



INSTITUT FÜR  
TECHNIKFOLGEN  
ABSCHÄTZUNG



OAW

Österreichische Akademie  
der Wissenschaften



AUSTRIAN INSTITUTE  
OF TECHNOLOGY



# Industrie 4.0

Hintergrundpapier für den 1. Workshop  
am 4. Mai 2015





INSTITUT FÜR  
TECHNIKFOLGEN  
ABSCHÄTZUNG



OAW  
Österreichische Akademie  
der Wissenschaften



AUSTRIAN INSTITUTE  
OF TECHNOLOGY

# Industrie 4.0

Hintergrundpapier für den 1. Workshop  
am 4. Mai 2015

## 1. Zwischenbericht

Institut für Technikfolgen-Abschätzung [ITA]  
der Österreichischen Akademie der Wissenschaften

AIT Austrian Institute of Technology GmbH  
Innovation Systems Department

*Projektleitung:* Georg Aichholzer [ITA] und Matthias Weber [AIT]

*Autoren:* Georg Aichholzer [ITA]  
Wolfram Rhomberg [AIT]  
Niklas Gudowsky [ITA]  
Florian Saurwein [ITA]  
Matthias Weber [AIT]

Literaturrecherche: Gloria Rose

Studie im Auftrag der Parlamentsdirektion

Wien, April 2015

## **IMPRESSUM**

### **Medieninhaber:**

Österreichische Akademie der Wissenschaften  
Juristische Person öffentlichen Rechts (BGBl 569/1921 idF BGBl I 130/2003)  
Dr. Ignaz Seipel-Platz 2, A-1010 Wien

### **Herausgeber:**

Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA)  
Strohgasse 45/5, A-1030 Wien  
[www.oeaw.ac.at/ita](http://www.oeaw.ac.at/ita)

AIT Austrian Institute of Technology GmbH  
Donau-City-Straße 1, A-1220 Wien  
[www.ait.ac.at](http://www.ait.ac.at)

Dieser ITA-AIT Bericht erscheint in geringer Auflage im Druck und wird über das Internetportal „epub.oeaw“ der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt:  
[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-projektberichte](http://epub.oeaw.ac.at/ita/ita-projektberichte)

ITA-Projektbericht Nr.: ITA-AIT-1  
ISSN: 1819-1320  
ISSN-online: 1818-6556  
[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-projektberichte/ITA-AIT-1.pdf](http://epub.oeaw.ac.at/ita/ita-projektberichte/ITA-AIT-1.pdf)

© 2015 ITA – Alle Rechte vorbehalten

# Inhalt

Zusammenfassung.....	5
1 Einleitung.....	11
1.1 Warum Industrie 4.0?.....	11
1.2 Re-Industrialisierung mit Industrie 4.0.....	12
1.3 Vielfältige Wirkungsdimensionen .....	13
1.4 Zielsetzung des vorliegenden Papiers .....	14
2 Charakteristika von Industrie 4.0 .....	15
3 Ziele und erwarteter Nutzen von Industrie 4.0.....	19
3.1 Reduktion von Kosten.....	20
3.2 Mannigfaltiger Nutzen soll Produktivität und Umsatz erhöhen .....	21
4 Wirkungsfelder und zentrale Herausforderungen.....	25
4.1 Beschäftigung .....	25
4.2 Arbeitsorganisation .....	27
4.3 Aus- und Weiterbildung.....	28
4.4 Gesundheit .....	30
4.5 Ressourceneinsatz .....	32
4.6 Wirtschaft und Wettbewerb.....	34
4.7 Sicherheit.....	38
4.8 Technische Standards .....	39
4.9 Regulierung .....	40
5 Umsetzungsstand.....	43
5.1 Europäische Union und Mitgliedsländer.....	43
5.2 Deutschland als Vorreiter.....	44
5.3 Internationale Entwicklungen .....	45
5.3.1 USA.....	45
5.3.2 China.....	46
6 Situation in Österreich .....	47
6.1 Ausgangslage .....	47
6.2 Verbreitungsstand innovativer Produktions- und Prozesstechnologien .....	48
6.3 Nationale Initiativen zu Industrie 4.0 .....	49
6.4 Forschung und Entwicklung.....	51
7 Zwischenfazit .....	53
Literatur .....	55

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Nutzung ausgewählter Produktionstechnologien in der österreichischen Sachgütererzeugung .....	49
--	----

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beschäftigung .....	26
Tabelle 2: Arbeitsorganisation .....	27
Tabelle 3: Aus- und Weiterbildung .....	29
Tabelle 4: Gesundheit .....	31
Tabelle 5: Ressourceneinsatz .....	32
Tabelle 6: Wirtschaft und Wettbewerb .....	35
Tabelle 7: Safety und Security .....	38
Tabelle 8: Technische Standards .....	40
Tabelle 9: Regulierung .....	41

# Zusammenfassung

## Industrie 4.0 – Hoffnungsträger mit Ungewissheiten

Industrie 4.0 bezeichnet die vierte industrielle Revolution. Nach der Mechanisierung der Produktion durch Dampf- und Wasserkraft (Industrie 1.0) folgten die Elektrifizierung mit dem Ausbau der tayloristischen Fließbandproduktion (Industrie 2.0) und schließlich die automatisierte Massenfertigung mit Hilfe von Elektronik und numerischer Kontrolle (Industrie 3.0). Die digitale, intelligente, durchgängig vernetzte und selbststeuernde Produktion definiert nun den vierten Schritt zu Industrie 4.0. Ermöglicht wird dies durch die Verschmelzung von Produktionstechniken mit Informationstechnologien (IT) und Internet.

*Vernetzte, sich selbst steuernde Produktion*

Mit Industrie 4.0 werden große Hoffnungen verknüpft, den seit einigen Jahren zu beobachtenden Rückgang des Industrieanteils an der europäischen Wirtschaftsleistung zu stoppen bzw. umzukehren. Derzeit ist die Industrie direkt nur noch für rd. 15 % der Wirtschaftsleistung in der EU verantwortlich. Österreich zählt mit knapp 19 % noch zu den vergleichsweise industriestarken Ländern.

*Re-Industrialisierung Europas?*

Die Bedeutung der Industrie geht aber über ihren unmittelbaren Anteil an der Wirtschaftsleistung deutlich hinaus, weil sie gleichzeitig die Basis für wertschöpfungsstarke Dienstleistungen bildet. Zudem haben sich Länder mit einer starken industriellen Basis als resistenter gegen die krisenhaften Entwicklungen der letzten Jahre erwiesen. Vor diesem Hintergrund hat die Europäische Kommission das Ziel einer Re-Industrialisierung Europas formuliert. Diese ist jedoch nur erreichbar, wenn es den europäischen Ländern bzw. Industrieunternehmen gelingt, sich an die Dynamik der globalen Nachfragemärkte und die zunehmende Individualisierung der Produkt- und Leistungsangebote zeitnah anzupassen und entsprechende Investitionen zu tätigen.

Mit der raschen Digitalisierung und durchgehenden Vernetzung der Produktion entfaltet sich eine Dynamik, die es Österreich und den anderen europäischen Ländern durch erfolgreiches Andocken ermöglichen könnte, wieder auf einen Industrialisierungspfad zu gelangen. Derzeit ist diese Entwicklung noch in einer frühen Phase. Innerhalb Europas gilt Deutschland als Vorreiter, während auf globaler Ebene insbesondere die USA und China wichtige strategische Initiativen in Richtung fortgeschrittener Digitalisierung der Produktion setzen.

*Deutschland, USA und China wichtige Player*

Eine solche neue Phase der Industrialisierung und Automation wird in der öffentlichen Debatte zumeist mit großen neuen Chancen in Verbindung gebracht. Allerdings ist sie auch mit zahlreichen Herausforderungen verknüpft, die nicht übersehen werden sollten, wenn Industrie 4.0 in einer sowohl wirtschaftlich erfolgreichen als auch sozial verträglichen Form Wirklichkeit werden soll. Die Auswirkungen von Industrie 4.0 können weitreichender Natur sein und auf gesellschaftlicher Ebene den Arbeitsmarkt und das (Berufs-)Bildungssystem betreffen, sowie die sich hieraus ergebenden

*Zahlreiche soziale und wirtschaftliche Auswirkungen*

möglichen sozialen Konsequenzen (z. B. in Bezug auf Einkommenschancen, Arbeitslosigkeit). Weitere Auswirkungen können Aspekte wie Sicherheit, Umwelt und Energiebedarf betreffen, aber auch Kontextfaktoren wie Standort- und regulatorische Rahmenbedingungen (z. B. Arbeitsrecht, Datenschutz und Haftungsfragen).

### Digitale Vernetzung von Dingen und Diensten – Cyber-Physical Systems (CPS)

*Ziel: Produktivität und  
Effizienz erhöhen*

Grundlage für Industrie 4.0 sind vernetzte, echtzeitfähige und selbstoptimierende Produktionssysteme. Diese lockern die Grenzen zwischen den Bereichen Produktion, Dienstleistungen und Konsum, aber auch auf der individuellen Ebene zwischen Arbeit, Konsum, Dienstleistungen und Produktion. Direkte und automatische Datenflüsse sollen Unternehmen in Echtzeit über digitale Netzwerke verbinden. Die Vernetzung von Dingen und Diensten soll über das Internet stattfinden und wird über sogenannte Cyber-Physical Systems (CPS) organisiert. Diese virtuellen Systeme unterstützen die Interaktion und Kommunikation und „verschmelzen“ physische und digitale Systeme zu einem kohärenten, durchgängigen und flexiblen Wertschöpfungsnetzwerk. Das übergeordnete Ziel ist die durchgängige horizontale und vertikale Integration von Prozessschritten und Prozesshierarchien zum Zweck der Erhöhung von Produktivität, Ressourceneffizienz, Qualität und Flexibilität.

*Produktionssysteme  
werden autonom*

Industrie 4.0 in seiner endgültigen Ausprägung bedeutet ein in hohem Maße autonomes, sich selbst konfigurierendes, sensorgestütztes Produktionssystem. In diesem Produktionssystem kommunizieren Menschen, Maschinen, Anlagen, Roboter, Logistiksysteme, Werkstücke und Materialien mittels eingebauter Hard- und Software, internetbasierter Funktechnologien sowie neuer Schnittstellen mit- bzw. untereinander. Maschinen und Anlagen sollen durch geschickte Selbstorganisation dafür sorgen, dass individuelle Kundenwünsche effizient erfüllt werden können. Arbeitsabläufe verketteten sich selbstständig und steuern das dazu benötigte Material an die richtigen Stellen.

*„Intelligente“ Produkte  
helfen bei ihrer eigenen  
Herstellung*

Neben „Smart Factories“ entstehen auch „Smart Products“ die über das „Wissen“ ihres Herstellungsprozesses und künftigen Einsatzes verfügen und den Produktionsprozess aktiv unterstützen. Sie selbst informieren die Maschinen über ihren aktuellen Zustand und bekommen eine künstliche Biografie, d. h. sie kennen ihre Vergangenheit, ihren aktuellen Zustand und ihren Zielzustand.

## Positive wirtschaftliche Effekte werden erwartet ...

Potenziale für positive wirtschaftliche Effekte von Industrie 4.0 werden de facto in allen Industriezweigen gesehen, wenngleich die Nutzenerwartungen je nach Branche unterschiedlich ausfallen. Eine Umfrage unter Industriebetrieben in Deutschland zeigt beispielsweise, dass die erwarteten Umsatzsteigerungen in Branchen mit komplexen (diskreten) Produkten und vielseitigen Kundenspezifikationen wie der Automobilindustrie, dem Maschinen- und Anlagenbau, der Elektro-/Elektronikindustrie sowie der IKT-Industrie deutlich höher ausfallen als etwa in der Prozessindustrie.

*Erwartungen je nach  
Branche unterschiedlich*

Das Industrie 4.0-Konzept erscheint bislang in erster Linie als ein zentrales Thema für die großen internationalen Leitbetriebe. Trotzdem geht es darüber hinaus auch für KMU um die Frage, inwieweit die Digitalisierung ihrer Produkte und Dienstleistungen und die Integration ihrer Wertschöpfungsketten eine zunehmend entscheidende Rolle für den wirtschaftlichen Erfolg spielen wird.

*Auch für KMU eine  
Herausforderung*

Die positiven Erwartungen ergeben sich zum einen aus Kostenreduktionen für Ressourcen (finanzielle, humane und materielle), denen aber hohe Anfangsinvestitionen gegenüber stehen. Zum anderen wird von Industrie 4.0 erwartet, dass die Optimierung von Effizienz und Produktivität während des Betriebes laufend stattfindet, und zwar sowohl innerhalb des Unternehmens als auch über das gesamte Wertschöpfungsnetzwerk. Durch individualisierte Produktion, Flexibilität und hohe Qualitätsstandards soll die Wettbewerbsfähigkeit in Hochlohnländern wie Deutschland und Österreich gesteigert werden. Die digitale Vernetzung eröffnet auch neue Möglichkeiten für Geschäftsmodelle und Dienstleistungen.

*Kostenreduktion  
– aber hohe  
Anfangsinvestitionen*

## ... aber es bestehen auch hohe Ungewissheiten in Bezug auf weitere Auswirkungen

Bei aller Euphorie über die Möglichkeiten, die Industrie 4.0-Konzepte versprechen, besteht ein hohes Maß an Unsicherheit im Hinblick auf weitere Effekte, die eine Einführung von Industrie 4.0 nach sich ziehen könnte:

- Zweifelsohne zählen die Auswirkungen von Industrie 4.0 auf *Beschäftigung* zu den umstrittensten, und zwar sowohl in quantitativer als auch in qualitativer Hinsicht. Es ist bislang unklar, ob Industrie 4.0 tatsächlich den Abbau industrieller Arbeitsplätze aufhalten kann oder sogar beschleunigen wird, da nicht zuletzt auch eine Effizienzsteigerung in Bezug auf den Faktor Arbeit erhofft wird. Dem erwarteten Abbau einfacher manueller Tätigkeiten steht möglicherweise sektoral eine qualitative Anreicherung der Arbeitsaufgaben gegenüber.
- In Bezug auf *Arbeitsorganisation* eröffnet Industrie 4.0 große Gestaltungsspielräume für Unternehmen. Es wird ein breites Spektrum unterschiedlicher Muster der Arbeitsorganisation durch Industrie 4.0 erwartet, die durch zwei Pole begrenzt werden: einer Polarisierung von Aufgaben, Qualifikationen und Personaleinsatz (polarisierte Organisation) und einer größtmöglichen Offenheit und Flexibilität auf Basis hoher

*Herausforderung  
Beschäftigung*

*Herausforderung  
Arbeitsorganisation*

*Herausforderung  
Aus- und Weiterbildung*

Qualifikation der Beschäftigten (Schwarm-Organisation). Die Gestaltung der Mensch-Maschine Teams kann Ausstrahleffekte auf Flexibilität und Arbeitszeiten haben, sowie das Spannungsfeld zwischen Eigenverantwortung und Entgrenzung neu definieren.

- Industrie 4.0 zieht neue Anforderungen für *Aus- und Weiterbildung* sowie generell für die Qualifikation der Beschäftigten nach sich. Die Beherrschung komplexer Fertigungsverfahren und die Entwicklung und Kontrolle datengetriebener Prozesse und Geschäftsmodelle verlangen nach neuen Fähigkeiten und Qualifikationen; dies bedingt neue Anforderungen an Ausbildungsinhalte. Eine große Herausforderung wird in einem möglichen Mangel an adäquat qualifizierten Beschäftigten für die Einführung und den Betrieb der neuen Produktionssysteme gesehen, was die Frage nach den Konsequenzen für gering Qualifizierte nach sich zieht.

*Herausforderung  
Gesundheit*

- Generell steigt mit dem Einsatz von CPS der Automatisierungsgrad und körperlich schwere Aufgaben können an Maschinen übertragen werden. Insofern kann Industrie 4.0 dazu beitragen, negative Folgen für die *Gesundheit* von Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern zu vermeiden. Neue gesundheitliche Risiken sind bislang nur wenig erforscht; eine stärkere Verdichtung der Arbeit und höhere Verantwortung kann allerdings zu höheren psychischen Belastungen führen.

*Herausforderung  
Ressourcen*

- Ein effizienterer *Ressourceneinsatz* wird als eines der zentralen Argumente für Industrie 4.0 angesehen, auch wenn bisherige Abschätzungen ein hohes Maß an Unsicherheit aufweisen. Während in Bezug auf den Materialeinsatz von positiven Effekten ausgegangen werden kann, sind die erwarteten Konsequenzen für den Personaleinsatz in Unternehmen ambivalent.

*Herausforderung  
Wettbewerb*

- Im Hinblick auf *Wirtschaft und Wettbewerb* werden ebenfalls zahlreiche positive Effekte erwartet, die sich aus der verbesserten Ressourceneffizienz, der höheren Flexibilität und den neuen digitalen Geschäftsmodellen ergeben. Die zunehmende Dezentralisierung in flexiblen Wertschöpfungsstrukturen zieht allerdings auch Kontrollprobleme nach sich, die bislang nur in Ansätzen verstanden sind.

*Herausforderung  
Sicherheit*

- Digitale *Sicherheit* wird zwar als wichtige und erfolgskritische Problematik anerkannt, ist aber bislang als eine weitgehend ungelöste Frage anzusehen. Neben den technischen Sicherheitsaspekten der Vernetzung und Automatisierung gelten mangelndes Sicherheitsbewusstsein und fehlende Akzeptanz von Cybersecurity-Lösungen als wichtige Ansatzpunkte für die Verbesserung der Sicherheit von Industrie 4.0-Prozessen.

*Herausforderung  
Standardisierung*

- Voraussetzung für die horizontale und vertikale Vernetzung sind klar definierte *technische Standards*, um einen reibungsfreien maschinen-, system- und software-übergreifenden Informationsaustausch zu ermöglichen. Die Etablierung derartiger Standards bestimmt daher die Möglichkeit und Geschwindigkeit, mit der sich Industrie 4.0-Konzepte durchsetzen können.

- Industrie 4.0 wirft neue Fragen in Bezug auf rechtliche Rahmenbedingungen und *Regulierung* auf. Bestehende Regulierungen können sich als Barrieren erweisen. Es kann aber auch ein Bedarf an neuen Regulierungen erwachsen, um Rechtsicherheit für Industrie 4.0 zu schaffen oder Risiken zu reduzieren. Zu zentralen Bereichen, in denen durch Industrie 4.0 ein Anpassungsbedarf entsteht, zählen Haftung und Datenschutz sowie Arbeits- und Sozialrecht.

*Herausforderung  
Regulierung*

Die hohen Erwartungen, die mit Industrie 4.0 in Bezug auf das Ziel einer Re-Industrialisierung verbunden werden, sind vor dem Hintergrund der verschiedenen Sekundäreffekte mit Vorsicht zu betrachten. Allerdings sollte auch klar sein, dass es kaum noch um die Frage gehen kann, ob Industrie 4.0-Konzepte die Wirtschaft der Zukunft prägen werden oder nicht, sondern dass es angesichts der globalen Entwicklungsdynamik vor allem um die Frage gehen sollte, wie und mit welchen strategischen Zielen und Begleitmaßnahmen wir die Entwicklung hin zu Industrie 4.0 ausgestalten wollen und können.

*Hohe Erwartungen mit  
Vorsicht betrachten*

*Welche Entwicklung  
von Industrie 4.0 wollen  
wir gestalten?*

Als Entscheidungshilfe für solche Gestaltungsprozesse ist zu einzelnen Wirkungsfeldern noch eine vertiefende Analyse gefordert, um die Bandbreite an möglichen Auswirkungen, Chancen und Risiken sowie Handlungsoptionen besser abschätzen zu können. Dies betrifft insbesondere die Themenkreise:

*Vertiefende Analysen  
zu bestimmten  
Wirkungsfeldern  
erforderlich*

- neue Geschäftsmodelle und Auswirkungen auf Wertschöpfungsketten und KMU,
- Arbeit und Beschäftigung,
- Aus- und Weiterbildung,
- Sicherheit (Safety und Security)

Darauf aufbauend sollen politische Handlungsoptionen zur langfristigen gesellschaftsverträglichen Gestaltung von Industrie 4.0 skizziert werden – insbesondere die des österreichischen Parlaments.



# 1 Einleitung

## 1.1 Warum Industrie 4.0?

Die Fähigkeit, international konkurrenzfähige Produkte herzustellen und Produktivitätssteigerung zu erzielen, ist zentral für das Wirtschaftswachstum eines industrialisierten, wissensbasierten Landes wie Österreich. Mehr noch, auch Europas wirtschaftliche Zukunft ist eng mit dem Erfolg seiner Industrie verknüpft. Die Sachgütererzeugung ist auch im 21. Jahrhundert eine unverzichtbare Basis für Beschäftigung und Wertschöpfung am europäischen Standort. Dieser Befund spiegelt sich auch in dem 2012 von der EU Kommission formulierten Ziel wider, den Wertschöpfungsanteil der Sachgütererzeugung EU weit von durchschnittlich 15 % auf 20 % zu heben und damit die Re-Industrialisierung Europas voranzutreiben.

Mit einem Anteil von knapp 19 % an der gesamten Bruttowertschöpfung Österreichs liegt die österreichische Sachgütererzeugung (NACE C) in ihrer Bedeutung über dem entsprechenden EU Durchschnitt von derzeit rd. 15 %. Von den westeuropäischen Ländern hat Deutschland mit rd. 22 % den größten Industrieanteil an der nationalen Wertschöpfung, gefolgt von Österreich und der Schweiz (19 %). Nur osteuropäische Länder wie bspw. Polen, Tschechien, Slowakei, Ungarn und Slowenien zeigen vergleichbare oder sogar noch höhere Industrieanteile. Im Vergleich dazu weisen Volkswirtschaften wie Frankreich, Spanien, Portugal, Großbritannien sowie die Niederlande einen deutlich niedrigeren Industrieanteil auf.

Im Wesentlichen haben nur Deutschland und die osteuropäischen Länder es bis dato geschafft, ihren Industrieanteil seit der Finanz- und Wirtschaftskrise wieder zu steigern und damit die Sachgütererzeugung zu einem Motor der nationalen Wirtschaftsentwicklung zu machen. In den anderen westeuropäischen Ländern, auch in Österreich, stagniert der Wertschöpfungsanteil der Sachgütererzeugung de facto auf dem Niveau des Krisenjahres 2009 oder ist sogar noch weiter gesunken (bspw. in Finnland oder Schweden).<sup>1</sup>

Die volkswirtschaftliche Leistungskraft Österreichs ist maßgeblich von der Sachgütererzeugung und damit der Industrie abhängig. Die Unternehmen der österreichischen Sachgütererzeugung erwirtschafteten im Jahr 2012 mit ihren rd. 616 Tsd. Beschäftigten 48,3 Mrd. Euro an Bruttowertschöpfung. Damit ist die nominelle Wertschöpfung auf demselben Niveau wie vor Ausbruch der Krise im Jahr 2007, die Anzahl der Beschäftigten um 3,4 % niedriger.<sup>2</sup>

*Wirtschaftliche Zukunft eng mit der Entwicklung der Industrie verbunden*

*Re-Industrialisierung Europas*

*Sachgütererzeugung als unverzichtbare Basis für Wertschöpfung*

*Industriebeschäftigung niedriger als vor der Krise*

---

<sup>1</sup> Quelle: Eurostat Datenbank

<sup>2</sup> Quelle: Statistik Austria Datenbank

*Industrie als  
Schlüsselfaktor  
für Export und  
Beschäftigung*

Der Wohlstand in Österreich hängt auch entscheidend von seinen industriellen Exporten und internationalen Wirtschaftsbeziehungen ab. Die Exportquote der Sachgütererzeugung liegt bei mehr als 60 %. Wichtigster Außenhandelspartner ist mit Abstand Deutschland, gefolgt von Italien, USA, Schweiz und Frankreich. Aber auch osteuropäische Länder, Russland und China spielen eine wichtige Rolle in den Wirtschaftsbeziehungen österreichischer Exportbetriebe. Industrie und Dienstleistung sind dabei eng verwoben. Jeder Arbeitsplatz in der Industrie schafft weitere Arbeitsplätze im vor- und nachgelagerten Dienstleistungsbereich.

*Individuelle Produkte  
und Dienstleistungen*

Die ambitionierte Re-Industrialisierung Europas ist jedoch nur machbar, wenn es den europäischen Ländern bzw. Industrieunternehmen gelingt, sich an die Dynamik der globalen Nachfragemärkte und die zunehmende Individualisierung der Produkt- und Leistungsangebote zeitnah anzupassen und entsprechende Investitionen zu tätigen. Diese Anpassungsfähigkeit erfordert einerseits eine hohe Flexibilität in der Leistungserstellung und andererseits eine hohe Wandlungsfähigkeit in Technologien, Prozessen, Ressourcen und Strukturen. Die Herstellung von Produkten in Europa ist dabei einem starken Kosten- und damit Effizienz- bzw. Produktivitätsdruck ausgesetzt.

*Erhöhung der Flexibilität  
und Produktivität*

## 1.2 Re-Industrialisierung mit Industrie 4.0

*Digitalisierung der  
Produktion*

Auf dem Pfad der Re-Industrialisierung europäischer Wirtschaftsstandorte und damit internationaler Wettbewerbsfähigkeit werden große Hoffnungen in die Digitalisierung und durchgehende Vernetzung der industriellen Wertschöpfungsprozesse gesetzt. Eine Entwicklung, die jüngst als „Industrie 4.0“ bezeichnet wird und ihren begrifflichen Ursprung in Deutschland hat. In Anlehnung an eine mögliche vierte industrielle Revolution wird Industrie 4.0 gegenwärtig intensiv diskutiert und als große Chance aber auch Herausforderung für Industrie und Produktionsstandorte in Industrieländern gesehen.

*Vernetzt*

*Echtzeitfähig*

*Selbstoptimierend*

Mit dem Anspruch, ein qualitativ neuartiges Niveau von Produktionsautomatisierung zu erreichen, hebt sich Industrie 4.0 bewusst von bisherigen Automatisierungskonzepten ab. Grundlage für Industrie 4.0 sind vernetzte, echtzeitfähige und selbstoptimierende Produktionssysteme. Diese verschieben die Grenzen zwischen den Bereichen Produktion, Dienstleistungen und Konsum, aber auch auf der individuellen Ebene zwischen Arbeit, Konsum, Dienstleistungen und Produktion. Direkte und automatische Datenflüsse sollen Unternehmen in Echtzeit über digitale Netzwerke verbinden. Diese Vernetzung von Dingen<sup>3</sup> und Diensten wird über sogenannte

<sup>3</sup> Die Verknüpfung von physischen Objekten über eine digitale Netzwerkstruktur wird als „Internet der Dinge“ (IoT) bezeichnet. Das Internet besteht dabei nicht mehr nur aus menschlichen Teilnehmern, sondern auch aus Dingen. Daraus entsteht ein großes Potential für neue Internetdienste für den kommerziellen oder auch privaten Anwender.

Cyber-Physical Systems (CPS) koordiniert und soll dabei über das Internet stattfinden. Diese virtuellen Systeme unterstützen dabei die Interaktion und Kommunikation und „verschmelzen“ physische und digitale Systeme zu einem kohärenten, durchgängigen und flexiblen Wertschöpfungsnetzwerk. Das übergeordnete Ziel ist die durchgängige horizontale und vertikale Integration von Prozessschritten und Prozesshierarchien zum Zweck der Erhöhung von Produktivität, Ressourceneffizienz, Qualität und Flexibilität.

Die Modellierung und Ausgestaltung solcher CPS, deren Systemarchitekturen sind dabei entscheidend dafür, wie Industrie 4.0-Netzwerklösungen in der Praxis tatsächlich ausgestaltet sind und welche Konsequenzen das nicht zuletzt auch für die Beschäftigten und die zukünftige Arbeit hat.

*Wie CPS ausgestaltet werden hat Konsequenzen für die Produktionspraxis und die Beschäftigten*

### 1.3 Vielfältige Wirkungsdimensionen

Aus europäischer und österreichischer Perspektive ist die Weiterentwicklung von Produktions- und Prozesstechnik sowie Informations- und Kommunikationstechnologie im Rahmen von Industrie 4.0 zentral für die Sicherung des Wirtschaftsstandorts und des sozialen Wohlstands. Zudem werden auch positive Effekte auf die Umwelt sowie den Ressourcen- und Energieverbrauch gesehen. In den aktuellen Debatten rücken aber auch die weitreichenden gesellschaftlichen Auswirkungen von Industrie 4.0 zusehends in den Blick. Denn bei einer breitflächigen Einführung von integrierten Produktionssystemen ist mit einer nachhaltigen Veränderung von Organisations- und Arbeitsstrukturen mit beträchtlichen Auswirkungen auf mehreren Ebenen zu rechnen.

*Weitreichende Auswirkungen*

Auf betrieblicher Ebene geht es um das Zusammenspiel der technischen Neuerungen, der dafür notwendigen Standards, Schnittstellen und Sicherheitsanforderungen und damit einhergehender personeller und organisatorischer Veränderungen. Letzteres betrifft vor allem Arbeitsorganisation, Personaleinsatz, Qualifikationsanforderungen und Tätigkeitsprofile, sowohl qualitativ als auch quantitativ. Auswirkungen auf überbetrieblicher Ebene betreffen Veränderungen in der gesamten Wertschöpfungskette, bei Standards, Sicherheitsfragen, Planung, Produktion bis Logistik und Transport; bzw. Auswirkungen auf den Unternehmensverbund und die zwischenbetrieblichen Beziehungen einschließlich Branchenstrukturen. Auf gesellschaftlicher Ebene sind Arbeitsmarkt und (Berufs-)Bildungssystem unmittelbar betroffen und damit verbunden mögliche soziale Auswirkungen (z. B. Einkommenschancen, Arbeitslosigkeit). Darüber hinaus zu untersuchende Wirkungsdimensionen betreffen Aspekte wie Sicherheit, Umwelt und Energiebedarf, aber auch Kontextfaktoren wie Standort- und regulatorische Rahmenbedingungen (z. B. Arbeitsrecht, Datenschutz und Haftungsfragen).

*Vielfältige Veränderungen in verschiedensten Wirkungsbereichen*

### Gestaltung für nachhaltige Entwicklung

Um eine langfristige und gesellschaftlich nachhaltige Entwicklung von Industrie 4.0 zu gewährleisten, ist daher eine Auseinandersetzung mit folgenden Fragen geboten:

- Welche Auswirkungen sind von einer Einführung von Industrie 4.0 auf betrieblicher, überbetrieblicher und gesellschaftlicher Ebene zu erwarten?
- Welche nicht intendierten, möglicherweise gesellschaftlich unerwünschten Folgen könnten mit bestimmten Industrie 4.0-Entwicklungen einhergehen?
- Zeigen sich Spannungsfelder, die auf einen politischen Handlungsbedarf verweisen?
- Was wären gesellschaftlich wünschenswerte Zukünfte von Industrie 4.0 aus der Perspektive unterschiedlicher Akteure?
- Welche Entwicklungsoptionen lassen sich feststellen, die von verschiedenen Akteuren präferiert werden?
- Welche Governance-Prozesse und (FTI-)politischen Instrumente sind geeignet, um Industrie 4.0 langfristig zu gestalten?

## 1.4 Zielsetzung des vorliegenden Papiers

### Abschätzung der Auswirkungen und Gestaltungsoptionen

Das laufende „Pilotprojekt Industrie 4.0“ für das österreichische Parlament soll Gestaltungsoptionen für die konzeptionelle Weiterentwicklung und praktische Umsetzung von Industrie 4.0 untersuchen. Es gilt, eine Abschätzung der Auswirkungen auf unterschiedlichen Ebenen vorzunehmen und einen Diskurs zwischen unterschiedlichen Akteuren und Stakeholdern anzustoßen, um unterschiedliche Erwartungen, Anforderungen und Innovationspfade auszuloten. Darauf aufbauend sollen politische Handlungsoptionen zur langfristigen gesellschaftsverträglichen Gestaltung von Industrie 4.0 skizziert werden – insbesondere die des österreichischen Parlaments.

### Grundlage für die vertiefende Analyse von zwei Wirkungsbereichen

Das vorliegende Hintergrundpapier dient als Grundlage für einen ersten Workshop mit dem parlamentarischen Projektbeirat und soll die Voraussetzungen schaffen, um informiert zwei Wirkungsbereiche identifizieren zu können, die in der Folge vertieft analysiert werden sollen. Aufbauend auf einer Charakterisierung von Industrie 4.0 und damit verbundener Ziele und Nutzenerwartungen werden zentrale Wirkungsdimensionen (Chancen und Risiken), kontroverse Thematiken und damit verbundene Herausforderungen diskutiert. Dabei soll insbesondere auch die Situation in Österreich vor dem Hintergrund internationaler Entwicklungen erfasst werden. Schlussendlich wird ein erstes Fazit im Hinblick auf jene Themen bzw. Wirkungsfelder gezogen, die eine vertiefende Auseinandersetzung seitens des österreichischen Parlaments besonders angebracht erscheinen lassen.

## 2 Charakteristika von Industrie 4.0

Industrie 4.0 bezeichnet die vierte industrielle Revolution. Nach der Mechanisierung der Produktion durch Dampf- und Wasserkraft (Industrie 1.0) folgten die Elektrifizierung mit dem Ausbau der tayloristischen Fließbandproduktion (Industrie 2.0) und schließlich die automatisierte Massenfertigung mit Hilfe von Elektronik und numerischer Kontrolle (Industrie 3.0). Der vierte Schritt zu Industrie 4.0 wird durch die digitale, intelligente, durchgängig vernetzte und selbststeuernde Produktion definiert. Ermöglicht wird dies durch die Verschmelzung von Produktionstechniken mit Informationstechnologien (IT) und Internet. Dies soll eine neue Phase der Industrialisierung und Automation einläuten, mit großen Chancen wie auch Herausforderungen.

Der Begriff „Industrie 4.0“ wurde in Deutschland geprägt und im Rahmen der Formulierung der deutschen High-tech-Strategie im Jahr 2012 als Zukunftsprojekt definiert. Die deutsche Plattform Industrie 4.0, welche das Projekt vorantreibt wurde bis Anfang 2015 von den drei Unternehmensverbänden BITKOM, VDMA und ZVEI getragen und nun auf eine breitere politische und gesellschaftliche Basis gestellt (vgl. Kap. 5.2). Im Lenkungs-kreis der Plattform sind 14 namhafte deutsche Leitbetriebe vertreten.

Das Konzept einer durchgängigen und selbststeuernden Vernetzung industrieller Wertschöpfungsketten auf Basis des „Internet der Dinge und Dienste“ wurzelt nicht zufällig in Deutschland, bezeichnet sich Deutschland doch selbst als „Fabrikusstatter für die Welt“ und hat einen starken Industrie-sektor, der neueste Produktionstechnologien entwickelt, anwendet und weltweit zum Einsatz bringt.

Neben Deutschland sehen aber auch andere europäische und außereuropäische Industrieländer sowie die Europäische Kommission die Entwicklung und den Einsatz von neuen, zusehends vernetzten Produktions- und Prozesstechnologien als strategische Herausforderung für die Zukunft der industriellen Fertigung. International werden daher auch Begriffe wie „Advanced Manufacturing“, „Digital Manufacturing“, „Industrial Internet“, „Les Usines du Futur“ oder „Smart Industries“ gebraucht, die allesamt wie „Industrie 4.0“ Technologiepfade bezeichnen, die eine neue Form der Industrialisierung auf Basis von intelligenten, digitalen Netzwerken und neuen Produktionstechniken ermöglichen sollen.

Im Kern geht es bei Industrie 4.0 darum, dass sich die Produktionstechnologie und die Informations- und Kommunikationstechnologie in neuer Qualität verbinden. IT Systeme sind auch schon gegenwärtig ein Herzstück eines jeden Produktionssystems. Jedoch werden diese in Zukunft über das Internet bei weitem stärker vernetzt sein als bisher. Maschine-zu-Maschine-Kommunikation kann in globalen Netzwerken autonom Informationen austauschen, Aktionen auslösen und Systeme steuern.

*Die vierte industrielle Revolution*

*Verschmelzung von Produktionstechnik mit Informationstechnologie und Internet*

*Industrie 4.0 – deutscher Begriff für weltweiten Trend*

*Promotoren der ersten Stunde: Verbände und Leitbetriebe*

*Strategische Herausforderung für die industrielle Fertigung*

*Maschinen lernen miteinander zu sprechen*

*Produktionssysteme  
werden autonom*

Industrie 4.0 in seiner endgültigen Ausprägung bedeutet ein in hohem Maße autonomes, sich selbst konfigurierendes, sensorgestütztes Produktionssystem. In diesem Produktionssystem kommunizieren Menschen, Maschinen, Anlagen, Roboter, Logistiksysteme, Werkstücke und Materialien mittels eingebauter Hard- und Software, internetbasierter Funktechnologien sowie neuer Schnittstellen mit- bzw. untereinander. Maschinen und Anlagen sollen durch geschickte Selbstorganisation dafür sorgen, dass individuelle Kundenwünsche effizient erfüllt werden können. Arbeitsabläufe verketteten sich selbstständig und steuern das dazu benötigte Material an die richtigen Stellen.

*Wertschöpfung in  
intelligenten Fabriken  
und im Netzwerk*

Industrie 4.0 findet in so genannten „Smart Factories“, in intelligenten Fabriken statt, welche in eng verzahnten und hochkomplexen Wertschöpfungsnetzwerken mit anderen Produzenten, Lieferanten, Dienstleistern und Kunden zusammenarbeiten.

Sowohl die durchgehende vertikale Integration sämtlicher Prozessschritte und Prozesshierarchien innerhalb der „Smart Factory“ als auch die horizontale Integration im Wertschöpfungsnetzwerk selbst wird über sogenannte „Cyber-Physical Systems“ (CPS) organisiert. Diese virtuellen Systeme unterstützen die Echtzeit-Interaktion und Kommunikation und „verschmelzen“ physische und digitale Systeme zu einem kohärenten, durchgängigen und flexiblen Netzwerk.

*Zunehmende  
Automatisierung –  
Weniger Menschen in  
Fabriken?*

Fabriken werden digitaler, möglicherweise menschenärmer, sind elektronisch vernetzt und weisen einen zunehmend hohen Automatisierungsgrad auf. Die Kooperationsintensität nimmt in solchen Produktionsnetzwerken stark zu. Das „Internet der Dinge und Dienste“ ist dafür die infrastrukturelle Voraussetzung.

Damit kommt es zu einem Paradigmenwechsel in der Interaktion von Mensch und Maschine, eine neue Qualität und Intensität sozio-technischer Interaktion entsteht. Mensch und Maschine sollen in diesen Wertschöpfungsnetzwerken gemeinsam zu Entscheidungen kommen. Zugleich sollen Beschäftigte bei höherer Komplexität mehr Steuerungskompetenz und Flexibilität erhalten.

*„Intelligente“ Produkte  
helfen bei ihrer eigenen  
Herstellung*

Neben „Smart Factories“ entstehen auch „Smart Products“ die über das Wissen ihres Herstellungsprozesses und künftigen Einsatzes verfügen und den Produktionsprozess aktiv unterstützen. Sie selbst informieren die Maschinen über ihren aktuellen Zustand und bekommen eine künstliche Biografie, d. h. sie kennen ihre Vergangenheit, ihren aktuellen Zustand und ihren Zielzustand.

Die Modellierung und Ausgestaltung solcher CPS und deren Systemarchitekturen sind entscheidend dafür, wie Industrie 4.0-Netzwerklösungen in der Praxis tatsächlich umgesetzt werden und welche Konsequenzen sich daraus nicht zuletzt auch für die Beschäftigten und deren Arbeit ergeben.

Die technologische Basis für die Entwicklung von CPS wurde in den letzten Jahren entscheidend verbessert. Die wichtigsten zehn Eckpunkte, welche diese Konvergenz von Technologien antreiben, sind:

- Miniaturisierung und Performancezuwachs bei Prozessoren, Speichern und Sensoren
- Automatisierung und Steuerung von Prozessen und Maschinen mittels Sensorik, Aktorik, Prozessoren
- Autonome Systeme wie lernfähige Industrieroboter und Software-Agenten
- Identifikation von Objekten, Maschinen, Menschen mittels Radio-Frequency Identification (RFID) etc.
- Erweiterung des Internets der Dienste um das Internet der Dinge zu einem „Internet der Dinge und Dienste“<sup>4</sup> dank eines neuen Internetprotokolls (Version 6 – IPv6)
- Nahezu grenzenlose Kommunikation von intelligenten Objekten, Maschinen und Menschen unter- bzw. miteinander über Mobilfunknetze mittels SIM Technologie
- Verarbeitung unterschiedlicher Daten in der „Cloud“ mit Big-Data Verfahren, um bspw. Zustand von Maschinen und Verhalten von Menschen vorherzusehen
- Zugriff auf Daten mit Hilfe neuer, mobiler Schnittstellen und Augmented-Reality-Anwendungen
- Virtuelles Design und digitale Modellierung von Produkten und Prozessen entlang der gesamten Wertschöpfungskette (Durchgängiges Engineering)
- Weiterentwicklung des 3D-Drucks und anderer dezentraler Produktionstechnologien, welche den Weg vom virtuellen Design hin zur physischen Realisierung verkürzen

*Technologische  
Grundlagen für die  
Entwicklung von CPS  
und Industrie 4.0*

Produktionssysteme und Wertschöpfungsnetzwerke, in denen intelligente Produkte, Maschinen, Betriebsmittel und Vernetzungstechnik eigenständig Informationen austauschen, Aktionen auslösen und sich gegenseitig selbstständig steuern, werden sicher nicht von heute auf morgen Realität werden, sind aber auch keine ferne Vision mehr, wie existierende Beispiele aus der Produktionspraxis zeigen (vgl. Bauernhansl et al. 2014).

---

<sup>4</sup> Die Nutzung des Internets der Dinge und Dienste wird nicht nur die Produktion verändern sondern auch viele andere Bereiche der Wirtschaft, insbesondere Dienstleistungs- und Versorgungssysteme: hier wird dann nicht von Smart Factory sondern von Smart Mobility, Smart Grids, Smart Buildings und Smart Health gesprochen.



### 3 Ziele und erwarteter Nutzen von Industrie 4.0

Hauptzielsetzung von Industrie 4.0 aus Unternehmensperspektive ist es, „die übergeordneten Ziele Ressourcenproduktivität und -effizienz situationsbezogen zu optimieren“ (vgl. acatech 2013, 66). Konkret bedeutet dies, dass Industrie 4.0-Lösungen helfen sollen, Kosten deutlich zu reduzieren und Produktivität erheblich zu steigern. Ressourcen sollen effizienter genutzt werden, während Menschen und Maschinen (noch) produktiver arbeiten (vgl. Roland Berger Strategy 2014a, 10).

Um im globalen Wettbewerb zu bestehen, sollen die Produktionsabläufe mit Hilfe von Sensoren, vernetzten Maschinen und neuen Steuerungsalgorithmen zur „Smart Factory“ weiterentwickelt werden. Es gibt auch heute bereits stark optimierte Fertigungsprozesse, die jedoch in einer festgelegten Sequenz abgearbeitet werden. Neu bei Industrie 4.0 ist die Vision, dass die Optimierung von Effizienz und Produktivität während des Betriebes laufend stattfindet, und zwar sowohl innerhalb des Unternehmens als auch über das gesamte Wertschöpfungsnetzwerk. Damit soll die Wettbewerbsfähigkeit in Hochlohnländern wie Deutschland und Österreich deutlich gesteigert werden.

Potenziale für positive wirtschaftliche Effekte von Industrie 4.0 werden de facto in allen Industriezweigen gesehen, wenngleich die Nutzenerwartungen je nach Branche unterschiedlich ausfallen. Eine Studie von PwC (2014) unter Industriebetrieben aus Deutschland etwa kommt zum Schluss, dass die erwarteten Umsatzsteigerungen in Branchen mit komplexen (diskreten) Produkten und vielseitigen Kundenspezifikationen wie der Automobilindustrie, dem Maschinen- und Anlagenbau, der Elektro-/Elektronikindustrie sowie der IKT-Industrie deutlich höher ausfallen als etwa in der Prozessindustrie. Nichtsdestotrotz wollen sämtliche deutsche Industriebranchen in die Digitalisierung ihrer Wertschöpfungsketten massiv investieren.

Gegenwärtig stehen 55 % der deutschen Produktionsunternehmen in Bezug auf Industrie 4.0 Anwendungen noch am Anfang, rd. 30 % haben bereits eine Umsetzungsstrategie erarbeitet. Lediglich 6 % behaupten von sich, ausgeprägte Industrie 4.0 Kapazitäten im Unternehmen zu vereinen (vgl. Capgemini Consulting 2014). Ausgehend von diesem relativ niedrigen Umsetzungsstand wollen in fünf Jahren im Schnitt 80 % der untersuchten Unternehmen einen hohen Digitalisierungsgrad aufweisen (vgl. PwC 2014, 6).

Auch wenn bis dato das Industrie 4.0-Konzept in erster Linie als ein zentrales Thema für die großen internationalen Leitbetriebe erscheint, sind auch immer mehr KMU damit konfrontiert, dass die Integration ihrer Wertschöpfungsketten und die Digitalisierung ihrer Produkte und Dienstleistungen zusehends entscheidend für den internationalen Erfolg sein werden. Die Frage der Wirtschaftlichkeit und Umsetzung der dafür notwendigen Investitionen sowie deren Finanzierbarkeit bedeuten dabei insbesondere für KMU jedoch nicht zu unterschätzende Herausforderungen (vgl. Deutsche Bank 2014, 7 und 16). 46 % der deutschen Produktionsunternehmen sehen darin die größten Barrieren (vgl. PwC 2014, 37).

*Was verspricht sich die Wirtschaft von Industrie 4.0?*

*Was ist das Neue an Industrie 4.0?*

*Erwarteter Nutzen je nach Branche unterschiedlich*

*Umsetzung noch am Anfang*

*Große Herausforderung insbesondere für KMU*

### 3.1 Reduktion von Kosten

Im Wesentlichen lassen sich *drei Bereiche* von Ressourcen und deren Einsatz unterscheiden, in welchen durch Industrie 4.0 Lösungen Ressourceneffizienz gesteigert bzw. Kosten reduziert werden sollen (vgl. acatech 2013, 66 und Deutsche Bank 2014, 7):

Potenzial für  
Kostenreduktion  
und effizientere  
Ressourcennutzung in  
drei Bereichen

1. *Finanzielle Ressourcen* in Form erforderlicher Investitionen und Betriebskosten (Kapitalkosten): Unternehmen, die ihre Wertschöpfungsketten optimieren und die flexible Fertigungsautomation steigern, reduzieren ihr gebundenes Kapital.
2. *Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe* sowie alle Formen von *Energieträgern* einschließlich deren Umwandlung (Rohstoff- und Energiekosten): Unternehmen können Kosten durch Verringerung beim Verbrauch einsparen. Dies wird bspw. möglich durch effizientere Abläufe, antizipative Wartung, weniger Ausschuss, geringere Fehlerzahl, effizientere Qualitätskontrolle sowie Produktionsplanung. Zudem werden Versorgungsrisiken verringert und die ökologische Nachhaltigkeit erhöht.
3. *Humane Ressourcen* in Form menschlicher Arbeitskraft (Personalkosten): Unternehmen mit einem hohen Grad an Automation benötigen im Verhältnis zu ihrem Produktionsvolumen im Regelfall weniger Personal. Die Personalkosten sinken in Relation, eventuell auch absolut.

Hohe  
Investitionsbelastung

Gleichzeitig kann es sich auch herausstellen, dass die erzielten Kosteneinsparungen durch Industrie 4.0 Lösungen bei einer Vollkostenberechnung für einzelne Firmen vernachlässigbar bleiben. Mehr noch, es kann sogar sein, dass die ökonomische Effizienz, zumindest kurzfristig, insgesamt sinkt, weil Produktionsunternehmen zunächst in beträchtlichem Ausmaß in Industrie 4.0 investieren müssen (vgl. Deutsche Bank 2014, 12). Auch wenn die Nutzung bestehender Produktionsanlagen weiterhin möglich bleiben soll, so muss ein Industrie 4.0-Netzwerk aufgesetzt und die entsprechenden Schnittstellen geschaffen werden (vgl. Roland Berger Strategy 2014b, 14). Dadurch entstehen erhebliche Investitionskosten (z. B. für Beratung, Software, Hardware, Training, Reorganisation), die nicht zuletzt für KMU eine erhebliche Barriere darstellen können. Die Einschätzungen des insgesamt zweifellos sehr hohen Investitionsbedarfs für Industrie 4.0 divergieren sehr stark: eine aktuelle Kalkulation (Roland Berger Strategy 2014a, 15) veranschlagt ihn europaweit bis 2030 auf jährlich € 60 Mrd.; eine andere (BCG 2015, 9) kommt auf € 250 Mrd. bis 2025 allein in Deutschland.

Stark divergierende  
Schätzungen beim  
Investitionsbedarf

Daher wird eine wesentliche Herausforderung für Industrie 4.0 darin liegen, den klaren Nachweis zu erbringen, dass der Zusatzeinsatz an Ressourcen durch CPS und Industrie 4.0-Lösungen einschließlich der dazu nötigen Infrastruktur auch ein ausreichend hohes Potenzial zur Steigerung der Ressourceneffizienz und -produktivität aufweist (vgl. acatech 2013, 66).

## 3.2 Mannigfaltiger Nutzen soll Produktivität und Umsatz erhöhen<sup>5</sup>

Industrie 4.0 bedeutet jedoch weit mehr als nur die Einsparung von Kosten bzw. die Erhöhung der Ressourceneffizienz. Die durchgängige vertikale und horizontale digitale Integration und Vernetzung soll sich auf unterschiedliche Parameter wie z. B. Flexibilität und Durchlaufzeit positiv auswirken, wodurch Produktivität und Erlöse deutlich gesteigert werden können. Etliche Experten sehen in Industrie 4.0 den Schlüssel zur Absicherung eines wettbewerbsfähigen europäischen Industriestandortes.

*Welche wirtschaftlichen Effekte werden erwartet?*

So könnte mit Industrie 4.0 bzw. dem „Industrial Internet“ (USA) die industrielle Wertschöpfung einen deutlichen Sprung machen: General Electric und Weltbank sehen bis 2030 ein Wachstumspotenzial von rd. 6 Tsd. Mrd. US Dollar für das weltweite BIP – ein Zuwachs von knapp neun Prozent (vgl. Z-punkt 2014, 19). Das Beratungsunternehmen Roland Berger erwartet deutliche Wachstumseffekte durch die Verbreitung der digitalen Industrie: Während die Weltwirtschaft im Zeitraum 2014 bis 2020 jährlich im Schnitt 2,5 % wachsen soll, verspricht das Industrie 4.0-Segment (Anwender und Ausrüster) weltweit ein Wachstum von knapp 6 % bzw. rd. 800 Mrd. USD jährlich (vgl. Roland Berger Strategy 2014b, 32).

Laut einer Studie von PwC erwarten deutsche Industrieunternehmen durch die bessere digitale Steuerung von horizontalen und vertikalen Wertschöpfungsketten Effizienz- bzw. Produktivitätssteigerungen von insgesamt mehr als 18 % in den nächsten fünf Jahren. Tatsächlich geht aber mehr als ein Drittel der Unternehmen von noch größeren Potenzialen aus. Durch die Digitalisierung und Vernetzung der eigenen Produkte und Dienstleistungen werden für Deutschland zusätzliche Umsatzsteigerungen von durchschnittlich 2-3 % pro Jahr erwartet, was einem Mehrumsatz von bis zu 30 Mrd. Euro entspricht (vgl. PwC 2014, 6). Umgelegt auf Österreich wären demnach durch Industrie 4.0-Lösungen Mehrumsätze für die österreichische Sachgütererzeugung von rd. 3,5 bis 5 Milliarden Euro pro Jahr zu erwarten.

*Überhöhte Erwartungen?*

Dieses Steigerungspotenzial bei Effizienz, Produktivität, Umsatz und damit Wertschöpfung wird konkret durch Verbesserungen bei folgenden Produktionsparametern erwartet: Flexibilität/Qualität, Durchlaufzeiten, Individualisierung bei kleinen Losgrößen, neue Geschäftsmodelle und Dienste sowie Arbeitsorganisation (vgl. acatech 2013, 19 ff. und Deutsche Bank 2014, 7 f.):

Durch die unternehmensinterne und -übergreifende Vernetzung über CPS können Geschäftsprozesse bspw. in den Dimensionen Rohstoffe, Qualität, Zeit, Risiko, Robustheit, Preis, Umweltverträglichkeit dynamisiert und flexibel gestaltet werden. Engineering-Prozesse können agil gestaltet, Produktionsvorgänge situationsbezogen über das gesamte Wertschöpfungs-

*Flexibilisierung/Qualität*

<sup>5</sup> Die derzeit verfügbaren Nutzenabschätzungen basieren weitgehend auf Unternehmensumfragen und daraus abgeleiteten Prognosen durch Consultingunternehmen. An methodisch stringenten wissenschaftlichen Analysen herrscht noch ein Mangel.

netzwerk fortlaufend optimiert werden. Auf kurzfristige Veränderungen in der Nachfrage oder auch auf Ausfälle (beispielsweise bei Zulieferern) kann rasch reagiert werden. In der digitalen Fabrik der Zukunft sollen sich individuelle Produktionslinien selbstständig organisieren und an Nachfrageschwankungen anpassen. Wenn eine Produktionsmaschine ausfällt, wird die Produktion autonom reorganisiert. Maschinen melden antizipativ Wartungsbedarf an oder warten sich selbst. Betriebsmittel und Rohstoffe werden optimal eingesetzt. Transparenz und Reproduzierbarkeit der sensorunterstützten Prozesse ermöglichen eine höhere Qualität in Prozess und Produkt. Als Vorteil gegenüber einer Wahrnehmung dieser Aufgaben durch Menschen wird u. a. eine durch autonome Steuerung in Echtzeit ermöglichte frühere und raschere Erledigung sowie Ressourceneinsparung angeführt.

#### *Individualisierte Produktion*

Ein Charakteristikum von Industrie 4.0 ist die kundenspezifische Massenanfertigung in der mit kleiner Losgröße und hoher Variabilität produziert wird. Die Berücksichtigung von individuellen kundenspezifischen Kriterien bspw. bei Design, Planung, Produktion und Betrieb einschließlich kurzfristiger Änderungswünsche noch während der Produktionsphase werden möglich. Dank generativer Fertigungsverfahren wie bspw. 3D-Druck und intelligenter, dezentraler Prozessorganisation soll selbst die massenweise Produktion von Einzelstücken und Kleinserien (bis zu Losgröße 1) rentabel werden, bspw. in der Automobil- und in der Möbelindustrie. Der zentrale Vorteile dabei: Im Idealfall wird nur produziert was auch verkauft wird.

#### *Optimierung von Durchlaufzeiten*

Die nahtlose Datensammlung und -aufbereitung erlaubt es, richtige Entscheidungen kurzfristig und dezentral treffen zu können. Die durchgängige Transparenz in Echtzeit ermöglicht im Engineering eine frühzeitige Absicherung von Entwurfsentscheidungen und in der Produktion flexiblere Reaktionen auf Störungen sowie eine standortübergreifende Optimierung. Lieferzeiten und Lagerbestände/-kosten werden reduziert, Innovationszyklen verkürzt, Produkte und Services werden ad-hoc angepasst. Die Echtzeit-Produktion von Industrie 4.0 verknüpft Lean Produktion, vernetzte Logistik und kundenindividuelle Massenfertigung zu einem flexiblen und sofortigen Angebot von Produkten am Markt.

#### *Neue Geschäftsmodelle und Dienstleistungen*

Industrie 4.0 wird als große Chance für die Umsetzung neuer Geschäftsmodelle und Dienste und damit für die Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen und die Hebung von Marktpotenzialen gesehen. Die integrierte Nutzung und Analyse von Daten über das Wertschöpfungsnetzwerk hinweg ermöglichen digitale Geschäftsmodelle, die dem Geschäfts- wie auch dem Endkunden dank der auf ihn zugeschnittenen Lösungen einen signifikanten Zusatznutzen bieten. Beispiele dafür sind Angebote in den Bereichen Projektierung, Wartung, Logistik, Fernunterstützung, Individualisierung und Virtual/Augmented Reality. Die Sammlung und Nutzung einer großen Menge von Produktionsdaten („Big-Data“) durch intelligente Geräte eröffnet neue Möglichkeiten, etwa im Bereich der Entwicklung nachgelagerter, innovativer B2B Dienstleistungen für Industrie 4.0. Dies gilt sowohl für große, aber auch für kleine und junge Unternehmen (Start-ups).

Unterstützt durch intelligente Assistenzsysteme, mobile Endgeräte und Schnittstellen sollen sich neue Handlungsspielräume ergeben, den Arbeitseinsatz so zu gestalten, dass sowohl den Flexibilitätsbedürfnissen der Unternehmen als auch den Beschäftigten in neuer Qualität Rechnung getragen werden kann. Dabei ist das Zusammenspiel zwischen Mensch und technischen Systemen in Verbindung mit Maßnahmen der Arbeitsgestaltung und Kompetenzentwicklung zu beachten. Dies verspricht Vorteile beim Werben um MitarbeiterInnen auf einem – trotz anhaltender Arbeitslosigkeit – schrumpfenden Arbeitsmarkt für bestimmte Fachkräfte sowie nachhaltige Produktivität in Zeiten des demografischen Wandels.

*Spielräume bei  
Arbeitsorganisation*



## 4 Wirkungsfelder und zentrale Herausforderungen

Gegenwärtig ist Industrie 4.0 noch weit mehr Vision als Realität. Die Idee digital vernetzter, weitgehend selbststeuernder Produktionssysteme, die die gesamte Wertschöpfungskette umspannen, nimmt jedoch nichts weniger als die nächste industrielle Revolution ins Visier. Eine derartige Transformation bedeutet nicht nur vielfältige Veränderungen auf betrieblicher und überbetrieblicher Ebene sondern trägt darüber hinaus den Keim für weitreichende gesellschaftliche Auswirkungen in sich. Es gilt daher, die wichtigsten Wirkungsfelder von Industrie 4.0 vorausschauend in den Blick zu nehmen. Aufgrund der noch großen Offenheit der konkreten Ausgestaltung und des frühen Stadiums erster Umsetzungsschritte sind die zu erwartenden Auswirkungen in den meisten Bereichen mit einem hohen Maß an Ungewissheit behaftet. Umso wichtiger ist es jedoch, dadurch eröffnete Gestaltungsspielräume frühzeitig zu erkennen und für eine möglichst positive Entwicklung im Interesse aller Betroffenen aktiv zu nutzen. Im Zentrum der Sondierung verschiedener Wirkungsfelder stehen daher die wesentlichsten sich abzeichnenden Veränderungen bzw. die damit verbundenen Chancen und Risiken sowie daraus ableitbare Herausforderungen für die weitere Gestaltung.

### 4.1 Beschäftigung

Mit deutlichen Veränderungen ist für die Arbeitswelt und Beschäftigung zu rechnen, nicht zuletzt durch das Zusammentreffen mit parallelen Umbrüchen traditioneller Strukturen in Dienstleistungssektoren, demografisch bedingtem Wandel und verschärftem globalen Wettbewerb. Mit der breitflächigen Einführung integrierter Produktionssysteme nach dem Konzept Industrie 4.0 geht ein nachhaltiger Wandel von Organisations- und Arbeitsstrukturen mit beträchtlichen Folgen auf mehreren Ebenen einher.

Die Auswirkung von Industrie 4.0 auf das Beschäftigungsvolumen ist noch sehr ungewiss, da von einer Reihe von Entwicklungen abhängig, so etwa vom Grad der Substitution menschlicher Arbeit durch Automatisierung in der Produktion selbst, vom Ausmaß an Zuwächsen von Arbeitsplätzen in anderen Bereichen, von der Lohnkostenentwicklung, oder vom Erfolg österreichischer Betriebe als Lieferanten von Komponenten und Diensten für Industrie 4.0. Für Deutschland schätzen Experten im produzierenden Sektor die Veränderung der Beschäftigung in der Bandbreite von rund 1,5 Millionen Arbeitsplätzen nach oben oder unten, abhängig von der Entwicklung des Automatisierungsgrads und der Lohnkosten (Spath et al 2013, 46). Unabhängig von Industrie 4.0 rechnen jüngste Studien in den nächsten beiden Dekaden mit der Ersetzung von bis zu 47 % aller Jobs durch Automatisierung in den USA (Frey & Osborne 2013) bzw. 36 % in Finnland (Pajarinen & Rouvinen 2014). Fabriken dürften ziemlich sicher menschenärmer werden, auch wenn neue Arbeitsplätze andernorts entstehen können.

*Auswirkungen auf das Beschäftigungsvolumen ungewiss*

Abbau bei einfachen  
manuellen Tätigkeiten,  
  
mehr Höherqualifizierte,  
  
mehr Beschäftigte in  
IKT-Services,  
  
F&E und in neuen  
Berufen

Industrie 4.0 wird sich jedenfalls auf die *Beschäftigungsstruktur* auswirken. Es wird mit einem Abbau einfacher manueller Tätigkeiten gerechnet, wodurch ein sozial problematischer Ausschluss v. a. von weniger qualifizierten Mitarbeitern einhergehen kann (vgl. acatech 2013, 57). Beim Anteil indirekter Beschäftigung zeichnen sich zwei Tendenzen ab: zum einen Verluste durch Automatisierung von Aufgaben der Planung, Steuerung, Instandhaltung oder Qualitätssicherung; zum anderen komplexitätsbedingt erweiterte und neue Planungsaufgaben bzw. zusätzlicher Bedarf an industrienahe Dienstleistungen (vgl. Hirsch-Kreinsen 2014a, 38f.). Zugleich bietet Industrie 4.0 durchaus neue Chancen was die *Qualität der Beschäftigung* betrifft, zum einen eine qualitative Anreicherung der Arbeit, z. B. interessantere Arbeitszusammenhänge, stärkere Selbstentfaltung, mehr Entscheidungsspielräume, zum anderen aber auch erhöhte Anforderungen durch laufenden Qualifizierungsdruck, steigende Verantwortung sowie zeitliche und funktionale Entgrenzung mit der Tendenz zur Selbstaussbeutung (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Beschäftigung

Wirkungsfeld	Chancen	Risiken
Quantitative Beschäftigungseffekte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mehr [externe] Arbeit/Beschäftigte in Services [IKT] und F&amp;E für Industrie 4.0</li> <li>• Mehr höherqualifizierte Beschäftigte und neue Berufe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weniger Beschäftigte in Fabrikhallen, Disposition/Logistik und Office/Planung</li> </ul>
Qualität der Beschäftigung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bessere und befriedigendere, weniger belastende Arbeit</li> <li>• Qualifikationsaufwertung</li> <li>• Höhere Autonomie/Flexibilität [Work/Life Balance]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entgrenzung der Arbeit [Zeit, Flexibilität]</li> <li>• Qualifizierungsdruck</li> <li>• Überbelastung, Stress, Selbstaussbeutung</li> </ul>
Strukturelle Veränderungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abfederung des Facharbeitermangels</li> <li>• Verlängerung des Arbeitslebens</li> <li>• Hierarchieabbau</li> <li>• Neue Qualifikations- und Beschäftigtengruppen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abwertung von Tätigkeitsprofilen und einzelnen Beschäftigtengruppen [manuelle Arbeit, Facharbeit]</li> <li>• Konflikte um strukturelle Änderungen</li> </ul>

Herausforderungen:  
  
Verbesserung der  
Beschäftigungsqualität  
  
Verfügbare Fachkräfte  
  
Lösungen für  
überzählige Arbeitskräfte

Es wird daher eine besondere Herausforderung sein, Industrie 4.0 zu einer qualitativen Verbesserung der Beschäftigung zu nutzen. In Deutschland sind für 30 % der befragten Unternehmen „die unzureichenden Qualifikationen der Mitarbeiter“ eine der beiden wichtigsten Herausforderungen für Industrie 4.0 (PwC 2014). Im Anlagenbau wird dies von weniger Unternehmen als Problem gesehen (acatech 2013, 29). Die Frage der Anpassung der Qualifikationen, der Aus- und Weiterbildung wird jedenfalls eine Schlüsselrolle spielen (s. Kap. 4.3). Weiters werden bei absehbarer Zunahme von Automatisierung und Robotereinsatz – begünstigt durch rasanten Preisverfall bei Hard- und Softwarekomponenten – dringend neue Lösungen zu finden sein, die bei einer fortschreitenden Entkopplung von Produktivität und Beschäftigung den überzähligen Arbeitskräften ein Leben in Würde und gesellschaftliche Integration ermöglichen.

## 4.2 Arbeitsorganisation

Für Unternehmen am Weg zu Industrie 4.0 ergeben sich vielfältige Herausforderungen in Bezug auf die Gestaltung des Zusammenspiels von Mensch und Technik als sozio-technisches System und die zukünftige Arbeitsorganisation (vgl. Tabelle 2). Möglich ist ein breites Spektrum unterschiedlicher Muster von Arbeitsorganisation, die durch zwei Pole begrenzt werden: einer Polarisierung von Aufgaben, Qualifikationen und Personaleinsatz (polarisierte Organisation) und einer größtmöglichen Offenheit und Flexibilität auf Basis hoher Qualifikation der Beschäftigten (Schwarm-Organisation) (Hirsch-Kreinsen 2014a, 39f.). Wesentliche Determinanten der Arbeitsgestaltung sind einerseits das jeweils verfolgte Automatisierungskonzept (technologiezentriert oder komplementär ausgerichtet) und der Gestaltungs- und Einführungsprozess der neuen Systeme. Es zeichnet sich aber ab, dass die Perspektive einer menschenleeren Fabrik mit Vollautomatisierung aus technologischen ebenso wie aus wirtschaftlichen Gründen unrealistisch ist (Ausschuss 2008).

*Unterschiedliche Muster von Arbeitsorganisation*

*Abhängig vom Automatisierungskonzept und vom Einführungsprozess*

*Tabelle 2: Arbeitsorganisation*

Wirkungsfeld	Chancen	Risiken
Operative Arbeitsebene	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Individualisierung der Arbeitsplatzgestaltung</li> <li>• Komplementarität von Mensch und Maschine</li> <li>• Kollaboration und Unterstützung</li> <li>• Mobile Arbeitsplätze</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Substitution menschlicher Arbeit durch Technik/Automation</li> <li>• Menschliches Arbeiten als Residuum</li> <li>• Handlungskompetenzverlust durch fortschreitende Virtualisierung</li> <li>• Entfremdung</li> </ul>
Engineering, Planung und Leitung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Delegation von Aufgaben</li> <li>• Erweiterte und neue Planungsaufgaben</li> <li>• Mehr Kreativitätsentfaltung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Substitution von menschlicher Arbeit durch Technik/Automation</li> <li>• Handlungskompetenzverlust bei der Steuerung und Handhabung von zunehmender Komplexität</li> </ul>
Mensch-Maschine Schnittstelle/ Kooperation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhung der menschlichen Leistungsfähigkeit</li> <li>• Optimierte Entscheidungsfindung in kollaborativen Entscheidungsprozessen von Menschen und Maschinen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehlentscheidungen bei Distanz zum praktischen Systemablauf</li> <li>• Unkontrollierte Datenverwendung bei Integration von Sensorik</li> <li>• Hemmung von improvisatorisch-experimentellem Arbeitshandeln</li> <li>• Kontrollverlust beim Menschen</li> <li>• Gesundheitliche Belastungen</li> </ul>
Unternehmensübergreifend in Netzwerken	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transparenz</li> <li>• Berechenbarkeit</li> <li>• Flexibilisierung und dynamische Geschäftsprozesse</li> <li>• Optimierte Entscheidungsfindung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verstärkte Abhängigkeit, Substituierbarkeit, Kontrollverlust [insbesondere bei Zulieferern]</li> </ul>

### *Flexible Mensch-Maschine-Teams*

Prognostiziert werden „mehr Teams, in welchen Roboter und Menschen zusammenarbeiten“ (Spath et al. 2013, 46) sowie die Etablierung von „Formen der kollaborativen Fabrikarbeit in virtuell mobilen Arbeitswelten“ (acatech 2013). Deutsche Unternehmen im Maschinen- und Anlagenbau sehen die Prozess- und Arbeitsorganisation als zweitwichtigste Herausforderung nach der Standardisierung (vgl. acatech 2013, 29). So besteht u. a. ein Bedarf zur Abstimmung zwischen der zunehmenden Flexibilität der Produktionsanlagen einerseits und der menschlichen Flexibilität andererseits (vgl. Spath et al 2013, 46).

### *Ausstrahleffekte z. T. widersprüchlich*

Mit der Etablierung offener, virtueller Arbeitsplattformen und umfassender Mensch-Maschine-Interaktionen werden „Arbeitsinhalte, -prozesse und -umgebungen ... einen erheblichen Wandel erleben – mit Ausstrahleffekten auf Flexibilität, Arbeitszeitregelungen, Gesundheit, Demografie und Lebenswelt“ (acatech 2013, 45). Zu den Chancen für Beschäftigte zählen verstärkte Kreativitätseinfaltung, Eigenverantwortung und Selbstorganisation, allerdings um den Preis erhöhter Anforderungen in Bezug auf Komplexitätsbewältigung, Abstraktions-, Kommunikations- und Problemlösungsfähigkeit. Damit verbundene Risiken sind eine belastende Entgrenzung, Flexibilisierung und Intensivierung der Arbeit, Spannungen zwischen Virtualität und Erfahrungswelt, Entfremdung, mitunter auch Kreativitäts- und Produktivitätsverluste (vgl. acatech 2013, 57) sowie tendenzielle Überforderung bei Störfällen (Hirsch-Kreinsen 2014a, 37) und mögliche Gefahren für die Gesundheit. Zu rechnen ist mit zum Teil widersprüchlichen Ausstrahleffekten auf die hierarchische Ebene und indirekte Bereiche sowie mit einer Aufwertung improvisatorisch-experimentellen Arbeitshandels (Hirsch-Kreinsen 2014a, 37f.).

### *Aufwertung improvisatorisch-experimentellen Arbeitshandels*

### *Herausforderungen*

Zentrale Herausforderung ist die Bewältigung eines disruptiven Wandels von Prozess- und Arbeitsstrukturen. Es geht dabei um die wesentlichen Gestaltungsparameter der Arbeitsorganisation, insbesondere die Mensch-Maschine-Schnittstelle bzw. Rolle des Menschen in zunehmend autonom agierenden Produktionssystemen. Dies betrifft Entscheidungen über das konkrete Automatisierungs- und Einführungskonzept ebenso wie über Qualifikations-, Aufgaben- und Tätigkeitsprofile, die entsprechende Flexibilität, Systemkontrolle und Behebung von Systemstörungen gewährleisten, und zugleich positive Perspektiven für die Beschäftigten ermöglichen.

## 4.3 Aus- und Weiterbildung

Eine zentrale Rolle für künftige intelligente Produktionssysteme werden Qualifikationen und damit Aus- und Weiterbildung spielen. Die Beherrschung komplexer Fertigungsverfahren und die Entwicklung und Kontrolle datengetriebener Prozesse und Geschäftsmodelle verlangen nach neuen Fähigkeiten und Qualifikationen (PwC 2014; Wiesmüller 2014; Fidler 2015). Damit stehen die bestehenden Aus- und Weiterbildungsangebote der unterschiedlichen Stufen auf dem Prüfstand (vgl. Tabelle 3).

Die Vielfalt der möglichen Einsatzgebiete setzt einer standardisierten Ausbildung Grenzen. Zukünftige Facharbeiter und Ingenieure werden stärker interagieren, multidisziplinärer und vernetzter ausgebildet sein müssen (Wiesmüller 2014).

Bestehende Ansätze einer Verknüpfung schulischen und betrieblichen Lernens bieten Chancen zu einem Ausbau in Richtung des Kontakts mit Anforderungen eines Industrie 4.0-Betriebs. Empfohlen wird, die Verknüpfung und Durchlässigkeit zwischen Aus- und Weiterbildungssystemen sowie den Dialog zwischen Bildungseinrichtungen und der produzierenden Industrie zu fördern (Spath, et al. 2013, 126; acatech 2013, 59), Ausbildungsinhalte an Anforderungen der digitalen Welt anzupassen und das Interesse für technische Wissensgebiete frühzeitig zu wecken (PwC 2014).

*Verknüpfung schulischen und betrieblichen Lernens*

Tabelle 3: Aus- und Weiterbildung

Wirkungsfeld	Chancen	Risiken
Schulische Ausbildung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kombination von Theorie und Praxis [Duales System, Unternehmenspraktika]</li> <li>• Neue Qualifikations- und Tätigkeitsprofile [z. B. Mechatronik/IKT]</li> <li>• Ausbau von Schlüsselqualifikationen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mangelnde Ausrichtung auf neue Anforderungen [flexibles Arbeiten, Verständnis für Innovation, ständige Weiterbildung]</li> <li>• Problemverschärfung für Pflichtschulabgänger und Ungelernte</li> </ul>
Akademische Aus- und Weiterbildung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spezialisierung auf Industrie 4.0-spezifische Herausforderungen</li> <li>• Ansätze zu Interdisziplinarität</li> <li>• Neue Berufsbilder [z. B. Data-Scientist]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distanz zum operativen Arbeitsprozess [durch vermehrte Virtualisierung des Engineering]</li> </ul>
Berufliche Aus- und Weiterbildung – Lebenslanges Lernen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abfederung des Facharbeitermangels</li> <li>• Arbeitsplatznahe Weiterbildung</li> <li>• Lernförderliche Arbeitsorganisation</li> <li>• Digitale Lerntechniken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualifizierungsdruck</li> <li>• Ausgrenzung und mangelnde Rücksicht auf Belastbarkeit der Beschäftigten</li> </ul>

In den meisten Einsatzfeldern ist von einer verstärkten Bedeutung höherer IKT-Kenntnisse, der Bereitschaft zu lebenslangem Lernen, von Kompetenzen zu interdisziplinärer Verständigung und zur Kommunikation mit Maschinen und vernetzten Systemen auszugehen. Angesichts der großen Ungewissheit über die konkreten fachlichen Anforderungen in den verschiedenen Unternehmenswelten empfiehlt sich, größeres Gewicht auf den Erwerb von Schlüsselqualifikationen zu legen sowie auf den Aufbau von Handlungskompetenz unter Bedingungen komplexer und rasch wechselnder Anforderungen. Dazu zählen insbesondere grundsätzliche Haltungen wie Lernbereitschaft und Flexibilität sowie Problemanalyse- und Problemlösungsfähigkeiten.

*Bereitschaft zu lebenslangem Lernen*

*Schlüsselqualifikationen*

Zunächst bedarf es vor allem der Qualifikationen zur Gestaltung von Innovationsprozessen, speziell der Kompetenzen zur interdisziplinären Entwicklung von Produktionssystemen und damit des Zusammenspiels von Maschinenbau, Elektrotechnik und technischer Informatik. Neben bereits

*Neue Kompetenzen und Berufsbilder*

### Weiterer Qualifikationsbedarf

etablierten konkreten Berufen wie Produktionsplaner, Automatisierungstechniker oder Prüf- und Zertifizierungsdienstleister werden eine Reihe neuer erwartet, z. B. Data-Scientist, Produktionsinformatiker sowie Fachleute für Systemsicherheit und Usability.

Prognostiziert wird, dass der Bedarf an mathematischen, naturwissenschaftlichen und technischen Vorkenntnissen steigen wird, z. B. der Bedarf an Softwareentwicklern und Datenanalysten (PwC 2014, 37f.) sowie Fachkräfte im Bereich Operational Technology (Dirnberger 2015). Gefordert sind zudem überfachliche Kompetenzen (Management, Projektsteuerung, Problemdiagnose) sowie Fähigkeiten zur Identifikation von Anwendungsoptionen und Entwicklungspartnern im globalen Kontext. Der Bedarf an sozialen Fähigkeiten steigt mit zunehmender Interdisziplinarität, Vernetzung und Kommunikation (acatech 2013, 55; Hirsch-Kreinsen 2014a, 38; Ovtcharova et al. 2014, 50). Weiters steigt der Bedarf an Überblickswissen und Verständnis für das Zusammenspiel aller Akteure im Produktionsprozess (acatech 2013, 59). Die Fähigkeit, Interaktionen zwischen virtuellen und realen Systemen zu organisieren und zu koordinieren gewinnt an Bedeutung (acatech 2013, 55-56; Ovtcharova et al. 2014, 56).

### Arbeitsplatznahe Weiterbildung

Der arbeitsplatznahen Weiterbildung, einer lernförderlichen Arbeitsorganisation und dem Einsatz digitaler Lerntechnologien (e-learning, blended learning, augmented learning) wird hohe Bedeutung v. a. im Rahmen der (betrieblichen) Weiterbildung beigemessen (acatech 2013, 59; Kärcher 2014, 25; Spath, et al. 2013, 126).

### Herausforderungen

Herausforderungen bestehen vor allem in der Bewältigung eines möglichen Mangels an adäquat qualifizierten Beschäftigten für die Einführung und den Betrieb der neuen Produktionssysteme sowie in der Entwicklung von Lösungen für das sich verschärfende Problem der Beschäftigung von Pflichtschulabgängern und Ungelernten. Weiters gilt es, eine neue Distanz zu Arbeitsprozessen in cyber-physischen Produktionssystemen zu vermeiden und den Qualifizierungsdruck v. a. für ältere, digital weniger versierte Beschäftigte in verträglicher Weise zu gestalten.

## 4.4 Gesundheit

Durch die Einführung neuer Technologien im Rahmen von Industrie 4.0 kommt es mit den Veränderungen der Arbeitsorganisation und Arbeitsaufgaben zu neuen Herausforderungen im Bereich der Gesundheit. Dabei ist neben körperlich-physischen den psychischen Belastungen verstärkte Aufmerksamkeit zu schenken (vgl. Tabelle 4).

### Körperliche Belastungen

Generell steigt mit dem Einsatz von CPS der Automatisierungsgrad und körperlich schwere Aufgaben können an Maschinen übertragen werden. Der Einsatz von CPS führt jedoch zu vermehrter Sitztätigkeit. Vorteile bieten sich dadurch für die Einbindung körperlich eingeschränkter Menschen in das Arbeitsleben (Domingo 2012). Genügend ausgleichende physische

Aktivität wird jedenfalls wichtiger, um Belastungen aufgrund verstärkter Sittätigkeit entgegenzuwirken und ungesunde Lebensstile zu vermeiden (aca-tech 2013). Charakteristisch für Industrie 4.0 ist zudem der Einsatz von Assistenztechnologien, wie zum Beispiel Datenbrillen. Solche neuen Technologien müssen erst auf Gesundheitsrisiken hin untersucht werden (Krüger 2014).

Tabelle 4: Gesundheit

Wirkungsfeld	Chancen	Risiken
Körperliche Gesundheit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weniger körperlich belastende Arbeit</li> <li>• Bessere berufliche Chancen für Menschen mit körperlichen Einschränkungen</li> <li>• Alternsgerechte Arbeitsgestaltung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mangelnde Bewegung</li> <li>• Physische Gefahren durch technische Assistenzsysteme</li> </ul>
Psychische Gesundheit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abwechslung durch Tätigkeitsanreicherung</li> <li>• Höhere Autonomie</li> <li>• Möglichkeit der Selbstentfaltung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überforderung, Stressbelastung</li> <li>• Souveränitätsverluste</li> <li>• Entfremdung, Stress, Erschöpfung</li> </ul>

Die Veränderungen der Arbeitsorganisation und Arbeitsgestaltung können zu einer Steigerung der Arbeitsintensität und der Anforderungen an die Beschäftigten führen. Zu möglichen psychischen Belastungen durch die Arbeit in hybriden Systemen zählen kognitive Überforderung (Komplexität, Verantwortung, Tempo), Verlust an Steuerungskompetenz und Zeitsouveränität, Entfremdung, Überwachung, Leistungs- und Verhaltenskontrolle (Gerst 2014). Erkrankungen wie Burn-out sind häufig Konsequenzen von strukturellen Belastungen (Baumgarten et al. 2014).

*Psychische Belastungen*

Durch höhere Flexibilitätsanforderungen und ständige Erreichbarkeit verschwimmen Grenzen zwischen Freizeit und Arbeit (Krüger 2014). Darunter kann die Regenerationsfähigkeit leiden und es kann zu chronischer Erschöpfung kommen. Die Veränderung der Aufgaben inkludiert auch neue Methoden, Plan- und Denkprozesse. Für ein geeignetes Präventionsmanagement muss die mentale Anstrengung dieser neuen Aufgaben erfasst werden (Dombrowski & Wagner 2014). Generell steigt der Bedarf an demografiesensibler Arbeitsgestaltung und an alternsgerechtem Präventionsmanagement (Baumgarten et al. 2014).

Im Zuge der umfassenden Digitalisierung und Vernetzung der Arbeitsprozesse ist die Gestaltung von ausreichenden Regenerationszeiten wesentlich. Die Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von neuen Assistenztechnologien ist besonders im Hinblick auf langfristige Folgen schwierig. Auch alternsgerechte Arbeits(-platz)gestaltung sowie geeignete Bildungs- und Qualifizierungsmaßnahmen sind zusätzlich als große Herausforderung absehbar.

*Herausforderungen:  
Präventionsmaßnahmen,  
alternsgerechte  
Arbeitsgestaltung*

## 4.5 Ressourceneinsatz

*Höhere  
Ressourceneffizienz und  
Reduktion von Kosten  
als zentrale  
Nutzenerwartung*

Proponenten der Förderung von Industrie 4.0 führen als zentralen Nutzen einer Umstellung in Richtung vernetzter und selbststeuernder Produktionssysteme eine gesteigerte Ressourceneffizienz bzw. reduzierte Kosten ins Treffen. Sie beziehen dies auf unterschiedlichste Arten von Ressourcen, von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen einschließlich Energieträgern über Human- bis hin zu finanziellen Ressourcen (vgl. acatech 2013, 66 und Kapitel 3.1). Neben der Optimierung des Ressourceneinsatzes, der Senkung der Produktionskosten und Steigerung der Produktivität soll Industrie 4.0 zu einem deutlichen Flexibilitätsgewinn und einem ökologischeren, nachhaltigeren Wirtschaften beitragen. Die Aussicht auf Einlösung dieser Erwartungen ist allerdings auch mit einer Reihe von Risiken und Herausforderungen verbunden (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5: Ressourceneinsatz

Wirkungsfeld	Chancen	Risiken
Effizienz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduktion des Verbrauchs von Ressourcen</li> <li>• Effizienterer Energieeinsatz</li> <li>• Verringerte Abhängigkeit</li> <li>• Reduktion von Kosten</li> <li>• Ökologische Nachhaltigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überschätzung positiver Effekte</li> <li>• Vermehrter, mittelfristiger Bedarf an Energie, Rohstoffen, Transport für den Ausbau von Infrastruktur</li> <li>• Hohe Vorfinanzierungs- und Investitionskosten</li> <li>• Mangelnde Innovationskapazität</li> </ul>
Produktivität	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produktivitätssteigerung</li> <li>• Hebung von Marktpotentialen</li> <li>• Geringere Fehlerquoten</li> <li>• Senkung von Rüstkosten</li> <li>• Minimierung von Qualitätsmängeln</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unsicherer Nachweis von Produktivitätsgewinnen</li> <li>• Einbußen an Produktivitätsgewinnen durch Sicherheitsaufwand</li> <li>• Abwertung und Substitution von Humanressourcen</li> <li>• Erhöhte Abhängigkeit von IKT-Erneuerung</li> </ul>
Flexibilität	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Losgrößenunabhängige Produktionskosten</li> <li>• Schnellere Reaktion auf Marktanforderungen</li> <li>• Verkürzte Durchlaufzeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steigende System-Betriebskosten</li> <li>• Mangelnde Akzeptanz von Entscheidungsverlagerungen</li> <li>• Keine eindeutige Verantwortlichkeit</li> </ul>

*Erhöhte Flexibilität und  
Anpassungsfähigkeit  
der Produktion*

Die Möglichkeit, längerfristig eine deutliche Steigerung an Produktivität und Effizienz zu erreichen, gründet auf verschiedenen, durch die Digitalisierung von Prozessen und Wertschöpfungsketten eröffneten Potenzialen. Dazu zählen eine erhöhte Flexibilität und Anpassungsfähigkeit der Produktion, was tendenziell von Losgrößen unabhängige Produktionskosten und geringere Abhängigkeit von Zulieferern ermöglicht. Im Verbund mit einer optimierten Entscheidungsfindung und höherer Transparenz verspricht Industrie 4.0 auch verbesserte Qualität, verkürzte Durchlaufzeiten sowie schnellere Marktfähigkeit und Reaktion auf Marktanforderungen. Die erhöhte

Transparenz im Bereich der Planung erlaubt eine bessere Auslastung von Maschinen und Anlagen (z. B. durch Losgrößenoptimierung). Durch Digitalisierung und stärkere Vernetzung in der Ablauforganisation können Arbeitsfelder rationalisiert und Produktivitätsgewinne erzielt werden. Die intelligente Analyse und integrierte Nutzung von Daten zur Produktionssteuerung verspricht eine Reduktion der Ausschussquote (PWC 2014). Redundanzen in Prozessmodellen lassen sich verringern, Qualitätsverluste minimieren und auf Störungen kann flexibler reagiert werden (acatech 2013, PwC 2014).

Vorliegende Prognosen erwarten hohe Produktivitätssteigerungen (vgl. auch Kapitel 3.2): Die Boston Consulting Group bspw. (BCG 2014, 2015) schätzt, dass deutsche Produzenten mit Industrie 4.0 ihre Produktivität in den nächsten 5 bis 10 Jahren um 5 bis 8 % steigern und im Endausbau Effizienzgewinne von € 90 Mrd. bis € 150 Mrd. erzielen können. Besonders starke Produktivitätszuwächse sind im Maschinen- und Anlagenbau möglich, durch Senkung von Rüstkosten und Systemvernetzung mit Lieferanten (BCG 2014). Fraunhofer IAO kommt in einer Untersuchung im Auftrag der BITKOM zu dem Schluss, dass aufgrund der Einführung von Industrie 4.0-Technologien für den Zeitraum bis 2025 eine kumulierte Produktivitätssteigerung von 23 % (bzw. € 78,8 Mrd.) für sechs ausgewählte Branchen erwartet wird (Bitkom & Fraunhofer 2014, 35). Dieses Potenzial ergibt sich aus der Summe der erwarteten zusätzlichen Bruttowertschöpfung für Maschinen- und Anlagenbau, Elektrische Ausrüstung, Automobilbau, Chemische Industrie, Landwirtschaft und Informations- und Kommunikationstechnologie.

Diese optimistischen Schätzungen hinsichtlich Produktivitätssteigerungen fußen jedoch auf relativ weichem Boden und werden auch kritisch hinterfragt (vgl. Pfeiffer 2014). Methodisch ist unklar, wie qualitative Experteneinschätzungen, auf denen etliche Prognosen basieren, in scheinbar eindeutige harte Zahlen übersetzt werden können. Auch ist zu berücksichtigen, dass Erwartungen nicht losgelöst von erheblichen Investitionen betrachtet werden können (z. B. erheblicher Anstieg beim Aufwand für Sicherheit; IKT-Abhängigkeit), dass Unterschiede bei Produktivitätszuwächsen in Anwender- und Ausrüsterbranchen zu erwarten sind und Effekte in unterschiedlichen Branchen nicht zu einer positiven Gesamtrechnung addiert werden können (vgl. dazu auch Kapitel 3); schließlich, dass Auswirkungen auf wichtige Branchen wie die Logistik ebenso unberücksichtigt bleiben wie die Rückwirkungen der Produktivitätssteigerungen im globalen Maßstab (Pfeiffer 2014).

Industrie 4.0 soll zu einer Verbesserung der Ressourceneffizienz beitragen, indem der Ressourcenaufwand minimiert wird. Dabei machen Materialkosten (v. a. für Rohstoffe) durchschnittlich 40 % der Herstellungskosten für ein Unternehmen aus (BMWFW 2014; Ramsauer 2013). Der Einsatz von CPS ermöglicht eine Fall-zu-Fall Optimierung des Materialeinsatzes innerhalb der Produktion (acatech 2013) und eine ressourcenschonende, effiziente Prozessgestaltung (z. B. Zero-Waste-Prozesse).

*Hohe Erwartungen an steigende Produktivität*

*Zu hoch?*

*Methodische Zweifel an Prognosewerten*

*Rohstoffverbrauch, Materialeffizienz*

<i>Energieverbrauch</i>	In Industrieländern geht ein hoher Anteil des nationalen Energieverbrauchs auf das Konto der Sachgütererzeugung, in Österreich zum Beispiel 30 %. <sup>6</sup> Die Europäische Kommission geht davon aus, dass von 2009 bis 2020 25 % der Energie in der industriellen Produktion eingespart werden kann. Durch Optimierungen im Bereich der IKT-Logistik wird eine mögliche Emissionsreduktion von 16 % im Transportbereich prognostiziert. Energieeinsparungen können z. B. durch Modellierungen erreicht werden, etwa in der Chemieindustrie (EC 2009). Durch systematisches Energie- und Lastmanagement, die Optimierung von Technologien und Anlagen sowie Investitionen bspw. in energieeffiziente Produkte können in der Produktion 20-30 % der Energie eingespart werden (Wahren 2014).
<i>Herausforderung: Optimierung nach mehreren Kriterien</i>	Eine der zentralen Herausforderungen beim Streben nach Realisierung der erhofften Effizienz- und Produktivitätssteigerung wird jedoch sein, im Spannungsfeld von technisch möglichen und wirtschaftlich sinnvollen sowie sozial und ökologisch verträglichen Optionen die richtigen Weichenstellungen zu treffen.
<i>Methodische Herausforderungen</i>	Die vorliegenden Schätzungen und Quantifizierungen möglicher Effizienzsteigerungen sind aus methodischen Gründen mit Vorsicht zu betrachten. Sekundäre und externe Effekte, beispielsweise im Hinblick auf sicherheitsrelevante Zusatzkosten oder zusätzliche Transportkosten sind meist unbekannt oder bleiben unberücksichtigt. Eine Verbesserung der Prognosegenauigkeit erfordert die Berücksichtigung verschiedenster Trade-offs im Produktionsprozess (z. B. zwischen Einsparpotenzialen einerseits und zusätzlichem Investitionsaufwand andererseits). Zudem ist zu beachten, dass die drei Dimensionen des Ressourceneinsatzes (Material-, Energie-, Humanressourcen) nicht unabhängig voneinander sind. So wird zwar eine höhere Effizienz und Produktivität angestrebt, diese können aber Auswirkungen auf den Einsatz von Humanressourcen haben (vgl. 4.1). In Bezug auf Energieressourcen stellt sich die Frage, ob eine Einsparung nur als Nebeneffekt von produktivitätssteigernden Effekten auftritt oder ob ein schonenderer Umgang mit natürlichen Ressourcen ein explizites Ziel von Industrie 4.0 darstellt.

## 4.6 Wirtschaft und Wettbewerb

<i>Positive Effekte für Innovation, Wachstum, Industriequote</i>	Mit Industrie 4.0 ist eine Reihe positiver Erwartungen hinsichtlich gesamtwirtschaftlicher Ziele verbunden. Die Europäische Kommission möchte die Industriequote von 15,1 % (Stand 2014) bis zum Jahr 2020 auf 20 % steigern, um die Wettbewerbsfähigkeit Europas auszubauen und eine Re-Industrialisierung in die Wege zu leiten (BMFW 2014; vgl. Kapitel 1). Au-
--	--

---

<sup>6</sup> Quelle: Statistik Austria, Energiebilanz 2013, [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/energie\\_und\\_umwelt/energie/energiebilanzen/](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/), entnommen am 19.04.2015

tomatisierung und digitale Vernetzung spielen in diesen Konzepten eine Schlüsselrolle. Obwohl die Produktionsarbeit in Europa in den letzten Jahrzehnten abgenommen hat, gilt die Industrie weiterhin als Motor der Wirtschaft und als Grundlage des Wohlstands (Spath et al. 2013). Durch Industrie 4.0 versprechen sich Länder wie insbesondere Deutschland nicht nur eine steigende Effizienz in der Fertigung von Gütern (siehe oben, Kapitel 4.5) sondern auch eine führende Position in der Entwicklung, Produktion, Vermarktung und im Export von Automatisierungs- und Fertigungstechnologien (acatech 2013). Davon werden positive Effekte für Innovation, Wachstum, Wettbewerbsfähigkeit und für den europäischen Wirtschaftsstandort erwartet (vgl. Tabelle 6).

Tabelle 6: *Wirtschaft und Wettbewerb*

Wirkungsfeld	Chancen	Risiken
Gesamtwirtschaftlich	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhte Wettbewerbsfähigkeit und Wertschöpfung</li> <li>• Industrielle Standortsicherung und -ausbau</li> <li>• Potenzielles Beschäftigungswachstum</li> <li>• Höhere Steuereinnahmen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoher Investitions- und Förderaufwand</li> <li>• Mangelnde Kompensation von sektoralen Beschäftigungsverlusten</li> <li>• Lohnsummen-/Kaufkraftverringering</li> <li>• Weniger Steuereinnahmen bei geringeren Lohn- und Mehrwertsteuereinnahmen</li> </ul>
Wertschöpfungsstrukturen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhte Flexibilität</li> <li>• Business-to-business Services für KMU und Startups</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steigende Komplexität der Produktionssysteme</li> <li>• Starker Druck auf KMU innerhalb von Wertschöpfungsnetzen</li> <li>• erhöhte Risikoauslagerung an Zulieferbetriebe</li> </ul>
Neue Geschäftsmodelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erschließung von Wertschöpfungspotenzialen</li> <li>• Erschließung neuer Kundengruppen</li> <li>• Neue Kooperationen in Wertschöpfungsnetzwerken</li> <li>• Produktion entsprechend individueller Kundenwünsche</li> <li>• Erhöhung der Kundenzufriedenheit</li> <li>• Integration von Kunden in den Wertschöpfungsprozess</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überforderung, Bevormundung, Entmündigung [Kunden]</li> <li>• Rückstufung des „Faktor Mensch“</li> <li>• Datensammlung, Privatsphärenverletzung</li> <li>• Unternehmensinterne Barrieren [z. B. Wissen, Management, Mitarbeiter]</li> <li>• Unternehmensexterne Skepsis/Ablehnung</li> <li>• „Geplante Obsoleszenz“ [absichtlich verringerte Lebensdauer von Produkten]</li> </ul>

Im globalen Wettbewerb wurde die Produktion von Gütern zunehmend in Länder mit niedrigerem Lohnniveau ausgelagert und Industriequoten in vielen (westeuropäischen) Ländern sanken. Mit Industrie 4.0 und dem stärkeren Fokus auf Automatisierung soll die Wettbewerbsfähigkeit am Standort verbessert werden (vgl. Ramsauer 2013). Durch Industrie 4.0 ergibt sich somit das Potenzial, Fertigungsstandorte in Europa zu halten (acatech 2013). Dies soll in der Folge auch zu neuen Betriebsansiedlungen

*Standortpolitik und Wettbewerbsfähigkeit*

und -erweiterungen führen (BMFWF 2014). Davon werden erhöhte Wertschöpfung sowie Wachstums- und Beschäftigungsimpulse und nicht zuletzt höhere Steuereinnahmen erwartet.

**Risiken** Als Risiken gelten ein hoher Investitions- und Förderaufwand für Umstellungen in Richtung Industrie 4.0, die ungewisse Kompensierung von Beschäftigungsverlusten in Folge verstärkter Automatisierung und dadurch eine mögliche Verringerung von Lohnsummen, Kaufkraft und Steueraufkommen. Angesichts der sich verschärfenden Wettbewerbssituation kann zudem nicht davon ausgegangen werden, dass die relativen Wettbewerbsvorteile auf Dauer stabil bleiben.

**Wertschöpfungsstrukturen** Im Zuge von Industrie 4.0 werden Wertschöpfungsstrukturen verändert. Wertschöpfungsnetzwerke und dezentrale Steuerung gewinnen, die zentrale Produktion und Koordination innerhalb einer einzelnen Unternehmung verlieren an Bedeutung. Traditionelle Wertschöpfungsketten werden fragmentiert, die Flexibilität steigt. Damit sind verschiedene Chancen und Risiken verbunden. Produktion selbst soll verstärkt lokal und vernetzt erfolgen. Die lokale Herstellung kann durch die Errichtung von kleinen autonomen Fertigungszellen erreicht werden (Roland Berger Strategy 2014a). Andererseits kann innerhalb der Lieferketten der Druck auf KMU steigen (Butler 2015) und Betriebe können bei exponentieller Technologieentwicklung unter ständigem Aufholdruck geraten (Spath et al. 2013).

**Komplexität und Kontrolle** Mit der zunehmenden Vernetzung im Rahmen von Industrie 4.0 nimmt die Komplexität der Produktionssysteme zu und die Kontrollierbarkeit sinkt. Eine Herausforderung besteht darin, die entstehende Komplexität zu beherrschen, damit „autonome Objekte, die sich selbst vernetzen nicht aus dem Ruder laufen“ (vgl. Spath et al. 2013, 119). Als zusätzliches Risiko gelten „Misstrauens-Kulturen“ aufgrund von fehlender Verantwortlichkeit in vernetzten Systemen, die bei virtuellen Fabriken zu beobachten waren (Schuh 2003). Es besteht in der Entwicklung der Industrie 4.0 das Potenzial, zentrale top-down Entscheidungsmechanismen aufzulösen und teilweise durch dezentrale, interaktive, kooperative, bottom-up Entscheidungsmechanismen zu ersetzen. Der Vorteil dezentraler Systeme liegt in der Möglichkeit, die steigende Komplexität der Produktion zu bewältigen (Spath et al. 2013). Ermöglicht werden diese Ansätze durch dezentrales Steuerungsmanagement (vgl. Spath et al. 2013, 95f.) sowie Modellbildung und Simulation (acatech 2013, 46f.).

**Geschäftsmodellinnovationen** Prognostiziert wird, dass die Entwicklungsgeschwindigkeit neuer Geschäftsmodelle im Internet der Dinge sich der Dynamik des Internets annähert, und dass die neuen Geschäftsmodelle eine dynamische Preisfindung unter Berücksichtigung der Kunden- und Wettbewerbssituation ermöglichen. V. a. im Bereich der Geschäftsmodellinnovationen ergeben sich deshalb zahlreiche Chancen für die Unternehmen: durch Flexibilitätsgewinne ermöglichte Produktion nach individuellen Kundenwünschen, Erschließung neuer Kundengruppen und Wertschöpfungspotenziale sowie neue Kooperationen in Wertschöpfungsnetzwerken. Jedoch ist die Etablierung neuer Geschäftsmodelle kein Selbstläufer. Für rund ein Drittel der Unternehmen

im Maschinen- und Anlagenbau zählt die Entwicklung der neuen Geschäftsmodelle zu den größten Herausforderungen im Rahmen von Industrie 4.0 (acatech 2013, 29).

Die Fähigkeit zur Datenanalyse wird für Geschäftsmodelle mitentscheidend sein (vgl. PwC 2014, 22). Zu den organisatorisch-technischen Herausforderungen zählt daher der Aufbau von Datenanalysekapazitäten für die steigende Datenmenge. Nicht in allen Betrieben sind die notwendige Erfahrung und Expertise verfügbar. Gerade bei Klein- und Mittelunternehmen (KMU) ist die nötige Kompetenz oft nicht vorhanden (Spath et al. 2013, 64). In rechtlicher und geschäftlicher Hinsicht geht es jedoch auch darum, trotz großer Datenmengen und Datensammlung Verletzungen der Privatsphäre von Beschäftigten und Kunden zu verhindern.

Vor diesem Hintergrund ergeben sich für die Unternehmen und staatliche Politik eine Reihe von wichtigen *Herausforderungen*, die bei einem Ausbau von Industrie 4.0 zu berücksichtigen sind:

Aufgrund unklarer Wirtschaftlichkeit und Unsicherheiten besteht Bedarf nach mehr Transparenz, Erfahrungsaustausch (PwC 2014, 38) und Kooperationen, damit Risiken geteilt und gesenkt werden können, z. B. durch gemeinsame Pilotsysteme und Testfabriken zur Entwicklung und praxisnahen Erprobung von Prototypen und vernetzen Produktionssystemen.

Um die Synergiepotenziale neuer Kooperationsmöglichkeiten nutzen zu können, besteht ein Bedarf an neuen IT-basierten Geschäftsmodellen, beispielsweise durch die Zusammenarbeit von Maschinenbau, Automation und Informatik (Glatz 2013). Die Vernetzung der Fertigungssysteme erlaubt zum Beispiel eine schnellere Reaktion auf Marktanforderungen (acatech 2013). Für KMU und Startups ergibt sich die Möglichkeit, B2B (business-to-business) Services zu errichten.

Für den flächendeckenden Einsatz von Cyber Physical Systems wird eine leistungsstarke Infrastruktur benötigt, mit garantierten Latenzzeiten, Ausfallsicherheit und hoher Dienstleistungsqualität (acatech 2013, 49). Dazu zählt eine entsprechende Versorgung mit Breitbanddiensten.

Aus Sicht der IT und der Automatisierungstechnik ist die Entwicklung von CPS die primäre Herausforderung. Anforderungen ergeben sich z. B. hinsichtlich von Architekturmodellen, Datendurchgängigkeit und intelligenten Produktionseinheiten (vgl. Vogel-Heuser 2014, 39f.; acatech 2011). Für viele Unternehmen ist die Verfügbarkeit entsprechender Produkte eine wesentliche Herausforderung für die Umsetzung von Industrie 4.0 (acatech 2013, 29); der Reifegrad der erforderlichen Technologien wird z. T. als niedrig eingeschätzt (vgl. PwC 2014, 37). Umgekehrt bietet die technische Weiterentwicklung von CPS große Chancen, den Export von entsprechenden Technologien und Produkten zu steigern und so die Ausrüsterindustrie zu stärken (acatech 2013, 33).

#### *Kapazitäten für Datenanalyse*

#### *Herausforderung 1: Kooperationen und Erfahrungsaustausch*

#### *Herausforderung 2: Entwicklung neuer Geschäftsmodelle*

#### *Herausforderung 3: Leistungsfähige IT-Infrastruktur*

#### *Herausforderung 4: Entwicklung der Basistechnologien*

## 4.7 Sicherheit

Zentrale Charakteristika von Industrie 4.0 sind die zunehmende Digitalisierung und betriebsübergreifende Vernetzung von Prozessen, Produktionsanlagen, Komponenten und Akteuren der Wertschöpfungskette. Digitalisierung, Automatisierung und Vernetzung führen zu erheblichen Sicherheitsrisiken und Herausforderungen auf betrieblicher und zwischenbetrieblicher Ebene (vgl. Tabelle 7).

*Sicherheit: weitgehend ungelöste Frage und erfolgskritischer Faktor*

Generell gilt die Sicherheitsfrage noch als weitgehend ungelöst und als erfolgskritischer Faktor für Industrie 4.0 (acatech 2013, 50). Viele der aktuell im Einsatz befindlichen Systeme wurden für Offline-Umgebungen entwickelt. Durch die Vernetzung über das Internet steigen die Angreifbarkeit und die Verletzlichkeit/Störanfälligkeit der Systeme an. Daraus ergeben sich Herausforderungen für die Sicherstellung der Betriebs- und Produktsicherheit (Safety) sowie der Angriffssicherheit für Systeme, Informationen und Daten (Security) (vgl. TÜV 2014, 9f.; Weidner 2014, 11).

*Betriebs- und Produktsicherheit*

*Safety-Risiken* bei Industrie 4.0 können z. B. durch steigende Automatisierung bedingt sein. Dazu zählen Gefahren für Menschen und Umgebung die von autonom handelnden technischen Systemen ausgehen können. Besonders große Befürchtungen in Verbindung mit Industrie 4.0 betreffen *Security-Risiken*, die durch die steigende Vernetzung entstehen. Dazu zählt zum einen die gezielte Störung oder Zerstörung von Systemen durch Manipulation von außen, die z. B. zu Betriebsausfällen oder -verzögerungen führen kann. Zum anderen steigen die vielfältigen Risiken im Bereich Datenschutz. Gefährdet sind sensible Unternehmensinformationen (Industriespionage und Piraterie) ebenso wie (persönliche) Daten bzw. die Privatsphäre von Beschäftigten und Kunden.

*Angriffssicherheit*

*Datenschutz und Recht auf Privatsphäre*

Tabelle 7: *Safety und Security*

Wirkungsfeld	Chancen	Risiken
Betriebssicherheit und Produktsicherheit [Safety]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verstärktes Bewusstsein für Sicherheitsanforderungen</li> <li>• Ansporn zu ganzheitlicher Sicherheitsstrategie</li> <li>• Eindeutige und sichere Identitätsnachweise für Produkte, Prozesse, Maschinen</li> <li>• Transparenz von Prozessen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gefahren für Menschen und Umgebung durch autonome Systeme</li> <li>• Teillösungen und Sicherheitslücken bei Sicherheitsarchitektur</li> <li>• Erhöhte Störanfälligkeit</li> <li>• Unsicherer Datenaustausch in Wertschöpfungsnetzen</li> <li>• Datenschutzverletzungen</li> <li>• Diebstahl von Know-how, geistigem Eigentum, Produktpiraterie</li> <li>• Gezielte [Zer]störung</li> <li>• Erhöhte Gefährdung der Privatsphäre von Beschäftigten und Kunden</li> </ul>
Angriffssicherheit, Datensicherheit, Informationssicherheit [Security]		

Als Gründe für Sicherheitsrisiken gelten – neben steigender Vernetzung und Automatisierung – mangelndes Sicherheitsbewusstsein, ungenügende Sicherheitsvorsorge (z. B. Sicherheitslücken in Systemarchitekturen), erschwerter Schutz durch fehlende Standardisierung, unklare Kosten-Nutzen-Relationen bei Investitionen in die Sicherheit und die fehlende Akzeptanz von Cybersecurity-Lösungen seitens der Anwender (z. B. aufgrund sinkender Benutzerfreundlichkeit).

Die vollständige und automatisierte Vernetzung zwischen Unternehmen kann dabei nur gelingen, wenn die vernetzten Endpunkte sich gegenseitig als sicher erkennen und ihre Vertrauenswürdigkeit automatisiert bewerten können. Das setzt die Zertifizierung der Produkte, Prozesse und Maschinen hinsichtlich ihrer Sicherheitseigenschaften voraus (vgl. TÜV 2014, 10).

*Identifizierung und  
Zertifizierung*

Exemplarisch für weitere relevante Themen im Schnittbereich von Industrie 4.0 und Sicherheit stehen Sicherheitsprojekte von Fraunhofer SIT zu Themen wie Industrial Rights Management (Schutz von Produkten und Maschinendaten), Piraterieschutz (für Anwendungen im Bereich Bewegungssteuerung) und Trusted Core Network (Hardwarebasierte Sicherheit für industrielle IT-Netze).<sup>7</sup>

Zusammenfassend bestehen vor allem Herausforderungen hinsichtlich der Entwicklung integrierter Sicherheitskonzepte, -architekturen und -standards, sowie sicherer Migrationsstrategien von Altsystemen zu Industrie 4.0-Lösungen. Dabei kann Sicherheit nicht isoliert betrachtet werden und steht in Verbindung mit Fragen (1) fehlender standardisierter Betriebssystem-Plattformen, (2) der Benutzerfreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit, (3) des Schutzes personenbezogener Daten, (4) informierter und qualifizierter Beschäftigter, (5) der Akzeptanz sowie (6) des Problembewusstseins für die Anwendung von Cybersecuritylösungen bei Führungspersonal und MitarbeiterInnen. Acatech bspw. (2013) fordert daher eine proaktive Herangehensweise, um Sicherheit in der Industrie 4.0 zu gewährleisten.

*Herausforderungen*

## 4.8 Technische Standards

Der mit Industrie 4.0 (kurz I 4.0) angestrebte Grad an Digitalisierung und Vernetzung aller Komponenten der Wertschöpfungskette stellt weitreichende Anforderungen an die technischen Grundlagen. Neben der Entwicklung der Basistechnologien, der technischen Infrastruktur für den Informationsaustausch und entsprechender Sicherheitssysteme betrifft dies vor allem die Etablierung möglichst einheitlicher technischer Standards (vgl. Tabelle 8).

---

<sup>7</sup> Siehe <https://www.sit.fraunhofer.de/de/industrie-40/>.

Tabelle 8: Technische Standards

Wirkungsfeld	Chancen	Risiken
Herstellungsprozesse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Firmenübergreifende [vernetzte, integrierte] Referenzarchitekturen</li> <li>• Community-Aufbau durch Kooperation</li> <li>• [Rechts-]Sicherheit</li> <li>• Beschleunigte und breite Umsetzung von I 4.0-Lösungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inkompatible Architekturen</li> <li>• Unterschiedliche „Weltbilder“ in den verschiedenen Disziplinen</li> <li>• Monopolstellung oder Kartellbildung</li> <li>• Misstrauen und Blockade</li> <li>• Verlust an Wettbewerbsfähigkeit und Marktanteilen [aus Sicht der etablierten Industrie]</li> </ul>
Vernetzte Geräte		
Softwareanwendungen		
Engineering		

#### Gemeinsame Standards/Normen als Voraussetzung für Vernetzung

Voraussetzung für die horizontale und vertikale Vernetzung sind klar definierte Standards für den reibungsfreien maschinen-, system- und softwareübergreifenden Informationsaustausch. Gemeinsame Standards fördern firmenübergreifende (vernetzte, integrierte) Wertschöpfungsnetzwerke und tragen zur Steigerung der Effizienz von Fertigungsverfahren bei. Zwischenbetrieblich fördert Standardisierung gemeinsame Sichtweisen, Rechtssicherheit, Kooperationen und Vertrauen. Zu den Risiken fehlender Standards zählen fehlende Interoperabilität, Reibungsverluste in Fertigungsverfahren und höhere Zutrittsbarrieren, wenn der Markt von proprietären Firmenstandards dominiert wird (vgl. Tabelle 8). Fehlende Standards werden von besonders vielen Unternehmen als Herausforderung für die erfolgreiche Umsetzung von Industrie 4.0 genannt (PwC 2014, 37; acatech 2013, 29).

#### Herausforderungen

Der Bereich der Standardisierung und Normung bereitet enorme Herausforderungen, weil Industrie 4.0 die Zusammenarbeit von verschiedenen Branchen und Disziplinen erfordert, die auf jeweils eigene Sichtweisen, Verfahren und Standards basieren (Produktionstechnik, Maschinenbau, Verfahrenstechnik, Automatisierungstechnik, Informatik und Internet). Acatech (2013, 45) erachtet deshalb eine inkrementelle Entwicklung der Referenzarchitektur unter der Berücksichtigung verschiedener Startpunkte für sinnvoll. Aktuell projektspezifisch umgesetzte Konzepte sollen schrittweise in internationale Standards überführt werden.

## 4.9 Regulierung

#### Geeigneter rechtlicher Rahmen

Der Trend zu Industrie 4.0 hat verschiedene Implikationen für die rechtlichen Rahmenbedingungen. Einerseits kann sich die Unsicherheit über die rechtliche Zulässigkeit einer neuen Technologie und ihre Anwendungen akzeptanz- und innovationshemmend auswirken (acatech 2013, 27). Andererseits können neue Technologien die Angemessenheit bestehender Regelungen infrage stellen, ihre Durchsetzbarkeit erschweren oder zu neuen Risiken und entsprechenden regulatorischen Herausforderungen führen. Zu zentralen Bereichen, in denen durch Industrie 4.0 ein Anpassungsbedarf entsteht, zählen Haftung und Datenschutz sowie Arbeits- und Sozialrecht (vgl. Tabelle 9).

Tabelle 9: Regulierung

Wirkungsfeld	Chancen	Risiken
Schutz von Unternehmensdaten/ Haftung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rechtskonforme Gestaltung von neuen Technologien, Geschäfts- und Vertragsmodellen</li> <li>• Innovationsadäquate Weiterentwicklung des Rechts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ungenügender Schutz unternehmenssensibler Daten</li> <li>• Mangelnde Zuordenbarkeit von Verantwortung im Netzwerk → Haftungsunsicherheit</li> </ul>
Personenbezogene Daten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anonymisierung, Pseudonymisierung</li> <li>• Corporate Rules und Betriebsvereinbarungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ungenügender Schutz personenbezogener Daten [Mitarbeiter, Kunden]</li> <li>• Auswertung der Daten in Drittländern [außerhalb der EU]</li> </ul>
Arbeits- und Sozialrecht	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recht auf temporäre Unerreichbarkeit</li> <li>• Arbeits- und sozialrechtliche Absicherung von Flexibilisierungs- und Weiterbildungsmaßnahmen</li> <li>• Gesundheits- und lernförderliche Arbeitsgestaltung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konflikte um arbeits- und sozialrechtliche Regelungen von Arbeit in I 4.0</li> <li>• Rechtsunsicherheit</li> </ul>
Internationaler Handel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abbau von Handelsbarrieren für Industrie 4.0-Anwendungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Handelsbarrieren und Rechtsunsicherheit [z. B. Verschlüsselungstechnik]</li> </ul>

Je nach Anwendungsgebiet können auch noch andere Rechtsgebiete relevant sein: Urheberrecht, Providerhaftung, Straßenverkehrsrecht, Regelungen hinsichtlich Standardisierung und Zertifizierung, Versicherungsrecht, Steuerrecht, Produktsicherungsrecht, Medizinprodukterecht, Umweltschutzstandards (z. B. Recycling), sowie rechtliche Fragen hinsichtlich möglicher Handelsbeschränkungen (Wettbewerbsrecht) oder der Verwendung von Kryptografie.

*Potenziell betroffene Rechtsmaterien*

Industrie 4.0 ist gekennzeichnet durch einen höheren Grad an Vernetzung und der Intensivierung der Interaktionen und Transaktionen. Die Angreifbarkeit der Systeme steigt mit zunehmender Offenheit. Damit stellen sich erhebliche Fragen der Haftung für Schäden an Maschinen, Produkten, Vermögenswerten und Menschen (vgl. Hilgendorf 2014).

*Haftungsfragen*

Als weiteres Risiko gilt ein unzureichender Schutz von unternehmenssensiblen Daten. Anlagenbetreiber bergen in ihren Anlagen Know-how und Profitabilität. In der Industrie 4.0 liegen Entwürfe, Konstruktions- und Konfigurationsdaten digital vor und müssen vermehrt zwischen Unternehmen und Maschinen ausgetauscht werden. Voraussetzung für die Akzeptanz einer Öffnung ist der Schutz sensibler Unternehmensdaten (Know-how Schutz; Schutz vor Produktpiraterie). Für ein adäquates Schutzniveau sind technische Schutzmaßnahmen und rechtliche Schutzvorkehrungen unverzichtbar (siehe auch Kapitel 4.7).

*Schutz von Unternehmensdaten*

Industrie 4.0 stellt erhöhte Anforderungen an den Datenschutz – beispielsweise aufgrund der technischen Möglichkeiten in intelligenten Fabriken Informationen zum Gesundheitszustand oder die Qualität der Aufgabenerfüllung der Beschäftigten zu erfassen und auszuwerten (acatech 2013, 64). Auch die stärkere Einbindung von Kunden sowie deren Interessen und

*Schutz der Daten von Beschäftigten und Kunden*

Nutzungsverhalten in die Wertschöpfungsnetzwerke führt zu Risiken hinsichtlich des Schutzes personenbezogener Daten (siehe auch Kapitel 4.7).

#### Arbeits- und Sozialrecht

Industrie 4.0 führt zu neuen Mensch-Maschine-Kooperationen. Dies bedeutet für das Arbeits- und Arbeitsschutzrecht eine Herausforderung. Auch heterogenere Anforderungen der Beschäftigten an Arbeitsorganisation und Arbeitsgestaltung, an Flexibilität und Vereinbarkeitsfragen müssen durch Unternehmen mit entsprechend flexiblen Modellen aufgegriffen werden. Zudem sind soziale Sicherungssysteme an neue, mitunter flexiblere Arbeits- und Lebensmodelle anzupassen (vgl. IG Metall 2014). Vorgeschlagen wird z. B. ein Recht auf temporäre Unerreichbarkeit, um Belastungen zu reduzieren (Baumgarten et al. 2014).

#### Herausforderungen

Adäquate regulatorische Rahmenbedingungen sollen Rechtssicherheit herstellen, die Praktikabilität der Regelungen sicherstellen und Akzeptanz, Verantwortlichkeit (z. B. Haftung) und Wettbewerb (z. B. Abbau von Handelsbarrieren) stärken. Eine grundsätzliche Herausforderung für den Rechtsstaat ist dabei die hohe Entwicklungsdynamik im technischen Bereich. Schnelle Innovationszyklen führen zu einem fortwährenden Anpassungsbedarf und einem chronischen Vollzugsdefizit. Dabei werden neue Ansätze angeregt, welche die Prüfung der Rechtsverträglichkeit einer Technologie bereits *vor und während* deren Entwicklung vorsehen (acatech 2013, 27). Insgesamt gelten die rechtlichen Herausforderungen in Bezug auf Industrie 4.0 als erheblich. Ihre Lösung stellt einen kritischen Erfolgsfaktor dar. „Lösung“ bedeutet dabei nicht notwendigerweise immer ein Tätigwerden des Gesetzgebers. Vielmehr ist häufig ein Instrumentenmix gefordert, der aus rechtlichen, technischen und politischen Komponenten bestehen muss (acatech 2013, 65).

## 5 Umsetzungsstand

### 5.1 Europäische Union und Mitgliedsländer

Die Europäische Kommission hat die Digitalisierung der Industrie und eine entsprechende Innovationsstrategie für die europäische Sachgüterproduktion in jüngster Zeit zu einer hohen Priorität erklärt. Derzeit laufen mehrere EU-weite, nationale und regionale Initiativen zur digitalen Produktion. Es gibt aktuell vier EU-Initiativen (Application PPPs, I4MS, Smart Anything Everywhere – SAE, ICT PPPs) sowie nationale Initiativen, z. B. in Deutschland, Finnland, Polen, den Niederlanden, UK, Belgien, Frankreich, Portugal, Spanien Griechenland, Italien und Österreich.

Dabei sollen pan-europäische Plattformen entwickelt, die EU-Initiativen ausgebaut und mit den nationalen verknüpft werden (EC 2015a). Eine EU-Task Force für Advanced Manufacturing soll einen Beitrag zur Modernisierung der Fertigungsunternehmen innerhalb der EU leisten. Advanced Manufacturing zählt zu einer der sechs Schlüsseltechnologien (Key Enabling Technologies, KETs), welche als Basis für Innovation in allen industriellen Branchen gelten. Die Europäische Kommission fördert Investitionen in KETs und für KMU den Zugang zu KETs-Technologieplattformen (EC 2015b, c, d). Die Entwicklung innovativer Technologien innerhalb der Fertigungsindustrie wird durch die European Factories of the Future Research Association (EFFRA) gefördert, eine Gründung durch die Technologie-Plattform MANUFUTURE und industrielle Schlüssel-Verbände. EFFRA errichtete die öffentlich-private Partnerschaft „Factories of the Future PPP“ mit dem Ziel, europäische KMU in der Anpassung an den globalen Wettbewerbsdruck durch die Entwicklung von Schlüsseltechnologien zu unterstützen (Günther 2014).

Indikator für Digitalisierungsfortschritte ist z. B. der automatisierte Datenaustausch zwischen produzierenden Unternehmen, Zulieferern und Kunden oder die Verwendung von RFID-Technologie. Der Anteil der Unternehmen mit automatisiertem Datenaustausch liegt in den Mitgliedstaaten in einer Bandbreite von 8 % in Rumänien, 18 % in Österreich bis 26 % in Dänemark (Eurostat 2014). Dazu gibt es in Europa auch viele Bemühungen von Industrie, Wissenschaft und Politik, um die Bereiche M2M (Machine to Machine), WSN (Wireless Sensor Networks) und RFID (Radio-Frequency Identification) im Rahmen von Internet of Things (IoT)-Initiativen zu fördern<sup>8</sup> (Gubbi et al. 2013; IERC 2015).

*EU Initiativen zur Digitalisierung der Produktion*

*Automatisierter Datenaustausch als Indikator für Umsetzung*

---

<sup>8</sup> Das European Research Cluster on the Internet of Things (IERC) entwickelt IoT in Europa weiter. Mehrere große Projekte (EU-FP7, Horizon 2020) forschen zum IoT: CASAGRAS2 fokussiert auf RFID-Technologie im IoT. Das Projekt IoT-A entwickelte ein Architektur-Referenzmodell zur nahtlosen Kommunikation im IoT. Die IoT-Initiative soll die Entwicklung der europäischen IoT-Community unterstützen. Das Smart Santander-Projekt entwickelt große Testumgebungen für weitere

## 5.2 Deutschland als Vorreiter

### *Plattform Industrie 4.0*

Bereits Anfang 2011 propagierte die Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft in Deutschland Industrie 4.0 auf der Hannover Messe als Zukunftsprojekt (Kagermann et al. 2011). Die 2013 von den drei Industrieverbänden BITKOM, VDMA und ZVEI gegründete gemeinsame Plattform wurde Mitte März 2015 in eine Plattform Industrie 4.0 auf breiterer politischer und gesellschaftlicher Basis überführt, und zwar unter Leitung der Bundesministerien für Bildung und Forschung sowie für Wirtschaft und Energie (BMW 2014; BMBF 2015).

### *Standardisierung und erste Pilotprojekte*

Die Fraunhofer-Gesellschaft hat den international offenen Datenraum „Industrial Data Space“ gegründet. Durch die Einhaltung gemeinsamer Standards bekommen Unternehmen Zugang, der ihnen helfen soll, sichere Lösungen für die Digitalisierung und sich verändernde Produktions- und Geschäftsprozesse zu finden (Fraunhofer 2015). Insgesamt wird erwartet, dass die Branchen Maschinen- und Anlagenbau, Elektrotechnik, Automobilbau, Landwirtschaft und IKT, aber auch die chemische Industrie am meisten von I 4.0 profitieren werden (Bitkom & Fraunhofer 2014). Fraunhofer plant die Errichtung des deutschlandweit ersten verteilten I 4.0-Produktionssystems in Karlsruhe, Lemgo und Ilmenau, um I 4.0-Technologien zu testen (Fraunhofer IOSB 2013). Zudem gibt es Pilotprojekte von großen Unternehmen wie Audi, Bosch, Siemens und Trumpf zur Vernetzung von Systemabläufen. Siemens hat beispielsweise in Amberg eine erste Anlage mit smarten Maschinen ausgestattet (Hessman 2013). Bis 2016 sollen in Deutschland vier Demonstrations- und Pilotanwendungen für Industrie 4.0 entstanden sein (Schneider 2014 a).

### *In der Breite noch nicht angekommen – KMU mit Vorbehalten*

Deutsche KMU sehen den Mehrwert von I 4.0 vor allem in den Bereichen Maschinenvernetzung, Supply Chain, Auftragsabwicklung und Shopfloor Management (Fraunhofer IAO 2014). Die Breite der deutschen Industrieunternehmen und besonders KMU haben das Thema Industrie 4.0 jedoch noch nicht angenommen (acatech 2013, DB 2014).

Auf Länderebene planen Großbritannien und Deutschland zum Beispiel eine gemeinsame Investition von € 100 Mio. in IoT-Projekte, mit der Entwicklung eines schnelleren mobilen Internetzugangs (5G) als erstem Ziel (BBC 2014). Großbritannien verfolgt auch sogenannte „Future Internet Initiatives“ (Shin 2014) und baute in Coventry durch Siemens und Hewlett-Packard 2014 eine erste digitale Fabrik (Nathan 2014).

---

Forschung in Spanien, England, Deutschland, Serbien und Australien. In Italien wird ein nationales Projekt, das „Italian National Project of Netergit“ verfolgt, um eine Infrastruktur für das Internet of Things bereitzustellen (Shin 2014). 2015 richtete Spanien das „Startup boot camp“ ein, um IoT-orientierte Unternehmen und Innovationen zu fördern.

## 5.3 Internationale Entwicklungen

Zum Stand der Umsetzung von I 4.0 auf internationaler Ebene mangelt es noch an soliden Daten. Zu möglichen Indikatoren auf Unternehmensebene zählen vermehrter Einsatz von Informationstechnologien, Modellierungen und Simulationen, automatisierter Datenaustausch zwischen Produktionsunternehmen, innovatives Management globaler Lieferketten oder erhöhte Flexibilität der Fertigung (Shipp et al. 2012). Vorläufig lässt sich der Umsetzungsfortschritt v. a. anhand der Entwicklung strategischer Förderprogramme und Innovationsplattformen verfolgen. In den USA, China, Südkorea, Japan und Australien gibt es große Initiativen von Industrie und Regierungen, um das IoT weiterzuentwickeln; dazu gehören auch Smart City-Initiativen, Smart Grid-Programme mit Smart Metering-Technologien und die Einführung des Breitbandinternets (acatech 2013; Gubbi et al. 2013; Shin 2014; GSA 2014, Yanrong et al. 2014). Seit 2008 arbeitet die IPSO Alliance mit über sechzig Mitgliedsunternehmen daran, das Internetprotokoll als Grundlage für die Kommunikation von smarten Objekten zu etablieren. Sie steht in enger Zusammenarbeit mit Normungsgremien wie IETF, IEEE und ITU (Gubbi et al. 2013; IPSO 2015). Japan arbeitet seit 2006 daran, IT jederzeit und an jedem Ort verfügbar zu machen (Shin 2014, Myoken 2008). In einem Pilotprojekt eines Maschinenbauunternehmens in Yokohama werden bereits humanoide Roboter eingesetzt, welche 80 % der Produktivität eines menschlichen Arbeiters erreichen sollen (Roland Berger 2014a). Dagegen erschwert bspw. in Brasilien die sehr geringe Automatisierungsrate (gemessen am Einsatz von Industrierobotern) die Umsetzung von I 4.0 (Schneider 2014b).

*Strategische  
Förderprogramme*

*Innovationsplattformen*

### 5.3.1 USA

Die Obama-Administration hat 2011 über \$ 500 Mio. in die Advanced Manufacturing Partnership investiert (White House 2011). Im Jahr 2013 wurde die Finanzierung von Projekten zu Advanced Manufacturing erhöht und ein „National Network for Manufacturing Innovation“ (NNMI) etabliert (Kurfuss 2014). Insgesamt standen für das Jahr 2013 \$ 2,2 Mrd. in diesem Bereich zur Modernisierung der Fertigungsindustrie zur Verfügung (Sabo 2015). Das NIST (National Institute of Standards and Technology) leitet das Advanced Manufacturing National Program mit dem Ziel, Technologien in der Fertigungsindustrie durchzusetzen. Seit 2009 fördert die National Science Foundation Projekte zu „Cyber-Physical Systems“ (Hinrichsen & Jasperneite 2013). Auch in den USA wird die Einbindung von KMU als zentral für die Umsetzung von I 4.0 gesehen, vor allem über die Schirmorganisation Manufacturing Extension Partnership (MEP). Zu den Vernetzungsaktivitäten zählt auch das 2014 gegründete Industrial Internet Consortium (IIC). Es vereint Organisationen und Technologien des industriellen Internet und soll Best Practices identifizieren und zusammenführen. Gefördert werden auch Referenzarchitekturen und Rahmen für die Interoperabilität (IIC 2015 a). Die US-Regierung investiert mehr als \$ 100 Mio. in CPS-

*Cyber Physical Systems  
als US-Version von  
Industrie 4.0*

Forschung (Sabo 2015 mit Verweis auf Riemenschneider 2014). Die Universität von Berkeley hat mit dem Smart Cities Research Center eine große Initiative gestartet, um das Thema komplexe Systeme zu bearbeiten. Auch die DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) hat Wettbewerbe für humanoide Robotersysteme und unbemannte Landfahrzeuge gestartet und ist somit ein wichtiger Förderer der Entwicklung komplexer IKT-Systeme (Prem & Ruhland 2014).

### 5.3.2 China

#### *Weltweit größter M2M Markt*

China macht große Fortschritte im Bereich des IoT und steht nach Ansicht mancher Experten in dieser Hinsicht vor Europa und den USA. Asien verfügt über 50 Mio. Machine to Machine (M2M)-Verbindungen, mehr als ein Viertel des weltweiten M2M-Markts im Jahr 2013, und hat zurzeit den größten regionalen M2M-Markt (GSMA 2014). China verfolgt den „National IoT Plan“ des Ministeriums für Industrie und Informationstechnologie (Shin 2014). Zentrale Themen sind Smart Grid, intelligenter Transport, Smart Logistik, Smart Home, Industriesteuerung und Automation, Gesundheitspflege und Verteidigung. In Shanghai wurde ein mit \$ 100 Mio. finanziertes IoT-Zentrum gegründet. Es kam auch zur Gründung eines Industriefonds für das IoT und einer IoT-Union „Sensing China“ (Gubbi et al. 2013). Weiters wurde 2014 die Einrichtung eines mit € 7,5 Mrd. dotierten Smart City-Fonds angekündigt (CBR 2014).

## 6 Situation in Österreich

### 6.1 Ausgangslage

In Österreich hat die produzierende Industrie eine hohe Bedeutung für den Wirtschaftsstandort. In der Sachgütererzeugung sind in Österreich rd. 616 Tsd. Personen in rd. 25 Tsd. Unternehmen direkt beschäftigt. Arbeitsplätze in der Industrie schaffen zudem weitere Arbeitsplätze in vor- und nachgelagerten Dienstleistungssektoren. Die Unternehmen der Sachgütererzeugung erzielten im Geschäftsjahr 2012 eine Bruttowertschöpfung von € 48,3 Mrd. Die Industrie zeichnet für 19 % der österreichischen Bruttowertschöpfung und für zwei Drittel der österreichischen Exporte verantwortlich. Rund 30 größere österreichische Produktionsunternehmen gelten als Leitbetriebe und zählen international zu den Weltmarktführern. 99,6 % der Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft<sup>9</sup> sind jedoch Klein- und Mittelunternehmen (KMU), die gemeinsam 58,8 % der Wertschöpfung erwirtschaften. Zwei Drittel der Beschäftigten sind in KMU tätig.

Grundsätzlich verfügt Österreich über sehr gute Voraussetzungen für Industrie 4.0: Der „Bloomberg Innovation Index 2015“ zählt Österreich im Bereich „Manufacturing“ (Produktionsprozesse und Fertigungskapazitäten) zu den fünf besten Standorten weltweit.<sup>10</sup> Auch gemessen am „Industry 4.0 Readiness Index“ gehört Österreich (zusammen mit Deutschland, Schweden und Irland) zu den Ländern mit den besten Umsetzungsvoraussetzungen (Roland Berger 2014a). Österreichs Stärken im produzierenden Sektor liegen in den Bereichen Elektronik, Mechatronik, pharmazeutische Industrie sowie in der Papierherstellung (KMU Forschung Austria 2015, Wasserfall 2014). Zwischen 15-34 % der Unternehmen aus den genannten Wirtschaftsbereichen führen eigene Forschung durch und bringen somit hohe F&E-Investitionen auf (hauptsächlich in den Bereichen elektrische Ausrüstungsherstellung, Kraftwagen- und Fahrzeugbau) (Prem & Ruhland 2014).

Das Konzept Industrie 4.0 scheint jedoch beim Großteil der österreichischen Industriebetriebe noch nicht angekommen zu sein: Laut einer jüngst von Gallup für FESTO durchgeführten Umfrage unter industriellen Führungskräften konnten 53 % mit dem Begriff noch nichts anfangen; rund ein Fünftel hält ihn für einen vorübergehenden Hype (FESTO 2015, 22f.). Kleinere und mittlere Unternehmen stellt die Umsetzung von Industrie 4.0 vor besondere Herausforderungen wie bspw. beschränkte Investitionsbudgets für Automatisierung und IT-Knowhow. Andererseits sind gerade für KMU kleine Losgrößen bei gleichzeitig vielen verschiedenen Produktlinien typisch, wofür Industrie 4.0 Vorteile verspricht (vgl. Kap. 3; acatech 2013; Bleicher 2014, Industrieweb 2014). Derzeit beschäftigen sich nur wenige

*Gute Voraussetzungen  
in Österreich*

*Industrie 4.0 von  
Unternehmen erst  
wenig aufgegriffen*

*Besondere  
Herausforderungen  
für KMU*

<sup>9</sup> ÖNACE Abschnitte B-S, Statistik Austria.

<sup>10</sup> <http://www.bloomberg.com/graphics/2015-innovative-countries/>

österreichische Unternehmen mit Big Data-Anwendungen, und besonders KMU sind diesbezüglich eher skeptisch, da sie die Daten als „nicht bewältigbar“ einschätzen (Köhler & Meir-Huber 2014). Zugleich gibt es viele innovative KMU, die mit Wirtschaftspartnern und/oder öffentlichen Forschungseinrichtungen kooperieren (IIT 2015).

## 6.2 Verbreitungsstand innovativer Produktions- und Prozesstechnologien

Der European Manufacturing Survey (EMS) aus dem Jahr 2012 erlaubt es, die Verbreitung ausgewählter Produktionstechnologien, die im Kontext von Industrie 4.0 an Bedeutung gewinnen, zu beschreiben.<sup>11</sup> Dabei wurden unter anderem Techniken zu Robotik und Automatisierung sowie digitaler Fabrik und IT-Vernetzung abgefragt.

*Industrie 4.0-relevante  
Anwendungen bereits  
im Einsatz*

Die Ergebnisse des EMS für Österreich (vgl. Abbildung 1) zeigen, dass innovative, Industrie 4.0-relevante Anwendungen bereits in unterschiedlichem Ausmaß in der österreichischen Sachgütererzeugung eingesetzt werden. Am häufigsten zum Einsatz kommen Roboter und Handhabungssysteme, gefolgt von Supply Chain Management und automatisierten Lagerverwaltungssystemen. Bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt sollten sich bei mehr als einem Drittel der rund 250 befragten österreichischen Produktionsunternehmen diese Technologien jeweils im Einsatz befinden.

Die Umsetzung von Industrie 4.0 ist ein schrittweiser Prozess, der in den verschiedenen Branchen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten stattfinden wird. Deshalb zeigen sich die Unterschiede entsprechend der Technologieintensität der befragten Unternehmen. Vor allem bei avancierteren Anwendungen wie dem Einsatz von Virtual Reality und Lösungen für Mensch-Maschine Kooperation sind Unternehmen der High-tech-Branche die Vorreiter.

*Große Unternehmen  
als Vorreiter*

Zudem lässt sich auch ein starker Größeneffekt beobachten. Große Unternehmen (250+ MA) setzen die genannten Technologien am stärksten ein, gefolgt von mittleren Unternehmen (50 bis 249 MA) und Kleinbetrieben (bis 49 MA). Wissensmanagementsysteme, Virtualisierung, Lebenszyklusbeachtung und automatisierte Logistik sind insbesondere bei Großbetrieben bereits recht weit verbreitet. Dem gegenüber nutzen vergleichsweise wenige Kleinbetriebe avancierte Produktions- und Prozesstechniken. Eine Ausnahme sind Handhabungssysteme und Industrieroboter. Jeder fünfte produzierende Kleinbetrieb hat diese Technologien bereits im Einsatz.

<sup>11</sup> Der European Manufacturing Survey (EMS) erfasst die Nutzung technischer und organisatorischer Innovationen in der Produktion und die damit erzielten Verbesserungen der Leistungsfähigkeit in der Sachgütererzeugung. Für Österreich liegen mittlerweile Daten aus vier Erhebungsrounds vor, wobei die letzte Erhebung 2012 stattfand (Betriebe der Sachgütererzeugung ab 20 MitarbeiterInnen, für das Jahr 2012 waren es 250 Betriebe; repräsentativ für die Grundgesamtheit).

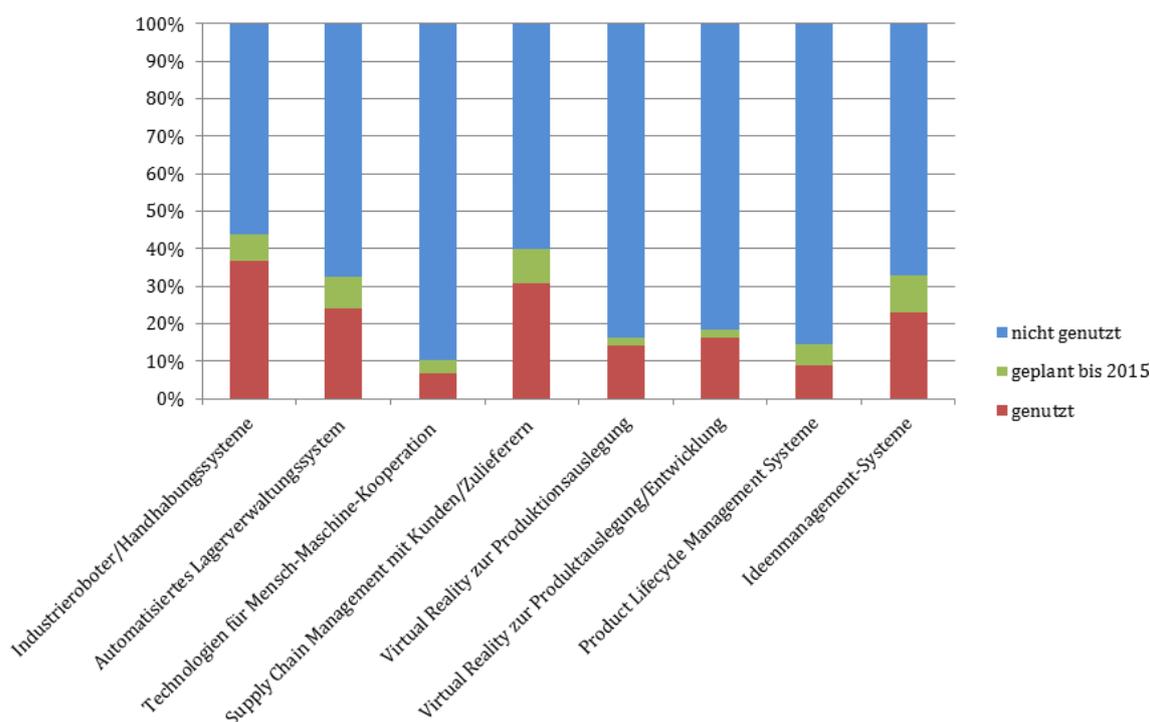


Abbildung 1: Nutzung ausgewählter Produktionstechnologien in der österreichischen Sachgütererzeugung  
 Quelle: European Manufacturing Survey (2012), Berechnung AIT

### 6.3 Nationale Initiativen zu Industrie 4.0

In Österreich ging einer der ersten Anstöße zur Auseinandersetzung mit Industrie 4.0 im Frühjahr 2013 von der an der TU Wien gegründeten Initiative „TUWin 4.0“ aus. Gegen Ende 2014 wurde auf Initiative des BMVIT schließlich eine nationale „Plattform Industrie 4.0“ auf den Weg gebracht. Die Plattform umfasst den Fachverband der Elektro- und Elektronikindustrie, die Maschinen- und Metallwarenindustrie, die Industriellenvereinigung, die Arbeiterkammer und die Produktionsgewerkschaft Pro-Ge (Der Standard 2015). Ein Vertreter einer der Arbeitsgruppen beschreibt Ziel und Zweck der Plattform wie folgt: „Die österreichische Plattform Industrie 4.0 ist nach der deutschen Plattform Industrie 4.0 die weltweit zweite ihrer Art. Eine damit vergleichbare Einrichtung gibt es mit der ‘Smart Manufacturing Leadership Coalition’ nur noch in den USA.<sup>12</sup> Die Aktivitäten der österreichischen Plattform Industrie 4.0 entstehen aus dem Bedürfnis österreichischer Industriebetriebe, bereits bestehende als auch zukünftige Aktivitäten zu bündeln, aufeinander abzustimmen und zu koordinieren.“<sup>13</sup>

Plattform  
Industrie 4.0

<sup>12</sup> Vgl. dazu auch Manufacturing Extension Partnership (MEP)

<sup>13</sup> <http://blog.szukitsch.at/2014/12/03/arbeitsgruppe-industrie-4-0-im-bmvit/>

### Investitionen für Forschung und Entwicklung

Das BMVIT investierte seit 2004 insgesamt € 1 Mrd. für die Erforschung und Entwicklung von Technologien oder Prozessen, die auch Grundlage für Industrie 4.0 bilden (Wiesmüller 2014). Allein für 2015/2016 sollen seitens des BMVIT rund € 250 Mio. an Förderungen in die Verbesserung der Leistungsfähigkeit der Industrie fließen (Zimmermann 2014, EC 2015a). Investiert wird das Geld unter anderem in Pilotfabriken, wie jener, die derzeit an der TU Wien entsteht. Im Herbst 2014 förderten BMVIT und die Marshallplanstiftung mit insgesamt € 5 Mio. drei Stiftungsprofessuren für Produktion und Industrie 4.0. Sie sollen die Kooperation zwischen Wissenschaft und Industrie sowie das Ausbildungsangebot verbessern (BMVIT 2014 b). Laut Umfragen hat jedes zweite Unternehmen zu wenige Fachkräfte mit kombiniertem IT-, Fertigungs- und Logistikwissen. Durch neue Produktionsabläufe in I 4.0 werden aber gerade solche Qualifikationsprofile benötigt (CSC 2015).

### Stiftungsprofessuren und KMU Förderung

2015 wurden weitere Stiftungsprofessuren ausgeschrieben, die u. a. dem Thema Industrie 4.0 gewidmet sind (FFG 2015). Das Wirtschaftsministerium fördert Industrie 4.0-Prozesse mit € 30 Mio. (Die Presse 2014). Darüber hinaus fördert die sogenannte Breitbandmilliarde den Ausbau des Hochgeschwindigkeitsinternets bis 2020, das eine Voraussetzung für die Vernetzung in Industrie 4.0 bildet; 2015 sollen € 300 Mio. investiert werden (BMVIT 2014a). Derzeit stellen sowohl das Technologie- als auch das Wirtschaftsministerium den politischen Führungsanspruch in Sachen Industrie 4.0.

2015 soll die Förderung heimischer KMU durch das aws-Förderprogramm „proTrans – Industrie 4.0“ mit dem Ziel starten, KMU zu stärken und bei Forschung, Entwicklung und Innovationsleistungen zum Thema Industrie 4.0 zu unterstützen. Im Oktober und November 2014 gab es eine Pilotaktion für etablierte wachstumsorientierte Unternehmen. Gefördert wurden Kosten für Personal, Beratung, Durchführbarkeitsstudien und Verbrauchsmaterialien (aws 2014).

### Bau von Pilotfabriken

Die an der TU Wien entstehende Pilot- und Lernfabrik erhält für die ersten 3 Jahre € 2 Mio. Förderung. Sie hat die „E3“-Demofabrik in Chemnitz als Vorbild und wird von SIEMENS begleitet (Wasserfaller 2014). Die Fabrik soll sich mit humanzentrierten cyber-physikalischen Produktionssystemen (HCCPPS) auseinandersetzen und schnell umsetzbare Lösungen insbesondere für KMU identifizieren (Gerhard 2014). Mit demselben Ziel soll an der TU das *Austrian Center for Advanced Manufacturing Systems (ACAMS)* eingerichtet werden (Bleicher 2014).

Infineon Austria gilt als einer der Industrie 4.0-Vorreiter in Österreich. Im September 2014 wurde in Villach mit der Konstruktion des Pilotprojektes, „Fabrik der Zukunft“ begonnen. Insgesamt werden € 290 Mio. in die Standortweiterung, Forschung und Entwicklung der Fabrik in Villach investiert (Austria Innovativ 2014, economy austria 2014).

Auf die industrielle Praxis haben die Ansätze zu Industrie 4.0 bisher noch wenig Auswirkungen. Besonders stark betroffen sind die Themen Frameworks, Parallelisierung, Standards, Tests und Altsysteme (Prem & Ruhland 2014). Da Standardisierung eine wichtige Voraussetzung für I 4.0 ist, sollen TÜV AUSTRIA und Testlabors wie Fraunhofer SIT bei Zertifizierungen, etwa von Cybersecuritysystemen, Hilfestellung geben (APA 2014).

*Bislang kaum  
Auswirkungen auf die  
betriebliche Praxis*

Oberösterreich soll zur Modellregion der Smart Production ausgebaut werden (Wasserfall 2014). Die Industriellenvereinigung sieht günstige Voraussetzungen in Oberösterreich für den Umstieg auf Industrie 4.0 gegeben, da die Schwerpunkte der klassischen Ingenieursdisziplinen, Logistik und IT schon vorhanden sind und nur noch vernetzt und ausgerichtet werden müssen (IV Oberösterreich 2013). Ebensolches gelte für die „Innoregio Süd“, Innovationsnetzwerk der Steiermark & Kärnten (IV 2014). Die Steiermark und Oberösterreich wollen gemeinsam eine Modellregion einrichten, um Kompetenzen von Leitbetrieben und Forschungseinrichtungen zusammenzutragen (Bast 2014). Für KMU wird großes Potenzial im Dienstleistungsbereich gesehen. Von der SFG (Steirische Wirtschaftsförderung) werden € 1,5 Mio. für ein Projekt im Bereich „Smart Production and Services“ zur Verfügung gestellt (SFG 2015).

## 6.4 Forschung und Entwicklung

Das BMVIT hat eine österreichische Roadmap zur Beherrschung komplexer IKT-Lösungen veröffentlicht (Prem & Ruhland 2014). Laut dieser Studie liegen Kompetenz-Stärkefelder Österreichs im Hinblick auf Industrie 4.0 in der Mikroelektronik, im Bereich der IT-Sicherheit und bei Echtzeitsystemen. An der Schnittfläche dieser drei Bereiche liegt das Potenzial, Lösungen für solche komplexen IKT-Systeme wie etwa CPS zu erstellen. Es wird Österreich empfohlen, diese Stärken auszubauen und sich auf Anwendungsfelder wie Automotive und Aeronautik zu fokussieren. Stärken bestehen auch in den Bereichen sicherer Systeme und Embedded Systems; zwei Bereiche, welche stärker miteinander verbunden werden sollten. Durch die Zusammenarbeit unterschiedlicher Akteure können die Schwerpunkte Leistungselektronik und Sicherheit der Mikroelektronik weiter ausgebaut werden (Prem & Ruhland 2014).

*Roadmap für komplexe  
IKT-Systeme*

Autonomen Systemen wird hierbei für die Zukunft eine zentrale Rolle eingeräumt. Es wird mit serienmäßiger Teilautonomie, etwa bei Fahrzeugen oder Robotern mit Selbstwartung bis 2020 gerechnet. Der Einsatz von adaptiven Systemen, die sich an ihre Umweltbedingungen und NutzerInnen anpassen, wird als vorrangiges und kurzfristig erreichbares Ziel (ab 2015) eingeschätzt. Für erweiterte Interaktionen sind allerdings komplexere Schnittstellen und intelligentere Sensoren notwendig, mit deren Entwicklung erst ab 2025 gerechnet wird.

*Zentrale Rolle für  
autonome Systeme*

Im selben Zeithorizont liegt ein anderer wichtiger Themenkomplex: die Zertifizierung von Teilsystemen und die Zusammenführung von teil-zertifizierten Systemen zu Gesamtsystemen. Sie ist abhängig von internationalen Regulierungen und Standardisierungen (s. o. Kap. 4.8 und 4.9).

Die Themen Safety und Security haben Forschungspriorität mit kurzen Zeithorizonten ab 2015. Bei beherrschbaren Sicherheitsaspekten wird es zunehmend Anbindungen an die Cloud für Echtzeitsysteme geben (2020-2025).

#### *Laufende Anpassung alter Systeme*

Eine kontinuierliche Herausforderung besteht im Mangel an Forschung zur Sicherheitsanpassung bestehender Systeme (Altsysteme). Durch die ständige Weiterentwicklung von Systemumgebungen gibt es eine hohe Anzahl von Altsystemen, die sich aber aus Kostengründen nicht einfach ersetzen lassen sondern angepasst werden müssen. Ein industrielles Interesse am Thema „Systemevolution“ wird ab 2020 erwartet.

Zu den bestehenden Schwerpunkten der wissenschaftlichen und industriellen IKT-Forschung in Österreich zählen Embedded Systems, Mobilkommunikation, Visual Computing, Artificial Intelligence und semantische Systeme, Elektronik, Mathematik und elektronische Grundlagen. Als spezielle Stärken gelten die Bereiche Echtzeitsysteme, Security, Mikroelektronik, Formale Verifikation, Artificial Intelligence und mathematische und logische Grundlagen (Prem & Ruhland 2014).

## 7 Zwischenfazit

In den führenden Industriestaaten steht eine neue Stufe der Modernisierung der Produktionssysteme mit der Vision einer umfassenden digitalen Vernetzung auf der Tagesordnung. Im deutschsprachigen Raum wurde dafür „Industrie 4.0“ zum Leitbegriff, international auch Bezeichnungen wie „Advanced Manufacturing“ oder „Smart Factories“. Wesentliche Triebkräfte sind der verschärfte globale Wettbewerb bei der Vermarktung industriell und gewerblich erzeugter Produkte, der angestrebte Ausbau der Industriequote unter dem Signum einer Re-Industrialisierung EU-Europas sowie ein großes Angebot an neuen Technologien. Herzstück der Vision von Industrie 4.0 bildet die Vernetzung industrieller Wertschöpfungsketten zu cyberphysischen Systemen (CPS) auf Basis des Internet der Dinge und Dienste. Darin kommunizieren Menschen, Maschinen, Anlagen, Roboter, Logistiksysteme, Werkstücke und Materialien mittels eingebauter Hard- und Software, internetbasierter Funktechnologien sowie neuer Schnittstellen mit- bzw. untereinander und ermöglichen ein neues Niveau dezentraler, selbststeuernder, flexibler Produktion.

Industrie 4.0 ist ein zunächst vor allem von Industrieverbänden und deren Leitbetrieben, der IT-Industrie und IT-Consultingunternehmen mit enormer Öffentlichkeitswirkung vorangetriebenes, heute von der Industrie- und Innovationspolitik aufgegriffenes Projekt. An seine Umsetzung knüpft sich das Versprechen eines hohen wirtschaftlichen Nutzens: eine Steigerung von Produktivität, Ressourceneffizienz, Flexibilität, Wertschöpfung und längerfristig auch positive Beschäftigungseffekte. Des Weiteren soll Industrie 4.0 zu einer Aufwertung von Arbeitsaufgaben und einer Unterstützung nachhaltiger Entwicklung beitragen. Dem stehen allerdings auch Befürchtungen gegenüber: der entscheidend steigende Automatisierungsgrad könnte bei flächendeckender Umstellung mehr Arbeitsplätze kosten als neue entstehen lassen, und Arbeit könnte psychisch belastender und zu Restfunktionen degradiert werden.

Da die Visionen und Potenziale von Industrie 4.0 bis dato nur in Teilbereichen und dabei v. a. in industriellen Leitbetrieben umgesetzt wurden, besteht heute über die tatsächlichen Auswirkungen einer Realisierung in der Breite große Ungewissheit. Sicher ist dagegen, dass es in absehbarer Zeit zu erheblichen Veränderungen der Fertigungslandschaft samt den vor- und nachgelagerten Bereichen der gesamten Wertschöpfungskette kommen wird. Dies legt nicht nur die skizzierte Konstellation von Triebkräften nahe sondern dies verdeutlichen auch schon weitgehend vorexerzierte neue Geschäftsmodelle und Trends der Digitalisierung und Virtualisierung im Dienstleistungssektor. Der Pfad Richtung Industrie 4.0 ist bereits beschritten, die digitale Vernetzung wird auch die industrielle Zukunft prägen. Wo dieser Pfad aber genau hinführen und ob er zu einer hochrangigen Straße ausgebaut wird und wie diese Straße verlaufen wird, ist noch weitgehend offen. Es ist daher jedenfalls erforderlich, sich vorausschauend mit der Bandbreite an möglichen Auswirkungen, Chancen und

*Vernetzung von  
Wertschöpfungsketten  
als Herzstück von I 4.0*

*Industrieverbände,  
Leitbetriebe und  
Consultingunternehmen  
forcieren I 4.0*

*Große Ungewissheit  
über tatsächliche  
Auswirkungen*

*Wandel der  
Fertigungslandschaft  
im Kommen*

Risiken sowie sich abzeichnenden Herausforderungen auseinanderzusetzen, um daraus mögliche Gestaltungsoptionen für eine wünschenswerte Entwicklung von Industrie 4.0 abzuleiten. Im zentralen Teil dieses Papiers wurde damit anhand einiger wichtiger Wirkungsfelder begonnen.

*Vorrausschauende,  
aktive Gestaltung  
notwendig und möglich*

In Österreich werden die Voraussetzungen, Industrie 4.0 zu realisieren, grundsätzlich günstig eingeschätzt. Trotzdem steht der Fertigungssektor als Ganzes erst am Beginn, sich des Themas anzunehmen. Umso mehr besteht die Chance, Möglichkeiten zu einer aktiven Gestaltung zu nutzen und durch Rahmenbedingungen und Instrumente seitens der Politik zu unterstützen, die eine möglichst positive Entwicklung von Industrie 4.0 im Interesse aller Betroffenen fördern.

*Weiterer Klärungsbedarf  
in den Bereichen:*

*Neue Geschäftsmodelle*

*Arbeit und  
Beschäftigung*

*Aus- und Weiterbildung*

*Safety und Security*

In einigen Bereichen sind die Herausforderungen und Spannungsfelder in Bezug auf eine Gestaltung positiver Rahmenbedingungen relativ klar erkennbar, in anderen hingegen besteht noch erheblicher Klärungsbedarf. Dies betrifft zum einen den Bereich neuer Geschäftsmodelle und die Auswirkungen auf KMU, Zulieferbetriebe und Branchenstrukturen. Das Thema Arbeit und Beschäftigung bedarf wegen seiner weitreichenden gesellschaftlichen Folgewirkungen einer vertieften Untersuchung. Denn mit der Einführung integrierter Produktionssysteme dürfte ein nachhaltiger Wandel im Verhältnis von Mensch und Maschinen sowie für Organisations- und Arbeitsstrukturen einhergehen, dessen Folgewirkungen noch kaum absehbar sind. Ähnliches gilt für den Bereich der Aus- und Weiterbildung, und zwar insbesondere wegen hierzu besonders widersprüchlich und heterogen eingeschätzter Perspektiven. Schließlich verdienen die Auswirkungen auf Sicherheit im Sinne von Safety und Security eine vertiefende Beleuchtung. Denn Industrie 4.0 lässt aufgrund von Automatisierung und Vernetzung eine neue Qualität von Abhängigkeiten und Risiken für Produktionssysteme sowie sensible Personen- und Unternehmensdaten entstehen.

# Literatur

- Acatech (Hrsg.) (2011). Cyber-Physical Systems – Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion. In: acatech POSITION, Springer Verlag 2011, 11
- acatech (2013). Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Frankfurt/Main
- APA (2014). Aws pro Trans: Aufruf zur neuen Industrie 4.0 Zuschussförderung für KMU. [http://www.ots.at/presseaussendung/OTS\\_20141030\\_OTS0070/aws-protrans-aufruf-zur-neuen-industrie-40-zuschussfoerderung-fuer-kmu](http://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20141030_OTS0070/aws-protrans-aufruf-zur-neuen-industrie-40-zuschussfoerderung-fuer-kmu), entnommen am 04.03.2015
- Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung (2008). Zukunftsreport: Arbeiten in der Zukunft – Strukturen und Trends der Industriearbeit, Deutscher Bundestag, Drucksache 16/7959.
- Austria Innovativ (2014). Infineon Austria wächst zweistellig und setzt Industrie 4.0 als Vorreiter in Österreich um. <http://www.austriainnovativ.at/Infineon-Austria-waechst-zweistellig-und-setzt-Industrie-4-0-als-Vorreiter-in-Oesterreich-um.834.0.html>, entnommen am 26.02.2015
- aws – Austria Wirtschaftsservice (2014) aws ProTrans – Industrie 4.0 [http://www.awsg.at/Content.Node/foerderungen\\_alle/nationale-finanzierung/46967.php](http://www.awsg.at/Content.Node/foerderungen_alle/nationale-finanzierung/46967.php), entnommen am 30.03.2015
- Bast, H. (2014). Industrie 4.0: Oberösterreich und Steiermark planen Modellregion. <http://wirtschaftsblatt.at/home/nachrichten/oesterreich/steiermark/4623523/Industrie-40-Oberosterreich-und-Steiermark-planen-Modellregion>, entnommen am 05.03.2015
- Bauernhansl, T., ten Hompel, M., Vogel-Heuser, B. (Hrsg.) (2014). Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Springer.
- Baumgarten, N. et al. (2014). „IT und Beschäftigung, Memorandum des Arbeitskreises Informations- und Kommunikationstechnik des IG Metall Bezirks Baden-Württemberg in Zusammenarbeit mit dem Forum Technikgestaltung, Version 2.0.“
- BBC (2014) 'Internet of things' to get £45m funding boost. <http://www.bbc.com/news/business-26504696>, entnommen am 19.03.2015
- BCG – The Boston Consulting Group (2014). Industrie 4.0 sichert deutschen Unternehmen langfristigen Spitzenplatz, Pressemitteilung vom 21.11.2014. <http://www.bcg.de/media/PressReleaseDetails.aspx?id=tcm:89-177192>, entnommen am 14.04.2015
- BCG – The Boston Consulting Group (2015). Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. [https://www.bcgperspectives.com/Images/Industry\\_40\\_Future\\_of\\_Productivity\\_April\\_2015\\_tcm80-185183.pdf](https://www.bcgperspectives.com/Images/Industry_40_Future_of_Productivity_April_2015_tcm80-185183.pdf), entnommen am 14.04.2015
- Becker, K.-D. (2014). Arbeit in der Industrie 4.0 – Erwartungen des Instituts für angewandte Arbeitswissenschaft eV. In: Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. BMWi: 15-18
- Bitkom & Fraunhofer IAO (2014) Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland [http://www.bitkom.org/files/documents/Studie\\_Industrie\\_4.0.pdf](http://www.bitkom.org/files/documents/Studie_Industrie_4.0.pdf), entnommen am 19.03.2015
- Bleicher, F. (2014). Industry 4.0: A Vision Affects Manufacturing in Austria. <http://ostaustria.org/bridges-magazine/item/8313-industry-4-0-a-vision-affects-manufacturing-in-austria>, entnommen am 18.02.2015
- BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (2015). Startschuss zur Gründung der Plattform Industrie 4.0. <http://www.bmbf.de/press/3755.php>, entnommen am 8.4.2015

- BMVIT – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (2014 a). Stöger: Beim Breitbandausbau ziehen alle an einem Strang.  
<http://www.bmvit.gv.at/presse/aktuell/nvm/2014/10060TS0148.html>, entnommen am 19.03.2015
- BMVIT – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (2014 b). Stöger: Drei heimische Universitäten erhalten Stiftungsprofessur für Produktion und Industrie 4.0.  
<http://www.bmvit.gv.at/presse/aktuell/nvm/2014/09170TS0068.html>, entnommen am 19.03.2015
- BMFWF – Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (2014). Leitbetriebe Standortstrategie, Oktober 2014.
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.) (2014). Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0.  
[http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/zukunft-der-arbeit-in-industrie-4-0,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=einzel\\_artikel\\_ansicht&id=60310](http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/zukunft-der-arbeit-in-industrie-4-0,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=einzel_artikel_ansicht&id=60310), entnommen am 19.03.2015
- BMWi - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014). Umbau des IT-Gipfels zur übergreifenden Dialogplattform für die Umsetzung der Digitalen Agenda.  
<http://www.bmwi.de/DE/Presse/pressemitteilungen,did=647164.html>, entnommen am 19.03.2015
- BSI – Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2014). Die Lage der IT-Sicherheit in Deutschland 2014. Frankfurt/Main
- Butler, S. (2015). Industrie 4.0 bei KMU – Studie zur Unterstützung von KMU mit IKT-Lösungen für die Produktion. CMG-AE Tagung „Industrie 4.0: Revolutionäre Anforderungen an die IT oder Business as Usual?“ Wien am 24.02.2015
- Capgemini Consulting (2014). The Internet of Things: Are organisations ready for a multi-trillion dollar prize? <http://capgemini-consulting.com/resource-file-access/resource/pdf/the-internet-of-things.pdf>, entnommen am 25.03.2015
- CBR – China Business Review (2014). Smart City Development in China.  
<http://www.chinabusinessreview.com/smart-city-development-in-china/>, entnommen am 19.03.2015
- CSC (2015). Studie: Industrie 4.0 in Deutschland scheitert am Faktor Mensch. Pressemitteilung März 03.2015. [http://www.csc.com/de/press\\_releases/118621-studie\\_industrie\\_4\\_0\\_in\\_deutschland\\_scheitert\\_am\\_faktor\\_mensch](http://www.csc.com/de/press_releases/118621-studie_industrie_4_0_in_deutschland_scheitert_am_faktor_mensch), entnommen am 19.03.2015
- DB – Deutsche Bank (2014). Industry 4.0: Upgrading of Germany's industrial capabilities on the horizon.  
[https://www.dbresearch.com/PROD/DBR\\_INTERNET\\_EN-PROD/PROD0000000000333571/Industry+4\\_0:+Upgrading+of+Germany%E2%80%99s+industrial+capabilities+on+the+horizon.PDF](https://www.dbresearch.com/PROD/DBR_INTERNET_EN-PROD/PROD0000000000333571/Industry+4_0:+Upgrading+of+Germany%E2%80%99s+industrial+capabilities+on+the+horizon.PDF), entnommen am 19.03.2015
- Der Standard (2015). Breite Industrie 4.0-Plattform in Entstehung. 6. April,  
<http://derstandard.at/2000013913435/Breite-Industrie-40-Plattform-in-Entstehung>, entnommen am 8.4.2015
- Die Presse (2014). Industrie 4.0: Wenn die Revolution nach Österreich kommt. 22.8.,  
[http://diepresse.com/home/alpbach/3858672/Industrie-40\\_Wenn-die-Revolution-nach-Osterreich-kommt](http://diepresse.com/home/alpbach/3858672/Industrie-40_Wenn-die-Revolution-nach-Osterreich-kommt), entnommen am 26.02.2015
- Dirnberger, H. (2015). Ubiquitous Computing in Automatisierung und Industrial IT-Mark Weiser Computer des 21th Jahrhunderts in der Automatisierungstechnik. CMG-AE Tagung „Industrie 4.0: Revolutionäre Anforderungen an die IT oder Business as Usual?“ Wien am 24.02.2015
- Dombrowski, U. & Wagner, T. (2014). Mental strain as field of action in the 4th industrial revolution. In: Variety Management in Manufacturing. Proceedings of the 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems. Procedia CIRP 17: 100-105

- Domingo, M.C. (2012). An overview of the Internet of Things for people with disabilities. In: Journal of Network and Computer Applications, 35: 584-596
- EC – Europäische Kommission (2009). ICT and Energy Efficiency The Case for Manufacturing. Recommendations of the Consultation Group. [ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/ict/docs/micro-nanosystems/smart-manufacturing\\_en.pdf](ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/ict/docs/micro-nanosystems/smart-manufacturing_en.pdf), entnommen am 17.4.2015
- EC – Europäische Kommission (2015a). Innovation in Digital Manufacturing. Report from the Workshop on Innovation in Digital Manufacturing. <https://ec.europa.eu/digital-agenda/en/news/european-co-operation-innovation-digital-manufacturing>, entnommen am 02.03.2015
- EC – Europäische Kommission (2015b). Key Enabling Technologies. [http://ec.europa.eu/growth/industry/key-enabling-technologies/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/growth/industry/key-enabling-technologies/index_en.htm), entnommen am 02.03.2015
- EC – Europäische Kommission (2015c). Advanced Manufacturing. [http://ec.europa.eu/growth/industry/innovation/advanced-manufacturing/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/growth/industry/innovation/advanced-manufacturing/index_en.htm), entnommen am 02.03.2015
- EC – Europäische Kommission (2015d). EU Actions. [http://ec.europa.eu/growth/industry/key-enabling-technologies/eu-actions/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/growth/industry/key-enabling-technologies/eu-actions/index_en.htm), entnommen am 02.03.2015
- Economy Austria (2014). Infineon Austria: Industrie 4.0 Vorreiter und zweistelliges Wachstum. <http://www.economyaustria.at/wirtschaft/infineon-austria-industrie-40-vorreiter-und-zweistelliges-wachstum>, entnommen am 26.02.2015
- Eurostat (2014). Unternehmen, deren Geschäftsprozesse automatisch mit denen ihrer Zulieferer und/oder Kunden verbunden sind. <http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/tin00115>, entnommen 16.03.2015
- FESTO (2015). Trendbarometer Industriebetriebe Österreich 2015: Industrie 4.0 – Trend oder Hype? <http://www.festo.at/trendbarometer>, entnommen 13.04.2015
- FFG (2015). Interessensbekundung 2. Ausschreibung Stiftungsprofessur – bis 13.2.2015 möglich. <https://www.ffg.at/stiftungsprofessur/2015>, entnommen am 19.03.2015
- Fidler, F. (2015). Entwarnung: „Keine Angst vor Industrie 4.0“. Industrie 4.0 und die Folgen. 5. Teil, Berufsbilder im Wandel, Der Standard, 21./22.März.
- Fraunhofer IOSB (2013). Deutschlandweit einmalig: Standortübergreifendes Industrie 4.0-Produktionsnetzwerk. <http://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/41152/>, entnommen am 26.02.2015
- Fraunhofer IAO (2014). Industrie-4.0 – Eine Revolution der Arbeitsgestaltung. Wie Automatisierung und Digitalisierung unsere Produktion verändern werden. Studie im Auftrag von Ingenics AG, [http://www.ingenics.de/de/news/aktuelles/industrie40\\_ergebnisse.php](http://www.ingenics.de/de/news/aktuelles/industrie40_ergebnisse.php), entnommen am 26.02.2015
- Fraunhofer (2015). Fraunhofer und Bundesregierung ebnen den Weg für den Industrial Data Space. <http://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2015/Februar/industrial-data-space.html>, entnommen am 16.3.2015
- Frey, C.B. & Osborne, M.A. (2013). The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation? University of Oxford, UK, <http://www.robots.ox.ac.uk/~mosb/public/pdf/63/Frey%20and%20Osborne%20-%202013%20-%20The%20future%20of%20employment%20how%20susceptible%20are%20jobs.pdf>, entnommen am 2.4.2015
- Gerhard, D. (2014). TUWin 4.0 – One Stop Shop für Industrie 4.0. Vortrag am 4.11.2014.
- Glatz, R. (2013). Chancen durch neue Produktionsformen und Geschäftsmodelle. [http://www.it-production.com/index.php?seite=einzel\\_artikel\\_ansicht&id=60310](http://www.it-production.com/index.php?seite=einzel_artikel_ansicht&id=60310), entnommen am 19.03.2015

- GSA – Government of South Australia (2014). State Govt, Adelaide City plug in to Internet of Things Innovation Hub. <http://www.statedevelopment.sa.gov.au/news-releases/all-news-updates/state-govt-adelaide-city-plug-in-to-internet-of-things-innovation-hub>, entnommen am 12.03.2015
- GSMA (2014). GSMA: Connected Living. How China is set for global M2M Leadership. <http://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads/2014/06/china-report.pdf>, entnommen am 12.03.2015
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. In: Future Generation Computer Systems, 29 (7): 1645-1660
- Günther, G., Salzburgresearch (2014). Industrie 4.0: Internationale Initiativen und Programme. [http://www.iv-salzburg.at/dokumente/703/140\\_Top09\\_Guentner\\_International\\_Handout.pdf](http://www.iv-salzburg.at/dokumente/703/140_Top09_Guentner_International_Handout.pdf), entnommen am 27.02.2015
- Haimes, Y.Y. (2002). Risk of Terrorism to Cyber-Physical and Organizational-Societal Infrastructures. In: Public Works Management & Policy, 6 (4): 231-240
- Hessman, T., IndustryWeek (2013). The Dawn of the Smart Factory. <http://www.industryweek.com/technology/dawn-smart-factory?page=1>, entnommen am 05.03.2015
- Hilgendorf, E. (2013). Rechtliche Herausforderungen für die Automatik Industrie 4.0. Beitrag zum BMWi Workshop Recht vom 18.06.2014. [http://www.autonomik40.de/\\_img/article/Workshop\\_Rechtliche\\_Herausforderungen\\_-\\_Einfuehrung\\_-\\_Prof.\\_Dr.\\_Dr.\\_Eric\\_Hilgendorf\[1\].pdf](http://www.autonomik40.de/_img/article/Workshop_Rechtliche_Herausforderungen_-_Einfuehrung_-_Prof._Dr._Dr._Eric_Hilgendorf[1].pdf), entnommen am 19.03.2015
- Hinrichsen, S. & Jasperneite, J. (2013). Industrie 4.0 – Begriff, Stand der Umsetzung und kritische Würdigung. In: Betriebspraxis & Arbeitsforschung 216
- Hirsch-Kreinsen, H. (2014a). Entwicklungsperspektiven von Produktionsarbeit. In: Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. BMWi: 37-42.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2014b). Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“. In: Soziologisches Arbeitspapier Nr. 38/2014
- IERC (2015). IERC-European Research Cluster on the Internet of Things. [http://www.internet-of-things-research.eu/about\\_ierc.htm](http://www.internet-of-things-research.eu/about_ierc.htm), entnommen am 12.03.2015
- IG Metall (2014). Industrie 4.0: Jetzt die Arbeitswelt von morgen gestalten! IG Metall setzt sich auf IT-Gipfel für Interessen der Beschäftigten ein. Mitteilung vom 22.10.2014. <http://www.igmetall.de/SID-6B8F8577-6EB80A40/ig-metall-setzt-sich-auf-it-gipfel-fuer-interessen-der-14611.htm>, entnommen am 19.03.2015
- IIC (2015). The Industrial Internet Consortium: A Global Nonprofit Partnership Of Industry, Government And Academia. <http://www.iiconsortium.org/about-us.htm>, entnommen am 26.02.2015
- IIT – Institut für Innovation und Technik (2015). <http://www.iit-berlin.de/de/indikator/@@idb-comparison>, entnommen am 05.03.2015
- Industrieweb (2014). Industrie 4.0 – Wie können kleine und mittlere Unternehmen profitieren? <http://www.industrieweb.at/elektronik/weitere/industrie-40-wie-koennen-kleine-und-mittlere-unternehmen-profitieren/839594/>, entnommen am 04.03.2015
- IPSO (2015). Vision and Mission. <http://www.ipso-alliance.org/about/mission>, entnommen am 12.03.2015
- IV – Industriellenvereinigung (2014). Smart Production & Services: Die Steiermark ist bereit! <http://www.iv-net.at/lg/stmk/b642>, entnommen am 05.03.2015
- IV Oberösterreich – Industriellenvereinigung Oberösterreich (2013). Produktion der Zukunft. <http://www.iv-oberoesterreich.at/b723m59>, entnommen am 05.03.2015

- Kagermann, H., Lukas, W.-D. & Wahlster, W. (2011) Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. In: VDI-Nachrichten, Nr. 13. <http://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Gesellschaft/Industrie-40-Mit-Internet-Dinge-Weg-4-industriellen-Revolution>, entnommen am 19.03.2015
- KMU Forschung Austria (2015). KMU-Daten nach WKO-Systematik. <http://www.kmuforschung.ac.at/index.php/de/kmu-daten-wkosystematik>, entnommen am 04.03.2015
- Köhler, M. & Meir-Huber, M. (2014). #Big Data in #Austria. Österreichische Potenziale und Best Practice für Big Data. [http://www.bmvit.gv.at/service/publikationen/innovation/downloads/big\\_data\\_in\\_austria.pdf](http://www.bmvit.gv.at/service/publikationen/innovation/downloads/big_data_in_austria.pdf), entnommen am 04.03.2015
- Krüger, A. (2014). DGUV Arbeit & Gesundheit. Zukunft der Arbeit. <http://www.arbeit-und-gesundheit.de/3/2164/1>, entnommen am 09.03.2015
- Kurfuss, T. (2014). Industry 4.0: Manufacturing in the United States. Bridges, Vol. 42, December 2014/Feature
- Myoken, Y. (2008). Overview of ICT Strategy in Japan. Science and Innovation Section, British Embassy
- Nathan, S. (2014). Understanding Industry 4.0: Factories go digital. In: Engineer (Online Edition), 2. <http://www.theengineer.co.uk/manufacturing/automation/understanding-industry-40-factories-go-digital/1019373.article>, entnommen am 19.03.2015
- Ovtcharova, J. et al. (2014). Innovation braucht Resourceful Humans Aufbruch in eine neue Arbeitskultur durch Virtual Engineering. In: Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. BMWi: 50-57.
- Pajarinen, M. & Rouvinen, P. (2014). Computerization Threatens One Third of Finnish Employment. ETLA Briefs, 22, 13 January. <http://www.etla.fi/wp-content/uploads/ETLA-Muistio-Brief-22.pdf>, entnommen am 19.03.2015
- Pfeiffer, S. (2014). Volkswirtschaftliches Potenzial von Industrie 4.0 – ein paar Fragen. Blog, <http://www.sabine-pfeiffer.de/blog-eintrag/industrie-4-0-fragen.html>, entnommen am 17.03.2015.
- Prem, E. & Ruhland, S. (2014). Roadmap Complex Systems, Komplexe IKT-Lösungen beherrschen, Endbericht. [http://www.bmvit.gv.at/service/publikationen/innovation/downloads/komplexe\\_ikt\\_loesungen.pdf](http://www.bmvit.gv.at/service/publikationen/innovation/downloads/komplexe_ikt_loesungen.pdf), entnommen am 04.03.2015
- PwC – Strategy& PwC (2014). Industrie 4.0 – Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution. <http://www.strategyand.pwc.com/media/file/Industrie-4-0.pdf>, entnommen am 19.03.2015
- Ramsauer, C. (2013). Industrie 4.0 – Die Produktion der Zukunft. In: WINGbusiness 3: 6-12
- Riemenschneider, F. & Elektroniknet (2014). Machen US-Giganten ihr eigenes Industrie 4.0.? <http://www.elektroniknet.de/automation/sonstiges/artikel/107309/>, Zugang am 03.03.2015
- Roland Berger Strategy (2014a). 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), entnommen am 19.03.2015
- Roland Berger Strategy (2014b). Think Act. COO Insights. Industry 4.0. München
- Sabo, F. (2015). Industry 4.0 – A comparison of the status in Europe and the USA. Thesis FH Kufstein, [http://www.marshallplan.at/images/FHKufstein\\_SaboFilip.pdf](http://www.marshallplan.at/images/FHKufstein_SaboFilip.pdf), entnommen am 19.03.2015
- Schneider, H. (2014 a). Industrielle Produktion neu denken – Die Fabrik der Zukunft (ent)steht in Chemnitz. In: Dresdner Transferbrief 2.

- Schneider, L. (2014 b). Brasilien will die Wettbewerbsfähigkeit der eigenen Industrie stärken. In: VDI-Nachrichten, Nr. 13, <http://www.vdi-nachrichten.com/Aus-VDI/Brasilien-Wettbewerbsfaehigkeit-eigenen-Industrie-staerken>, entnommen am 02.03.2015
- Schuh, G. (2003). Erfahrungen mit der Virtuellen Fabrik – Wo die Potenziale wirklich liegen. In: Vernetzt planen und produzieren VPP2003. Technische Universität Chemnitz Sonderforschungsbereich, 457: 19-23
- SFG (2015). Steiermark und Oberösterreich vereinbaren enge Zusammenarbeit bei Smart Production! [http://www.sfg.at/cms/371/8198/Steiermark+und+Ober+%F6sterreich+vereinbaren+enge+Zusammenarbeit+bei+Smart+Production!/,](http://www.sfg.at/cms/371/8198/Steiermark+und+Ober+%F6sterreich+vereinbaren+enge+Zusammenarbeit+bei+Smart+Production!/) entnommen am 05.03.2015
- Shin, D. (2014). A socio-technical framework for Internet-of-Things design: A human-centered design for the Internet of Things. In: Telematics and Informatics, 31: 519-531
- Shipp, S., Gupta, N., Lal, B., Scott, J., Weber, C., Finnin, M., Blake, M., Newsome, S., Thomas, S. (2012). Emerging global trends in advanced manufacturing. Institute for Defense Analyses, DTIC Document. [http://www.wilsoncenter.org/sites/default/files/Emerging\\_Global\\_Trends\\_in\\_Advanced\\_Manufacturing.pdf](http://www.wilsoncenter.org/sites/default/files/Emerging_Global_Trends_in_Advanced_Manufacturing.pdf), entnommen am 19.03.2015
- Spath, D., Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T., Schlund, S. (2013). Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Fraunhofer IAO, Fraunhofer Verlag, <http://www.iao.fraunhofer.de/lang-de/images/iao-news/produktionsarbeit-der-zukunft.pdf>, entnommen am 19.03.2015
- TÜV Austria Group (2014). Industrie 4.0: Bedrohung oder Chance? In: TÜV Austria Times, 1/2014: 4-7. [http://www.tuev.at/start/download/Dokumente/TUVTIMES/2014/tuv-austria-times-012014\\_Screen.pdf](http://www.tuev.at/start/download/Dokumente/TUVTIMES/2014/tuv-austria-times-012014_Screen.pdf), entnommen am 19.03.2015
- Wahren, S. (2014). Realisierung einer ressourcenschonenden und –effizienten Produktion. Stuttgart am 09.11.2014
- Wasserfaller, M. (2014). Revolution in der Produktion. APA-Science Dossier. [https://science.apa.at/dossier/Revolution\\_in\\_der\\_Produktion/SCI\\_20141030\\_SCI59932815220982648](https://science.apa.at/dossier/Revolution_in_der_Produktion/SCI_20141030_SCI59932815220982648), entnommen am 30.03.2015
- Weidner, M. (2014). „IT-Security: Eine notwendige Voraussetzung“. Interview, in: TÜV Austria Group (2014): TÜV Austria Times, 1/2014: 10-11 [http://www.tuev.at/start/download/Dokumente/TUVTIMES/2014/tuv-austria-times-012014\\_Screen.pdf](http://www.tuev.at/start/download/Dokumente/TUVTIMES/2014/tuv-austria-times-012014_Screen.pdf), entnommen am 19.03.2015
- White House (2011). President Obama launches Advanced Manufacturing Partnership. <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2011/06/24/president-obama-launches-advanced-manufacturing-partnership>, entnommen am 04.03.2015
- Wiesmüller, M. (2014). Arbeitssystemgestaltung im Spannungsfeld zwischen Organisation und Mensch-Technik-Interaktion – das Beispiel Robotik. In: Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. BMWi: 72-77
- Yanrong, K., Lei, Z., Cai, C., Yuming, G., Hao, L., Ying, C., Whyte, J., Hart, T. (2014). EU – China Smart and Green City Cooperation „Comparative Study of Smart Cities in Europe and China” – White Paper – prepared for Ministry of Industry and Information Technology (MIIT), DG CNECT, EU Commission. [http://euchina-ict.eu/wp-content/uploads/2015/01/Smart\\_City\\_report\\_draft-White-Paper\\_-\\_March-2014.pdf](http://euchina-ict.eu/wp-content/uploads/2015/01/Smart_City_report_draft-White-Paper_-_March-2014.pdf), entnommen am 19.03.2015
- Zimmermann (2014). Production of the Future: Advanced Manufacturing in Austria. Bridges, 42, December 2014/Feature
- Z-punkt (2014). CONNECTEDREALITY2025. Die nächste Welle der digitalen Transformation. Köln