Beschäftigung und Innovation. Berlin, Stand April 2015.

**Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.) (2015b):** Industrie 4.0. Volks- und betriebswirtschaftliche Faktoren für den Standort Deutschland. Eine Studie im Rahmen der Begleitforschung zum Technologieprogramm AUTONOMIK für Industrie 4.0. Berlin, Stand März 2015.

**Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; Bundesministerium des Inneren; Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.) (2014):** Digitale Agenda 2014 - 2017. Berlin, Stand August 2014.

**Buyya, Rajkumar; Calheiros, Rodrigo; Dastjerdi, Amir Vahid (2016):** Big Data. Principles and Paradigms. Cambridge: Morgan Kaufmann, Verlag von Elsevier.

**Conway, Edmund (2009):** Wirtschaftswissenschaft. 50 Schlüsselideen. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

**Dais, Sigfried (2017):** Industrie 4.0 – Anstoß, Vision, Vorgehen. In: Vogel-Heuser, Birgit; Bauernhansl, Thomas; ten Hompel, Michael (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0. Band 4. Allgemeine Grundlagen. Berlin: Springer-Verlag, 2. Auflage, S. 259-268.

**Fastermann, Petra (2016):** 3D-Drucken. Wie die generative Fertigungstechnik funktioniert. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

**Finkenzeller, Klaus (2015):** RFID-Handbuch. Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern, kontaktlosen Chipkarten und NFC. München: Karl Hanser Verlag, 7., aktualisierte und erweiterte Auflage.

**Fraunhofer Institut (Hrsg.) (2014):** Topthema Cyber-physical Systems. Dinge mobilisieren. In: Logistik entdecken. Magazin des Fraunhofer Instituts für Materialfluss und Logistik IML Dortmund. Dortmund: Heft 15 (Februar 2014), S. 6-9.

**Gassmann, Oliver; Wecht, Christoph (2013):** Technologiestrategie: Von der Vision zur Aktion. In: Gassmann, Oliver; Sutter, Philipp (Hrsg.): Praxiswissen Innovationsmanagement. Von der Idee zum Markterfolg. München: Carl Hanser Verlag, 3., überarbeitete und erweiterte Auflage, S. 25-36.

**Gerberich, Thorsten (2011):** Lean oder MES in der Automobilzulieferindustrie. Ein Vorgehensmodell zur fallspezifischen Auswahl. Wiesbaden: Gabler Verlag.

**Göpfert, Ingrid; Grünert, Marc; Schmid, Nico André (2016):** Logistiknetze der Zukunft – Das neue Hersteller-Zulieferer-Verhältnis in der Automobilindustrie. In: Göpfert, Ingrid (Hrsg.): Logistik der Zukunft. Logistics for the Future. Wiesbaden: Springer Gabler Verlag, 7., aktualisierte und erweiterte Auflage, S. 175-218.

**Göpfert, Ingrid; Schulz, Matthias; Wellbrock, Wanja (2013):** Trends in der Automobillogistik. In: Göpfert, Ingrid; Braun, David; Schulz, Matthias (Hrsg.): Automobillogistik. Stand und Zukunftstrends. Wiesbaden: Springer Gabler Verlag, 2., aktualisierte und erweiterte Auflage, S. 1-26.

**Gudehus, Timm (2010):** Logistik. Grundlagen, Strategien, Anwendungen. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 4., aktualisierte Auflage.

**Heng, Stefan (2014):** Industrie 4.0 bietet mehr als Kostensenkung. In: Deutsche Bank Research (Hrsg.): Aktuelle Themen Deutschland. Industrie 4.0. Upgrade des Industriestandorts Deutschland steht bevor. Frankfurt: Stand Februar 2014, S. 7-8.

**Herstatt, Cornelius; Verworn, Birgit (2007):** Die frühen Phasen des Innovationsprozesses. Bedeutung und Charakteristika der frühen Phase des Innovationsprozesses. In Herstatt, Cornelius; Verworn, Birgit (Hrsg.): Management der frühen Innovationsphasen. Grundlagen – Methoden – neue Ansätze. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2., überarbeitete und erweiterte Auflage, S. 3-22.

**Hompel, Michael ten; Kerner, Sören (2015):** Logistik 4.0. Die Vision vom Internet der autonomen Dinge. In: Informatik Spektrum, Juni 2015, Band 38, Ausgabe 3. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, S. 176-182.

**Hoppe, Frank (2015):** Wertschöpfungsketten in der Industrie 4.0. In: Schäfer, Stephan; Pinnow, Carsten (Hrsg.): Industrie 4.0. Grundlagen und Anwendungen. Branchentreff der Berliner Wissenschaft und Industrie. Berlin: Beuth Verlag, S. 267-276.

**Huber, Walter (2016):** Industrie 4.0 in der Automobilindustrie. Ein Praxishandbuch. Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag.

**Jehle, Egon (1993):** Value-Management (Wertanalyse) als Instrument des Logistik-Controlling. In: Männel, Wolfgang (Hrsg.): Logistik-Controlling. Konzepte, Instrumente, Wirtschaftlichkeit. Wiesbaden: Gabler-Verlag, S. 189-204.

**Jünemann, Reinhardt (1989):** Materialfluss und Logistik. Systemtechnische Grundlagen mit Praxisbeispielen. Berlin: Springer-Verlag.

**Kaufmann, Timothy (2015):** Geschäftsmodelle in Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge. Der Weg vom Anspruch in die Wirklichkeit. Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag.

**Klein, Georg (2009):** Visual Tracking for Augmented Reality: Edge-based tracking techniques for AR applications. Saarbrücken: VDM Verlag Dr. Müller.

**Kletti, Jürgen (2015):** Die Anforderungen an die moderne Produktion. In: Kletti, Jürgen (Hrsg.): MES – Manufacturing Execution System. Moderne Informationstechnologie unterstützt die Wertschöpfung. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg Verlag, 2. Auflage, S. 1-18.

**Kletti, Jürgen (2007):** Manufacturing Execution System - MES. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

**Klug, Florian (2010):** Logistikmanagement in der Automobilindustrie. Grundlagen der Logistik im Automobilbau. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

**Kurbel, Karl (2013):** Enterprise Resource Planning and Supply Chain Management. Functions, Business Processes and Software for Manufacturing Companies. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

**Liebl, Franz (2000):** Der Schock des Neuen: Entstehung und Management von Issues und Trends. München: Gerling Akademie Verlag.

**Manzei, Christian (2016a):** Einführung und Überblick. In: Manzei, Christian; Schlepner, Linus; Heinze, Ronald (Hrsg.): Industrie 4.0 im internationalen Kontext. Kernkonzepte, Ergebnisse, Trends. Berlin, Offenbach: VDE Verlag, S. 9-16.

**Manzei, Christian (2016b):** Ein Blick nach vorn. In: Manzei, Christian; Schlepner, Linus; Heinze, Ronald (Hrsg.): Industrie 4.0 im internationalen Kontext. Kernkonzepte, Ergebnisse, Trends. Berlin, Offenbach: VDE Verlag, S. 240-245.

**Mell, Peter; Grance, Timothy (2011):** The NIST Definition of Cloud Computing. In: National Institut of Standards and Technology (Hrsg.): NIST Special Publication 800-145. Gaithersburg: Computer Security Division, Information Technology Laboratory, National Institut of Standards and Technology, S. 1-3.

**Michels, Jan Stefan (2016):** Industrial Connectivity und Industrial Analytics, Kernbausteine der Fabrik der Zukunft. In: Sandler, Ulrich (Hrsg.): Industrie 4.0 grenzenlos. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, S. 245-270.

**Nagel, Kurt; Erben, Roland; Piller, Frank (1999):** Informationsrevolution und Industrielle Produktion. Eine einführende Betrachtung. In: Nagel, Kurt; Erben, Roland; Piller, Frank (Hrsg.): Produktionswirtschaft 2000. Perspektiven für die Fabrik der Zukunft. Wiesbaden: Gabler Verlag, S. 3-34.

**Obermaier, Robert (2016):** Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe: Strategische und operative Handlungsfelder für Industriebetriebe. In: Obermaier, Robert (Hrsg.): Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe. Betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 3-34.

**Pfeiffer, Werner; Weiß, Enno; Volz, Thomas; Wettengl, Steffen (1997):** Funktionalmarkt-Konzept zum strategischen Management prinzipieller technologischer Innovationen. Innovative Unternehmensführung Band 28. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.

**Pfohl, Hans-Christian (2016):** Logistikmanagement. Konzeption und Funktionen. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 3., neu bearbeitete und aktualisierte Auflage.

**Pfohl, Hans-Christian (2010):** Logistiksysteme. Betriebswirtschaftliche Grundlagen. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 8., neu bearbeitete und aktualisierte Auflage.

**Plowman, Edward Grosvenor (1964):** Lectures on elements of business logistics. Stanford transportation series. Stanford: Stanford University, Graduate school of Business.

**PricewaterhouseCoopers AG (Hrsg.) (2014):** Industrie 4.0 – Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution. Studie zu Industrie 4.0. München: Stand Oktober 2014.

**Prognos (Hrsg.) (2016):** Endbericht. Lage und Zukunft der deutschen Industrie (Perspektive 2030). Projekt Nr. 19/15. München: Prognos AG im Auftrag des BMWi, Stand Januar 2016.

**Rayes, Ammar; Salam, Samer (2017):** Internet of Things. From Hype to Reality. The Road to Digitalization. Cham: Springer International Publishing AG.

**Roland Berger; BDI (Hrsg.) (2015):** Die digitale Transformation der Industrie. Eine europäische Studie der Roland Berger Strategy Consultants im Auftrag des BDI. München, Berlin: Stand Februar 2015.

**Roth, Armin (2016):** Industrie 4.0 – Hype oder Revolution. In: Roth, Armin (Hrsg.): Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, S. 1-16.

**Rügge, Ingrid (2006):** Mobile Solutions. Einsatzpotenziale, Nutzungsprobleme und Lösungsansätze. Mobile Research Center der Universität Bremen unter den Hrsg.: Herzog, Otthein; Görg, Camelita; Scholz-Reiter, Bernd; Glotzbach, Ulrich. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag.

**Schlatt, Anja (2014):** Pick-by-Vision – mehr Durchblick bei der Kommissionierung. Genios Wirtschaftswissen Nr. 08, vom 29.08.2014. In: Genios Verlag (Hrsg.) (2015): GBI Genios. Wirtschaftswissen. Ausgewählte Themen und Diskussionen, Jahrgänge 2006-2014. München: Genios Verlag, S. 4406-4411.

**Schuh, Günther; Schmidt, Carsten (2014):** Grundlagen des Produktionsmanagements. In: Schuh, Günther; Schmidt, Carsten (Hrsg.): Produktionsmanagement. Handbuch Produktion und Management 5. Berlin, Heidelberg: Springer-Vieweg Verlag, 2. Auflage, S. 1-62.

**Sendler, Ulrich (2016):** Teil 1 Grundlagen - Einleitung, Die Grundlagen, Wichtige Technologien, Die Initiative in Deutschland, USA, Wiederaufstieg Chinas. In: Sendler, Ulrich (Hrsg.): Industrie 4.0 grenzenlos. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, S. 1-90.

**Shubin, Tian; Zhi, Pan (2016):** „Made in China 2025“ und „Industrie 4.0“ – Gemeinsam in Bewegung. In: Sendler, Ulrich (Hrsg.): Industrie 4.0 grenzenlos. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, S. 91-118.

**Siepmann, David (2016):** Industrie 4.0 – Struktur und Historie. In: Roth, Armin (Hrsg.): Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, S. 17-34.

**Vahs, Dietmar; Brem, Alexander (2015):** Innovationsmanagement: Von der Produktidee zur erfolgreichen Vermarktung. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 5. Auflage.

**Walter, Stefan (2003):** Logistik in Dienstleistungsunternehmen. Entwicklung einer prozessorientierten Konzeption. Berlin: Dt. Universitäts-Verlag.

**Weber, Uwe; Schmidtman, Verena; Hong, Nhut Ajat; Mainusch, Amelie; Schäfer, Victoria (2016):** Umsetzung von Industrie 4.0 im eigenen Unternehmen. In: Manzei, Christian; Schleupner, Linus; Heinze, Ronald (Hrsg.): Industrie 4.0 im internationalen Kontext. Kernkonzepte, Ergebnisse, Trends. Berlin, Offenbach: VDE Verlag, S. 233-239.

**Wehberg, Götz (2016):** Logistik 4.0 – die sechs Säulen der Logistik der Zukunft. In: Göpfert, Ingrid (Hrsg.): Logistik der Zukunft. Logistics for the Future. Wiesbaden: Springer Gabler Verlag, 7., aktualisierte und erweiterte Auflage, S. 319-344.

**Wehinger, Jan (2016):** Industrie 4.0 – den Wandel aktiv gestalten: digitale Transformation auf Basis des Digitalframeworks und Ableitung neuer Geschäftsmodelle. In: Proff, Heike; Fojcik, Thomas Martin (Hrsg.): Nationale und internationale Trends in der Mobilität. Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 423-434.

## Internetquellen

**Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.) (2016):** Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Auf: <https://www.bmbf.de/de/zukunftsprojekt-industrie-4-0-848.html> (Stand 12.11.2016).

**Bundesministerium für Bildung und Forschung; Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.) (2016a):** Plattform Industrie 4.0 und das Industrial Internet Consortium vereinbaren Kooperation. Auf: <https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2016/2016-03-02-kooperation-iic.html> (Stand 22.11.2016).

**Bundesministerium für Bildung und Forschung; Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.) (2016b):** Plattform Industrie 4.0. Landkarte Industrie 4.0. Auf: <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/Karte/SiteGlobals/Forms/Formulare/karte-anwendungsbeispiele-formular.html> (Stand 29.12.2016).

**Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.) (2016):** Industrie 4.0: Digitalisierung der Wirtschaft. Auf: <https://www.bmwi.de/DE/Themen/Industrie/industrie-4-0.html> (Stand 14.11.2016).

**Gartner Inc. (Hrsg.) (2017):** Gartner IT Glossary: Big Data. Auf: <http://www.gartner.com/it-glossary/big-data/> (Stand 07.01.2017).

**Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2015):** Anteil der Industrie am BIP seit 20 Jahren nahezu konstant. Pressemitteilung Nr. 124 vom 08.04.2015. Auf: [https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2015/04/PD15\\_124\\_811.html](https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2015/04/PD15_124_811.html) (Stand 31.12.2016).



## Kurzporträt der Autoren

Simon Matuszczyk, MBA&Eng.

Simon Matuszczyk schloss 2011 das duale Bachelorstudium zum Wirtschaftsingenieur an der Nordakademie Elmshorn in Kooperation mit der Daimler AG ab. Nach diversen Funktionen im Rahmen der Leichtbau-Industrialisierung im Mercedes-Benz Werk Hamburg wechselte er 2016 in die internationale Logistikplanung des Mercedes-Benz Werks Düsseldorf. Nebenberuflich absolvierte Simon Matuszczyk von 2014 bis 2017 den Masterstudiengang der Fachrichtung Wirtschaftsingenieurwesen an der Fachhochschule Münster.

Prof. Dr. Markus G. Schwering, Diplom-Kaufmann

Nach seinem Studium der Betriebswirtschaftslehre an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster war Schwering zunächst an der Universität Flensburg und danach am renommierten Institut für angewandte Innovationsforschung in Bochum tätig. An der Ruhr-Universität promovierte er berufsbegleitend zum Dr. rer. oec., 2006 folgte Schwering einem Ruf an die FH Münster. Dort verantwortet er seither das Lehr- und Forschungsgebiet Technologie- und Innovationsmanagement am Institut für Technische Betriebswirtschaft. Seit 2017 leitet er an der Hochschule als Dekan die zentrale wissenschaftliche Einrichtung Münster Centrum für Interdisziplinarität (MCI) und ist Mitglied im Institut für Prozessmanagement und Digitale Transformation (IPD).

## Kontakt

Prof. Dr. rer. oec. Markus G. Schwering  
Fachhochschule Münster  
Institut für Technische Betriebswirtschaft (ITB)  
Bismarckstraße 11  
48565 Steinfurt

Telefon	+49 2551 9-62760
Fax	+49 2551 9-62707
E-Mail	<a href="mailto:m.schwering@fh-muenster.de">m.schwering@fh-muenster.de</a>
Internet	<a href="http://www.fh-muenster.de/itb/">www.fh-muenster.de/itb/</a>

## ITB-Arbeitsberichte

Bisher erschienen sind:

- Band 1:       Wirtschaftsingenieurwesen - Gegenstand, Ausbildung und Praxis
- Band 2:       The Uber-Driver Digital Transformation - B2B the Next Generation of B2C
- Band 3:       Führen am Ort der Wertschöpfung
- Band 4:       Enterprise-Wikis als Plattform für ein prozessorientiertes Wissensmanagement
- Band 5:       Zur Psychologie des Geldes. Beispielhafte Auswirkungen bei finanziellen Engpässen und der Digitalisierung
- Band 6:       The psychology of money. Impacts of financial constraints and the digital economy
- Band 7:       Integration von Industrie 4.0 in das Supply Chain Management