

Industrie 4.0: Marketingkampagne oder Revolutionsbeginn?

Prof. Dr. Eric Sucky, Matthias Gampl, Alexander Ruh,
Nina Stelzer und Julian Weidinger

Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insb. Produktion und Logistik,
Otto-Friedrich-Universität Bamberg, Feldkirchenstr. 21, 96052 Bamberg,
eric.sucky@uni-bamberg.de

1	Einleitung.....	239
2	Industrie 4.0 – eine erste Begriffsannäherung.....	239
3	Literaturrecherche zu Industrie 4.0.....	241
4	Industrie 4.0 – Basiskomponenten.....	245
5	Industrie 4.0 – Wo führt der Weg hin?.....	247
6	Industrie 4.0 – eine abschließende Begriffsdefinition.....	250
7	Kritische Würdigung und Ausblick.....	252
8	Literatur.....	254

Abstract:

Wird nach einer aussagefähigen Definition des Begriffs ‚Industrie 4.0‘ gesucht, so zeigt sich zunächst, dass ‚Industrie 4.0‘ ein Marketingbegriff ist, der für ein Zukunftsprojekt der deutschen Bundesregierung steht. Als Marketingbegriff entzieht sich ‚Industrie 4.0‘ jedoch dann einer wissenschaftlichen Präzisierung. Darüber hinaus hat sich der Begriff ‚Industrie 4.0‘ zwar in Deutschland gefestigt, in anderen Ländern ist er jedoch unbekannt. Ziel des vorliegenden Beitrags ist es daher, auf der Basis vorhandener Begriffserklärungen, -erläuterungen und -definitionen eine umfassende Definition zu entwickeln und damit die wissenschaftliche Präzisierung voranzutreiben.

„Das 20. Jahrhundert mobilisierte Menschen – das 21. mobilisiert Dinge“

Prof. Michael ten Hompel¹

1 Einleitung

Wird nach einer aussagefähigen Definition des Begriffs ‚Industrie 4.0‘ gesucht, so vermerkt das Gabler Wirtschaftslexikon, dass Industrie 4.0 ein Marketingbegriff sei, der auch in der Wissenschaftskommunikation verwendet wird und der für ein ‚Zukunftprojekt‘ der deutschen Bundesregierung steht.² Als Marketingbegriff entzieht sich ‚Industrie 4.0‘ – wie ‚Web 2.0‘ und ‚Web 3.0‘ – demnach dann auch ein Stück weit einer wissenschaftlichen Präzisierung.³ Darüber hinaus hat sich der Begriff ‚Industrie 4.0‘ zwar in Deutschland gefestigt, in den USA beispielsweise ist er jedoch unbekannt.⁴ Die VDI Nachrichten kommen daher zu dem Schluss: Wer eine allgemein gültige Definition sucht, der sucht vergebens.⁵

Ziel des vorliegenden Beitrags ist es, auf der Basis vorhandener Begriffserklärungen, -erläuterungen und -definitionen eine umfassende Definition zu entwickeln und damit die wissenschaftliche Präzisierung voranzutreiben.

Zur Erreichung dieser Zielsetzung dient der folgende Aufbau. Zunächst wird aus den vorhandenen Definitionen eine gültige Arbeitsdefinition ausgewählt. Anschließend folgt ein Literaturüberblick bezüglich der bisherigen Verbreitung des Begriffs ‚Industrie 4.0‘ in der Wissenschaft. Im nächsten Schritt stehen die Technologien, die für die Realisierung der Vision ‚Industrie 4.0‘ grundlegend sind, im Mittelpunkt. Darauf aufbauend werden zukünftige Veränderungen und Herausforderungen im Produktionsumfeld und der Logistik ausgeführt. Auf Grundlage der bisher durchgeführten Schritte sowie vorhandener Literatur erfolgt die finale Begriffsbestimmung von ‚Industrie 4.0‘. Eine kritische Würdigung und ein Ausblick schließen diesen Beitrag ab.

2 Industrie 4.0 – eine erste Begriffsannäherung

Eine der ersten Erwähnungen findet der Begriff ‚Industrie 4.0‘ im Rahmen der Hannover Messe 2011,⁶ wobei unter der ‚4. industriellen Revolution‘ bzw. ‚Industrie 4.0‘ der zunehmende Einsatz Cyber-Physischer Systeme im industriellen Umfeld

¹ <http://www.doag.org/home/aktuelle-news/article/michael-ten-hompel-das-20-jahrhundert-mobilisierte-menschen-das-21-mobilisiert-dinge.html>

² <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/-2080945382/industrie-4-0-v1.html>

³ <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/-2080945382/industrie-4-0-v1.html>

⁴ <http://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Gesellschaft/Industrie-40-deutscher-Begriff>

⁵ <http://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Gesellschaft/Industrie-40-Revolution-Pruefstand>

⁶ Vgl. Herkommer/Hieble (2014), S. 44.

verstanden wird.⁷ Im Vergleich zur dritten industriellen Revolution besitzt die IT nicht mehr nur einen Unterstützungscharakter, sondern trägt dann direkt zur Selbststeuerung der Produktionsprozesse bei (vgl. Abbildung 1).

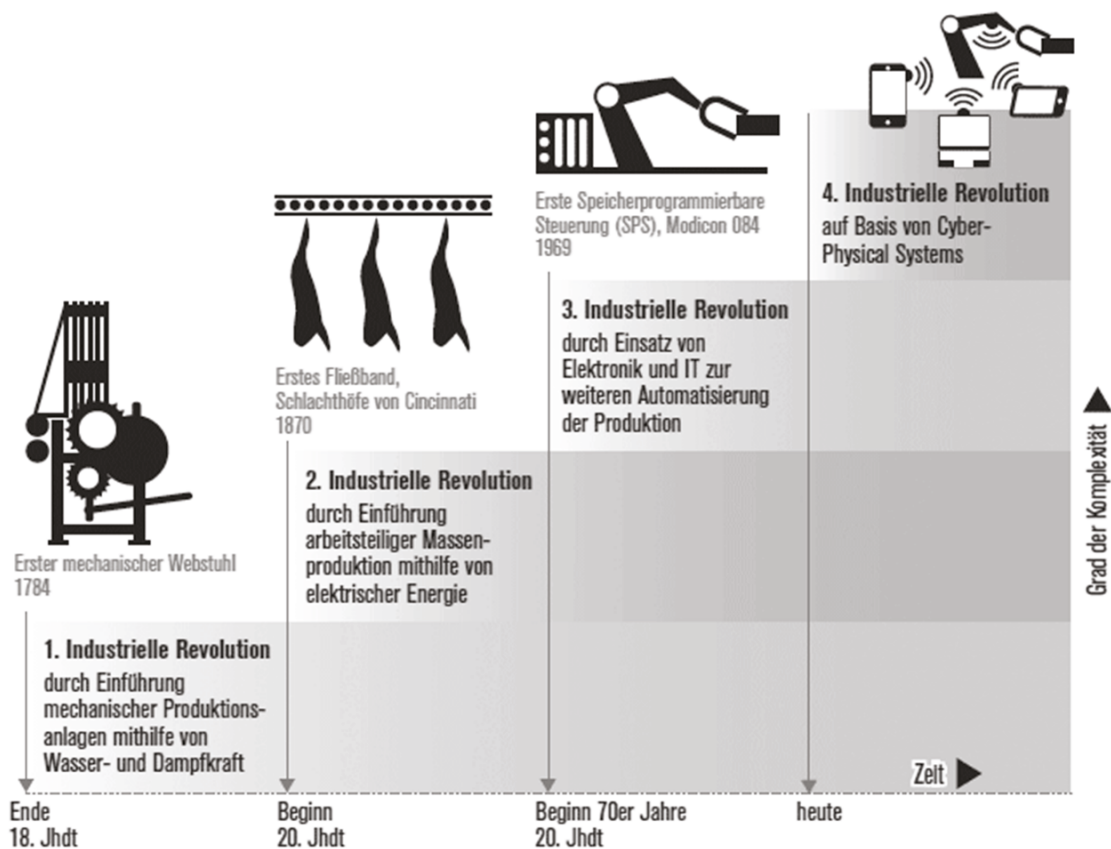


Abbildung 1: Die vier Stufen der industriellen Revolution⁸

Es existiert für ‚Industrie 4.0‘ derzeit noch keine allgemeingültige Definition. Daher werden im Folgenden zunächst drei aktuell vorhandene Begriffsdefinitionen vorgestellt. So formuliert das Bundesministerium für Bildung und Forschung:⁹

Die Wirtschaft steht an der Schwelle zur vierten industriellen Revolution. Durch das Internet getrieben, wachsen reale und virtuelle Welt immer weiter zu einem Internet der Dinge zusammen. Die Kennzeichen der künftigen Form der Industrieproduktion sind die starke Individualisierung der Produkte unter den Bedingungen einer hoch flexibilisierten (Großserien-)Produktion, die weitgehende Integration von Kundinnen und Kunden sowie Geschäftspartnerinnen und -partnern in Geschäfts- und Wertschöpfungsprozesse und die Verkopplung von Produktion und hochwertigen Dienstleistungen, die in sogenannten hybriden Produkten mündet. Die deutsche Industrie hat jetzt die Chance, die vierte industrielle Revolution aktiv mitzugestalten. Mit dem Zukunftsprojekt Industrie 4.0 wollen wir diesen Prozess unterstützen.

⁷ Vgl. Schlick et al. (2012), S. 31.

⁸ Quelle: Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz. Vgl. auch Schlick et al. (2012), S. 31.

⁹ Bundesministerium für Bildung und Forschung (2015).

Der Lenkungskreis der Plattform Industrie 4.0, bestehend aus den drei Branchenverbänden ZVEI, VDMA und BITKOM, formuliert:¹⁰

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. Dieser Zyklus orientiert sich an zunehmend individualisierten Kundenwünschen und erstreckt sich von der Idee, dem Auftrag über die Entwicklung und Fertigung, die Auslieferung eines Produkts an den Endkunden bis hin zum Recycling, einschließlich der damit verbundenen Dienstleistungen. Basis ist die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit durch Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen sowie die Fähigkeit, aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten. Durch die Verbindung von Menschen, Objekten und Systemen entstehen dynamische, echtzeitoptimierte und selbst organisierende, unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke, die sich nach unterschiedlichen Kriterien wie bspw. Kosten, Verfügbarkeit und Ressourcenverbrauch optimieren lassen.

Die Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft formuliert folgende Definition:¹¹

Industrie 4.0 meint im Kern die technische Integration von CPS in die Produktion und die Logistik sowie die Anwendung des Internets der Dinge und Dienste in industriellen Prozessen – einschließlich der sich daraus ergebenden Konsequenzen für die Wertschöpfung, die Geschäftsmodelle sowie die nachgelagerten Dienstleistungen und die Arbeitsorganisation.

Während das Bundesministerium für Bildung und Forschung in ‚Industrie 4.0‘ eher eine Entwicklung, eine Strategie oder ein Projekt sieht, fokussiert die Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft auf den Einsatz von Cyber-Physischen Systemen in industriellen Prozessen. Für den vorliegenden Beitrag wird daher die Definition des Lenkungskreises der Plattform Industrie 4.0 als Arbeitsdefinition zugrunde gelegt, da sie sowohl die technologische als auch die kundenorientierte Sichtweise umfasst, welche in den folgenden Kapiteln näher erläutert werden. Allerdings weist diese Definition die Schwachstelle auf, dass Cyber-Physische Systeme als Enabler von ‚Industrie 4.0‘ nicht direkt genannt werden.

3 Literaturrecherche zu Industrie 4.0

Um den aktuellen Stand der wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit ‚Industrie 4.0‘ aufzuzeigen, wird die nachfolgend dokumentierte Literaturrecherche durchgeführt. Die Darstellung der Ergebnisse wird dabei auf die vier Datenbanken EBSCO,

¹⁰ Plattform Industrie 4.0 (2013).

¹¹ Kagermann et al. (2013), S. 18.

ECONIS, ACM und SCOPUS begrenzt.¹² Andere Datenbanken liefern keine relevanten Ergebnisse. Zudem beschränkt sich die Recherche auf wissenschaftlichen Artikeln, um den hier gewählten Fokus auf die Thematik ‚Industrie 4.0‘ zu gewährleisten. Die zunehmende Relevanz lässt sich bereits bei Google Trends erkennen (vgl. Abbildung 2).

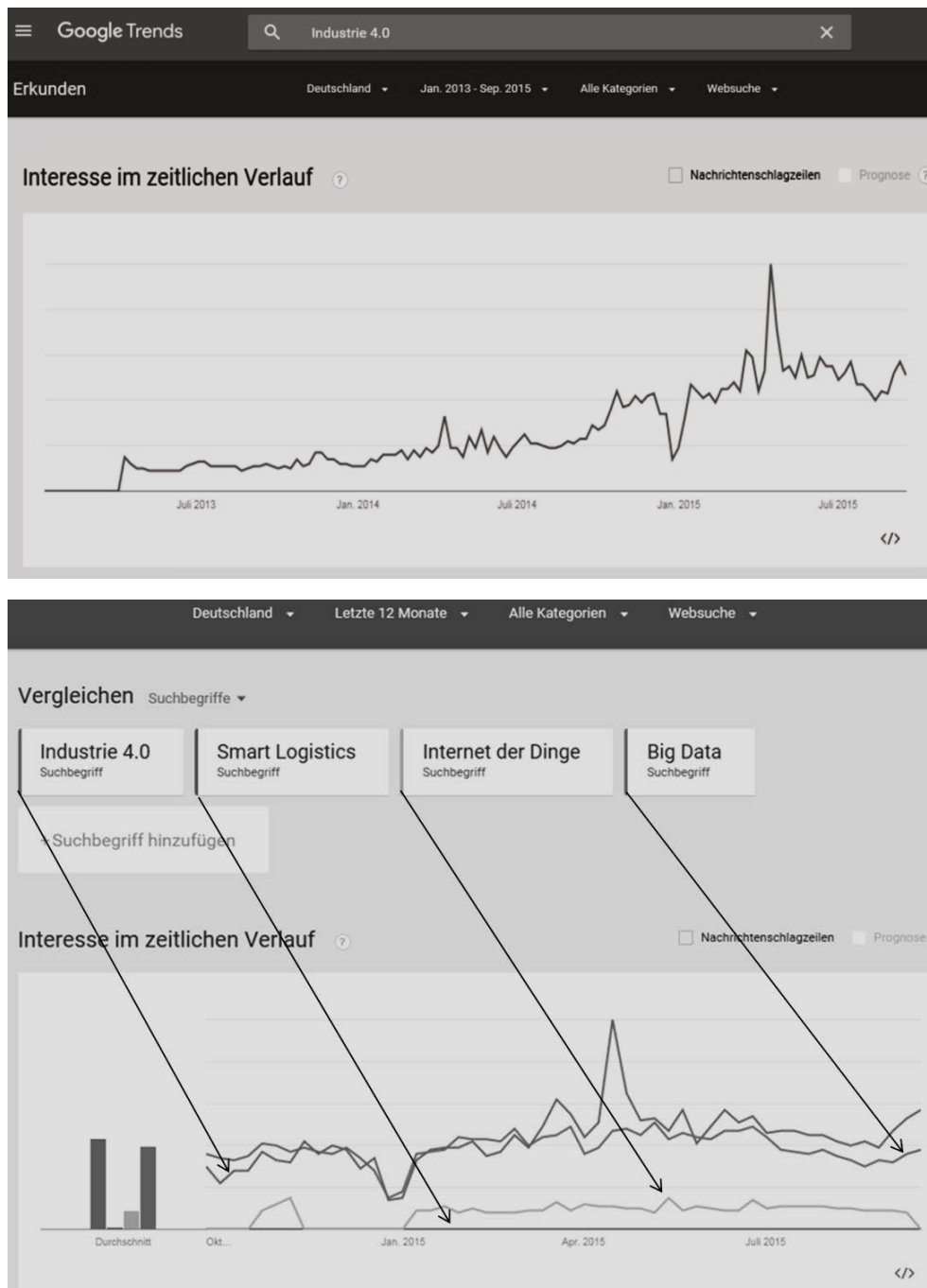


Abbildung 2: Interesse an ‚Industrie 4.0‘ gemäß Google Trends

In einem ersten Schritt werden die einzelnen Datenbanken nach den Schlagwörtern ‚Industrie 4.0‘ und ‚Industry 4.0‘ durchsucht. Die Ergebnisse zeigen, dass außerhalb des deutschen Sprachraums der Begriff ‚Industrie 4.0‘ kaum Verbreitung findet. Im

¹² EBSCO Industries, Inc. (2014), Association for Computing Machinery, Inc. (2014), ZBW - Deutsche Zentralbibliothek für Wirtschaftswissenschaften (2014), Elsevier B.V. (2014).

Rahmen einer näheren Untersuchung werden angezeigte Treffer, die auf fehlerhaften Suchalgorithmen beruhen, als nicht relevant eingestuft.

Im zweiten Schritt werden die Datenbanken hinsichtlich der im Kontext von ‚Industrie 4.0‘ häufig vorkommenden Begriffe durchsucht. Hierzu zählen u. a. Big Data‘, ‚Internet der Dinge‘, ‚Cyber-Physische Systeme‘ und ‚Smart Logistics‘. Die beiden Schlagwörter ‚Internet der Dinge‘ und ‚Cyber-Physische Systeme‘ werden sowohl im Deutschen als auch im Englischen mit in die Suche einbezogen.

Darüber hinaus erfolgt, wenn möglich, eine kombinierte Suche der einzelnen Schlagwörter mit den Begriffen ‚Industrie 4.0‘ bzw. ‚Industry 4.0‘. Dies wird lediglich durch die Datenbanken EBSCO und SCOPUS ermöglicht.

Parameter Datenbanken	Suchbegriff		relevante Artikel	
	Industrie 4.0	Industry 4.0	Industrie 4.0	Industry 4.0
EBSCO	2	1	1	1
ECONIS	17	0	11	0
ACM	0	1	0	0
SCOPUS	19	27	18	25

Tabelle 1: Datenbankrecherche ‚Industrie 4.0‘ und ‚Industry 4.0‘

Die Ergebnisse der Tabellen 2 und 3 zeigen, dass die einzelnen Schlagwörter für sich bereits eine hohe Relevanz in der Wissenschaft besitzen. Allerdings finden sie in Verbindung mit der Thematik ‚Industrie 4.0‘ noch kaum Beachtung. Anzumerken ist weiterhin, dass die Ergebnisse bei der kombinierten Suche in SCOPUS differenziert zu betrachten sind, da die Datenbank teilweise Suchbegriffe eigenständig übersetzt.

		SUCHBEGRIFF					
		Big Data	Internet der Dinge		Cyber-Physische Systeme		Smart Logistics
		(engl.)	(deut.)	(engl.)	(deut.)	(engl.)	(engl.)
DATENBANK	EBSCO	704	1	198	0	68	0
	ECONIS	166	51	56	0	2	6
	ACM	1237	6	1149	0	38	11
	SCOPUS	3293	78	3708	0	73	27

Tabelle 2: Datenbankrecherche zu den Kontextbegriffen von ‚Industrie 4.0‘

			SUCHBEGRIFF						
			Big Data		Internet der Dinge		Cyber-Physische Systeme		Smart Logistics
			(engl.)	(deut.)	(engl.)	(deut.)	(engl.)	(engl.)	
in Verbindung mit									
DATENBANK	EBSCO	Industrie 4.0	1	0	1	0	1	0	
		Industry 4.0	1	-	1	-	0	0	
	SCOPUS	Industrie 4.0	3	8	8	0	0	0	
		Industry 4.0	2	-	8	-	0	0	

Tabelle 3: Ergebnisse der kombinierten Suche

Vor dem Hintergrund, dass SCOPUS die meisten relevanten Artikel in deutscher Sprache aufweist (vgl. Tabelle 1), wird bei diesen eine weitergehende Untersuchung vorgenommen. Bezugnehmend auf die Aktualität der Thematik ‚Industrie 4.0‘ wird zum einen das Jahr der Veröffentlichung näher beleuchtet. Zum anderen werden die einzelnen Artikel auf ihren Forschungsschwerpunkt hin untersucht.

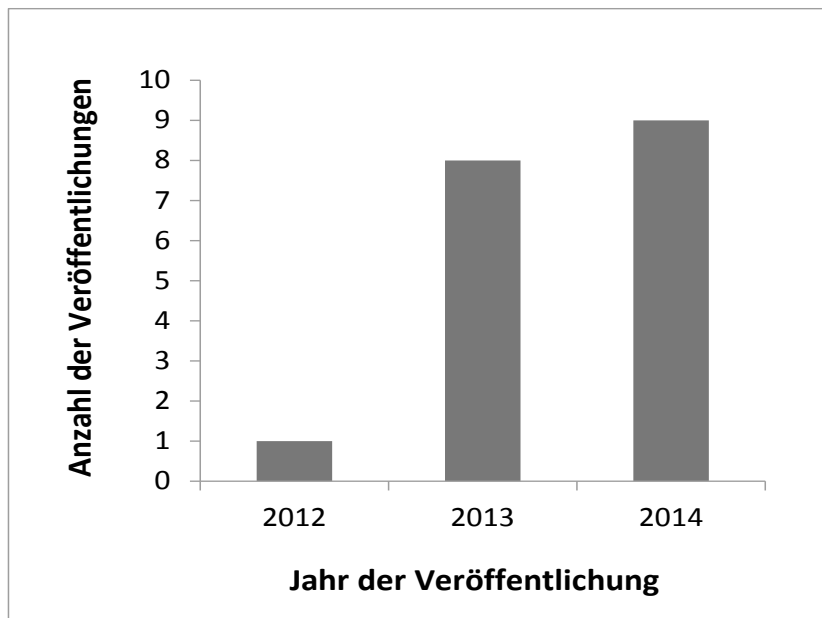


Abbildung 3: Darstellung der relevanten Artikel nach Veröffentlichungsjahr

Seit der ersten Erwähnung des Begriffs ‚Industrie 4.0‘ während der Hannover Messe 2011 zeichnet sich ein positiver Trend bei den veröffentlichten Artikeln ab. Es ist zu erkennen, dass ein signifikanter Anstieg an Publikationen im Jahr 2013 vorliegt. Dieser Trend setzt sich im Jahr 2014 fort und zudem ist anzunehmen, dass diese Entwicklung auch in den nächsten Jahren weiter anhält.

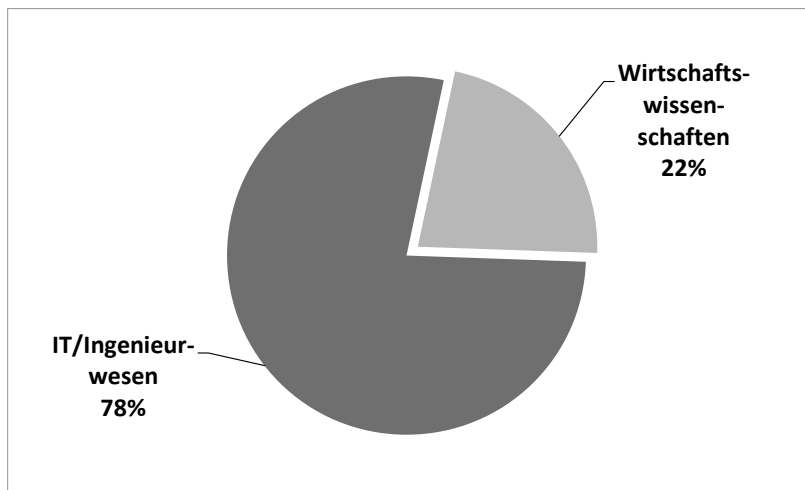


Abbildung 4: Darstellung der relevanten Artikel nach Forschungsschwerpunkt

Hinsichtlich des Forschungsschwerpunkts ist festzustellen, dass dieser insbesondere in den Bereichen Informationstechnik und Ingenieurwesen liegt. Abschließend ist zu erwähnen, dass sich die begrenzte Anzahl an Suchtreffern im Rahmen der Datenbankrecherche durch die bewusst vorgenommene Eingrenzung auf wissenschaftliche Artikel ergibt. In Fachmagazinen wie beispielsweise ‚Best in Procurement‘ sowie ‚Wirtschaftsinformatik und Management‘ ist bereits eine deutlich höhere Anzahl an Beiträgen zur Thematik ‚Industrie 4.0‘ vorzufinden. Dies ist im Vergleich zur Wissenschaft in der kürzeren Zeit bis zur Veröffentlichung und zum anderen in der Nähe zur Industrie begründet.

4 Industrie 4.0 – Basiskomponenten

Das Konstrukt ‚Industrie 4.0‘ setzt sich aus einer Vielzahl von Komponenten zusammen. Sowohl die Komplexität des Themas als auch die Verwendung von ‚Industrie 4.0‘ als Marketingschlagwort führen dazu, dass in diesem Kontext unzählige Schlagworte genannt werden. Die wichtigsten dieser Komponenten sollen nachfolgend beschrieben werden.

4.1 Cyber-Physische Systeme als Kernkomponenten

Als die zentralen Bausteine von ‚Industrie 4.0‘ sind Cyber-Physische Systeme zu sehen.¹³ Sie stellen auch diejenigen Komponenten dar, welche in der überwiegenden Mehrzahl der Veröffentlichungen zu ‚Industrie 4.0‘ genannt werden. Cyber-Physische Systeme werden definiert als „[...] mit einer eigenen dezentralen Steuerung (embedded systems) versehene intelligente Objekte, welche in einem Internet der Daten und Dienste miteinander vernetzt sind und sich selbstständig steuern.“¹⁴ So ist ein PKW zunächst nur ein physisches System, doch, wenn er über das Internet zur Wartungs- und Komponentenkontrolle angebunden ist, wird er zu einem Cyber-

¹³ Vgl. Spath et al. (2013), S. 22.

¹⁴ Spath et al. (2013), S. 23.

Physischen System. Auch ein Handy ist nur ein physisches Gerät, doch der besondere Nutzen entfaltet sich durch die Apps. Damit wird aus dem physischen Gerät ein smartes, mobiles Management-Tool.¹⁵

Mittels Sensoren und Aktoren interagieren Cyber-Physische Systeme mit ihrer physischen Umwelt.¹⁶ Ihre eigene physische Repräsentation verschmilzt so mit ihrer digitalen in den Informationssystemen. Durch die Vereinigung der beiden Repräsentationen der Systeme wird z. B. in der Produktion eine Integration des physischen Materialflusses sowie des digitalen Informationsflusses geschaffen.¹⁷ Ein weiteres wichtiges Merkmal von Cyber-Physischen Systemen ist die gesteigerte Dezentralität. Durch die ständige Vernetzung von Maschinen und Systemen sollen diese in die Lage versetzt werden, miteinander zu kommunizieren und innerhalb gewisser Grenzen auch eigene Entscheidungen treffen zu können.¹⁸ Neben der Dezentralität der Steuerung sollen generell „[...] Dienste, Daten und Funktionen dort gespeichert, zur Verfügung gestellt und ausgeführt werden, wo sie den größten Nutzen haben.“¹⁹

Ein Begriff, der in direkter Verbindung mit dem Konzept der Cyber-Physischen Systeme steht, ist das Internet der Dinge. Dieses entsteht durch die weltweite Vernetzung und Kommunikation der Cyber-Physischen Systeme.²⁰ Die Systeme stellen entsprechend die Dinge innerhalb des Internets der Dinge dar.

4.2 Weitere Basiskomponenten

Eine weitere Basiskomponente von ‚Industrie 4.0‘ sind die nötigen Veränderungen in der Arbeitsorganisation. Trotz des augenscheinlich stark technologiezentrierten Ansatzes von ‚Industrie 4.0‘ ist auch die Integration des Menschen ein Teil des Gesamtkonzepts. Wesentliches Ziel ist dabei, die natürlichen Kompetenzen des Menschen, wie „[...] Intelligenz, Kreativität, Einfühlungsvermögen und Motorik [...]“²¹ in die Arbeitsabläufe einzubinden und die Mitarbeiter so zu „flexibel agierenden Problemlöser[n] [...]“²² zu machen. Durch die Entlastung von Routineaufgaben und die Konzentration auf kreative Tätigkeiten kann die Arbeit sozialer gestaltet und eine Verlängerung des Arbeitslebens ermöglicht werden.²³

Ein weiterer Baustein von ‚Industrie 4.0‘ ist die Standardisierung. Sowohl die Kommunikation der Cyber-Physischen Systeme innerhalb von Unternehmen als auch speziell die horizontale Integration verschiedener Unternehmen bedürfen ein-

¹⁵ <http://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Gesellschaft/Industrie-40-deutscher-Begriff>

¹⁶ Vgl. Kagermann et al. (2013), S. 84.

¹⁷ Vgl. Lasi et al. (2014), S. 262.

¹⁸ Vgl. Herkommer/Hieble (2014), S. 44; Plattform Industrie 4.0 (2014), S. 6.

¹⁹ Forstner/Dümmler (2014), S. 199.

²⁰ Vgl. Kagermann et al. (2013), S. 5.

²¹ Schließmann (2014), S. 451.

²² Bundesministerium für Bildung und Forschung (2014), S. 4.

²³ Vgl. Kagermann et al. (2013), S. 5.

heitlicher Standards.²⁴ Dies stellt nicht nur eine technische und wirtschaftliche, sondern auch eine politische Herausforderung dar, da die Standards ihren Nutzen in der globalisierten Wirtschaft nur dann voll entfalten können, wenn sie globale Gültigkeit besitzen.²⁵

Auch der Bereich Sicherheit spielt eine große Rolle innerhalb des Konzepts ‚Industrie 4.0‘. Dieser gliedert sich in die Bereiche Angriffssicherheit (Security) und Betriebssicherheit (Safety).²⁶ Die Angriffssicherheit bezieht sich auf den Schutz von Informationen gegen Missbrauch. Durch die Integration von physischer und digitaler Welt mittels Cyber-Physischen Systeme gewinnt sie deutlich an Bedeutung. Die Betriebssicherheit beschreibt die „[...] Abwesenheit unvertretbarer Risiken und Gefahren für Menschen und Umgebung durch den Betrieb des Systems.“²⁷ Zu ihr zählen funktionale Sicherheit und Zuverlässigkeit.

Abschließend sind noch Komplementärtechnologien zu nennen, die für das Gelingen des Konzepts ‚Industrie 4.0‘ erfolgskritisch sind. Dies sind unter anderem die Breitbandinfrastruktur, Cloud Computing, Auto-ID Systeme und Big Data.²⁸

Aufgrund des erhöhten Datenanfalls ist eine gut ausgebaute Struktur des Breitbandinternets erforderlich.²⁹ Erfolgsfaktoren sind geringe Latenzzeiten, Ausfallsicherheit, Qualität und Flächendeckung. Auch das Cloud Computing gewinnt im Zusammenhang mit ‚Industrie 4.0‘ weiter an Bedeutung. Durch die erhöhte Dezentralisierung müssen auch Informationen und IT-Infrastrukturen verteilt in Form von Diensten über das Internet angeboten werden. Die Integration von Produkten in den Informationsfluss erfordert ihre Ausstattung mit Auto-ID Systemen.³⁰ Als Beispiel für diese Systeme sei die RFID-Technologie genannt. Außerdem werden für eine effiziente Auswertung der großen Datenmengen, die in ‚Industrie 4.0‘ anfallen, Konzepte aus dem Bereich Big Data Analytics benötigt.

5 Industrie 4.0 – Wo führt der Weg hin?

Das folgende Kapitel beschreibt, welche Auswirkungen sich durch die Einführung von ‚Industrie 4.0‘ auf Unternehmen ergeben. Im Rahmen dessen wird erläutert, was sich hinter den für ‚Industrie 4.0‘ bedeutenden Begriffen ‚Smart Product‘ und ‚Smart Factory‘ verbirgt. Des Weiteren werden die zukünftigen Veränderungen und Herausforderungen der Logistik im Zusammenhang mit ‚Industrie 4.0‘ aufgeführt.

²⁴ Vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung (2014), S. 6; Kagermann et al. (2013), S. 43.

²⁵ Vgl. Kagermann et al. (2013), S. 30.

²⁶ Vgl. Kagermann et al. (2013), S. 51.

²⁷ Kagermann et al. (2013), S. 51.

²⁸ Vgl. Marczinski (2014), S. 357.

²⁹ Vgl. Kagermann et al. (2013), S. 49.

³⁰ Vgl. Schlick et al. (2012), S. 28.

5.1 *Smart Product – Das Produkt von morgen*

Produzierende Unternehmen unterliegen starken Auftragsschwankungen.³¹ Grund hierfür sind volatile Marktbedingungen, welche oft nur schwer prognostizierbar sind. Gleichzeitig verkürzen sich Produktlebenszyklen zunehmend, während die Anzahl der Produktvarianten aufgrund individueller Kundenanforderungen steigt.³² Vor dem Hintergrund dieser steigenden Komplexität ist Flexibilität für Unternehmen heute kein Selbstzweck mehr.³³

„Industrie 4.0“ ist hier als Chance zu sehen. Durch die Einführung der intelligenten Fabrik, der Smart Factory, wird anhand selbststeuernder Systeme ein höherer Automatisierungsgrad erreicht. Gleichzeitig lässt sich durch die Verwendung intelligenter Produkte, den sogenannten Smart Products, flexibler auf die Nachfrage reagieren.³⁴

Vom Smart Product wird gesprochen, wenn dem Produkt Informationen und Parameter zugeordnet werden und das Produkt selbstständig weiß, wie und wann es gefertigt werden soll.³⁵ Intelligente Produkte verfügen demnach über das Wissen ihres Herstellungsprozesses und unterstützen dadurch aktiv den Fertigungsprozess. Die Maschinen wissen anhand der übermittelten Parameter, in welcher Art und Weise das jeweilige Produkt bearbeitet werden muss und welche Fertigungsstation als nächstes durchlaufen wird. Darüber hinaus sind intelligente Produkte eindeutig identifizierbar, jederzeit lokalisierbar und kennen ihren aktuellen Zustand.³⁶ Herkömmliche Wertschöpfungs-systeme werden sich durch den Einsatz von Smart Products verändern.³⁷ Der Trend geht weg von einer vordefinierten, zentral geplanten Massenfertigung hin zur Produktion von individualisierten, ad hoc zu fertigenden Einzelstücken, welche dann auch noch selbstständig ihren Weg durch die Produktion finden.³⁸

5.2 *Smart Factory – Die Fabrik der Zukunft*

Da Produkte bisher vor allem durch streng nacheinander abgearbeitete Prozesse, sogenannte Batch- oder kontinuierliche Prozesse, gefertigt werden, sind die Ansätze des Smart Products kaum umzusetzen. Außerdem konnten die notwendigen Informationen dem Produkt nicht mitgegeben werden.³⁹ Durch das Internet der Dinge und die Cyber-Physischen Systeme gelingt es mittlerweile jedoch, die Fabrik mit ihrem gesamten Produktionsumfeld und damit auch den Produkten zu einer intelli-

³¹ Vgl. Spath et al. (2013), S. 67.

³² Vgl. Lessau (o. J.), S. 7.

³³ Vgl. Spath et al. (2013), S. 67.

³⁴ Vgl. Herda/Ruf (2014), S. 13.

³⁵ Vgl. Pötter et al. (2014), S. 159.

³⁶ Vgl. Marczinski (2014), S. 357.

³⁷ Vgl. Kagermann et al. (2013), S. 23.

³⁸ Vgl. Kagermann et al. (2013), S. 25.

³⁹ Vgl. Pötter et al. (2014), S. 159.

genten Umgebung zu vernetzen.⁴⁰ Sogar Werkstücke und die Betriebsmittel werden zu Smart Objects, welche ihren Zustand kennen und mit anderen Maschinen kommunizieren.⁴¹

Die sogenannte Smart Factory gilt als Fabrikkonzept der Zukunft. Gemeint sind damit flexible Fabrikstrukturen und Produktionseinrichtungen, welche eine aufwandsarme Anpassung der Produktion an schwankende Absatzmärkte und individuelle Kundenbedürfnisse mit hoher Variantenvielfalt ermöglichen.⁴² Durch selbststeuernde Systeme wird in den intelligenten Fabriken jedoch trotzdem ein hoher Automatisierungsgrad erreicht.⁴³

Ein ferner ganz entscheidender Aspekt der Smart Factory im Sinne von ‚Industrie 4.0‘ ist die Informationsverarbeitung in Echtzeit. Diese eröffnet eine Reihe verschiedener Potenziale.⁴⁴ Beispielsweise kann die individuelle Kundennachfrage, auch nach kleinen Losgrößen, tatsächlich in Echtzeit bedient werden. Die Produktion startet, wenn der Auftrag durch den Kunden erfolgt. Fehlende Komponenten werden direkt erkannt und beim Lieferanten bestellt. Zusätzlich ist der Auftraggeber jederzeit über den Produktionsfortschritt informiert.⁴⁵ Auf der Basis von Echtzeitinformatoren können Prognosen außerdem deutlich exakter und frühzeitiger erstellt werden.⁴⁶ Auch die Produktqualität kann vom Potenzial der riesigen Datenvolumen in Echtzeit profitieren. So wird die Qualität nicht wie früher erst am Endprodukt getestet, sondern die Qualitätsprüfung ist Bestandteil aller Fertigungsprozesse. Probleme können somit behandelt werden, bevor sie entstehen oder wenigstens sofort systematisch bearbeitet werden, wenn sie auftreten.⁴⁷ Auch die Vermeidung von Produktionsstörungen durch die Installation von Frühwarnsystemen ist auf der Basis von Echtzeitinformatoren wesentlich verlässlicher. Kommt es zu Kapazitätsengpässen oder anderen Störungen in der Produktion, so werden nachfolgende Produktionsprozesse direkt informiert und die Planungen angepasst.⁴⁸

5.3 Logistik 4.0

Bezugnehmend auf das in der Einleitung angeführte Zitat von Prof. ten Hompel, wonach das 21. Jahrhundert die Dinge mobilisiert, gilt es festzuhalten, dass die anstehende vierte industrielle Revolution ohne adaptive Cyber-Physische Logistiksysteme nicht realisierbar ist.⁴⁹ „Zu eng sind Produktion und Logistik miteinander ver-

⁴⁰ Vgl. Kagermann et al. (2013), S. 18.

⁴¹ Vgl. Marczynski (2014), S. 357.

⁴² Vgl. Dombrowski/Wagner (2014), S. 351.

⁴³ Vgl. Herda/Ruf (2014), S. 11.

⁴⁴ Vgl. Kaufmann/Forstner (2014), S. 360.

⁴⁵ Vgl. Feld et al. (2012), S. 40.

⁴⁶ Vgl. Kagermann (2014), S. 607.

⁴⁷ Vgl. Pötter et al. (2014), S. 160.

⁴⁸ Vgl. Kaufmann/Forstner (2014), S. 365.

⁴⁹ Vgl. Kohagen (2013), S. 44; Günthner et al. (2014), S. 321.

woben.⁵⁰ Demnach ist die ‚Logistik 4.0‘ zum einen als Wegbereiter und zum anderen als Folge von ‚Industrie 4.0‘ zu sehen.

Logistische Systeme müssen in der Lage sein, sich flexibel und schnellstmöglich an ein volatiles Umfeld anzupassen.⁵¹ Dies ist eine Voraussetzung, um der stetig steigenden Dynamik und Komplexität moderner Wertschöpfungssysteme gerecht zu werden. „Auch logistische Objekte sollen sich in Zukunft eigenständig vernetzen, untereinander Informationen austauschen und sich selbstständig durch den Materialfluss steuern.“⁵² Als Beispiele für solche logistische Objekte sind intelligente Behälter im Bereich der Materialwirtschaft zu nennen, mit denen ein entscheidender Schritt hin zum Internet der Dinge vollzogen wird.⁵³

Neben der Entwicklung von intelligenten Behältern zur Materialflusssteuerung liegt ein weiteres Umsetzungsvorhaben im Kontext von ‚Industrie 4.0‘ im Angebot von Logistik-on-Demand-Lösungen aus der Cloud.⁵⁴ Demnach wird die Logistik in Zukunft hybride Dienstleistungen, die unter anderem Transport-, Planungs-, Organisations- und Steuerungsaufgaben mit dem IT- und Wissensmanagement verbinden, erbringen.⁵⁵ Insgesamt werden im äußerst volatilen Geschäftsfeld der Logistik, das eine kontinuierliche Anpassung der bereitstehenden Ressourcen fordert, sowohl Anwender als auch Anbieter von der Lösung der ‚Logistik-on-Demand‘ profitieren. Auf Anwenderseite werden „[...] [d]ie flexible Kapazitätenutzung in der Cloud, die Beschränkung auf die tatsächlich relevanten Tools und die Abrechnung nach Nutzung [...]“⁵⁶ zu einer deutlichen Reduzierung der IT- und Logistikkosten führen. Damit gewinnt der Einsatz variabel skalierbarer Logistik-on-Demand-Lösungen insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen an Attraktivität. Als Vorteile für Anbieter der Logistik-IT sind ein wachsender Kundenkreis sowie eine einfache Distributionsform zu nennen.

6 Industrie 4.0 – eine abschließende Begriffsdefinition

Im Folgenden kann auf Basis der bisherigen Erkenntnisse eine finale Begriffsdefinition für ‚Industrie 4.0‘ schrittweise entwickelt werden. Die Erarbeitung beginnt mit der Erklärung des Begriffs ‚Industrie 4.0‘, anschließend folgt die Darstellung der Bestandteile von ‚Industrie 4.0‘ und endet mit einer darauf aufbauenden Zielsetzung.

⁵⁰ Günthner et al. (2014), S. 321.

⁵¹ Vgl. für den folgenden Absatz Günthner et al. (2014), S. 298.

⁵² Günthner et al. (2014), S. 298.

⁵³ Vgl. Heller/Buß (2014), S. 157f.; Würth Industrie Service GmbH & Co. KG (2015).

⁵⁴ Vgl. Kohagen (2013), S. 44f.; ten Hompel et al. (2014), S. 30; Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML (o. J.), S. 4.

⁵⁵ Vgl. ten Hompel (2013), S. 9.

⁵⁶ ten Hompel et al. (2014), S. 30.

Im Rahmen der Begriffserklärung von ‚Industrie 4.0‘ stellt sich zunächst die Frage: Was verbirgt sich hinter ‚Industrie 4.0‘? Durch die Beantwortung dieser Frage ergibt sich die erste Teildefinition:

„Der Begriff Industrie 4.0 steht für die vierte industrielle Revolution, einer neuen Stufe der Organisation und Steuerung [des gesamten Wertschöpfungsnetzwerks] über den Lebenszyklus von Produkten [hinweg].“⁵⁷

Um die Definitionserarbeitung hinsichtlich der Bestandteile von ‚Industrie 4.0‘ weiter auszuführen, müssen nachfolgende Fragen geklärt werden:

- Welche technischen Komponenten sind für die Umsetzung von ‚Industrie 4.0‘ notwendig?
- Wie stehen diese Komponenten in Beziehung zueinander?
- Was bewirken diese Komponenten?

Zu den zentralen technischen Komponenten von ‚Industrie 4.0‘ zählen Cyber-Physische Systeme und das Internet der Dinge, welches die nötige Infrastruktur bereitstellt. Die Cyber-Physischen Systeme werden in unterschiedliche Objekte wie zum Beispiel Maschinen, Lagersysteme und Betriebsmittel integriert, welche im Folgenden als Instanzen zusammengefasst werden. Durch Vernetzung dieser Instanzen mit dem Internet entsteht das Internet der Dinge. Folglich können die Instanzen auf Basis von Echtzeit-Informationen eigenständig interagieren sowie Entscheidungen treffen und somit einen verbesserten Wertschöpfungsfluss ermöglichen. Hinsichtlich der angeführten Erläuterungen lässt sich folgende zweite Teildefinition formulieren:

„Diese [Stufe] wird durch die Integration von Cyber-Physischen Systemen in Produktion und Logistik sowie durch die Anwendung des Internets der Dinge als Infrastruktur ermöglicht. Dadurch werden alle an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen miteinander vernetzt, Informationen in Echtzeit bereitgestellt und durch die autonome Interaktion der Instanzen sowie deren Selbststeuerung einen besseren Wertschöpfungsfluss gewährleistet.“

Um eine abschließende Zielsetzung von ‚Industrie 4.0‘ zu entwickeln, werden die folgenden Fragen beantwortet:

- Was wird durch die Umsetzung von ‚Industrie 4.0‘ im industriellen Umfeld möglich?
- Wie sehen die zukünftigen Kundenanforderungen aus und inwiefern trägt ‚Industrie 4.0‘ zur Befriedigung dieser bei?

⁵⁷ Plattform Industrie 4.0 (2013).

Um die Kundenwünsche, die sich zunehmend zu individualisierten Produkten hin zur Losgröße 1 entwickeln, befriedigen zu können, bedarf es einer hoch flexiblen (Großserien-)Produktion. Bezugnehmend auf sich geändernde Kundenwünsche lässt sich die dritte Teildefinition aufstellen:

„Diese Voraussetzungen sind notwendig, um individualisierte Produkte in einer hoch flexiblen (Großserien-)Produktion fertigen zu können.“

Abschließend kann die folgende Begriffsdefinition formuliert werden:

Der Begriff ‚Industrie 4.0‘ steht für die vierte industrielle Revolution, einer neuen Stufe der Organisation und Steuerung des gesamten Wertschöpfungsnetzwerks über den Lebenszyklus von Produkten hinweg. Diese wird durch die Integration von Cyber-Physischen Systemen in Produktion und Logistik sowie durch die Anwendung des Internets der Dinge als Infrastruktur ermöglicht. Dadurch werden alle an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen miteinander vernetzt, Informationen in Echtzeit bereitgestellt und durch die autonome Interaktion der Instanzen sowie deren Selbststeuerung ein besserer Wertschöpfungsfluss gewährleistet. Diese Voraussetzungen sind notwendig, um individualisierte Produkte in einer hoch flexiblen (Großserien-)Produktion fertigen zu können.

7 Kritische Würdigung und Ausblick

Die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit einem Thema verlangt zunächst nach einer Basisdefinition, die im Laufe der Beschäftigung modifiziert und verändert werden kann. Mit ‚Industrie 4.0‘ wurde zunächst ein Schlagwort geschaffen, welches sich nur langsam mit klar definierten Inhalten füllt. Im Rahmen des vorliegenden Beitrags wird hierfür eine Basis geschaffen. Zusammenfassend ist jedoch anzumerken, dass der Beitrag Arbeit keinen Anspruch auf Vollständigkeit besitzt. Dies liegt zum einen an den vielfältigen wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Themengebieten mit einem Bezug zu ‚Industrie 4.0‘, welche somit im Rahmen dieses Beitrags nicht vollständig abgebildet werden können. Zum anderen besteht für die Thematik ‚Industrie 4.0‘ aktuell ein hoher Forschungsbedarf, welcher sich in vielen Forschungsaktivitäten widerspiegelt.

Als Fazit muss festgehalten werden, dass ‚Industrie 4.0‘ zurzeit (noch) eher einen Marketingbegriff darstellt als eine spürbare Revolution in Industrie und Handel. In der betriebswirtschaftlichen Praxis bremsen verschiedene Umsetzungsprobleme den raschen Wandel hin zur ‚Industrie 4.0‘ derzeitig noch deutlich aus.⁵⁸ So ist vor allem der seit zehn Jahren schrumpfende Kapitalstock ein hinderlicher Faktor in der deutschen Wirtschaft. Als Folge schieben Unternehmen ihre Investitionen in die für ‚Industrie 4.0‘ notwendige Digitalisierung auf. Um diesem Trend entgegenzuwirken,

⁵⁸ Vgl. Maier/Student (2015).

„[...] müssten die Firmen dringend neue Geschäftsmodelle entwickeln, [...] ,sonst gehen sie unter‘.“⁵⁹

Darüber hinaus sind es vor allem kleine und mittelständische Unternehmen (KMU), die sich der Relevanz von ‚Industrie 4.0‘ und der damit einhergehenden Chancen noch nicht bewusst sind.⁶⁰ Zudem besitzen KMU in vielen Fällen keine Fachabteilungen, welche die benötigten Entwicklungen vorantreiben und umsetzen können. Dies führt zu einer fehlenden Vernetzung der KMU, was wiederum negative Auswirkungen auf das gesamte Wertschöpfungsnetzwerk hat. Die Auswirkungen sind deshalb so gravierend, da KMU in fast allen Wertschöpfungsnetzwerken vertreten sind.

Allerdings zeigt sich, dass der Übergang zur vierten industriellen Revolution notwendig ist, denn allein das verarbeitende Gewerbe könnte durch diesen innerhalb der nächsten zehn Jahre einen Produktivitätsgewinn von bis zu 150 Milliarden Euro erzielen.⁶¹ Daneben kann die ‚Industrie 4.0‘ zu einem Wachstum des Bruttoinlandsprodukts von ca. 1 % pro Jahr beitragen. Diese Prognosen zeigen zwar mögliche positive Nutzenpotenziale, jedoch werden Kostenaspekte bisher nur unzureichend betrachtet. So bleibt noch zu klären, inwieweit „[...] die für Industrie 4.0 kalkulierten Geschäftsmodelle schön gerechnet sind oder erst zu spät auf ihre wirtschaftliche Tragfähigkeit überprüft werden.“⁶²

Insgesamt kann die Umsetzung von ‚Industrie 4.0‘ in der betrieblichen Praxis neben innovativen Marktlösungen auch zu einer Reihe ökonomischer, organisatorischer und ökologischer Entwicklungen führen. Großes Potenzial liegt in der Entstehung neuer Geschäftsmodelle, welche erst aufgrund der neuartigen Wertschöpfungsprozesse und den sich verändernden Wertschöpfungsnetzwerken möglich werden.⁶³ Zur Erforschung und Analyse dieser Potenziale sowie der Ableitung konkreter Handlungsempfehlungen wurden bundesweit bereits zahlreiche Forschungsaktivitäten gegründet. So existiert beispielsweise an der Otto-Friedrich-Universität Bamberg seit 2015 das Kompetenzzentrum für Geschäftsmodelle in der digitalen Welt,⁶⁴ welches die wissenschaftliche Grundlagenforschung zu betriebswirtschaftlichen Fragestellungen im Kontext der Digitalisierung von Unternehmen und die anwendungsorientierte Evaluierung dieser Forschungsergebnisse verfolgt.

⁵⁹ Maier/Student (2015).

⁶⁰ Vgl. für den folgenden Absatz Maier/Student (2015); Heller/Buß (2014), S. 158.

⁶¹ Vgl. für den folgenden Absatz Maier/Student (2015).

⁶² eco – Verband der deutschen Internetwirtschaft e.V. (2014).

⁶³ Vgl. Plattform Industrie 4.0 (2014), S. 7.

⁶⁴ <http://www.geschaeftsmodelle.org/>

8 Literatur

- Association for Computing Machinery, Inc. (2014): ACM Digital Library, abgerufen unter: <http://dl.acm.org.acmdigitallibrary.han.ub.uni-bamberg.de/advsearch.cfm?coll=DL&dl=ACM&CFID=488912523&CFTOKEN=36965202>, Stand: 29.12.2014.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.) (2014): Industrie 4.0 - Innovationen für die Produktion von morgen, abgerufen unter: http://www.bmbf.de/pub/broschuere_Industrie-4.0-gesamt.pdf, Stand: 16.03.2015.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (2015): Industrie 4.0, abgerufen unter: <http://www.hightech-strategie.de/de/Industrie-4-0-59.php>, Stand: 14.03.2015.
- Dombrowski, U./Wagner, T. (2014): Arbeitsbedingungen im Wandel der Industrie 4.0, in: ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jg. 109, H. 5, S. 351–355.
- EBSCO Industries, Inc. (2014): Search Options, abgerufen unter: <http://web.b.ebscohost.com>.
- eco – Verband der deutschen Internetwirtschaft e.V. (2014): eco: Wirtschaft ohne Orientierung bei Industrie 4.0, online verfügbar: <https://www.eco.de/2014/pressemeldungen/eco-wirtschaft-ohne-orientierung-bei-industrie-4-0.html>, Stand: 16.03.2015.
- Elsevier B.V. (2014): Basic Search, online verfügbar: <http://www.scopus.com>, Stand: 29.12.2014.
- Feld, T./Hoffmann, M./Schmidt, R. (2012): Industrie 4.0 – Vom intelligenten Produkt zur intelligenten Produktion, in: IM – Information Management und Consulting, Jg. 27, H. 3, S. 38–42.
- Forstner L./Dümmeler, M. (2014): Integrierte Wertschöpfungsnetzwerke – Chancen und Potenziale durch Industrie 4.0, in: e & i Elektrotechnik und Informationstechnik, Jg. 131, H. 7, S. 199–201.
- Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML (o. J.): Marktanalyse – Cloud Computing für Logistik 2 – Management Summary, online verfügbar: http://www.ccl.fraunhofer.de/content/dam/iml-ccl/de/documents/brochures/de_marktanalyse_2_summary.pdf, Stand: 16.03.2015.
- Günthner, W./Klenk, E./Tenerowicz-Wirth, P. (2014): Adaptive Logistiksysteme als Wegbereiter der Industrie 4.0, in: Bauernhansl, T./tenHompel, M./Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Wiesbaden, S. 297–323.

- Heller, T./Buß, D. (2014): Industrie 4.0 – Die Bedeutung von industriellen Veränderungen für Logistik und Instandhaltung, in: Wolf-Kluthausen, H. (Hrsg.): Jahrbuch Logistik 2014, Willich, S. 155–158.
- Herda, N./Ruf, S. (2014): Industrie 4.0 aus der Perspektive der Wirtschaftsinformatik, in: Wirtschaftsinformatik und Management, Jg. 6, H. 5, S. 8–18.
- Herkommer, O./Hieble, K. (2014): Ist Industrie 4.0 die nächste Revolution in der Fertigung?, in: Industrie Management: Zeitschrift für industrielle Geschäftsprozesse, Jg. 30, H. 1, S. 42–46.
- Kagermann, H. (2014): Chancen von Industrie 4.0 nutzen, in: Bauernhansl, T./ten Hompel, M./Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Wiesbaden, S. 603–613.
- Kagermann, H./Wahlster, W./Helbig, J. (2013): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, online verfügbar: www.bmbf.de/pubRD/Umsetzungsempfehlungen_Industrie4_0.pdf, Stand: 14.03.2015.
- Kaufmann, T./Forstner, L. (2014): Die horizontale Integration der Wertschöpfungskette in der Halbleiterindustrie – Chancen und Herausforderungen, in: Bauernhansl, T./ten Hompel, M./Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Wiesbaden, S. 359–367.
- Kohagen, J. (2013): Logistik im Zeitalter von Industrie 4.0, in: BIP – Best in Procurement. Das Magazin für Manger in Einkauf und Logistik, Jg. 4, H. 5, S. 44–45.
- Kurz, C. (2012): Arbeit in der Industrie 4.0 - „Besser statt billiger“ als zukunftsfähige Gestaltungsperspektive, in: IM - Information Management und Consulting, Jg. 27, H. 3, S. 56–60.
- Lasi, H./Fettke, P./Kemper, H-G./Feld, T./Hoffmann, M. (2014): Industrie 4.0, in: Wirtschaftsinformatik, Jg. 56, H. 4, S. 261–264.
- Lessau, R. (o. J.): Industrie 4.0 und die Zukunft der Logistik, online verfügbar: <http://tksgmbh.de/perch/resources/downloads/tks-gmbhindustrie-4.0-und-die-zukunft-der-logistik-1.pdf>, Stand: 16.03.2015.
- Maier, A./Student, D. (2015): Industrie 4.0 – der große Selbstbetrug, online verfügbar: <http://www.manager-magazin.de/magazin/artikel/digitale-revolution-industrie-4-0-ueberfordert-deutschen-mittelstand-a-1015724.html>, Stand: 16.03.2015.

- Marczinski, G. (2014): Fabrikleistung wirksam steigern - Schlank – Automatisiert – Autonom?, in ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jg. 109, H. 5, S. 356–360.
- Plattform Industrie 4.0 (2013): Was Industrie 4.0 (für uns) ist, online verfügbar: <http://www.plattform-i40.de/blog/was-industrie-40-f%C3%BCr-uns-ist>, Stand: 14.03.2015.
- Plattform Industrie 4.0 (Hrsg.) (2014): Industrie 4.0 -Whitepaper FuE-Themen-, online verfügbar:-http://www.plattform-i40.de/sites/default/files/Whitepaper_Forschung%20Stand%203.%20April%202014_0.pdf, Stand: 15.03.2015.
- Pötter, T./Folmer, J./Vogel-Heuser, B. (2014): Enabling Industrie 4.0 – Chancen und Nutzen für die Prozessindustrie, in: Bauernhansl, T./ten Hompel, M./Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Wiesbaden, S. 159–171.
- Schlick, J./Stephan, P./Loskyll, M./Lappe, D. (2014): Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung, in: Bauernhansl, T./ten Hompel, M./Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Wiesbaden, S. 57–84.
- Schlick, J./Stephan, P./Zühlke, D. (2012): Produktion 2020 – Auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution, in: IM – Information Management und Consulting, Jg. 27, H. 3, S. 26–33.
- Schließmann, A. (2014): iProduction, die Mensch-Maschine-Kommunikation in der Smart Factory, in: Bauernhansl, T./ten Hompel, M./Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Wiesbaden, S. 451–480.
- Schmitz, A. (2014): Industrie 4.0: Logistik-Plattformen werden kommen, online verfügbar: <http://de.news-sap.com/2014/09/29/industrie-4-0-logistik-plattformen-werden-kommen/>, Stand: 16.03.2015.
- Schriegel, S./ Jasperneite, J./Niggemann, O. (2014): Plug and Work für verteilte Echtzeitsysteme mit Zeitsynchronisation, in: Halang, W. A./Unger, H. (Hrsg.): Industrie 4.0 und Echtzeit, Berlin/Heidelberg, S. 11–20.
- Spath, D. (Hrsg.)/Ganschar, O./Gerlach, S./Hämmerle, M./Krause, T./Schlund, S. (2013): Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0, online verfügbar: www.produktionsarbeit.de/content/dam/produktionsarbeit/de/documents/Fraunhofer-IAO-Studie_Produktionsarbeit_der_Zukunft-Industrie_4_0.pdf, Stand: 15.03.2015.
- ten Hompel, M. (2013): Neue vernetzte Wege in der Logistik, online verfügbar: http://www.autonomik.de/documents/ten_Hompel_Logistik_4.0.pdf, Stand: 14.03.2015.

ten Hompel, M./Wolf, M.-B./Rahn, J. (2014): Der Einsatz von Cloud Computing im Logistiksektor: Akzeptanz und Nutzungsbereitschaft von Anwendern und Anbietern der Logistik-IT zum Thema Cloud Computing, in: Wolf-Kluthausen, H. (Hrsg.): Jahrbuch Logistik 2014, Willich, S. 30–34.

Würth Industrie Service GmbH & Co. KG (2015): iBin® Bestände im Blick - Der erste intelligente Behälter, online verfügbar: http://www.wuerth-industrie.com/web/de/wuerthindustrie/cteile_management/kanban/ibin_intelligenterbehaelter/ibin.php, Stand: 14.03.2015.

ZBW - Deutsche Zentralbibliothek für Wirtschaftswissenschaften (2014): Suchen, online verfügbar: <http://www.econis.eu/>, Stand: 29.12.2014.