

■ Impressum

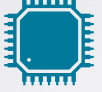
| | | |
|----------------------|---|--|
| Herausgeber: | BITKOM Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V. Albrechtstraße 10 A 10117 Berlin-Mitte Tel.: 030.27576-0 Fax: 030.27576-400 bitkom@bitkom.org www.bitkom.org | Das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO Nobelstr. 12 70569 Stuttgart Tel.: 0711.970-0 Fax: 0711.970-2287 www.iao.fraunhofer.de |
| Ansprechpartner: | Dr. Joachim Bühler Tel.: 030.27576-180 j.buehler@bitkom.org Wolfgang Dorst Tel.: 030.27576-243 w.dorst@bitkom.org | Dr.-Ing. Sebastian Schlund Tel.: 0711.970-2065 sebastian.schlund@iao.fraunhofer.de |
| Autoren: | Professor Dr.-Ing. Wilhelm Bauer Dr.-Ing. Sebastian Schlund Dr.-Ing. Dirk Marrenbach Dipl.-Ing. M. Sc. Oliver Ganschar (alle Fraunhofer IAO) | |
| Gestaltung / Layout: | Design Bureau kokliko / Astrid Scheibe (BITKOM) | |
| Titelbild: | Astrid Scheibe (BITKOM) | |
| Copyright: | BITKOM 2014 | |

BITKOM dankt seinen Mitgliedsunternehmen:

- Deutsche Telekom AG, Friedrich-Ebert-Allee 140, 53113 Bonn
- Infineon Technologies AG, Am Campeon 1-12, 85579 Neubiberg
- SAP AG, Dietmar-Hopp-Allee 16, 69190 Walldorf

für die finanzielle Unterstützung zur Durchführung dieser Studie.

Diese Publikation stellt eine allgemeine unverbindliche Information dar. Die Inhalte spiegeln die Auffassung im BITKOM zum Zeitpunkt der Veröffentlichung wider. Obwohl die Informationen mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt wurden, besteht kein Anspruch auf sachliche Richtigkeit, Vollständigkeit und/oder Aktualität, insbesondere kann diese Publikation nicht den besonderen Umständen des Einzelfalles Rechnung tragen. Eine Verwendung liegt daher in der eigenen Verantwortung des Lesers. Jegliche Haftung wird ausgeschlossen. Alle Rechte, auch der auszugsweisen Vervielfältigung, liegen beim BITKOM.

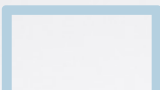


Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland

Studie

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Vorwort | 5 |
| Management Summary | 6 |
| 1 Zielsetzung und Konzeption der Studie | 9 |
| 1.1 Ausgangssituation | 9 |
| 1.2 Zielsetzung | 11 |
| 1.3 Konzeption der Studie | 12 |
| 2 Methodik der Studie | 13 |
| 2.1 Kurzporträts der beteiligten Experten | 15 |
| 3 Untersuchungsgegenstand Industrie 4.0 | 17 |
| 3.1 Industrie 4.0 – eine begriffliche Annäherung | 18 |
| 3.2 Industrie 4.0 als Produktivitätstreiber in Wertschöpfungsketten | 23 |
| 4 Potenziale für die einzelnen Branchen | 30 |
| 4.1 Ausgangssituation und Branchenauswahl | 30 |
| 4.2 Wertschöpfungsketten mit unterschiedlichen Effekten | 35 |
| 5 Voraussetzungen zur Umsetzung von Industrie 4.0 | 37 |
| 6 Einordnung des erwarteten Potenzials in die volkswirtschaftliche Betrachtung | 39 |
| 7 Literatur | 40 |
| 8 Danksagung | 43 |

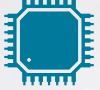


Verzeichnis der Abbildungen

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Wertschöpfungspotenzial ausgewählter Branchen durch Industrie 4.0 bis 2025 | 8 |
| Abbildung 2: Die vier Stufen industrieller Revolutionen | 10 |
| Abbildung 3: Forschungsfragestellungen der Studie | 11 |
| Abbildung 4: Aufteilung der Branchen in Deutschland nach Bruttowertschöpfung | 14 |
| Abbildung 5: Wachstumskurve vernetzter Geräte | 17 |
| Abbildung 6: In der Studie zu betrachtende Technologiefelder | 18 |
| Abbildung 7: Technologiefelder von Industrie 4.0 | 22 |
| Abbildung 8: Eigene Darstellung in Anlehnung an Porter | 25 |
| Abbildung 9: Wertschöpfungskette Landwirtschaft | 27 |
| Abbildung 10: Wertschöpfungskette Kraftfahrzeugbau und -teile | 28 |
| Abbildung 11: Wertschöpfungskette Maschinen- und Anlagenbau | 29 |
| Abbildung 12: Herkunft der befragten Experten nach Branche und Unternehmen | 30 |
| Abbildung 13: Erwartete Effekte durch Industrie 4.0 | 36 |

Liste der Abkürzungen

- BIP Bruttoinlandsprodukt, Gesamtwert aller Güter, die innerhalb eines Jahres innerhalb der Landesgrenzen einer Volkswirtschaft hergestellt wurden und dem Endverbrauch dienen.
- CPS Cyber-physisches System
- CPPS Cyber-physisches Produktionssystem
- IKT Informations- und Kommunikationstechnik
- IoTS Internet of Things and Services
(Internet der Dinge und Dienste)
- RFID Radio-Frequency Identification »Identifizierung mit Hilfe elektromagnetischer Wellen«



Vorwort



Prof. Dieter Kempf – BITKOM Präsident,
Vorsitzender des Vorstands Datev eG

Mit der vorliegenden Studie greift der BITKOM einer Entwicklung voraus, die das Potenzial hat, unsere Wirtschaft tiefgreifend zu verändern.

Von der Anwendung von Industrie 4.0-Technologien für eine intelligente Vernetzung zwischen Produktentwicklung, Produktion, Logistik und Kunden wird erwartet, dass sie einen wesentlichen Beitrag zur Sicherung des Wohlstands am Standort Deutschland leistet. Hiermit legt der BITKOM mit der Unterstützung des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) erstmals Einschätzungen für die volkswirtschaftlichen Potenziale von Industrie 4.0 für die Branchen vor, die voraussichtlich als erste wirtschaftlichen Nutzen ziehen werden.

Die Erwartungen an die Industrie 4.0 sind hoch gesteckt. Die prägenden Merkmale deutscher Produktionssysteme – Flexibilität, Qualität und Stabilität – können durch Industrie 4.0 auf ein neues Niveau gehoben werden.

Das Potenzial wird allein für die sechs Branchen Maschinen- und Anlagenbau, Elektrotechnik, Automobilbau, chemische Industrie, Landwirtschaft und Informations- und Kommunikationstechnologie auf einen zusätzlichen jährlichen Effekt von 1,7 Prozent geschätzt. Dies entspricht allein für diese ausgewählten Branchen bis 2025 mindestens 78 Mrd. Euro mehr Bruttowertschöpfung am Standort Deutschland.

Die vorliegenden Ergebnisse gehen über die bisherigen Pauschalaussagen hinaus und zeichnen deutlich die zu erwarteten Effekte ab. Einschätzungen zu Produktivitätssteigerungen betrieblicher Prozesse sowie dem Marktpotenzial durch innovative Produkte und Dienstleistungen stehen im Mittelpunkt der Studie.

Die Entwicklung von Methoden, Instrumenten und Technologien von Industrie 4.0 hat gerade erst begonnen. Es existieren zwar einige wenige Anwendungsbeispiele für Industrie 4.0, aber die Auswirkungen einer breiten branchenübergreifenden Anwendung dieser Technologien sind derzeit nur ungefähr abschätzbar. Die dafür notwendigen Anwendungskonzepte und Standards müssen aber bereits heute erarbeitet werden, damit sich Deutschland als Exportnation zukünftigen globalen Veränderungen erfolgreich stellen kann. Die deutsche Industrie ist mit ihren erfolgreichen Produkten im Feld der industriellen Informations- und Kommunikationssysteme sowie dem Maschinen- und Anlagenbau gut aufgestellt, um die Herausforderungen der erfolgreichen Entwicklung von Produkten und Dienstleistungen auf Basis von Industrie 4.0-Technologien zu meistern. Die Entwicklung, Einführung und Anwendung von Industrie 4.0-Technologien kann ein wesentlicher Treiber werden, der unsere heute schon sehr wettbewerbsfähige Produktion noch stärker macht, uns in die Zukunft führt und als Blaupause für andere Länder dient.

Wenn wir Industrie 4.0 nicht umsetzen, dann machen es andere. Und wenn wir es umsetzen, müssen wir es schnell tun, denn unsere globalen Wettbewerber sind auch längst aktiv. Also packen wir es mit voller Kraft an!

Prof. Dieter Kempf
BITKOM Präsident

Management Summary

Die Wettbewerbssituation, in der deutsche Unternehmen heute agieren, ist durch eine wachsende Dynamik geprägt. Der Umgang mit steigender Produkt-, und Prozesskomplexität in Verbindung mit volatilen Märkten und die sich stetig verkürzenden Produkt-, Markt-, Technologie- und Innovationszyklen stellt für deutsche Unternehmen eine permanente Herausforderung dar. Dies schließt sowohl die Entwicklung von wettbewerbsfähigen Produkten und Dienstleistungen als auch das Management effizienter und wandlungsfähiger Logistik- und Produktionssysteme ein. Hohe Rohstoffpreise und die sich bereits abzeichnenden Auswirkungen des demografischen Wandels verschärfen die Wettbewerbssituation deutscher Unternehmen zusätzlich.

Im Zusammenhang mit den skizzierten schwierigen Wettbewerbsbedingungen wird »Industrie 4.0« als ein wesentlicher Treiber für den Erhalt und Ausbau der Konkurrenzfähigkeit Deutschlands angesehen. Unter »Industrie 4.0« wird eine intelligente Vernetzung von Produkten und Prozessen in der industriellen Wertschöpfung verstanden. Diese Intelligenz ermöglicht die Generierung von Mehrwerten durch effizientere oder neue Prozesse und die Erzielung besserer Absatzchancen für höherwertige Produkte, Dienstleistungen bzw. deren Kombinationen.

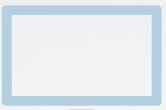
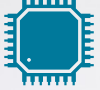
Im Auftrag des BITKOM untersucht das Fraunhofer IAO mit dieser Studie mögliche Produktivitätssteigerungen und Wachstumsimpulse, die durch den Einsatz von Industrie 4.0-Technologien für deutsche Unternehmen entstehen können. Weiterhin wird dargestellt, wie sich zukünftig Wertschöpfungsanteile in Wertschöpfungsketten verändern und welche Voraussetzungen für die erfolgreiche Nutzung von Industrie 4.0-Technologien geschaffen werden müssen.

Das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO beschäftigt sich mit aktuellen Fragestellungen rund um den arbeitenden Menschen. Insbesondere untersucht es die Frage, wie sich die Produktionsarbeit der Zukunft gestaltet und welchen Einfluss darauf innovative Organisationsformen sowie Informations- und Kommunikationstechnologien ausüben.

Die Studie führt Potenzialabschätzungen für den Einsatz von Industrie 4.0-Technologien bis in das Jahr 2025 durch. Grundlage für diese Abschätzungen sind Experteninterviews, in denen neben den Potenzialen auch Hemmnisse, Randbedingungen und Voraussetzungen für den erfolgreichen Einsatz dieser Technologien abgefragt wurden.

Die zentralen Erkenntnisse der Studie lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Volkswirtschaftliche Potenziale:
 - Die volkswirtschaftlichen Effekte durch Industrie 4.0 werden durch den Einsatz von Technologien aus den fünf Technologiefeldern Embedded Systems, Smart Factory, Robuste Netze, Cloud Computing und IT-Security erwartet.
 - Allein für die sechs Branchen Maschinen- und Anlagenbau, Elektrotechnik, Automobilbau, chemische Industrie, Landwirtschaft und Informations- und Kommunikationstechnologie wird bis 2025 ein zusätzliches Wertschöpfungspotenzial von 78 Milliarden Euro (jährlich 1,7 Prozent Wachstum) durch Industrie 4.0-Technologien erwartet.



2. Wertschöpfungsanteile:

- Das erwartete Potenzial setzt sich zusammen aus neuen innovativen Produkten, neuen Dienstleistungen und Geschäftsmodellen sowie effizienteren betrieblichen Prozessen. Anwendungen dafür erstrecken sich über die gesamte Wertschöpfungskette; vom Vertrieb über die Produktentwicklung, Produktion/Logistik und die unterstützenden Bereiche.
- Im Automobilbau wird ein zusätzliches Wertschöpfungspotenzial von 15 Milliarden Euro (1,5 Prozent pro Jahr bis 2025) erwartet. Die Effekte werden vor allem in der Integration von Echtzeitdaten an der Schnittstelle von Produktentstehung und Produktion sowie wandlungsfähigere Produktionssysteme durch die Nutzung von Echtzeitdaten, intuitive Mensch-Maschine-Schnittstellen und flexible Automatisierung gesehen.
- Im Maschinen- und Anlagenbau wird ein zusätzliches Wertschöpfungspotenzial von 23 Milliarden Euro (2,2 Prozent pro Jahr bis 2025) erwartet. Die Effekte werden vor allem in der netzwerkartigen Nutzung von Betriebs-, Zustands- und Umfelddaten zu Gestaltung innovativer Lösungen sowie in der Implementierung intuitiver Bedienkonzepte und einfacher Konfiguration gesehen.
- In der Branche der elektrischen Ausrüster sowie der chemischen Industrie wird ein zusätzliches Wertschöpfungspotenzial von jeweils 12 Milliarden Euro (2,2 Prozent pro Jahr bis 2025) erwartet. Die Effekte werden vor allem in der Nutzung von Betriebs-, Zustands- und Umfelddaten zur echtzeitnahen Prozessüberwachung sowie einfacher Konfigurierbarkeit weltweit verteilter Produktionsprozesse gesehen.
- In der Informations- und Kommunikationstechnik wird ein zusätzliches Wertschöpfungspotenzial von 14 Milliarden Euro (1,2 Prozent pro Jahr bis 2025) erwartet. Die Effekte werden vor allem durch neue Produkte und Dienstleistungen für eine einfache, flexible und echtzeitnahe Produktionsplanung und -steuerung gesehen.
- In der Landwirtschaft wird ein zusätzliches Wertschöpfungspotenzial von 3 Milliarden Euro (1,2 Prozent pro Jahr bis 2025) erwartet. Die Effekte werden vor allem durch den Einsatz mobiler Geräte für eine einfache, flexible und echtzeitnahe Produktionsplanung und -steuerung sowie die ad hoc-Vernetzung von Landmaschinen gesehen.

3. Voraussetzungen:

- Damit diese und zusätzliche Effekte in weiteren Branchen realisiert werden können, sind Standards und Unterstützung auf der Technologie- und Anwendungsseite notwendig. Insbesondere sind hier praktikable und abgestimmte Regeln für schnelle und schnittstellenfreie Kommunikation, Datenschutz und Datensicherheit notwendig.
- Industrie 4.0 sollte keineswegs auf den reinen Technologieeinsatz eingeschränkt werden. Der flächendeckende Einsatz von IT und intelligenten Objekten in Produktionsprozessen erfordert die Betrachtung des gesamten »Ökosystems«; bestehend aus Technik, Mensch und Organisation.

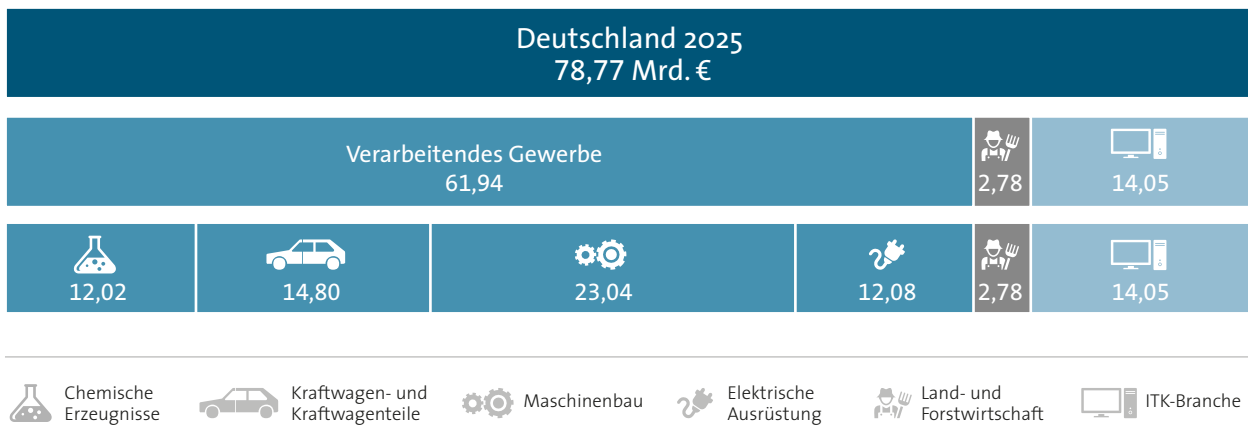
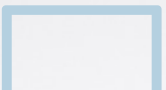


Abbildung 1: Wertschöpfungspotenzial ausgewählter Branchen durch Industrie 4.0 bis 2025

Eine Vielzahl neuer Industrie 4.0-Anwendungen wird dazu beitragen, dass in den kommenden Jahren Wertschöpfungsketten und -netze durch die gezielte Vermeidung von Verschwendungen noch wettbewerbsfähiger werden. Es wird eine verstärkte Substitution von Material, Beständen und Bewegungen durch aktuelle Echtzeitinformationen stattfinden. Neben der Verschlankung durch Vermeidung von Verschwendung kann die Aktualität und Qualität von Entscheidungen durch aktuelle Informationen, situationsgerechte Koordinationsmethoden sowie den Rückgriff auf Expertenwissen nochmals verbessert werden. Erste Anwendungsfälle weisen auf das erhebliche Potenzial der Industrie 4.0-Technologien – allein in der Produktion – hin.

Der Nutzen wird sich nicht sofort revolutionär entfalten, sondern die Industrie in den nächsten Jahren nach und nach evolutionär verändern. Erste Erfolge sind heute schon in Branchen wie bspw. der Mikroelektronik, dem Solar- und Leiterplattenbau sowie der Chipproduktion sichtbar. Diese sind bereits stark automatisiert und vernetzt. In anderen Bereichen steht die Einführung intelligent vernetzter Technologie bis heute noch aus und selbst in den genannten birgt der Ersatz gewachsener IT-Strukturen durch Internet-Technologien ein erhebliches Potenzial.



1 Zielsetzung und Konzeption der Studie

Die fortschreitende Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) hat dafür gesorgt, dass mittlerweile auch im Bereich der Produktion leistungsstarke und günstige eingebettete Systeme, Sensoren und Aktoren zur Verfügung stehen. Unter dem Schlagwort »Industrie 4.0« werden momentan Entwicklungen hin zu einem Produktionsumfeld diskutiert, das aus intelligenten, sich selbst steuernden Objekten besteht, die sich zur Erfüllung von Aufgaben zielgerichtet temporär vernetzen. In diesem Zusammenhang wird auch von Cyber-Physischen Produktionssystemen (CPPS) gesprochen. In einer Vision der flächendeckenden Durchdringung dieses Ansatzes steuern sich Aufträge selbstständig durch ganze Wertschöpfungsketten, buchen ihre Bearbeitungsmaschinen und ihr Material und organisieren ihre Auslieferung zum Kunden.

Möglich gemacht wird die Vernetzung dieser dezentralen intelligenten Systeme durch die flächendeckende und bezahlbare Verfügbarkeit der technischen Infrastruktur in Form von industriell einsetzbaren (Funk-) Internetverbindungen. Logisch werden die Systeme durch die konsequente Anwendung von dezentralen Steuerungsprinzipien wie Multiagentensystemen gekoppelt, die sich am schon lange propagierten »Internet der Dinge« orientieren. Dies ermöglicht die Integration von realer und virtueller Welt.

Produkte, Geräte und Objekte mit eingebetteter Software wachsen bei Industrie 4.0 zu verteilten, funktionsintegrierten und rückgekoppelten Systemen zusammen.

Mit zunehmenden IKT-Anwendungen unterliegen die angrenzenden Bereiche der Arbeit – Wissens- und Dienstleistungsarbeit – bereits radikalen Veränderungen. Der flächendeckende Einzug von PC, Internet und Mobiltelefonen führte und führt immer noch zu neuen Arbeitsformen. Diese neuen Technologien haben die Bereiche der Produktionsarbeit bisher jedoch erst »gestreift«. Ein plakatives Beispiel ist die Diskussion über den Einsatz von Smartphones und Tablet-PCs in der Produktion. Ist die

produktive Nutzung dieser mobilen Endgeräte heute noch auf wenige Anwendungsfälle wie Wartung und Instandhaltung beschränkt, wird es zunehmend wahrscheinlich, dass diese neuen Technologien künftig auch in den direkten Produktionsbereichen verstärkt eingesetzt werden.

■ 1.1 Ausgangssituation

Die intelligente internetgestützte Vernetzung von Objekten, Maschinen und Menschen mit IKT-Systemen stellt den erwarteten nächsten großen Schritt in der Entwicklung der Produktion dar.

Die erste Industrielle Revolution begann Mitte des 18. Jahrhunderts mit der Mechanisierung der Landwirtschaft, Rohstoffgewinnung und -verarbeitung sowie der Produktion auf der Grundlage der Dampfmaschine. Zudem erfolgte durch die Verbreitung von Dampfschiffen, Eisenbahnen und Kanäle eine großflächige Vernetzung von Gewinnungs- und Produktionsstätten. Mit dem Ende des 19. Jahrhunderts setzte sich diese Entwicklung mit der flächendeckenden Elektrifizierung von Städten, Eisenbahnen und Produktionsstätten sowie dem Einsatz durch Verbrennungsmotoren angetriebener Transportmittel wie Automobile, Lastkraftwagen und Flugzeuge fort. In diese zweite Industrielle Revolution fällt auch die Entwicklung von Telegraphen und Telefonen zur Kommunikation und Koordination von Produktionssystemen.

Mit der Erfindung des Computers Mitte des 20. Jahrhunderts begann die dritte Industrielle Revolution, die durch Automatisierung, computergestützte Massenproduktion und Individualisierung gekennzeichnet ist. In dieser Phase haben Computersysteme, beginnend mit einfachen NC-Programmen, weite Teile der Steuerung von Maschinen und Prozessen übernommen. Mit dem Internet steht heute ein System zur weltweiten Kommunikation und Koordination von globalen Wertschöpfungsnetzwerken zur Verfügung. Die Maschinen und Anlagen von Produktionssystemen sind aber bisher weitestgehend

von dieser Vernetzung ausgeschlossen und werden im Sinne abgeschlossener Systeme hierarchisch gesteuert. Die Abbildung 2 fasst diesen Entwicklungspfad kurz zusammen.

Die intelligente Vernetzung stellt somit eine konsequente Weiterentwicklung industrieller Wertschöpfungssysteme dar, in der computergestützte Maschinen- und Anlagen über das Internet untereinander und mit anderen IKT-Systemen gekoppelt werden. Die technologische Perfektion der Produktionsanlagen in Kombination mit einer stärkeren Integration der Mitarbeiter, Kunden und Benutzer der Produkte ermöglicht dank der intelligenten Vernetzung völlig neue Geschäftsmodelle.

Als führender Anbieter und Anwender von Geräten, Maschinen, Anlagen und Technologien wird sich Deutschland der vierten Industriellen Revolution stellen. Die Forschungsunion, als eines der zentralen

innovationspolitischen Beratungsgremien der Bundesregierung, erarbeitete im Rahmen der Hightech-Strategie Zukunftsthemen, mit denen Deutschland einen Spitzenplatz bei der Lösung globaler Herausforderungen einnehmen soll. Der Forschungsunion zufolge kann Deutschland nur ein erfolgreicher Produktionsstandort bleiben, wenn es gelingt »die vom Internet getriebene vierte Industrielle Revolution mit zu gestalten und autonome, selbststeuernde, wissensbasierte und sensorgestützte Produktionssysteme zu entwickeln, zu vermarkten und zu betreiben.«¹

Zusammenfassend wird von den unter Industrie 4.0 zusammengefassten Anwendungen internetbasierter Technologien ein signifikanter volkswirtschaftlicher Nutzen für die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie erwartet.

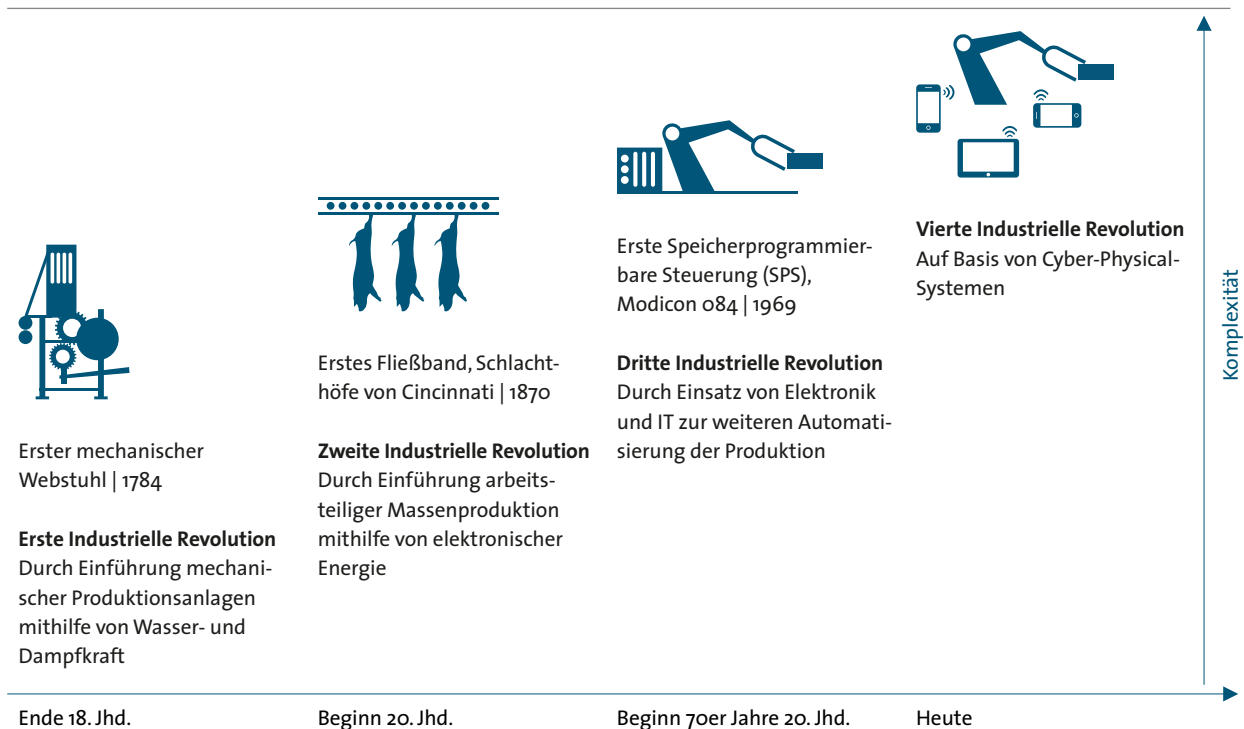


Abbildung 2: Die vier Stufen industrieller Revolutionen

¹ Vgl. (Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft und Wissenschaft, 2013)

■ 1.2 Zielsetzung

Die Erwartungen an die Einführung von Industrie 4.0-Technologien basieren im Wesentlichen auf der flächendeckenden und schnittstellenfreien Nutzung von echtzeitnahen Informationen. In einer sogenannten »dualen Strategie« werden sowohl Effekte aus der vermehrten Integration von Intelligenz in Produkte (Leitanbieterstrategie) als auch aus dem Einsatz intelligenter Produkte in der Produktion (Leitmarktstrategie) erwartet. Dies betrifft auf der Produktseite internetfähige Produkte, die durch den Datenaustausch mit weiteren Objekten Mehrwert schaffen. Auf Seiten der Produktion sind durch die Vernetzung von Maschinen, Anlagen, Produkten und Behältnissen im Wesentlichen Kosten- und Zeitvorteile zu erwarten. Eine zentrale Rolle kommt der Einbindung der Mitarbeiter über die verstärkte Nutzung mobiler Kommunikationsmittel und dem Einzug von Social Media in der Produktion zu. Insgesamt umfasst die duale Strategie drei wesentliche Bestandteile:²

- den Aufbau von Wertschöpfungsketten und -netzwerken über Firmengrenzen hinweg auf Basis einer horizontalen Integration,
- ein digital durchgängiges Engineering über die gesamte Wertschöpfungskette des Produkts und des zugehörigen Produktionssystems sowie

- den Aufbau und die Realisierung flexibler und rekonfigurierbarer Produktionssysteme innerhalb eines Unternehmens und deren vertikale Integration.

Im Rahmen einer von Industrie 4.0 geprägten Produktionslandschaft werden folgende Effekte erwartet:

- Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen aufgrund von Effizienzgewinnen in der Produktion durch die kostengünstigere, flexiblere, schnellere und/oder qualitativ hochwertigere Herstellung von Gütern
- Veränderte Wertschöpfungsketten mit neuen Kapazitätsmustern bei Anbietern, vor allem aber bei den Nutzern der Industrie 4.0-Technologien
- Innovations- und Wachstumsimpulse durch die Entwicklung internetfähiger Produkte und Geschäftsmodelle (zur Nutzung dieser Produkte im Feld über den gesamten Produktlebenszyklus)

Zielsetzung der Studie ist die Ermittlung der volkswirtschaftlichen Potenziale von Industrie 4.0-Technologien im verarbeitenden Gewerbe in Deutschland. Im Wesentlichen sollen drei Forschungsfragen beantwortet werden (Abbildung 3):

1

Wie hoch sind die **volkswirtschaftlichen Potenziale** einer flächendeckenden Nutzung von Industrie 4.0-Technologien, die sich durch Produktivitätssteigerungen und Wachstumsimpulse ergeben und wie lassen sich diese Technologien beschreiben?

2

Wie verändern sich die **Wertschöpfungsanteile in Wertschöpfungsketten**, die Industrie 4.0 geprägt sind?

3

Welche Voraussetzungen müssen für die erfolgreiche Nutzung von Industrie 4.0-Technologien geschaffen werden bzw. welche Rahmenbedingungen verändert werden?

Abbildung 3: Forschungsfragestellungen der Studie

² Vgl. (Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft und Wissenschaft, 2013)

■ 1.3 Konzeption der Studie

Der Begriff Industrie 4.0 wurde vor allem im Rahmen der Hannover Messe 2013 für die breite Öffentlichkeit geprägt. Er wird inzwischen von Anbietern von Hard- und Softwarelösungen aus dem Feld der Automatisierung, der Informations- und Kommunikationstechnik sowie dem Maschinen- und Anlagenbau gleichermaßen verwendet. Unter den Beteiligten besteht ein gemeinsames Verständnis über die zukünftigen Möglichkeiten von Industrie 4.0-Technologien. Dies gilt insbesondere für das Anwendungsgebiet der Produktion und Logistik. Dies wird durch erste Studien mehr als bestätigt.³

Die Wettbewerbsvorteile und Auswirkungen einer flächendeckenden Anwendung von Industrie 4.0-Technologien können derzeit genauso wenig vorhergesagt werden, wie die durch Industrie 4.0 besonders betroffenen Branchen. Außerdem ist derzeit noch völlig offen, wie lange die Durchdringung der Branchen mit Industrie 4.0-Technologien dauern wird. In der Übergangszeit ist mit schnittstellenbedingten Verlusten zu rechnen. Mit wachsender Durchdringung werden die Auswirkungen und Potenziale dieser Technologien deutlich sichtbar. Dementsprechend sind die Höhe von Potenzialen und der Zeitpunkt des Eintretens von Potenzialen schwer vorhersehbar.

Die Durchdringung von Technologien korrespondiert direkt mit der Umsetzungsgeschwindigkeit. Die Umsetzungsgeschwindigkeit ist sowohl von unternehmens- und branchenspezifischen als auch allgemeinen Faktoren abhängig und kann ebenfalls nicht prognostiziert werden.

Trotz der skizzierten Schwierigkeiten bei der Prognose von Auswirkungen und Potenzialen des flächendeckenden Einsatzes von Industrie 4.0-Technologien in der Produktion und in Deutschland, sagen Experten diesen Technologien ein großes Potenzial voraus.

In den Umsetzungsempfehlungen für Industrie 4.0-Technologien der Forschungsunion wird mit einem zu erwartenden Potenzial von bis zu 30 Prozent gerechnet. Bereits existierende Studien sehen einen Anwendungsschwerpunkt von Industrie 4.0-Technologien ebenfalls in Produktion und Logistik, gehen aber in den zu erwartenden Potenzialen weit über die Prognose der Forschungsunion hinaus.⁴

Ziel der vorliegenden Studie ist es, auf der Grundlage einer akzeptierten Definition, belastbare quantitative Aussagen über die volkswirtschaftlichen Auswirkungen von Industrie 4.0 zu erhalten. Hierzu werden, auf Basis einer standardisierten branchenspezifischen Wertschöpfungskette, Aussagen über die durch Industrie 4.0-Technologien eintretenden Veränderungen ermittelt und deren Auswirkungen auf eine Branche bzw. auf die Gesamtwirtschaft hochgerechnet. Als Experten für sechs ausgewählte Branchen wurden Vertreter aus Unternehmen einbezogen, die bereits erste Erfahrungen bei der Anwendung von Industrie 4.0-Technologien in ihren Unternehmen gemacht haben.

³ Vgl. (Spath, 2013; SAS, 2013; Heng, 2014)

⁴ Vgl. (General Electric 2013, McKinsey 2013a)

2 Methodik der Studie

In dieser Studie werden die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen einer flächendeckenden Anwendung von Industrie 4.0-Technologien auf einzelne Branchen in der Bundesrepublik Deutschland untersucht.

Zur Durchführung dieser Studie wurde eine Erhebungsmethodik auf Grundlage von Experteninterviews gewählt. Die ausgewählten Experten besitzen bereits erste Erfahrungen mit der Anwendung von Industrie 4.0-Technologien und sind in der Lage die Veränderungen infolge der Anwendung dieser Technologien branchenspezifisch bzw. gesamtwirtschaftlich abzuschätzen.

Grundlage für die vorliegende Studie ist die von der Forschungsunion in den Umsetzungsempfehlungen⁵ für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 vorgeschlagene Arbeitsdefinition des Begriffs als »[...] Nutzung des Internets der Dinge und Dienste für die Produktion [...]«, sowie die von der Plattform Industrie 4.0 veröffentlichte Arbeitsdefinition.⁶

Im Rahmen einer Metaanalyse sind bereits bestehende Studien zu Basistechnologien für Industrie 4.0 ausgewertet und zusammengefasst worden.

Die Umsetzungsempfehlungen der Forschungsunion und andere Studien wurden herangezogen, um eine Übersicht über die von Industrie 4.0 beeinflussten Technologien zu erstellen und mögliche Anwendungsfälle zu ermitteln. Hierzu wurde auch die kürzlich vom Fraunhofer IAO veröffentlichte Studie »Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0« herangezogen, in der führende Vertreter aus Wirtschaft und Wissenschaft zu den Möglichkeiten und Auswirkungen von Industrie 4.0 befragt wurden.

Die durch den Einsatz von Industrie 4.0-Technologien zu erwartenden Effekte wurden anhand einer beispielhaften Wertschöpfungskette abgeschätzt.

Des Weiteren wurden beispielhafte Wertschöpfungsketten in verschiedenen Branchen untersucht, um eine belastbare Aussage für die konkreten Nutzungsmöglichkeiten und Potenziale von Industrie 4.0-Technologien aufzuzeigen.

Auf der Basis einer groben Wertstromanalyse wurden Produktivitätspotenziale für den flächendeckenden branchenbezogenen bzw. gesamtwirtschaftlichen Einsatz von Industrie 4.0-Technologien aufgezeigt und gemeinsam mit Experten hinsichtlich des zu erwartenden Produktivitätspotenzials abgeschätzt. Auf dieser Grundlage wurde eine Hochrechnung der Potenziale für die wichtigsten Branchen und für Deutschland durchgeführt.

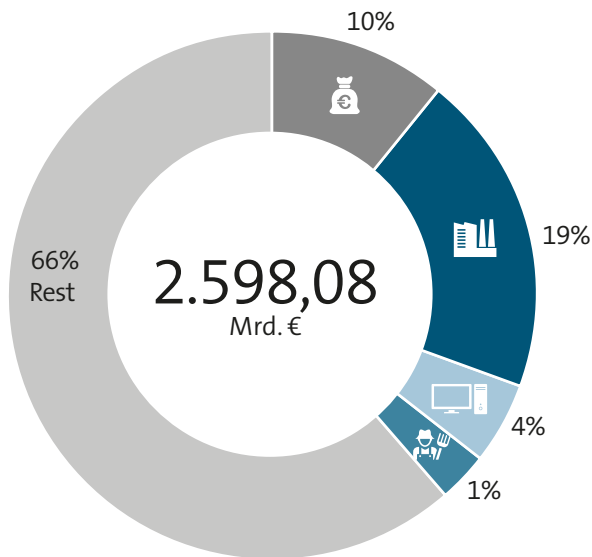
Die ausgewählten Branchen⁷ aus der nachfolgenden Abbildung 4 werden in Kapitel 4.1 genauer beschrieben.

⁵ Vgl. (Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft und Wissenschaft, 2013)

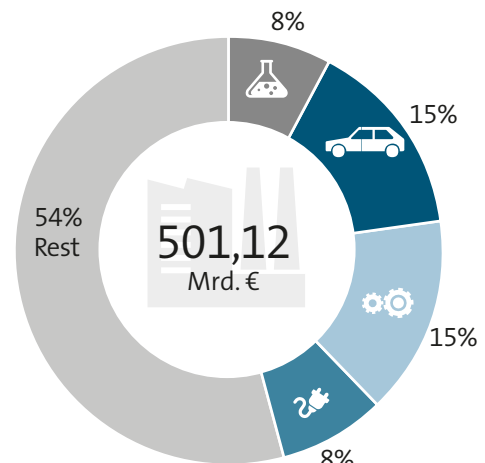
⁶ Vgl. (Plattform Industrie 4.0, 2013)

⁷ Als Bezugsgröße für die Bruttowertschöpfung der jeweiligen Branche dienten die branchenbezogenen Angaben des Jahres 2010. Für die Ermittlung zum Bezugsjahr 2013 wurden alle Teilbranchen mit einer Erhöhung in Höhe des Wirtschaftswachstums in Deutschland der Jahre 2011 (3,3 Prozent) und 2012 (0,7 Prozent) herangezogen.

Bruttoinlandsprodukt



Bruttowertschöpfung



Bezugsjahr 2013*

BIP = Bruttowertschöpfung + Gütersteuern abzüglich Subventionen

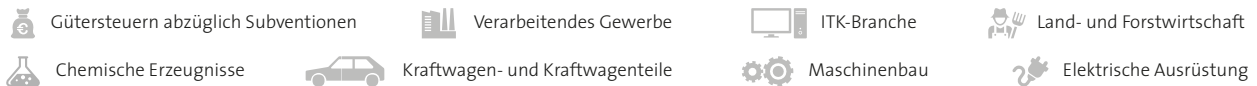
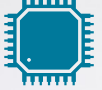


Abbildung 4: Aufteilung der Branchen in Deutschland nach Bruttowertschöpfung⁸

Die Auswirkungen des Einsatzes von Industrie 4.0-Technologien für die deutsche Wirtschaft basieren auf den zu erwartenden Produktivitätssteigerungen. Die zu erzielenden Wachstumspotenziale infolge eines Technologievorsprungs, bei der Entwicklung von Industrie 4.0-Produkten und Dienstleistungen, sind im Rahmen von Experteninterviews mit Vertretern aus der Wirtschaft ermittelt worden.

Die Studie schließt mit einer Zusammenstellung der notwendigen Voraussetzungen und der Ableitung von Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Industrie 4.0-Ausgestaltung.

⁸ Vgl. (Statistisches Bundesamt, 2013)



■ 2.1 Kurzporträts der beteiligten Experten



Christian Rusch



»Der Zeithorizont bis 2025 wird notwendig sein, um die benötigte Population von vernetzten Maschinen zu erreichen, weil unsere Maschinen eine hohe Lebensdauer haben. Erste Potenziale sind durch RetroFit-Lösungen wesentlich früher zu heben.«



Martin Bogen



»Mit Hilfe der virtuellen Welt können wir lange Prozessketten einer Wertschöpfungskette in der physischen Welt verknüpfen. Dadurch können wir z.B. den Ausschuss verringern und die Qualität und Quantität von Felddaten verbessern. All das wird möglich mit Hilfe von selbstgesteuerter Interaktion innerhalb der Prozesskette.«



Klaus Bauer



»Durch die konsequente Produktweiterentwicklung und der Berücksichtigung der Erkenntnisse aus den Industrie 4.0-Diskussionen lassen sich bisher ungeahnte und ungenutzte Potenziale erschließen.«



Dr. Heinz Jürgen Prokop



»Wir sehen Industrie 4.0 vorrangig als Diskussionsplattform, um die Potenziale intelligenter Vernetzung, frühzeitig für neue Funktionalitäten und Produkte zu nutzen.«



Dr. Volker Damrath



»Für mich wäre eine effiziente Produktion möglich, wenn ich mit Daten meiner Lieferanten in Echtzeit deren Lieferzuverlässigkeit besser einschätzen könnte. Ich muss frühzeitig wissen, wann meine Rohstoffe zu bestellen sind, damit ich möglichst wenig auf Lager lege.«



Jürgen Gebker



»Die Vernetzung von Menschen, Maschinen und Geschäftsanwendungen schreitet in kaum vorstellbarer Geschwindigkeit voran. Durch die Verknüpfung von technischen Daten mit den Geschäftsdaten wie Finanz-, Produkt- und Anlageninformationen können sich völlig neue Szenarien und Geschäftsmodelle ergeben.«



Dr. Thomas Kaufmann



»Smart Factories werden nur dann realisiert und akzeptiert, wenn sie stabil und wirtschaftlich umsetzbar sind und das Prozess-Know-how zuverlässig geschützt wird.«



Hagen Rickmann



»Wenn wir die Umsetzung von Industrie 4.0 technologisch zuverlässig bewältigen, dann können wir uns für die deutsche IKT-Branche einen Wettbewerbsvorteil erarbeiten. Da glaube ich fest dran. Dann haben wir die Chance, Vorreiter zu sein – und das mit »Data managed in Germany«.«

3 Untersuchungsgegenstand Industrie 4.0

»Der Begriff Industrie 4.0 steht für die vierte Industrielle Revolution, eine neue Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten. Die zunehmend individualisierten Kundenwünsche lassen sich nur durch ein lebenszyklusübergreifendes Management nachhaltig umsetzen. Diese Zyklusbetrachtung umfasst alle Phasen von der Idee, dem Auftrag über die Entwicklung und Fertigung, die Auslieferung eines Produkts an den Endkunden bis hin zum Recycling, einschließlich der damit verbundenen Dienstleistungen.«⁹

Basis für diese Begriffsdefinition der »Plattform Industrie 4.0« ist ein ganzheitliches Management auf Grundlage von Lebenszyklen, die permanente Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit, die Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen sowie die

Fähigkeit, aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten.

Die Verbindung von Menschen, Objekten und Systemen ermöglicht den Aufbau wandlungsfähiger, echtzeitoptimierter und sich selbst organisierender, unternehmensübergreifender Wertschöpfungsnetzwerke, die sich nach unterschiedlichen Kriterien wie bspw. Kosten, Verfügbarkeit und Ressourcenverbrauch optimieren lassen.

Die skizzierte Vision des Aufbaus und der Funktionsweise von Industrie 4.0-Systemen stellt eine konsequente Weiterentwicklung der Verknüpfung intelligenter Objekte dar, die sich im Konzept des Internets der Dinge bzw. des Industrial Internet oder Internet of Things wiederfindet.

Der Trend in Richtung vernetzter Welten und Industrie 4.0 wird vor allem durch die rasante Entwicklung der Anzahl vernetzungsfähiger Geräte getrieben, wie Abbildung 5 verdeutlicht.¹⁰

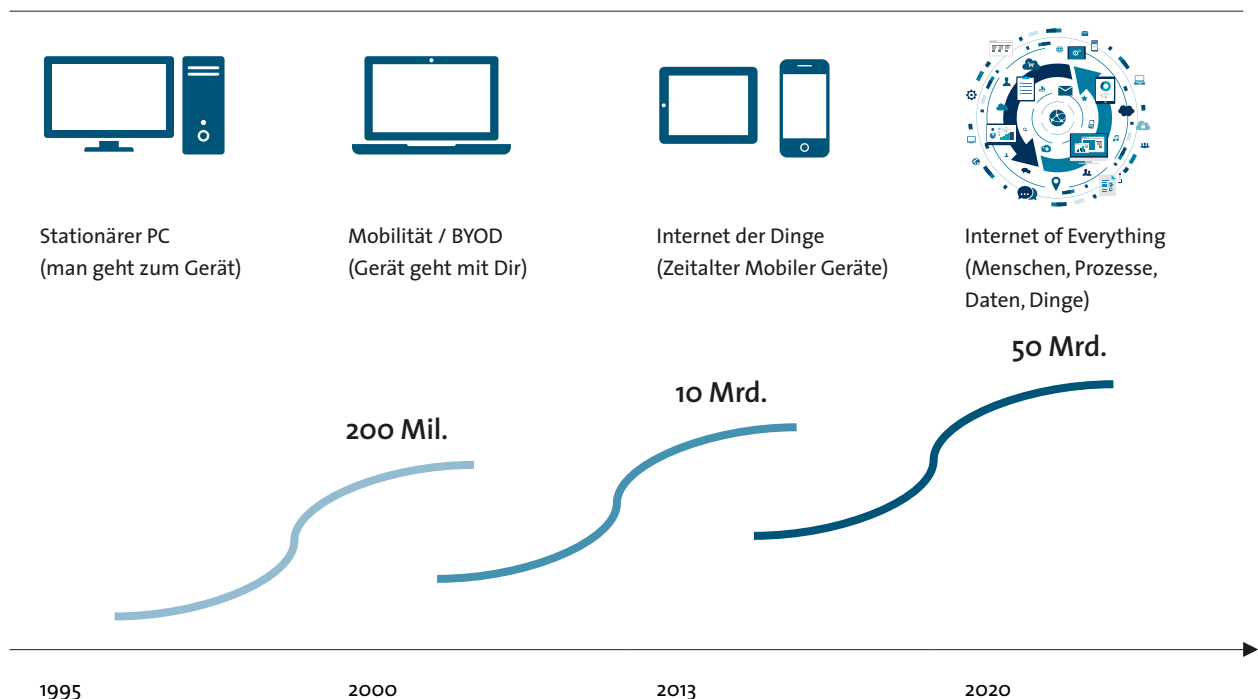


Abbildung 5: Wachstumskurve vernetzter Geräte

⁹ (Plattform Industrie 4.0, 2013)

¹⁰ (Cisco, 2013)

■ 3.1 Industrie 4.0 – eine begriffliche Annäherung

Der Begriff Industrie 4.0 befindet sich derzeit in aller Munde. Die im Rahmen der Studie untersuchten 104 Charakterisierungen, Beschreibungen und Definitionen des Begriffs Industrie 4.0 variieren stark in Zielrichtung und Betrachtungsbereich. Eine eindeutige, allgemein akzeptierte Darstellung von Industrie 4.0 existiert derzeit noch nicht.

Für diese Studie gilt die Definition von Industrie 4.0 nach der Plattform Industrie 4.0:

»Im Mittelpunkt von Industrie 4.0 steht die echtzeitfähige, intelligente, horizontale und vertikale Vernetzung von Menschen, Maschinen, Objekten und IKT-Systemen zum dynamischen Management von komplexen Systemen.«

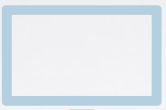
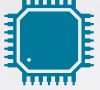
Auf Basis dieser Definition wird der technologische Einflussbereich von Industrie 4.0 abgesteckt. Innerhalb dieses Einflussbereichs werden Technologiefelder definiert, die besonders stark von den Industrie 4.0-Technologien beeinflusst werden. Charakteristikum aller Industrie 4.0-Technologien ist ihre Befähigung zu einer intelligenten Vernetzung von Menschen, Maschinen, Objekten und IKT-Systemen. Ein weiteres Kriterium für die Bestimmung von Technologiefeldern ist die Existenz von ersten (prototypischen) Industrie 4.0-Anwendungen. Eine eindeutige Abgrenzung von Technologiefeldern sowie des Einflussbereichs von Industrie 4.0 ist aber nicht möglich. Die gewählten Technologiefelder bilden aber eine Plattform zur Abschätzung der Auswirkungen dieser Technologien auf Wertschöpfungsketten. Die Auswirkungen von Technologien auf Wertschöpfungsketten sind branchenspezifisch. Daher werden die Auswirkungen und Potenziale für die sechs verschiedenen Branchen untersucht.

Folgende Technologiefelder wurden für die Auswirkungs- und Potenzialanalyse identifiziert:



Abbildung 6: In der Studie zu betrachtende Technologiefelder

In den nachfolgenden Abschnitten werden die einzelnen Technologiefelder kurz vorgestellt.



1. Embedded Systems, intelligente Objekte und Cyber-Physische Systeme (CPS)

Grundlage für die intelligente Vernetzung ist die Ausrüstung von bisher passiven Objekten mit Mikrocontrollern, Kommunikationssystemen, Identifikatoren, Sensoren, und Aktoren. Diese werden auch als Embedded Systems bezeichnet. Die Kommunikationssysteme stellen die Interaktion mit funk- bzw. kabelbasierten Netzwerken sicher. Sensoren liefern Daten über das direkte Umfeld des Objekts. Identifikatoren dienen zur eindeutigen Identifikation des Objekts. Ein Barcode oder ein RFID-Transponder sind Beispiele für Identifikatoren. Aktoren führen nicht nur Bewegungen von Komponenten des Objekts aus, sondern dienen auch zur Übermittlung visueller oder akustischer Informationen an Personen. Der Mikrocontroller stellt die eigentliche Intelligenz des Embedded Systems dar und analysiert die eingehenden Daten, bestimmt den Status des Objekts, bereitet Entscheidungen vor und führt diese aus.

Beispiele für intelligente Objekte in Produktion und Logistik sind der intelligente Behälter, Werkzeuge, Werkstückträger, Ladehilfsmittel oder Komponenten. Der intelligente Behälter ist nicht nur eindeutig über einen RFID-Transponder zu identifizieren, sondern kann jederzeit über seine Position und seinen Inhalt Auskunft geben. Zur Feststellung der Position verfügt er über ein in- und outdoorfähiges Ortungs- und Positionierungssystem und kann über ein eingebautes Identifikationssystem die Identifikatoren der gespeicherten Objekte auslesen. Die Daten werden über WLAN oder Funktelefon an die Behälterverwaltung geschickt.

Die Vision für ein mögliches Industrie 4.0-Zeitalter ist die konsequente intelligente Vernetzung über den gesamten Wertschöpfungsprozess und den Produktlebenszyklus. Intelligente Objekte erfassen permanent Daten über ihren Zustand sowie die Umgebung. Während der Herstellungsphase des Produkts wird diese Fähigkeit zur dezentralen selbstorganisierten Koordination von Auftrags-, Material- und Informationsströmen genutzt. In der Nutzungsphase dienen die gesammelten Daten bspw. zur Koordination von Inspektionen, Wartungen und Instandhaltungen. Die gespeicherten Produktinformationen werden am Lebensende dazu genutzt, einen geeigneten Recyclingkanal für das Produkt bzw. seine Komponenten auszuwählen.

Eine weitere Komponente von cyber-physischen Produktionssystemen stellen intelligente Maschinen dar, die in der Lage sind, nicht nur mit dem Bediener in Interaktion zu treten, sondern auch direkt mit anderen Maschinen und Objekten sowie anderen IKT-Systemen zu kommunizieren. Die direkte Interaktion mit anderen Maschinen und Objekten dient zur Abstimmung von Auftrags-, Material- und Informationsströmen, zur Übermittlung von Statusinformationen sowie zur Abstimmung von Inspektionen, Wartungen und Instandhaltungen. Dabei sammeln die intelligenten Maschinen, ähnlich wie intelligente Objekte und Produkte, permanent Daten über ihren Systemzustand und über die gerade laufenden Prozesse. Auf diese Weise entsteht ein detailliertes Systemabbild, das nicht nur für die Instandhaltung, sondern vor allem vom Konstrukteur der Maschine zur Optimierung genutzt wird.

Das System, das durch die intelligente Vernetzung von Menschen, Maschinen, Produkten, Objekten und IKT-Systemen entsteht, wird als cyber-physisches System bezeichnet. In diesem Netzwerk spielen die intelligenten Systeme temporär zusammen, um gemeinsam eine Aufgabe zu erfüllen oder gemeinsam ein Ziel zu erreichen. Die Interaktionen zwischen den intelligenten Systemen werden über standardisierte Schnittstellen nach definierten Protokollen ausgeführt. Die Verwendung von standardisierten Schnittstellen und fest definierten Interaktionsprotokollen der Module stellen die freie Austauschbarkeit und damit die kurzfristige Wandlungsfähigkeit von CPS sicher.



2. Smart Factory

Der Aufbau von Produktions- und Logistiksystemen als CPS aus intelligenten Systemen bietet die Basis für das direkte, auf die Synchronisierung von Lebenszyklen abzielende Management von Smart Factories.

Ein cyber-physisches Produktionssystem kann auch als ein Netzwerk von Social Machines aufgefasst werden. Analog zu sozialen Netzwerken im Internet, tauschen intelligente, soziale Maschinen untereinander und mit den intelligenten Objekten kontextbezogen und übergreifend, Informationen über Aufträge und Zustände aus, um gemeinsam Abläufe und Termine zu koordinieren. Ziel des sozialen Netzwerks aus Maschinen und Objekten ist das Erreichen eines Gesamtoptimums bezüglich Durchlaufzeit, Qualität und Auslastung.

Die schnelle und leichte Austauschbarkeit von Maschinen und Komponenten wird durch Plug & Produce erzielt. Auf Basis standardisierter Schnittstellen und Interaktionsprotokollen können Maschinen und Komponenten leicht ausgetauscht und konfiguriert werden. Die Konfiguration einer intelligenten Maschine und Komponente erfolgt durch Kommunikation mit anderen Maschinen und Komponenten. Die Basiskonfigurationen und die Vorgehensweise zur systematischen Erfassung zur Parametrisierung der Konfigurationsmuster sind in der Maschine hinterlegt. Entsprechend der zu erfüllenden Aufgaben wird ein Konfigurationsmuster ausgewählt und parametrisiert.

Auch in einer Smart Factory arbeiten Menschen. Zur Reduktion von Belastungen können sie durch Low Cost Automation unterstützt werden. Dabei handelt es sich um eine unkomplizierte, einfache Automatisierung, die bspw. durch Montage-Handlingsassistenten den Umgang mit schweren oder voluminösen Teilen vereinfacht.

Mit Hilfe von Augmented Reality kann der Umgang mit komplexen Systemen oder Abläufen wesentlich vereinfacht werden. Zu diesem Zweck werden Informationen aus dem virtuellen Abbild der Smart Factory über eine Datenbrille in das reale Abbild der Fabrik gelegt.

Bei der Interaktion zwischen intelligenten Objekten, Produkten und Maschinen mit dem Menschen in der Smart Factory spielt die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI – Human-Machine-Interaction) eine besondere Rolle. Die Entwicklung und Erprobung intuitiv bedienbarer Schnittstellen trägt wesentlich zur sicheren Bedienung von Maschinen und Anlagen bei. Dies steigert die Akzeptanz von Industrie 4.0-Technologien und die Motivation der Mitarbeiter.



3. Robuste Netze

Im Mittelpunkt der intelligenten Vernetzung in der smarten Fabrik stehen hoch verfügbare und echtzeitfähige kabel- und funkgestützte Kommunikationsnetzwerke.

Die aus dem Internet bekannten Breitbandnetzwerke bilden das Rückgrat für die Industrie 4.0-Anwendungen in der Fabrik. Hierzu müssen sie nicht nur hochgradig verfügbar und sicher sein, sondern hohe Datenübertragungsraten bei hohen Datenmengen im industriellen Umfeld zur Verfügung stellen. Zusätzlich müssen die Breitbandnetzwerke echtzeitfähig sein.

Neben den kabelbasierten Netzwerken spielen in dynamischen Produktions- und Logistikumgebungen die funkbasierten Netzwerke eine wichtige Rolle. Während im innerbetrieblichen Bereich vor allem Wireless Local Area Networks (WLAN) zum Einsatz kommen, kann im außerbetrieblichen Bereich auf die vorhandenen Mobilfunknetze zurückgegriffen werden. In beiden Fällen sind die Funknetzwerke für den Einsatz im industriellen Umfeld weiter zu entwickeln. Dies betrifft neben der Bandbreite vor allem die Stabilität, Verfügbarkeit und Sicherheit.

Im Zusammenhang mit der funkbasierten Kommunikation ist der Einsatz von mobilen Endgeräten, wie bspw. Smartphones oder Tablet-PC, denkbar, die eine direkte Einbindung des Menschen in die Kommunikationsnetze einer smarten Fabrik ermöglichen.



4. Cloud Computing: Nutzung flexibler und verteilter Software

Das Cloud Computing bildet eine Plattform zur Speicherung von Daten, zum Angebot von Applikationen (Anwendungen oder Apps) sowie zur Ausführung von Anwendungen im Intra- bzw. Internet. Die intelligenten Objekte, Produkte, Maschinen und internen IKT-Systeme sind über Kommunikationsnetze mit der Cloud verbunden.

Im Rahmen von Cloud Computing-Lösungen können wesentlich größere Datenmengen als bei herkömmlichen innerbetrieblichen Serverlösungen verarbeitet werden. Dies bietet den Planern und Betreibern von Systemen die Möglichkeit, neue Methoden zur Analyse, Planung, Regelung und Optimierung von smarten Fabriken zu entwickeln und zu nutzen, die bspw. bei der Lösungsfindung auf die historische Entwicklung des Echtzeitabbaus einer Fabrik zurückgreifen und diese mit anderen Zustandszeitverläufen vergleichen können. Diese Methoden sind unter dem Begriff »Big Data« bekannt.

Eine andere Anwendungsmöglichkeit von Cloud Computing ist die Bereitstellung von einzelnen Applikationen für die Fabrik. Auf diese Weise werden Anwendungen zentral verwaltet und gepflegt. So können alle Personen auf die neu entwickelten Methoden, Algorithmen und Apps zugreifen und müssen diese nur für den aktuellen Anwendungsfall anpassen und nicht mehr neu entwickeln.

Das Internetprotokoll der 6. Generation (IPv6) ist die Basis zur Entwicklung und Implementierung von Industrie 4.0-Technologien. Es stellt gegenüber seinen Vorgängern einen genügend großen Adressraum zur Verfügung, um alle intelligenten Objekte auch eindeutig adressieren zu können.

Grundlage für die Entwicklung von neuen Methoden für die Smart Factory ist das Echtzeitabbild der Anlage. Dieses »Real Time-Abbild« ermöglicht die direkte Prozesssteuerung und Entscheidung.



5. IT-Security

Die Sicherheit der Informations- und Kommunikationssysteme der Industrie 4.0-Technologien stellt – gerade im Kontext aktueller Diskussionen über Industriespionage – den relevanten Faktor bei der Ausgestaltung von Systemen dar. Dabei ist zum einen der Datenschutz von Mitarbeitern, Unternehmen und Geschäftspartnern zu gewährleisten und zum anderen der Zugriff auf das industrielle Internet so gut wie möglich abzusichern.

Die Sabotage von Systemen ist unter allen Umständen zu verhindern. Manipulationen an Systemen der vernetzten intelligenten Fabrik müssen identifizierbar und behebbar sein.

Bei der Entwicklung und Einführung von Industrie 4.0-Technologien müssen die Mitbestimmungsrechte von Mitarbeitern berücksichtigt werden.

Abbildung 7 fasst die dargestellten Technologiefelder zusammen.

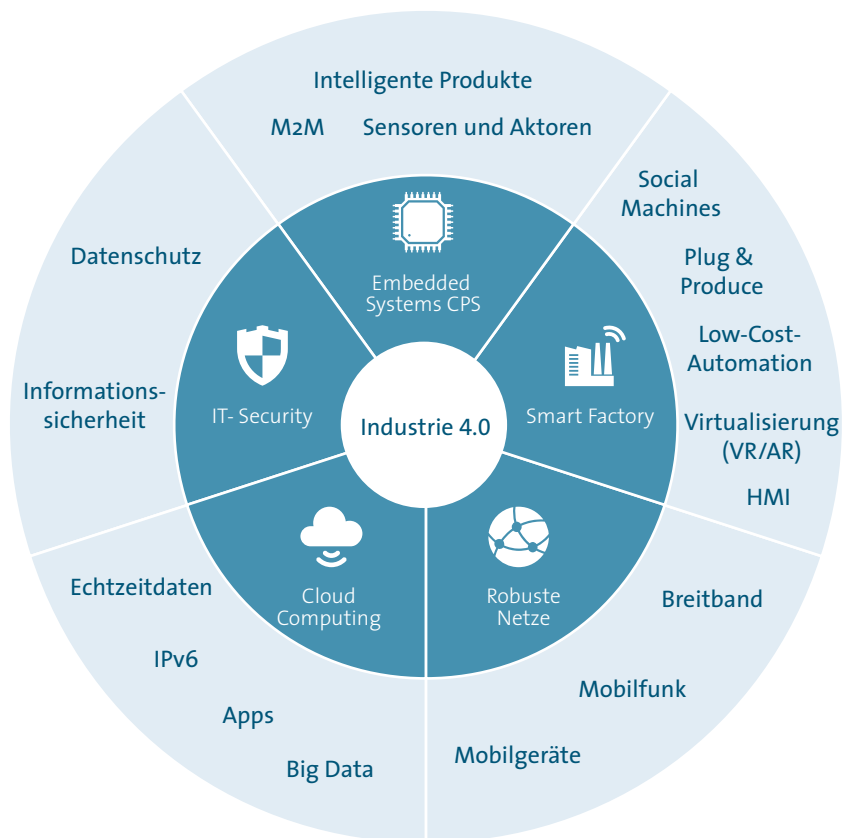
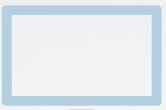
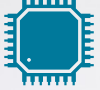


Abbildung 7: Technologiefelder von Industrie 4.0



Industrie 4.0 und M2M

Die Idee Industrie 4.0 stellt die Potenziale intelligenter Vernetzung in der industriellen Produktion in den Mittelpunkt. M2M (Machine-to-Machine-Communication bzw. -Interaction) beschreibt die Potenziale der Verbindung und Vernetzung von Maschinen zum besseren Datenaustausch im Sinne der Erzielung von Gesamtoptima (bspw. der Auslastung, der Produktivität und/oder der Ressourceneffizienz) anstelle der jeweiligen Teiloptima einzelner Maschinen. Eng damit verknüpft sind die Ideen der Social Machines – Maschinen, die Intelligenz aus der Nutzung von gemeinsamer Information und Kommunikation erzielen – sowie Plug & Produce, der standardisierten, einfachen und flexiblen Verbindung von Maschinen(-modulen). M2M lässt durch intelligente Vernetzung ein erhebliches Innovationspotenzial erkennen. Die betrifft insbesondere Bereiche mit hohem Automatisierungsanteil wie bspw. die Fertigung. Weit gefasst, lassen sich unter dem Begriff auch weitere intelligente Objekte wie Behälter zusammenfassen und somit eine Verbindung zum Konzept des Internets der Dinge herstellen. Allerdings wird diese Ähnlichkeit im Vergleich eines Bearbeitungszentrums oder einer SMD-Linie zu einem verhältnismäßig einfachen intelligenten Behälter (bspw. der iBin der Firma Würth¹¹) oder kommunizierender Werkstücke mit RFID-Tags recht groß. Die unter Industrie 4.0 gefasste intelligente Vernetzung umfasst hingegen beides. Zudem wird mit der intelligenten Mensch-/Maschine-Interaktion ein weiterer wesentlicher Punkt berücksichtigt. Zusammen mit der kooperativen Entscheidungsfindung durch die Einbeziehung des Menschen als Sensor, Akteur und Entscheider werden alle Beteiligten eingeschlossen. Innerhalb dieses, der Studie zugrundeliegenden, Verständnisses stellt M2M einen Bestandteil von Industrie 4.0 dar.

¹¹ (Würth, 2014)

3.2 Industrie 4.0 als Produktivitätstreiber in Wertschöpfungsketten

Die echtzeitfähige, flächendeckende und intelligente Vernetzung von Menschen, Maschinen, Objekten und IKT-Systemen ist das Kernelement von Industrie 4.0. Von ihr wird ein Paradigmenwechsel bei der Steuerung und Regelung von Wertschöpfungs-systemen erwartet. Die hierarchische Top-Down-Steuerung wird durch eine dezentrale, sich selbst organisierende Steuerung, ersetzt. CPS koordinieren ihre Herstellungs- und Logistikprozesse in Abstimmung mit anderen intelligenten Objekten, Maschinen und Menschen unter Rückgriff auf unternehmenseigene und -fremde IKT-Systeme.

Eine flächendeckende Ausbreitung von Industrie 4.0-Technologien wird sich mittelfristig auf alle Wertschöpfungsketten auswirken und auf diese Weise Produktions- und Logistiksysteme evolutionär transformieren. Viele der zur intelligenten Vernetzung benötigten Technologien stehen bereits heute schon zur Verfügung und müssen eventuell noch für den Einsatz im industriellen Umfeld angepasst werden.

»Ist die Vernetzung aller Prozessbeteiligten geschaffen, werden eine Vielzahl an Applikationen möglich sein.«

Christian Rusch, CLAAS

Die Möglichkeiten der Industrie 4.0-Technologien sind derzeit noch nicht abschätzbar, da noch nicht bekannt ist, welche Methoden und Anwendungen aus einer flächendeckenden und echtzeitfähigen Vernetzung resultieren.

Der lange Einführungshorizont für Industrie 4.0-Technologien resultiert aus der Langlebigkeit von industriellen Ausrüstungsgegenständen. Dies bietet Entwicklern und Produzenten die Möglichkeit ihre Produkte und Dienstleistungen Schritt für Schritt zu entwickeln und kontinuierlich den technischen Möglichkeiten anzupassen. Eine breite Akzeptanz von Industrie 4.0-Technologien kann in

diesem Zusammenhang auch durch eine weitest mögliche Individualisierung in Verbindung mit stabilen und sicheren Standards erreicht werden.

»Wir haben in Deutschland eine hervorragende und wachsende Breitbandversorgung – sowohl im Mobilfunk als auch im Festnetz. Zur Abdeckung der künftigen Breitbandbedarfe und für die Netze der nächsten Generation sind jedoch bessere Rahmenbedingungen für Investitionen erforderlich. Diese sind eine der Voraussetzungen für die Echtzeitvernetzung, gerade auch über Unternehmensgrenzen hinweg.«

Hagen Rickmann, Deutsche Telekom

Mit den Industrie 4.0-Technologien können neue Ansätze zum Management von global verteilten Produktionssystemen entwickelt und etabliert werden. Die verteilten und nicht aufeinander abgestimmten Teilsysteme werden virtuell vernetzt und über direkte Interaktionen miteinander synchronisiert. Dies ermöglicht den direkten Austausch von Produktions- und Prozessdaten in Echtzeit. Auf diese Weise können beispielsweise Materialflüsse kurzfristig umgelenkt werden, um einen Ausfall in einem Standort durch Hochfahren eines anderen Standorts zu kompensieren. Auf diese Weise lässt sich ein globales Netzwerk mit vielen Standorten ähnlich managen, wie eine einzelne Fabrik mit ihren Maschinen und Anlagen.

Beispielsweise ist »[...] die Fertigung eines Halbleiterbauelements heute über mehrere Werke über den Globus verteilt. Uns muss es zukünftig gelingen, das Fertigungsnetzwerk wie eine integrierte globale Fabrik zu steuern. Die große Chance besteht hierzu mittels der horizontalen Integration der Wertschöpfungsnetzwerke durch Industrie 4.0« (Dr. Thomas Kaufmann, Infineon)

Die intelligente Vernetzung wird die grundlegenden Funktionen von Werkzeugmaschinen, Handhabungs-, Förder-, Lager- und Kommissioniersystemen in einer Fabrik nicht wesentlich verändern. Der Mehrwert durch den Einsatz von Industrie 4.0-Technologien entsteht durch die Zusatzfunktionen, die infolge der Aufrüstung zu intelligenten Maschine entstehen und die durch die intelligente Vernetzung innerhalb und außerhalb der Fabrik realisierbar werden. Dieser Mehrwert resultiert zum einen aus den Echtzeitinformationen über den Status von Maschinen, zum anderen aus der direkten Kommunikation zwischen Menschen, Maschinen, Objekten und IKT-Systemen. Dies wird sich in Produktion und Logistik vor allem durch reduzierte Durchlaufzeiten und Bestände und einem höheren Auslastungsgrad bemerkbar machen.

»Mit Hilfe der virtuellen Welt können wir lange Prozessketten einer Wertschöpfungskette in der physischen Welt verknüpfen. Dadurch können wir z.B. den Ausschuss verringern und die Qualität und Quantität von Felddaten verbessern. All das wird möglich mit Hilfe von selbstgesteuerter Interaktion innerhalb der Prozesskette.«

Martin Bogen, BOSCH

Unternehmen arbeiten bereits heute daran, Testergebnisse in Echtzeit weltweit zur Verfügung zu stellen, um erste Produktivitätspotenziale zu schöpfen: »Wir arbeiten daran, dass wir in »Nahezu-Echtzeit« Testergebnisse aus Singapur wieder rückkoppelnd für die Fertigung in Dresden zur Verfügung stellen können, um dadurch schneller lernen zu können, Fertigungsprozesse in dem ersten Werk anzupassen und unsere Produktivität zu verbessern.« (Dr. Thomas Kaufmann, Infineon)

»Auch die deutsche Telekom fühlt sich mitverantwortlich, um den Standort Deutschland hier wettbewerbsfähiger zu machen. Aber um das nochmal ganz klar zu machen, Industrie 4.0 ist eine Chance. Dazu kommt selbstverständlich noch ein eigenes wirtschaftliches Interesse. Entscheidend wird sein, volkswirtschaftlich unsere Verantwortung wahrzunehmen und Steigerungen der betrieblichen Effizienz zu erzielen. Dazu gehört eine Verbesserung der Prozesse durch neue Services. Daraus entwickeln sich dann vielleicht für die Anwender aber auch für uns neue, verbesserte oder andere Geschäftsmodelle.«
(Hagen Rickmann, T-Systems)

Allgemeine Wertschöpfungskette nach Porter

Um eine grundsätzliche Vergleichbarkeit der betrachteten Branchen und der erwarteten Wertschöpfungspotenziale zu erzielen, wurde der Abschätzung das Wertschöpfungsmodell nach Porter zugrunde gelegt. Porter unterscheidet zwischen Primäraktivitäten und Sekundäraktivitäten. Sekundäraktivitäten unterstützen Primäraktivitäten bei der Erstellung einer Leistung. Abbildung 8 beschreibt in Anlehnung nach Porter eine beispielhafte Wertschöpfungskette mit gekennzeichneten Möglichkeiten, Industrie 4.0 gewinnbringend in die Wertschöpfungskette zu integrieren.¹²

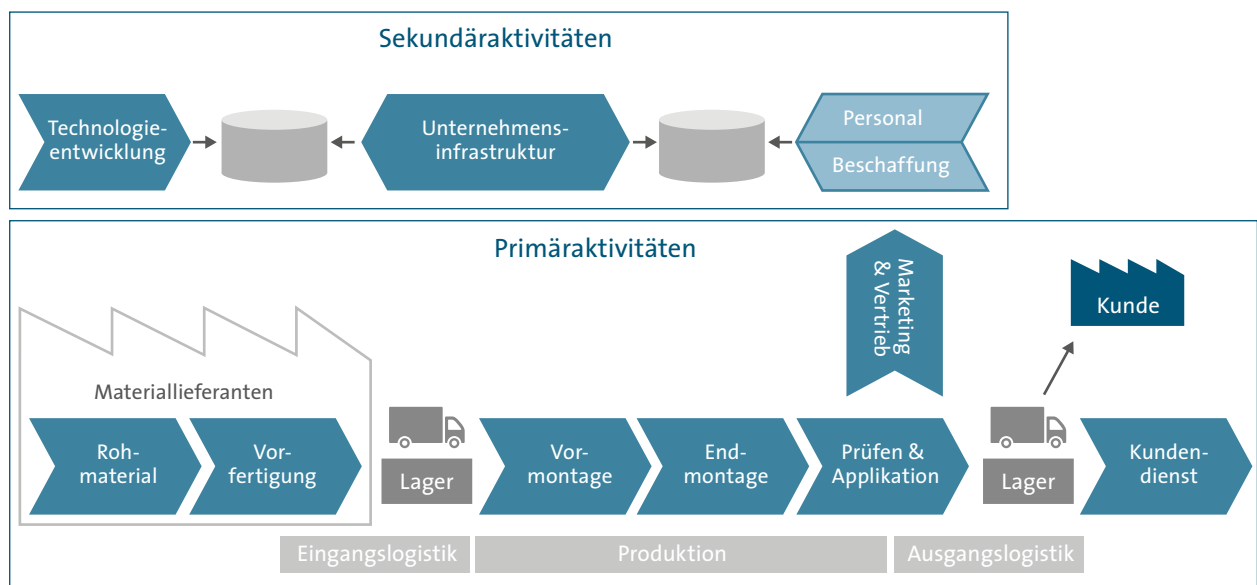


Abbildung 8: Eigene Darstellung in Anlehnung an Porter¹³

¹² Vgl. (Porter, 1996)

¹³ Vgl. (Porter, 1996)

Sekundäraktivitäten werden in vier verschiedene Tätigkeitsfelder unterteilt:

- **Beschaffung:**
Beschreibt den Prozess der Entwicklung verschiedener Inputs für die Primäraktivitäten.
- **Personalmanagement:**
Befasst sich mit der Weiterbildung, Freisetzung und Einstellung des Personals.
- **Unternehmensinfrastruktur:**
Stellt die formellen und informellen organisatorischen, informatorischen oder finanziellen Strukturen dar.
- **Technologieentwicklung:**
Alle Bereiche nutzen Technologien. So kann es sich hier um Know-how, Produkt- und Prozessentwicklung handeln.

Die Primäraktivitäten werden in fünf verschiedene Tätigkeitsfelder unterteilt:

- **Eingangslogistik:**
Verantwortet alle Aktivitäten, die sich auf die Organisation des Wareneingangs, die Lagerung und die unternehmensinterne Weiterleitung der Vorleistungen bezieht.
- **Produktion:**
Verarbeitet über weitere Prozessschritte die Vorleistungen zum fertigen Endprodukt.
- **Ausgangslogistik:**
Zusammenfassung von Lagerung und Lieferungen von Endprodukten zum Kunden.
- **Marketing und Vertrieb:**
Verarbeitung der Informationen des Kunden und die Organisation des Außendienstes.
- **Kundendienst:**
Bezeichnet alle kaufmännischen und technischen Zusatzleistungen, die den Wert des Endproduktes erhalten oder verbessern.

Mit Hilfe der Porterschen Wertschöpfungskette und der betrachteten Technologiefelder werden im folgenden Abschnitt am Beispiel dreier Branchen: Landwirtschaft, Kraftfahrzeugbau und -teile, Maschinen- und Anlagenbau, die Chancen von Industrie 4.0 demonstriert.

Beispiel für Industrie 4.0-Ansatzpunkte in einer Wertschöpfungskette Landwirtschaft

Am Beispiel einer exemplarischen Wertschöpfungskette Landwirtschaft (Abbildung 9) können die Auswirkungen einer intelligenten Vernetzung transparent gemacht werden. Bei der Ernte kommen heute hochspezialisierte Maschinen zum Einsatz, die sich nicht mehr im Besitz des Landwirts befinden müssen. Der Erntezeitpunkt ist somit eng an die Verfügbarkeit der Erntemaschinen gekoppelt. Die Güte des Ernteguts wiederum wird stark vom Wetter, vor allem von möglichen Niederschlägen, definiert. Eine Ernte zum falschen Zeitpunkt kann somit zu Qualitätseinbußen oder zu kostenintensiven Zusatzprozessen führen. Die Verfügbarkeit von Erntemaschinen kann durch eine Echtzeitüberwachung der Services des Herstellers wesentlich erhöht werden. Bei Ausfall einer Maschine kennt der Instandhalter bereits die Historie des Ausfalls und kann im Vorfeld geeignete Maßnahmen einleiten. Auf diese Weise kann die Reparaturzeit und damit die Ausfallzeit reduziert werden.

Eine intelligente Vernetzung der beteiligten Maschinen und Personen erlaubt eine Koordination der Ernteprozesse derart, dass der Landwirt die am besten mögliche Erntegutmenge und Qualität einbringt.

Die intelligente Vernetzung führt somit langfristig zu einer Zusammenführung von Erfahrungen und Wissen entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Des Weiteren führt sie zu einer einfachen intuitiven Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Akteuren einer Wertschöpfungskette, um gemeinsam das beste Ergebnis zu erzielen.

»Heutzutage ist das Expertenwissen in der Landwirtschaft sehr verteilt und auch nicht immer vorhanden. Als Landwirt brauchen sie Kenntnisse über Pflanzenschutz, Anbau und Technik. Hier wird durch Industrie 4.0 eine Plattform geschaffen um Entscheidungen leichter zu treffen bis runter zum Fahrer. Das haben sie heute noch nicht. Heute fahren sie einfach zum ausgewählten Ort und telefonieren vorher, um sich abzustimmen.«
(Christian Rusch, CLAAS)

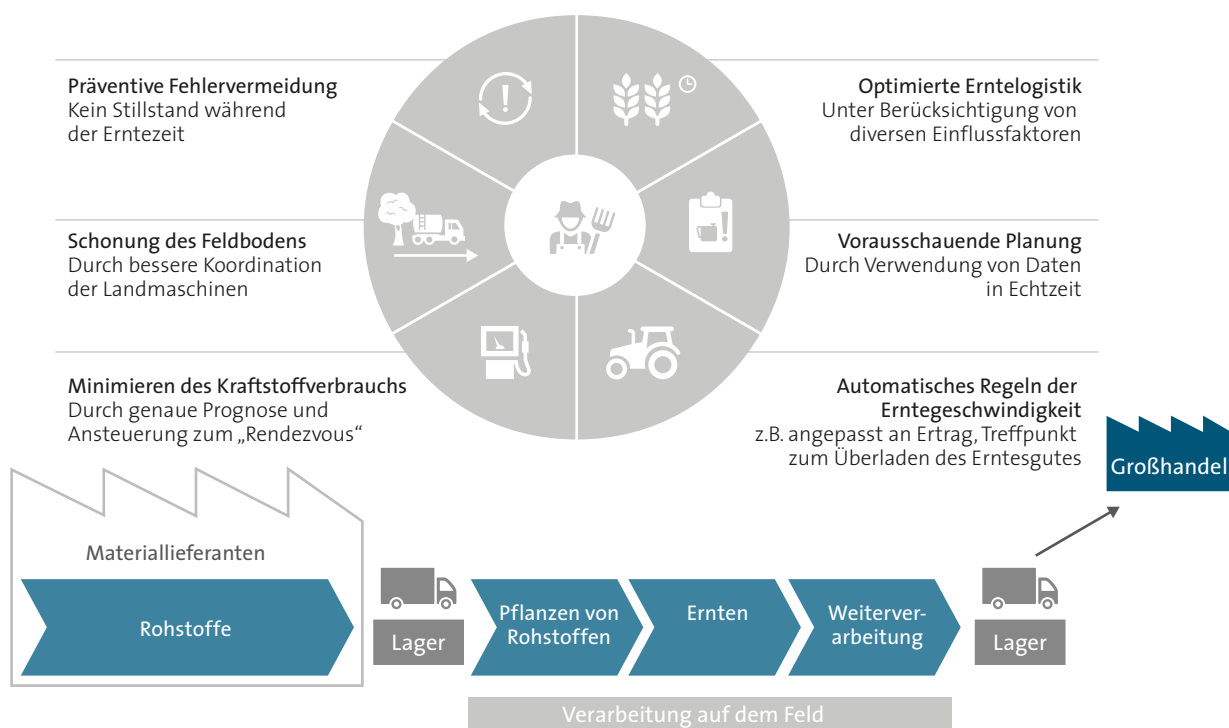


Abbildung 9: Wertschöpfungskette Landwirtschaft¹⁴

¹⁴ Vgl. (Expertenworkshop Industrie 4.0 im Rahmen der AGI des IT-Gipfelprozesses, 2013)

Beispiel für Industrie 4.0-Ansatzpunkte in einer Wertschöpfungskette Kraftfahrzeugbau und -teile

Zunehmende Modellvarianten, steigende Komplexität der Fahrzeuge und die immer schwerer zu prognostizierende Nachfrageentwicklung machen neue Montagekonzepte entlang der Wertschöpfungskette notwendig. Abhilfe bietet hier das so genannte »Robot Farming«. Leichtbauroboter (LBR) können je nach Auftragslage aufgrund ihrer Maße und ihrer flexiblen Einsatzmöglichkeiten kurzfristig in verschiedenen Bereichen installiert und betrieben werden.¹⁵ Der Leichtbauroboter wird dem Menschen als skalierbares Produktionsmittel, um Auslastungsspitzen auszugleichen, bereitgestellt. Ein Mitarbeiter kann sich mit seinem Mobilgerät um eine Anzahl Roboter kümmern.

Abbildung 10 zeigt die Möglichkeit, das Robot Farming entlang der Wertschöpfungskette zu praktizieren.

»Es mag futuristisch anmuten, dass zukünftig Maschinen miteinander »reden« könnten, um Informationen über Betriebszustände oder aktuelle Auslastung auszutauschen. Das sollte uns aber nicht davon abhalten, anspruchsvolle Zielmarken zu setzen, an denen wir unsere Entwicklungen ausrichten können. Der Trend zur immer stärkeren Flexibilisierung unserer Produktionssysteme ist ungebrochen und wir müssen neue Antworten dafür finden.«

Dr. Prokop, TRUMPF

Ziel des »Robot Farming«-Ansatzes ist es, Kapazitätsschwankungen abzufangen und die steigende Varianz durch hochflexible Montagesysteme beherrschbar zu machen.

Trotzdem wird es immer Tätigkeiten geben, in denen der Mensch der Maschine überlegen ist und er als universeller Sensor benötigt wird. In der Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine wird der Mensch mit seinen besten Fähigkeiten genutzt. Er ist hochsensibel mit vielen seiner Sinne und er besitzt Erfahrungen, die in einer Maschine heute noch schwer zu hinterlegen sind.

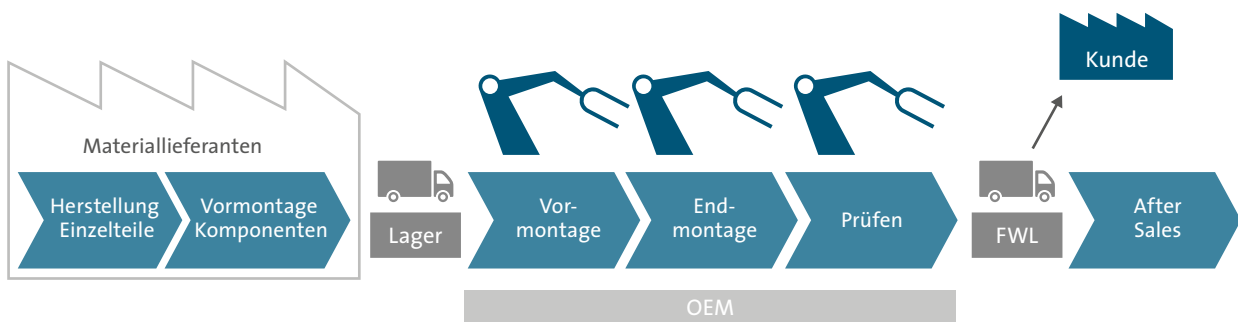


Abbildung 10: Wertschöpfungskette Kraftfahrzeugbau und -teile

¹⁵ Vgl. (Automobilwoche, 2009)

Beispiel für Industrie 4.0-Ansatzpunkte in einer Wertschöpfungskette Maschinen- und Anlagenbau

»Die Fertigung wird effizienter, flexibler und produktiver, auch bei Losgröße eins.« TRUMPF sieht die Entwicklung durch Industrie 4.0 als große Chance. Sie wird helfen, die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Kunden zu sichern.¹⁶

Klaus Bauer, Entwicklungsleiter bei TRUMPF, hat den Begriff Social Media im Industrie 4.0 Umfeld geprägt und liefert einen der aktuellen Anwendungsfälle im Maschinen- und Anlagenbau. In der zukünftigen Fertigung werden »Social Machines« sich untereinander mit Zulieferer- und Kundensystemen intelligent vernetzen. Situationsbedingt können sie auf schwankende Marktanforderungen eigenständig reagieren, um ein Gesamtoptimum an Produktivität zu erreichen.¹⁷

Die Anwendung einer Social Machine im Produktionsumfeld beschreibt Herr Bauer in der »Studie Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0«.¹⁸

»Soll zum Beispiel heute auf einer Laserschneidmaschine ein neues, bisher noch nie verwendetes Material bearbeitet werden, für das noch keine Standard-Technologie-Daten für den benötigten Laserschneidprozess auf der Maschine vorhanden sind, so werden diese Daten heute entweder manuell durch den Maschinenbediener ermittelt oder manuell aufgespielt. Zukünftig bringt vielleicht das Rohmaterial die geeignete Bearbeitungstechnologie mit, oder die Maschine kann sich die Daten automatisch von überlagerten Systemen oder gar von anderen Maschinen laden. Gleichzeitig stellt die Maschine wiederum eigene Daten bzw. »Erfahrungen mit diesen Daten« anderen Produktionssystemen bereit. Es entstehen neue, in Echtzeit steuerbare, Wertschöpfungsnetzwerke mit ungeahnten und revolutionären Möglichkeiten.«

Abbildung 11 beschreibt die Vernetzung und den Austausch von Daten entlang der Wertschöpfungskette im Maschinen- und Anlagenbau.

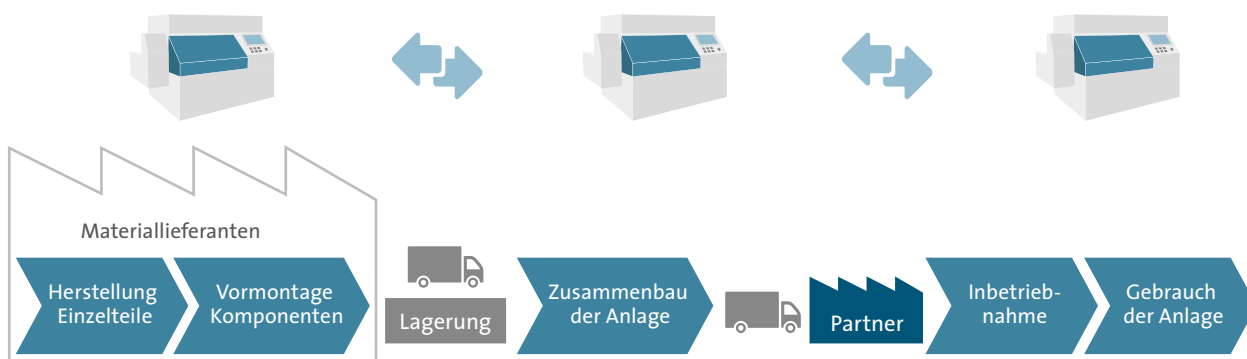


Abbildung 11: Wertschöpfungskette Maschinen- und Anlagenbau

¹⁶ (Visavis, 2013)
¹⁷ Vgl. (Maschine+Werkzeug, 2013)
¹⁸ Vgl. (Spath, 2013)

4 Potenziale für die einzelnen Branchen

Alle Angaben der ausgewählten Branchen im folgenden Kapitel, wenn nicht weiter gekennzeichnet, beziehen sich auf das Bezugsjahr 2010 und sind vom Statistischen Bundesamt ausgewiesen.

■ 4.1 Ausgangssituation und Branchenauswahl

Allein sechs von 98 Branchen generieren 14 Prozent der Bruttowertschöpfung in Deutschland. Die Branchen Maschinenbau, Chemische Erzeugnisse, Kraftwagen- und Kraftwagenteile und Elektrische Ausrüstung sind die umsatzstärksten Branchen im verarbeitenden Gewerbe

und machen 10 Prozent (222,2 Mrd.) der Bruttowertschöpfung aus. Die Land- und Forstwirtschaft wird als weitere Branche in der Studie betrachtet und bietet einen der bereits umgesetzten Industrie 4.0-Anwendungsfälle. Die IKT-Branche gilt gemeinhin als »Multi-Purpose-Technologie« bei der Anwendung von Industrie 4.0. Bei der Auswahl der Branche wurden diejenigen ausgewählt, die intensiv an der Umsetzung arbeiten. Im Rahmen der Studie wurden leitende Unternehmensexperten mit großer Erfahrung befragt, das heißt, dass diese z.B. Pilotprojekte geleitet und Industrie 4.0 in ihre Wertschöpfungskette implementiert haben. Abbildung 12 zeigt die ausgewählten Branchen mit den Firmen der befragten Experten.

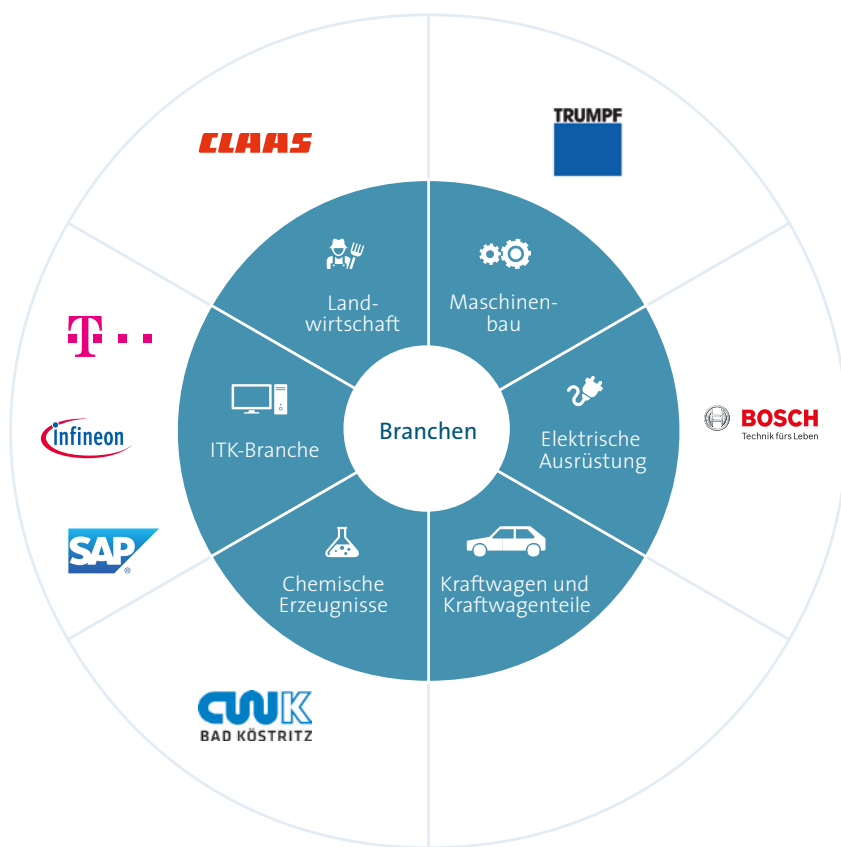
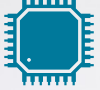


Abbildung 12: Herkunft der befragten Experten nach Branche und Unternehmen



Maschinen- und Anlagenbau

Der Maschinen- und Anlagenbau umfasst die Entwicklung, Planung, und Herstellung von Maschinen und Anlagen, die zur Herstellung anderer Produkte verwendet werden können.

Die Automatisierung von Maschinen und Anlagen ist seit jeher das Hauptthema in der Branche. Dementsprechend kann die Entwicklung von Industrie 4.0-Technologien als eine »natürliche« Weiterentwicklung bereits bestehender Konzepte, Methoden und Technologien angesehen werden.

Die Einsatzgebiete von Industrie 4.0-Technologien liegen im Maschinen- und Anlagenbau in der Ausrüstung der eigenen Produktion mit diesen Technologien, zur Rationalisierung von Prozessen, und im Angebot und Vertrieb von intelligenten Produkten sowie der darauf aufbauenden Dienstleistungen.

»Industrie 4.0 ist unserer Einschätzung nach eher als Evolution denn als Revolution zu sehen. Unsere aktuellen Fertigungssysteme haben heute schon viele Industrie 4.0 relevante Merkmale. Der Begriff »Revolution« erzeugt den notwendigen Handlungsdruck, unsere international führende Position in der Produktionstechnik zeitnah auszubauen.«

Dr. Prokop, TRUMPF

Der Umsatz der Branche beläuft sich auf 177 Mrd. €. Die Branche ist sehr stark konzentriert: 1,4 Prozent der Unternehmen erwirtschaften gut die Hälfte des Umsatzes. 61 Prozent des Umsatzes werden mit dem Ausland getätigt. In der Branche sind 951.000 Mitarbeiter beschäftigt. Für Innovationen werden 11,8 Mrd. € ausgegeben. Die Innovationsintensität liegt bei 6,0 Prozent.

Der Maschinen- und Anlagenbau hat einen Anteil von 15,3 Prozent an der Bruttowertschöpfung im Verarbeitenden Gewerbe und 3,3 Prozent an der Bruttowertschöpfung in Deutschland.

Es wird eine kumulierte Produktivitätssteigerung durch Industrie 4.0 bis zum Jahr 2025 von 30 Prozent erwartet, wodurch eine Bruttowertschöpfung von 23,04 Mrd. € erwirtschaftet werden kann.

Dr. Prokop (Leiter Entwicklung,) und Klaus Bauer (Leitung Systementwicklung Basistechnologie,) beschreiben beispielhaft den Ansatz der Firma TRUMPF:

»Mit Industrie 4.0 forcieren wir die Umsetzung dezentraler Lösungen, um die zunehmende Komplexität beherrschen zu können. Durch Industrie 4.0 können komplexe Prozess- oder Zustandsgrößen am Ort der Entstehung ausgewertet und in Echtzeit über heutige Systemgrenzen hinweg ausgetauscht werden.« (Dr. Prokop; TRUMPF)

»Für unsere Kunden sind hoch flexible Produktionssysteme, wie z.B. die TRUMPF Laser-, Stanz- und Biegemaschinen, ein wichtiger Baustein für die eigene Wettbewerbsfähigkeit und den wirtschaftlichen Erfolg. Durch die konsequente Produktweiterentwicklung und der Berücksichtigung der Erkenntnisse aus den Industrie 4.0-Diskussionen lassen sich bisher ungeahnte und ungenutzte Potenziale erschließen.«



Kraftfahrzeugbau und -teile

Die Entwicklung und Herstellung von Personen- und Lastkraftwagen sowie die Bereitstellung von Ersatzteilen für Fahrzeuge sind der Gegenstand der Branche. Die Automobilindustrie mit ihren OEMs und Zuliefernetzwerken stellen eine der wichtigsten Branchen in Deutschland dar.

Die Automobilindustrie wird primär als Anwender von Industrie 4.0-Technologien angesehen. Der Einsatzbereich liegt vor allem in der Produktion und in der Logistik. Zusätzlich können Industrie 4.0-Technologien auch in Fahrzeugen eingebaut werden, um nicht nur die Verkehrssicherheit zu erhöhen, sondern auch das Management von Ersatzteilen und Wartungen wesentlich zu vereinfachen. Die Branche Kraftfahrzeugbau beinhaltet die Herstellung von Kraftwagen, Kraftwagenmotoren, Karosserien, Aufbauten, Teile und Zubehör für Kraftwagen, elektrische und elektronische Ausrüstungsgegenstände für Kraftwagen und weitere Bereiche.

Der Umsatz beläuft sich auf 317,1 Mrd. €. Auch in dieser Branche gibt es eine starke Konzentration: 3,8 Prozent der Unternehmen erwirtschaften 95 Prozent des Gesamtumsatzes. 63 Prozent des Umsatzes werden mit dem Ausland getätigt. Die Bruttowertschöpfung beträgt ca. 70 Mrd. € und war damit die höchste im gesamten Verarbeitenden Gewerbe. In der Branche sind 778.000 Mitarbeiter sozialversicherungspflichtig beschäftigt. Der Anteil der Unternehmen mit Marktneuheiten an allen Unternehmen der Branche beträgt 36 Prozent. Die Innovationsintensität liegt bei 8,8 Prozent, der höchste Wert über alle Branchen. Deutsche Hersteller sind in Europa führend.

Der Kraftfahrzeugbau hat einen Anteil von 14,8 Prozent an der Bruttowertschöpfung im Verarbeitenden Gewerbe und 3,2 Prozent an der Bruttowertschöpfung in Deutschland.

Es wird eine kumulierte Produktivitätssteigerung durch Industrie 4.0 bis zum Jahr 2025 von 20 Prozent erwartet, wodurch eine Bruttowertschöpfung bis zu 14,80 Mrd. € erwirtschaftet werden kann.



Elektrische Ausrüstung

Die Branche Elektrische Ausrüstung umfasst die Herstellung von elektrischen und optischen Geräten, von Geräten der Maschinenteknik, von Elektromaschinen und Elektrogeräten, von Radio- und Fernsehgeräten und anderen Kommunikationsgeräten sowie die Herstellung von Büromaschinen und Computern.

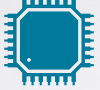
»Wenn die einzelnen technischen Möglichkeiten wie beispielsweise Sensorik und RFID-Technik möglichst günstig zu haben sind, kann ihre Verbreitung schnell zunehmen. Dann können diese in jedes Produkt eingebaut werden, damit dieses aktiv am IoTS teilhaben kann; das wäre eine große Chance für Industrie 4.0.«

Martin Bogen, BOSCH

Der Umsatz beträgt 163,77 Mrd. €. Die Branche wird zum überwiegenden Teil durch Kleinunternehmen repräsentiert. Die Zahl der Beschäftigten liegt bei 816.000. Die Innovatorenquote liegt bei 71 Prozent. Einfuhr und Ausfuhr liegen nicht so weit auseinander wie in anderen Branchen (Einfuhr = 133,9 Mrd. €; Ausfuhr = 145 Mrd. €). Es werden 5,8 Mrd. € pro Jahr investiert, die Ausgaben für Forschung und Entwicklung belaufen sich auf 11,9 Mrd. €.

Die Branche elektrische Ausrüstung hat einen Anteil von 8,4 Prozent an der Bruttowertschöpfung im Verarbeitenden Gewerbe und 1,73 Prozent an der Bruttowertschöpfung in Deutschland.

Er wird eine kumulierte Produktivitätssteigerung durch Industrie 4.0 bis zum Jahr 2025 von 30 Prozent erwartet, wodurch eine Bruttowertschöpfung von 12,08 Mrd. € erwirtschaftet werden kann.



Steigende Transparenz vom Lieferanten bis in die eigene Produktion bietet auch Potenziale in der elektrischen Ausrüstung. »Die Vernetzung in der Logistik bietet ein großes Potenzial. Ich möchte beispielsweise in Echtzeit wissen, wie viele Waren in der Kette zwischen den einzelnen Produktionsschritten unterwegs sind. Heute hat man da nur eingeschränkte Transparenz. Um die vorhandenen Potenziale zu heben, braucht man die (Daten-)Transparenz vom Lieferanten bis in die eigene Produktion, in Echtzeit« (Martin Bogen, BOSCH)



Chemische Industrie

Die chemische Industrie ist durch einen sehr hohen Automatisierungsgrad geprägt. Treiber für die Einführung von Industrie 4.0-Technologien ist, neben einer Verbesserung der Vernetzung, vor allem eine Steigerung der Produkt- und Prozessqualität.

In der Branche werden Seifen, Wasch- und Reinigungsmittel, Klebstoffe, ätherische Öle, Farbstoffe, Pigmente, Kunststoffe, sonstige chemische Erzeugnisse, Düngemittel, etc. hergestellt.

Der Gesamtumsatz beträgt 136 Mrd. €. 4,3 Prozent der Unternehmen erwirtschaften 82,8 Prozent des Branchenumsatzes. Zwei Drittel des Umsatzes werden im Ausland erzielt. Die Branche verfügt über eine hohe Bruttowertschöpfung von ca. 37 Mrd. €. 319.000 Mitarbeiter sind sozialversicherungspflichtig beschäftigt, wobei die Beschäftigtenzahl kontinuierlich rückläufig ist. Die Branche zeichnet sich durch einen hohen Innovationsgrad aus: Der Anteil der Unternehmen mit Marktneuheiten steigt kontinuierlich.

Die Innovationsintensität beträgt 6,3 Prozent.

»Für mich wäre eine effiziente Produktion möglich, wenn ich mit Daten meiner Lieferanten in Echtzeit deren Lieferzuverlässigkeit besser einschätzen könnte. Ich muss frühzeitig wissen, wann meine Rohstoffe zu bestellen sind, damit ich möglichst wenig auf Lager lege.«

Dr. Damrath, CWK - Chemiewerk Bad Köstritz

Die chemische Industrie hat einen Anteil von 8 Prozent an der Bruttowertschöpfung im Verarbeitenden Gewerbe und 1,7 Prozent an der Bruttowertschöpfung in Deutschland.

Er wird eine kumulierte Produktivitätssteigerung durch Industrie 4.0 bis zum Jahr 2025 von 30 Prozent erwartet, wodurch eine Bruttowertschöpfung von 12,02 Mrd. € erwirtschaftet werden kann.

»Die Chemiebranche ist von den Anfängen bis heute einer starken Wandlung unterworfen - von der Industrialisierung über Automatisierung bis heute zur Informationalisierung. In der Chemiebranche ist es wichtig, die Prozesse kontinuierlich zu gestalten. Das heißt, die Herstellung meiner Produkte vom Anfang bis zum Ende der Kette möglichst unterbrechungsfrei durchzuführen. Dazu wird ein Werkzeug benötigt, das die Produktion basierend auf Messwerten steuert. Sensoren würden die Daten zur Weiterverarbeitung aufnehmen. Dies erlaubt mir zu wissen, welche Zwischenstufe an welcher Stelle mit welcher Qualität vorliegt, und gestattet mir entsprechende Eingriffsmöglichkeiten. Für mich sind das die ersten Dinge, mit denen Industrie 4.0 die Chemiebranche unterstützen kann.« (Dr. Damrath, DWK - Chemiewerk Bad Köstritz)

Den maßgeblichen Schlüsselbereich von Industrie 4.0 sieht Dr. Damrath in der Flexibilität der Multifunktionsanlagen: »Ich habe eine Vielzahl von Aufträgen, die keineswegs gleichmäßig eintreffen – mal kommen viele von Sorte A, mal viele der Sorte B, mal kommt alles durcheinander, mal hab ich eine Pause in der Auftragslage, die mehr oder weniger spontan eintreten kann. Auf all dies habe ich keinen direkten Einfluss, weil es meine Kunden so bestimmen. Wenn es mir gelingt, meine Kundenaufträge innerhalb kurzer Zeit so auszuwerten, dass ich effizienteste Produktabfolgen erhalte, so ließen sich die Anlagen optimal nutzen und die eigenen Lieferzeiten verkürzen. Das ist für mich ein Schlüsselbereich für Industrie 4.0 in der chemischen Industrie.«

Informations- und Kommunikationstechnologien

Die IKT-Branche spielt bei den Industrie 4.0-Technologien eine wichtige Rolle. Zum einen fungiert sie als Ausrüster mit Hard- und Softwarekomponenten in intelligenten Objekten, Produkten, Maschinen und für die Mensch Maschine Interaktion und andererseits kann sie Dienstleistungen zur Unterstützung von Industrie 4.0-Technologien anbieten. Hier spielen vor allem Cloud Computing und Big Data-Anwendungen eine Rolle.

»Nur wenige werden auf der grünen Wiese eine Industrie 4.0-Fabrik bauen. Eines der Schlüsselthemen von Industrie 4.0 wird daher auch sein, bestehende Fabriken kostengünstig nachzurüsten.«

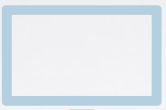
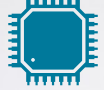
Dr. Thomas Kaufmann, Infineon

Der Umsatz beträgt 282 Mrd. €; 925.911 Menschen arbeiten sozialversicherungspflichtig in der Branche. Die Bruttowertschöpfung beträgt mehr als 90 Mrd. € (wobei 75 Prozent dieser Wertschöpfung von den IKT-Dienstleistungen erzielt wurde).

80 Prozent der Innovationen in der deutschen Wirtschaft beruhen auf der IKT-Branche. Die Investitionsquote der deutschen Wirtschaft betrug insgesamt 6,0 Prozent (die Investitionsquote der IKT-Dienstleistungen hingegen 9,0 Prozent). Deutschland liegt beim Export von IKT-Gütern weltweit an 5. Stelle, in Europa ist Deutschland der führende IKT-Exporteur. Auffällig ist der starke Preisrückgang in der Branche.

Die Informations- und Kommunikationsbranche hat einen Anteil von 4,3 Prozent an der Bruttowertschöpfung in Deutschland.

Es wird eine kumulierte Produktivitätssteigerung durch Industrie 4.0 bis zum Jahr 2025 von 15 Prozent erwartet, wodurch eine Bruttowertschöpfung von 14,05 Mrd. € erwirtschaftet werden kann.



Landwirtschaft

Die Landwirtschaft umfasst den professionellen Anbau von Nutzpflanzen sowie die professionelle Zucht und Mästung von Nutztieren. Das Ziel landwirtschaftlicher Aktivitäten ist die Versorgung der Menschen mit pflanzlichen und tierischen Nahrungsmitteln und der Industrie mit Rohstoffen.

Der Umsatz beträgt 27,9 Mrd. €. Die Branche ist stark fragmentiert: 93,5 Prozent der Unternehmen erwirtschaften 42 Prozent des Branchenumsatzes. Die Branche wird also zum überwiegenden Teil durch Kleinstunternehmen repräsentiert.

Die Aufwendungen für Forschung und Entwicklung liegen bei 183 Mio. €. Die Zahl der Beschäftigten liegt bei 172.600.

Die Handelsbilanz ist stark negativ und weist ein Minus von 15,94 Mrd. € aus.

Die Landwirtschaft hat einen Anteil von 0,8 Prozent an der Bruttowertschöpfung in Deutschland.

Auch in der Landwirtschaft werden durch Industrie 4.0 verbesserte Prozesse sowie neue Geschäftsmodelle generiert werden.

Es wird eine kumulierte Produktivitätssteigerung durch Industrie 4.0 bis zum Jahr 2025 von 15 Prozent erwartet, wodurch eine Bruttowertschöpfung bis zu 2,78 Mrd. € erwirtschaftet werden kann.

»Warum werden unsere Maschinen gekauft? Einerseits weil sie sehr gute Maschinen sind, andererseits, weil wir einen sehr guten Service bieten. Diesen können wir mit Industrie 4.0 noch weiter verbessern.«

(Christian Rusch, CLAAS)

»Wir haben in einer Kooperation mit dem Landmaschinenhersteller CLAAS gezeigt, wie sich Industrie 4.0 realisieren lässt. Und hierbei zeigt sich das enorme Potenzial für die deutsche Industrie. Zum einen betriebswirtschaftlich durch eine Produktionseffizienz von mindestens ungefähr 15 Prozent. Zum anderen haben wir aber auch festgestellt, dass wir den Arbeitnehmern mehr Unterstützung und damit Entlastung für einen reibungsfreien Produktionsprozess liefern können.«

(Hagen Rickmann, Deutsche Telekom)

4.2 Wertschöpfungsketten mit unterschiedlichen Effekten

Die Erwartungen an die Industrie 4.0 sind hoch gesteckt. Die prägenden Merkmale deutscher Produktionssysteme – Flexibilität, Qualität und Stabilität – können durch Industrie 4.0 auf ein neues Niveau gehoben werden.

Das Potenzial wird allein für die sechs Branchen auf einen zusätzlichen jährlichen Effekt von 1,7 Prozent geschätzt. In Summe wird durch die Einführung von Industrie 4.0-Technologien für den Zeitraum bis 2025 eine kumulierte Produktivitätssteigerung von 23 Prozent (bzw. 78,77 Mrd. Euro) für die sechs ausgewählten Branchen erwartet. Dieses Potenzial ergibt sich aus der Summe der erwarteten zusätzlichen Bruttowertschöpfung für Maschinen- und Anlagenbau (23,04 Mrd. Euro Potenzial bis 2025 bei einer erwarteten jährlichen Industrie 4.0-induzierten Steigerung von 2,21 Prozent), Elektrische Ausrüstung (12,08 Mrd. Euro; +2,21 Prozent/Jahr), Automobilbau (14,80 Mrd. Euro; +1,53 Prozent/Jahr), chemische Industrie (12,02 Mrd. Euro; +2,21 Prozent/Jahr), Landwirtschaft (2,78 Mrd. Euro; +1,17 Prozent/Jahr) und Informations- und Kommunikationstechnologie (14,05 Mrd. Euro; +1,17 Prozent/Jahr).

Die einzelnen ausgewählten Branchen sind charakterisiert durch eine branchenspezifische Ausgestaltung der Wertschöpfungsketten. Dementsprechend werden die Einsatzbedingungen und -möglichkeiten sowie die Potenziale von Industrie 4.0-Technologien ebenfalls stark differieren.

Eine direkte Hochrechnung für die gesamte deutsche Bruttowertschöpfung ergibt sich aus der durchgeführten Studie nicht. Für eine grobe Abschätzung des Gesamtpotenzials wird ein Industrie 4.0-induzierter Effekt in Höhe der Hälfte des für die ausgewählten Branchen angesetzt, angenommen. Ließe sich dies durch eine flächendeckende Einführung und Übertragung von Industrie 4.0-Ansätzen realisieren, ergibt sich dadurch rechnerisch bereits ein Gesamt-Potenzial von 267,45 Mrd. Euro bis zum Jahr 2025 für die Gesamtbruttowertschöpfung am Standort Deutschland.

| Wirtschaftsbereiche | Bruttowertschöpfung [Mrd. €] | | Potenzial durch Industrie 4.0 | Jährliche Steigerung | Steigerung [Mrd. €] |
|---|------------------------------|---------------|-------------------------------|----------------------|---------------------|
| | 2013 | 2025* | 2013-25 | 2013-25 | 2013-25 |
| Chemische Industrie | 40,08 | 52,10 | +30% | 2,21% | 12,02 |
| Kraftwagen- und Kraftwagenteile | 74,00 | 88,80 | +20% | 1,53% | 14,80 |
| Maschinen- und Anlagenbau | 76,79 | 99,83 | +30% | 2,21% | 23,04 |
| Elektrische Ausrüstung | 40,27 | 52,35 | +30% | 2,21% | 12,08 |
| Land- und Forstwirtschaft | 18,55 | 21,33 | +15% | 1,17% | 2,78 |
| Informations- und Kommunikationstechnik | 93,65 | 107,70 | +15% | 1,17% | 14,05 |
| Potenzial der 6 ausgewählten Branchen | 343,34 | 422,11 | +23% | 1,74% | 78,77 |
| Beispielhafte Hochrechnung für die Gesamtbruttowertschöpfung in Deutschland | 2.326,61 | 2.593,06** | +11,5%** | 1,27%** | 267,45** |

* Bei den Hochrechnungen für 2025 wurde kein Wirtschaftswachstum berücksichtigt. Es handelt sich um eine reine Relativbetrachtung mit und ohne die Industrie 4.0-Potenziale für die sechs ausgewählten Branchen.

** Gesamtsumme enthält die Industrie 4.0-Potenziale für die sechs ausgewählten Branchen sowie die Hochrechnung der restlichen Branchen unter der Annahme, dass für diese ein Potenzial in Höhe von 50% des für die ausgewählten Branchen gilt.

Abbildung 13: Erwartete Effekte durch Industrie 4.0

Vor dem Hintergrund der betrachteten Technologiefelder und deren prinzipieller Übertragbarkeit auf die unterschiedlichen Branchen erscheint diese Hochrechnung als prinzipiell möglich. Gerade auf dem Gebiet intelligenter Produkte sowie der Nutzung von CPS in der eigenen Produktion und der Wertschöpfungskette lassen sich schon heute vielfältige Anwendungsfälle finden. Dies betrifft beispielsweise die Prozessindustrie, Rohstoffgewinnung und das Baugewerbe durch die Nutzung von Echtzeitinformationen zum Condition Monitoring bzw. der Fortschrittsüberwachung. Gleiches gilt für die nachgelagerten Stufen der Wertschöpfung in Groß- und Einzelhandel, wo die intelligente Vernetzung über die gesamte Wertschöpfung Durchlaufzeiten, Bestände und Fehllieferungen zu senken hilft.



5 Voraussetzungen zur Umsetzung von Industrie 4.0

Die erfolgreiche Einführung und Anwendung von Industrie 4.0-Technologien in produzierenden Unternehmen ist von einer Reihe von Voraussetzungen abhängig, die sowohl technischer, organisatorischer als auch normativer Natur sind und im Vorfeld bzw. im Rahmen eines Implementierungsprozesses umgesetzt werden müssen. Neben den allgemein gültigen Randbedingungen existieren zahlreiche branchen- und unternehmensspezifische, die im Einzelfall ermittelt und berücksichtigt werden müssen.

»Smart Factories werden nur dann realisiert und akzeptiert, wenn sie stabil und wirtschaftlich umsetzbar sind und das Prozess-Know-how zuverlässig geschützt wird. Sicherheit ist also entscheidend für die Umsetzung von Industrie 4.0. Die Mikroelektronik liefert die Technologien für den Schutz der Daten.«

Dr. Thomas Kaufmann, Infineon

Auf Basis der skizzierten Ausgangssituation wird es keine einheitliche Form zur Einführung von Industrie 4.0-Technologien geben. Vielmehr spielt die individuelle Ausgangssituation in den Unternehmen und Branchen eine entscheidende Rolle bei der Bemessung des Umfangs und des Zeithorizonts für die Implementierung.

Dies führt in der Übergangszeit zu einer heterogenen Landschaft von Unternehmen, die sich in verschiedenen Phasen des Umsetzungsprozesses befinden. Um die Turbulenzen aus den verschiedenen Umsetzungsstadien so gering wie möglich zu halten, ist eine Standardisierung rund um Industrie 4.0-Technologien von besonderer Bedeutung. Dieser Prozess steht heute aber noch an seinem Anfang.

Aus einer rein technischen Perspektive sind viele Elemente, die zum Aufbau von »Industrie 4.0-Fabriken« benötigt werden, heute schon vorhanden. Sie werden nur noch nicht in der Art und Weise genutzt, wie dies in der

Vision von Industrie 4.0 vorgesehen ist. Dies bedeutet aber noch lange nicht, dass die schon vorhandenen Technologien für die Industrie 4.0-Anwendungen ausgereift sind, sondern dass entsprechende Basistechnologien vorhanden sind, die für den Einsatz im Industrie 4.0-Kontext noch weiter entwickelt werden müssen. Ein Beispiel für eine solche Technologie stellen die Breitbandnetzwerke dar, die sowohl auf ihren Einsatz im industriellen Umfeld (Industrial Ethernet) als auch auf die harte Echtzeitfähigkeit eingestimmt werden müssen. Qualitätsgesicherte Dienste im Internet sind hierfür nicht nur eine hinreichende, sondern eine notwendige Voraussetzung.

Dr. Kaufmann sieht noch weitere Bereiche in denen geforscht werden muss, um robuster gegen Störungen zu sein:

»Die Mikroelektronik ist die Schlüsseltechnologie, um Industrie 4.0 als Standortvorteil zu nutzen. Die Halbleiter – also Mikrocontroller und Leistungsbaulemente – sind das Gehirn und die Muskeln intelligenter Systeme. Es bedarf weiterhin einer kontinuierlichen Forschung und Entwicklung in den Bereichen der Mikroelektronik u.a. zur Verbesserung der Robustheit im industriellen Umfeld, wie beispielsweise die korrekte Funktionsweise in Anwesenheit sehr starker elektromagnetischer Felder (EMV).«

Die freie problemlose Austauschbarkeit von Komponenten nach dem Prinzip des »Plug and Produce« ist ohne Standards nicht denkbar. Ähnliche Standards sind für die Laufzeitumgebungen von Apps zu entwickeln, damit sie auf verschiedenen Plattformen ohne Neuprogrammierung laufen können.

Neben technischen Voraussetzungen, die bei der Einführung von Industrie 4.0-Technologien zu berücksichtigen sind, spielen weiche Faktoren eine wesentlich größere Rolle.

Die Sicherheit von Industrie 4.0-Anwendungen muss unter allen Umständen gewährleistet sein. Bei der Sicherheit spielt nicht nur der Datenschutz eine Rolle, sondern auch der unbefugte Zugriff auf das System. Die Manipulation und Sabotage von Systemen stellt eine besondere Herausforderung dar (Stuxnet-Angriff auf die Iranischen Atomfabriken).

»Dazu kommt das deutsche Datenschutzgesetz, eines der strengsten weltweit. Ich werbe dafür, dass wir das Vertrauen zwischen Industrie, und IKT-Branche und Kunden in Deutschland im Kontext von Industrie 4.0 weiter ausbauen. Wir haben dafür alle Voraussetzungen.«
(Hagen Rickmann, Deutsche Telekom)

Im Zusammenhang mit der Sicherheitsdiskussion rund um Industrie 4.0 sind ebenfalls die Mitbestimmungsrechte von Mitarbeitern zu beachten. Dies ist ein wesentlicher Teilaspekt für die Akzeptanz von Industrie 4.0 in der Belegschaft.

»Die Beschäftigten werden als Erfahrungsträger und Entscheider ganz bewusst in alle relevanten Abläufe der Smart Factory von Industrie 4.0 integriert. Hierfür werden neben neuartigen Bediensystemen mit multimodalen Benutzerschnittstellen auch angepasste Arbeitszeit- und Entlohnungsmodelle benötigt.« (Klaus Bauer, TRUMPF)

Mitarbeiter werden auch in einer Industrie 4.0 nicht zu biologischen Robotern degradiert, sondern stehen weiterhin als Menschen im Mittelpunkt der Produktion. Industrie 4.0 trägt damit dazu bei, komplexe Technikprozesse sicherer, handhabbarer und einfacher zu machen. Weiterhin ermöglicht die flächendeckende Vernetzung mehr Selbstorganisation und Autonomie und unterstützt eine alters- und bedarfsgerechte Arbeitsgestaltung. Durch Industrie 4.0 können Arbeitsorganisationen geschaffen werden, die mehr selbstbestimmte Flexibilität zulassen, so dass Mitarbeiter besseren Zugang zu Informationen und Wissen erhalten und die Unternehmensanforderungen mit ihren eigenen in Einklang bringen können. Insbesondere in Zeiten sozialer Instabilität ist die Einführung von neuen weitreichenden Technologien mit Vorsicht und Sensibilität durchzuführen, um die gesellschaftliche

Akzeptanz nicht zu beschädigen. Hier sind eventuell flankierende Maßnahmen zur Aufklärung in den Betrieben und in der Öffentlichkeit durchzuführen. Außerdem zieht die Einführung neuer weitreichender Technologien, wie die der Industrie 4.0, eine Neudefinition des Arbeitsbegriffs nach sich und löst gesellschaftliche Veränderungen aus.

Der Nutzen wird sich nicht sofort revolutionär entfalten, sondern die Industrie in den nächsten Jahren nach und nach evolutionär verändern. Erste Erfolge sind heute schon sichtbar, die flächendeckende Umsetzung von Industrie 4.0 steht noch aus und hängt in erheblichem Maß von der Schaffung förderlicher Rahmenbedingungen ab.



6 Einordnung des erwarteten Potenzials in die volkswirtschaftliche Betrachtung

Bis zum Jahr 2025 wird für Deutschland allein durch die Industrie 4.0-Potenziale der betrachteten sechs Branchen ein kumuliertes Wertschöpfungspotenzial von bis zu 78 Mrd. € erwartet. Dies entspricht einer jährlichen Steigerung von 1,7 Prozent für die sechs betrachteten Branchen.¹⁹ Die dargestellten Effekte bilden die Erwartungshaltung für die Branchen Maschinen- und Anlagenbau, Kraftfahrzeuge und -zulieferer, chemische Industrie, elektrische Ausrüstung, IKT und Landwirtschaft ab. Gemeinsam umfassen diese heute einen Anteil von 14 Prozent des deutschen Bruttoinlandsprodukts. Da es sich hier aber lediglich um eine Auswahl handelt, kann davon ausgegangen werden, dass auch weitere Branchen und Anwendungen betroffen sind und der Gesamteffekt weit darüber hinausgeht. Themen wie bspw. die Nutzung intelligenter Objekte in Bereichen wie Smart Home oder Smart Health wurden in dieser Studie nicht betrachtet. Somit lässt sich das volkswirtschaftliche Gesamtpotenzial von Industrie 4.0 deutlich oberhalb der erhobenen Summe einordnen.

Die befragten Experten gaben realistische und nach Meinung der Autoren eher konservative Aussagen, da heute noch unklar ist, welche Anwendungen und Geschäftsmodelle kommen werden und dass die maßgebliche Erwartungshaltung aller Beteiligten vor allem durch die durchgehende Vernetzung erwartet wird. Doch gerade dieses Thema lässt sich zum heutigen Zeitpunkt bestenfalls erahnen. Aber auch wenn noch viel unklar bleibt, ist klar erkennbar, dass die Erwartungshaltung hoch und die Anzahl potenzieller Anwendungsfelder so groß ist, dass Industrie 4.0 unserer Industrie den erwarteten und benötigten nächsten Schub in Richtung globaler Wettbewerbsfähigkeit geben kann.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde Produktivitäts- und Marktpotenzial für Industrie 4.0-Technologien abgefragt, jedoch keine Beschäftigungseffekte, weil noch völlig unklar ist, welche Industrie 4.0-Technologien sich durchsetzen werden und wie diese letztendlich genutzt werden. Exemplarisch sei an dieser Stelle auf den Einsatz intelligenter Automatisierung verwiesen, der je nach Ausprägung eher in Form einer durchgängigen Unterstützung menschlicher Arbeit (Werkzeug-Szenario) oder als deren durchgängiger Ersatz Einzug in die Produktion (Automatisierungs-Szenario) haben kann. Je nach Ausprägung werden die Auswirkungen auf die Beschäftigung am Standort Deutschland mehr oder weniger stark ausfallen. Alles deutet momentan jedoch darauf hin, dass von den beiden Aspekten der dualen Strategie zuerst großflächig der Teil der intelligenten Produkte und erst zeitversetzt danach die intelligente Produktion umgesetzt werden. Das eröffnet Chancen für Beschäftigung, die durch höhere Nachfrage nach deutschen Produkten aus der IKT und der Applikationsdomänen entsteht. Dies sollte ein Mittel sein, um eventuelle Verluste durch höhere Produktivität und Effizienz auszugleichen und gleichzeitig höherwertige Jobs zu schaffen.

»Auch die Deutsche Telekom fühlt sich mitverantwortlich, um den Standort Deutschland hier wettbewerbsfähiger zu machen. Um das ganz klar herauszustellen: Industrie 4.0 ist eine Chance für Deutschland und Europa. Entscheidend wird sein, volkswirtschaftlich unsere Verantwortung wahrzunehmen und Steigerungen der betrieblichen Effizienz zu erzielen. Dazu gehört eine Verbesserung der Prozesse durch neue Services. Daraus entwickeln sich dann für die Nachfrager aber auch für Anbieter wie Start-ups und auch die Deutsche Telekom neue und verbesserte Geschäftsmodelle.« (Hagen Rickmann, Deutsche Telekom)

¹⁹ Eine separate inflationsbereinigte Berechnung wurde nicht durchgeführt. Da den Hochrechnungen Einschätzungen zu Prozessverbesserungen und neue bzw. bessere Produkte und Dienstleistungen zugrunde liegen, wird davon ausgegangen, dass die erwarteten Effekte unabhängig zu einer möglichen Preissteigerung stattfinden.

7 Literatur

(Automobilwoche, 2009)

Automobilwoche: Mercedes testet Raumfahrt-Roboter in Fertigung, (01.12.2009)
[<http://www.automobilwoche.de/article/20091201/NACHRICHTEN/912019997/mercedes-testet-raumfahrt-roboter-in-fertigung#.UpyelyfUd6Z>; Stand: 02.12.2013]

(BMBF, 2013)

Bundesministerium für Forschung und Bildung:
Zukunftsbild Industrie 4.0, Berlin, 2013

(Bradley et al., 2013)

Bradley, J.; Barbier, J.; Handler, D.: Embracing the Internet of Everything To Capture Your Share of \$14.4 Trillion;
Cisco White Paper, 2013

(BWcon, 2013)

BWcon: Digitale Agenda 2020+ Baden-Württemberg,
Handlungsempfehlungen, 2013

(Cisco, 2011)

Evans, D.: The Internet of Things, How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything; Cisco; 2011

(DIHK, 2013)

DIHK: Die vierte industrielle Revolution: Internet trifft Industrie; DIHK-Newsletter: 02. Mai 2013; Berlin

(Ericsson, 2011)

Ericsson: More than 50 billion connected devices,
Ericsson White Paper, 2013

(Expertenworkshop Industrie 4.0 im Rahmen der AG1 des IT-Gipfelprozesses 2013)

Expertenworkshop Industrie 4.0 im Rahmen der AG1 des IT-Gipfelprozesses; Pilotprojekt CLAAS-Telekom; 2013

(Forrester, 2012)

Forrester Consulting: Building Value from Visibility – 2012 Enterprise Internet of Things Adoption Outlook; 2012

(Forschungsunion, 2012)

Forschungsunion: Im Fokus: Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 Handlungsempfehlungen zur Umsetzung; Bericht der Promotorengruppe Kommunikation, Berlin, 2012

(Fraunhofer IOSB, 2013)

Fraunhofer IOSB: visIT Industrie 4.0, Karlsruhe, 2013

(FTD, 2012)

Financial Times Deutschland: Smart Factory – Industrielle Evolution, mal wieder; 29. November 2012

(Geisberger, Broy, 2012)

Geisberger, E.; Broy, M.(Hrsg.): agendaCPS – Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems, acatech-Studie, März 2012

(General Electric, 2013)

Annunziata, M; Evans, P.: The Industrial Internet@Work; General Electric; 2013

(GTAI, 2012)

GTAI: Industrie 4.0 eröffnet Chancen für die deutsche Automatisierungstechnik; German Trade and Invest 2012, [<http://www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/maerkte,did=724184.html>]; Stand: 07.08.2013]

(Harbor, 2012)

Harbor Research: Market Overview M2M and Smart Systems – Machine-To-Machine (M2M) & Smart Systems Market Opportunity 2010-2014, 2010

(Hammersmith, 2010)

The Hammersmith Group: The Internet of things: Networked objects and smart devices; 2010

(Heng, 2014)

Heng, S: Industrie 4.0 – Upgrade des Industriestandorts Deutschland steht bevor, Deutsche Bank Research, 2014

(Kagermann, 2012)

Kagermann, H: Die vierte Industrielle Revolution: Industrie 4.0; In: F.A.Z.-Institut: Die Zukunft der Industrie in Deutschland – Innovationstreiber für Wirtschaft und Gesellschaft., 2012, S.20-24

(Karimi, Atkinson, 2013)

Karimi, K.; Atkinson, G.: What the Internet of Things (IoT) Needs to Become a Reality; White Paper, 2013

(Koederitz, 2013)

Koederitz, M.: Vortrag bei der BITKOM-Pressekonferenz Industrie 4.0; Hannover, 06. März 2013

(Maschine+Werkzeug, 2013)

Maschine+Werkzeug: Trumpf: Laserexperte investiert in Industrie 4.0, (19.04.2013)
[<http://www.maschinewerkzeug.de/index.cfm?pid=1418&pk=130259>; Stand: 02.12.2013]

(McKinsey, 2013a)

McKinsey&Company (Hrsg.): Internet of Things; Frankfurt: 2013.

(McKinsey, 2013b)

McKinsey Global Institute: Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy, 2013

(McKinsey, 2013c)

McKinsey Deutschland: Die Goldenen Zwanziger – Wie Deutschland die Herausforderungen des nächsten Jahrzehnts meistern kann, 2013

(Machina, 2012)

Machina Research: The Connected Life: A USD4.5 trillion global impact in 2020; 2012

(Münchener Kreis, 2013)

Münchener Kreis: Innovationsfelder der digitalen Welt – Bedürfnisse von übermorgen; Münchener Kreis-Zukunftsstudie, 2013

(PAC, 2013)

PAC: Studie zum IT Innovation Readiness Index im Auftrag von Freudenberg IT, 2013

(Plattform Industrie 4.0, 2013)

Plattform Industrie 4.0: Was Industrie 4.0 (für uns) ist [<http://www.plattform-i40.de/blog/was-industrie-40-f%C3%BCr-uns-ist>; Stand: 02.12.2013].

(Porter, 1996)

Porter, Michael E. (Hrsg.): Wettbewerbsvorteile (Competitive Advantage): Spitzenleistungen erreichen und behaupten. Frankfurt 1996 (4)

(Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft und Wissenschaft, 2013)

Promotorengruppe Kommunikation Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft (Hrsg.): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. April 2013

(Russwurm, 2013)

Russwurm, S.: Mit Siemens die Zukunft der Produktion gestalten – Auf dem Weg zu Industrie 4.0; Präsentation zu Pressekonferenz der Hanover Messe 2013, 08. April 2013

(SAS, 2013)

SAS Deutschland: Industrie 4.0-Monitor 2013 – Auswertung von Maschinendaten – Ergebnisse einer Befragung von Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes, 2013

(Sendler, 2013)

Sendler, U. (Hrsg.): Industrie 4.0 – Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM; Springer, Berlin, 2013

(Simon, 2013)

Simon, W.: Blick in die Zukunft: Industrie 4.0 – Die Fusion von Fertigungstechnik, Informationstechnologie und Internet; 2013

(Spath, 2013)

Spath, Dieter (Hrsg.); Ganschar, Oliver; Gerlach, Stefan; Hämmerle, Moritz; Krause, Tobias; Schlund, Sebastian: Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Stuttgart 2013

(Statistisches Bundesamt, 2013)

Statistisches Bundesamt, Destatis. Wiesbaden 2013

(Visavis, 2013)

Visavis Verlags GmbH: Der Weg in die Produktion der Zukunft, (06.11.2013)
[<http://www.visavis.de/2013/11/der-weg-in-die-produktion-der-zukunft/>; Stand: 02.12.2013].

(Wikipedia, 2013a)

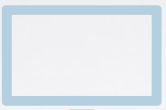
Wikipedia, freie Enzyklopädie (Hrsg.):
Sendungsverfolgung
[<http://de.wikipedia.org/wiki/Sendungsverfolgung>;
Stand: 02.12.2013].

(Wirtschaftswoche, 2013)

Wirtschaftswoche: Industrie 4.0 zeigt, was dank neuer Technologien möglich ist – Interview mit Frank Riemensberger; 16. Juni 2013

(Würth, 2014)

Internetseite der Firma Würth:
[http://www.wuerth-industrie.de/web/de/cteile_kanban/kanban/die_revolution_im_c_teile_management___behaelter_ibin_1/ibin_kanbanbehaelter.php; Stand: 03.03.2014]



8 Danksagung

Den Experten und ihre Unterstützer, die uns im persönlichen Gespräch ausführlich Rede und Antwort gestanden sind und mit Ihren Visionen und Meinungen dazu beigetragen haben, dass die volle Bandbreite der Diskussion um die vierte Industrielle Revolution abgedeckt werden konnte. In alphabetischer Reihenfolge:

- Klaus Bauer, Leitung Systementwicklung
Basistechnologien der TRUMPF Werkzeugmaschinen
GmbH + Co. KG
- Martin Bogen, Vice President für Manufacturing
Coordination & Investment Planning der Robert Bosch
GmbH
- Dr. Volker Damrath, Geschäftsführer vom CWK –
Chemiewerk Bad Köstritz
- Jürgen Gebker, Industry Principal High Tech und
Customer Value Sales Manufacturing der SAP AG
- Dr. Thomas Kaufmann, Vice President Corporate
Supply Chain und Factory Integration der Infineon AG
- Dr. Heinz-Jürgen Prokop, Geschäftsführer. Forschung
und Entwicklung der TRUMPF Werkzeugmaschinen
GmbH + Co. KG
- Hagen Rickmann, Geschäftsführer Sales der T-Systems
International GmbH, Deutsche Telekom
- Christian Rusch, Entwicklung, Systeme und
Dienstleistungen der Claas KGaA mbH
- Thomas Stark, Produktionsplanung Fahrzeugtechnik
bei der Daimler AG

Der Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. vertritt mehr als 2.100 Unternehmen, davon gut 1.300 Direktmitglieder mit 140 Milliarden Euro Umsatz und 700.000 Beschäftigten. 900 Mittelständler, 200 Start-ups und nahezu alle Global Player werden durch BITKOM repräsentiert. Hierzu zählen Anbieter von Software & IT-Services, Telekommunikations- und Internetdiensten, Hersteller von Hardware und Consumer Electronics sowie Unternehmen der digitalen Medien und der Netzwirtschaft.



Bundesverband Informationswirtschaft,
Telekommunikation und neue Medien e.V.

Albrechtstraße 10 A
10117 Berlin-Mitte
Tel.: 030.27576-0
Fax: 030.27576-400
bitkom@bitkom.org
www.bitkom.org