



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

**AUTONOMIK**  
INDUSTRIE 4.0



# Industrie 4.0

Volks- und betriebswirtschaftliche Faktoren für den Standort Deutschland

Eine Studie im Rahmen der Begleitforschung zum Technologieprogramm  
AUTONOMIK für Industrie 4.0

## Impressum

### Herausgeber

Bundesministerium für  
Wirtschaft und Energie (BMWi)  
Öffentlichkeitsarbeit  
11019 Berlin  
www.bmwi.de

### Text

Dr. Steffen Wischmann  
Dr. Leo Wangler  
Alfons Botthof  
iit-Berlin, Begleitforschung zum Technologieprogramm  
AUTONOMIK für Industrie 4.0

### Redaktion

LoeschHundLiepold Kommunikation GmbH, Berlin

### Gestaltung und Produktion

LoeschHundLiepold Kommunikation GmbH, Berlin

### Stand

März 2015

### Druck

vierC print + mediafabrik GmbH & Co. KG, Berlin

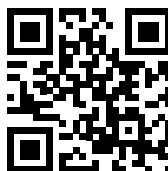
### Bildnachweis

goodluz - Fotolia.com (Titel)

Diese Broschüre ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Nicht zulässig sind die Verteilung auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben von Informationen oder Werbemitteln.



Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie ist mit dem audit berufundfamilie® für seine familienfreundliche Personalpolitik ausgezeichnet worden. Das Zertifikat wird von der berufundfamilie gGmbH, einer Initiative der Gemeinnützigen Hertie-Stiftung, verliehen.



Diese und weitere Broschüren erhalten Sie bei:  
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie  
Referat Öffentlichkeitsarbeit  
E-Mail: publikationen@bundesregierung.de  
www.bmwi.de

### Zentraler Bestellservice:

Telefon: 030 182 722 72  
Bestellfax: 030 181 027 227 21



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie



# Industrie 4.0

Volks- und betriebswirtschaftliche Faktoren für den Standort Deutschland

Eine Studie im Rahmen der Begleitforschung zum Technologieprogramm  
AUTONOMIK für Industrie 4.0

# Inhalt

Abbildungsverzeichnis .....	5
Tabellenverzeichnis .....	6
Management Summary .....	7
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>13</b>
<b>2 Methodik der Studie.....</b>	<b>14</b>
2.1 Statistische Zahlen zur Meta-Analyse	
2.2 Modellierung der Netzwerkeffekte	
2.3 Eigene Erhebung	
<b>3 Strukturwandel und Potenzial .....</b>	<b>15</b>
3.1 Veränderung der Wertschöpfungsketten.....	16
3.2 Internationale und nationale wirtschaftliche Effekte .....	17
3.3 Technologiebereiche, Zukunftsfelder, Standortfaktoren.....	21
3.4 Analyse volkswirtschaftlicher Effekte – SWOT.....	28
<b>4 Bereitschaft und Umsetzung auf Unternehmensebene .....</b>	<b>29</b>
4.1 Bereiche: Prozess- und Produktinnovation .....	29
4.2 Zentrale Hemmnisse und Treiber .....	30
4.3 Differenzierung KMU versus Großunternehmen .....	35
4.4 Umsetzung und Bereitschaft auf Unternehmensebene – SWOT.....	37
<b>5 Netzwerkeffekte im Zusammenhang mit Industrie 4.0 .....</b>	<b>39</b>
5.1 Vernetzungseffekte: Status quo (ohne Industrie 4.0).....	39
5.2 Vernetzungseffekte: Industrie 4.0, Ex-ante-Szenario.....	39
5.3 Vernetzungseffekte: Industrie 4.0, Ex-post-Szenario .....	40
5.4 Vernetzungseffekte: Industrie 4.0, Koordinationsszenario.....	41
5.5 Validierung des idealtypischen Modells zu den Vernetzungseffekten.....	42
<b>6 Fazit .....</b>	<b>46</b>
<b>7 Literaturverzeichnis.....</b>	<b>48</b>
<b>Anlagen.....</b>	<b>50</b>

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: <b>Veränderungen der Wertschöpfungsketten</b> .....	15
Abbildung 2: <b>Potenzial von Industrie 4.0 für das Outsourcing</b> .....	16
Abbildung 3: <b>Volkswirtschaftliches Potenzial</b> .....	18
Abbildung 4: <b>Erwartungen bez. Umsatz und Kosten im Zusammenhang mit der Umsetzung von Industrie 4.0</b> .....	20
Abbildung 5: <b>Wesentliche Zukunftsfelder für die Umsetzung von Industrie 4.0</b> .....	21
Abbildung 6: <b>Relevanter Technologien für die Umsetzung von Industrie 4.0</b> .....	26
Abbildung 7: <b>Bekanntheitsgrad und Leistungsfähigkeit von Industrie 4.0 Anbietern</b> .....	27
Abbildung 8: <b>Veränderungen in einzelnen Bereichen des Unternehmens</b> .....	29
Abbildung 9: <b>Treiber und Hemmnisse im Bereich der Digitalisierung des Produktions- und Serviceangebots</b> .....	30
Abbildung 10: <b>Treiber und Hemmnisse im Bereich der Digitalisierung der Geschäftsmodelle</b> .....	31
Abbildung 11: <b>Treiber und Hemmnisse im Bereich der Digitalisierung und Integration von Wertschöpfungsketten</b> .....	33
Abbildung 12: <b>Treiber und Hemmnisse im Bereich der Flexibilisierung der industriellen Produktion</b> .....	34
Abbildung 13: <b>Unterschiede im Umgang mit Industrie 4.0 (Stand 2014)</b> .....	35
Abbildung 14: <b>Unterschiede im Umgang mit Industrie 4.0 (Stand 2015)</b> .....	35
Abbildung 15: <b>Hauptunterschiede in der Motivation für die Umsetzung von Industrie 4.0 in KMU und Großunternehmen</b> .....	36
Abbildung 16: <b>Hauptunterschiede in den Hemmnissen für die Umsetzung von Industrie 4.0 in KMU und Großunternehmen</b> .....	37
Abbildung 17: <b>Vernetzung im Status-quo-Szenario ohne Industrie 4.0</b> .....	39
Abbildung 18: <b>Vernetzung im Ex-ante-Szenario durch Industrie 4.0</b> .....	40
Abbildung 19: <b>Vernetzung im Ex-post-Szenario durch Industrie 4.0</b> .....	40
Abbildung 20: <b>Vernetzung im Koordinationsszenario durch Industrie 4.0</b> .....	41
Abbildung 21: <b>Unterscheidung zwischen KMU und Großunternehmen bez. der Erwartungen zu Umsatz und Kosten im Zusammenhang mit der Umsetzung von Industrie 4.0</b> .....	43
Abbildung 22: <b>Unterscheidung der KMU in Form von Anwendern und Anbietern bezüglich der Erwartungen zu Umsatz und Kosten im Zusammenhang mit der Umsetzung von Industrie 4.0</b> .....	43
Abbildung 23: <b>Erwartungen (KMU vs. Großunternehmen) bezüglich neuer Auftraggeber/Kooperationspartner im Zuge der Umsetzung von Industrie 4.0</b> .....	44
Abbildung 24: <b>Erwartungen kleiner und mittlerer Unternehmen bezüglich neuer Auftraggeber/Kooperationspartner</b> .....	44
Abbildung 25: <b>Bedeutung von Normen und Standards bzw. der Interoperabilität von Systemen</b> .....	45
Abbildung 26: <b>Übersicht zu den thematischen Schwerpunkten der Indikatoren</b> .....	54
Abbildung 27: <b>Mittelwerte mit Bezug zu den Chancen/Stärken und Risiken/Schwächen zur Umsetzung von Industrie 4.0</b> .....	54
Abbildung 28: <b>Mittelwerte mit Bezug zu den Treibern und Hemmnissen zur Umsetzung von Industrie 4.0</b> .....	54
Abbildung 29: <b>Branchenfokus der befragten Experten</b> .....	54
Abbildung 30: <b>Sicherheit bez. der Einschätzung zu Umsatz- und Kostensteigerung</b> .....	54

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	<b>Prognostiziertes volkswirtschaftliches Potenzial (pro Jahr) für Deutschland über die einzelnen Studien hinweg</b> .....	19
Tabelle 2:	<b>Potenziale und Standortfaktoren der entscheidenden Technologiebereiche und Zukunftsfelder</b> .....	22
Tabelle 3:	<b>SWOT-Analyse zur Umsetzung von Industrie 4.0 auf volkswirtschaftlicher Ebene</b> .....	28
Tabelle 4:	<b>SWOT-Analyse zur Umsetzung von Industrie 4.0 auf Unternehmensebene</b> .....	38
Tabelle 5:	<b>Analysierte Studien und Schwerpunkte der Indikatoren</b> .....	50

# Management Summary

Das Internet der Dinge hat in den letzten Jahren einen hohen technologischen Reifegrad erreicht und treibt wichtige Entwicklungen in vielen Anwenderbranchen voran. Im industriellen Kontext bezeichnet der Begriff Industrie 4.0 die Verbindung der digitalen Welt des Internets mit den konventionellen Prozessen und Diensten der produzierenden Wirtschaft. Es handelt sich dabei um die horizontale und vertikale Vernetzung entlang der Wertschöpfungskette mit Verlagerung der Steuerung von oben nach unten. Hohe Erwartungen knüpfen an diese Entwicklung an. Viele sprechen von der vierten industriellen Revolution, die große Chancen für die Wirtschaft mit sich bringt, zugleich aber auch große Herausforderungen an alle Beteiligten stellt und zum Teil massive Umbrüche bewirken wird.

In diesem Zusammenhang wurden in dieser Studie folgende Leitfragen untersucht:

1. Welche strukturellen Auswirkungen auf die Wertschöpfungsketten ergeben sich durch die im Zuge von Industrie 4.0 erwartete Digitalisierung nahezu aller Geschäftsprozesse?
2. Welche Potenziale werden durch die Umsetzung von Industrie 4.0 auf internationaler und nationaler Ebene erwartet?
3. Wie gut ist Deutschland derzeit in den entscheidenden Zukunftsfeldern Sensorik, Robotik, Produktionstechnik, Logistik und IKT aufgestellt, um sich als Leitanbieter und -anwender von Industrie 4.0 zu etablieren?
4. Was sind die zentralen Motivationen und insbesondere die Hemmnisse bei der Umsetzung von Industrie 4.0 auf Unternehmensebene?
5. Wie stehen die erwarteten Investitionskosten in Industrie 4.0-Lösungen in Relation zu den erhofften Umsatzsteigerungen?
6. Inwiefern ergeben sich durch die Digitalisierung und die damit erwartete erleichterte Vernetzung von Unternehmen erweiterte volkswirtschaftliche Potenziale?

## Zielsetzung

Die Studie schafft einen zusammenfassenden Überblick über existierende Erhebungen und Analysen zum Thema Industrie 4.0. Sie detailliert die Stärken, Schwächen, Risiken und Chancen des Industriestandorts Deutschlands aus volkswirtschaftlicher aber auch betriebswirtschaftlicher Sicht. Ergänzt wird sie durch neue Thesen bezüglich der zu erwarteten wirtschaftlichen Effekte aufgrund der zunehmenden Vernetzung. Sie bietet sowohl der Wirtschaft als auch der Politik eine fundierte Grundlage zur Entwicklung mittel- bis langfristiger strategischer Maßnahmen.

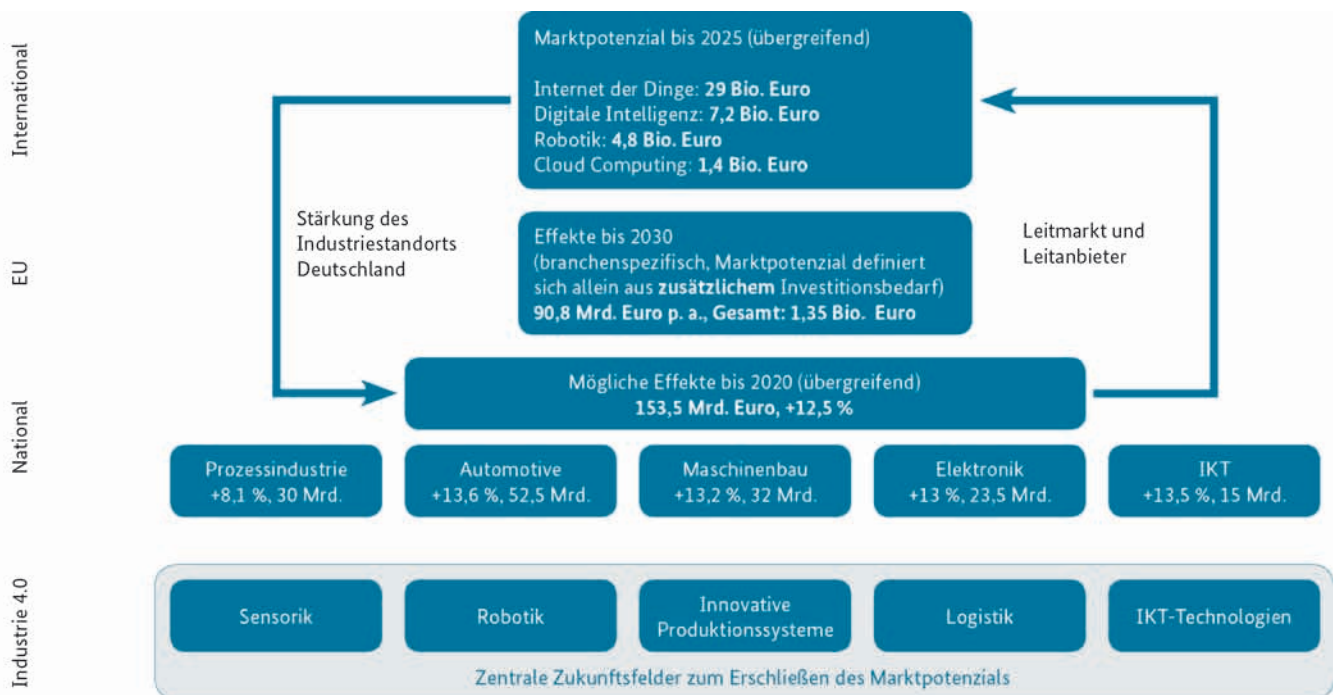
## Vorgehen

Für die Studie wurden ca. 65 Veröffentlichungen mit Bezug zur Digitalisierung und Vernetzung im Bereich der industriellen Produktion (Industrie 4.0) gesichtet. Um das Potenzial von Industrie 4.0 zu erfassen, wurden ca. 29 Studien bzw. deren 150 Indikatoren in einer näheren Analyse ausgewertet. Von zentraler Bedeutung für die Studie waren Indikatoren, die sich der betriebswirtschaftlichen Ebene einerseits und der gesamtwirtschaftlichen Ebene andererseits widmen. Neben dieser Meta-Analyse wurde eine eigene Umfrage mit 53 Industrieexperten vorwiegend aus den Bereichen Maschinenbau, Elektronik, Logistik, Automatisierungstechnik und IKT durchgeführt.

## Ergebnisse

1. Derzeit weisen gerade einmal 22 Prozent aller befragten Unternehmen einen hohen Digitalisierungsgrad ihrer vertikalen und horizontalen Wertschöpfungsketten auf. In den nächsten fünf Jahren soll sich dieser Anteil auf ca. 83 Prozent vervierfachen. Prinzipiell vereinfacht die zunehmende Digitalisierung das Auslagern vieler Geschäftsprozesse entlang der Wertschöpfungsketten. Unseren eigenen Umfrage zu Folge sehen ca. zwei Drittel aller befragten Unternehmen dieses Potenzial. Damit kann die stattfindende Digitalisierung die klassischen Grenzen eines Unternehmens zunehmend aufweichen.
2. In den aktuellen Umfragen und Analysen zum Thema Industrie 4.0 herrscht eine große Einstimmigkeit bezüglich des enormen Wachstumspotenzials für die deutsche Wirtschaft, das durch die Umsetzung der Visionen von Industrie 4.0 erschlossen werden kann. Die volkswirtschaftlichen Effekte auf internationaler Ebene beziehen sich dabei auf verschiedene disruptive Technologien, die in einer engen Verbindung zu Industrie 4.0 stehen. Konkrete Schätzungen des volkswirtschaftlichen Potenzials von Industrie 4.0 für Deutschland gehen von einem Wachstumspotenzial in Höhe von ca. 153,5 Mrd. Euro in den nächsten fünf Jahren aus.
3. Unsere Analysen zeigen, dass Deutschland in fast allen entscheidenden technologischen Zukunftsfeldern international sehr gut aufgestellt ist, um nicht nur als Anwender von Industrie 4.0 zu profitieren, sondern in wichtigen Schlüsselsektoren auch Leitanbieter zu werden. Damit könnte Deutschland seine internationale Spitzenposition, z. B. in den Bereichen Robotik, Maschinenbau, Sensorik und Logistik, verteidigen und ausbauen. Es wird allerdings auch deutlich, dass sich andere Länder intensiv mit der Umsetzung einer digitalisierten, vernetzten Produktion beschäftigen.

## Zu erwartende wirtschaftliche Effekte durch Industrie 4.0.



Quelle: iit 2015; Daten aggregiert aus BITKOM (2014), PwC (2014), Roland Berger (2014), McKinsey (2013)

**Aktuelle Umfragen lassen ein hohes branchenübergreifendes Potenzial durch Industrie 4.0 und deren Schlüsseltechnologien erwarten.**

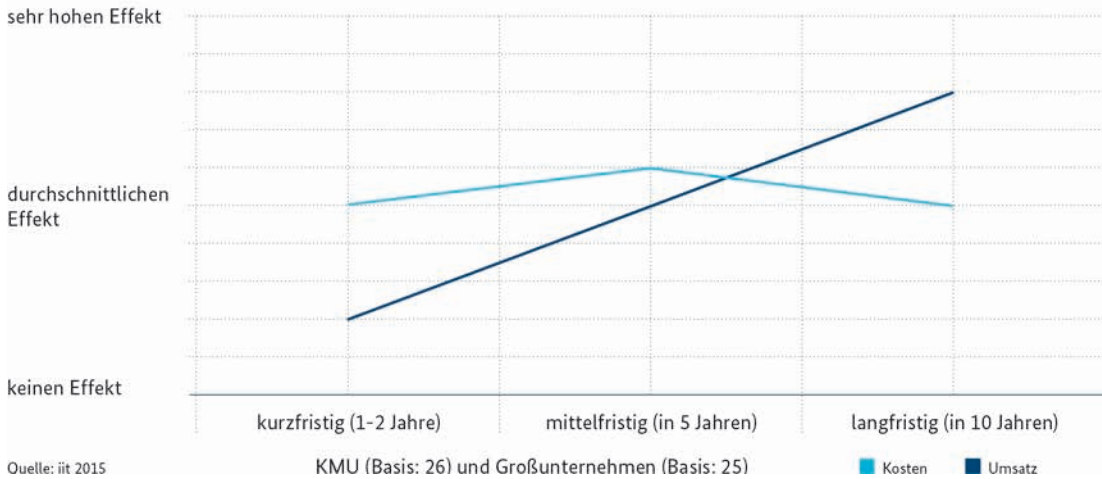
- Die Analyse der zentralen Motivationen bei der Umsetzung von Industrie 4.0 auf Unternehmensebene zeigt, dass die Steigerung der Produktivität, des Umsatzes, der Produktionsflexibilität bei gleichzeitiger Kostensenkung, die wichtigsten gemeinsamen Treiber über alle Unternehmensgrößen hinweg sind. Differenziert betrachtet, spielen für KMU die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle und Services sowie eine erhöhte Kundenbindung/-zufriedenheit eine größere Rolle als für Großunternehmen. Die thematische Komplexität, hohe Investitionskosten sowie Sicherheitsbedenken lassen alle Unternehmen zögern, Industrie 4.0 umzusetzen. Viele wichtige Herausforderungen, wie z. B. verfügbare Ressourcen, ausreichende Qualifikationen, eine klare Nutzentransparenz, der Umgang mit veralteten Anlagen, stellen für KMU ein größeres Problem dar als für Großunternehmen. Insgesamt zeigt sich, dass KMU zwar leicht höhere Potenziale in der Umsetzung von Industrie 4.0 sehen, gleichzeitig aber auch vor schwerwiegenden Herausforderungen stehen als Großunternehmen.
- Insbesondere die Frage nach der Wirtschaftlichkeit der zu tätigen Investitionen kristallisiert sich als die größte Blockade heraus. Aus den sehr wenigen Studien, die nicht nur das wirtschaftliche Wachstumspotenzial

- sondern auch die dafür notwendigen Investitionskosten untersuchen, wird deutlich, dass nach Einschätzung der meisten deutschen Unternehmen derzeit die Investitionskosten mittelfristig weitaus höher ausfallen als das erwartete Umsatzwachstum. Es ist anzunehmen, dass viele Unternehmen, insbesondere im KMU-Bereich, das meist negativ bewertete Verhältnis zwischen dem hohen prognostizierten Investitionsbedarf und dem daraus resultierenden Umsatzwachstum zögern lässt. Unserer aktuellen Umfrage zufolge übersteigen die erwarteten Erträge jedoch mittlerweile nach ca. sechs Jahren die Kosten, so dass in naher Zukunft von verstärkten Investitionen in Industrie 4.0 ausgegangen werden kann.
- Die Potenziale, die sich aus der zunehmenden Vernetzung von Unternehmen ergeben (sog. Netzwerkeffekte)<sup>1</sup> – und damit einhergehend weiterhin offene Fragen bezüglich der zukünftigen Interoperabilität der Systeme –

<sup>1</sup> Netzwerkeffekte werden allgemein als positive externe Effekte verstanden. Diese liegen dann vor, wenn der übergreifende Nutzen den Nutzen auf individueller Ebene übersteigt. Bezogen auf Industrie 4.0 bedeutet dies, dass der Nutzen an dem Standard bzw. Netzwerk mit der Anzahl der Nutzer zunimmt. Ab dem Erreichen einer kritischen Masse steigt die Nutzerzahl exponentiell an und die Diffusion der Technologie wird zu einem sich selbstbeschleunigenden Prozess.



**Welche Kosten- und Umsatzsteigerung erwarten Sie im Zusammenhang mit Investitionen in Industrie 4.0?**



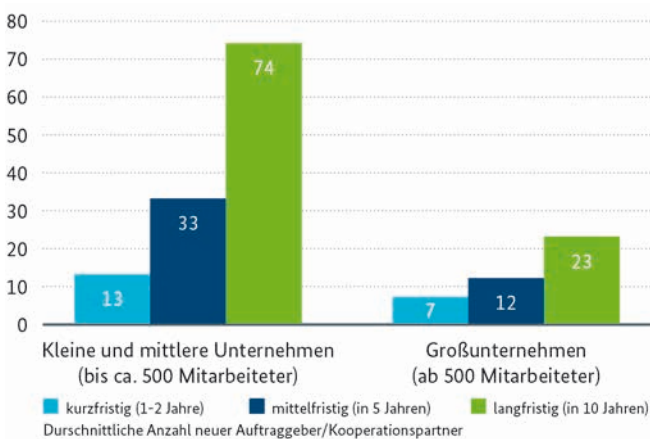
sind ein Erklärungsansatz dafür, dass die Investitionskosten in aktuellen Umfragen höher eingestuft werden als die erwarteten Umsatzsteigerungen. Daraus ergibt sich ein vermeintlicher Widerspruch zwischen den prognostizierten Chancen auf volkswirtschaftlicher Ebene und dem Zögern der Unternehmen bei der konkreten Umsetzung, also die unternehmensspezifischen Anreize zum Heben des volkswirtschaftlichen Potenzials. Der Blick auf die Vernetzungspotenziale kann diesen vermeintlichen Widerspruch auflösen. In der Studie wird dies anhand eines innovativen Erklärungsansatzes idealtypisch modelliert. Im Rahmen der Umfrage wurde das Modell stichprobenhaft validiert. Die Umfrageergebnisse

zeigen deutlich, dass die Unternehmen von dem Thema Industrie 4.0 durchaus neue Geschäftskontakte erwarten; ein zentraler Hinweis für die damit einhergehenden Vernetzungseffekte. Interessanterweise erwarten die kleinen Unternehmen relativ zu den mittleren und großen Unternehmen die meisten zusätzlichen Geschäftskontakte.

**Fazit**

Unsere Auswertungen zeigen eine durchweg positive Erwartungshaltung bezüglich der durch Industrie 4.0 zu erwartenden volks- und betriebswirtschaftlichen Effekte. Es zeigt sich aber auch, dass derzeit noch viele Unternehmen zögerlich agieren. Es wird empfohlen, valide betriebswirtschaftliche Modelle zu diskutieren und anzuwenden, um den Nutzen von Investitionen in Industrie 4.0 nachweisen zu können. Weiterhin bedarf es einer detaillierten Analyse der bisher unterschätzten positiven Vernetzungseffekte, die sich durch die mit Industrie 4.0 einhergehende Digitalisierung ergeben. Lassen sich diese bestätigen, gilt es, Vernetzungsprozesse in einem nächsten Schritt möglichst effektiv zu unterstützen.

**Insofern möglich, schätzen Sie die Anzahl neuer Auftraggeber/Kooperationspartner, die sie im Zuge von Industrie 4.0-Entwicklungen in Ihrem und anderen Unternehmen erwarten.**



# Management Summary

The Internet of Things has reached a high level of technological maturity and is pushing important developments forward in many user industries. In the industrial context, Industrie 4.0 means connecting the digital world of the internet with the conventional processes and services of the manufacturing business. This involves the horizontal and vertical interconnectedness along the value chain with a shift of the controls from top to bottom. High expectations are linked to this development. Many speak of the fourth industrial revolution which entails great opportunities for the economy but also poses big challenges to all involved and which will cause substantial changes in some parts.

In this context, the following key questions have been analysed in this study:

1. Which structural impact on the value chains does the expected digitalisation of almost all business segments through Industrie 4.0 have?
2. Which potentials are being expected through the realisation of Industrie 4.0 on international and national level?
3. How strong is Germany's position in the key future areas sensor technology, robotics, production technology, logistics and ICT to be able to establish itself as leading provider and user of Industrie 4.0?
4. What are the key motivations and obstacles in the implementation of Industrie 4.0 on the company level?
5. What is the relation of the expected investment costs of Industrie 4.0 solutions and the desired increase in sales?
6. In what way do extended economical potentials result from digitalisation and the thereby facilitated interconnectedness of companies?

## Objectives

This study provides a summarised overview over existing surveys and analyses on the subject of Industrie 4.0. It specifies Germany's assets, weaknesses, risks and opportunities as an industrial location from an economical but also business point of view. It is complemented by new theories regarding the expected economic effects that result from increasing network effects. It also offers a solid basis for the economy and for politics to develop mid- to long-term strategic measures.

## Procedure

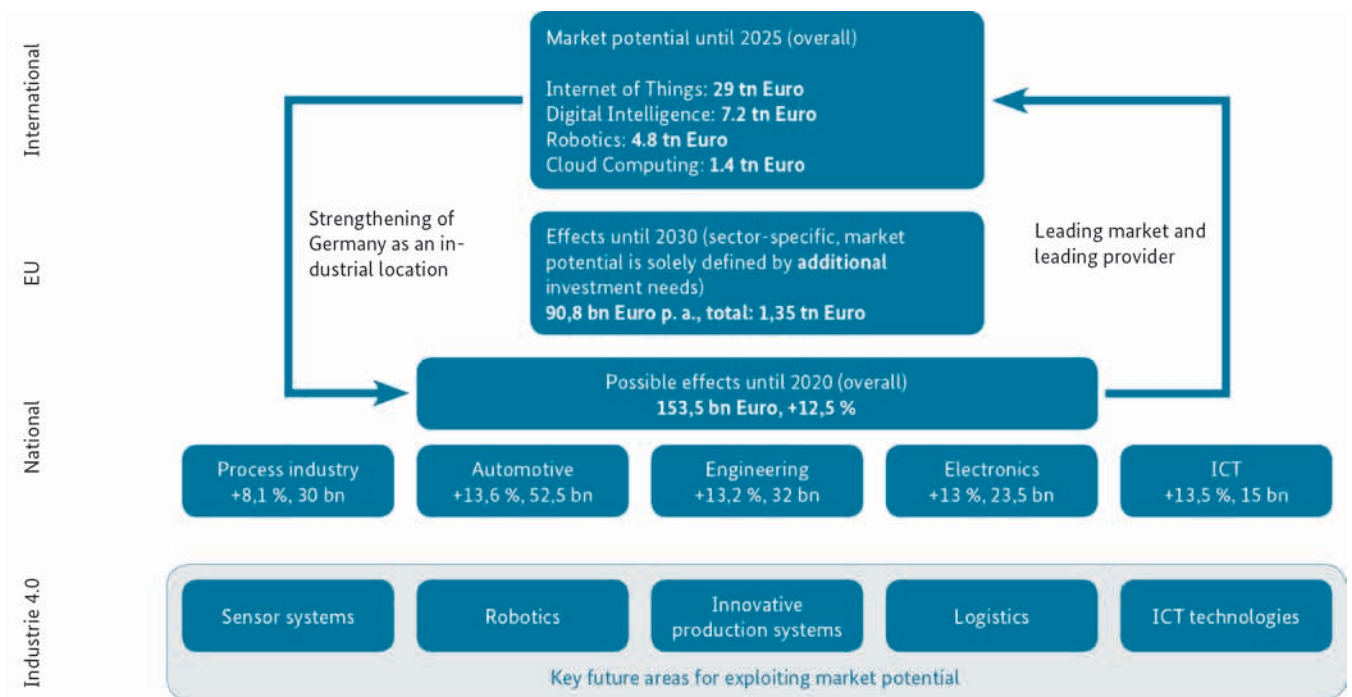
About 65 publications referring to digitalisation and networking in the field of industrial production (Industrie 4.0) have been analysed for this study. To be able to identify the potential of Industrie 4.0, about 29 studies or rather their 150 indicators have been evaluated in detail. Indicators

which address the business level on the one hand and the general economical level on the other hand were of central relevance for the study. Apart from this meta-analysis, a survey was carried out with 53 industrial experts mainly from engineering, electronics, logistics, automation technology and ICT.

## Results

1. Currently, only 22 percent of all interviewed companies have a high level of digitalisation in their vertical and horizontal value chains. In the next five years, this percentage is supposed to quadruple to about 84 percent. In principle, the increasing digitalisation facilitates the outsourcing of many business processes along the value chains. According to our own survey, about two thirds of all interviewed companies recognise this potential. Thereby the proceeding digitalisation can soften a company's traditional boundaries.
2. In current surveys and analyses on the subject of Industrie 4.0 there is a wide agreement regarding the enormous growth potential for the German economy which can be tapped into through the implementation of the Industrie 4.0 visions (see figure below). The economic effects on the international level have to do with various disruptive technologies which are closely linked to Industrie 4.0. Specific estimates of the economic potential of Industrie 4.0 for Germany go hand in hand with a growth potential of about 153.5 billion Euros in the next five years.
3. Our analyses show that Germany has a good international position in nearly all crucial technological future areas to not only be able to benefit from Industrie 4.0 as a user but also become a leading provider in important key sectors. Thus, Germany might defend and expand its international leading position, e.g. in the field of robotics, engineering, sensor systems and logistics. However, it also becomes apparent that other countries are working with great effort on implementing a digitalised, inter-linked production.
4. The analysis of the key motivations regarding the implementation of Industrie 4.0 on a business level shows that increasing productivity, turnover and production flexibility while reducing costs at the same time are the main joint driving forces across all company sizes. Viewed individually, the development of new business models and services as well as an increased customer loyalty and satisfaction play a greater role for SMEs than for large enterprises. The thematic complexity, high investment costs and security concerns make all companies hesitate about implementing Industrie 4.0. Many important

### Expected economic effects through Industrie 4.0.



Source: iit 2015; the data is aggregated from BITKOM (2014), PwC (2014), Roland Berger (2014), McKinsey (2013)

Current surveys lead us to expect that there is a high cross-sector potential for Industrie 4.0 and its key technologies.

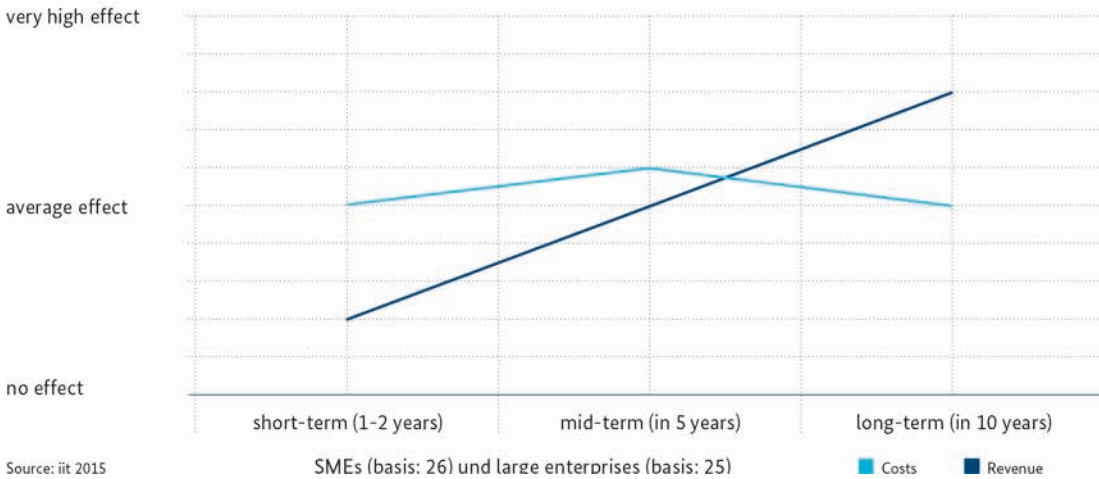
challenges, such as available resources, sufficient qualifications, a clear transparency of benefits or the handling of systems are a greater problem for SMEs than for large companies. All in all it becomes apparent that SMEs see slightly higher potentials in the implementation of Industrie 4.0 but also face more serious challenges than large enterprises.

- Especially the question of the economic efficiency of the required investments is turning out to be the greatest obstacle. From the few studies which not only examine the economic growth potential but also the investment costs that are needed for this, it becomes evident that most German companies estimate the investment costs to be higher on a mid-term basis than the expected company growth. It is probable that many companies, especially in the SME segment, hesitate because of the mostly negatively rated relation between the predicted high demand for investments and the resulting sales growth. However, according to our current survey, the expected income meanwhile exceeds the costs after about six years so that increased investments in Industrie 4.0 can be expected in the near future.

- The potentials which result from the increasing networking of companies (so-called network effects)<sup>1</sup> – and with this also outstanding issues regarding the future interoperability of the systems – are a possible explanation for the higher rating of investment costs in current surveys in comparison to the expected increase in revenue. From this, an alleged contradiction between the predicted opportunities on an economic level and the companies' hesitation concerning the implementation – meaning the company-specific incentives to lift the economic potential – arises. A look at the potentials for networking can resolve this alleged contradiction. In the study, this is ideally designed with an innovative explanatory approach. In the context of the survey, the model is validated with random checks. The results from

<sup>1</sup> Network effects are generally understood as positive external effects. This is the case when the overall benefits exceed the benefits on an individual level. With regard to Industrie 4.0 this means that the benefits from the standard or network increase with the number of users. From the point of reaching a critical mass, the number of users rises exponentially and the diffusion of technology becomes a self-accelerating process.

**Which increase in cost and revenue are you expecting in the context of Industrie 4.0?**



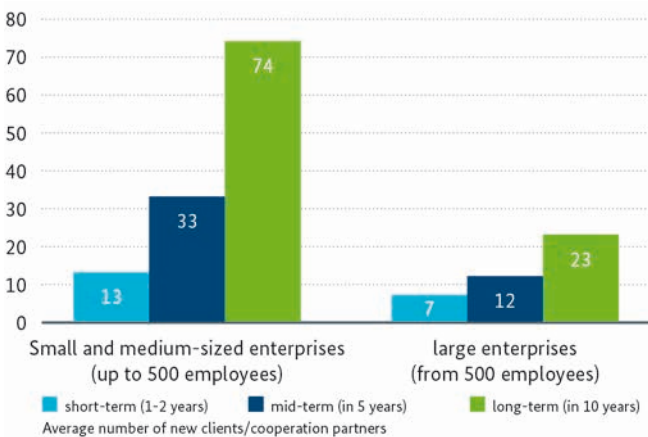
Source: iit 2015

the survey clearly show that the companies definitely expect new business contacts from the subject of Industrie 4.0; a key indication for the accompanying network effects. Interestingly, small enterprises expect the most additional business contacts in a relative comparison to medium-sized and large enterprises.

**Conclusion**

Our evaluations show consistently positive expectations regarding the economic and business effects that are being expected through Industrie 4.0. However, it also shows that many companies still act hesitantly at present. It is recommended to discuss and apply valid business models to be able to prove the benefits of investments in Industrie 4.0. Furthermore, there is a need for a detailed analysis of the hitherto underestimated positive network effects which result from the digitalisation that accompanies Industrie 4.0. If they should be confirmed, the next step is to support networking processes as effectively as possible.

**If possible, give an estimate of the number of new clients/ cooperation partners you expect in yours and other companies in the course of developments in Industrie 4.0.**



Source: iit 2015

# 1 Einleitung

Das Internet der Dinge hat in den letzten Jahren einen hohen technologischen Reifegrad erreicht und treibt wichtige Entwicklungen in vielen Anwenderbranchen. Im industriellen Kontext bezeichnet der Begriff Industrie 4.0 die Verbindung der digitalen Welt des Internets mit den konventionellen Prozessen und Diensten der produzierenden Wirtschaft. Es handelt sich dabei um die horizontale und vertikale Vernetzung entlang der Wertschöpfungskette mit Verlagerung der Steuerung von oben nach unten. Hohe Erwartungen knüpfen an diese Entwicklung an. Viele sprechen von der vierten industriellen Revolution, die große Chancen für die Wirtschaft mit sich bringt, zugleich aber auch große Herausforderungen an alle Beteiligten stellt und zum Teil massive Umbrüche bewirken wird.

Vor dem Hintergrund des bevorstehenden Strukturwandels im produzierenden Gewerbe, gibt es eine Fülle an Studien, die einerseits das Potenzial von Industrie 4.0 erfassen und andererseits die Umsetzung auf Unternehmensebene analysieren. Es fehlt jedoch an einer Konsolidierung der vorhandenen Informationen. Diese Meta-Studie trägt die vielen Informationen zusammen und erlaubt damit einen sehr guten Überblick zum Thema Industrie 4.0. Auf den Ergebnissen der Literatur aufbauend liefert die Studie einen Erklärungsansatz dafür, dass trotz des enormen Marktpotenzials, das laut den existierenden Studien mit Industrie 4.0 einhergeht, die Unternehmen bei der Umsetzung weiterhin zögerlich sind. Eine zentrale Rolle spielen aus unserer Sicht dabei Netzwerkeffekte, die bisher noch nicht ausreichend zum Tragen kommen. Aus Unternehmenssicht ergeben sich daraus Schwierigkeiten, das Potenzial von Industrie 4.0 umfassend einzuschätzen. Dieser Erklärungsansatz wird zusätzlich durch eigene Befragungsergebnisse validiert. In der Befragung werden die Kosten-Nutzen-Aspekte von Industrie 4.0 einerseits und die Vernetzungsaspekte andererseits näher betrachtet. **Hintergrund dieser Studie ist die Begleitforschung im Rahmen des Technologieprogramms „AUTONOMIK für Industrie 4.0“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi).**

Die Vorgehensweise ist dabei wie folgt: der erste Teil der Studie (Kapitel 2 & 3) setzt sich mit dem Potenzial von Industrie 4.0 und dem damit verbundenen Strukturwandel auseinander. Die Methodik wird in Kapitel 2 vorgestellt und Kapitel 3 setzt sich mit dem durch Industrie 4.0 induzierten Strukturwandel und dem davon ausgehenden volkswirtschaftlichen Potenzial auseinander. Die Schwerpunkte liegen auf den Veränderungen der Wertschöpfungsketten, den damit verbundenen internationalen und nationalen wirtschaftlichen Effekten sowie den technologischen Zu-

kunftsfeldern und Standortfaktoren. Die Ergebnisse werden abschließend in Form einer Stärken-, Schwächen-, Chancen und Gefahrenanalyse (SWOT-Analyse) zusammengefasst. Der zweite Teil der Studie (Kapitel 4) befasst sich mit der Bereitschaft zur Umsetzung auf Unternehmensebene. Die Untersuchung der wichtigsten Treiber und Hemmnisse für Veränderungen im Produkt- und Prozessbereich bilden hier einen zentralen Schwerpunkt. Anschließend erfolgt eine differenzierte Betrachtung für KMU und Großunternehmen. Die Ergebnisse werden erneut in einer SWOT-Analyse zusammengefasst. Aus den Ergebnissen der ersten beiden Teile ergibt sich ein vermeintlicher Widerspruch. Trotz der prognostizierten sehr umfassenden volkswirtschaftlichen Potenziale, zeigen sich die meisten Unternehmen weiterhin sehr zögerlich bezüglich der Umsetzung von Industrie 4.0. Der dritte Teil der Studie (Kapitel 5) löst diesen vermeintlichen Widerspruch durch die Einführung von Vernetzungseffekten auf, ein Erklärungsansatz, der in den bisherigen Studien – wenn überhaupt – nur am Rande erwähnt wird. Im Anschluss wird die Bedeutung dieses zentralen Aspekts durch eigene Befragungsergebnisse validiert. Kapitel 6 fasst die Studienergebnisse abschließend zusammen.

## 2 Methodik der Studie

Das methodische Vorgehen im Rahmen dieser Studie lässt sich als dreistufiger Prozess beschreiben. In einem ersten Schritt wurde eine Meta-Analyse auf Basis existierender Studien zu Industrie 4.0 durchgeführt. In einem zweiten Schritt wurde eine identifizierte Lücke in der bestehenden Literatur, nämlich die Bedeutung der Netzwerkeffekte, in ein idealtypisches Modell überführt, um anhand von Szenarien die Entwicklung hin zu Industrie 4.0 aufzuzeigen. Je nach Entwicklungsstadium sind unterschiedliche Ansätze relevant, um Industrie 4.0 zum Durchbruch zu verhelfen. Als dritter abschließender Schritt wurden die Annahmen des idealtypischen Modells durch eigene Befragungsergebnisse validiert.

### 2.1 Statistische Zahlen zur Meta-Analyse

**Für die Studie wurden ca. 65 Veröffentlichungen mit Bezug zur Digitalisierung und Vernetzung im Bereich der industriellen Produktion (Industrie 4.0) gesichtet.<sup>1</sup> Um das Potenzial von Industrie 4.0 zu erfassen, wurden jene Studien ausgewählt, die hierzu relevante Indikatoren liefern. So wurden ca. 29 Studien bzw. deren 150 Indikatoren in einer näheren Analyse ausgewertet.**

Die Abbildungen ab Seite 54 (im Anhang) ermöglichen eine Einschätzung zu den inhaltlichen Schwerpunkten, die den Indikatoren zugrunde liegen. Von zentraler Bedeutung für die Studie sind Indikatoren, die sich der betriebswirtschaftlichen Ebene einerseits und der gesamtwirtschaftlichen/volkswirtschaftlichen Ebene andererseits widmen.

### 2.2 Modellierung der Netzwerkeffekte

Um die Bedeutung der Netzwerkeffekte abzubilden, wird von Seiten der Autoren ein idealtypisches Modell eingeführt. Dieses basiert auf drei wesentlichen Szenarien: ersten, eine „Welt“ vor der Einführung von Industrie 4.0, zweitens, eine „Welt“ in der sich die Unternehmen mit der Einführung von Industrie 4.0 zwar befassen, die positiven Netzwerkeffekte jedoch nicht in ihr individuelles Investitionskalkül integrieren, drittens, eine „Welt“ in der Netzwerkeffekte aufgrund der Umsetzung von Industrie 4.0 zum Tragen kommen und viertens, eine „Welt“ in der die Unternehmen koordiniert vorgehen. Das zuletzt genannte Szenario kann insgesamt die größten Netzwerkeffekte generieren.

### 2.3 Eigene Erhebung

Neben den für die Meta-Analyse genutzten Studien wurde auch eine eigene Umfrage getätigt, um zentrale Erkenntnisse des vorliegenden Berichts zu validieren. Befragt wurden dafür 53 Industrieexperten (51 Prozent KMU und 49 Prozent Großunternehmen (>500 Mitarbeiter)). Für die Online-Umfrage wurden primär Verteiler aus dem Umfeld der Begleitforschung „AUTONOMIK für Industrie 4.0“ verwendet. Damit ist eine gewisse Verzerrung in den Ergebnissen zu erwarten, da die Unternehmen als Industrie 4.0-„affin“ einzustufen sind. Knapp 40 Prozent der Befragten ist der IKT-Branche und der Elektronik zugehörig (vgl. Abbildung 29). Einzelne Befragungsergebnisse fließen im Verlauf der Studie ergänzend zur Meta-Analyse in die jeweiligen Kapitel ein.

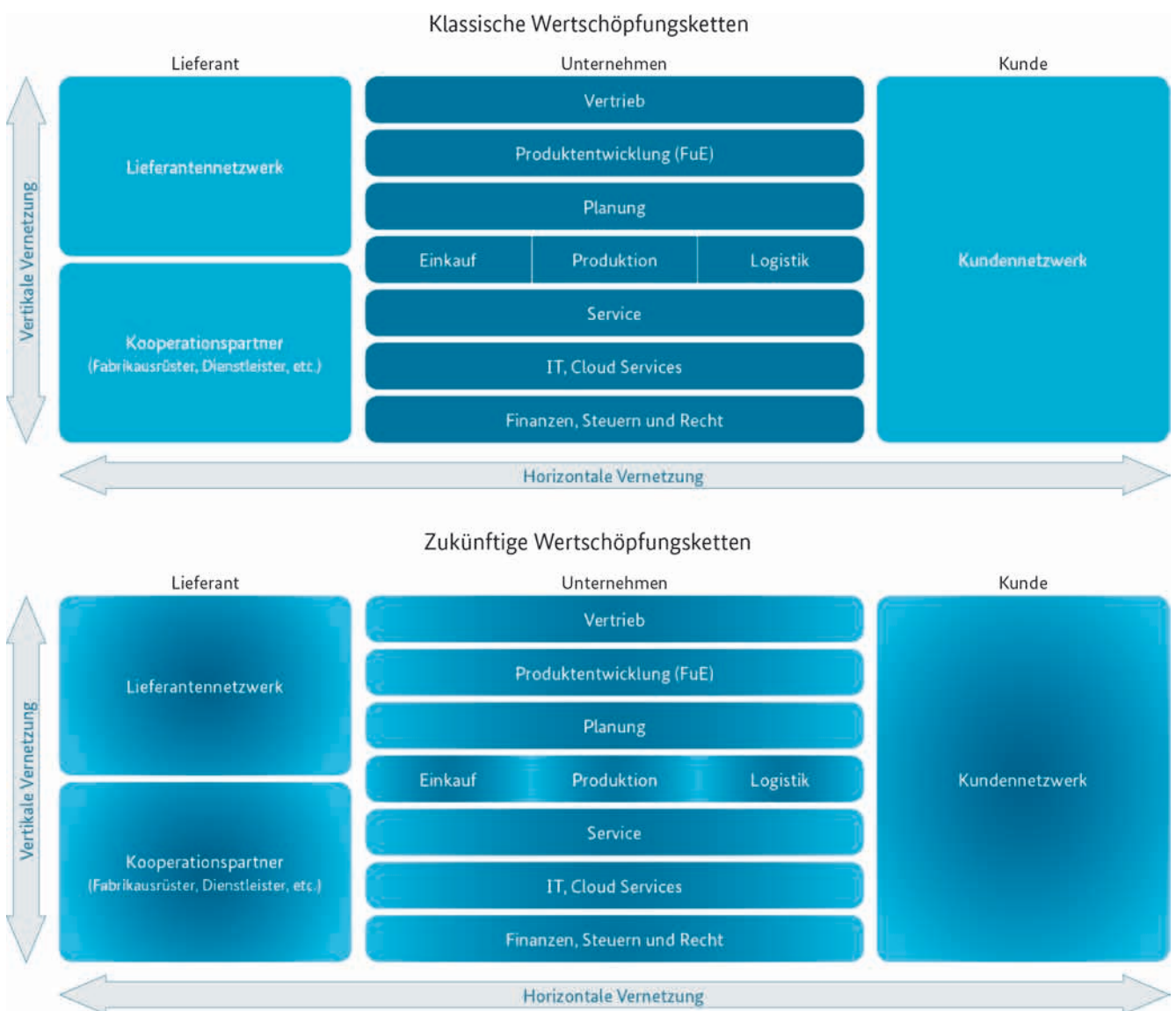
<sup>1</sup> Zu den verwendeten Stichworten zur Recherche der englischsprachigen Literatur gehörten mitunter die folgenden Begriffe: „future manufacturing“, „cyber physical systems“ und „digitalized production“.

# 3 Strukturwandel und Potenzial

In allen Umfragen und Analysen zum Thema Industrie 4.0 herrscht eine große Einstimmigkeit bezüglich des Wachstumspotenzials für die deutsche Wirtschaft, das durch die Umsetzung der Industrie 4.0-Visionen erschlossen werden kann. Im Folgenden werden diese Vorhersagen auf internationaler und nationaler Ebene zusammengefasst. Wichtig für die Umsetzung sind technologische Entwicklungen in

bestimmten Schlüsselbereichen wie der Sensorik, Robotik, Automatisierungstechnik, IKT und auch Logistik. Für diese Bereiche werden die Standortfaktoren und damit die Voraussetzungen Deutschlands für die erfolgreiche Umsetzung von Industrie 4.0 analysiert. Dieser Analyse vorausgehend werden die, möglicherweise gravierenden, strukturellen Veränderungen der bestehenden Wertschöpfungsketten diskutiert.

**Abb. 1: Veränderung der Wertschöpfungsketten.**



Quelle: iit 2015, in Anlehnung an PwC (2014)

**Veränderungen der Wertschöpfungsketten.** Oben: Klassische Wertschöpfungsketten zeichnen sich durch klar definierte Grenzen zwischen unternehmensinternen (blau) und -externen (cyan) Bereichen aus. Kürzere Produktzyklen, kleinere Losgrößen und eine verstärkt individualisierte Produktion erfordern ein effizientes und schnelles Zusammenarbeiten innerhalb und zwischen den Unternehmen. Dies gelingt nur über eine durchgehende Digitalisierung der horizontalen und vertikalen Vernetzung. Unten: Die mit Industrie 4.0 einhergehende Digitalisierung erleichtert den einfachen Dialog und Austausch von Daten zwischen den einzelnen externen und internen Bereichen. Damit wird das Auslagern fast aller Geschäftsprozesse möglich, was zu einer Verschiebung der klassischen Unternehmensgrenzen führen kann. Dadurch eröffnen sich aber auch neue Geschäftsfelder insbesondere in den Bereichen IT, Logistik und Produktion.

### 3.1 Veränderung der Wertschöpfungsketten

In klassischen Wertschöpfungsketten können wir zwei Arten der Vernetzung unterscheiden. Der Informations- und Produktfluss wird dabei zwischen dem eigenem Unternehmen und seinen externen Akteuren (Lieferanten, Fabrikaurüster, Dienstleister, Kunden) horizontal und zwischen den unternehmensinternen Bereichen (Planung, Produktion, Logistik, IT etc.) vertikal vernetzt (siehe Abbildung 1).

Mehr als zwei Drittel der Fertigungsunternehmen in Deutschland sehen im steigenden Innovationsdruck (Time-to-Market), in der Effizienzsteigerung der Produktion sowie in den zunehmend individuellen Kundenwünschen die größten zukünftigen Herausforderungen aus individueller Unternehmensperspektive (Freudenberg IT, 2014). Unternehmensintern erfordern daher kleiner werdende Losgrößen, enger getaktete Produktionsabläufe und komplexer werdende Produkte ein effizientes Zusammenwirken von Produktentwicklung, Produktion, Logistik, IT und Vertrieb. Unternehmensextern ist eine enge Kommunikation mit Lieferanten und Kooperationspartnern notwendig, insbesondere um den wachsenden Anforderungen auf Kundenebene gerecht zu werden (Produktlebenszyklusverfolgung, Open-Innovation, individualisierte Produktion, verstärkte Serviceleistungen etc.). Für eine flexible und effiziente Produktion im Zuge von Industrie 4.0 ist daher eine Digitalisierung entlang der gesamten Wertschöpfungskette (horizontal und vertikal) notwendig.

Laut einer PwC-Umfrage weisen heute gerade einmal 22 Prozent aller befragten Unternehmen einen hohen Digitalisierungsgrad ihrer Wertschöpfungsketten auf (PwC, 2014, S. 19) mit nur sehr geringen Unterschieden bezüglich horizontaler (24 Prozent) und vertikaler (20 Prozent) Vernetzung. In den nächsten fünf Jahren soll dieser Anteil auf 83 Prozent steigen (PwC, 2014, S. 20). Interessanterweise finden sich kaum Unterschiede im Digitalisierungsgrad zwischen den einzelnen Branchen, wenngleich die Digitalisierung in der Elektronik- sowie IKT-Industrie um ca. sechs Prozentpunkte höher liegt als im Maschinenbau und in der Automobil- und Prozessindustrie.

Eine deutliche Polarisierung findet sich jedoch, wenn man die Unternehmen bezüglich ihrer Umsatzstärke betrachtet. Knapp ein Drittel der umsatzstarken (>5 Mrd. Euro) wie auch der umsatzschwachen Unternehmen (<100 Mio. Euro) weisen heute schon einen hohen Digitalisierungsgrad auf. Dieser fällt von beiden Seiten zur Mitte (0,5-1 Mrd. Euro Umsatz) hin auf nur noch 13 Prozent ab (PwC, 2014, S. 20). **Auch hier zeigt sich, dass kleine und große Unternehmen agiler auf die neuen digitalen Anforderungen reagieren,**

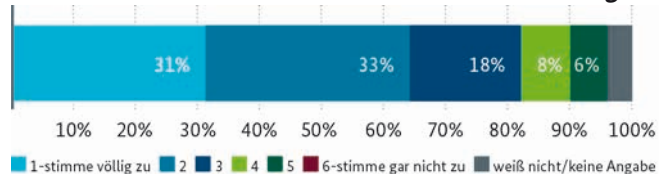
**wohingegen der Mittelstand eher zögerlich reagiert.** Allerdings ist anzumerken, dass die Studie keine Details aufzeigt, wie genau der Digitalisierungsgrad gemessen wird. Damit bleibt unklar, welche horizontalen und vertikalen Geschäftsprozesse noch unzureichend digitalisiert sind.

**Bestätigt sich die derzeitige Einschätzung der Unternehmen, dann wird sich der Digitalisierungsgrad gegenüber dem jetzigen Stand innerhalb von fünf Jahren vervierfachen.** Sollte es tatsächlich gelingen, dass nahezu alle Unternehmen in Deutschland in fünf Jahren ihre Geschäftsprozesse fast vollständig digitalisiert haben, ergeben sich gute Chancen für das Gelingen von Industrie 4.0. Es bleibt jedoch unklar, wie das ambitionierte Vorhaben realisiert werden soll. Gerade im industriellen Kontext müssen dafür enorme Anstrengungen unternommen werden. Mit Fokus auf die Produktion verlangt die vollständige Digitalisierung nach hohen Investitionen, wenn tatsächlich alle Daten des Produktionsprozesses und dessen Planung zum einem überhaupt erfasst und anschließend umfassend digital verfügbar gemacht werden sollen. Inwieweit es sich bei der zu erwartenden enormen Steigerung vor allem in Branchen wie dem Maschinen- oder Anlagenbau mehr um eine Wunschgröße als um eine realistische Einschätzung handelt, kann nur mit einem analytischen, detaillierten Indikatorenmodell bzgl. der Digitalisierung vor allem in Produktion und Fertigung erfasst werden. Dabei müssen auch die notwendigen Investitionskosten in den einzelnen Teilbereichen genauer untersucht werden.

Prinzipiell vereinfacht diese zunehmende Digitalisierung das Auslagern fast aller Aspekte der Wertschöpfungskette. Der eigenen Umfrage zu Folge sehen ca. zwei Drittel aller befragten Unternehmen dieses Potenzial, nur knapp sechs Prozent stimmen der Hypothese eher nicht zu (Abb. 2).

#### Durch Industrie 4.0 und der damit einhergehenden Digitalisierung entstehen neue Möglichkeiten zur Auslagerung von Geschäftsprozessen.

Abb. 2: Potenzial von Industrie 4.0 für das Outsourcing.



Quelle: iit 2015 Basis: 64. Fehlend: 2

**Der Hypothese, dass durch Industrie 4.0 und der damit einhergehenden Digitalisierung neue Möglichkeiten zur Auslagerung von Geschäftsprozessen entstehen, stimmen 64 Prozent der befragten Unternehmen zu, lediglich 6 Prozent lehnen die Hypothese eher ab.**



Damit weicht die bereits stattfindende Digitalisierung die klassischen Grenzen eines Unternehmens zunehmend auf (Abbildung 1). Dies bietet einerseits Chancen für KMU, neue Nischen in Form von Dienstleistungen zu erschließen (Intralogistik, Service, Produktentwicklung, Datenanalyse etc.). Gleichzeitig ergibt sich auch ein gewisses Risiko, dass bestimmte Bereiche von einigen wenigen Monopolanbietern dominiert werden, so wie es z. B. Microsoft im Bereich der Büroanwendungen gelungen ist. Denn gerade bei unternehmensübergreifenden „Digitalisierungsbrücken“ besitzen einmal am Markt etablierte Anbieter den Vorteil, dass sie verschiedene Unternehmen leichter durch ihre eigenen Produkte vernetzen können. Beispielsweise wurde jüngst der gesamte IT-Bereich von Lufthansa an IBM ausgelagert (vgl. Handelsblatt Online, 22.10.2014, <http://www.wiwo.de/unternehmen/handel/lufthansa-sparprogramm-it-auslagerung-soll-millionen-einsparen/10872240.html>). IBM besitzt damit bei allen Kooperationspartnern von Lufthansa, die ähnliche Schritte in Erwägung ziehen, einen Wettbewerbsvorteil, der nur schwer von anderen Konkurrenten kompensiert werden kann.

Gleichzeitig kann die vertikale Vernetzung auch abnehmen, indem einzelne Bereiche ausgegliedert werden und sich das Unternehmen dann auf seine Kernkompetenz konzentriert. Dabei birgt die zunehmende Digitalisierung ein nicht zu unterschätzendes Risiko – die Datensicherheit. Es kann daher unter Umständen auch mit einer verstärkten vertikalen Integration gerechnet werden. Das heißt, Unternehmen schotten wichtige Bereiche intern ab. Damit blieben bestimmte neue Marktnischen für KMU verschlossen. Aufgrund des Sicherheitsrisikos bietet sich gleichzeitig aber auch eine gute Chance für nationale Anbieter, die ein ausreichendes Maß an Datensicherheit garantieren können (Trendbarometer, 2013).

Im Zuge der Digitalisierung der industriellen Wertschöpfungsketten stellen sich neue, bisher kaum beleuchtete Fragen:

- Wie werden die Kosten der Digitalisierung verteilt (bspw. Infrastruktur, Speicherplatz, einheitliche Kommunikationstechnologien wie z. B. umfassende RFID-Ausstattung)?
- Führt der Verlust an unternehmerischer Selbstständigkeit durch das „Aufweichen“ der klassischen Wertschöpfungsketten unter Umständen zu stärkeren Abhängigkeiten?
- In welche Richtung geht die Vernetzung? Wird es in bestimmten Branchen das klassische Unternehmen in seiner heutigen Form noch geben bzw. wird es noch gebraucht (Bsp. Open-Innovation, Maker-Szene)?

## 3.2 Internationale und nationale wirtschaftliche Effekte

Im Folgenden werden die vorausgesagten nationalen und internationalen wirtschaftlichen Effekte durch Industrie 4.0 und die zunehmende Digitalisierung mit Bezug auf einzelne Branchen zusammengefasst.

Die in Abbildung 3 dargestellten volkswirtschaftlichen Effekte auf internationaler/globaler Ebene beziehen sich nicht explizit auf Industrie 4.0, vielmehr wird das Potenzial verschiedener disruptiver Technologien dargestellt, die z. T. in einer engen Verbindung zu Industrie 4.0 stehen (McKinsey, 2013, S. 5). Laut der Studie ist bis 2025 im Bereich des Internet der Dinge (hier gibt es umfassende Schnittmengen zu Industrie 4.0, doch ist das Thema insgesamt weiter gefasst) ein globaler Effekt von ca. 29 Bio. Euro möglich (Steigerung von ca. 3 Bio. Euro pro Jahr).

Zwar wurden zur Berechnung dieser Prognosewerte Überwälzungseffekte<sup>1</sup> auf andere Branchen berücksichtigt, doch scheint die genannte Summe insgesamt doch auf sehr optimistischen Annahmen zu beruhen, was die folgende Vergleichsrechnung zeigt (die Annahmen entsprechen Näherungswerten):

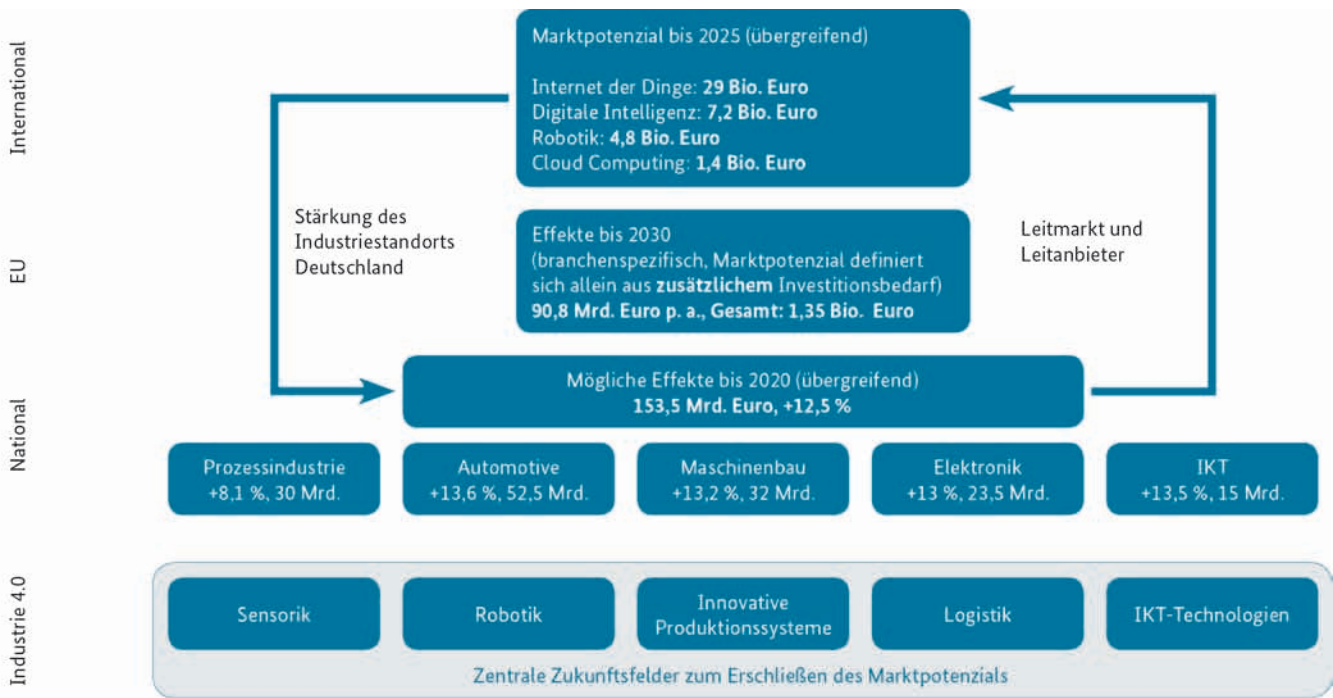
- Welt BIP 2013: ca. 60 Bio. Euro
- Deutschlands BIP 2013: ca. 3 Bio. Euro
- Deutschlands Anteil am Welt-BIP: ca. 5 Prozent

Auf diesen Annahmen aufbauend könnte die deutsche Volkswirtschaft allein vom Internet der Dinge (angenommen sei ein Anteil i. H. v. fünf Prozent bez. der in Abbildung 3 ausgewiesenen 29 Bio. Euro) jährlich mit einem zusätzlichen Betrag von ca. 145 Mrd. Euro profitieren. Dass diese Schätzung mit sehr viel Optimismus verbunden ist, wird auch von den Autoren aufgegriffen. Sie merken relativierend an, dass die bezifferten Effekte einen eher „idealtypischen Zustand“ erfassen, der in der Praxis aller Voraussicht nach so nicht erreicht werden kann. Damit zeigt die Studie zwar die wirtschaftlichen Potenziale der Digitalisierung, ohne dabei jedoch näher auf die Hemmnisse einzugehen, die radikale Innovationen erst einmal überwinden müssen, um den Marktdurchbruch zu erzielen.

Der Investitionsbedarf, der von Industrie 4.0 für den europäischen Wirtschaftsraum ausgeht, wird durch Roland Berger

<sup>1</sup> Der Begriff „Überwälzungseffekte“ meint in diesem Zusammenhang positive externe Effekte, also einen Zusatznutzen der dadurch entsteht, dass einzelne Unternehmen in Industrie 4.0 investieren. Dadurch reduzieren sich beispielsweise die Implementierungskosten für andere Unternehmen.

Abb. 3: Volkswirtschaftliches Potenzial.



Quelle: iit 2015; Daten aggregiert aus BITKOM (2014), PwC (2014), Roland Berger (2014), McKinsey (2013)

**Volkswirtschaftliches Potenzial über die unterschiedlichen Ebenen hinweg.** Die Abbildung fasst die zentralen Ergebnisse der Studien zum volkswirtschaftlichen Potenzial zusammen. Die Beiträge lassen sich vertikal entlang der unterschiedlichen politischen Ebenen gliedern (internationale, europäische und nationale bzw. sektorale Ebene). Studienübergreifend wird eines deutlich: Mit dem Thema Industrie 4.0 wird ein sehr hohes Marktpotenzial verbunden. Die umfassenden Hoffnungen, die an das Thema geknüpft werden, sind dabei unabhängig von den individuellen Blickwinkeln und Schwerpunkten der jeweiligen Studien.

(2014) analysiert. Durch den primären Fokus auf die Kosten- seite, ist die Studie als „Weckruf“ zu verstehen, Industrie 4.0 ernst zu nehmen und die Chancen zu erkennen, die sich für den Industriestandort Europa ergeben. Während die Industrie in Europa (mit Ausnahme von Deutschland) in den letzten beiden Jahrzehnten rückläufig war, birgt Industrie 4.0 das Potenzial, den verlorenen Boden wieder gutzumachen und den Wertschöpfungsanteil der industriellen Produktion europaweit von 15 Prozent auf 20 Prozent zu steigern (Deutschlands Anteil liegt aktuell bei ca. 23 Prozent, also über dem Durchschnitt).

**Hierzu bedarf es laut der Studie europaweiter Investitionen von ca. 90 Mrd. Euro pro Jahr. Der Investitionsbedarf der deutschen Wirtschaft könnte diesen Zahlen zu Folge bei ca. 18 Mrd. Euro (pro Jahr) liegen,** da der relative Anteil am BIP der EU etwa 20 Prozent beträgt. Setzt man wiederum voraus, dass die Investitionen mit positiven Erträgen einhergehen, erscheint ein jährlicher Zuwachs von mindestens ca. 20 Mrd. Euro möglich.

Konkrete Schätzungen des volkswirtschaftlichen Potenzials von Industrie 4.0 für Deutschland bilden die Schwerpunkte von PwC (2014) und BITKOM (2014). Die prognostizierten Effekte sind dabei durchaus unterschiedlich. PwC (2014) schätzt die positiven Effekte auf ca. 30 Mrd. Euro inkrementellen Umsatz pro Jahr,<sup>2</sup> so dass bis 2020 mit einem nominalen Zuwachs von ca. 150 Mrd. Euro zu rechnen ist. BITKOM (2014) betrachtet hingegen die Bruttowertschöpfung<sup>3</sup> und kommt somit zu geringeren Werten.

Als Faustregel gilt jedoch, dass die Umsatzwerte um den Faktor 3,5 über den Werten der Bruttowertschöpfung liegen (Destatis, 2010, S. 11). Um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen, lassen sich die Werte von BITKOM mit 3,5 multiplizieren und als Jahreswerte abbilden. Unter Berücksichtigung dieser Zusammenhänge kommt die BITKOM-Studie auf einen Zuwachs des inkrementellen Umsatzes von ca. 28 Mrd. Euro jährlich.

<sup>2</sup> Die Wertschöpfung ohne Abzug der Kosten bzw. Vorleistungen.

<sup>3</sup> Definiert als der Gesamtwert der im Produktionsprozess erzeugten Waren und Dienstleistungen (Produktionswert), abzüglich des Werts der Vorleistungen.

Die genannten Ergebnisse werden in der folgenden Tabelle noch einmal zusammengefasst:

**Tab. 1: Prognostiziertes volkswirtschaftliches Potenzial (pro Jahr) für Deutschland über die einzelnen Studien hinweg.**

McKinsey (2013)	Ca. 145 Mrd. Euro (übergreifend Internet der Dinge)	Sehr grobe und optimistische Schätzung
Roland Berger (2014)	Mindestens ca. 20 Mrd. Euro (ohne Berücksichtigung von Überwälzungseffekten)	Konservative Schätzung
BITKOM (2014)	Ca. 28 Mrd. Euro	Optimistische Schätzung
PwC (2014)	Ca. 30 Mrd. Euro	Optimistische Schätzung

Quelle: iit 2015

**Die Varianz in den Ergebnissen resultiert daraus, dass die Prognosemodelle auf unterschiedlichen Annahmen aufbauen. Durch die zeitliche Hochrechnung akkumulieren sich die ursprünglichen Abweichungen auf.**

PwC (2014) und BITKOM (2014) brechen zusätzlich das Potenzial von Industrie 4.0 auf einzelne Branchen herunter.<sup>4</sup> Der Vergleich auf Branchenebene zeigt klare Unterschiede für die erwarteten Effekte (die Werte von BITKOM (2014) stehen in der Klammer):

- Prozessindustrie: 6 Mrd.
- Automobilwirtschaft: 10,5 Mrd. (ca. 5,25 Mrd.)
- Maschinenbau: 6,4 Mrd. (ca. 8 Mrd.)
- Elektronik: 4,7 Mrd. (ca. 4,2 Mrd.)
- IKT: 3 Mrd. (ca. 5 Mrd.)
- Chemie: (ca. 4,2 Mrd.)

Beim methodischen Vergleich zwischen PwC (2014) und BITKOM (2014) kann die zuerst genannte Studie insgesamt mehr überzeugen. So ist kritisch zu sehen, dass die Abschätzung des wirtschaftlichen Potenzials durch BITKOM (2014) auf der Meinung nur weniger Experten (8 Experten) basiert. PwC (2014) hat hingegen 235 Industrieunternehmen aus Deutschland befragt, um das volkswirtschaftliche Potenzial einzuschätzen. Die in PwC (2014) aufgeführten Zahlen überzeugen darüber hinaus durch den kürzeren Zeithorizont, der den Prognosewerten zugrunde liegt.

Die Varianz in den Ergebnissen macht deutlich, dass die Zahlen zwar eine grobe Orientierung geben, doch darüber hinaus nur bedingt konkrete Anhaltspunkte liefern. Bezüglich der Vorgehensweisen zur Berechnung des Marktpotenzials in den einzelnen Studien müssen jedoch folgende Randbedingungen berücksichtigt werden:

- Die dargestellten Werte basieren auf groben Abschätzungen, die sich zumeist auf Expertenmeinungen beziehen (relativierend sei an dieser Stelle angemerkt, dass ein gewisser Optimismus von Seiten der Experten sehr wohl als Indikator für die Investitionsbereitschaft in Industrie 4.0 anzusehen ist).
- Unklar ist, ob und inwiefern die Projektionswerte abdiskontiert werden bzw. welcher Zinssatz im Falle einer Abdiskontierung (um den Barwert zu erhalten) angenommen wird.
- Die Zahlen suggerieren eine gewisse Präzision, da sie den Effekt bis auf die Nachkommastelle darstellen, doch ist dies kaum durch die zugrunde gelegte Methode gerechtfertigt.
- Der Zeithorizont ist relativ groß (Prognose für die nächsten 10-15 Jahre), so dass sehr viele Unsicherheiten existieren, die in den dargestellten Zahlen so nicht abgebildet werden können.
- Die Berechnungen bauen i. d. R. auf keinen allgemeinen Gleichgewichtsmodellen auf, den Abschätzungen des Marktpotenzials fehlt damit der „theoretische Unterbau“.

Unter der Berücksichtigung dieser Randbedingungen, lässt sich festhalten, dass die Studien zum volkswirtschaftlichen Potenzial von Industrie 4.0 einen durchaus optimistischen Zukunftstrend aufzeigen. Industrie 4.0 ist als Chance zu verstehen. Allerdings nur wenn es gelingt, die nächsten Jahre umfassend in Industrie 4.0 zu investieren und den damit verbundenen Strukturwandel zu bewältigen. Gleichzeitig geht mit dem Thema auch eine Dringlichkeit einher, denn nur wenn der überwiegend mittelständisch geprägten deutschen Wirtschaft dieser Wandel gelingt, ist sie auch in der

<sup>4</sup> Auch diesbezüglich wurden die Werte von BITKOM angepasst, um einen Vergleich zu ermöglichen.

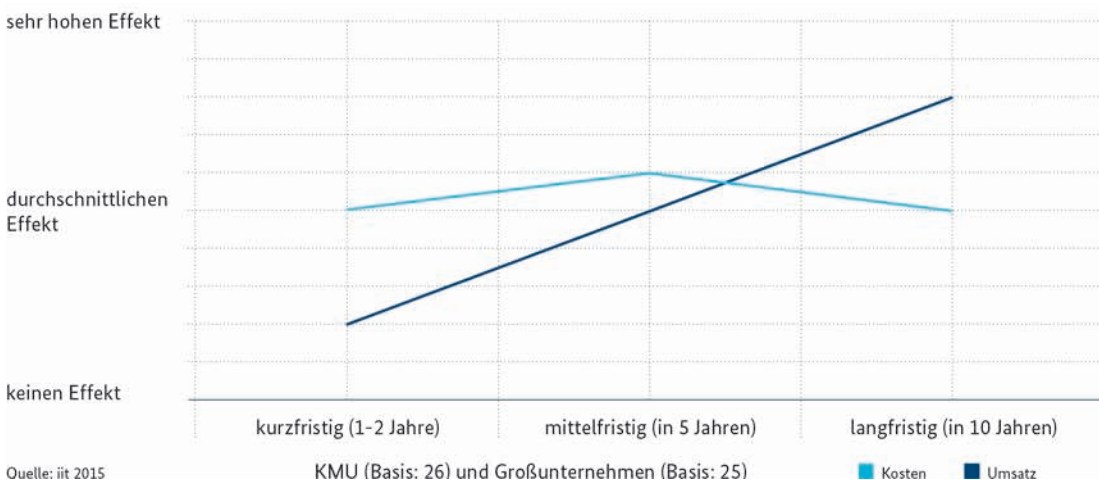
Lage, die Position eines internationalen Leitmarktanbieters z. B. im Maschinenbau beizubehalten. Ein Misserfolg ist hingegen als erhebliche Gefahr für den Industriestandort Deutschland zu sehen.

Darauf aufbauend ist eine zentrale Frage, wie die Unternehmen aus individueller Sicht die Investitionskosten und Umsatzsteigerungen in Verbindung mit Industrie 4.0 einschätzen. Diese werden in der BITKOM-Studie nicht betrachtet. **In der PwC-Studie werden zwar Umsatzsteigerungen und Investitionskosten betrachtet, doch liegen die erwarteten Erträge unterhalb der erwarteten Kosten.** So werden die Investitionskosten auf 3,3 Prozent pro Jahr geschätzt (ca. 40 Mrd. Euro), während das erwartete Umsatzwachstum 2,5 Prozent pro Jahr beträgt (ca. 30,7 Mrd). **Damit bestehen aus Unternehmenssicht aktuell keine Anreize, in Industrie 4.0 zu investieren – über alle betrachteten Branchen hinweg.** Interessanterweise wird dieser Aspekt in der Studie nicht näher diskutiert. Eher kritisch zu sehen ist hier der kurze Zeithorizont von fünf Jahren, da vielen Investitionen ein längerer Zeithorizont zugrunde liegt (i. d. R. mindestens zehn Jahre).

Zentral ist auch der Punkt, ab wann die Unternehmen mit positiven Erträgen rechnen, also aus den Unternehmen

heraus Investitionen getätigt werden und die Umsetzung von Industrie 4.0 insgesamt an Fahrt aufnimmt. In der Online-Befragung zur vorliegenden Studie wurde qualitativ für einen kurzen, mittelfristigen und langfristigen Zeitraum erfasst, mit welchen Investitionskosten und Umsätzen die Unternehmen bei der Umsetzung von Industrie 4.0 rechnen. Über die Unternehmen hinweg (KMU und Großunternehmen) zeigt sich, dass aus einer kurzfristigen Perspektive heraus (ähnlich der PwC-Studie) die Investitionskosten höher eingestuft werden, als die erwarteten Umsatzsteigerungen (Abbildung 4). Mittelfristig (in fünf Jahren) fallen die durchschnittlichen Kosten leicht höher aus als jene vergleichbarer Sach- und Anlageinvestitionen, und die erwarteten Umsätze entsprechen genau den Umsätzen der Sach- und Anlageinvestitionen, so dass die erwarteten Erträge weiterhin negativ sind. Ab ca. sechs Jahren decken sich beide Größen, so dass ab diesem Zeitpunkt mit positiven Erträgen gerechnet wird. **Investiert wird dann, wenn der Barwert (Vergleich der Investitionskosten mit den erwarteten Erträgen abdiskontiert auf den heutigen Zeitpunkt) positiv ist. Indem bereits in ca. sechs Jahren die erwarteten Umsätze die Kosten übersteigen, ist in Kürze mit umfassenden Investitionen in Industrie 4.0 zu rechnen. Der Grafik nach zu urteilen, könnte das bereits in ein bis drei Jahren der Fall sein.**

**Abb. 4: Welche Kosten- und Umsatzsteigerung erwarten Sie im Zusammenhang mit Investitionen in Industrie 4.0?**



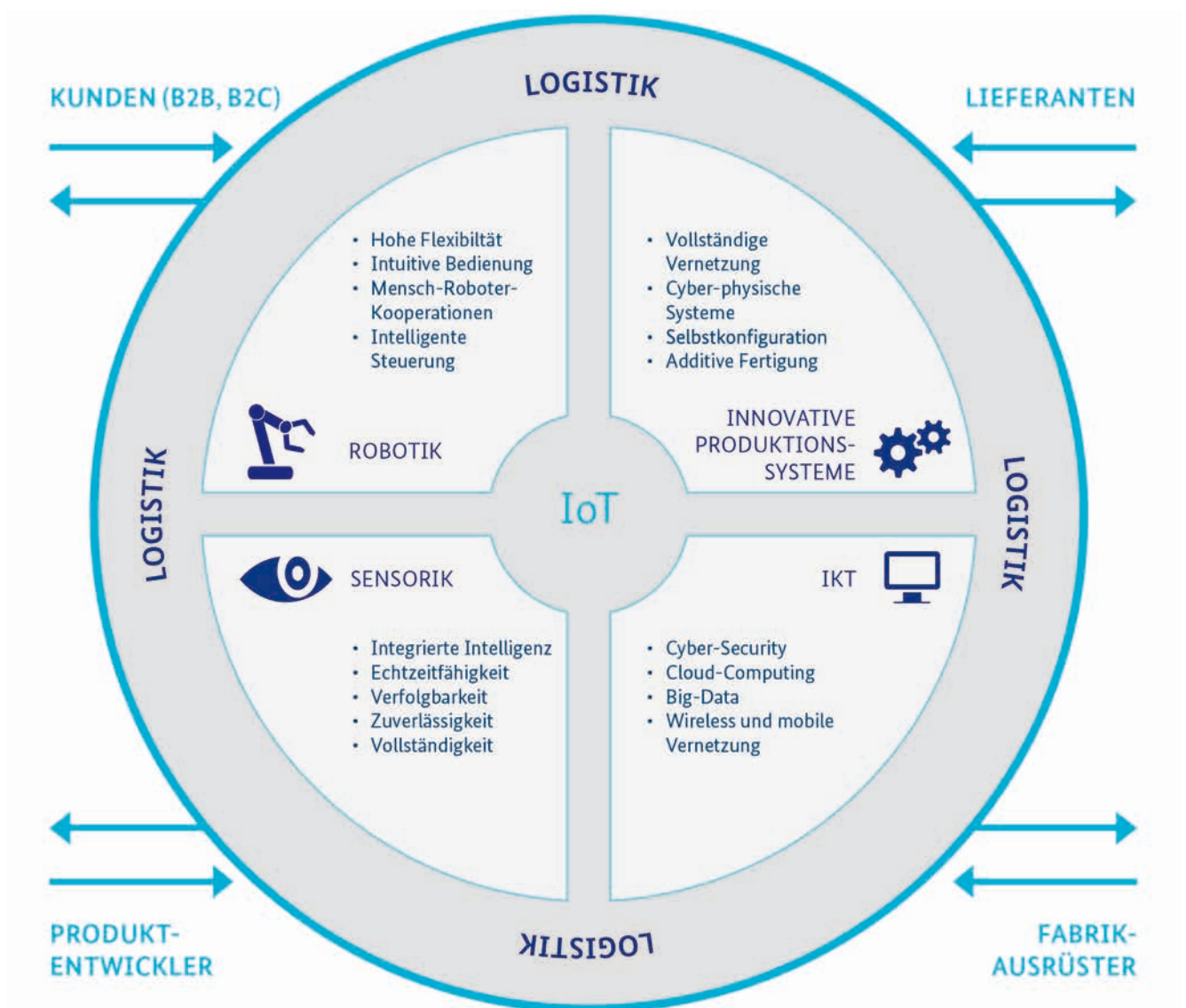
Erwartungen bez. Umsatz und Kosten im Zusammenhang mit der Umsetzung von Industrie 4.0. Der Mittelwert entspricht den durchschnittlichen Kosten- bzw. Umsatzsteigerungen, die Unternehmen mit vergleichbaren Sach- bzw. Anlageinvestitionen verbinden. Die Erträge sind dann positiv, wenn die Umsätze > den Kosten. Entsprechend der aktuellen Befragung erwarten die Unternehmen in ca. sechs Jahren positive Erträge aus den Investitionen in Industrie 4.0. Unternehmen fangen ab dem Zeitpunkt an zu investieren, wenn die erwarteten Erträge (abdiskontiert auf den heutigen Zeitpunkt) höher ausfallen als jene, die mit alternativen Geldanlagen verbunden sind. Wir erwarten auf diesen Ergebnissen aufbauend, dass das bereits in wenigen Jahren der Fall sein wird.

### 3.3 Technologiebereiche, Zukunftsfelder, Standortfaktoren

Angesichts der durchweg optimistischen Prognosewerte diverser Analysen bezüglich des durch Industrie 4.0 möglichen Wachstumspotenzials stellt sich die Frage, wie Deutschland in den zentralen Zukunftsfeldern, deren Weiterentwicklung für die Umsetzung notwendig ist, derzeit im internationalen Wettbewerb aufgestellt ist.

Abbildung 5 fasst die entscheidenden Technologiebereiche und Zukunftsfelder für die Umsetzung von Industrie 4.0 zusammen. Die Liste der Bereiche und ihrer jeweiligen Teillaspekte ist sicherlich nicht erschöpfend, erlaubt im Anschluss aber eine gute Einschätzung über die Standortfaktoren in Deutschland und eine generelle nationale SWOT-Analyse.

Abb. 5: Wesentliche Zukunftsfelder für die Umsetzung von Industrie 4.0.



Neben neuen technologischen Ansätzen in den Bereichen Robotik, Produktionssysteme, Sensorik und Softwarelösungen ist ein effizientes und sicheres Internet of Things (IoT) Grundvoraussetzung für die intelligente Produktion von morgen. Durch die zunehmende Vernetzung der horizontalen und vertikalen Wertschöpfungsketten (siehe Kapitel 3.1) gewinnt die Logistik eine noch zentralere Bedeutung als bisher. Dabei spielt sie nicht nur auf horizontaler Ebene, also zwischen den Unternehmen, Zulieferern und Kunden, eine wichtige Rolle, sondern insbesondere zunehmend auch auf der vertikalen Ebene, der sog. Intralogistik. Ein flexibles Produktionssystem, das in kleinen Losgrößen mit hoher Varianz fertigen kann, ist auf hocheffektive intralogistische Lösungen angewiesen.

Für eine erfolgreiche Industrie 4.0 spielen auf Unternehmensebene insbesondere neue, hochflexible innovative Produktionssysteme neben intelligenter Sensorik, rentabler adaptiver Robotersysteme und den entsprechenden IKT-Technologien eine entscheidende Rolle. Voraussetzung ist eine entsprechend leistungsfähige Intra- und Interlogistik. Nur so lässt sich Industrie 4.0 wirklich umsetzen. In allen abgebildeten Bereichen bietet sich ein hohes Marktpotenzial, von dem Deutschland aufgrund seiner hervorragenden Ausgangs- und Standortbedingungen enorm profitieren kann (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2 fasst die Potenziale sowie wichtige Standortfaktoren der einzelnen Technologiebereiche und Zukunftsfelder (aus Abbildung 5) zusammen. Die einzelnen Bereiche können davon ausgehend wie folgt bewertet werden:

#### Sensorik

Egal ob Automobil-, Unterhaltungsindustrie, Sicherheitstechnologie, Maschinen- und Anlagenbau, Life Science oder Luft- und Raumfahrt. In nahezu allen Branchen gelten Sensoren als Schlüsseltechnologie und sind die Grundlage für die Weiterentwicklung der Automatisierung und Flexi-

**Tab. 2: Potenziale und Standortfaktoren der entscheidenden Technologiebereiche und Zukunftsfelder.**

Kernthemen	
Sensorik	<ul style="list-style-type: none"> <li>Weltmarktpotenzial: 70-120 Mrd. US-Dollar (AMA Sensorik, 2014).</li> <li>Umsatz Deutschland: ca. 35 Mrd. Euro. p. a. (etwa 30 Prozent des Sensorik-Weltmarktes) (AMA Sensorik, 2014).</li> <li>Anzahl Unternehmen in Deutschland: ca. 2.500 mit ca. 250.000 Mitarbeitern (AMA Sensorik, 2014).</li> <li>Sensorsysteme aus deutscher Produktion werden zu ca. 40 Prozent direkt exportiert (der indirekte Export liegt bei ca. 70 Prozent) (AMA Sensorik, 2014).</li> <li>Preis für Sensorik ist in den letzten fünf Jahren um 80-90 Prozent gefallen (McKinsey, 2013).</li> </ul>
Robotik	<ul style="list-style-type: none"> <li>Weltmarkt Industrierobotik 2013: 7,5 Mrd. Euro (12 Prozent erwartetes Wachstum p. a. bis 2017) (IFR 2014).</li> <li>Weltmarkt inkl. Software, Zubehör und System-Integration: 22,7 Mrd. Euro (2013) (IFR 2014).</li> <li>Deutschland ist mit 2,35 Mrd. Euro Umsatz in 2013 (7 Prozent Wachstum p. a. bis 2017) der größte Markt für Industrieroboter in Europa (VDMA, 2013).</li> <li>Exportquote deutscher Hersteller liegt bei 30 Prozent (IFR 2014).</li> <li>114 Industrieroboter pro 1.000 angestellte im Automobilbereich (IFR 2014).</li> </ul>
Innovative Produktionssysteme	<ul style="list-style-type: none"> <li>36 Bio. US-Dollar bis 2025 (McKinsey, 2013).</li> <li>Die deutsche Automatisierungsbranche generierte 46,6 Mrd. Euro Umsatz (ZVEI, 2014).</li> <li>Deutscher Maschinen und Anlagenbau ca. 210 Mrd. Euro Umsatz in 2013 weltweit von insgesamt 6.400 deutschen Unternehmen (weltweite Nr. 1 im Export, ca. 16 Prozent Anteil) (Commerzbank, 2014).</li> <li>Maschinen zu Maschine Kommunikation: +300 Prozent Anstieg in den letzten fünf Jahren weltweit (McKinsey, 2013).</li> <li>Laufende Re-Industrialisierung in den USA eröffnet einen neuen großen Markt, insbesondere für deutsche Unternehmen (Bain &amp; Company, 2014).</li> </ul>
Logistik	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prognose: Globales Wachstum um drei Prozent p. a. (Roland Berger, 2014).</li> <li>Umsatz 2012: 930 Mrd. Euro in der EU, davon entfallen 228 Mrd. Euro auf Deutschland.</li> <li>Deutschland steht damit nach den USA, China und Japan international an 4. Stelle und ist knapp zweimal so umsatzstark wie Europas Nr. 2, Frankreich (Commerzbank, 2013).</li> <li>Die Logistikwirtschaft in Deutschland ist nach Automotive eine der umsatzstärksten.</li> <li>Deutsche Logistikwirtschaft trägt derzeit acht Prozent zum nationalen Wachstum bei. Es wird mit einem Anstieg auf 21 Prozent bis 2025 gerechnet.</li> <li>Deutschland ist der Top-Logistik-Performer weltweit (Platz 1 nach dem Logistik-Perfomanz-Index der Weltbank).</li> </ul>
IKT (Sicherheit, IoT, Cloud Computing und Big Data)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wertschöpfung: 85 Milliarden Euro (4,7 Prozent der gesamten gewerblichen Wertschöpfung in Deutschland) (ZEW, 2014).</li> <li>Investitionen: ca. 18,2 Milliarden Euro im Jahr 2011 (ca. 4,5 Prozent der gesamten Bruttoanlageinvestitionen) (ZEW, 2014).</li> <li>Beschäftigte 2011: 842.000 (ZEW, 2014).</li> <li>7,4 Prozent des Umsatzes werden für Innovationsprojekte ausgegeben (ZEW, 2014).</li> <li>Die Innovatorenquote liegt bei fast 80 Prozent (ZEW, 2014).</li> </ul>

bilisierung. Damit sind intelligente Sensoren auch für die Umsetzung von Industrie 4.0 wesentliche Voraussetzungen. Die deutsche Branche für Sensorik und Messtechnik hält knapp 30 Prozent des Weltmarkts. Sie umfasst in Deutschland rund 2.500 Unternehmen, 85 Prozent davon sind KMU. Das Umsatzvolumen der in Deutschland produzierenden Unternehmen wächst jährlich um rund 2,7 Mrd. Euro. Die Sensorikproduktion in Deutschland hat eine lange Tradition und auch heute zählen Unternehmen aus Deutschland zu den führenden Sensorik-Unternehmen. Dies gilt insbesondere im Marktbereich der Spezialelektronik und Chipfertigung. Damit besitzt der Produktionsstandort Deutschland eine sehr gute Ausgangsposition für Industrie 4.0. Dies zeigt sich auch in den Wachstumsprognosen für die Sensorikhersteller. Laut einer Studie von Intechno Consulting wird eine Steigerung des Volumens für den zivilen Sensorweltmarkt von 118,4 Mrd. Euro im Jahr 2011 auf 184,1 Mrd. Euro im Jahr 2016 prognostiziert (Intechno, 2012). Der Bericht prognostiziert, trotz der insgesamt starken deutschen Marktposition im weltweiten Sensormarkt, für Westeuropa einen Rückgang der Nachfrage nach Sensoren von 34 Prozent in 2006 auf 29 Prozent in 2016. Der Hauptgrund hierfür ist, dass die Anbieter für Sensoren innerhalb der EU überwiegend im Bereich der etablierten Industrien zu finden sind; demgegenüber sind die Hersteller aus Japan und den USA im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien führend, die wiederum das Hauptwachstumsfeld für die derzeitigen Sensormärkte bilden. Insbesondere im Zuge von Industrie 4.0 sind jedoch vermehrt speziell an die Maschinen und Anlagen der Zukunft angepasste Sensoren notwendig. Hier bietet sich für Sensorhersteller aus Deutschland im Verbund mit den Maschinen- und Anlagenbauern die Chance, sich in beiden Bereichen insbesondere durch eine verstärkte Kooperation frühzeitig als Leitanbieter zu etablieren.

### Robotik

Neben dem weltweit zunehmenden Einsatz von Industrierobotern auch in den BRICS-Staaten (Brasilien, Russland, Indien, China und Südafrika), die aufgrund steigender Lohnkosten zunehmend intensiver in Automatisierungslösungen investieren müssen, wird der Markt für Serviceroboter im industriellen Bereich auch in diesen Ländern wachsen. Die neue Robotergeneration, die vermehrt in der Lage ist, direkt mit dem Menschen zu kollaborieren, muss über eine hohe Flexibilität hinsichtlich ihres Einsatzspektrums und eine intelligente Steuerung, die die erforderliche Funktionalität auch in sich dynamisch ändernden Umgebungen erbringt, verfügen. Die Bedienung und Programmierung muss soweit vereinfacht werden, dass es Mitarbei-

tern auch ohne fundierte Informatikkenntnisse möglich ist, das Roboterverhalten an neue Anforderungen anpassen zu können. Im Vergleich zu klassischen Industrierobotern werden kurze Pay-back-Zeiten erwartet sowie eine garantiert sichere Mensch-Roboter-Kooperation. Nachdem die Technologie dieser neuen Generation hardwareseitig mittlerweile eine hohe Marktreife erlangt hat, mangelt es insbesondere noch an der passenden Software, die all diese Anforderungen erfüllt.

Derzeit stellt Deutschland nach den USA und Japan den drittgrößten Markt weltweit in der Industrierobotik und Europa den größten Markt im Bereich der industriellen Servicerobotik (IFR Statistical Department, 2013). Deutschland ist jedoch nicht nur einer der stärksten Anwender der Robotik, sondern gehört nach wie vor zu einem der Leitanbieter. Angesichts der Investitionspläne anderer Länder wird sich der Wettbewerb sowohl im Markt der klassischen Industrieroboter als auch auf dem Gebiet der neuen Serviceroboter deutlich verschärfen. So plant beispielsweise Südkorea eine Innovationsoffensive und möchte in den nächsten fünf Jahren 2,3 Mrd. Euro in Public-Private-Partnerships (PPPs) investieren, um intelligente Roboter insbesondere in der industriellen Fertigung und für Dienstleistungen zu entwickeln. China und Japan deklarieren in ihren aktuellen Fünf-Jahres-Plänen die Robotik als einen wichtigen Bereich mit hohem F&E Bedarf. Die USA investieren in den nächsten Jahren innerhalb der knapp zwei Mrd. Euro schweren Advanced Manufacturing Initiative ca. 440 Mio. Euro in den Bereich Robotik für die Automation. Mit der Strategie RAS 2020 (Robotics and Autonomous Systems) plant die britische Regierung bis 2020 ca. 227 Mio. Euro in die Entwicklung marktreifer Robotiksysteme zu investieren. Die französische Regierung hat einen 80 Mio. Euro Wachstumsfond bereitgestellt, als Investitionskapital für innovative junge Robotikfirmen.

### Innovative Produktionssysteme

Stärken der deutschen Automatisierungs-Wirtschaft liegen im Bereich „Embedded Systems“. Somit besteht ein hohes Potenzial bei der Integration von Anlagen und Maschinen. Insbesondere im Maschinenbau kann die deutsche Wirtschaft ihre Stärken hinsichtlich des Bedarfs an neuen, flexiblen Automatisierungssystemen ausspielen. Jedoch kommt es auch hier auf eine branchenübergreifende Kooperation an. Die neuen Maschinengenerationen zeichnen sich durch ihren Einsatz in cyber-physischen Systemen aus und verschmelzen somit zunehmend mit der virtuellen Welt. Intelligente Sensoren erfassen permanent den Zustand der Anlagen. Eine leistungsfähige Maschine-zu-Maschine(M2M)-

Kommunikation garantiert dabei eine vollständige Vernetzung nicht nur mit der virtuellen Welt, sondern auch der Maschinen untereinander. Nur solch hochgradig mit IKT-Technologien ausgestattete Automatisierungssysteme erlauben die Realisierung der Visionen von Industrie 4.0 – selbstkonfigurierende Fertigungssysteme mit dezentraler Steuerung und Intelligenz (Geisberger & Broy, 2012), die einen hohen Grad an Individualisierbarkeit erlauben und damit letztlich in der Lage sind, flexibel auf variable Kundenanforderungen zu reagieren und kleine Losgrößen mit der Effizienz der Serienfertigung erreichen können. Auch an die Installation, Wartung und Optimierung von Automatisierungsanlagen werden neue Anforderungen hinsichtlich Einrichtungszeit, Verfügbarkeit und Adaptierbarkeit gestellt. Dabei spielt auch die durch innovative IKT-Systeme gestaltete virtuelle Inbetriebnahme eine wesentliche Rolle.

Sollten die Standards für Schnittstellen womöglich woanders gesetzt werden, besteht die Gefahr, dass Deutschland seinen Wettbewerbsvorteil verliert. Diese Gefahr ist durchaus real. So bietet die zunehmende Re-Industrialisierung, die derzeit in den USA vorangetrieben wird, zwar ein hohes Potenzial für das Erschließen neuer lukrativer Märkte im Bereich der Automatisierung (Bain & Company, 2014), jedoch wird dort national verstärkt auch auf eigene Entwicklungen und Lösungen gesetzt. So finanziert z. B. das National Institute of Standards and Technology mit 127 Mio. Euro pro Jahr das National Network for Manufacturing Innovation, ein Zusammenschluss von Industrie, Wissenschaft und Politik, um Innovationen in der Produktionstechnik zu beschleunigen. Aus dem Netzwerk heraus sollen mindestens zwei nationale Institutes for Manufacturing Innovation gegründet werden, mit einem Finanzierungsvolumen von jeweils ca. 132 Mio. Euro für über fünf Jahre.

Auch das vorrangig mit amerikanischen Firmen besetzte Industrial Internet Consortium (IIC) befasst sich mit dem Themenbereich Industrie 4.0, um gerade im Verbund mit mächtigen IKT-Firmen im Bereich der fortgeschrittenen Produktionssysteme die entscheidenden Schnittstellen und Standards zu definieren. Im Zusammenhang mit den geplanten staatlichen Investitionen ergibt sich hier ein hohes Gefährdungspotenzial für den Wettbewerbsvorteil Deutschlands.

### Logistik

Eine leistungsfähige Inter- und Intralogistik ist eine Grundvoraussetzung für das Gelingen von Industrie 4.0. Für die angestrebte Flexibilisierung der Produktionsprozesse benötigt es vollständig integrierte Versorgungsketten mit einem

sehr hohen Vernetzungsgrad. Dies beinhaltet eine umfassende Dokumentation aller Prozessschritte sowie eine zuverlässige Ortung und Verfolgbarkeit in den horizontalen aber insbesondere auch in den vertikalen Wertschöpfungsprozessen.

**Die Zahlen (siehe Tabelle 2 und Abbildung 5) belegen, dass Unternehmen aus Deutschland eine international dominante Rolle in der Logistikwirtschaft einnehmen, nicht nur als Anbieter, sondern insbesondere auch als Anwender. Aktuelle Umfragen (BVL, 2015) nach den Märkten mit zunehmender Bedeutung für 2015 sehen den deutschen Markt mit 53 Prozent ganz vorn, gefolgt vom restlichen Europa (ca. 32 Prozent), Nordamerika (25 Prozent) und Asien (20 Prozent).**

Insbesondere hat sich die Logistik als erste wesentliche Anwendung des Internet der Dinge (IoT) herausgestellt. Der traditionelle Warenverkehr, von der Container-Sendung bis hin zum kleinteiligen Paketversand, kann bereits global über das Internet gesteuert und kontrolliert werden. Die Informationsflüsse zwischen den Betrieben, wie beispielsweise Abrechnungen und der Abgleich verschiedener Daten zum Warentransfer und -verbleib, konnten so entscheidend vereinfacht werden. Erwartete Effekte waren Kostensenkungen, die Flexibilisierung bestehender Logistikprozesse und das Angebot neuer Service-Leistungen. **Im Zusammenhang mit Industrie 4.0 kommt es nun darauf an, dieses Know-how aus dem traditionellen Warenverkehr, der sich eher entlang der horizontalen Wertschöpfungsketten bewegt, in die Produktion und Fertigung zu transferieren, also entlang der vertikalen Wertschöpfungsprozesse.**

Ähnlich der Erfassung und Verfolgbarkeit von klassischen Warensendungen erfordert die flexible Produktion von morgen, dass alle Maschinen, Werkstücke und Produkte hinsichtlich ihrer Fähigkeiten und Kapazitäten digital erfasst und bedarfsgerecht nach den aktuellen Anforderungen im Fertigungsprozess verteilt werden. Ebenso werden Logistikprozesse in der Fabrik von morgen verstärkt von autonomen Systemen bewältigt. Nach aktuellen Analysen des IFR wurden weltweit mit 1.342 fast doppelt so viele autonome Logistiksysteme in der Produktion und Fertigung installiert wie noch in 2012 (IFR Statistical Department, 2013). Vorhersagen beziffern eine Steigerung zwischen 2014-2017 auf 6.400 neu installierte autonome Logistiksysteme im verarbeitenden Gewerbe. Ähnliche Steigerungen werden auch in anderen Anwendungsfeldern autonomer Logistiksysteme erwartet, wie der Einsatz in Krankenhäusern, Büroumgebungen aber auch dem Handling des klassischen Warenverkehrs. Insgesamt wurde das Markt-



volumen im Bereich autonomer Logistiksysteme 2013 auf ca. 190 Mio. Euro geschätzt. Für die Jahre 2014-2017 rechnet man mit einer Zunahme des Marktpotenzials auf 1,26 Mrd. Euro (IFR Statistical Department, 2013). Um dieses Potenzial erfolgreich zu erschließen, erfordert es auch in diesem Bereich eine starke branchenübergreifende Kooperation in den hier dargestellten entscheidenden Technologiefeldern und eine weiterhin zunehmende Digitalisierung in der Logistikwirtschaft.

Nach dem aktuellen Logistik-Indikator (BVL, 2014) sehen 43 Prozent der befragten Logistikanbieter in der Digitalisierung bzw. Industrie 4.0 einen wesentlichen Erfolgsfaktor für 2015, jedoch teilen diese Ansicht nur 16 Prozent der Anwender von Logistiklösungen. Auch hier zeigt sich, dass die Logistikwirtschaft zum einen optimistische Erwartungen an Industrie 4.0 knüpft und sich entsprechend darauf vorbereitet. Einig sind sich ca. zwei Drittel aller befragten Anbieter und Anwender jedoch darin, dass verstärkte Kooperationen entlang der vertikalen und horizontalen Wertschöpfungsketten sowohl Kosten senken als auch Umsätze steigern können. Die Mehrheit (ca. 61 Prozent) der Logistikanbieter sieht in der unter anderem draus resultierenden Vielfalt an Kundenwünschen und dem damit steigenden Produktspektrum bei den Kunden den stärksten Treiber für die wachsende Komplexität ihrer Geschäftsprozesse (BVL, 2015). Einen weiteren Grund für die Komplexitätssteigerung sehen ca. die Hälfte der Anbieter in fehlenden Standards (BVL, 2015). Die Hälfte der Logistikanbieter versucht die wachsende Komplexität durch Investitionen in neue IT-Lösungen besser zu kontrollieren. Insbesondere das Zusammenwachsen von Logistik und IT erfordert verstärkten Investitionsbedarf auch in der Logistikwirtschaft und -wissenschaft (BVL, 2014).

### IKT

Ein ganz grundlegendes Ziel von Industrie 4.0 ist die Nutzbarmachung der in den Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) erreichten und weitere in der nahen Zukunft zu erwartenden Fortschritte für die produktionstechnischen Unternehmen sowie deren Produkte und Dienstleistungen – allgemein auch als Internet der Dinge und Dienste bezeichnet. Daraus abgeleitete Ziele sind die Anpassungsentwicklungen der IKT für Produktionsanwendungen: Robustheit, Ausfallsicherheit, Informations- und Datensicherheit, Echtzeitfähigkeit und Interoperabilität. Damit einher geht die zunehmende und konsequente Einbettung von IKT in die Produktionssysteme – und zwar in immer kleinere Teilsysteme und Komponenten.

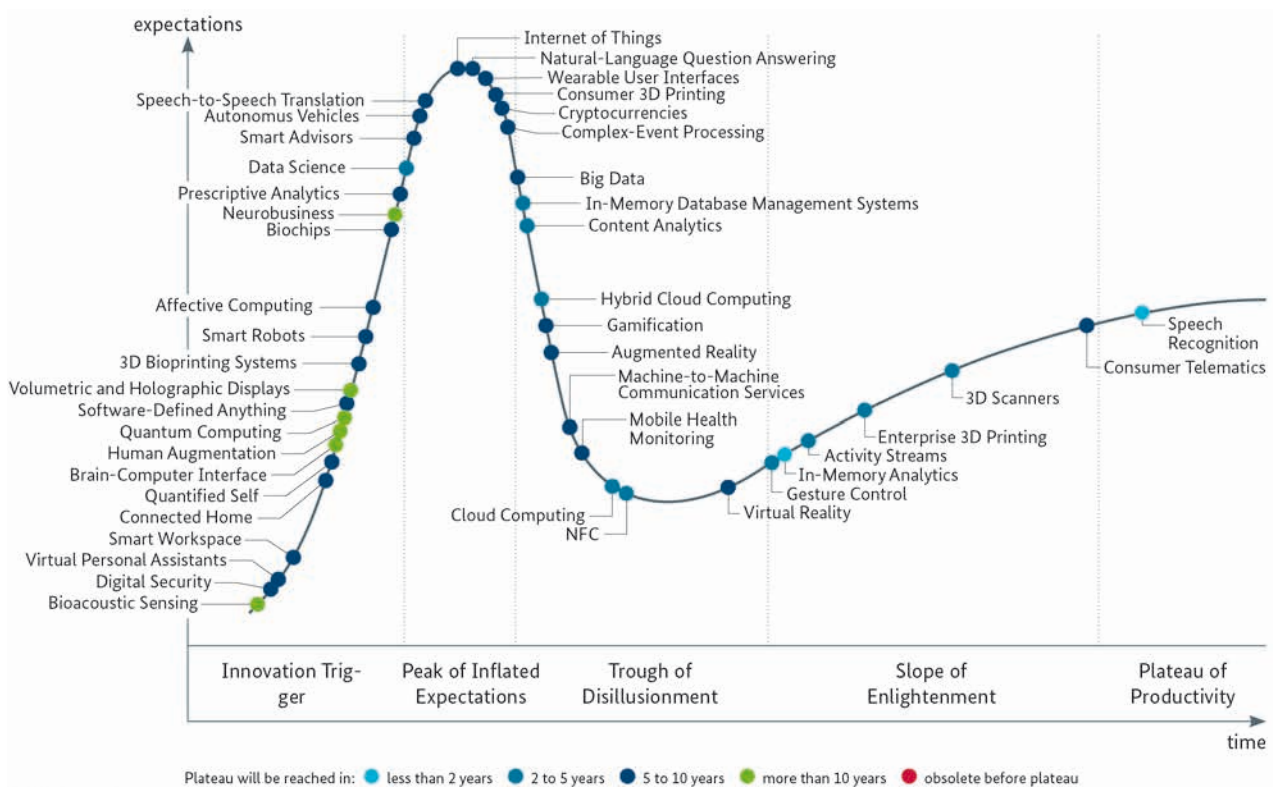
Die IKT ist, wie auch aus den Betrachtungen der anderen Technologiebereiche deutlich wurde, neben der Logistik eine Schlüsseltechnologie für die erfolgreiche Umsetzung von Industrie 4.0. Im aktuellen 15-Länder-Vergleich belegt Deutschland den fünften Platz, wobei die USA als Spitzenreiter fast doppelt so leistungsfähig beurteilt wird wie Unternehmen aus Deutschland (BMW, 2014). Beim Thema IT-Sicherheit sind Anbieter aus Deutschland in abgeschoteten Märkten zwar führend (Bsp. Bundesdruckerei), doch im stark kommerziellen Umfeld weniger präsent (z. B. Antivirenprogramme). SAP als „Softwareschmiede“ ist, insbesondere im ERP-Bereich, der einzige wirklich internationale Anbieter (siehe auch Abbildung 7), der auch im Bereich Industrie 4.0 zu einem wichtigen Partner werden kann. Im Bereich Endnutzengeräte/Anwendungen (Produktionsnahe Systeme/Eingabemodule) ist man wiederum weniger stark aufgestellt. Insgesamt werden insbesondere die Bedürfnisse des Mittelstandes im Bereich Industrie 4.0 kaum von (jungen) deutschen IKT-Unternehmen abgedeckt.

**Die IKT ist wohl die am stärksten geforderte Branche**, um den derzeitigen Technologie- und Wettbewerbsvorsprung, den Hersteller aus Deutschland gegenüber Anbietern aus anderen Ländern in den Bereichen Sensorik, Robotik, Automatisierungstechnik und Logistik besitzen, erfolgreich in das Zeitalter von Industrie 4.0 zu transferieren. Insbesondere angesichts dessen, dass andere Länder umfassende Förderprogramme auflegen, um in der Robotik oder im Maschinen- und Anlagenbau an Wettbewerbsfähigkeit hinzuzugewinnen, besteht die akute Gefahr, dass sich die im internationalen Wettbewerb eher schwach aufgestellte deutsche IKT-Branche (mit Bezug zum B2B-Bereich) zum Flaschenhals entwickelt. **Insbesondere da amerikanische Software-Technologieführer derzeit den B2C-Markt dominieren (Apple, Google etc.), könnte es sein, dass diese Anbieter ihre sehr hohe Innovations- und Investitionskraft verstärkt auch im industriellen Bereich einsetzen. Offen bleiben die Konsequenzen bezüglich der sich verändernden Wertschöpfung. Es ist durchaus möglich, dass dadurch Wertschöpfungsanteile am Produktionsstandort Deutschland verloren gehen können.**

**Exkurs: Industrie 4.0 und der Gartner Hype-Cycle**

Industrie 4.0 baut auf verschiedenen Technologien auf, die alle gemeinsam und ohne großen zeitlichen Verzug untereinander in eine marktfähige Umsetzung gebracht werden müssen. Viele, jedoch nicht alle, dieser Technologien finden sich im abgebildeten Hype-Cycle wieder: „Digital Security“, „Smart Robots“, „pre-scriptive Analytics“, „Data Science“, „Autonomous Vehicles“, „IoT“, „wearable User Interfaces“, „3D-Printing/Scanning“, „Big Data“, „Cloud Computing“, „Augmented Reality“, „M2M“, „Virtual Reality“ etc.

**Abb. 6: Hype-Cycle relevanter Technologien für die Umsetzung von Industrie 4.0.**



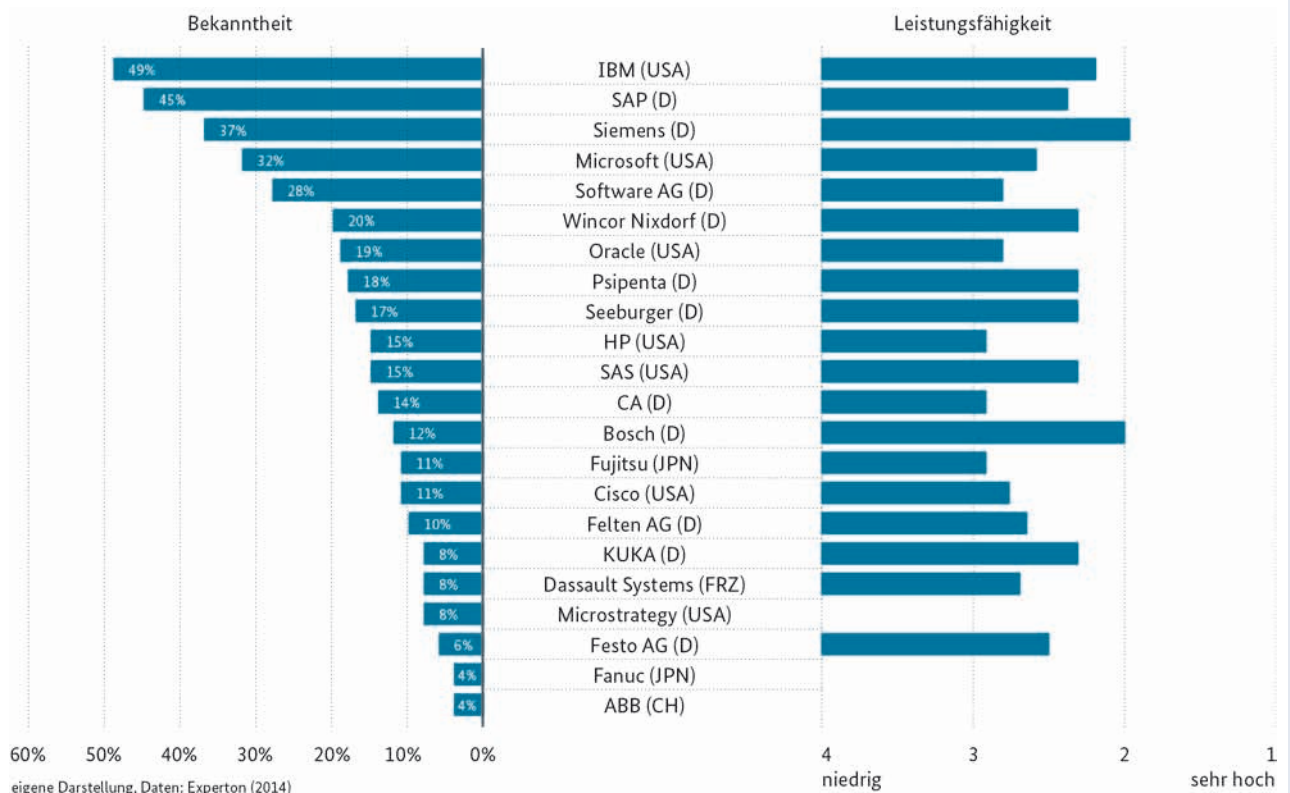
**Vielen entscheidenden Bereichen (Bsp. M2M-Kommunikation, Big Data, IoT, Intelligente Robotik etc.) steht das Tal der Desillusionierung noch bevor. Erst dann kommt es in ca. 5-10 Jahren zu einer allgemein hohen Marktreife.**

Die meisten entscheidenden Technologien befinden sich derzeit noch auf der linken Seite des Cycles und man rechnet mit dem Erreichen des „Produktivitätsplateaus“ in ca. 5-10 Jahren. Die Position auf der linken Seite spiegelt die hohe Erwartungshaltung und damit auch die aktuellen verstärkten öffentlichen Investitionen/Fördermaßnahmen in diesen Bereichen wieder. Die Entwicklungen müssen noch durch das „Tal der Desillusionierung“ geführt werden. Dabei sollte nach Möglichkeit das gesamte Spektrum in den Blick genommen werden. Der Grund ist darin zu sehen, dass zwischen den Technologien, die in Verbindung mit Industrie 4.0 stehen, z. T. beträchtliche Abhängigkeiten existieren. So werden sich z. B. „IoT“, „Cloud-Computing“, „Big-Data“ und weitere Technologien nur dann im industriellen Umfeld durchsetzen, wenn „Digital Security“ gewährleistet ist (analoge Beziehungen können auch zwischen anderen Kerntechnologien hergestellt werden).

**Exkurs: Relevante Unternehmen**

Abbildung 7 zeigt den Bekanntheitsgrad und die Leistungsfähigkeit von Industrie 4.0-Anbietern sowie den Sitz der Konzernführung. Indem nur Experten aus Deutschland befragt wurden, ergibt sich bei der Umfrage eine erhebliche Verzerrung „pro deutsche Industrie 4.0-Anbieter“. Trotz dieser Tatsache ist das Bild durchaus gemischt: Es sind vor allem deutsche und amerikanische Unternehmen, die mit Industrie 4.0 in Verbindung gebracht werden. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund, wer zukünftig die entsprechenden Standards setzen wird, bedeutsam. Sollten deutsche Unternehmen hier zu wenig aktiv sein und amerikanische Unternehmen die entscheidenden Standards setzen, könnte unter Umständen Deutschland seinen Wettbewerbsvorteil in bestimmten Industrie 4.0-nahen Segmenten verlieren.

**Abb. 7: Bekanntheitsgrad und Leistungsfähigkeit von Industrie 4.0 Anbietern.**



**Vor allem amerikanische und deutsche Unternehmen werden als Innovationstreiber für die Umsetzung von Industrie 4.0 eingeschätzt.**

### 3.4 Analyse volkswirtschaftlicher Effekte – SWOT

Tab. 3: SWOT-Analyse zur Umsetzung von Industrie 4.0 auf volkswirtschaftlicher Ebene.

<p style="text-align: center;"><b>Stärken</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Unternehmen aus Deutschland sind führend in Europa hinsichtlich der Entwicklung industrieller Produktionssysteme.</li> <li>• Unternehmen aus Deutschland gehören in Europa noch zu den „Frontrunners“ bei der Umsetzung von Industrie 4.0.</li> <li>• Unternehmen aus Deutschland sind weltweit führender Logistikanbieter.</li> <li>• Unternehmen aus Deutschland bedienen 30 Prozent des weltweiten Sensorik-Marktes.</li> <li>• Unternehmen aus Deutschland sind in Europa führend beim Einsatz und Vertrieb von Industrierobotern.</li> <li>• Trotz Globalisierung decken Unternehmen aus Deutschland weiterhin umfassende Bereiche der Wertschöpfungskette innerhalb des nationalen Innovationssystems ab (Alleinstellungsmerkmal im Vergleich zu Ländern wie z. B. den USA). Damit gehört Deutschland zu einem der innovativsten Länder weltweit.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Schwächen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Additive Fertigungsverfahren werden kaum von Herstellern aus Deutschland entwickelt.</li> <li>• Produktionsnahe Informations-Plattformen werden eine zentrale Rolle spielen. In diesem Bereich besteht ein Aufholbedarf der IKT-Hersteller aus Deutschland.</li> <li>• IKT-Hersteller aus Deutschland verfügen, vor allem international, über nur sehr geringe Marktanteile in Bereichen IT-Sicherheit und mobiles Internet.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>Chancen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Internet der Dinge als disruptive Technologie mit enorm hohem wirtschaftlichem Potenzial.</li> <li>• Preise für Sensoren fallen, Bedarf an spezieller Industriesensorik wird steigen.</li> <li>• Sehr hohe „neue“ Wertschöpfungsanteile sollen in den Industrieländern selbst anfallen.</li> <li>• Industrie 4.0 bietet Herstellern aus Deutschland mit seinen Standortfaktoren (siehe Stärken) die Möglichkeit, seine Position als Leitanbieter in der industriellen Produktion nachhaltig zu festigen.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Risiken</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sollte es nicht gelingen, die notwendigen Investitionen zu generieren (insbesondere Verfügbarkeit von Risiko- und Wachstumskapital, Breitbandausbau), ist die Wettbewerbsfähigkeit gefährdet.</li> <li>• Die Unternehmenslandschaft in Deutschland ist im Wesentlichen durch KMUs geprägt. Die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft ist damit entscheidend von der Umsetzung von Industrie 4.0 in den KMU abhängig.</li> <li>• Standards werden unter Umständen außerhalb Europas gesetzt.</li> <li>• Europa hat insgesamt an Wertschöpfungsanteilen in der industriellen Produktion verloren.</li> </ul>

Quelle: iit 2015

Die führende Rolle der Hersteller aus Deutschland in relevanten Bereichen wie beispielsweise der industriellen Produktion, dem IKT-Sektor, der Automatisierung und weiteren Schlüsseltechnologien, stellen wesentliche Stärken dar. Als Schwäche ist zu nennen, dass Hersteller aus Deutschland im IKT-Software-Bereich international gesehen über eher geringe Marktanteile verfügen. Auch werden additive Fertigungsverfahren kaum durch Produzenten aus

Deutschland entwickelt. Zu den zentralen Risiken gehört, dass anderen Ländern die Umsetzung von Industrie 4.0 schneller gelingen kann und darunter die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft leidet. Im Umkehrschluss sind mit dem Gelingen der Transformation hin zu einer Industrie 4.0 erhebliche Chancen und Potenziale verbunden, um die industrielle Produktion am Standort Deutschland nachhaltig zu stärken.

## 4 Bereitschaft und Umsetzung auf Unternehmensebene

In den vorrangigen Betrachtungen wurde deutlich, dass sich mit Industrie 4.0 für Deutschland ein hohes wirtschaftliches Wachstumspotenzial ergibt. Auch ist Deutschland in fast allen entscheidenden technologischen Zukunftsfeldern international sehr gut aufgestellt, um nicht nur als Anwender von Industrie 4.0 zu profitieren, sondern in wichtigen Schlüsselsektoren auch Leitanbieter zu werden. Damit könnte Deutschland seine internationale Spitzenposition in den Bereichen Robotik, Maschinenbau, Sensorik und Logistik verteidigen und ausbauen. Es wurde allerdings auch deutlich, dass sich andere Länder mit einer hohen Intensität mit der Umsetzung einer digitalisierten, vernetzten Produktion beschäftigen. Gerade deshalb ist es wichtig, dass die Visionen von Industrie 4.0 auf der Ebene der einzelnen Unternehmen möglichst zügig verwirklicht werden.

Der Stand der Umsetzung aus betriebswirtschaftlicher Sicht, die damit verbundenen Treiber und Hemmnisse sowie das zukünftige Wirtschaftspotenzial von Industrie 4.0 bilden den Kern der hier analysierten Studien (Abbildung 26). Insgesamt überwiegt das positive Stimmungsbild deutlich, da über 80 Prozent mit dem Thema Industrie 4.0 Chancen und/oder Stärken für die industrielle Produktion ver-

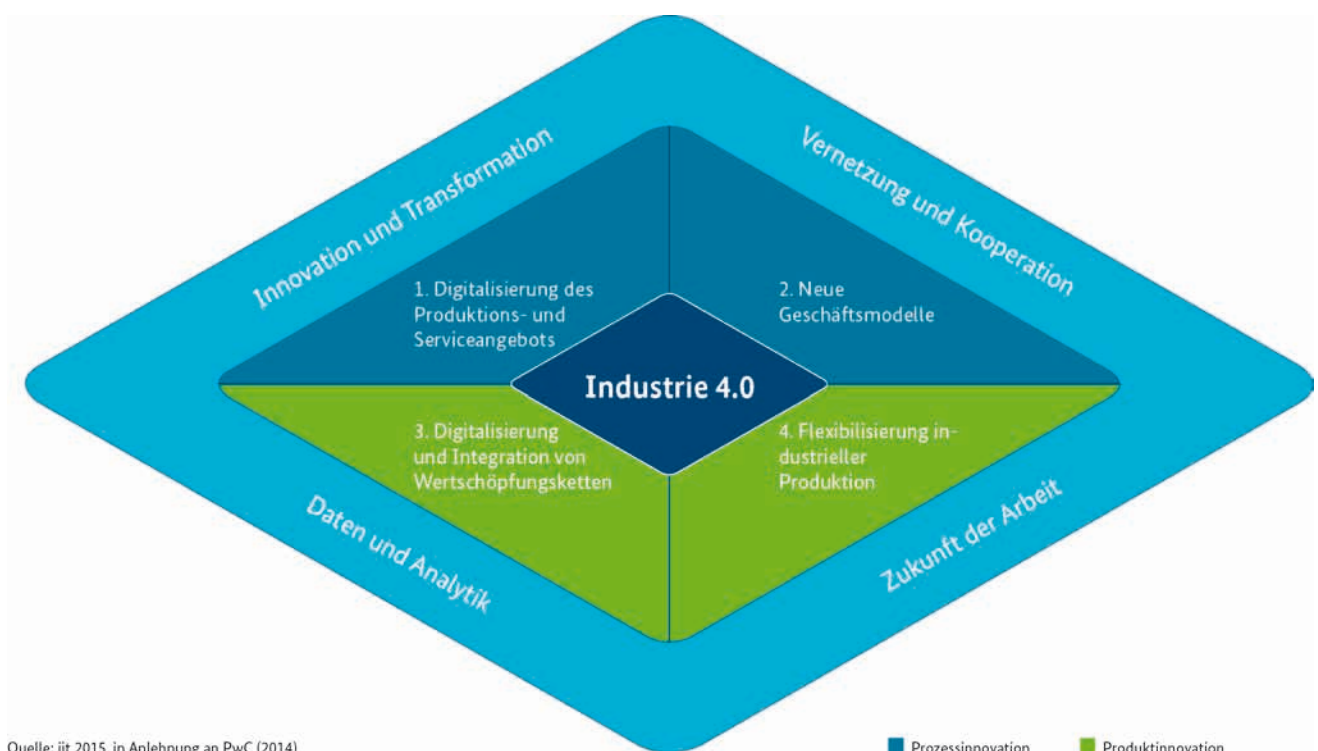
binden (Abbildung 27). Auch in Bezug auf die Treiber und Hemmnisse liegt die Betonung auf den treibenden Faktoren zur Umsetzung von Industrie 4.0. (Abbildung 28). Obwohl die Zuordnung zu den genannten Kategorien nicht immer ganz trennscharf möglich ist, wird deutlich, dass beim Thema Industrie 4.0 eine Aufbruchsstimmung herrscht. Die Auswertung der Studien hat jedoch auch gezeigt, dass die Umsetzung von Industrie 4.0 in vielen Bereichen erst am Anfang steht.

Die nachfolgenden Betrachtungen diskutieren die zentralen Motivationen, aber insbesondere auch die entscheidenden Hemmnisse bei der Umsetzung von Industrie 4.0, die sich derzeit auf Unternehmensebene in Deutschland finden. Dabei soll gesondert auf Hemmnisse und Treiber für die notwendigen Innovationen sowohl im Prozess- als auch Produktbereich eingegangen werden.

### 4.1 Bereiche: Prozess- und Produktinnovation

Die im Rahmen dieser Meta-Studie ausgewerteten ca. 150 Indikatoren, die in den betrachteten Studien zu finden sind, wurden in Cluster gruppiert, um einen näheren Eindruck bezüglich der Stärken und Schwächen des deutschen Inno-

Abb. 8: Veränderungen in einzelnen Bereichen des Unternehmens.



Quelle: iit 2015, in Anlehnung an PwC (2014)

Industrie 4.0 generiert Möglichkeiten für Innovationen. Diese lassen sich den Bereichen Produkt- und Prozessinnovationen zuordnen, wobei die Zuordnung nicht trennscharf erfolgen kann, da z. B. aus der Digitalisierung und Integration von Wertschöpfungsketten auch Produktinnovationen entstehen können. Es ist ein Charakteristikum von Industrie 4.0, dass die Trennung zwischen Produkten und Prozessen aufgeweicht wird.

vationssysteme zur Umsetzung von Industrie 4.0 zu gewinnen. Relativierend ist anzumerken, dass sich einzelne hier zitierte Studien (z. B. Capgemini, 2014 oder Oxford Economics, 2011) nicht explizit auf Deutschland beziehen, sondern auch andere Länder in die Umfrage integrieren. In diesem Zusammenhang wird von Seiten der Autoren angenommen, dass die Ergebnisse für Deutschland nicht signifikant von anderen OECD-Ländern abweichen und damit die allgemeinen Aussagen der Studien auch für Unternehmen aus Deutschland gelten.

Die in Abbildung 8 dargestellten Felder „Digitalisierung des Produktions- und Serviceangebots“ und „neue Geschäftsmodelle“ haben eine Nähe zu Produkten und Dienstleistungen des Unternehmens und lassen sich daher stärker „Produktinnovationen“ zuordnen. Die Felder „Digitalisierung und Integration von Wertschöpfungsketten“ und „Flexibilisierung der industriellen Produktion“ haben einen primären Bezug zu den Produktionsprozessen im Unternehmen und sind daher den „Prozessinnovationen“ nahe.

Die Abgrenzung zwischen Produkt- und Prozessinnovationen verläuft jedoch nicht vollkommen trennscharf, z. B. können aus der Flexibilisierung der industriellen Produktion oder aus der Integration von Wertschöpfungsketten (siehe auch Kapitel 3.1, S. 5) neue Produkte und Dienstleis-

tungen entstehen. Vor dem Hintergrund dieser Überschneidungen ist der farbliche Übergang fließend, der helle Hintergrund steht für die Schnittmenge zwischen Produkt- und Prozessinnovationen. **Diese Überschneidung ist eine bedeutende strukturelle Veränderung, die mit dem Wandel hin zu einer Industrie 4.0 einhergeht.**

Die auf der dritten Ebene dargestellten Themen „Innovation und Transformation“, „Vernetzung und Kooperation“, „Daten und Analytik“ und „Zukunft der Arbeit“ stehen für Schwerpunktthemen, die im Zuge des Wandels hin zu einer Industrie 4.0 bedeutend sind.

## 4.2 Zentrale Hemmnisse und Treiber

### Digitalisierung des Produktions- und Serviceangebots

Zentral ist die Frage, inwiefern es den Unternehmen gelingen kann, die Digitalisierung des Produktions- und Serviceangebots voranzubringen. Einen ersten Eindruck vermitteln die dargestellten Treiber und Hemmnisse.

Die Mehrzahl der Unternehmen rechnen durch Industrie 4.0 mit einer Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit (u. a. Experton, 2014, S. 29). Positiv ist auch einzustufen, dass Industrie 4.0 von allen Beteiligten ein hohes Potenzial zuerkannt wird (u. a. Capgemini, 2014, S. 7).

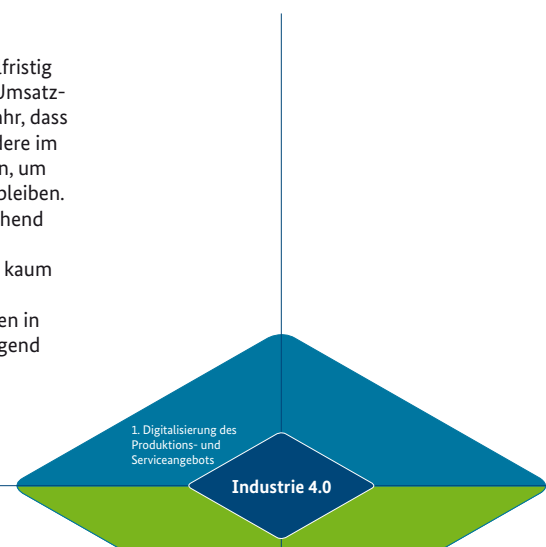
**Abb. 9: Treiber und Hemmnisse im Bereich der Digitalisierung des Produktions- und Serviceangebots.**

#### Treiber (+):

- 23,4% der befragten Unternehmen in Deutschland produzieren bereits heute hoch automatisiert.
- 33,8% produzieren hybrid (manuell und automatisiert).
- 70% rechnen durch Industrie 4.0 mit einer Umsatzsteigerung und 57% mit Kosteneinsparungen.
- 40% erwarten von Industrie 4.0 eine Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit, 60% rechnen mit einer Steigerung.
- Industrie 4.0 wird ein hoher Stellenwert beigemessen.
- Bedeutung von Social Media im Produktionsprozess wird ein hoher Stellenwert beigemessen.

#### Hemmnisse (-):

- Investitionen können u. U. mittelfristig höher als daraus resultierendes Umsatzwachstum ausfallen mit der Gefahr, dass wichtige Investitionen insbesondere im Mittelstand nicht getätigt werden, um langfristig wettbewerbsfähig zu bleiben.
- Die Digitalisierung wird unzureichend koordiniert umgesetzt.
- Von Seiten des Managements ist kaum eine digitale Vision zu erkennen.
- 42,5% der befragten Unternehmen in Deutschland produziert überwiegend manuell.



Quelle: iit 2015, Treiber und Hemmnisse identifiziert durch folgende Quellen: Capgemini (2014), Experton (2014), IAO (2013), Oxford Economics (2011), PwC (2014) und VDE (2013)

**Fast alle Unternehmen rechnen mit einer Umsatzsteigerung und Kosteneinsparungen. An das Thema Industrie 4.0 sind damit hohe Erwartungen geknüpft, die Hemmnisse liegen aktuell besonders in der Umsetzung. Dies liegt besonders daran, dass die Investitionskosten höher eingestuft werden als die resultierenden Umsatzsteigerungen.**

Bezüglich der Digitalisierung der Geschäftsprozesse ergibt sich hingegen kein eindeutiges Bild. Zwar wird zentralen Entwicklungen, wie dem Einsatz von Social Media im Produktionsprozess, ein hoher Stellenwert beigemessen (Oxford Economics, 2011, S. 13), doch zeigen die Umfragen auch, dass die Umstellung der Produktion noch nicht ausgewogen vollzogen ist. So produziert die Mehrheit der Unternehmen (43 Prozent) weiterhin manuell. Etwa ein Drittel (34 Prozent) produziert bereits hybrid<sup>1</sup>, was die weiterführende Digitalisierung der Produktionsprozesse tendenziell erleichtern sollte (IAO, 2013, S. S.31). In dem knapp ein Viertel (24 Prozent) der Unternehmen bereits heute hoch automatisiert und digitalisiert produziert (ebd.), bestehen umfassende Orientierungsmöglichkeiten ("Best-Practice-Beispiele") für die Umstellung der industriellen Produktion hin zu einer Industrie 4.0.

Als deutliches Hemmnis ist zu erkennen, dass die Digitalisierung im Unternehmen unzureichend koordiniert umgesetzt wird. Auch gibt ein beachtlicher Teil der Befragten an, dass von Seiten des Managements keine digitale Vision existiert (Capgemini, 2014, S. 13). Dass im Bereich der Investitionen in Industrie 4.0 zusätzliche Hemmnisse existieren, zeigt

1 Die Unternehmen produzieren bereits digital, doch fehlt die Vernetzung der Systeme und damit einhergehend die M2M-Kommunikation.

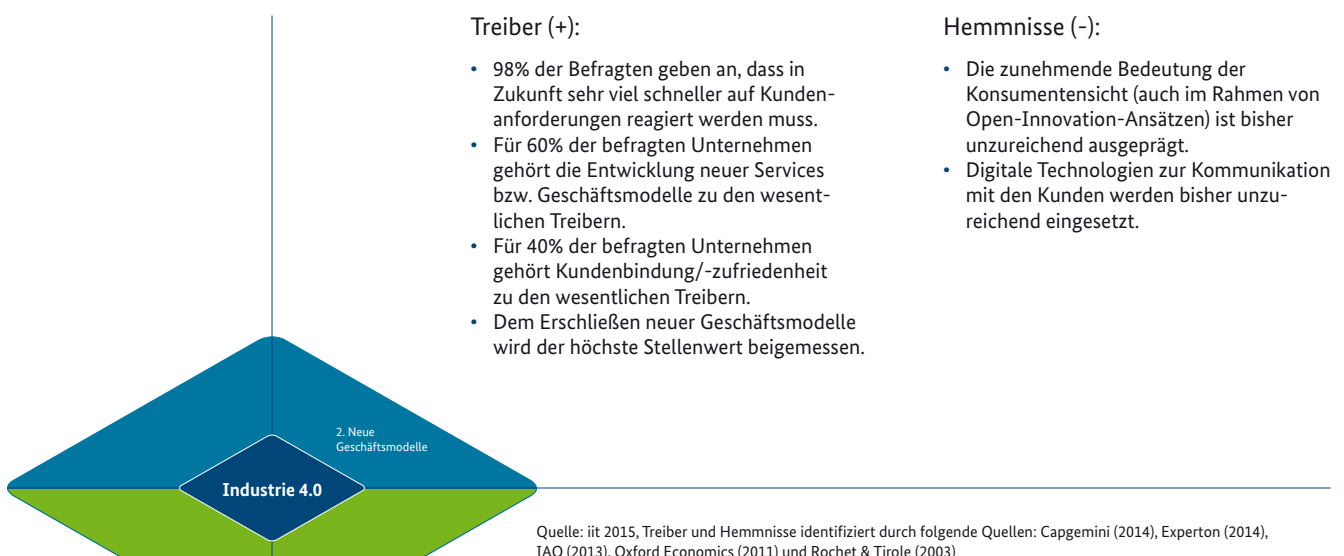
sich daran, dass die Investitionskosten mittelfristig höher eingestuft werden als der erwartete Ertrag, der sich aus dem Umsatzwachstum generieren lässt (PwC, 2014, S. 18 und S. 30). Die Unternehmen stehen vor der schwierigen Herausforderung, die wirtschaftlichen Erträge im Zusammenhang mit Investitionen in Industrie 4.0 ex-ante abzuschätzen. Mögliche Gründe hierfür sind in den umfassenden Netzwerkeffekten zu sehen: Unternehmensspezifische Erträge sind auch von der Umsetzung/Vernetzung in anderen Unternehmen abhängig (VDE, 2013) (vgl. auch S. 39 f.).

### Neue Geschäftsmodelle

Mit den disruptiven Veränderungen, die mit der Umsetzung von Industrie 4.0 einhergehen, ergibt sich die Anforderung, Geschäftsmodellinnovationen zu generieren.

Im Bereich neuer Geschäftsmodelle sind verschiedene Treiber ausschlaggebend. Z. B. ist zu erwarten, dass die Unternehmen auf den Endverbrauchermarkten zukünftig sehr viel schneller auf Kundenanforderungen reagieren müssen (u. a. IAO, 2013, S. 43 und S. 67). Hinzu kommen Themen wie Kundenbindung und Kundenzufriedenheit, die zukünftig noch essenzieller werden. Die Mehrheit erkennt an (60 Prozent), dass die Entwicklung neuer Services bzw. Geschäftsmodelle für den Unternehmenserfolg entscheidend sein wird (Experton, 2014, S. 66).

**Abb. 10: Treiber und Hemmnisse im Bereich der Digitalisierung der Geschäftsmodelle.**



**Die Entwicklung neuer Services und Geschäftsmodelle sind wichtige Treiber für die Umsetzung von Industrie 4.0. Als zentrales Hemmnis lässt sich im Bereich der neuen Geschäftsmodelle die fehlende Umsetzung identifizieren.**

Damit hat ein Großteil der Unternehmen erkannt, dass mit der Einführung von IKT-Technologien zur Umsetzung von Industrie 4.0 radikale Veränderungen am Markt für Industriemaschinen einhergehen. Die Veränderungen ergeben sich daraus, dass industrielle Maschinen zunehmend das Charakteristikum „zweiseitiger Märkte“ kennzeichnet (Rochet & Tirole, 2003). Neben den Nachfragern der Maschinen (z. B. dem produzierenden Gewerbe) wird die Maschine als Plattform bzw. Schnittstelle auch für Anbieter industrieller Software-Produkte (neue IKT-Anwendungen) bedeutend. Damit steigt die Attraktivität des Investitionsgutes (der Maschine) nicht nur mit der Anzahl der Unternehmen, welche die gleiche Maschine nachfragen, sondern auch mit der Anzahl der Anwendungen, die mit der Maschine kompatibel sind (Zweiseitigkeit des Marktes). Daraus ergeben sich disruptive Veränderungen für die bisherigen Geschäftsmodelle im Maschinenbau. So ist beispielsweise denkbar, dass der Maschinenbauer die Entwicklung von Software-Anwendungen für seine Maschine „subventioniert“, um die Attraktivität des Produktes zu steigern. Es gibt jedoch auch zweiseitige Märkte, in denen durch die Anwendungen (z. B. die Software) die Hardware subventioniert wird. Wie sich die Veränderung vollzieht, ist vom Charakteristikum des Marktes abhängig (z. B. abhängig vom Wettbewerb oder an welcher Stelle der Wertschöpfungskette die Produkte anzusetzen sind). Von den beschriebenen Veränderungen ergeben sich auch neue Herausforderungen für IKT-Produkte und deren Finanzierung.

Es bleibt festzuhalten, dass Maschinen durch Industrie 4.0 zu zentralen Schnittstellen für weiterführende Anwendungen werden (z. B. Software-Produkte), woraus sich neue Anforderungen an die existierenden Geschäftsmodelle der Maschinenbauer ergeben. Ein zweiter Aspekt ist darin zu sehen, dass aus der horizontalen und vertikalen Integration entlang der Wertschöpfungskette Möglichkeiten für neue und zusätzliche Angebote für Produkte und Dienstleistungen entstehen (siehe auch Kapitel 3.1, S. 5). Als drittes Ergebnis ist hervorzuheben, dass Industrie 4.0 auch die Rolle von Zulieferern und Kunden verändert. Durch die Vernetzung und das „Downscaling“ der industriellen Produktion entstehen neue Chancen. So ist beispielsweise zu erwarten, dass die Bedeutung von **Open-Innovation-Ansätzen im Produktionsprozess zunimmt, um beispielsweise dezentrales produktrelevantes Wissen in den Produktionsprozess zu integrieren. In der Folge müssen Unternehmen zukünftig sehr viel stärker den Dialog mit ihren Kunden suchen, um im Kontext von Industrie 4.0 weiterhin erfolgreich zu sein.**

Unter Berücksichtigung dieser Veränderungen sind die unzureichende Integration der Konsumentensicht in eigene Produktions- und Entwicklungsprozesse im Maschinenbau (Oxford Economics, 2011, S. 18) sowie der unzureichende Einsatz digitaler Technologien zur Kommunikation mit den Kunden (Cappgemini, 2014, S. 9) als zentrale Hemmnisse zur Umsetzung von Industrie 4.0 zu verstehen.

Gerade durch die sich verändernden Geschäftsmodelle ist von Seiten der Wirtschaft eine hohe Flexibilität gefordert, die voraussichtlich auch mit einem kulturellen Wandel einhergehen muss. Die Befragungsergebnisse deuten darauf hin, dass diese Entwicklung erkannt wurde, was anhand der treibenden Faktoren zu erkennen ist. Gleichzeitig gilt es die Hemmnisse abzubauen und eher konservativ geprägte Unternehmen in dem Wandel hin zu einer digitalisierten Produktion zu unterstützen.

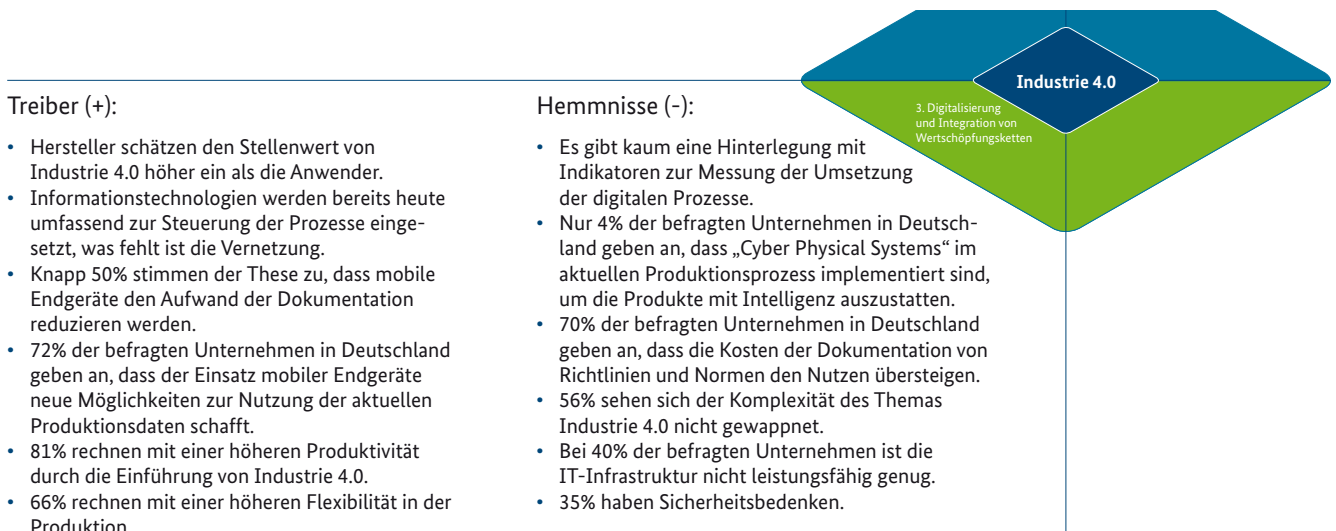
### Digitalisierung und Integration von Wertschöpfungsketten

Der folgende Abschnitt befasst sich mit den Treibern und Hemmnissen im Bereich der Digitalisierung und Integration von Wertschöpfungsketten, also mit den Prozessen innerhalb der Unternehmen zur Herstellung der Produkte.

Bezüglich der Digitalisierung und Integration von Wertschöpfungsketten wird Industrie 4.0 die Unternehmensstrukturen umfassend verändern. Zu den treibenden Faktoren gehört, dass 81 Prozent der befragten Unternehmen mit Produktivitätssteigerungen rechnet, 66 Prozent rechnen mit einer Flexibilisierung der Produktion (Experton, 2014, S. 66). Zusätzliche Möglichkeiten ergeben sich aus dem Potenzial, dass sich aus der Nutzung aktueller Produktionsdaten ergibt (IAO, 2013, S. 62). Auch erhoffen sich die Unternehmen eine Reduktion des Aufwands der Dokumentation (a.a.O., S. 111). Indem die Hersteller den Stellenwert von Industrie 4.0 höher einschätzen als die Anwender (Forschungsunion/Acatech, 2013), wird deutlich, dass die Angebotsseite ein wichtiger Treiber für die Umsetzung von Industrie 4.0 sein wird.

Zu den identifizierten Hemmnissen gehört, dass bisher kaum eine Hinterlegung mit Indikatoren stattgefunden hat, um die digitalen Prozesse zu messen (Cappgemini, 2014, S. 14). Für überraschend viele Unternehmen ist der Begriff „Cyber Physical Systems“ weitgehend unbekannt (IAO, 2013, S. 114) – ein klarer Hinweis, dass die Umsetzung von Industrie 4.0 in den meisten Unternehmen weiterhin erst am Anfang steht. Als zentrales Hemmnis ist auch die Skepsis gegenüber den zu erwarteten positiven Effekten einzuordnen. So geht die Mehrheit der befragten Unternehmen



**Abb. 11: Treiber und Hemmnisse im Bereich der Digitalisierung und Intergration von Wertschöpfungsketten.**

Quelle: iit 2015, Treiber und Hemmnisse identifiziert durch folgende Quellen: Caggemini (2014), Experton (2014), IAO (2013) und PwC (2014)

**Informationstechnologien sind bereits heute zentral für die Steuerung der Geschäftsprozesse, es fehlt jedoch die Vernetzung der Systeme. Es gibt kaum eine Hinterlegung mit Indikatoren, um die Umsetzung der digitalen Prozesse zu messen.**

davon aus, dass die erwarteten Kosten der Dokumentation von Richtlinien und Normen den Nutzen übersteigen (a.a.O., S. 63). Die Komplexität des Themas, Sicherheitsbedenken und die Leistungsfähigkeit der IT-Infrastruktur sind weitere zentrale Hürden, mit denen sich Unternehmen bei der Umsetzung von Industrie 4.0 konfrontiert sehen (Experton, 2014, S. 62).

Durch die umfassende Komplexität der Prozesse bedarf es einer klaren Strategie zur Umsetzung von Industrie 4.0. Im Rahmen der PwC-Studie wird hierzu das folgende Vorgehen empfohlen (PwC, 2014, S. 44):

1. Allen Dingen einen Namen geben,
2. Messen,
3. Vernetzen und analysieren.

Bei diesem Vorgehen bleibt jedoch folgende zentrale Frage unbeantwortet: Was soll konkret gemessen werden? Eine weitere Herausforderung besteht also darin, Indikatoren zu definieren, die einerseits die Wertschöpfungskette abbilden und andererseits einen Bezug zu zentralen Erfolgsindikatoren des Unternehmens herstellen (Indikatoren, die für die Geschäftsprozesse bzw. das Controlling der Unternehmen relevant sind).

Daraus lässt sich die Empfehlung ableiten, dass Unternehmen, die bei der Umsetzung von Industrie 4.0 erst am An-

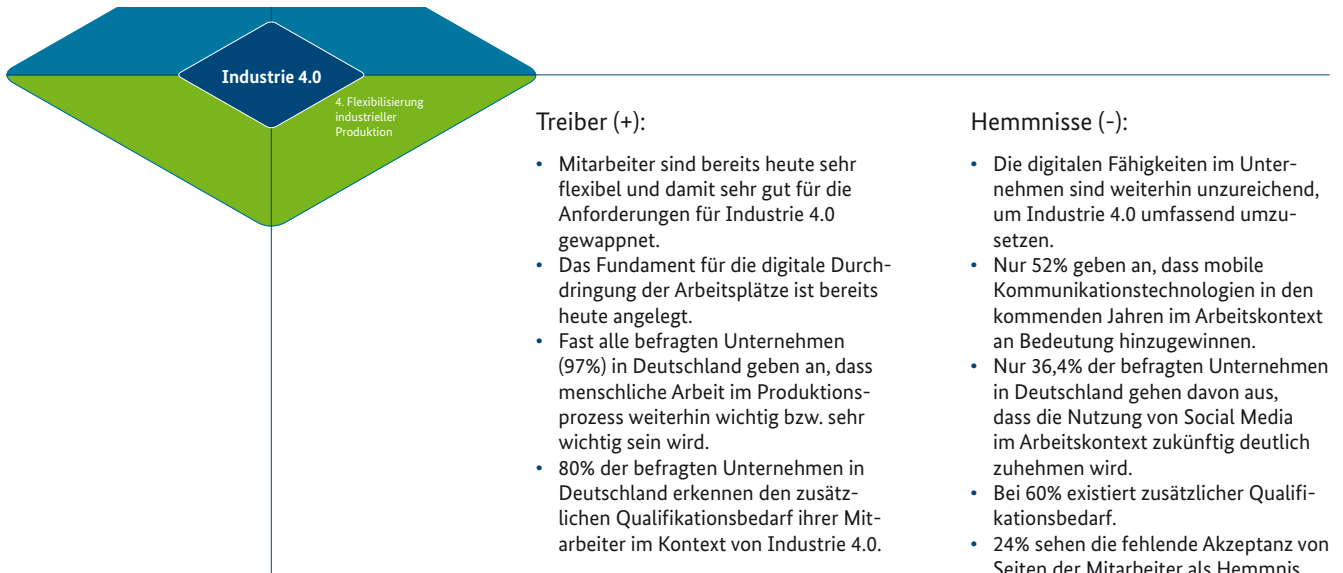
fang stehen, in erster Stelle darin zu unterstützen sind, die prozessrelevanten Indikatoren zu entwickeln.

### Flexibilisierung industrieller Produktion

Im Bereich der Flexibilisierung der industriellen Produktion gehört zu den zentralen Treibern, dass die Mitarbeiter bereits heute sehr anpassungsfähig sind und damit ein Fundament für die digitale Durchdringung der Arbeitsplätze gelegt ist. Zusätzlich sind die befragten Experten der festen Überzeugung, dass menschliche Arbeit im Produktionsprozess weiterhin zentral ist und Industrie 4.0 keineswegs als „arbeitssubstituierender“ technologischer Fortschritt zu verstehen ist. Vielmehr erhofft man sich eine Ausweitung bzw. ein weiteres Erstarken der industriellen Produktion. Bezüglich des resultierenden Qualifikationsbedarfs bei der Belegschaft sind 80 Prozent der Meinung, dass dieser existiert und zukünftig auch zu leisten ist (IAO, 2013, S. 86).

Als entscheidendes Hemmnis ist das weiterhin fehlende Know-how zu sehen (u. a. (Experton, 2014, S. 62)). Mit 52 Prozent gibt nur reichlich die Hälfte der Unternehmen an, dass mobile Kommunikationstechnologien zukünftig im Arbeitskontext an Bedeutung gewinnen (IAO, 2013, S. 57). Mit einer Zunahme der Bedeutung von Social Media rechnen gerade einmal 36 Prozent (a. a. O., S. 59). Zusätzlich stehen die Unternehmen vor großen Herausforderungen im

**Abb. 12: Treiber und Hemmnisse im Bereich der Flexibilisierung der industriellen Produktion.**



Quelle: iit 2015, Treiber und Hemmnisse identifiziert durch folgende Quellen: IAO (2013) und Experton (2014)

**Wesentliche Treiber sind in der hohen Flexibilität der Mitarbeiter zu sehen, auch gehen die befragten Experten davon aus, dass menschliche Arbeit im Kontext von Industrie 4.0 weiterhin wichtig sein wird. Hemmnisse sind besonders in den fehlenden digitalen Kompetenzen der Mitarbeiter zu sehen.**

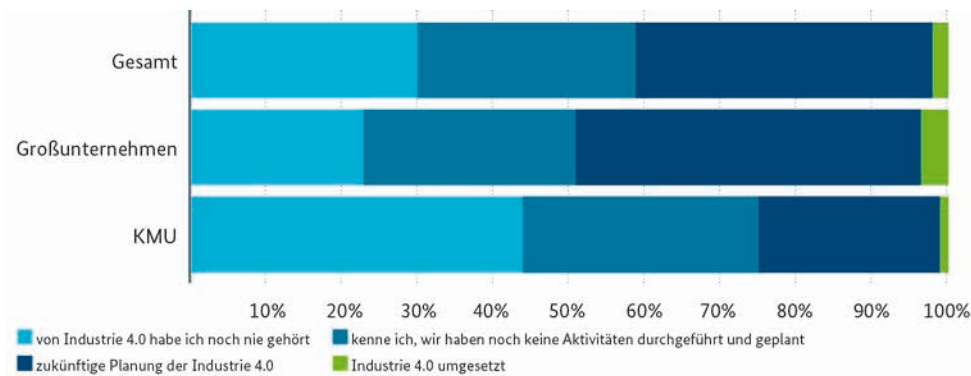
Bereich der Kompetenzentwicklung der Mitarbeiter mit Bezug zu Cyber Physical Systems (knapp 60 Prozent sehen hier Bedarf) (a. a. O., S. 124). Kulturelle Aspekte, wie die Akzeptanz der Mitarbeiter gegenüber den Veränderungen der Digitalisierung, sehen 24 Prozent der Befragten als bestehendes Hemmnis (Experton, 2014, S. 62).

Aus Unternehmenssicht ist die (einfache) Handhabung der Maschinensoftware von wichtiger Bedeutung. Masken bzw. Software-Interfaces sollten nach Möglichkeit intuitiv, ohne große Einlernschritte handhabbar sein. Dies hätte den Vorteil, dass die Mitarbeiter zwischen den unterschiedlichen Arbeitsplätzen flexibel einsetzbar sind.

Auch wird die Rückkopplung der Erfahrungen der Mitarbeiter in der Umsetzung von Industrie 4.0 entscheidend sein, da hier ein großer „Informationsschatz“ enthalten ist, um für eine reibungslose Umsetzung der Geschäftsprozesse zu sorgen. In Bezug auf den Kompetenzaufbau ist man in Deutschland durch das duale Ausbildungssystem sehr gut aufgestellt, doch gilt es auch in diesem Bereich, die Ausbildungs-, Weiterbildungs- und Studienangebote anzupassen. Daraus resultiert ein umfassender Koordinationsbedarf mit den bildungspolitischen Maßnahmen im Bereich von Industrie 4.0.

### 4.3 Differenzierung KMU versus Großunternehmen

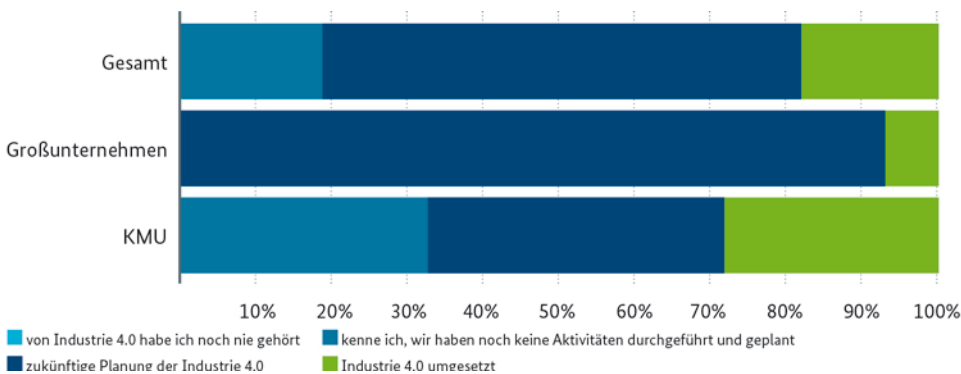
Abb. 13: Unterschiede im Umgang mit Industrie 4.0 (2014).



Quelle: iit 2015, aufbereitet mit Daten von Experton (2014)

Insgesamt haben nur ca. 40 Prozent aller befragten Unternehmen sich mit dem Thema auseinandergesetzt, die Mehrheit davon plant entsprechende Aktivitäten und nur ein geringer Prozentsatz findet sich bereits in der Umsetzung. Es wird deutlich, dass Industrie 4.0 für Großunternehmen eine weitaus wichtigere Rolle spielt als für den Klein- und Mittelstand.

Abb. 14: Unterschiede im Umgang mit Industrie 4.0 (2015).



Quelle: iit 2015, in Anlehnung an die Indikatoren aus Experton (2014)

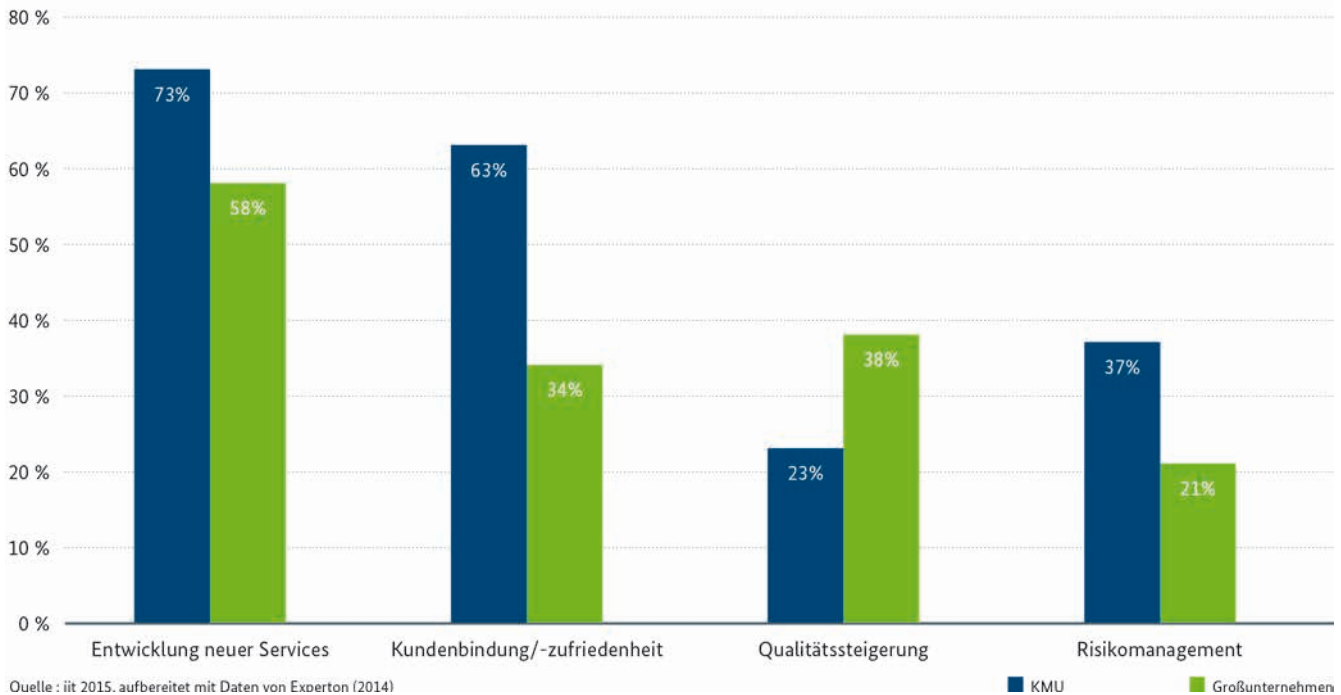
Es zeigt sich ein deutlich positiveres Bild sowohl in der Umsetzung als auch in der Planung von Industrie 4.0-Aktivitäten. Für nur noch ca. 15 Prozent der befragten KMU spielt Industrie 4.0 keine entscheidende Rolle, während es für alle befragten Großunternehmen als relevant erachtet wird.

Insgesamt wird das Thema Industrie 4.0 derzeit zwar sehr aktiv diskutiert. Bei der konkreten Umsetzung in den einzelnen Unternehmen erkennt man jedoch, dass sich 2014 gerade einmal 40 Prozent aktiv mit dem Thema Industrie 4.0 auseinandersetzen (Experton, 2014) und nur ein sehr kleiner Teil bereits Elemente davon umgesetzt hat (ca. 4 Prozent). Interessant sind hier insbesondere die Unterschiede nach Unternehmensgröße (siehe Abbildung 13). Nach unserer eigenen Erhebung ist jedoch ein deutlich positiver Trend erkennbar (siehe Abbildung 14). Insgesamt haben knapp 20 Prozent der befragten Unternehmen Industrie 4.0-Anwendungen bereits umgesetzt, KMU im Durchschnitt sogar

mit einem höherem Anteil als Großunternehmen. Deutlich wird auch hier, dass das Thema für alle Großunternehmen relevant ist und zumindest Planungen durchgeführt werden. Auf KMU-Seite messen nur noch 15 Prozent der befragten Unternehmen Industrie 4.0 keine hohe Bedeutung bei.

Es wird dabei deutlich, dass Großunternehmen dem Thema sehr viel mehr Bedeutung beimessen als KMU. Es gibt bisher kaum fundierte quantitative Aussagen über Gründe für die Zurückhaltung insbesondere im Klein- und Mittelstand (siehe aber Experton, 2014).

**Abb. 15: Hauptunterschiede in der Motivation für die Umsetzung von Industrie 4.0 in KMU und Großunternehmen.**



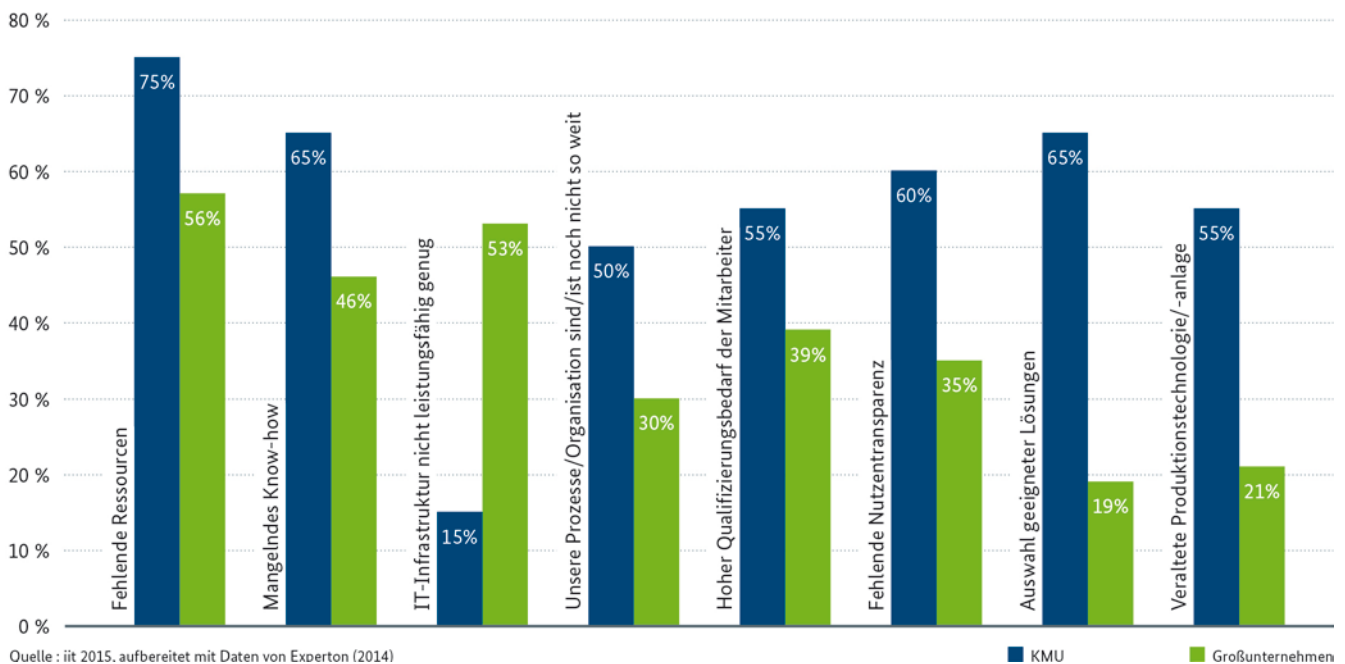
**Während Großunternehmen der Qualitätssteigerung eine wichtigere Rolle zuschreiben, erhoffen sich KMU wesentliche Steigerungen in der Kundenzufriedenheit und ein besseres Risikomanagement.**

Abbildung 15 fasst die Treiber mit deutlichen Unterschieden zwischen KMU und Großunternehmen zusammen. Darüber hinaus stellen über alle Unternehmensgrößen hinweg Produktivitäts- (81 Prozent) und Umsatzsteigerungen (71 Prozent) sowie Kosteneinsparungen (57 Prozent) durch eine flexiblere Produktion (66 Prozent) die wichtigsten Treiber dar (mehr Details zu den gemeinsamen Treibern finden sich in Kapitel 4.2, S. 30). Für KMU spielt die Entwicklung neuer Services, eine bessere und engere Anbindung an den Kunden sowie ein gesteigertes Risikomanagement eine wichtigere Rolle als für Großunternehmen. Einzig in der Steigerung der Qualität sehen Großunternehmen einen leicht höheren Treiber als KMU.

Abbildung 16 fasst die Hemmnisse mit deutlichen Unterschieden zwischen KMU und Großunternehmen. Darüber hinaus stellen über alle Unternehmensgrößen hinweg die Komplexität des Themas Industrie 4.0 (56 Prozent), die hohen zu erwartenden Kosten (51 Prozent), Sicherheitsbedenken (35 Prozent) sowie ein derzeit unzureichender Automatisierungsgrad (28 Prozent) wichtige Hemmnisse dar (mehr Details zu den gemeinsamen Hemmnissen finden sich in Kapitel 4.2, S. 30).

In nahezu allen Kategorien mit großen Unterschieden sehen sich KMU mit größeren Herausforderungen konfrontiert als Großunternehmen. Insbesondere die Nutzens- und Transparenz sowie die notwendigen Ressourcen und Mitarbeiterqualifikationen stellen für KMU ein größeres Problem dar als für Großunternehmen. Die schwierige Auswahl geeigneter Lösungen ist sicherlich an das Vorhandensein veralteter Produktionsanlagen gekoppelt. Gerade KMU fällt es schwer, mit den rasanten technologischen Entwicklungen Schritt zu halten und kontinuierlich die notwendigen Investitionen aufzubringen. **Vor diesem Hintergrund werden transitive Technologien eine besondere Rolle spielen, die es erlauben, alte Produktionstechnologien schrittweise und kostengünstig für Industrie 4.0 auszustatten.**

Erwähnenswert ist sicherlich auch, dass einzig eine leistungsfähige IT-Infrastruktur für Großunternehmen eine größere Herausforderung darstellt als für KMU. Dies könnte damit zusammenhängen, dass die Prozessketten in Großunternehmen i. d. R. deutlich komplexer sind. Mit einer zunehmenden Digitalisierung der Wertschöpfungsprozesse ergibt sich dadurch für Großunternehmen unter Umständen ein deutlich größerer Bedarf an leistungsfähiger IT-Infrastruktur als für KMU.

**Abb. 16: Hauptunterschiede in den Hemmnissen für die Umsetzung von Industrie 4.0 in KMU und Großunternehmen.**

**Hauptunterschiede in den Hemmnissen für die Umsetzung von Industrie 4.0 in KMU und Großunternehmen. Durchweg sehen sich KMU stärker mit hemmenden Faktoren konfrontiert als Großunternehmen.**

#### 4.4 Umsetzung und Bereitschaft auf Unternehmensebene – SWOT

Die bisherigen Ergebnisse wurden in einem weiteren Schritt in eine SWOT überführt (Tabelle 4). Die deutsche Wirtschaft zeichnen umfassende Stärken aus, so dass Industrie 4.0 überwiegend als Chance zu begreifen ist. Gleichzeitig zeigt die aktuelle Umsetzung jedoch auch Schwächen, die es zu überwinden gilt. Die dargestellten Risiken stehen in einem engen Zusammenhang mit Indikatoren, die andeuten, dass die Entscheidungsträger in der Wirtschaft noch nicht in der Lage sind, das mit Industrie 4.0 verbundene Potenzial zu erkennen.

Aufgrund der Komplexität des Themas und der fortbestehenden Hemmnisse zur Umsetzung von Industrie 4.0 wird deutlich, dass die Unternehmen eine Strategie benötigen, um Industrie 4.0 zum Erfolg zu führen. Insgesamt ist in den nächsten fünf bis zehn Jahren mit radikalen Veränderungen in der industriellen Produktion zu rechnen, weshalb prioritär solche Maßnahmen umgesetzt werden sollten, die die notwendigen strategischen Strukturen schaffen, damit Industrie 4.0 zum Erfolg werden kann. Gelingt dies, werden die Unternehmen effizient an der Umsetzung arbeiten, und durch die damit verbundenen Vernetzungseffekte (siehe

dazu auch das folgende Kapitel) entsteht ein enormer Wettbewerbsvorteil mit umfassenden Chancen zur Stärkung des Industriestandorts Deutschland.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Steigerung der Produktivität, des Umsatzes, der Produktionsflexibilität bei gleichzeitiger Kostensenkung die wichtigsten gemeinsamen Treiber über alle Unternehmensgrößen hinweg sind. Differenziert betrachtet spielen für KMU die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle/Services und eine erhöhte Kundenbindung/-zufriedenheit eine größere Rolle als für Großunternehmen.

Die thematische Komplexität, hohe Investitionskosten sowie Sicherheitsbedenken lassen alle Unternehmen zögern. Lediglich eine leistungsfähige IT-Infrastruktur schätzen Großunternehmen als größere Herausforderung gegenüber KMU ein. Alle anderen zentralen Herausforderungen (Ressourcen, Qualifikation, Know-how, Nutzentransparenz, veraltete Anlagen, geeignete Lösungsansätze) stellen für KMU ein größeres Problem dar, als für Großunternehmen. **Insgesamt sehen KMU leicht höhere Potenziale in der Umsetzung von Industrie 4.0 aber gleichzeitig auch schwerwiegendere Herausforderungen als Großunternehmen.**

Tab. 4: SWOT-Analyse zur Umsetzung von Industrie 4.0 auf Unternehmensebene.

<p><b>Stärken</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fokus des Managements liegt nicht mehr so stark auf Kostendegression, sondern auf neuen Geschäftsmodellen.</li> <li>• IKT-Technologien bereits heute zur Prozesssteuerung weit verbreitet.</li> <li>• Mitarbeiter sind bereits heute sehr flexibel.</li> <li>• Industrie 4.0 erfordert eine neue Kompetenzentwicklung, doch ist man mit dem dualen Ausbildungssystem bzw. der quartären Bildung hier sehr gut aufgestellt.</li> <li>• Die Mehrzahl der Unternehmen versprechen sich von Industrie 4.0 Umsatz- und Produktivitätssteigerung sowie eine flexiblere Produktion.</li> </ul>	<p><b>Schwächen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Es findet noch zu wenig (digitale) Interaktion mit den Kunden statt.</li> <li>• Kosten der Dokumentation von Richtlinien und Normen übersteigen deutlich den Nutzen.</li> <li>• Die wenigsten Unternehmen nutzen konkret „Cyber Physical Systems“ in der Produktion.</li> <li>• Digitale Prozesse werden nicht ausreichend koordiniert umgesetzt.</li> <li>• Es gibt kaum eine Hinterlegung mit Indikatoren zur Messung der Umsetzung digitaler Prozesse.</li> <li>• Die Mehrzahl der Unternehmen produziert manuell oder ggf. hybrid.</li> <li>• Gerade einmal vier Prozent der Unternehmen haben bereits konkrete Umsetzungsbemühungen getätigt.</li> </ul>
<p><b>Chancen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Digitalisierung wird ein hohes Potenzial zuerkannt.</li> <li>• Einführung von Industrie 4.0 lässt sich komplementär zur menschlichen Arbeit umsetzen.</li> <li>• In der Produktion werden bereits heute umfassende Informationstechnologien eingesetzt, was fehlt ist die Vernetzung der Systeme untereinander.</li> <li>• Management erkennt, dass in Zukunft sehr schnell auf Kundenwünsche reagiert werden muss.</li> <li>• Mobile Endgeräte werden den Aufwand der Dokumentation reduzieren.</li> <li>• Führungskräfte sind vom Potenzial überzeugt, das mit dem Thema Industrie 4.0 einhergehen kann.</li> <li>• Es besteht die Wahrnehmung, dass die IT-Technologien zukünftig die stärksten Veränderungen in der industriellen Produktion generieren.</li> </ul>	<p><b>Risiken</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Unternehmen fehlen die Ressourcen zur Umsetzung von Industrie 4.0.</li> <li>• Akteure scheinen die Anforderung im Zusammenhang mit der Einführung von Industrie 4.0 zu unterschätzen (auch was zukünftige Investitionen angeht). Es besteht die Gefahr, den Trend Industrie 4.0 zu verschlafen.</li> <li>• Von Seiten des Managements ist keine digitale Vision zu erkennen.</li> <li>• Die Fähigkeit, die Potenziale von Industrie 4.0 zu erkennen, ist von Seiten der Führungskräfte unzureichend ausgeprägt.</li> <li>• Zukünftige Rolle der Konsumenten wird unterschätzt.</li> <li>• Die Mehrzahl der Unternehmen sieht sich derzeit noch mit der Komplexität des Themas Industrie 4.0 überfordert.</li> </ul>

# 5 Netzwerkeffekte im Zusammenhang mit Industrie 4.0

Neben den zahlreichen Hemmnissen bei der Umsetzung von Industrie 4.0, die im vorangegangenen Teil diskutiert wurden, stellt sich immer wieder die Frage nach der Wirtschaftlichkeit der zu tätigen Investitionen. Es ist anzunehmen, dass viele Unternehmen, insbesondere im KMU-Bereich, das als meist negativ bewertete Verhältnis zwischen dem hohen prognostizierten Investitionsbedarf und dem daraus resultierenden Umsatzwachstum zögern lässt. Auch auf Branchenebene decken sich diese Prognosen mit den Erwartungen der Unternehmen, wie in Kapitel 3.2 (Seite 17) aufgezeigt. Auf volkswirtschaftlicher Ebene wird jedoch sehr umfassend das Potenzial geschildert, das mit Industrie 4.0 einhergeht. Daraus ergibt sich ein vermeintlicher Widerspruch zwischen den Erwartungen der Unternehmen und den prognostizierten übergeordneten volkswirtschaftlichen Effekten. **Vernetzungseffekte können diese Beobachtung erklären, ein Ansatz der in der bisherigen Literatur weitestgehend kaum Beachtung findet.**

Netzwerkeffekte werden allgemein als positive externe Effekte verstanden. Diese liegen dann vor, wenn der übergreifende Nutzen den Nutzen auf individueller Ebene übersteigt. Bezogen auf Industrie 4.0 bedeutet dies, dass der Nutzen an dem Standard bzw. Netzwerk mit der Anzahl der Nutzer zunimmt. Ab dem Erreichen einer kritischen Masse steigt die Nutzerzahl exponentiell an und die Diffusion der Technologie wird zu einem sich selbstbeschleunigenden Prozess.

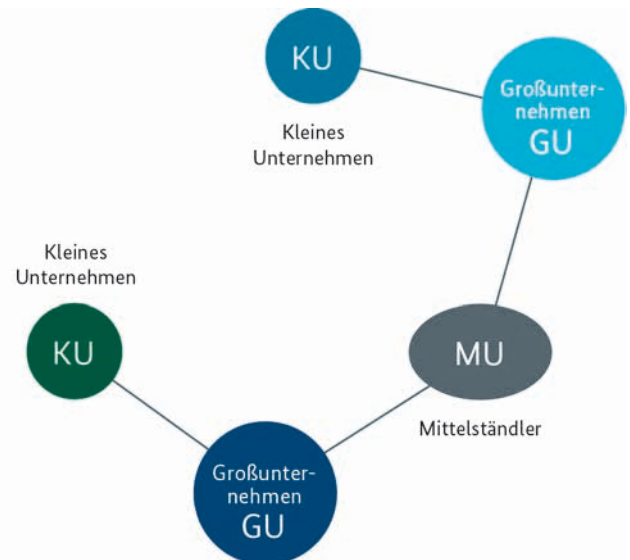
Die positiven Netzwerkeffekte im Zusammenhang mit Industrie 4.0 werden in der Folge durch unser idealtypisches Modell näher erläutert. Hierzu stellen wir vier Szenarien auf: das „Status-quo-Szenario“, das „Ex-ante-Szenario“, das „Ex-post-Szenario“ und das „Koordinationsszenario“. Diese vier Szenarien werden in der Folge näher beschrieben.

## 5.1 Vernetzungseffekte: Status quo (ohne Industrie 4.0)

Abbildung 17 illustriert das Status-quo-Szenario: Dieses sehr vereinfachte Modell zeigt kleine und mittelständische Unternehmen (KU und MU bzw. KMU) und Großunternehmen (GU). Die Abbildung macht deutlich (durch die Vernetzung der KMU mit den GU), dass die GU im Produktionsprozess als sog. „Erstausrüster“<sup>1</sup> (OEMs) eine zentrale Rolle einnehmen, indem sie die verschiedenen Systeme integrieren. KMU produzieren für die Großunternehmen, die Produkte fließen in das Endprodukt ein.

1 Unternehmen, die Produkte unter eigenem Namen an den Markt bringen.

Abb. 17: Vernetzung im Status-Quo-Szenario ohne Industrie 4.0.



Quelle: iit 2015

Die Interaktion findet allein zwischen Auftraggeber bzw. Auftragnehmer statt, so dass sich der Informationsfluss auf diese Akteure beschränkt. Als OEMs sind die Großunternehmen mit mehreren KMU verbunden, doch sind die Produktionsanlagen nicht vernetzt, so dass die Kommunikation zwischen den Unternehmen individuell verschieden abläuft.

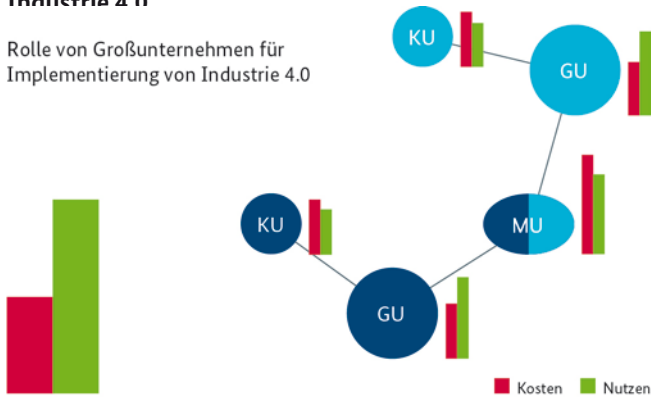
In dem Modell ist angenommen, dass die Interaktion allein zwischen Auftraggeber bzw. Auftragnehmer stattfindet, so dass sich der Informationsfluss auf diese Akteure beschränkt. Als OEMs sind die GU mit mehreren KMU verbunden, doch sind die Produktionsanlagen nicht vernetzt, so dass die Kommunikation zwischen den Unternehmen individuell verschieden abläuft. Das beschriebene Szenario skizziert damit einen Zustand, in dem die Umsetzung von Industrie 4.0 noch nicht stattgefunden hat.

## 5.2 Vernetzungseffekte: Industrie 4.0, Ex-ante-Szenario

Das Ex-ante-Szenario (Abbildung 18) motiviert sich aus den Umfrageergebnissen von PwC (2014, S. 18 und S. 30), die deutlich zeigen, dass die Akteure aktuell die Investitionskosten höher einstufen als die erwarteten Erträge. Auch geht aus den Studien hervor (u. a. Experton Group 2014), dass GU bezüglich der Umsetzung von Industrie 4.0 relativ gesehen höhere Erträge erwarten. In dem einfachen Modell sei angenommen, dass die Kosten der Vernetzung für die Unternehmen, die für einen bestimmten OEM produzieren, in etwa die gleichen sind (unabhängig von der Größe). Unterschiede werden in Bezug auf den Nutzen angenommen, da GU die Investitionen zur Kommunikation mit allen

**Abb. 18: Vernetzung im Ex-ante-Szenario durch Industrie 4.0**

Rolle von Großunternehmen für Implementierung von Industrie 4.0



Quelle : iit 2015

Im Ex-ante-Szenario betrachten Unternehmen die Kosten-Nutzen-Relation aus einer statischen Unternehmenssicht, ohne dabei dynamische Netzwerkeffekte zu berücksichtigen. Dabei fällt der erwartete Nutzen bei den KMU geringer aus als die Kosten, während bei den GU der Nutzen bereits die Kosten übersteigt. Die Umsetzung von Industrie 4.0 stockt, da KMU keine Anreize haben, in Industrie 4.0 zu investieren.

Zulieferern einsetzen können (hoher Nutzen), während die Zulieferer (KMU) in diesem Szenario erst einmal nur von der einseitigen Kommunikation mit dem OEM profitieren. Aus diesem Grund fällt der erwartete Nutzen bei den KMU geringer aus als die Kosten, während bei den GU der Nutzen bereits die Kosten übersteigt. Die höchsten Kosten fallen bei Unternehmen an, die zwei GU zuliefern; in dem Modell ist dies das mittlere Unternehmen. Die höheren Kosten bilden ab, dass die Kommunikation zwischen den GU nicht standardisiert ist.

**Zur Illustration dieser Annahmen werden in der Folge Zahlenwerte definiert. Die Zahlen dienen allein zur Veranschaulichung und sind so gewählt, dass auf Unternehmensebene bei den KMU die Kosten den Nutzen übersteigen, wohingegen auf gesamtwirtschaftlicher Ebene der Nutzen höher ausfällt als die gesamtwirtschaftlichen Kosten:**

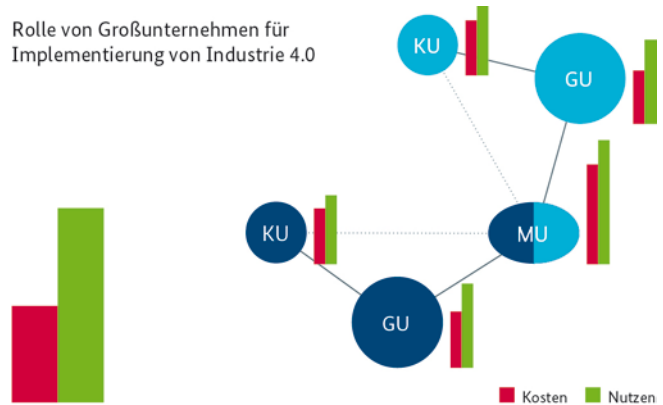
- Investitionskosten pro Unternehmen: KU=1,2, MU=2,4 und GU=1,5
- Erwarteter Nutzen pro Unternehmen: KU=1, MU=2 und GU=2

Unter Berücksichtigung dieser Werte übersteigt auf volkswirtschaftlicher Ebene der Nutzen die Kosten (8>7,8), doch sind Umsetzungsprobleme bei den KMU zu erwarten, da deren Nutzen geringer als die Kosten ist. (1<1,2 bzw. 2<2,4). So haben KMU wenig Anreiz, in die Umsetzung von Industrie 4.0 zu investieren. Das Szenario skizziert den aktuellen Zustand bezüglich der Umsetzung von Industrie 4.0.

### 5.3 Vernetzungseffekte: Industrie 4.0, Ex-post-Szenario

**Abb. 19: Vernetzung im Ex-post-Szenario durch Industrie 4.0.**

Rolle von Großunternehmen für Implementierung von Industrie 4.0



Quelle : iit 2015

Im Ex-post-Szenario ergeben sich aus einer dynamischen Perspektive heraus zusätzliche Möglichkeiten der Vernetzung, die sich aus den einheitlichen Kommunikationsstandards im Produktionsverbund ergeben. Durch die Standards, die hier von den Großunternehmen ausgehen, wird auch die Kommunikation zwischen den KMU erleichtert; daraus entstehen neue Möglichkeiten.

Was in dem vorherigen Szenario nicht abgebildet wurde, sind zusätzliche Möglichkeiten der Vernetzung, die sich aus den einheitlichen Kommunikationsstandards bzw. der Interoperabilität im Produktionsverbund ergeben (Ex-post-Szenario, Abbildung 19). So steigt durch die Umsetzung von Industrie 4.0 auch der Nutzen für KMU. Durch die Standards, die hier von den Großunternehmen ausgehen, wird auch die Kommunikation zwischen den KMU erleichtert, daraus entstehen neue Möglichkeiten. KMU profitieren in zweierlei Hinsicht:

1. Durch eine effizientere Zusammenarbeit mit anderen KMU (und den Großunternehmen), indem sie besser/einfacher in der Lage sind, gemeinsame Produkte zu entwickeln.
2. Indem bestimmte Geschäftsprozesse ausgelagert werden können, entsteht neues Potenzial für zusätzliche Dienstleistungen.

Beispiel: KMU arbeiten gemeinsam an der Herstellung eines Auto-Scheinwerfers (Glaserhersteller, Leuchtmittelhersteller, Elektronikkomponentenhersteller). Zwischen diesen KMU vereinfacht sich durch Industrie 4.0 der Prozess der Zusammenarbeit durch einheitliche Kommunikationsstandards. Zugleich sind Synergien möglich z. B. durch die gemeinsame Nutzung der IKT-Produkte. Damit steigt der



Nutzen auch für KMU, der Abstimmungs- und Koordinationsprozess wird erheblich erleichtert: **KMU, die einem Großunternehmen zuliefern, können sich direkt untereinander vernetzen.**

Auf diesen Überlegungen aufbauend stellt sich ein Zusatznutzen ein, der in dem vorherigen Szenario so nicht abgebildet wurde und der sich primär aus den Vernetzungsmöglichkeiten unter den KMU ergibt. Die Investitionskosten werden als konstant angenommen.

Die folgenden Werte bilden die Basis für das Ex-post-Szenario:

- Investitionskosten je Unternehmen:  $KU=1,2$ ,  $MU=2,4$  und  $GU=1,5$
- (Neuer) Nutzen pro Unternehmen:  $KU=1,5$ ,  $MU=3$  und  $GU=2$

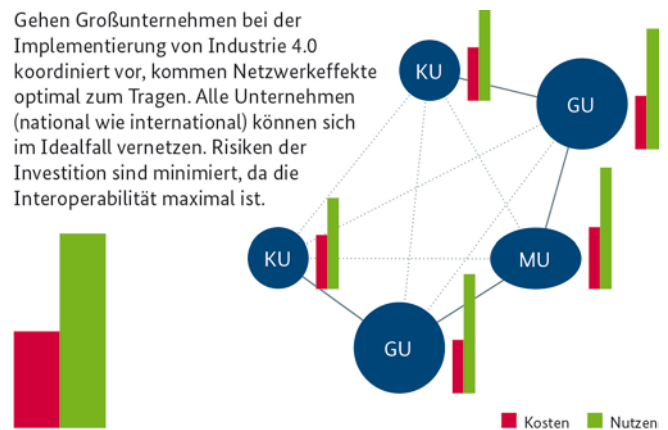
Nach diesen Überlegungen steigt der volkswirtschaftliche Gesamtnutzen um zwei Einheiten auf 10, während die Gesamtkosten weiterhin 7,8 betragen. Auf Unternehmensebene übersteigt der Nutzen die Kosten, so dass sich auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht die Investitionen für KMU rechnen.

Dem ex-ante/ex-post Vergleich liegt die Annahme zugrunde, dass ex-ante die Vernetzungseffekte tendenziell unterschätzt werden, da aus einer Unternehmensperspektive die Kosten primär in eine Relation zum direkten unternehmensrelevanten Nutzen gesetzt werden. Die mit der Umsetzung einhergehenden zusätzlichen Effekte, die im Ex-post-Szenario abgebildet werden, ergeben sich erst im Rahmen der praktischen Anwendung und sind damit nur schwer zu quantifizieren. Das Ex-post-Szenario bildet auch ab, dass durch Industrie 4.0 zusätzliche neue Geschäftsfelder entstehen.

Im Rahmen des Szenarios wird auch deutlich, dass Großunternehmen zum Setzen der Standards eine zentrale Rolle einnehmen. Es wird unterstellt, dass Großunternehmen ein Interesse an der Umsetzung von Industrie 4.0 bei ihren Zulieferern haben (aufgrund der zu erwarteten Möglichkeiten und Kostenreduktionen), dass sie ggf. bereit sind, bestimmte Entwicklungskosten zu tragen und bestimmte „Tools“ den KMU zur Verfügung zu stellen. Hinzu kommt, dass sich durch die Etablierung von Standards auch die Kommunikation zwischen den KMU erleichtert, woraus ein neues zusätzliches Marktpotenzial entsteht.

## 5.4 Vernetzungseffekte: Industrie 4.0, Koordinationsszenario

**Abb. 20: Vernetzung im Koordinationsszenario durch Industrie 4.0.**



**Im Koordinationsszenario wird angenommen, dass es gelingt, gemeinsame Kommunikationsformen umzusetzen. Durch die Normen und Standards kann Industrie 4.0 das größte volkswirtschaftliche Potenzial entfalten.**

Im Koordinationsszenario (Abbildung 20) wird die Sonderrolle abgebildet, die OEMs im Produktionsprozess einnehmen. Insofern sich OEMs auf einheitliche Kommunikationsstandards einigen können (gemeinsame Normen/Standards zur Kommunikation), kann Industrie 4.0 im Vergleich zum Ex-post-Szenario aufgrund der gewährleisteten Interoperabilität ein noch größeres Potenzial entfalten. Durch die maximale Vernetzung ergeben sich die größten volkswirtschaftlichen Effekte, da alle Unternehmen in die Lage versetzt werden, miteinander zu kommunizieren (maximale Interoperabilität).

Im Koordinationsszenario reduzieren sich die Investitionskosten des mittleren Unternehmens, da dieses nur noch einen Standard umsetzen muss:

- Investitionskosten je Unternehmen:  $KU=1,2$ ,  $MU=1,2$  und  $GU=1,5$
- (Neuer) Nutzen pro Unternehmen:  $KU=2,5$ ,  $MU=3$  und  $GU=3$

Aus volkswirtschaftlicher Sicht kann das Koordinationsszenario den größten Gesamtnutzen entfalten, dieser liegt in dem einfachen Modell um sechs Einheiten über dem Nutzen, der aus dem ex-ante-Szenario hervorgeht. Zusätzlich reduzieren sich die Gesamtkosten um 1,2 Einheiten.

Aus politischer Sicht stellt sich die Frage, wie eine Entwicklung hin zu einem Koordinationsszenario mit der größten Wahrscheinlichkeit umgesetzt werden kann. Dies kann durch die Unterstützung von Normen, Standards bzw. die Schaffung rechtlicher Rahmenbedingungen erfolgen, damit die Netzwerkeffekte möglichst umfassend zum Tragen kommen. Die Betrachtung muss dabei jedoch immer aus einer globalen Perspektive erfolgen, da die Schnittstellen international kompatibel sein sollten (VDE, 2013).

Die zentrale Frage ist also, inwiefern Maschinenbauer aus Deutschland in der Lage sind, internationale Standards zu prägen. Durch den hohen Exportanteil bestünde dazu sicherlich Potenzial, doch ist anzustreben, die Normen und Standards im Schulterschluss mit weiteren Akteuren in den internationalen normgebenden Gremien umzusetzen.

Perspektivisch ist auch über Veränderungen nachzudenken, die sich daraus ergeben, dass durch Industrie 4.0 der Maschinenbau immer mehr mit den Eigenschaften „zweiseitiger Märkte“ konfrontiert wird. Daraus ergeben sich wichtige Fragen z. B. in Bezug auf mögliche strategische Allianzen zwischen Maschinenbauern und IKT- bzw. Software-Unternehmen (ein klassisches Beispiel ist die strategische Allianz zwischen IBM und Microsoft auf dem PC-Markt in den 1980er und 1990er Jahren). Eine solche Kooperation bietet Chancen, doch birgt die Festlegung auf den „falschen“ strategischen Partner auch erhebliche Risiken (insofern einzelne Anwendungen nicht mit dem Produkt kompatibel sind). Eine alternative Strategie besteht in offenen Standards bzw. „Open-Source-Software-Modellen“. Diese können gerade im B2B-Bereich eine hohe Attraktivität besitzen.

**Unabhängig davon, ob sich offene oder geschlossene Standards durchsetzen, wird sich der Markt für Maschinen so entwickeln, dass sich die Plattform, mit der die Maschine betrieben wird, als zentrales Verkaufsargument hervortut. Der Grund ist darin zu sehen, dass die Plattform zusätzliche Anwendungsmöglichkeiten bietet oder eben ausschließt.** Ein Austausch zu diesen Themen ermöglicht es, die Unternehmen für die damit verbundenen Chancen und Risiken zu sensibilisieren.

Auch gilt es zu erkennen, dass „zweiseitige Märkte“ neben Kooperationsstrategien ggf. auch neue Finanzierungsinstrumente erfordern, da Produkte, die von Netzwerken (der Anzahl der Anwender) abhängig sind, ggf. erst einmal große Finanzierungsvolumina an Risikokapital benötigen, um sich am Markt zu etablieren, bevor sich mit den Produkten Geld verdienen lässt.

Es zeigt sich, dass von Industrie 4.0 disruptive Veränderungen ausgehen, die neue Möglichkeiten schaffen, doch entstehen auch neue Anforderungen an die Politik, um durch die Rahmenbedingungen die Umsetzung von Industrie 4.0 möglichst positiv zu begleiten.

## 5.5 Validierung des idealtypischen Modells zu den Vernetzungseffekten

Dem oben diskutierten theoretischen Modell liegen die folgenden zentralen Annahmen zugrunde, die im Zuge der empirischen Befragung einer näheren Analyse unterzogen wurden:

1. Großunternehmen erwarten eher positive Erträge von der Umsetzung einer Industrie 4.0, als dies bei KMU der Fall ist.
2. Durch die Vernetzung der Unternehmen entstehen Möglichkeiten für neue Geschäftsfelder, insbesondere KMU sind davon positiv betroffen.
3. Normung- und Standardisierung hat einen zentralen Stellenwert für die Weiterentwicklung des Zukunftsfeldes Industrie 4.0.
4. Großunternehmen sind die entscheidenden Akteure zum Setzen von Normen und Standards.

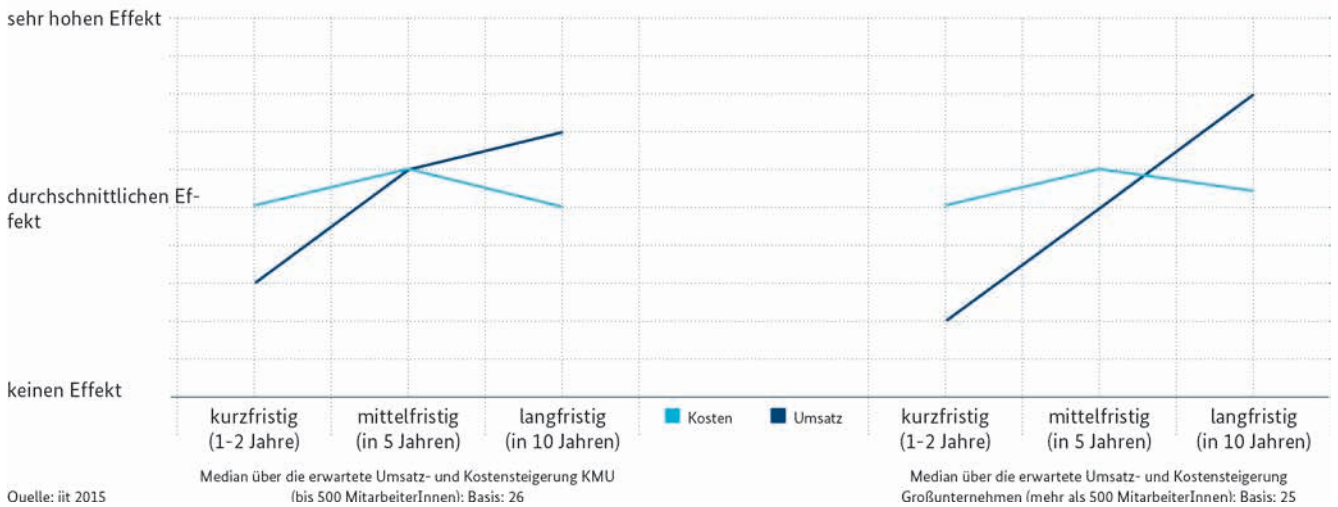
**Annahme 1:** Die Einschätzung der zu erwartenden Umsätze und Kosten durch Investitionen in Industrie 4.0 wurde qualitativ erfragt, wobei der Mittelwert durchschnittlichen Umsätzen bzw. Kosten von Sach- und Anlageinvestitionen entspricht.

Die Abgrenzung zwischen KMU und Großunternehmen zeigt einen zunächst unerwarteten Effekt (Abbildung 21), da die Großunternehmen später als die KMU mit positiven Erträgen rechnen. Bei den Großunternehmen übersteigen die erwarteten Erträge nach ca. sechs Jahren die Kosten, während dies bei den KMU bereits nach fünf Jahren der Fall ist.

Werden die KMU jedoch unterteilt in Unternehmen, die den Bereichen IKT und Elektrotechnik zuzuordnen sind (sog. Anbieter) und sonstige KMU (sog. Anwender) (mit Schwerpunkten im Bereich Logistik, Prozessindustrie und Maschinenbau),<sup>2</sup> so verändert sich das Schaubild (Abbildung 22). Die Anwender rechnen, ähnlich wie die Großunternehmen, in ca. sechs bis sieben Jahren mit positiven Erträgen

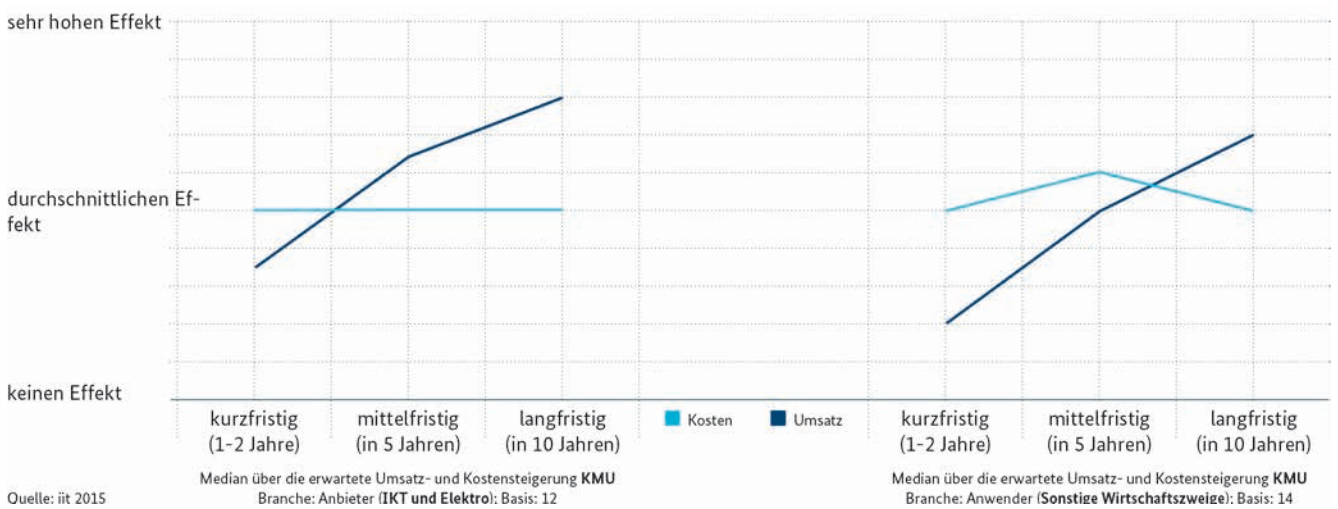
<sup>2</sup> Die Unterteilung in Anbieter und Anwender ist nicht ganz trennscharf, da die Unternehmen mit Schwerpunkt IKT/Elektro nicht primär Anbieter sind, sondern in der Produktion selbst zu den Anwendern zählen. Unabhängig davon ist der Industrie 4.0-Bezug sicherlich ausgeprägter, als es bei den Anwendern der Fall ist.

**Abb. 21: Welche Kosten- und Umsatzsteigerung erwarten Sie im Zusammenhang mit Investitionen in Industrie 4.0?**



**Unterscheidung zwischen KMU und Großunternehmen bez. der Erwartungen zu Umsatz und Kosten im Zusammenhang mit der Umsetzung von Industrie 4.0. KMU rechnen zu einem früheren Zeitpunkt mit positiven Erträgen als Großunternehmen, wobei der Effekt zu Großteilen dem Umstand geschuldet ist, dass die befragten KMU einen sehr starken IKT-Bezug haben.**

**Abb. 22: Welche Kosten- und Umsatzsteigerung erwarten Sie im Zusammenhang mit Investitionen in Industrie 4.0?**



**Unterscheidung der KMU in Form von Anwendern und Anbietern bezüglich der Erwartungen zu Umsatz und Kosten im Zusammenhang mit der Umsetzung von Industrie 4.0. Die Anbieter rechnen früher mit positiven Erträgen, als es bei den Anwendern der Fall ist.**

durch Investitionen in Industrie 4.0, doch verläuft die erwartete Ertragskurve flacher. Die Anbieter (IKT und Elektrotechnik) rechnen sehr viel früher mit positiven Erträgen, entsprechend der Grafik ist das bereits in zwei Jahren der Fall. Damit müsste die Umsetzung von Industrie 4.0 in diesen Unternehmen bereits heute ein äußerst bedeutendes Thema sein.

Es zeigt sich, dass die positiven Erwartungen der KMU zum Thema Industrie 4.0 stark von den Anbietern beeinflusst sind. Gerade die Branchen IKT und Elektrotechnik verbinden mit Industrie 4.0 schon sehr zeitnah große Hoffnungen,

wohingegen die Anwender (mit Schwerpunkten im Bereich Logistik und verarbeitendes Gewerbe) eher mittelfristig mit positiven Erträgen rechnen (in ca. sechs Jahren).

Bezüglich dieser Einschätzungen zu den erwarteten Effekten sind sich die befragten Experten (KMU und Großunternehmen) auch mittel- bis langfristig relativ sicher (Werte  $\geq 6$ ). Insgesamt sind sie sich bei der Einschätzung der erwarteten Umsätze kurz- bis mittelfristig sicherer als bei der Einschätzung der zu den erwarteten Kosten. Wie zu erwarten, nimmt die Unsicherheit mit einem längeren Zeithorizont zu, langfristig entspricht die Einschätzung dem

Mittelwert i. H. v. 6, d. h. die Experten gewichten den Sicherheitsfaktor genauso stark wie den Unsicherheitsfaktor (vgl. Abbildung 30).

Damit lässt sich festhalten, dass sowohl KMU als auch Großunternehmen mit Industrie 4.0 kurzfristig keine positiven Erträge verbinden. Die Unterscheidung der KMU zwischen Anwendern und Anbietern zeigt jedoch deutlich, dass die Anbieter bereits in Kürze mit positiven Erträgen rechnen. Der Vergleich zwischen den anwendenden KMU und den Großunternehmen verdeutlicht, dass die Großunternehmen in ihrer Einschätzung insgesamt etwas optimistischer sind; dies ist anhand des steileren Verlaufs der Ertragskurve zu erkennen. Weiterführende Überlegungen, z. B. in Bezug auf Finanzierungsengpässe bei den KMU, sprechen des Weiteren dafür, dass die Großunternehmen eher mit der Umsetzung von Industrie 4.0 beginnen werden.

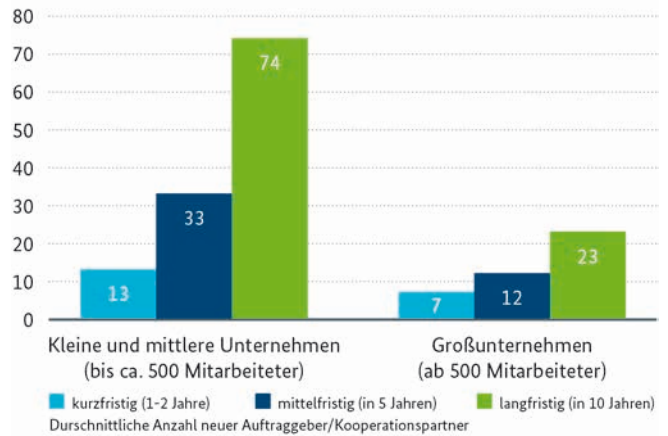
**Damit lässt sich Annahme 1 anhand der Befragungsergebnisse nicht eindeutig validieren. Vieles spricht dennoch dafür, dass die Großunternehmen als Anwender früher mit der Umsetzung von Industrie 4.0 beginnen als anwendende KMU. Chancen ergeben sich insbesondere für KMU, die als Anbieter für Industrie 4.0 auftreten.**

**Annahme 2:** Sowohl Großunternehmen als auch KMU schätzen die Möglichkeiten der Vernetzung durchaus positiv ein. Es wird erwartet, dass neue Kundenkontakte entstehen, so dass die Umsetzung von Industrie 4.0 über die Prozessinnovationen hinaus durch Produktinnovationen umfassende Wachstumsimpulse generiert.

Aus Abbildung 23 und Abbildung 24 wird ersichtlich, dass in Bezug auf die erwarteten Effekte einer zusätzlichen Vernetzung die kleinen und mittleren Unternehmen insgesamt mehr Kooperationen erwarten, wobei der Effekt besonders von den kleinen Unternehmen ausgeht. Indem KMU darüber hinaus mit über 90 Prozent die Mehrzahl der Unternehmen in Deutschland repräsentieren (Destatis, 2011, S. 1088), ist auf aggregierter Ebene ein noch stärkerer Vernetzungseffekt für KMU zu erwarten.

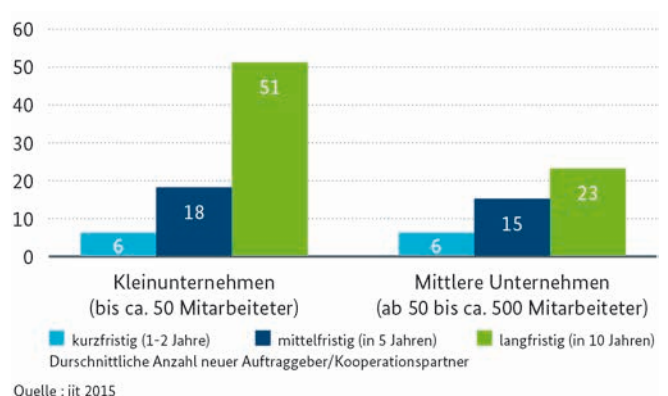
Insgesamt erhoffen sich die Unternehmen neue Auftraggeber bzw. Kooperationspartner. Dies gilt sowohl für Großunternehmen als auch KMU. Den größten Effekt erhoffen sich die kleinen Unternehmen bis ca. 50 Mitarbeiter. Die Beobachtungen stützen damit die Annahme, dass durch Industrie 4.0 neue Möglichkeiten zur Vernetzung bzw. Erschließung neuer Geschäftsfelder entstehen.

**Abb. 23: Insofern möglich, schätzen Sie die Anzahl neuer Auftraggeber/Kooperationspartner, die sie im Zuge von Industrie 4.0-Entwicklungen in Ihrem und anderen Unternehmen erwarten.**



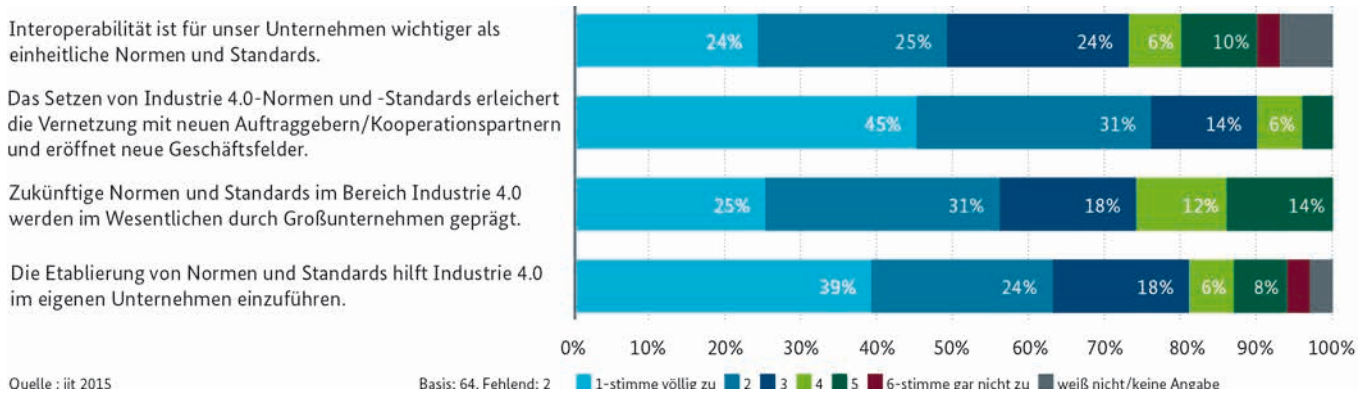
Erwartungen (KMU vs. Großunternehmen) bezüglich neuer Auftraggeber/Kooperationspartner im Zuge der Umsetzung von Industrie 4.0. KMU erwarten mehr zusätzliche Kooperationen als Großunternehmen. Dies bestätigt die Annahme, dass besonders KMU profitieren, indem sie innerhalb des Netzwerks neue Produkte und Dienstleistungen anbieten.

**Abb. 24: Insofern möglich, schätzen Sie die Anzahl neuer Auftraggeber/Kooperationspartner, die sie im Zuge von Industrie 4.0-Entwicklungen in Ihrem und anderen Unternehmen erwarten.**



Erwartungen kleiner und mittlerer Unternehmen bezüglich neuer Auftraggeber/Kooperationspartner. Es sind gerade die kleinen Unternehmen (bis ca., 50 Mitarbeiter), die sich von einer Umsetzung von Industrie 4.0 die größten Effekte erhoffen. Damit ist das Thema Industrie 4.0 insbesondere für kleine bzw. junge Unternehmen mit Chancen verbunden, innovative Produkte und Dienstleistungen anzubieten und mit neuen Geschäftspartnern zu kooperieren.

**Abb. 25: Bitte geben Sie an, inwieweit Sie den folgenden Aussagen zustimmen.**



**Bedeutung von Normen und Standards bzw. der Interoperabilität von Systemen. Für die Unternehmen zählt primär die Interoperabilität. Unabhängig davon, wie diese zustande kommt, leisten Normen und Standards einen wichtigen Beitrag zur Herstellung von Interoperabilität.**

**Annahmen 3 und Annahme 4:** Durch Abbildung 25 wird die zentrale Bedeutung der Interoperabilität und darauf aufbauend die Wichtigkeit von Normen und Standards ersichtlich.

Damit die Unternehmen innerhalb ihres existierenden Netzwerks kommunizieren können (z. B. OEM mit den Zulieferern), spielt die Interoperabilität der Systeme eine zentrale Rolle. Dies gilt sowohl für die Kommunikation der Systeme innerhalb des geschäftseigenen Produktionsprozesses als auch für die Kommunikation mit Auftragnehmern bzw. Zulieferern. Knapp 50 Prozent der befragten Experten stimmen der These zu, dass die Interoperabilität wichtiger ist als einheitliche Normen und Standards.

Normen und Standards sind jedoch ein bedeutendes Instrument, um die Interoperabilität zu unterstützen. Zwar kann die Interoperabilität auch evolutorisch aus dem Prozess heraus entstehen, doch besteht dabei die Gefahr zur Herausbildung einzelner „Insellösungen“. Dies wiederum erschwert die Kommunikation zwischen den verschiedenen Netzwerken (vgl. Ex-post-Szenario und Koordinations-szenario des theoretischen Modells). Normen und Standards können diesbezüglich Vorteile generieren und die netzwerkübergreifende Interoperabilität stärken. Die Bedeutung von Normen und Standards wird von einer deutlichen Mehrheit (76 Prozent) als wichtig bzw. sehr wichtig erachtet.

Dass die Großunternehmen zum Prägen dieser Normen und Standards eine sehr zentrale Rolle einnehmen, wird von 56 Prozent so gesehen. Auch bei der Umsetzung von Industrie 4.0 im eigenen Unternehmen erhofft sich eine Mehrheit von 63 Prozent positive Effekte durch die Etablierung von Normen und Standards.

**Damit bestätigen die Befragungsergebnisse Annahme 3 und Annahme 4. Normung und Standardisierung haben einen zentralen Stellenwert für die Weiterentwicklung des Zukunftsfeldes Industrie 4.0. Großunternehmen sind wichtige Akteure zum Setzen der Normen und Standards. Ein wichtiger Beitrag, den Normen und Standards leisten können, besteht darin, dass sich die Unsicherheiten bezüglich der unternehmensspezifischen Investitionsentscheidungen reduzieren, was die Umsetzung von Industrie 4.0 im Unternehmen erleichtert.** Allgemein ist davon auszugehen, dass durch die begleitende Normungsstrategie zur Umsetzung von Industrie 4.0 positive Impulse gesetzt werden, um die Umsetzung von Industrie 4.0 positiv zu begleiten. Die empirische Befragung lässt damit den Schluss zu, dass die Annahmen des theoretischen Modells insgesamt überzeugen.

## 6 Fazit

Unsere Auswertungen zeigen eine durchweg positive Erwartungshaltung bezüglich der durch Industrie 4.0 zu erwartenden volks- und betriebswirtschaftlichen Effekte. Es zeigt sich aber auch, dass derzeit noch viele Unternehmen zögerlich agieren. Es wird empfohlen, valide betriebswirtschaftliche Modelle zu diskutieren und anzuwenden, um den Nutzen von Investitionen in Industrie 4.0 nachweisen zu können. Weiterhin bedarf es einer detaillierten Analyse der bisher unterschätzten positiven Vernetzungseffekte, die sich durch die mit Industrie 4.0 einhergehende Digitalisierung ergeben. Lassen sich diese bestätigen, gilt es, Vernetzungsprozesse in einem nächsten Schritt möglichst effektiv zu unterstützen. Die Empfehlung für dieses Vorgehen lässt sich aus den folgenden zentralen Ergebnissen ableiten.

### Digitalisierung der Wertschöpfungsketten

In den aktuellen Umfragen und Analysen zum Thema Industrie 4.0 herrscht eine große Einstimmigkeit bezüglich des enormen Wachstumspotenzials für die deutsche Wirtschaft, das durch die Umsetzung der Visionen von Industrie 4.0 erschlossen werden kann. Unsere Analysen zeigen, dass Deutschland in fast allen entscheidenden technologischen Zukunftsfeldern international sehr gut aufgestellt ist, um nicht nur als Anwender von Industrie 4.0 zu profitieren, sondern in wichtigen Schlüsselsektoren auch Leitanbieter zu werden. Die umfassende Digitalisierung der Prozesse entlang der gesamten Wertschöpfungsketten ist dafür eine Grundvoraussetzung. Die betrachteten Studien zeigen, dass derzeit gerade einmal ein Fünftel aller befragten Unternehmen einen hohen Digitalisierungsgrad ihrer vertikalen und horizontalen Wertschöpfungsketten aufweisen. In den nächsten fünf Jahren soll sich dieser Anteil vervierfachen. Inwieweit es sich dabei vor allem in Branchen wie dem Maschinen- und Anlagenbau um eine realistische Einschätzung handelt, kann nur mit einer analytischen, detaillierten Indikatorik bezüglich der Digitalisierung, vor allem in Produktion und Fertigung, erfasst werden. Aufgrund der Unterschiede in den Organisationsformen ist die Umsetzung in bestimmten Bereichen als unternehmensspezifischer individueller Prozess zu verstehen (abhängig von Unternehmensgröße und Geschäftsmodell etc.), in anderen Bereichen kann er sicherlich standardisiert erfolgen. D. h. eine branchen- und anwendungsspezifische Erfassung des status-quo hinsichtlich der Digitalisierung von Geschäftsprozessen sollte es Unternehmen konkret ermöglichen, entscheidende Defizite schnell erkennen und priorisiert beheben zu können.

### Nutzentransparenz

Neben den Umsetzungsherausforderungen der Digitalisierung wurde in den betrachteten Studien auch deutlich, dass es für die meisten Unternehmen schwierig ist, den Nutzen von Industrie 4.0 ex-ante einzuschätzen. Insbesondere die Frage nach der Wirtschaftlichkeit der zu tätigen Investitionen kristallisiert sich als eine der größten Blockaden heraus. Aus den sehr wenigen Studien, die nicht nur das wirtschaftliche Wachstumspotenzial, sondern auch die dafür notwendigen Investitionskosten untersuchen, wird ersichtlich, dass nach Einschätzung der meisten Unternehmen in Deutschland derzeit die Investitionskosten weitaus höher ausfallen als die erwartete Umsatzsteigerung. Es ist anzunehmen, dass viele Unternehmen, insbesondere im KMU-Bereich, das meist negativ bewertete Verhältnis zwischen dem hohen prognostizierten Investitionsbedarf und dem daraus resultierenden Umsatzwachstum weiterhin zögern lässt. Da es für viele Unternehmen derzeit noch schwierig ist, den Nutzen von Industrie 4.0 konkret zu erkennen, erscheint es sinnvoll, anhand von Beispielrechnungen die Chancen aufzuzeigen, die sich durch die Umsetzung ergeben.

### Netzwerkeffekte

In diesem Zusammenhang muss auch über die perspektivischen Veränderungen in für Deutschland wichtigen Branchen, wie dem Maschinen- und Anlagenbau, diskutiert werden. Im Zuge von Industrie 4.0 werden sich diese Branchen vermehrt mit den Eigenschaften „zweiseitiger Märkte“ konfrontiert sehen. Daraus ergeben sich wichtige Fragen z. B. in Bezug auf mögliche strategische Allianzen zwischen Maschinenbauern und IKT- bzw. Software-Unternehmen. Eine solche Kooperation bietet Chancen, doch birgt die Festlegung auf den „falschen“ strategischen Partner auch erhebliche Risiken (insofern einzelne Anwendungen nicht mit dem Produkt kompatibel sind). In jedem Fall kann es sein, dass sich der Markt für Maschinen so entwickelt, dass die Softwareplattform, mit der die Maschine betrieben wird (das Betriebssystem), zu einem zentralen Verkaufsargument wird, weil diese zusätzliche Anwendungsmöglichkeiten bietet oder ausschließt. Die Attraktivität der neuen Maschinengeneration wird dabei entscheidend von der Interoperabilität mit anderen IKT-Anwendungen abhängig sein. Die IKT-Anwendungen sind wiederum zentral durch die beschriebenen Vernetzungseffekte geprägt. Erst wenn sich die Produkte am Markt etabliert haben, lässt sich mit diesen „wirklich Geld verdienen“. Damit einher geht die Notwendigkeit der Etablierung notwendiger Finanzierungsinstrumente auf der einen Seite und der Kooperation zwischen IKT-Wirtschaft und Maschinenbau auf der anderen Seite.

Bezogen auf Industrie 4.0 bedeuten die genannten Netzwerkeffekte, dass der Nutzen aus dem Netzwerk mit der Anzahl der Anwender zunimmt. Die zugrundeliegende Dynamik zeichnet sich dadurch aus, dass ab dem Erreichen einer kritischen Masse die Zahl der Anwender exponentiell ansteigen kann und sich die Diffusion der Technologie zu einem sich selbstbeschleunigenden Prozess entwickelt. Das Zögern der Unternehmen erklärt sich über die beschriebenen Unsicherheiten hinaus, zu weiten Teilen auch durch die mangelnde Abstimmung in der Umsetzung, da sich unternehmensspezifische Alleingänge kaum auszahlen. Sinnvoll erscheint ein koordiniertes Vorgehen (z. B. in Form eines konzertierten Investments) über einzelne Unternehmen hinweg, damit Vernetzungseffekte umfassend zum Tragen kommen können. Bedeutend ist dabei die Offenheit der Standards, um sog. "Lock-in-Effekte" zu vermeiden.

Der Blick auf die Vernetzungspotenziale kann damit den vermeintlichen Widerspruch auflösen, dass die Wirtschaft trotz des beachtlichen prognostizierten volkswirtschaftlichen Potenzials weiterhin sehr zögerlich ist, was die Umsetzung von Industrie 4.0 betrifft. In der vorliegenden Studie wurde dies anhand eines innovativen Erklärungsansatzes idealtypisch modelliert. Das bislang stark vereinfachte Modell verdeutlicht folgenden Zusammenhang: Großunternehmen nehmen bei der Umsetzung von Industrie 4.0 eine Schlüsselrolle ein. Gehen die Großunternehmen bei der Implementierung von Industrie 4.0 koordiniert vor, kommen positive Netzwerkeffekte umfassend zum Tragen. Nationale und internationale Unternehmen, insbesondere KMU, können sich effizienter vernetzen und die Risiken von Investitionen reduzieren, wenn die global führenden Technologieunternehmen gemeinsam agieren und die Standards für Industrie 4.0 prägen.

## 7 Literaturverzeichnis

- AMA Sensorik. (2014). Weltmarktpotenzial.
- Arvis, J.-F., Saslavsky, D., Ojala, L., Shepherd, B., Busch, C., & Raj, A. (2014). Connecting to Compete: Trade Logistics in the Global Economy. The World Bank.
- Bain & Company. (2014). Go West! Wie Unternehmen von der Reindustrialisierung der USA profitieren können.
- Bilbao-Osorio, B., Dutta, S., & Bruno, L. (2014). The Global Information Technology Report 2014: Rewards and Risks of Big Data. World Economics Forum.
- BITKOM. (2014). Industrie 4.0 - Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland.
- Blanchet, M., Rinn, T., Von Thaden, G., & De Thieulloy, G. (2014). Industry 4.0: The new industrial revolution - How Europe will succeed. Roland Berger Strategy Consultants.
- BMBF. (2014). Zukunftsbild „Industrie 4.0“.
- BMWi. (2014). Monitoring Digitale Wirtschaft 2014.
- BVL. (2014). Logistik Indikator.
- BVL. (2014). Logistik und IT als Innovationstreiber für den Wirtschaftsstandort Deutschland.
- BVL. (2015). Mitgliederbefragung - Wirtschaftsbereich Logistik geht neue Wirtschaftsmärkte an.
- Capgemini. (2014). Digitizing Manufacturing: Ready, Set, Go!
- Commerzbank. (2013). Branchenbericht - Corporate Sector Report: Transport/Logistik.
- Commerzbank. (2014). Branchenbericht - Corporate Sector Report: Maschinenbau.
- Destatis. (2010). Produzierendes Gewerbe: Kostenstruktur der Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden. [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/IndustrieVerarbeitendesGewerbe/Strukturdaten/Kostenstruktur2040430107004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/IndustrieVerarbeitendesGewerbe/Strukturdaten/Kostenstruktur2040430107004.pdf?__blob=publicationFile): Statistisches Bundesamt.
- Destatis. (2011). Ausgewählte Ergebnisse für kleine und mittlere Unternehmen in Deutschland 2009. Statistisches Bundesamt, Wirtschaft und Statistik.
- Deutsche Post. (2012). Delivering Tomorrow: Logistik 2050 - Eine Szenariostudie. Bonn.
- DKM Economic Consultants. (2006). Construction industry indicators.
- Doll, A., Friebel, D., Rückriegel, M., & Schwarzmüller, C. (2014). Global Logistics Markets Executive Summary. Roland Berger Strategy Consultants.
- Eickelpasch, A. (2014). Funktionaler Strukturwandel in der Industrie: Bedeutung produktionsnaher Dienste nimmt zu. DIW Berlin.
- El-Darwiche, B., Friedrich, R., Koster, A., & Singh, M. (kein Datum). Digitization for economic growth and job creation - Regional and industry perspectives. Strategy&.
- Experton. (2014). Industrie 4.0: Status Quo und Entwicklungen in Deutschland.
- Fiedler, M. (2013). Effizienzsteigerungen in der Logistik - dank CPS. Fraunhofer IML.
- Forschungsunion/Acatech. (2013). Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftprojekt Industrie 4.0. Forschungsunion Wirtschaft und Wissenschaft, acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften.
- Fraunhofer IIS. (2013). ZIO-Innovationsradar.
- Freudenberg IT. (2014). IT Innovation Readiness Index.
- Gartner Research. (2014). Hype Cycle.
- Geisberger, E., & Broy, M. (2012). agendaCPS: Integrierte Forschungsagenda - Cyber Physical Systems. acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften.
- Handelsblatt. (2014). Auslagerung der IT an IBM soll Millionen einsparen.
- Harbor Research. (2012). Designing the Future of Smart Connected Things.
- Heng, S. (2014). Industrie 4.0: Enorme Wertschöpfungspotenziale wollen gehoben werden. Deutsche Bank Research.
- Heng, S. (2014). Industrie 4.0: Upgrade des Industriestandorts Deutschland steht bevor. Deutsche Bank Research.
- IAO. (2013). Produktionsarbeit in der Zukunft - Industrie 4.0. Stuttgart: Fraunhofer IAO.
- IBM Institute for Business Value. (2013). Digital reinvention: Preparing for a very different tomorrow.
- IFR Statistical Department. (2013). World Robotics: Industrial Robots 2013.
- IFR Statistical Department. (2013). World Robotics: Service Robots 2013.
- Intechno Consulting. (2012). Sensors Markets 2016.
- Jeschke, S. (2014). „Society 4.0“ - (R)Evolution of Society? Aachen: RWTH Aachen University.
- Kille, C., & Schwemmer, M. (2013). Challenges 2013, Executive Summary: Wie die deutsche Logistikwirtschaft das Jahr der Veränderungen meistern kann. Fraunhofer IIS.



- Kille, C., & Schwemmer, M. (2013). Executive Summary „Top 100 in European Transport and Logistics Services 2013/2014“. Nürnberg: Fraunhofer IIS.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften. (2006). Güterverkehrslogistik in Europa - der Schlüssel zur nachhaltigen Mobilität. Brüssel.
- KPMG. (2014). Global Manufacturing Outlook: Performance in the crosshairs.
- Lünendonk. (2013). Logistik und Transport: Trends und Consulting Best Practices.
- Malanowski, N., & Brandt, C. (2014). Innovations- und Effizienzsprünge in der chemischen Industrie? Wirkungen und Herausforderungen von Industrie 4.0 und Co. VDI Technologiezentrum.
- McKinsey. (2013). Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy.
- OECD. (2014). OECD Economic Surveys GERMANY.
- OECD. (2014). Policy Challenges for The Next 50 Years.
- Oxford Economics. (2011). Digital Megatrends 2015: The Role of Technology in the New Normal Market.
- PwC. (2014). Industrie 4.0 - Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution.
- Rochet, J.-C., & Tirole, J. (2003). Platform Competition in Two-sided Markets. *Journal of the European Economic Association*, S. 990-1029.
- Rodrigues, A., Bowersox, D., & Calantone, R. (2005). Estimation of Global and National Logistics Expenditures: 2002 Data Update. Michigan.
- Roland Berger. (2014). Global Logistcs Market .
- Roland Berger. (2014). INDUSTRY 4.0: The new industrial revolution How Europe will succeed. [http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland\\_Berger\\_TAB\\_Industry\\_4\\_0\\_20140403.pdf](http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_TAB_Industry_4_0_20140403.pdf).
- SAS Institute. (kein Datum). Industrie 4.0 Monitor 2013: Auswertung von Maschinendaten.
- SPS Newsletter. (2014). Automation Newsletter. Marburg: Al-Scheikly, B.
- The Economist. (2013). The Internet of Things Business Index: A Quiet Revolution Gathers Pace.
- Trendbarometer. (2013). Trendbarometer - junge IKT - Wirtschaft.
- VDE. (2013). Deutsche Normungs-Roadmap Industrie 4.0 Version 1.0.
- VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik. (2014). Industrie 4.0 - CPS-basierte Automation: Forschungsbedarf anhand konkreter Fallbeispiele.
- VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik. (2012). Produktion und Logistik in Deutschland 2025: Trends, Tendenzen, Schlussfolgerungen.
- VDMA. (2012). Tendenzbefragung Internationale Wettbewerbsposition des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus .
- VDMA. (2013). Robotik und Automation sichert Zukunft der industriellen Produktion.
- Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau, McKinsey & Company. (2014). Zukunftsperspektive deutscher Maschinenbau: Erfolgreich in einem dynamischen Umfeld agieren, Broschüre.
- Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau, McKinsey & Company. (2014). Zukunftsperspektive deutscher Maschinenbau: Erfolgreich in einem dynamischen Umfeld agieren, Executive Summary.
- ZEW. (2014). IKT-Branche in Deutschland legt weiter zu.
- ZVEI. (2014). Elektroindustrie in Zahlen.

# Anlagen

**Tab. 5: Analyisierte Studien und Schwerpunkte der Indikatoren.**

Zuordnung/ Schwerpunkt	Studie	Thematische Schwerpunkte, Indikatoren
Mikroebene/ Wahrnehmung der Herausforderung beim Management	Digitizing Manufacturing: Ready, Set, Go! Manufacturing at the verge of a new industrial era	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grad der Sättigung</li> <li>• Wahrnehmung der Chancen der Digitalisierung</li> <li>• Wahrnehmung der Risiken der Digitalisierung</li> <li>• Sättigungsgrad im Bereich der Digitalisierung</li> <li>• Transformation der Geschäftsmodelle</li> <li>• Digitale Durchdringung der Arbeitsplätze</li> <li>• Technologien, die eingesetzt werden, um interne Prozesse zu verbessern</li> <li>• Digitalisierungsgrad der Geschäftsprozesse</li> <li>• Kommunikation nach außen durch digitale Kanäle</li> <li>• Digitale Interaktion mit Kunden</li> <li>• Entfernung zur IKT-Branche</li> <li>• Integration der IT-Plattformen</li> <li>• Digitale Fähigkeiten</li> <li>• Digitale Strategie</li> </ul>
Veränderungen in der industriellen Produktion	Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Industrieanteil am BIP</li> <li>• Automatisierungsgrad der Produktion</li> <li>• Bedeutung von Industrie 4.0 für den Produktionsstandort D</li> <li>• Stellenwert von Industrie 4.0, um zukünftig schnell auf Kundenanforderungen zu reagieren</li> <li>• Menschliche Arbeit im Produktionsprozess</li> <li>• Mobile Informationstechnik im Arbeitskontext</li> <li>• Nutzung von Social Media im Arbeitskontext</li> <li>• Einsatz mobiler Endgeräte</li> <li>• Kosten der Dokumentation</li> <li>• Auswirkung mobiler Endgeräte auf die Kosten der Dokumentation</li> <li>• Anforderungen an die Flexibilität der Mitarbeiter</li> <li>• Bekanntheitsgrad “Cyber Physical Systems“ (CPS)</li> <li>• Bedeutung von CPS in der eigenen Produktion</li> </ul>
Mikroebene/ Wahrnehmung der Herausforderung beim Management	THE INTERNET OF THINGS BUSINESS INDEX: A quiet revolution gathers pace	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interne Vernetzung des Unternehmens</li> <li>• Externe Vernetzung des Unternehmens</li> <li>• Einfluss des Internet der Dinge auf die Wirtschaft</li> <li>• Zukünftiger Einfluss des Internet der Dinge auf das Unternehmen</li> <li>• Erwartete Effekte</li> <li>• Erforderliche Investitionen</li> <li>• Veränderungen durch das Internet der Dinge im Unternehmen</li> </ul>
Mikroebene/ Wahrnehmung der Herausforderung beim Management	Digital reinvention preparing for a very different tomorrow	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Antizipierte Veränderungen durch die Digitalisierung</li> <li>• Herausforderungen zur Implementierung digitaler Prozesse im Unternehmen</li> </ul>
Mikroebene/ Wahrnehmung der Herausforderung beim Management	Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern – Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aktuelle Relevanz von Industrie 4.0</li> <li>• Wodurch befassen sie sich mit Industrie 4.0</li> <li>• Stellenwert von Industrie 4.0 auf die Wettbewerbsfähigkeit</li> <li>• Herausforderungen zu Umsetzung von Industrie 4.0</li> <li>• Notwendige Unterstützung zur Umsetzung von Industrie 4.0</li> </ul>
Mikroebene/ Wahrnehmung der Herausforderung beim Management	Digital Megatrends 2015, The Role of Technology in the New Normal Market	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einfluss der Digitalisierung auf die Wirtschaft</li> <li>• Bedeutung der Mobilfunktechnologie für die Wirtschaft</li> <li>• Kooperationsverhalten im Zusammenhang mit Cloud-Computing</li> <li>• Wert digitaler Intelligenz für das Unternehmen</li> <li>• Veränderung der Geschäftsmodelle durch Social Media</li> <li>• Gründe für Investitionen in digitale Technologien</li> <li>• Stellenwert der unterschiedlichen Informationstechnologien</li> </ul>

Zuordnung/ Schwerpunkt	Studie	Thematische Schwerpunkte, Indikatoren
Mikroebene/ Wahrnehmung der Herausforderung beim Management	Status Quo und Entwicklungen in Deutschland. Eine Analyse der Experton Group	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die IKT-Trends 2014</li> <li>• Zunahme der Bedeutung von Industrie 4.0</li> <li>• IKT-Budgets mit Bezug zu Industrie 4.0</li> <li>• Prognosen zu Industrie 4.0 für die Jahre 2013-2020</li> <li>• Verteilung der IKT-Budgets auf unterschiedliche Segmente</li> <li>• Wesentliche Herausforderungen und daraus resultierender Handlungsbedarf</li> <li>• Aktuelle und zukünftige Relevanz von Industrie 4.0</li> <li>• Zentrale Technologien zur Umsetzung von Industrie 4.0</li> <li>• Bedeutung von Daten: aktuell und zukünftig</li> <li>• Weitere Themen, die neben Industrie 4.0 für die Unternehmen bedeutend sind</li> <li>• Bedeutung und Nutzen von Industrie 4.0</li> <li>• Unternehmensinterner Beschäftigungszuwachs durch Industrie 4.0</li> <li>• Benennung eines unternehmensinternen Verantwortlichen für Industrie 4.0</li> <li>• Zustimmung der Unternehmen zu Entwicklungen im Rahmen von Industrie 4.0</li> <li>• Künftige Herausforderungen/Probleme bei der Verbindung von Produktion und IT</li> <li>• Zentrale Hemmnisse bei der Umsetzung von Industrie 4.0</li> <li>• Treiber zur Umsetzung von Industrie 4.0 (Initiativen/Projekte)</li> <li>• Beurteilung von Einfluss und Chancen durch Industrie 4.0</li> <li>• Geschäfts- und Umsatzentwicklung innerhalb der letzten 3 Jahre</li> <li>• Entwicklung des IT-Budgets</li> <li>• Zusätzliche Investitionen im Unternehmen wegen Industrie 4.0</li> <li>• Bevorzugte Ansprechpartner für die Einführung von Industrie 4.0-Technologien</li> <li>• Kriterien für (Anbieter-/Dienstleiterauswahl) im Bereich der Industrie 4.0-Technologien</li> <li>• Bekanntheitsgrad von (Anbietern/Dienstleistern) im Industrie 4.0-Umfeld</li> <li>• Leistungsfähigkeit von Anbietern und Dienstleistern zu Industrie 4.0</li> <li>• Zentrale Herausforderungen im Zusammenhang mit Industrie 4.0 für Unternehmen in den nächsten Jahren</li> </ul>
Makroebene/ Volkswirtschaft/ Marktpotenzial	Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potenzial (in Mrd. Euro) von Industrie 4.0 bis 2020</li> <li>• Bruttowertschöpfung einzelner Sektoren und Potenzial von Industrie 4.0</li> </ul>
Makroebene/ Volkswirtschaft/ Marktpotenzial	Industrie 4.0, Upgrade des Industriestandorts Deutschland steht bevor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wirtschaftspotenzial bis 2020</li> <li>• Bruttowertschöpfung im verarbeitenden Gewerbe</li> <li>• IP-Datenvolumen</li> <li>• Breitbandausbau</li> </ul>
Makroebene/ Volkswirtschaft/ Marktpotenzial	INDUSTRY 4.0, The new industrial revolution, how Europe will succeed	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anteil der industriellen Produktion</li> <li>• Notwendige Investitionen</li> <li>• Anteil Maschinenbau in den einzelnen Kontinenten (Marktpotenzial nach Kontinenten)</li> <li>• Entwicklung Manufacturing in Europa</li> <li>• Bedeutung Industrieroboter</li> <li>• Bedeutung Internet</li> <li>• Beschäftigung in FuE-intensiver Industrie</li> <li>• Entwicklung der Patentanmeldungen</li> <li>• Entwicklung der Exporte</li> <li>• Entwicklung der Wertschöpfung</li> <li>• Notwendige Investitionen zur erfolgreichen Umsetzung von Industrie 4.0 in Europa</li> </ul>

Zuordnung/ Schwerpunkt	Studie	Thematische Schwerpunkte, Indikatoren
Makroebene/ Volkswirtschaft/ Marktpotenzial	Digitization for economic growth and job creation regional and industry perspectives	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schaffung von Arbeitsplätzen 2011 nach globalen Regionen</li> <li>• Einfluss der Digitalisierung auf Output und Wachstum der Unternehmen (nach Branchen)</li> </ul>
Makroebene/ Volkswirtschaft/ Marktpotenzial	Disruptive technologies: Advances that will transform life, business and the global economy	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Benennung disruptiver Technologien</li> <li>• Entwicklungspotenzial</li> <li>• Auswirkung auf die wirtschaftliche Entwicklung</li> <li>• Unterscheidung zwischen Entwicklungsländern und entwickelten Volkswirtschaften</li> <li>• Es besteht kein Zusammenhang zwischen dem sog. „Hype“ um eine Technologie und den ökonomischen Auswirkungen</li> <li>• Auswirkungen disruptiver Technologien auf die Gesellschaft</li> <li>• Langfristige Betrachtung disruptiver Technologien auf das Wachstum</li> <li>• Wirtschaftliches Potenzial des Internets</li> <li>• Wirtschaftliches Potenzial der Automation</li> <li>• Wirtschaftliches Potenzial des Internet der Dinge</li> <li>• Wirtschaftliches Potenzial von Cloud Computing</li> <li>• Wirtschaftliches Potenzial von Automation/Robotik</li> <li>• Wirtschaftliches Potenzial autonomes Fahren</li> </ul>
Makroebene/ Volkswirtschaft/ Marktpotenzial	Industrie 4.0 - Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Framework für Industrie 4.0</li> <li>• Durchschnittliche jährliche Investitionen in Industrie 4.0</li> <li>• Industrie 4.0-Investitionen unterteilt nach Wertschöpfungsstufen und Priorität</li> <li>• Jährliche Investitionen in Industrie 4.0-Lösungen bis 2020 nach Industriebranchen (Investitionshöhe in Prozent vom Jahresumsatz/Investitionsvolumen in Mrd. Euro pro Jahr)</li> <li>• Anteil der Unternehmen mit hohem Digitalisierungsgrad, heute und in fünf Jahren</li> <li>• Darstellung horizontaler und vertikaler Wertschöpfungsketten</li> <li>• Qualitative Vorteile von Industrie 4.0-Anwendungen</li> <li>• Erwarteter quantitativer Nutzen von Industrie 4.0-Anwendungen</li> <li>• Bedeutung der Analyse und Nutzung von Daten für das Geschäftsmodell</li> <li>• Digitalisierung des Produktportfolios, heute und in fünf Jahren (allgemein und im Branchenvergleich)</li> <li>• Erwartete Umsatzsteigerung durch Industrie 4.0 - kumuliertes, inkrementelles Wachstum in fünf Jahren (allgemein, je Branche)</li> <li>• Umsatzwachstum in Abhängigkeit vom Digitalisierungsgrad in den letzten drei Jahren</li> <li>• Bedeutung der Kernaspekte erfolgreicher Geschäftsmodelle im Kontext von Industrie 4.0</li> <li>• Bedeutung vertiefter Kooperationen mit Partnern in den verschiedenen Industriebranchen</li> <li>• Wichtigste Gründe für die Kooperationen im Rahmen von Industrie 4.0</li> <li>• Unternehmensinterne Herausforderungen für die Umsetzung von Industrie 4.0</li> <li>• Bereiche, die einer Unterstützung durch die Politik bedürfen</li> <li>• Bedeutung von Industrie 4.0 für den Wirtschaftsstandort Deutschland</li> <li>• Maturitäts-/Entwicklungsstufen von Industrie 4.0</li> </ul>
Veränderungen in der industriellen Produktion	Funktionaler Strukturwandel in der Industrie: Bedeutung produktionsnaher Dienste nimmt zu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Veränderungen in der industriellen Produktion</li> <li>• Auswirkungen auf die Bildungsanforderungen</li> </ul>
Industrieproduktion	Global Manufacturing Outlook Performance in the crosshairs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indikatoren mit Bezug zur Industrieproduktion</li> </ul>
Industrieproduktion in Deutschland	OECD Economic Surveys GERMANY	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Industrieproduktion in Deutschland</li> </ul>

Zuordnung/ Schwerpunkt	Studie	Thematische Schwerpunkte, Indikatoren
Quartalszahlen	Construction industry indicators	<ul style="list-style-type: none"> <li>Industrieindikatoren mit Fokus auf die Produktion</li> </ul>
Beispiele des Potenzials der Digitalisierung in der Produktion	Industrie 4.0: CPS-basierte Automation. Forschungsbedarf anhand konkreter Fallbeispiele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Optimierung von Chargenprozessen im Mittelstand</li> <li>Plug-and-Produce in modularen industriellen Anlagen</li> <li>Selbstkorrektur eines diskreten Fertigungsprozesses</li> </ul>
Zukunftsprojekt Industrie 4.0	Zukunftsbild „Industrie 4.0“	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualitative Studie</li> </ul>
Potenzial von Industrie 4.0 in der chemischen Produktion	Innovations- und Effizienzsprünge in der chemischen Industrie? Wirkungen und Herausforderungen von Industrie 4.0 und Co.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualitative Studie</li> </ul>
Potenzial von cyber physical systems	Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fallstudien</li> </ul>
Industrierobotik	World Robotics: Industrial Robots	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alles zu Industrierobotern</li> </ul>
Dienstleistungsrobotik	World Robotics: Service Robots	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alles zu Dienstleistungsrobotern</li> </ul>
Beschreibung des Potenzials des Internet der Dinge	DESIGNING THE FUTURE OF SMART CONNECTED THINGS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualitative Studie</li> </ul>
Wirtschaftsentwicklung in der langen Frist	Policy Challenges for the Next 50 Years	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wirtschaftsindikatoren (Vorausschau auf die nächsten 50 Jahre)</li> </ul>
Auswirkungen globale Entwicklungsszenarien auf die Logistik	DELIVERING TOMORROW Logistik 2050: Eine Szenariostudie	<ul style="list-style-type: none"> <li>Szenario 1: Zügelloses Wachstum drohender Kollaps</li> <li>Szenario 2: Megaeffizienz in Megastädten</li> <li>Szenario 3: Individualisierte Lebensstile</li> <li>Szenario 4: Lähmender Protektionismus</li> <li>Szenario 5: Globale Widerstandsfähigkeit lokale Anpassung</li> </ul>
Innovationen, Marktrelevanz	ZIO-INNOVATIONSRADAR ZENTRUM FÜR INTELLIGENTE OBJEKTE ZIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>Art der Innovation</li> <li>Grad der technikspezifischen Veränderung</li> <li>Reifegrad</li> <li>Marktrelevanz</li> <li>Innovationsindex</li> </ul>
Kennzahlen Maschinenbau, Strategie	Zukunftsperspektive deutscher Maschinenbau. Erfolgreich in einem dynamischen Umfeld agieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einfluss der Veränderungen auf GuV</li> <li>Einfluss der Veränderungen auf die Profitabilität</li> <li>Einfluss der Veränderungen auf die Anzahl der Fehlteile</li> </ul>
Digitalisierung mit Fokus auf Big Data	The Global Information Technology Report 2014. Rewards and Risks of Big Data	<ul style="list-style-type: none"> <li>„Global Network Readiness Index“</li> <li>Politisches Regulierungsumfeld</li> <li>Unternehmens- und Innovationsumfeld</li> <li>Infrastruktur</li> <li>Level der Umsetzung</li> <li>Fähigkeiten</li> <li>Anwendungen im Privatsektor</li> <li>Anwendungen im Unternehmenssektor</li> <li>Anwendungen im Staatssektor</li> <li>Ökonomische Auswirkungen</li> <li>Soziale Auswirkungen</li> <li>Länderprofile</li> </ul>

Abb. 26: Übersicht zu den thematischen Schwerpunkten der Indikatoren.

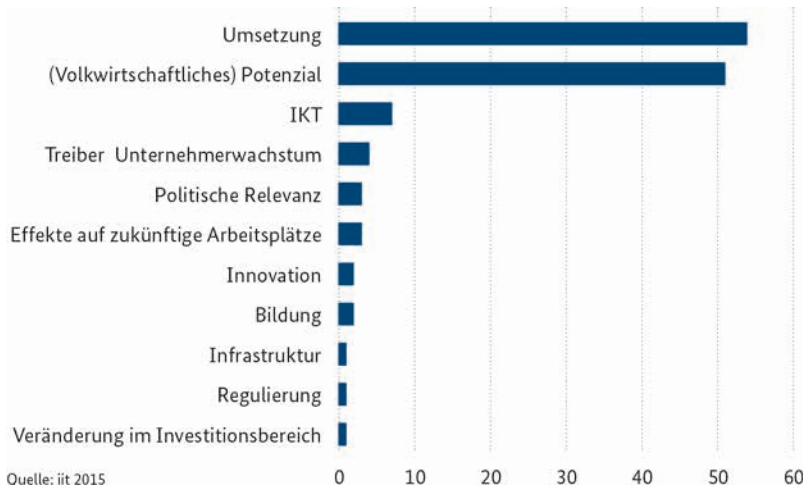


Abb. 27: Mittelwerte mit Bezug zu den Chancen/Stärken und Risiken/Schwächen zur Umsetzung von Industrie 4.0.

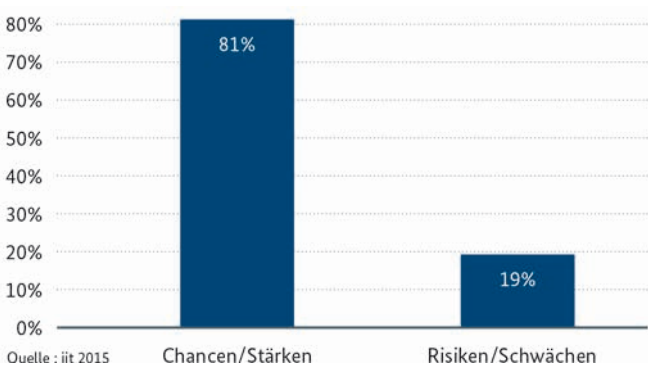


Abb. 28: Mittelwerte mit Bezug zu den Treibern und Hemmnissen zur Umsetzung von Industrie 4.0.

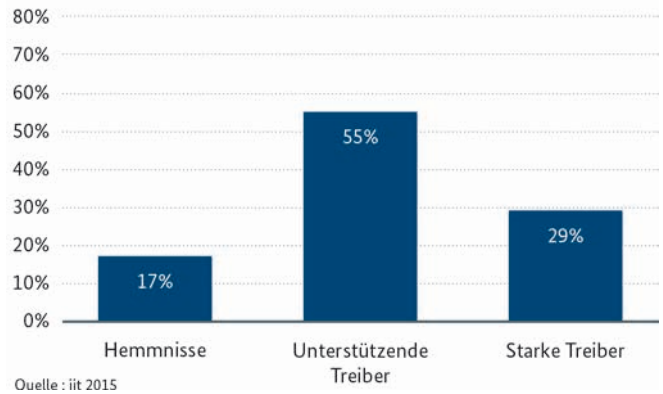


Abb. 29: Branchenfokus der befragten Experten.

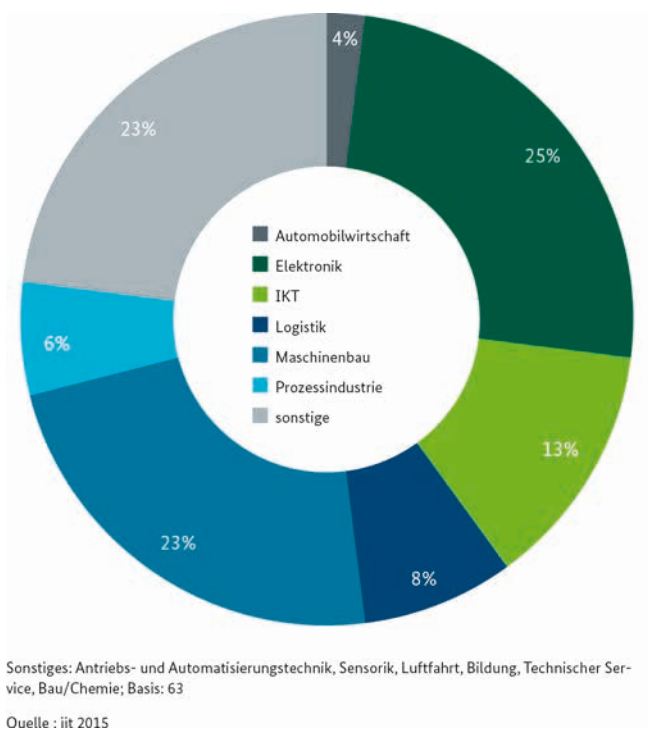


Abb. 30: Sicherheit bezüglich der Einschätzung zu Umsatz- und Kostensteigerung.

