

2 Industrie 4.0 – Grundlagen und Gesamtzusammenhang

2.1 Industrie 4.0 – Struktur und Historie

David Siepmann

Zusammenfassung (Summary)

- Industrie 4.0 (oder auch die vierte industrielle Revolution genannt) repräsentiert die konsequente Weiterentwicklung drei vorausgegangener industrieller Revolutionen. Sie basiert auf historischen und technologischen Ansätzen der intelligenten Fabrik sowie der computerintegrierten Produktion.
- Das in diesem Beitrag vorgestellte „Industrie 4.0-Haus“ zeigt alle relevanten Technologien und Ansätze auf, die im weiteren Verlauf dieses Buches immer wieder aufgegriffen werden und zum grundlegenden Verständnis der Thematik hilfreich sind.
- Cyber-physische Produktionssysteme (CPPS), die in Summe das Herzstück von Industrie 4.0 repräsentieren, werden ebenso vorgestellt, wie deren technologische Entwicklung vom Ubiquitous Computing hin zum Internet der Dinge und Dienste (IoTS).

Inhalt

1	Die vierte industrielle Revolution (Industrie 4.0)	19
2	Komponenten der Industrie 4.0	22
3	Drei grundlegende Phasen der technologischen Entwicklung von Industrie 4.0	24
3.1	Phase 1: Ubiquitous Computing	24
3.2	Phase 2: Internet der Dinge und Dienste (IoTS)	26
3.3	Phase 3: Cyber-physisches Produktionssystem (CPPS)	29
4	Fazit	31
5	Literaturhinweise	31

1 Die vierte industrielle Revolution (Industrie 4.0)

Besonders in Deutschland stößt das Thema der vierten industriellen Revolution, besser bekannt als „Industrie 4.0“, derzeit auf sehr großes öffentliches Interesse. So finden regelmäßig Tagungen dazu statt und es werden Projektgruppen und Kooperationen gebildet, die sich mit dem Verfassen von Whitepapern beschäftigen und eine Vielzahl an Artikeln, Fachberichten und Interviews zu diesem Thema veröffentlichen. Trotz intensiver Forschungsarbeiten gibt es noch immer keine einheitlichen Standards oder konkrete Konzepte zur Umsetzung und Einführung von Industrie 4.0. Deshalb beschäftigt sich aktuell eine Großzahl deutscher Unternehmen noch nicht intensiv mit der Thematik und den vorhandenen Problemstellungen. Ob sich dies als Nachteil erweist, das wird die Zukunft zeigen (vgl. Graf 2014).

Wieso spricht man eigentlich von der „vierten industriellen Revolution“? Bereits in den fünfziger Jahren des 18. Jahrhunderts nahm die **erste industrielle Revolution** durch die Entwicklung mechanischer Arbeits- und Kraftmaschinen mithilfe von Wasser und Dampf (Dampfmaschine) ihren Lauf und ermöglichte die erste wirkliche Industrialisierung in der Textil-, Eisen- und Stahlindustrie. Die industrielle, arbeitsteilige Massenproduktion unter Zuhilfenahme von Fließ- und Förderbändern sowie der elektrischen Energie ab dem Jahr 1870 wird als die **zweite industrielle Revolution** angesehen. Getrieben durch das deutsche Wirtschaftswunder, Anfang der sechziger Jahre des 20. Jahrhunderts, brach schließlich die noch heute vorherrschende **dritte industrielle Revolution** an. Diese ist durch den Einsatz von Elektronik sowie der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) zur Automatisierung der Produktion geprägt (s. Abb. 1) (vgl. Bauernhansl 2014, S. 5-7).

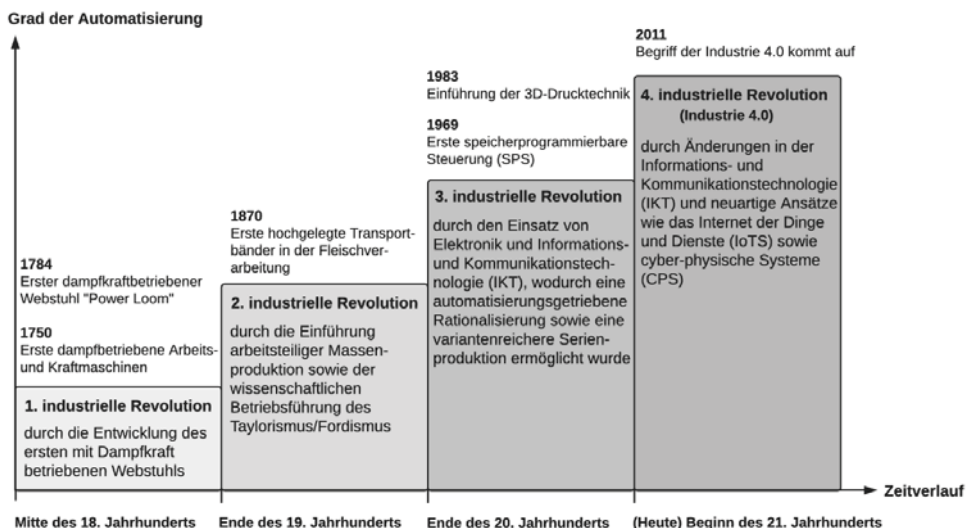


Abb. 1 Die vier Stufen der industriellen Revolution

Der Begriff Industrie 4.0 wurde zum ersten Mal im Jahr 2011 auf der Hannover-Messe aufgegriffen und beschreibt ein Zukunftsprojekt der Bundesregierung zum Vorantreiben der „Informatisierung“ der deutschen Fertigungstechnik. Diese sich anbahnende **vierte industrielle Revolution**, sowohl in der Produktion, als auch in der Informations- und Kommunikationstechnologie (s. Abb. 2), basiert auf den Ideen und Ansätzen einer intelligenten Fabrik.

	Heute - klassisch (3. industrielle Revolution)	Morgen - Industrie 4.0 (4. industrielle Revolution)
Produktionssteuerung	Zentral	Dezentral (CPS, Cloud)
Steuerungstechnik	Monolith	Offener Standard im Netz (Cloud)
Datenverarbeitung und -bereitstellung	Zeitversetzt	Echtzeit-Informationen
Nutzungsrechte (Softwarekosten)	Lizenz(-kosten)	Pay-per-use
Softwareverwaltung	Software-Suite	Cloud-Apps (SaaS)

Abb. 2 Wie verändert sich die Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) in der Industrie 4.0? (vgl. ifpconsulting 2014, S. 16).

Der Ansatz der **intelligenten Fabrik** sieht vor, die immer weiter ansteigende Komplexität, welche unweigerlich durch den Einsatz neuester IKT in der Produktion entsteht, für ein Unternehmen beherrschbar zu machen. Auch die Störanfälligkeit der Maschinen und des geplanten Produktionsprogrammes soll durch die Möglichkeit einer Selbstoptimierung verringert werden. Intelligente Produkte besitzen dabei das Wissen über ihre zukünftige Verwendung sowie über die einzelnen Schritte des ihnen zugehörigen Produktionsprozesses. Auch sind in der intelligenten Fabrik Mensch, Maschine und Ressourcen in der Lage direkt über das Internet der Dinge und Dienste (IoTS) miteinander zu kommunizieren und zu interagieren, was zu einer Effizienzsteigerung in der Produktion führt (vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 2013, S. 23). Technologisch wird die intelligente Fabrik vor allem durch den Einsatz cyber-physischer Produktionssysteme definiert. Des Weiteren sieht sie die Integration interner und externer Stakeholder in die Geschäfts- und Wertschöpfungsprozesse (neue Geschäftsmodelle), die Verkopplung von Produkten mit hochwertigen Dienstleistungen sowie die Vernetzung sämtlicher Produktionssysteme über das Internet vor.

Die Entwicklung hin zu eben dieser intelligenten Fabrik begann ursprünglich mit dem Ansatz des computer-integrated manufacturing (CIM) aus den siebziger Jahren. Über die Einführung der sogenannten „Lean Production“ in den neunziger Jahren entwickelte sich das CIM hin zur heutigen Idee der Industrie 4.0 (s. Abb. 3).

Der **CIM-Ansatz** sah eine menschenarme, automatisierte und computerintegrierte Produktion vor, in welcher der Faktor Mensch schlichtweg ausgegrenzt wurde.

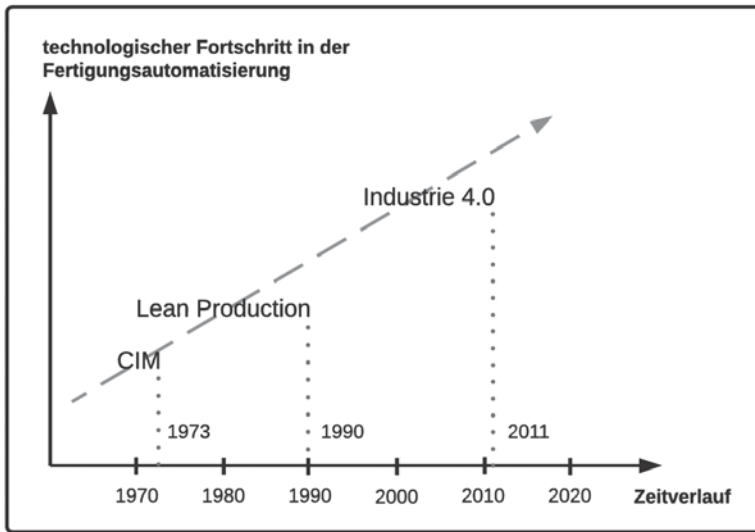


Abb. 3 Entwicklung des CIM bis zur Industrie 4.0 (vgl. Ahrens 2014, S. 13).

Der Mitarbeiter nahm dadurch lediglich eine beobachtende Rolle ein, die er aus einem Kontrollzentrum heraus erfüllen sollte. Im Gegensatz zum CIM-Ansatz nimmt in der intelligenten Fabrik der Mensch, nicht die Maschine, die entscheidende Rolle einer übergeordneten Steuerungseinheit ein. Der Mensch agiert als letzte Entscheidungsinstanz und ist über geeignete Mensch-Maschine-Schnittstellen (Virtual Reality, Augmented Reality) ganzheitlich in den Produktions- und Steuerungsprozess integriert. Die Produktionsanlagen in der intelligenten Fabrik sind, entgegen dem Ansatz einer vollständigen Automatisierung im Kontext von CIM, so nur teilweise autonom (vgl. Schließmann 2014, S. 451).

Die ausschlaggebenden Gründe, welche zum Scheitern des CIM beitrugen, lagen vor allem in Problemen bei der Bereitstellung geeigneter IT-Infrastrukturen, Datensysteme und Datenübertragungstechniken. Zum anderen war die für die Kommunikation sowie zur Datenerhebung und -verarbeitung benötigte Sensorik noch nicht zu rentablen Preisen auf dem Markt erhältlich (vgl. Soder 2014, S. 86). Ebenso waren technologische Ansätze wie das Cloud Computing, Big Data, das Internet der Dinge und Dienste sowie Standards zur herstellerübergreifenden Maschine-zu-Maschine-Kommunikation (M2M-Kommunikation) noch unbekannt. Aufgrund dieser Tatsachen konnte das CIM die Komplexität der Systeme zum damaligen Zeitpunkt nicht bewältigen, wodurch es nie zu einer Umsetzung kam (vgl. Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB 2012, S. 1).

Die zweite Entwicklungsstufe in Form der **Lean Production** kann als Zwischenschritt zwischen CIM und der intelligenten Fabrik verstanden werden und setzt sich aus einer Bündelung verschiedenster Prinzipien (bspw. Just-In-Time, Qualitätskontrollen, Flexibilität) zusammen. Ziel der Lean Production ist es, Produktionsfaktoren sparsam und effizient im Rahmen sämtlicher Unternehmensaktivitäten einzusetzen (vgl. Voigt 2015).

Durch immer kürzer werdende Produktlebenszyklen und einem zunehmendem Kostendruck stößt das Konzept der Lean Production an seine Grenzen. Auch die steigende Variantenvielfalt und hohe Schwankungen der Stückzahlen im Kontext der Mass-Customization – kundenindividuelle Massenproduktion – erfordern eine höchstmögliche Flexibilität und Effizienz der Produktionssysteme. Deshalb wird in naher Zukunft eine Erweiterung der klassischen Lean Production-Methoden durch die Technologien der intelligenten Fabrik notwendig sein (vgl. Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA 2015).

Diese und weitere Entwicklungen, vor allem im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie, führen dazu, dass sich zukünftig die Definition der intelligenten Fabrik und somit auch der Industrie 4.0, vor allem aus technologischer Sicht, kontinuierlich weiterentwickeln wird.

2 Komponenten der Industrie 4.0

Da es sich bei dem Begriff Industrie 4.0 um ein ziemlich junges und neues Forschungsprojekt handelt, liegen die Probleme vor allem in den unterschiedlichen Definitionen und einem übereifrigen Marketing in Bezug zu Industrie 4.0. Dies führt in der Konsequenz dazu, dass die Verwirrung der Unternehmen immer größer wird und sich das Verständnis von Vision und Technologie immer häufiger vermischt.

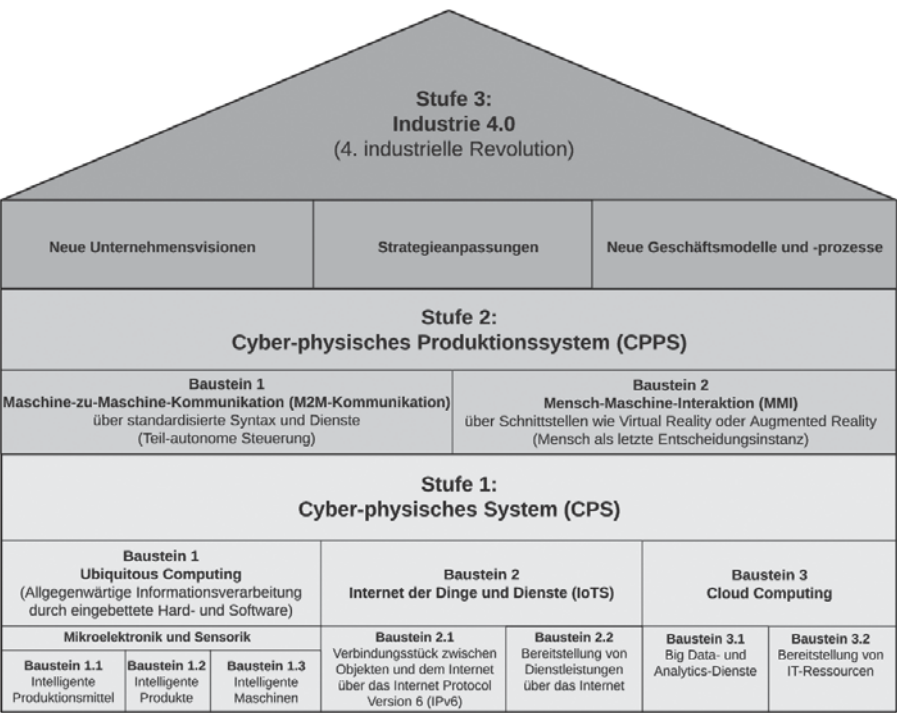


Abb. 4 Komponenten der Industrie 4.0

Um die Ideen und Ansätze rund um die Industrie 4.0 überhaupt verstehen zu können, muss im ersten Schritt ein grundlegendes Verständnis aufgebaut werden. Dazu ist es zunächst notwendig, einen Überblick über den Zusammenhang und das Zusammenspiel der relevanten Komponenten und Technologien zu erlangen. Das Ziel dieses Grundlagenkapitels liegt vor allem darin, anhand des nachfolgend dargestellten Modells, die Struktur der Industrie 4.0 kurz und prägnant aufzuzeigen (s. Abb. 4).

Stufe 1: Cyber-physisches System (CPS)

Der Begriff cyber-physisches System bezeichnet die Kombination von Software- und Hardwaresystemen zu einem komplexen und intelligenten Verbund in dem jedes einzelne physische Objekt eine eigene Identität besitzt. Wie in Abbildung 4 veranschaulicht, setzt sich ein CPS aus den technologischen Ansätzen der drei Bausteine Ubiquitous Computing, Internet der Dinge und Dienste und Cloud Computing zusammen.

Das **Ubiquitous Computing** verleiht allen Objekten in einem System die Fähigkeit Informationen und Daten zu verarbeiten und zu versenden, indem diese mit entsprechender Mikroelektronik, Sensorik, Kommunikationsmodulen und Rechenleistung ausgestattet werden. Diese mit Informationstechnologie und einer gewissen Intelligenz versehenen Objekte kommen beispielsweise in Form intelligenter Produkte, Produktionsmittel oder ganzer Produktionsmaschinen zum Einsatz.

In Kombination mit dem **Internet der Dinge und Dienste** werden die Objekte des Ubiquitous Computing mit der notwendigen Kommunikationsfähigkeit ausgestattet. Das IoTS dient in erster Linie als Verbindungsstück zwischen den intelligenten physischen Objekten des Ubiquitous Computing und dem Internet. Damit Objekte im IoTS überhaupt in der Lage sind untereinander zu kommunizieren, muss diesen zunächst eine eindeutige Identität zugeteilt werden. Diese Individualität wird dadurch erreicht, dass zukünftig durch das Internet Protocol Version 6 (IPv6) allen Objekten eine eindeutige Adresse zugewiesen wird. In der Industrie 4.0 können so Produktionsmittel direkt über das Internet angesprochen und benötigte Daten erhoben, verarbeitet und in Form von Steuerungsdaten an die Maschinen zurückgeliefert werden.

Diese Technologisierung der Produktion erfordert eine entsprechend erweiterte IT-Infrastruktur, deren Bereitstellung in Form des sogenannten **Cloud Computing** erfolgt. Die Steuerung, Wartung und Kontrolle cyber-physischer Systeme wird von Echtzeitauswertungen unterstützt, welche Dienste wie Big Data und Analytics voraussetzen. Diese werden neben anderweitig benötigter Rechenleistung auf die Infrastruktur des Cloud Computing ausgelagert.

Stufe 2: Cyber-physisches Produktionssystem (CPPS)

Die zweite Stufe der Industrie 4.0 beschreibt den Einsatz von cyber-physischen Systemen, die im Verbund als CPPS in der Lage sind, die Produktion dezentral und kontextadaptiv über die Unternehmensgrenzen hinweg zu steuern. Um jedoch eine in vollem Umfang funktionsfähige Vernetzung und Kommunikation zwischen den Anlagen und Komponenten eines cyber-physischen Produktionssystems sowie dem Menschen zu ermöglichen, ist der Einsatz geeigneter Schnittstellen notwendig.

Zum einen ist der Einsatz einer geeigneten Syntax zur **M2M-Kommunikation** erforderlich. Hierfür einen Standard zu schaffen ist für die eigentliche Realisierung einer dezentralen und automatisierten Fertigungssteuerung unabdingbar. Zum anderen sind geeignete Technologien der **Mensch-Maschine-Interaktion (MMI)** zur Überwachung und Steuerung der Produktionsanlagen notwendig. **Virtual Reality (VR)** oder **Augmented Reality (AR)** können hier die Schnittstelle zwischen Mitarbeiter und Maschine darstellen und ermöglichen es, den Menschen als letzte Entscheidungsinstanz in die Produktionsplanung und -steuerung einzubeziehen.

Stufe 3: Industrie 4.0

Die Umsetzung eines cyber-physischen Produktionssystems in einem Unternehmen benötigt neben den technologischen Grundkomponenten auch visionäre Denkweisen auf Managementebene. Industrie 4.0 ist nicht nur die technologische Entwicklung der Produktion, sondern vielmehr eine Zukunftsvision für das gesamte Unternehmen, für deren Erreichung Strategieanpassungen vorgenommen sowie neue Geschäftsmodelle und -prozesse entwickelt werden müssen.

3 Drei grundlegende Phasen der technologischen Entwicklung von Industrie 4.0

3.1 Phase 1: Ubiquitous Computing

Der seit Jahrzehnten andauernde Fortschritt in den Bereichen der Informations- und Kommunikationstechnologie und der **Mikroelektronik** führt dazu, dass Computerkomponenten wie Prozessoren, Sensoren, Kommunikationsmodule und Speicherbausteine immer miniaturisierter und energiesparender werden (vgl. Fleisch und Mattern 2005, S. 39). Dahingehend kann auf Grundlage des Mooreschen Gesetzes beobachtet werden, dass die Leistungsfähigkeit dieser verbauten Mikroelektronik alle 12 bis 24 Monate durch eine Verdopplung der Transistoren auf der gleichen Fläche eines Computerchips kontinuierlich ansteigt (vgl. IBM Deutschland GmbH 2014). Es gibt sogar noch Luft nach oben, denn bereits heute sind Transistoren erhältlich, die aus nur einem einzigen Phosphoratom bestehen. Diese Entwicklung könnte ein erster Schritt in Richtung atomarer Silizium-Transistoren darstellen, wobei diese perfekt zur Zukunftsidee des Quantencomputers und der Industrie 4.0 passen würden (vgl. Spiegel Online GmbH 2012).

Diese technologischen Sprünge führen unter anderem dazu, dass heute und zukünftig immer mehr Alltagsdinge, wie beispielweise Rauchmelder, mit diesen kostengünstigen und hocheffizienten Technologien ausgestattet werden können, was auch unter dem Begriff „**Embedded Computing**“ verstanden wird (vgl. Fleisch und Mattern 2005, S. 40). Der Trend führt weg vom Großrechner, hin zu kleinen und intelligenten Objekten und Produkten. Sogenannte „**Embedded Devices**“ sind als eine Kombination des Embedded Computing mit entsprechenden Software-Systemen zu verstehen und bilden meist einen bestimmten Teil eines größeren Systems und somit einen wichtigen Bestandteil cyber-physischer Produktionssysteme (vgl. Lipp 2004, S. 19).

Durch eine zusätzliche Vernetzung dieser, mit Informationstechnologie ausgestatteten, intelligenten Gegenstände über das Internet entsteht im zeitlichen Verlauf die **erste Phase der technologischen Entwicklung** von Industrie 4.0, das sogenannte „**Ubiquitous Computing**“ (s. Abb. 5).

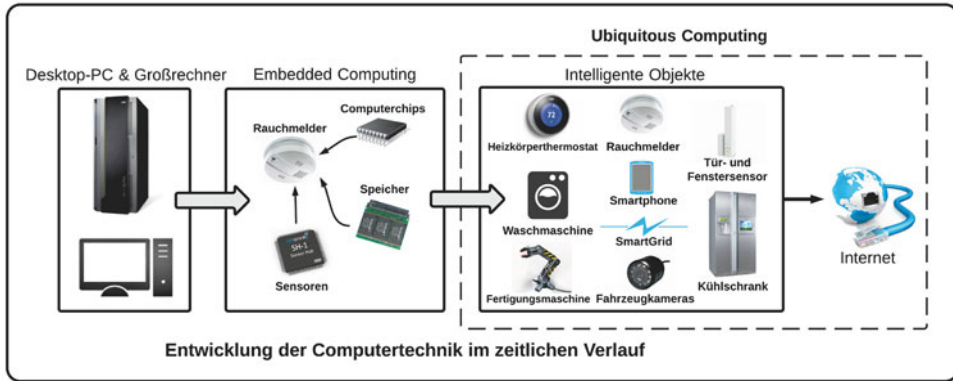


Abb. 5 Ubiquitous Computing

Der Begriff Ubiquitous Computing wurde im Jahre 1990 durch Mark Weiser geprägt und beschreibt die **Allgegenwärtigkeit kleinster, untereinander vernetzter, intelligenter Computer und Objekte**, welche über das Embedded Computing mit der notwendigen Rechenleistung ausgestattet wurden. Auch Gegenstände, welche die Anwender auf den ersten Blick nicht als elektronische Geräte identifizieren können, sollen zukünftig über kommunikationsfähige Sensoren in den Cyberspace integriert werden und so den Menschen unbemerkt und unaufdringlich bei seinen Alltagsaufgaben unterstützen (vgl. Matern und Flörkenmeier 2013, S. 1-2).

Pervasive Computing:

Basierend auf der Idee des Ubiquitous Computing wurde durch die Industrie zusätzlich der Begriff des „Pervasive Computing“ eingeführt. Der Grundgedanke liegt ebenfalls auf der überall eindringenden Informationsverarbeitung durch den Einsatz von Mikroelektronik in den Produktionshallen. Der Begriff des Pervasive Computing konnte sich über die Zeit jedoch nicht durchsetzen, weshalb bis auf wenige Ausnahmen von Unternehmen und Autoren auch in Bezug auf die Industrie 4.0 weiterhin der Begriff des Ubiquitous Computing verwendet wird und für die Allgegenwärtigkeit der Informationssysteme auf Basis eingebetteter Computer und Systeme steht (vgl. Fleisch und Mattern 2005, S. 39-40).

Durch das Zusammenspiel von über das Ubiquitous Computing mit Mikroelektronik versehenen Objekten und dem Internet sowie der dadurch gewonnenen drahtlosen Kommunikationsfähigkeit wird sukzessive das Internet der Dinge und Dienste erschaffen. Dieses bietet eine weitere technologische Grundlage für die Entwicklung von Industrie 4.0.

3.2 Phase 2: Internet der Dinge und Dienste (IoTS)

Das „Internet der Dinge und Dienste“ leitet sich aus dem Begriff „Internet der Dinge“ ab. Es basiert auf einer vollkommenen Vernetzung sämtlicher Alltagsgegenstände und stellt die **zweite Phase der technologischen Entwicklung** von Industrie 4.0 dar. Der Zusatz „Dienste“ zielt auf sämtliche Dienstleistungen ab, welche unter anderem bereits durch Themen wie Smart Cars, Smart City, Smart Home, Smart Building, Smart Traffic oder Smart Grid über das Internet erbracht werden können. Vor allem amerikanische Unternehmen wie Cisco Systems, Inc. (vgl. Cisco Systems Inc. 2014) und Qualcomm (vgl. Qualcomm Inc. 2014) setzen das Internet der Dinge mit den englischsprachigen Synonymen „Internet of Things (IoT)“ und „Internet of Everything“ gleich. In diesem Buch wird aus inhaltlichen Gründen die Bezeichnung „Internet der Dinge und Dienste“ sowie die Abkürzung „IoTS“ verwendet, wobei der Zusatz „S“ für Services, englisch für Dienste steht.

Zunächst einmal muss identifiziert werden, wie der Begriff „Internet der Dinge“ entstand. Die Ursprünge liegen vor allem im Einsatz der Radio Frequency Identification (RFID), welche zum ersten Mal in den neunziger Jahren durch die Firma Procter&Gamble im großen Stil eingesetzt wurden. Der sogenannte „RFID-Chip“ wurde zu dieser Zeit vor allem in der Logistik verwendet und diente der Nachverfolgung von Gütern innerhalb der Zulieferkette über das Internet (vgl. Schlick et al. 2014, S. 57).

Im Internet der Zukunft sind im Prinzip sämtliche physische Objekte, welche mit einer IP-Adresse ausgestattet werden können, über Sensoren und Mikrochips in der Lage, anderen IT-Systemen und Gegenständen von jedem nur erdenklichen Ort verschiedenste **Informationen weiterzugeben** sowie **bereitgestellte Dienste abzurufen** und zu nutzen (vgl. Schlick et al. 2014, S. 58-59). So sind bereits heute neben Smartphones, Tablets und kompletten Fahrzeugen auch Alltagsgegenstände, wie vernetzte Glühbirnen (vgl. Philips Hue 2014), Steckdosen (vgl. Belkin Inc. 2014), Raumthermostate und Feuermelder (vgl. Nest Inc. 2014), intelligente Kühlschränke (vgl. Electrolux Hausgeräte GmbH 1999) und sogar vernetzte Zahnbürsten (vgl. Procter & Gamble Service GmbH 2014) auf dem Markt erhältlich.

Das IoTS beschreibt, wie in Abbildung 6 veranschaulicht, die „**Erweiterung des allgegenwärtigen Internets**“ auf unterschiedlichste Alltagsgegenstände, die dann als Smart Products (Intelligente Produkte) bezeichnet und zu einem Bestandteil des Internets werden. Diese intelligenten Produkte generieren permanent Daten, welche es zu verarbeiten gilt, um basierend darauf entsprechende Dienste anbieten zu können. Eine Grundvoraussetzung hierfür liegt jedoch in einer intelligenten Vernetzung, welche nur erreicht werden kann, wenn jedem einzelnen elektrischen Gerät eine eigene IP-Adresse zugewiesen wird. Alle Gegenstände sollen so über das Internet eindeutig identifizierbar sein, um diese direkt und individuell ansprechen und steuern zu können. Das aktuell weltweit eingesetzte Standard Internet Protocol Version 4 (IPv4) kann durch den Einsatz eines 32-Bit-Formats jedoch „nur“ bis zu 4 Milliarden Adressen unterscheiden. Da diese Zahl durch die immer weiter voranschreitende Vernetzung elektrischer Geräte mit dem Internet jedoch bald erreicht sein wird und die Anzahl freier IP-Adressen in Europa, Ozeanien und Asien zur

Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0
Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der
Praxis

Roth, A. (Hrsg.)

2016, VIII, 272 S., Hardcover

ISBN: 978-3-662-48504-0