

**Internationaler
Controller Verein**



Industrie 4.0

Controlling im Zeitalter der intelligenten Vernetzung

Dream Car der Ideenwerkstatt im ICV 2015

In Zusammenarbeit mit



Mit Erfahrungen und Beispielen aus den Unternehmen



WITTENSTEIN AG



Inhaltsverzeichnis

Management Summary	III
Vorwort	V
1 Das Zukunftsprojekt „Industrie 4.0“	1
2 Industrie 4.0 kompakt!	3
2.1 Hintergründe zum Begriff „Industrie 4.0“	3
2.2 Wesentliche Merkmale von Industrie 4.0	5
2.3 Cyber-Physische Systeme als technologische Befähiger von Industrie 4.0	10
2.4 Nutzenpotenziale der intelligenten Vernetzung	12
2.5 Risiken und Herausforderungen	18
2.6 Internationaler Vergleich	20
3 Best Practices aus Controlling-Sicht	22
3.1 Visualisierte Echtzeitproduktivität bei Hansgrohe	23
3.2 Geschäftsmodellinnovation bei Trumpf.....	25
3.3 Mobiles Produktionsmanagement bei Wittenstein	27
3.4 Vernetzte Produktion bei Euchner	29
4 Von Industrie 4.0 zu Controlling 4.0	31
4.1 Industrie 4.0 und die Controlling-Hauptprozesse	31
4.2 Bewertungsaufgaben im Rahmen der Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0	33
4.3 Aktueller Stand innerhalb der Controller Community	33
4.4 Neujustierung der Controller-Kompetenzen	39
5 Die gestaltende Rolle des Controllers	40
5.1 Die Industrie 4.0-Entwicklung aktiv mitgestalten	40
5.2 Industrie 4.0-Roadmap für das Controlling.....	43
Literaturempfehlungen	VII
Glossar	VIII
Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XI
Quellenverzeichnis	XII

Management Summary

Industrie 4.0 steht für die **intelligente Vernetzung** von Produkten und Prozessen entlang der Wertschöpfungskette und gilt als bedeutender Faktor für die **Sicherung des Produktionsstandorts** Deutschland. Es deutet viel darauf hin, dass sich der damit prophezeite Paradigmenwechsel innerhalb der Produktion nicht von heute auf morgen, sondern schrittweise vollziehen wird. Für das Controlling ergeben sich in diesem Zusammenhang neue Möglichkeiten aber auch Herausforderungen.

Industrie 4.0 umfasst drei wesentliche Merkmale: die horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke, die Durchgängigkeit des Engineerings über die gesamte Wertschöpfungskette sowie die vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme. Ermöglicht wird Industrie 4.0 durch den Einsatz **Cyber-Physischer Systeme**. Diese setzen sich zusammen aus physischen, intelligenten und vernetzungsfähigen Komponenten, welche sich zu einem Internet der Dinge verbinden. Dabei ist jedem Objekt in der Realität ein virtuelles Abbild zugeordnet. In der Produktion angewandt, spricht man von Cyber-Physischen Produktionssystemen. Neben der Leistungserstellung (**Smart Factory**) bieten sich durch die intelligente Vernetzung auch Chancen für das Leistungsangebot (**Smart Products** und **Smart Services**). In der Leistungserstellung ist insbesondere eine Optimierung der Produktionsprozesse das Ziel. Im Rahmen des Leistungsangebots soll der Kundennutzen durch neuartige Produkte und Dienstleistungen gesteigert werden. Mit der Umsetzung von Industrie 4.0 werden enorme **volkswirtschaftliche Potenziale** hinsichtlich der Erhöhung der Bruttowertschöpfung in Verbindung gebracht.

Daher findet das Thema auch von Seiten der Politik Beachtung. Die Forschung um Industrie 4.0 wird als eines von zehn **Zukunftsprojekten** im Rahmen der **Hightech-Strategie** der Bundesregierung gefördert. Ähnliche Forschungsinitiativen gibt es auch in anderen Industrieländern wie den USA oder China.

Neben den Chancen sind auch Risiken und Herausforderungen mit Industrie 4.0 verbunden. Dazu zählen der Aufbau einer flächendeckenden industriellen Breitbandinfrastruktur oder der Schutz vor Sabotage und Industriespionage. Einige der Herausforderungen, wie die erforderliche **Quantifizierung der Nutzenpotenziale**, benötigen die tatkräftige Mithilfe des Controllers.

Ein Blick in die Praxis zeigt, dass Unternehmen teilweise bereits Industrie 4.0-Lösungen umsetzen. Anwendungsbeispiele reichen von der visualisierten Echtzeitproduktivität bis zu mobilen Assistenzsystemen zur Erfassung von Störfällen in der Produktion.

Für den Controller bieten sich vielfältige Möglichkeiten, um die **Prozesssteuerung** zu **verbessern** oder **neue Wirkungszusammenhänge** aufzudecken. Die Ansprüche an das Controlling werden sich in Zukunft erhöhen. Um die richtigen Daten aus einer großen Datenmenge zu selektieren, wird der Controller ein noch **besseres Geschäftsverständnis** benötigen. Zudem wird er neue Analysemethoden aus den Bereichen Predictive Analytics oder Data Mining beherrschen müssen. Der Controller wird weiterhin als **Business Partner** gefragt sein, um die Entscheidungen der Führungskräfte analytisch zu unterstützen. Zudem rückt er verstärkt in die Rolle des **Change Agents**. Hier wird er Veränderungen im Unternehmen aktiv mitgestalten müssen.

Vorwort

Die **Ideenwerkstatt im ICV** hat die Aufgabe, das Controlling-relevante Umfeld systematisch zu beobachten und wesentliche Trends zu erkennen. Daraus entwickelt die Ideenwerkstatt die „Dream Cars“ des ICV und leistet einen wesentlichen Beitrag, damit der **ICV als Themenführer in der Financial und Controller Community** wahrgenommen wird. Ideen und Ergebnisse werden in ICV-Fachkreisen oder Projektgruppen in konkrete praxistaugliche Produkte überführt. Mitglieder der Ideenwerkstatt sind namhafte Vertreter der Controlling-Disziplin aus Unternehmenspraxis und Wissenschaft.

Der Anspruch der Ideenwerkstatt ist es, stets relevante und hochaktuelle Themen für die Controller Community aufzubereiten und ihr so neue Denkansätze zu liefern. Nachdem wir uns in den vergangenen Jahren mit den Themen Green Controlling, Verhaltensorientierung, Volatilität und Big Data beschäftigt haben, wollen wir auch weiterhin die Controller auf neue Entwicklungen aufmerksam machen und so Impulse für die Weiterentwicklung des Controllings setzen.

In diesem Jahr haben wir mit Industrie 4.0 ein Thema gewählt, dessen Bedeutung in den vergangenen Monaten für die industrielle Produktion enorm zugenommen hat. Der Begriff steht für die intelligente Vernetzung von Produkten und Prozessen entlang der Wertschöpfungskette. Für viele Experten wird diese Entwicklung grundlegende Veränderungen in der Unternehmensführung nach sich ziehen. Von den Auswirkungen wird unweigerlich auch das Controlling betroffen sein. Das Ziel unseres diesjährigen Dream Car-Berichts ist es daher, Ihnen zu vermitteln, was unter Industrie 4.0 verstanden wird, welche Chancen und Risiken sich bieten und welche Folgen sich für den Controller dadurch ergeben.

Leiter der Ideenwerkstatt sind:

- Prof. Dr. Dr. h.c. mult. *Péter Horváth* (*Horváth AG*, Stuttgart, stv. Vorsitzender des Aufsichtsrats; *International Performance Research gGmbH*, Stuttgart, stv. Vorsitzender des Aufsichtsrats)
- Dr. *Uwe Michel* (*Horváth AG*, Stuttgart, Mitglied des Vorstands)

Mitwirkende im Kernteam der Ideenwerkstatt sind:

- *Siegfried Gänßlen* (*Hansgrohe SE*, Schiltach, Executive Advisor to the Supervisory Board; *Internationaler Controller Verein e.V.*, Wörthsee, Vorsitzender des Vorstands)
- Prof. Dr. *Heimo Losbichler* (*FH Oberösterreich*, Steyr; *Internationaler Controller Verein e.V.*, Wörthsee, stv. Vorsitzender des Vorstands; *International Group of Controlling IGC*, Vorsitzender)
- *Manfred Blachfellner* (*Change the Game Initiative*, Innsbruck)
- Dr. *Lars Grünert* (*TRUMPF GmbH + Co. KG*, Ditzingen, Mitglied der Geschäftsführung)
- *Karl-Heinz Steinke* (*Internationaler Controller Verein e.V.*, Wörthsee, Mitglied des Vorstands)
- Prof. Dr. Dr. h.c. *Jürgen Weber* (*Institut für Management und Controlling IMC an der WHU – Otto Beisheim School of Management*, Vallendar, Direktor)
- *Goran Sejdíć* (*International Performance Research Institute gGmbH*, Stuttgart, Wissenschaftlicher Mitarbeiter)

Auch in diesem Jahr haben wir die Überlegungen und Beratungen der Mitwirkenden durch Praxiserfahrungen verschiedener Partner ergänzt. Folgende ausgewiesene Industrie 4.0-Experten standen uns hierbei zur Seite:

- *Klaus Bauer* (TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG, Ditzingen, Leiter Entwicklung Basistechnologie)
- *Erik Roßmeißl* (WITTENSTEIN AG, Igersheim, Kaufmännischer Leiter)
- *Dr. Kai Scholl* (EUCHNER GmbH + Co. KG, Leinfelden-Echterdingen, Kaufmännischer Leiter)
- *Dr. Maximilian Bode* (Horváth & Partner GmbH, Düsseldorf, Senior Project Manager)

An dieser Stelle danken wir ihnen nochmals herzlichst für ihre Bereitschaft, die Arbeit der Ideenwerkstatt im Internationalen Controller Verein zu unterstützen sowie ihre Beiträge im vorliegenden Dream Car-Bericht.

Besonderer Dank gilt auch Herrn *Goran Sejdíć*, welcher die redaktionelle Arbeit dieses Berichts und die Koordination des Teams der Ideenwerkstatt übernommen hat.

Wir wünschen Ihnen eine interessante Lektüre und neue Impulse für die tägliche Controllerarbeit.

Ihre



Siegfried Gänßlen



Prof. Dr. Heimo Losbichler

für den Vorstand des Internationalen Controller Vereins



Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Péter Horváth



Dr. Uwe Michel

für die Ideenwerkstatt im Internationalen Controller Verein

1 Das Zukunftsprojekt „Industrie 4.0“



Das Wirtschaftswachstum in Deutschland kann im Grunde nur durch Innovationen sichergestellt werden, indem wir an den wesentlichen Trends der Weltwirtschaft teilhaben. Hier ist ganz besonders wichtig, dass wir die sogenannte Industrie 4.0-Entwicklung gestalten.



Bundeskanzlerin Angela Merkel

Mit dem Ziel, Deutschland auf dem Weg zum weltweiten Innovationsführer voranzubringen, hat die Bundesregierung im August 2006 erstmals ein ressortübergreifendes Gesamtkonzept verabschiedet: die **Hightech-Strategie**. Seitdem wird dieses Gesamtkonzept fortlaufend aktualisiert und weiterentwickelt. In der aktuellen Fassung der Hightech-Strategie stehen zehn sogenannte Zukunftsprojekte im Mittelpunkt (vgl. Abbildung 1). In diesen werden gesellschaftliche sowie technologische Entwicklungen aufgegriffen, angestrebte Leitbilder für verschiedene Lebensbereiche formuliert und die dafür notwendigen Forschungsaktivitäten gebündelt aufgezeigt.

Industrie 4.0 ist eines dieser zehn Zukunftsprojekte und beschreibt die industrielle Produktion der Zukunft.



Industrie 4.0 ist eines von zehn Zukunftsprojekten der Hightech-Strategie

Abbildung 1: Die Zukunftsprojekte der Hightech-Strategie (Quelle: BMBF 2014, S. 50)

Industrie 4.0 umfasst im Wesentlichen die Entwicklung und Integration innovativer Informations- und Kommunikationstechnologien im industriellen Anwendungsbereich. Hierzu hat ein durch die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech) koordinierter Arbeitskreis bereits erste Umsetzungsempfehlungen erarbeitet (vgl. Kagermann et al., 2013). Dabei soll die **intelligente Vernetzung** von Produkten und Prozessen entlang der Wertschöpfungskette vorangetrieben werden. Das übergeordnete Ziel sind effizientere Prozesse im Rahmen der **Leistungserstellung** sowie ein höherer Kundennutzen durch innovative Produkte und Dienstleistungen im Rahmen des **Leistungsangebots**. Die damit verbundenen Veränderungen im industriellen Sektor werden als umfassender Paradigmenwechsel bewertet, sodass die Rede ist von einer vierten industriellen Revolution oder kurz: Industrie 4.0.

Ausgangspunkt der **ersten industriellen Revolution** war die Entwicklung der Dampfmaschine und die Mechanisierung von Handarbeit durch Maschinen. Prägend für die **zweite industrielle Revolution** war die Nutzung elekt-

rischer Energie, welche die Einführung des Fließbandes ermöglichte. Die **dritte industrielle Revolution** steht für die Automatisierung von Produktionsprozessen durch den zunehmenden Einsatz von Elektronik sowie Informations- und Kommunikationstechnologien. Kennzeichnend für die anstehende **vierte industrielle Revolution** wäre demnach die intelligente Vernetzung auf Basis von Cyber-Physischen Systemen (vgl. Abbildung 2). Cyber-Physische Systeme bezeichnen die Integration eingebetteter Informationstechnologien in Gegenstände, Materialien, Geräte und Logistik-, Koordinations- bzw. Managementprozesse sowie deren Vernetzung untereinander (vgl. Kagermann et al. 2013, S. 18).

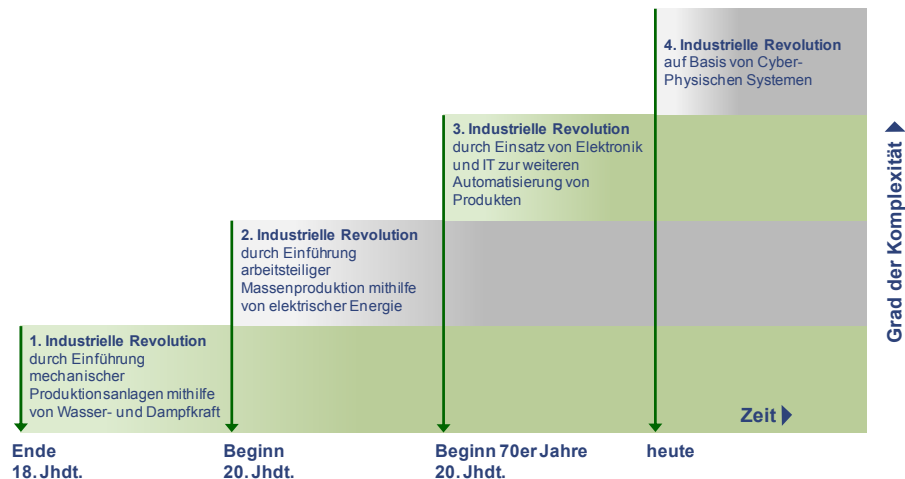


Abbildung 2: Die vier industriellen Revolutionen
(Quelle: Kagermann et al. 2013, S. 17)

Unabhängig davon, ob Industrie 4.0 als Revolution oder als evolutionäre Entwicklung zu sehen ist, kann ein **Paradigmenwechsel** bezogen auf die Möglichkeit zur Echtzeitsteuerung betrieblicher Prozesse erwartet werden. Diese Möglichkeit gilt es für die Ausgestaltung von Controlling-Prozessen, -Systemen und -Instrumenten zu nutzen. Controller sind gefordert, die mit Industrie 4.0 zusammenhängende Entwicklung aktiv mitzugestalten. So ist das einleitende Zitat von Bundeskanzlerin Angela Merkel durchaus auch als Aufforderung an die Controller Community zu verstehen.

Aufbau des Dream Car-Berichts

Mit dem vorliegenden Dream Car-Bericht „**Industrie 4.0 | Controlling im Zeitalter der intelligenten Vernetzung**“ möchten wir wichtige Impulse für den notwendigen Gestaltungsprozess setzen und das Thema Industrie 4.0 der Controller Community näher bringen.

- Zunächst analysieren wir, was hinter dem Begriff Industrie 4.0 steckt und welche Technologien, Chancen und Risiken damit zusammenhängen. Zudem betrachten wir, wie das Thema auf internationaler Ebene behandelt wird (**Kapitel 2**).
- Ausgehend von konkreten Umsetzungsbeispielen leiten wir daraufhin Implikationen von Industrie 4.0 für das Controlling ab (**Kapitel 3**).
- Weiter zeigen wir auf, welche Auswirkungen Industrie 4.0 auf das Controlling haben wird und inwiefern sich die Controller Community bereits mit dem Thema Industrie 4.0 auseinandersetzt (**Kapitel 4**).
- Abschließend stellen wir eine Sammlung von Handlungsempfehlungen zur Behandlung der Industrie 4.0-Entwicklung bezogen auf das Controlling zusammen (**Kapitel 5**).

Abgerundet wird der Bericht durch ein Glossar mit den wichtigsten Begriffen und Literaturempfehlungen rund um das Thema Industrie 4.0.

2 Industrie 4.0 kompakt!

2.1 Hintergründe zum Begriff „Industrie 4.0“

Der Begriff Industrie 4.0 ist derzeit in aller Munde. In Publikationen, auf Fachkongressen und auf Messen findet der Begriff beinahe inflationäre Verwendung. Doch was steckt hinter dem Schlagwort Industrie 4.0?

**Begriff „Industrie 4.0“
als regelrechter Hype**

Breitenwirksam wurde der Begriff zum ersten Mal auf der Hannover Messe im April 2011 verwendet. Dort präsentierte die Promotorengruppe Kommunikation der **Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft** ihre Vorstellung von der Industrie der Zukunft. Die Forschungsunion hat von 2006 bis 2013 als das zentrale innovationspolitische Beratungsgremium die Umsetzung und Weiterentwicklung der **Hightech-Strategie** der Bundesregierung begleitet. Die Forschungsunion setzte sich aus 28 hochrangigen Vertreterinnen und Vertretern der Wirtschaft und Wissenschaft zusammen. Im November 2011 verabschiedete die Bundesregierung dann das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 im Aktionsplan zur Hightech-Strategie.

Gleichzeitig initiierte die Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion den **Arbeitskreis Industrie 4.0**. Dieser Arbeitskreis setzte sich zusammen aus über 80 Experten aus Praxis, Wissenschaft und Verbänden. Den Vorsitz übernahmen Dr. Siegfried Dais, stellvertretender Geschäftsführer der Robert-Bosch GmbH, und Professor Henning Kagermann, Präsident der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech). Erste Umsetzungsempfehlungen zu Industrie 4.0 erarbeitete der Arbeitskreis von Januar bis Oktober 2012. Der dazugehörige Abschlussbericht mit den Umsetzungsempfehlungen wurde Bundeskanzlerin Angela Merkel auf der Hannover Messe 2013 übergeben (siehe Foto 1).



Foto 1: Übergabe der Umsetzungsempfehlungen für Industrie 4.0 durch Professor Kagermann an Bundeskanzlerin Angela Merkel (Quelle: Bundespresseamt)

Im Abschlussbericht wurden acht wichtige Handlungsfelder zur Umsetzung von Industrie 4.0 definiert (vgl. Abbildung 3). Die betriebswirtschaftlichen Aspekte kommen dabei jedoch zu kurz. Umso wichtiger ist es, diese Themen aufzugreifen und Lösungsansätze mit Fokus auf Vernetzung sowie Echtzeit zu entwickeln.

Zeitgleich mit der Übergabe der Umsetzungsempfehlungen nahm die **Plattform Industrie 4.0** ihre Arbeit auf. Sie führt die Aktivitäten der Forschungsunion fort und erarbeitet derzeit konkrete Lösungsvorschläge für die acht

definierten Handlungsfelder. Die Plattform Industrie 4.0 ist ein Gemeinschaftsprojekt des Bundesverbandes Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien (**BITKOM**), des Verbandes Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (**VDMA**) und des Zentralverbandes Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (**ZVEI**). Im branchenübergreifenden Austausch sollen Technologien, Standards, Geschäfts- und Organisationsmodelle entwickelt und die praktische Umsetzung vorangetrieben werden. Die Plattform ist die maßgebende Anlaufstelle zum Thema Industrie 4.0. In den Führungsgremien engagieren sich zahlreiche Spitzenunternehmen aus diversen Branchen. Zudem berät ein wissenschaftlicher Beirat mit namhaften Professoren die Plattform hinsichtlich wissenschaftlicher Forschungsfragen.

Acht Handlungsfelder zur Umsetzung von Industrie 4.0



Abbildung 3: Handlungsfelder zur Umsetzung von Industrie 4.0
(in Anlehnung an: Kagermann et al. 2013, S. 5)

Zum Begriff Industrie 4.0 existieren mehr als 100 verschiedene Definitionen (vgl. Bauer u.a. 2014, S. 18). Für ein einheitliches Verständnis des Begriffs hat der Lenkungskreis der Plattform Industrie 4.0 eine Definition und Vision zu „Industrie 4.0“ abgestimmt. Die Plattform versammelt als maßgebliche Institution die wichtigsten Vertreter aus Praxis und Forschung. Daher bezieht sich auch der Dream Car-Bericht auf diese Definition:

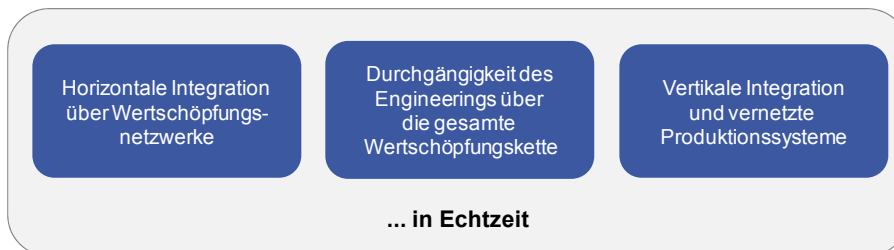
» Der Begriff Industrie 4.0 steht für die vierte industrielle Revolution, einer neuen Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten. Dieser Zyklus orientiert sich an zunehmend individualisierten Kundenwünschen und erstreckt sich von der Idee, dem Auftrag über die Entwicklung und Fertigung, die Auslieferung eines Produkts an den Endkunden bis hin zum Recycling, einschließlich der damit verbundenen Dienstleistungen.

Basis ist die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit durch Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen sowie die Fähigkeit, aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten. Durch die Verbindung von Menschen, Objekten und Systemen entstehen dynamische, echtzeitoptimierte und selbst organisierende, unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke, die sich nach unterschiedlichen Kriterien wie bspw. Kosten, Verfügbarkeit und Ressourcenverbrauch optimieren lassen. «

Quelle: Plattform Industrie 4.0

2.2 Wesentliche Merkmale von Industrie 4.0

Die Umsetzung von Industrie 4.0 hat Auswirkungen auf die gesamte Wertschöpfungskette. Die intelligente Vernetzung führt zu einer verstärkten Integration aller beteiligten Akteure. Diese Vision der Produktion der Zukunft lässt sich anhand von drei wesentlichen Merkmalen näher beschreiben (vgl. Abbildung 4). Diese verbindet ein gemeinsames Merkmal: Der Steuerungsprozess kann **in Echtzeit** erfolgen (siehe unten).



Echtzeit als zentrales Merkmal

Abbildung 4: Wesentliche Merkmale von Industrie 4.0
(eigene Darstellung in Anlehnung an: Kagermann et al. 2013, S. 6)

Das erste Merkmal ist die **horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke**. Sie bezeichnet eine Vernetzung aller Prozessschritte in der Wertschöpfungskette. In der Produktion werden beispielsweise Eingangslogistik, Fertigung, Ausgangslogistik und Vertrieb sowie nachgelagerte Dienstleistungen zu einer durchgängigen Lösung verbunden. Diese Verknüpfung macht aber nicht innerhalb der Unternehmensgrenzen halt, sondern bezieht auch Zulieferer, Kunden und andere externe Partner mit ein. Die Wertschöpfungskette transformiert sich zu einem Wertschöpfungsnetzwerk. Dieses besteht, wie Abbildung 5 zeigt, aus vielen autonom agierenden Teilnehmern. In einer vollständig umgesetzten Industrie 4.0 sind verschiedene Betriebe, Lieferanten, externe Partner, Kunden und sogar die Stromversorgung einbezogen. Die Verarbeitung von Material-, Energie- und Informationsflüssen kann einheitlich erfolgen. Flexibilität und Ressourceneffizienz versprechen sich durch die umfassende Vernetzung erheblich zu verbessern. Jedoch stehen diesen hoffnungsvollen Verheißungen noch viele Fragen gegenüber. Die fehlende Standardisierung hinsichtlich der unternehmensübergreifenden Vernetzung oder der Schutz des Wissens bzw. des Eigentums in solchen Szenarien sind Herausforderungen, die bei der Umsetzung bewältigt werden müssen.

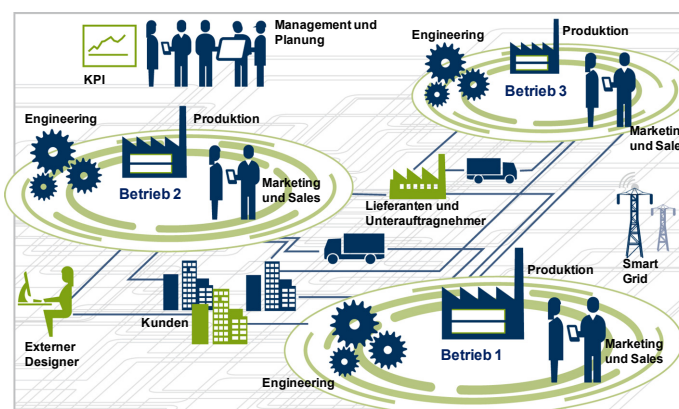


Abbildung 5: Horizontales Wertschöpfungsnetzwerk
(Quelle: Kagermann et al. 2013, S. 26)

Zweites Merkmal ist die **Durchgängigkeit des Engineerings über die gesamte Wertschöpfungskette**. Angestrebt wird eine vollständige Digitalisie-

Der Kunde entwirft sein Produkt selbst

und somit virtuelle Abbildung der realen Welt. Abbildung 6 stellt dar, wie die heutige Situation mit vielen Schnittstellen zu einer durchgängigen Lösung transformiert werden soll. Damit könnte über neue Möglichkeiten der Modellierung die zunehmende Komplexität beherrscht werden. Ein durchgehendes digitales System-Engineering soll es Kunden zukünftig ermöglichen, ihr gewünschtes Produkt aus einzelnen Komponenten und Funktionen selbst zu kombinieren, anstatt auf das vom Hersteller festgelegte Produktportfolio zurückgreifen zu müssen. Ausgehend von den Kundenanforderungen über die Produktarchitektur bis hin zur Herstellung soll der gesamte Wertschöpfungsprozess abgebildet werden.

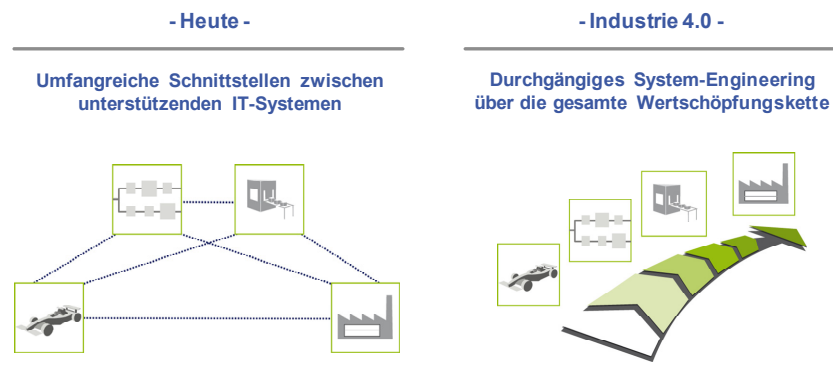


Abbildung 6: Durchgängiges System-Engineering über die gesamte Wertschöpfungskette (Quelle: Kagermann et al. 2013, S. 35)

Die Vision besteht in der Produktion von einzelnen individuellen Produkten. Der Kunde entwirft sein Produkt quasi selbst. Auch hier ist man jedoch noch nicht am Ziel. Zentrale Voraussetzung ist es Möglichkeiten zur Modellierung zu schaffen, um die zunehmende Komplexität der technischen Systeme beherrschbar zu machen. Zudem gilt es, alle an der Fertigung beteiligten Mitarbeiter für eine ganzheitliche Betrachtungsweise zu qualifizieren.

Ständiger Datenaustausch zwischen den Hierarchieebenen

Das dritte Merkmal sind **vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme**. Die verschiedenen Hierarchieebenen im Unternehmen und speziell in der Produktion sollen durch integrierte IT-Systeme vernetzt werden (vgl. Abbildung 7). Es sollen beispielsweise Actor-, Sensor-, Steuerungs-, Produktionsleit-, Herstellungs- und die Unternehmensplanungsebene zu einer durchgängigen Lösung verknüpft werden. Dadurch wird eine flexiblere und dynamischere Planung und Steuerung der Produktion angestrebt.

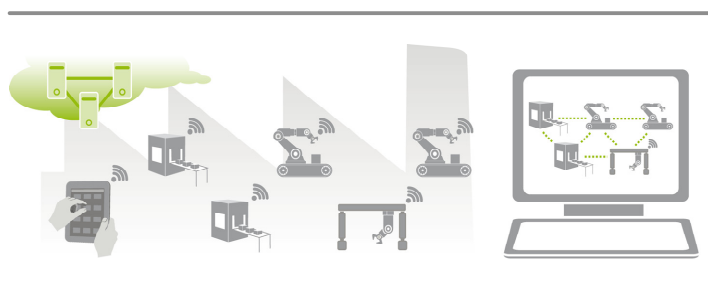


Abbildung 7: Vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme (Quelle: Kagermann et al. 2013, S. 36)

In der sogenannten **Smart Factory** (deutsch: **intelligente Fabrik**) sind die Produktionsstrukturen nicht mehr statisch vorgegeben. Stattdessen soll eine fallspezifische Anpassung der Objekte und Abläufe möglich sein. Die einzelnen Komponenten der intelligenten Fabrik tauschen stetig Informationen

aus. Dieser Austausch erfolgt in Echtzeit, automatisch und über Hierarchiegrenzen hinweg. Auch hier sind noch Herausforderungen zu meistern. Es gilt eine durchgängige und sichere Infrastruktur zu schaffen. Die Entwicklung modularer Produktionssysteme ist Voraussetzung für flexible Verwendung der Maschinen. Nicht zuletzt müssen die Betreiber der Maschinen entsprechend qualifiziert werden (vgl. Kagermann et al. 2013, S. 35 f.).

Umfassend über alle drei beschriebenen Merkmale ist das Charakteristikum der **Echtzeit**. Die Teilnehmer der horizontal integrierten Wertschöpfungsnetzwerke synchronisieren ihre Daten ständig. So können Produktionsprozesse jederzeit über das gesamte Wertschöpfungsnetzwerk aktualisiert und nach verschiedenen Kriterien wie Kosten, Verfügbarkeit und Ressourcenverbrauch optimiert werden. Ebenso in Echtzeit sind die Informationen in den System-Engineering Prozessen verfügbar. Benötigte Daten wie beispielsweise Kundenanforderungen und daraus abgeleitete Konstruktionsdaten fließen direkt in die Produktionsvorgänge ein. Die stetige Transparenz ermöglicht es, Entwurfsentscheidungen im Engineering bereits zu einem frühen Zeitpunkt abzusichern. Auch die vertikal vernetzten betriebswirtschaftlichen Prozesse gleichen sich ständig ab und schaffen ein aktuelles Echtzeitabbild der Abläufe in der Fabrik. Für die Produktion bedeutet dies, flexibler auf Störungen reagieren zu können (vgl. Kagermann et al. 2013, S. 20).

Industrie 4.0-Szenario: Horizontale und vertikale Integration

Der **KSB Konzern** zählt mit einem Umsatz von annähernd 2,2 Milliarden Euro zu den führenden Anbietern von Pumpen, Armaturen und zugehörigen Serviceleistungen. Weltweit sind mehr als 16.000 Mitarbeiter in der Gebäudetechnik, in der Industrie und Wasserwirtschaft, im Energiesektor und im Bergbau tätig.

In Abbildung 8 ist die Umsetzung des Ansatzes einer **horizontalen und vertikalen Integration** bei der KSB AG verdeutlicht. Auf horizontaler Ebene erfolgt die Integration einerseits im Kunden-Wertschöpfungsnetzwerk und andererseits im internen KSB-Wertschöpfungsnetzwerk. Die vertikale Integration erfolgt über diese beiden Netzwerke hinweg unter Berücksichtigung der Lieferanten (vgl. Paulus und Zeibig, 2015).

Horizontale und vertikale Integration bei der KSB AG

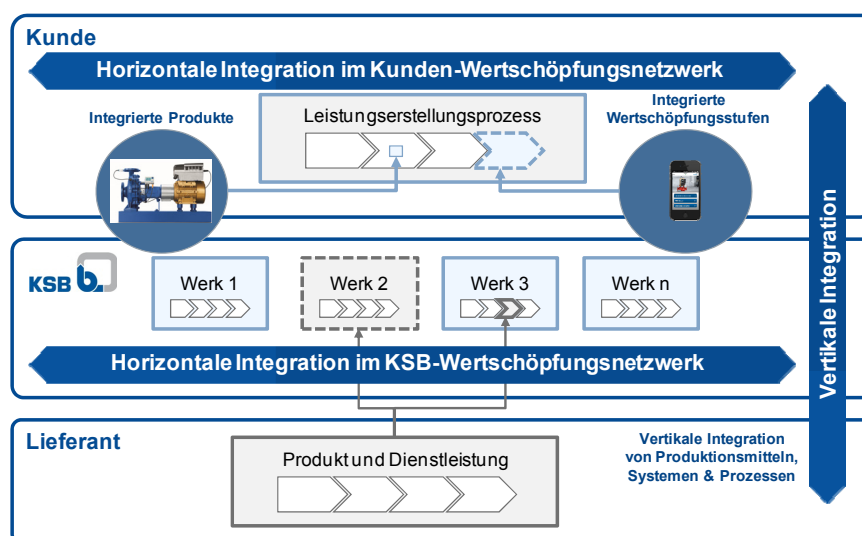


Abbildung 8: Horizontale und vertikale Integration bei der KSB AG
(Quelle: Paulus und Zeibig 2015)

Bei der näheren Analyse dieser für Industrie 4.0 spezifischen Merkmale fühlt man sich an eine etwa 30 Jahre alte Idee erinnert. Unter ähnlichen Gesichtspunkten war damals vom **Computer Integrated Manufacturing (CIM)** die Rede. Es stellt sich also die Frage, ob Industrie 4.0 nur ein Medienhype ist und ob unter einem neuen Etikett bereits bekannte und umgesetzte Inhalte stecken („alter Wein in neuen Schläuchen“).

Experten: Industrie 4.0 hat höheres Potenzial und andere Ausrichtung als CIM

Prof. Dr. Dr. h.c. mult. August-Wilhelm Scheer, einer der Vordenker von CIM, spricht der aktuellen Entwicklung **mehr Potenzial** zu als dem nur bruchstückhaft umgesetzten CIM. CIM beschrieb die umfassende Steuerung von Industriebetrieben mit Hilfe des Computers. Logistik, Produktentwicklung und Automatisierung sollten in einem Gesamtkonzept unterstützt werden. Er sieht den Unterschied in der heutigen Verfügbarkeit der benötigten Technologien für die Umsetzung solcher Ideen. Integrierte Datenbanksysteme, RFID-Technologien oder Cloud-Computing sind heute genauso verfügbar wie leistungsstarke Prozessoren. Da nun Ideen auf verfügbare Technologien treffen, prophezeit der emeritierte Professor für Wirtschaftsinformatik den Industrie 4.0-Ansätzen wesentlich höhere Realisierungschancen (vgl. Scheer 2012).

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl, Leiter des Instituts für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart und des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) in Stuttgart, stellt einige wichtige Abgrenzungsmerkmale heraus (vgl. Tabelle 1). Er sieht insbesondere den Mitarbeiter im Rahmen von Industrie 4.0 in einer anderen Rolle. Wo CIM von einer menschenleeren Fabrik ausging, stehe der Mensch nun als „Dirigent der Wertschöpfung“ im Mittelpunkt. Auch die Ausrichtung der Steuerung kehre sich um. CIM ging von einem zentralen Leitreechner aus, wohingegen die Dezentralisierung der Steuerung und Kommunikation autonomer Systeme kennzeichnend sind für Industrie 4.0. Umfassende Änderungen sieht er auch im Datenmanagement. Bei CIM sollte ein zeitversetztes Abbild in einer zentralen Datenbank erfasst werden. Industrie 4.0 sieht dagegen die Verfügbarkeit von Echtzeitdaten und das digitale Abbild der Fabrik vor, so Bauernhansl. Änderungen innerhalb der Planung und Steuerung lassen sich damit kurzfristig und teilweise sogar bis in den laufenden Prozess hinein vornehmen (vgl. Fecht 2013).

Tabelle 1: Abgrenzung CIM vs. Industrie 4.0 (vgl. Fecht 2013)

	CIM	Industrie 4.0
Rolle des Menschen	Keine operative Rolle	In Fabrik als „Dirigent der Wertschöpfung“
Produktionsplanung & -steuerung	Zentral über Leitreechner	Dezentrale Optimierung, Kommunikation autonomer Systeme
Änderungen des Produktionsprogramms	Nur langfristig möglich	Kurzfristig, teilweise im laufenden Produktionsprozess möglich
Datenverfügbarkeit	Zeitversetztes Abbild in Datenbank	Echtzeitverfügbarkeit

Zusammenfassend lassen sich durchaus Unterschiede zwischen Industrie 4.0 und CIM feststellen. Neben den bereits aufgeführten technologischen Merkmalen wurden bei CIM die betriebswirtschaftlichen Aspekte viel stärker vorgedacht als dies im Rahmen der Diskussion um Industrie 4.0 der Fall ist. So stellt sich beispielsweise die Frage, wie sich die starke Kundenorientierung und die damit zusammenhängende Variantenvielfalt auf die Entwick-

lun- und Produktionskosten auswirken. Gerade bei solchen Themenbereichen besteht bei Industrie 4.0 noch Nachholbedarf (vgl. Mertens, 2014, S. 29 f.). Für die Bearbeitung dieser Themen wird insbesondere der Controller gefordert sein. Neben den Unterschieden gibt es jedoch auch Gemeinsamkeiten. So werden mit Industrie 4.0 einige Ideen von CIM, wie der durchgängige Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien im industriellen Bereich, aufgegriffen und konsequent fortgeführt.

Die umfassende Vernetzung mithilfe eingebetteter Systeme könnte die Produktionswelt grundsätzlich verändern. Die Vision mit einer dezentralen Produktionsplanung, ständigem Datenaustausch in Echtzeit, Verschmelzung von realer und virtueller Welt könnte ganz neue Produkte und Dienstleistungen ermöglichen. Allerdings ist noch nicht abzusehen, ob diese Änderungen tatsächlich eine Revolution auslösen werden.

Für Siemens-Vorstand Siegfried Rußwurm ist klar, dass sich diese Änderungen nicht von heute auf morgen vollziehen, sondern über Jahrzehnte entwickeln werden. Er sieht eine evolutionäre Entwicklung und keine Revolution. **„Da schneidet keiner ein rotes Band durch“**, so der für den Sektor Industry verantwortliche Vorstand. Jedoch könne es sein, dass die angestoßenen Innovationen in einigen Jahrzehnten von Historikern als revolutionär angesehen werden (vgl. Wirtschaftswoche 2013). Auch vergangene Revolutionen wurden selten angekündigt, sondern in der Regel erst im Rückblick als solche erkannt. Daher erscheint es vielen Kritikern etwas hochgegriffen, hier die vierte industrielle Revolution zu prophezeien. Weiter wird angeführt, dass die verwendeten Technologien (v.a. Software, Elektronik, Sensoren und Vernetzung) keine neuen Erfindungen sind, sondern schon seit geraumer Zeit existieren. Aber unabhängig davon, welchen Begriff man nun vorzieht, es spricht vieles dafür, dass die intelligente Vernetzung tiefgreifende Veränderungen auslösen wird. Möglicherweise werden diese in der Rückschau wirklich als revolutionär angesehen werden. Auch die drei vorherigen Revolutionen entwickelten sich über Jahrzehnte. Wie einschneidend oder gar revolutionär sich die Industrie wandeln wird, lässt sich wohl erst in 20-30 Jahren mit Sicherheit sagen (vgl. Gausemeier 2014). Umso wichtiger ist es an dieser Stelle unternehmensspezifische Roadmaps zu entwickeln, welche auf mehrere Jahre ausgelegt sind, um schrittweise die Potenziale von Industrie 4.0 zu erschließen.

**Evolution statt
Revolution**

2.3 Cyber-Physische Systeme als technologische Befähiger von Industrie 4.0

Cyber-Physische Systeme (CPS) gelten als technologische Befähiger von Industrie 4.0. Sie verbinden die virtuelle Welt (cyber) mit der realen Welt (physisch). Cyber-Physische Systeme umfassen in der Produktion intelligente Maschinen, Lagersysteme und Betriebsmittel, die eigenständig Informationen austauschen, Aktionen auslösen und sich gegenseitig selbstständig steuern. Sie sollen intelligent vernetzte Fabriken und Wertschöpfungsketten schaffen, die eine flexiblere, effizientere und kundenindividuelle Produktion ermöglichen. Grundsätzlich können Cyber-Physische Systeme aber auch in Anwendungsbereichen außerhalb der Produktion zum Einsatz kommen und bestehen aus drei Komponenten:

- Physische Komponente
 - Intelligente Komponente
 - Vernetzungskomponente
- } Eingebettete Systeme

Physische Objekte (Geräte, Gebäude, Verkehrsmittel, Produktionsanlagen, Logistikkomponenten etc.), die eine „intelligente“ **Komponente** (Sensoren, Speichermöglichkeiten etc.) enthalten, werden als **eingebettete Systeme** bezeichnet. Diese eingebetteten Systeme sind heute schon vielfältig vorhanden. Neu kommt nun hinzu, dass sie sich untereinander sowie im Internet **vernetzen**. Die Vernetzung ermöglicht es den einzelnen Objekten miteinander zu kommunizieren.

Entwicklungen aus verschiedenen Bereichen werden zusammengeführt

Möglich wird die beschriebene Kommunikation durch Entwicklungen aus verschiedenen Bereichen. Das Zusammenspiel von Elektronik, Softwaretechnik, Vernetzung und Mechatronik prägen den Aufbau von Cyber-Physischen Systemen (vgl. Abbildung 9).

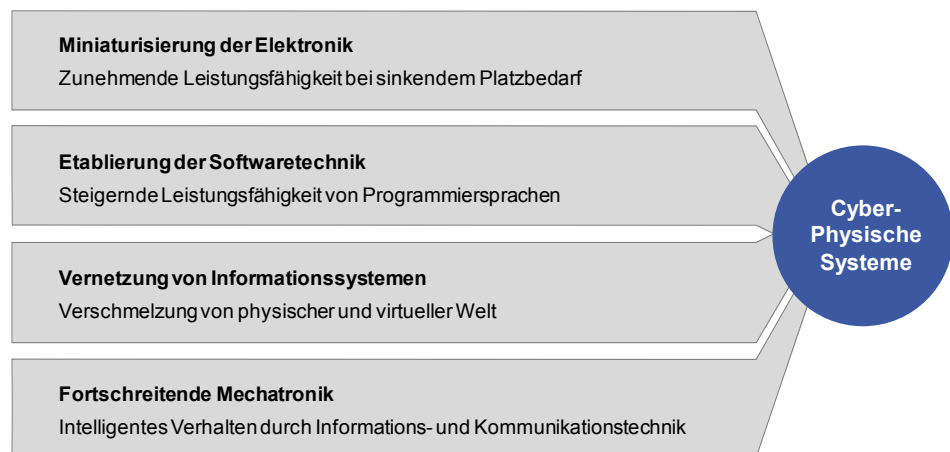


Abbildung 9: Entwicklung hin zu intelligenten technischen Systemen
(nach Fraunhofer IPT, vgl. it's OWL 2014)

Die Entwicklung geht dabei hin zu immer umfangreicheren Systemen mit mehr verbundenen Komponenten. Ausgangspunkt stellen geschlossene, eingebettete Systeme dar. Ein autonom gesteuerter Airbag ist ein Beispiel dafür. Auf der nächsten Entwicklungsstufe werden dann zwei oder mehr eingebettete Systeme miteinander vernetzt, allerdings noch innerhalb eines abgeschlossenen Systems (z.B. automatisches Einparken eines Autos). Wenn die Vernetzung über diese abgeschlossene Systemgrenze hinaus geht, dann spricht man von Cyber-Physischen Systemen. Als Beispiel dient

eine intelligente Kreuzung. Sie nutzt Daten aus Staumeldungen, um den Verkehr optimal zu steuern (vgl. Abbildung 10).

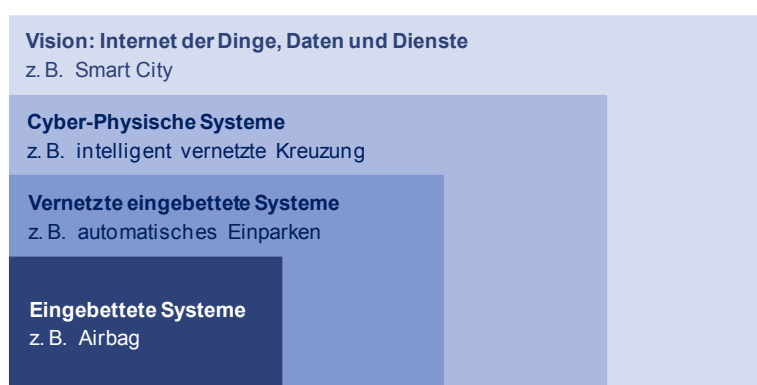


Abbildung 10: Die Entwicklungsstufen eingebetteter Systeme zum Internet der Dinge, Daten und Dienste (in Anlehnung an: acatech 2011, S. 10)

Cyber-Physische Systeme kommunizieren über das Internet und nutzen Internetdienste. Sie erfassen ihre Umwelt mit Sensoren (z.B. für Temperatur, Druck, Bewegungen) und werten die Umwelteindrücke unter Rückgriff auf weltweit verfügbare Daten und Dienste aus. Sie speichern Daten und wirken mit Aktoren (z.B. Bewegungen von Greifarmen, visuelle oder akustische Signale) auf ihre physikalische Umwelt ein. Menschen stehen über Mensch-Maschine-Schnittstellen (z.B. über Touch-Displays) mit Cyber-Physischen Systemen in Verbindung und steuern sie mithilfe von Sprach- oder Gestensteuerungen (vgl. acatech 2011, S. 10 ff.).

Cyber-Physische Systeme bauen autonom und dezentral Netzwerke auf und optimieren sich innerhalb dieser selbständig. Im fortgeschrittenen Stadium können sie ihre Einzelfunktionen selbständig intelligent kombinieren und so ganz neue Fähigkeiten entwickeln. Es entsteht auf der am weitesten ausgeprägten Entwicklungsstufe ein **Internet der Dinge** (Internet of Things, IoT), in dem jedem Objekt in der realen Welt ein virtuelles Abbild zugeordnet ist. Diese Daten stehen alle in Echtzeit zur Verfügung und aktualisieren sich permanent. Dieses System der Systeme ist eine Vision, die noch in der Zukunft liegt. In dieser Ausprägung ermöglichen Cyber-Physische Systeme eine **Verbindung der drei Netze**: Das Internet der Menschen, das Internet der Dinge und das Internet der Dienste verschmelzen miteinander. Menschen verbinden sich über soziale Netzwerke, wie heute schon bekannt. Weiter vernetzen sich kommunikationsfähige, intelligente Objekte (Werkstücke, Fahrzeuge oder Maschinen) und verbinden sich unter Verwendung von serviceorientierten Diensten (vgl. Bauernhansl et al. 2014, S. 15 ff.).

Durch die intelligente Vernetzung entstehen zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten. Exemplarisch können intelligente Stromnetze (Smart Grid), intelligente Gebäude (Smart Building, Smart Home) oder intelligente Verkehrssysteme (Smart Mobility) angeführt werden (vgl. acatech 2011, S. 10 ff.).

Das Internet der Dinge bietet viele Möglichkeiten der Anwendung

Werden Cyber-Physische Systeme im Bereich der industriellen Produktion eingesetzt, so ist von **Cyber-Physischen Produktionssystemen (CPPS)** die Rede. Anwendung finden sie in sogenannten **Smart Factories** (vgl. Kagermann et al. 2013, S. 89).

2.4 Nutzenpotenziale der intelligenten Vernetzung

Die umfassende Umsetzung von Industrie 4.0 bietet vielfältige Nutzenpotenziale. Diese können in **Leistungserstellung** (Smart Production) und **Leistungsangebot** (Smart Products und Smart Services) differenziert werden. In der Leistungserstellung ist eine Optimierung der gesamten Wertschöpfungskette das Ziel. Beim Leistungsangebot soll dagegen der Kundennutzen durch neuartige Produkte und Dienstleistungen gesteigert werden. Im Hinblick auf die Volkswirtschaft verspricht die Ausschöpfung dieser Potenziale eine Erhöhung der Bruttowertschöpfung (vgl. Bauer et al. 2014, S. 5).

Intelligente Produktion in der smarten Fabrik

Im Bereich der **Leistungserstellung** heißt die Zukunftsvision **Smart Factory**. Maschinen, Menschen und zu fertigende Werkstücke verbinden sich hier analog zu einem sozialen Netzwerk miteinander. „Social Machines“ kommunizieren untereinander sowie mit intelligenten Objekten in der Fabrik. Übergeordnetes Ziel dieses Netzwerks ist es, ein Gesamtoptimum aus Qualität, Durchlaufzeit und Auslastung zu erreichen. Als entscheidendes Novum wird angesehen, dass alle Daten in Echtzeit verfügbar sind. Somit ergibt sich ein permanent aktuelles, virtuelles Abbild der Realität. Komplexe Abläufe können dadurch besser gesteuert werden (vgl. Kagermann et al. 2013, S. 23 ff.).

Eine weitere einschneidende Neuerung stellt die **dezentrale Steuerung** der Fabrik dar. Dadurch wird der bisherige Produktionsplanungsprozess überdacht. Im Gegensatz zur konventionellen Produktion, die in einer Kette von klar definierten Schrittfolgen angeordnet ist, funktioniert die Produktion in Industrie 4.0 in dynamischen Netzwerken. Die digitale Durchgängigkeit zwischen verschiedenen Ebenen und Ressourcen ermöglicht eine vertikale Integration im Unternehmen. Die Vision: **Intelligente Produkte bzw. Werkstücke** kennen ihren Herstellungsprozess und greifen aktiv in den Fertigungsprozess ein. Sie stehen in Verbindung mit den bearbeitenden Maschinen und suchen sich diese anhand freier Kapazitäten selbst aus. Dadurch kann die Smart Factory deutlich effizienter und weniger störanfällig produzieren. Die Beherrschung von Komplexität bewirkt, dass auch kleinere Stückzahlen bis hin zu Losgröße 1 wirtschaftlich produziert werden können. Auch Menschen haben ihren Platz in der smarten Fabrik. Sie werden durch intuitive Automatisierung wie beispielsweise Montage-Handlingassistenten bei schweren oder gefährlichen Aufgaben unterstützt (vgl. Bauernhansl et al. 2014, S. 16 ff.).

Durch **Plug & Produce** soll eine einfache Umrüstung oder Erweiterung von Maschinen bzw. Komponenten gelingen. Standardisierte Schnittstellen und Protokolle ermöglichen eine leichte Konfiguration und Austauschbarkeit. Im besten Fall kann etwa eine Fräsmaschine durch bloßes Umstecken einer Komponente zu einer Drehmaschine umgerüstet werden (vgl. Kagermann et al. 2013, S. 105).

Interaktion über Mensch-Maschinen- Schnittstellen

Bei der Interaktion von Menschen mit intelligenten Maschinen und Objekten spielt die **Mensch-Maschine-Schnittstelle** eine wichtige Rolle. Sie muss intuitiv und benutzerfreundlich gestaltet werden. Dies trägt entscheidend zur Sicherheit der Mitarbeiter und Akzeptanz der Industrie 4.0-Technologien bei (vgl. BMBF 2013, S. 28 ff.).

Industrie 4.0-Szenario: Automobilproduktion

Heute existieren im Automobilbau **zwangsverkettete Produktionsstraßen**. Eine Umrüstung auf neue Produktvarianten ist aufwendig. Die durch IT-Lösungen unterstützten Produktionsleitsysteme (Manufacturing Execution Services, MES) sind meistens entsprechend der Hardware der Produktionsstraße mit genau definiertem Funktionsumfang konzipiert und daher statisch. Die Funktionalität der Produktionsstraße gibt auch die Abfolge und Taktung der menschlichen Arbeit vor. Sie ist in der Regel äußerst monoton. **Individuelle Kundenwünsche können oft nicht berücksichtigt werden**. So ist etwa der Einbau einer Komponente aus einer anderen Produktgruppe des gleichen Unternehmens oft nicht möglich.

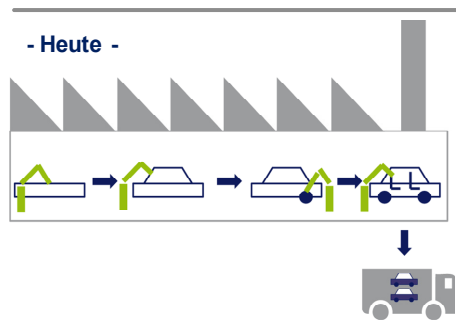


Abbildung 11: Getaktete Montage am Band
(Quelle: Kagermann et al. 2013, S. 68)

Dem stehen in **Industrie 4.0 dynamische Produktionsstraßen** gegenüber. Das Fahrzeug fährt dabei autonom durch die Fabrik. Die dynamische Umrüstung der Produktionsstraßen ermöglicht einen Variantenmix in der Ausstattung. Einzelne Varianten können zeitlich **unabhängig von der vorgegebenen zentralen Taktung** und reaktiv auf Logistikaspekte (Engpässe etc.) vorgenommen werden. Die IT-Lösung für das Produktionsleitsystem ist nun eine zentrale Komponente – von der Konstruktion über die Montage bis zur Inbetriebnahme. Das Leitsystem besteht aus Apps basierend auf einem Manufacturing Operation System (MOS) und einer föderativen IKT-Plattform. Apps, MOS und die Plattform realisieren nun das neue flexible MES. Die neue Dynamik erlaubt den Einbau **individueller Elemente** problemlos zu integrieren. Durch Assistenzsysteme, wie Datenbrillen, werden Mitarbeiter zudem in ihrem Tätigkeitsbereich unterstützt durch Montage- oder Kommissionieranweisungen. Assistenzsysteme sind somit wichtige „Enabler“ für die Einbindung von Menschen in die Fabrik der Zukunft (vgl. Kagermann et al. 2013, S. 68).

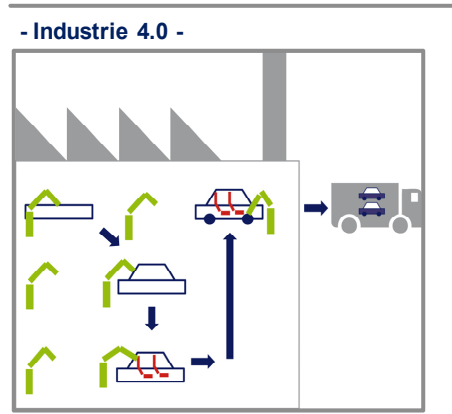


Abbildung 12: Entkoppelte, voll flexible und hochintegrierte Produktionssysteme
(Quelle: Kagermann et al. 2013, S. 68)

Aber die „Smartisierung“ hört nicht dort auf, wo die Produkte die Fabrik verlassen. Bei intelligent vernetzten Produkten in Kundennutzung spricht man von **smarten Produkten**. Diese Art von Produkten ist in allen Lebensbereichen zu finden. Sie gehen vom mit Sensoren ausgestatteten Tennisschläger, der seinem Benutzer Daten zur Analyse der Spielweise liefert, bis zu vernetzten Systemen landwirtschaftlicher Maschinen, die ihre Arbeit selbststeuernd unter Zuhilfenahme von Wetterdaten erbringen.

Smarte Produkte erobern alle Lebensbereiche

Die **smarten Produkte**, in denen Hardware, Software, Sensoren, Datenspeicher, Mikroprozessoren und Vernetzungskomponenten miteinander verknüpft werden, sind komplexe Systeme. Gegenüber „herkömmlichen“ Produkten bieten sie einen gesteigerten Umfang an Funktionen. Sie zeichnen sich durch drei charakteristische Komponenten aus:

- Physische Komponenten (Sensoren, Aktoren, Steuerungstechnik)
- Intelligente Komponenten (Prozessoren, Software, Datenspeicher)
- Vernetzungskomponenten (drahtlos, drahtgebunden)

Smarte Produkte sind als CPS zu sehen

Damit sind smarte Produkte ebenfalls als Cyber-Physische Systeme zu sehen (vgl. Kapitel 2.3). In Abbildung 13 sind die wesentlichen Eigenschaften smarterer Produkte zusammengefasst dargestellt.

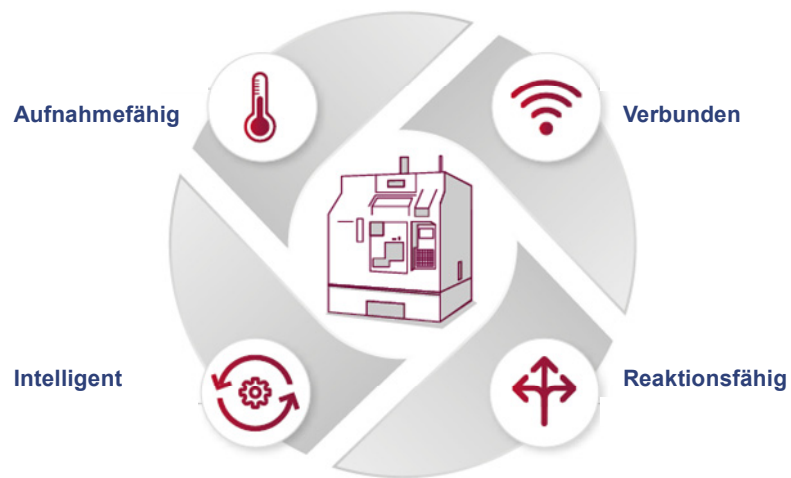


Abbildung 13: Merkmale smarterer Produkte
(in Anlehnung an: Capgemini 2014, S. 7)

Durch Sensoren werden smarte Produkte **aufnahmefähig**. So können sie Informationen über ihren eigenen Betriebszustand und ihre Umgebung erfassen. Die Ausstattung mit Prozessoren, Software und Datenspeichern macht sie **intelligent**. Sie ermöglichen es, autonome Entscheidungen zu treffen und befähigen zu eigenständigen Selbstlernprozessen. Untereinander und mit der Umwelt werden sie durch Vernetzungselemente **verbunden**. Diese erlauben ihnen mit anderen Cyber-Physischen Systemen zu interagieren. **Reaktionsfähig**, werden sie durch integrierte Steuerungstechnik. Sie erlaubt eine Umwelanpassung auf eigenen Anstoß oder aufgrund externer Befehle. Mit Aktoren (z.B. über akustische oder optische Signale) wirken smarte Produkte auf ihre Umgebung ein.

Wie smarte Produkte die gesamte Welt der Wirtschaft verändern werden und es zum Teil heute schon tun, stellt der renommierte Harvard-Professor und Strategie-Vordenker Michael E. Porter in einem Artikel zusammen mit James Heppelmann im Harvard Business Manager vom Dezember 2014 anschaulich dar (vgl. Porter und Heppelmann 2014, S. 34 ff.).

Porter und Heppelmann beschreiben wie intelligente Komponenten eine Leistungssteigerung der physischen Komponenten bewirken, wobei die Vernetzungskomponenten wiederum Leistung und Wert der intelligenten Komponenten erhöhen. Somit entstehe ein „sich selbst verstärkender Wertsteigerungszyklus.“ Die Vernetzung übernimmt dabei zweierlei Funktionen: Zum einen wird der Datenaustausch zwischen dem Produkt und seinem Betriebsumfeld, Hersteller, Nutzer oder anderen Produkten bzw. Produkt-

systemen ermöglicht, zum anderen lassen sich so einige Funktionen vom physischen Produkt auf externe Server auslagern. Die intelligenten Produkte unterscheiden sich in ihrem Funktionsumfang. Porter und Heppelmann teilen ihre Funktionen in vier aufeinander aufbauende Stufen ein: **Überwachung**, **Steuerung**, **Optimierung**, **Automatisierung** (vgl. Abbildung 14).

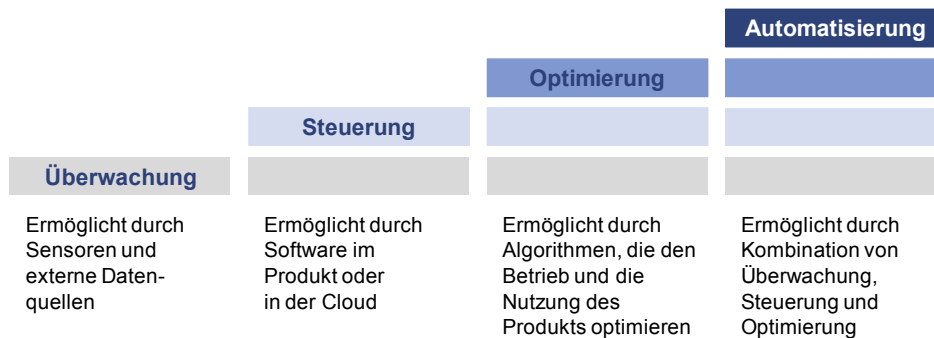


Abbildung 14: Funktionsstufen smarter Produkte
(Quelle: Porter und Heppelmann 2014, S. 41)

Die **Überwachung** wird durch Sensoren und externe Datenquellen (z.B. aus der Cloud) ermöglicht. Überwacht werden kann dabei der Betrieb, das Umfeld oder der aktuelle bzw. bisherige Status des Produkts. Das Produkt gibt, wenn notwendig, Benachrichtigungen oder Warnmeldungen aus.

Steuerungsfunktionen ermöglichen es, Produkte mit Hilfe von Fernbedienungen oder über Algorithmen zu steuern (exemplarische Reaktionsregeln: „Wenn ein Sensor Regen erkennt, dann soll der Scheibenwischer angeschaltet werden.“). Eine vielfältige und personalisierte Bedienung wird möglich.

Überwachungs- und Steuerungsfunktionen befähigen dazu, Fähigkeiten und Leistungen eines Produkts zu **optimieren**. Durch Datenanalyse in Kombination mit Algorithmen lässt sich die Leistung eines Produkts stetig verbessern.

Die höchste Entwicklungsstufe stellt die **Automatisierung** dar. Sie wird durch das Zusammenwirken der drei bereits beschriebenen Funktionen ermöglicht. Lernfähige Geräte passen sich automatisch den Gegebenheiten an. Produkte kommen in komplexen Umgebungen ohne menschliche Steuerung zurecht.

Die dadurch erbrachten Dienstleistungen werden als **Smart Services** bezeichnet. Die Art dieser Dienstleistungen kann dabei verschiedenster Natur sein (vgl. Riemensperger 2014).

Aufbauend auf den Ergebnissen des Arbeitskreises Industrie 4.0 wurde der Folgebericht „Smart Service Welt - Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft“ auf der CeBIT im März 2014 der Bundeskanzlerin übergeben. Der Co-Vorsitzende des Arbeitskreises, Frank Riemensperger, erläutert die Schlüsselbotschaft der Smart Service Welt: „Es geht nicht mehr um das Produkt“, so der Vorsitzende der Geschäftsführung von Accenture Deutschland. Vielmehr komme es zukünftig darauf an, wie das Produkt benutzt werde, welche Daten während der Benutzung anfallen und wie man diese verwenden könne. Den Daten schreibt er einen größeren Wert zu, als dem physischen Produkt selbst. Der Bericht des Arbeitskreises sieht die Geschäftsmodelle sowohl von Anbietern als auch Herstellern und Betreibern in naher Zukunft vor einer Revolution. Die Kombination von smarten Produkten mit physischen und digitalen Dienstleistungen zu Smart Services führe dazu, dass diese dem Kunden stets flexibel und bedarfsgerecht „**as a Ser-**

Vier aufeinander aufbauende Funktionsstufen von smarten Produkten

„Daten werden wichtiger als das physische Produkt“

“vice“ zur Verfügung gestellt werden können. Dabei stehe nicht mehr der einzelne Anbieter im Fokus, sondern der Konsument, der jederzeit und an jedem Ort die passende Dienstleistung erwartet. Diese Veränderungen können ganze Branchenstrukturen verändern (vgl. Riemensperger 2014).

Bereits digitalisierte Märkte, wie Medien, Musik und Werbung nennt der Bericht als anschauliche Beispiele für die Stärke und zugleich disruptive Kraft dieser Innovationen. Dort haben sich beispielsweise Apple oder Facebook als neue digitale Marktführer etabliert und völlig neuartige Geschäftsmodelle geschaffen. Dieser Wandel wird künftig vielen weiteren Branchen vorhergesagt (vgl. Kagermann et al. 2014 S. 17 f.).

Industrie 4.0-Szenario: Betriebsoptimierung von Anlagen as a Service

Betreiber von Anlagen innerhalb einer Wertschöpfungskette müssen die Anlage ständig wirtschaftlich optimieren. Heute übernimmt der Anlagenbetreiber diese hochkomplexe Aufgabe in der Regel selbst. Diese Optimierung muss verschiedenste Kriterien einbeziehen (Ressourcenverbrauch, Auslastung und Durchsatz der Anlage, Qualität des Produkts etc.). Die Beherrschung ungeplanter Ereignisse ist eine enorme Herausforderung. Im Umfeld der Anlage organisiert der Betreiber eine Vielzahl von Zulieferern und Dienstleistern (Instandhaltung, Logistik, Ersatzteile etc.).

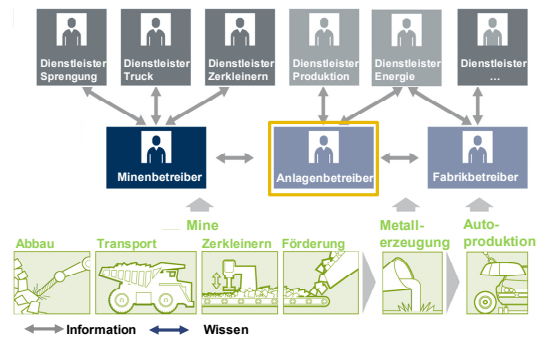


Abbildung 15: Anlagenoptimierung durch den Betreiber (Quelle: Kagermann et al. 2014, S. 34)

Im Rahmen von **Industrie 4.0** können Anlagendaten und digitale Modelle vorgehalten, gepflegt und als **Smart Services** in einer Plattform angeboten werden. Prozess- und Sensordaten werden an diese Plattform übertragen und dort gesammelt. Dienstleister nutzen intelligente, datenbasierte Dienste und bieten ihr Wissen in Form von Reports (Schaffung von Transparenz), Empfehlungen (frühzeitige Erkennung sich anbahnender Störungen) bis hin zu einem direkten Eingreifen in die Anlage an. Anstelle von Dienstleistern direkt beauftragen zu müssen, kann ein Anlagenbetreiber basierend auf Informationen in der Serviceplattform auch über einen Marktplatz Dienstleistungen ausschreiben und beziehen. Schließlich kann ein Intermediär durch Betrachtung der gesamten Wertschöpfungsketten – und dies übergreifend über mehrere Anlagen – neue Benchmarkdienste zur Verfügung stellen (Kagermann et al. 2014, S. 34 f.).

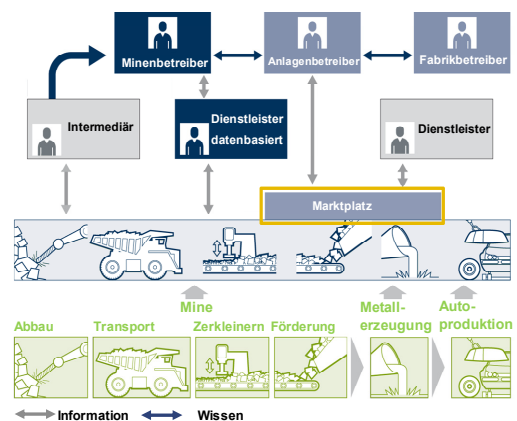


Abbildung 16: Anlagenoptimierung als Smart Service (Quelle: Kagermann et al. 2014, S. 34)

Durch die beschriebenen neuen Möglichkeiten in der Leistungserstellung und im Leistungsangebot werden enorme **volkswirtschaftliche Potenziale** erwartet. In der gemeinsamen Studie des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) und BITKOM „Industrie 4.0 - Volkswirtschaftliche Potenziale für Deutschland“ wurden sechs Branchen hinsichtlich ihrer Wachstumschancen untersucht. Ausgewählt wurden dabei Branchen, die vom Zusammenwachsen von Produktion und Internet besonders früh und stark betroffen sind: Maschinen- und Anlagenbau, Elektrische Ausrüstung, Chemische Industrie, Kraftwagen- und Kraftwagenteile, Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) sowie Landwirtschaft. Die möglichen Produktivitätssteigerungen belaufen sich bis zum Jahr 2025 danach auf insgesamt rund **78 Milliarden Euro**. Im Durchschnitt könne eine zusätzliche Bruttowertschöpfung¹ von 1,7 Prozent pro Jahr realisiert werden (vgl. Abbildung 17). Als besonders profitabel im Hinblick auf Industrie 4.0 werden dabei der Maschinen- und Anlagenbau, die Elektrische Ausrüstung und die Chemische Industrie identifiziert. Hier wurde ein zusätzliches Wachstumspotenzial von **2,2 Prozent pro Jahr** ermittelt (vgl. Bauer et al. 2014, S. 30 ff.).

Enorme Potenziale für die deutsche Volkswirtschaft durch Industrie 4.0 prognostiziert

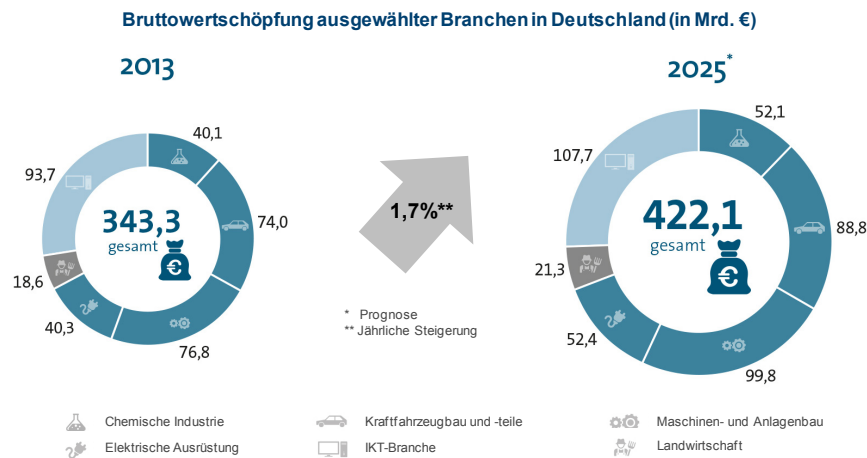


Abbildung 17: Wachstumschancen durch Industrie 4.0
(Quelle: BITKOM 2014)

Der Maschinenbau beispielsweise fungiert sowohl als Anwender als auch als Anbieter der mit Industrie 4.0 zusammenhängenden Technologien. Die große Menge an anfallenden Betriebs-, Zustands- und Umfelddaten soll für eine effizientere Produktion genutzt werden. Zudem könne man die eigenen Produkte mit Industrie-4.0-Technologien ausstatten. Dies eröffne neue Geschäftsmöglichkeiten wie etwa neue Service-Modelle. „Industrie 4.0 hat das Zeug dazu, unsere industrielle Wertschöpfung so zu revolutionieren wie das Internet die Wissensarbeit“, so die Meinung von Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Bauer, Institutsleiter des Fraunhofer IAO. Bisher lasse sich aber lediglich ein kleiner Teil der erwarteten Potenziale einordnen. Entscheidend werde sein, ob und wie die neuen Geschäftsmodelle in der traditionellen Industrie implementiert werden können (vgl. BITKOM 2014).

¹ Gesamtwert aller produzierten Waren und Dienstleistungen, abzüglich der Vorleistungen

2.5 Risiken und Herausforderungen

Neben den beschriebenen Chancen und Anwendungsmöglichkeiten gehen mit der umfassenden Vernetzung auch vielfältige Risiken und Herausforderungen einher. Ausgewählte Risiken und Herausforderungen werden im Folgenden beschrieben (vgl. Abbildung 18).

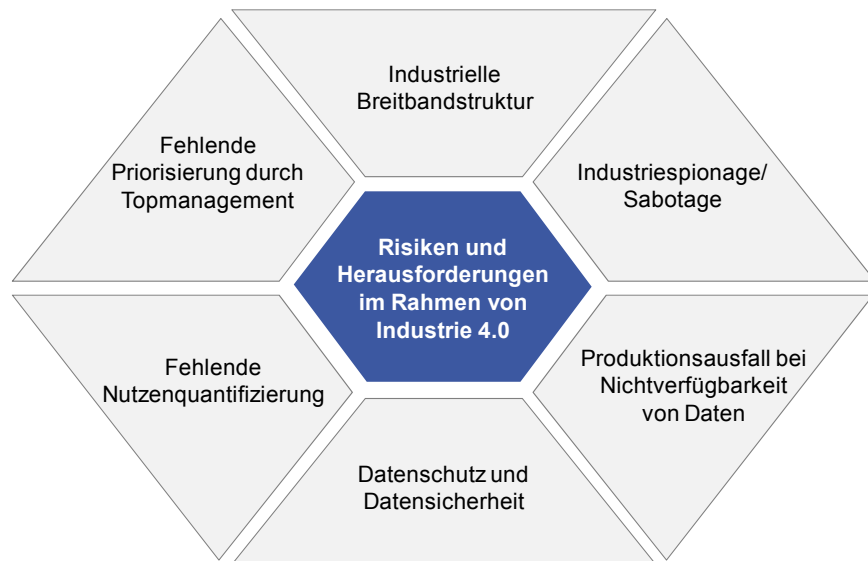


Abbildung 18: Risiken und Herausforderungen bei der Umsetzung von Industrie 4.0 (eigene Darstellung in Anlehnung an: PwC 2014; Kagermann et al. 2013)

Um Cyber-Physische Systeme flächendeckend einsetzen zu können, wird eine hochleistungsfähige Infrastruktur für den Datenaustausch benötigt. Die aktuell vorhandenen Kommunikationsnetze können einen solchen quantitativ und qualitativ höheren Datenaustausch nicht flächendeckend gewährleisten. Daher ist der Ausbau der bestehenden Kommunikationsnetze eine der Grundvoraussetzungen für die Umsetzung von Industrie 4.0. Benötigt wird eine **industrielle Breitbandinfrastruktur**, die garantierte Latenzzeiten, Ausfallsicherheit sowie Qualität bietet und dies mit einer flächendeckend zur Verfügung stehenden Bandbreite gewährleistet. Die übergeordneten Anforderungen an eine effektive Breitbandinfrastruktur, die viele Anwender erreicht, sind: Einfachheit, Skalierbarkeit, Sicherheit, Verfügbarkeit und Bezahlbarkeit (vgl. Kagermann et al. 2013, S. 49).

Wie schützt man sich vor Sabotage und Datenmissbrauch?

Durch die Verfügbarkeit von Daten in Clouds und eine Integration über Firmen- und Ländergrenzen hinweg entstehen zahlreiche Schnittstellen, die Potenzial für Angriffe bieten. Diese Angriffe können dabei verschiedenster Natur sein. Einerseits stellen beispielsweise die Produktionsdaten ein wertvolles und damit auch begehrtes Wirtschaftsgut dar. Es kann davon ausgegangen werden, dass Versuche unternommen werden sich dieses über **Industriespionage** anzueignen. Aber auch innerhalb der Nutzer einer Cloud können in diesem Zusammenhang Probleme auftreten. Schwachstellen könnten ausgenutzt werden, um als Anwender einer Plattform mehr Rechte zu erlangen als eigentlich vorgesehen. Zum anderen können Angriffe auch direkt auf Manipulation der Produktion gerichtet sein (**Sabotage**). Dadurch entsteht die Gefahr eines teuren Produktionsausfalls oder auch eine Bedrohung der körperlichen Sicherheit der Mitarbeiter. Bestehende Sicherheitsarchitekturen können nicht ohne Weiteres auf die Industrie 4.0-Technologien übertragen werden. So können beispielsweise Anlagen nicht ständig pausieren, um Sicherheitsupdates zu laden. Datenübertragungen und Steuerungsbefehle zwischen dem Cloud-Service und den Teilnehmern benötigen zudem ebenfalls sichere Kanäle (vgl. Fallenbeck und Eckert 2014).

S. 397 ff.). Durch das Speichern der Daten in Clouds findet eine Auslagerung der Funktionen aus den physischen Geräten statt. Dies ermöglicht eine reduzierte Ausstattung hinsichtlich Speicherkapazität, Rechenfähigkeit und Energieverbrauch. Jedoch nimmt dies den einzelnen Anlagen auch ihre Unabhängigkeit von externen Datenquellen. Somit kann die **Nichtverfügbarkeit der Daten und Anwendungen** in der Cloud einem **kompletten Produktionsausfall** gleichkommen. Hier müssen Sicherheitsarchitekturen und Absicherungssysteme geschaffen werden, die dieses enorme Risiko nahezu ausschließen. Die Speicherung, Nutzung, Verarbeitung und Weitergabe der Daten in der Cloud muss abgesichert werden. Angriffs- und Betriebssicherheit in prinzipiell offenen und kooperierenden Systemen zu gewährleisten, stellt eine große Herausforderung dar (vgl. Fallenbeck und Eckert 2014 S. 397 ff.).

Weiter gibt es aus der Perspektive des **Datenschutzes** Aspekte, an denen gearbeitet werden muss. So besteht bezüglich des Umgangs mit Mitarbeiterdaten dringender Handlungsbedarf. Laufend werden Aufenthaltsdaten, Bewegungsprofile oder Nutzungsprofile erfasst. Dadurch wird die Privatsphäre der Mitarbeiter erheblich bedroht. Die Schaffung und Durchsetzung einer datenschutzrechtlichen Basis stellt in diesem Bereich eine enorme Herausforderung dar. Es ist sowohl eine Aufgabe der Politik als auch der Unternehmen, eine Grundlage zu schaffen, die den ordnungsgemäßen Schutz dieser Daten gewährleistet. Dies wird auch mitentscheidend für die Akzeptanz der neuen Technologien bei der Belegschaft sein (vgl. Fallenbeck, Eckert 2014 S. 397ff).

Auch die Herausforderungen auf der betriebswirtschaftlichen Seite sind immens. Im Rahmen einer Umfrage von PricewaterhouseCoopers (PwC) wurden technologische sowie nicht-technologischer Herausforderungen identifiziert. Aus Controlling-Sicht ist interessant, dass knapp die Hälfte der befragten Führungskräfte deutscher Unternehmen im unklaren wirtschaftlichen Nutzen in Verbindung mit den hohen Investitionen die größten Herausforderungen für Industrie 4.0 sahen. Dieser Punkt stellte die Spitzenantwort dar. Nachvollziehbar, da die Implementierung von Industrie 4.0-Technologien mit enormen Investitionen in Anlagen aber auch in die Bereiche Forschung und Entwicklung sowie Aus- und Weiterbildung verbunden ist. Demgegenüber steht aber eine eindeutige und verlässliche **Quantifizierung der Nutzenpotenziale** aus. Zudem wurde eine **fehlende Priorisierung durch das Top-Management** von den Befragten als Hindernis identifiziert. Für die Umsetzung von Industrie 4.0 ist es notwendig, dass das Topmanagement die Bedeutung dieses Themas wahrnimmt und mit hoher Priorität behandelt. Dies ist die Grundvoraussetzung für die Entwicklung einer unternehmensinternen Industrie 4.0-Vision und -Roadmap (vgl. PwC 2014, S. 36 ff.).

Bei der Quantifizierung des Nutzens ist der Controller gefragt

Gute Voraussetzungen für Deutschland im internationalen Vergleich

2.6 Internationaler Vergleich

Deutschland gilt als einer der konkurrenzfähigsten Industriestandorte und gleichzeitig führender Fabrikausrüster weltweit. Mit seinem starken Maschinen- und Anlagenbau, dem Know-how bei eingebetteten Systemen und in der Automatisierungstechnik ist Deutschland gut auf den Wandel vorbereitet und verfügt über beste Voraussetzungen, um eine Führungsposition in der Produktionstechnik der Zukunft einzunehmen (vgl. Kagermann et al. 2013, S. 5).

In einem innereuropäischen „**Industrie 4.0-Readiness Check**“ der Unternehmensberatung Roland Berger wurden verschiedene Länder hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit zur Umsetzung von Industrie 4.0 untersucht. Hier dienten der Anteil der Produktion an der Bruttowertschöpfung sowie Rahmenbedingungen hinsichtlich des technologischen und gesellschaftlichen Fortschritts als Kriterien (vgl. Abbildung 19).

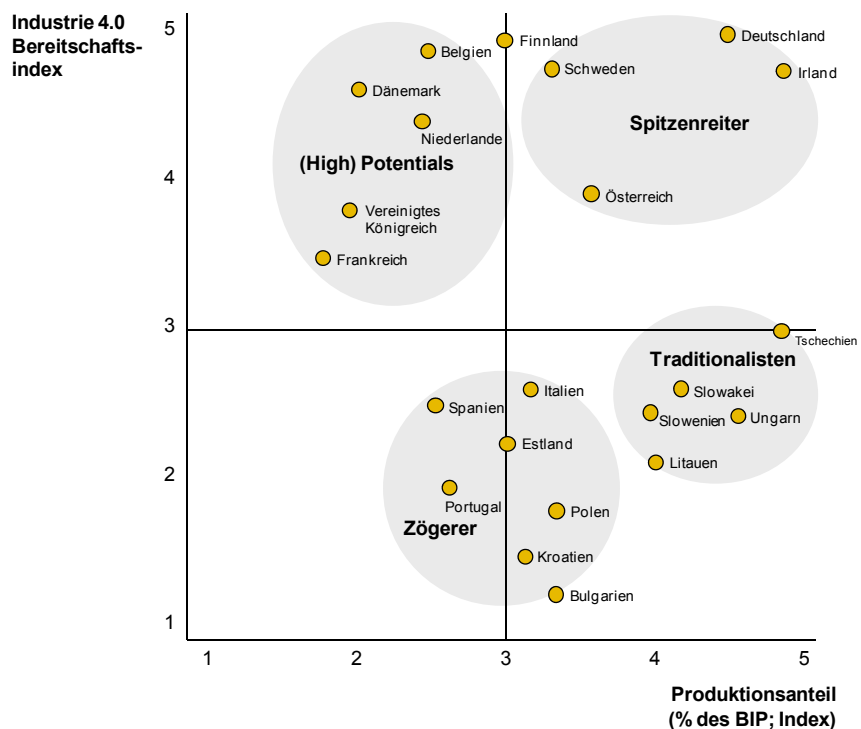


Abbildung 19: Industrie 4.0-Readiness Check (nach Roland Berger 2014, S. 16)

Die Abbildung zeigt einen "Industrie 4.0 Bereitschaftsindex" auf der vertikalen Achse. Dieser besteht aus einer Bündelung von Kriterien des technologischen und gesellschaftlichen Fortschritts (u.a. Automatisierungsgrad, Ausbildungssystem, Innovationsnetzwerk, Internetausbau). Die horizontale Achse bildet das traditionelle Industriemaß, den Anteil des Produktionssektors an der Bruttowertschöpfung, ab. Heraus kam eine Einteilung der betrachteten europäischen Volkswirtschaften in vier wesentliche Gruppen.

Die **Spitzenreiter** zeichnet ein starkes industrielles Fundament sowie eine moderne, zukunftsfähige Ökonomie aus (Schweden, Österreich und Deutschland). Dem Sonderfall Irland verhilft die dortige Ansiedelung vieler großer Pharmaunternehmen, welche erheblich zum relativ kleinen Bruttoinlandsprodukt beitragen, in diese Kategorie. Die meist in Osteuropa angesiedelten **Traditionalisten** zehren von ihrem starken Industrieanteil, halten sich aber bezüglich Initiativen zur Weiterentwicklung ihrer Industrie (noch) zurück. Den **Zögerern** fehlt eine solide industrielle Basis. Zudem leidet ein großer Teil unter finanziellen Problemen, welche zusätzliche Hindernisse

darstellen. Zu den **(High-)Potentials** zählen Länder wie Frankreich oder das Vereinigte Königreich. Ihre Industrie hat sich in den letzten Jahren zurückentwickelt. Die modern entwickelten Gesellschaften und Ökonomien bieten aber hohe Potenziale für Innovationen und Entwicklungen (vgl. Roland Berger 2014, S. 16 f.).

Deutschland misst Industrie 4.0 große Bedeutung zu. Das Thema geht als eines von zehn Zukunftsprojekten in die neue Hightech-Strategie der Bundesregierung ein. Diese hat das Ziel Deutschland auf dem Weg zum weltweiten Innovationsführer voranzubringen (vgl. Kapitel 1). Zu den aktuell größten Initiativen zu Industrie 4.0 zählt das Exzellenzcluster „Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer“ – ein interdisziplinäres Forschungsprojekt der Rheinisch-Westfälischen Technische Hochschule Aachen und des BMBF-Spitzenclusters „Intelligente technische Systeme Ostwestfalen-Lippe (it's OWL)“. It's OWL ist der Überbegriff für eine Kooperation von 174 Unternehmen, Hochschulen, wissenschaftlichen Kompetenzzentren und wirtschaftsnahen Organisationen in der Region Ostwestfalen-Lippe (OWL), die im Jahr 2011 gegründet wurde (vgl. it's OWL 2014, S. 6 f.). Eine andere bemerkenswerte Initiative stellt die Allianz 4.0 Baden-Württemberg dar. Das Land Baden-Württemberg will sich als Leitmarkt und Leitanbieter für das Thema Industrie 4.0 positionieren. Es wurde ein Lenkungskreis unter Vorsitz von Manfred Wittenstein, ehemaliger VDMA-Vorsitzender und heutiger Aufsichtsratsvorsitzender der Wittenstein AG, gegründet. Das Gremium besteht aus Vertretern des Ministeriums für Wirtschaft und Finanzen, der Wirtschaft, der Wissenschaft und der Gewerkschaften. Ziel ist es, das bereits im Land vorhandene Know-how in der Allianz 4.0 Baden-Württemberg zusammenzuführen (vgl. Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg 2014).

Neben Deutschland haben weitere Länder den Trend zur industriellen Nutzung des Internets der Dinge und Dienste erkannt. So gibt es in anderen Industrienationen ähnliche Förderinitiativen. In den **USA** entstand Mitte 2011 die sogenannte **Advanced Manufacturing Partnership (AMP)**. Hier kommen führende Vertreter aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik zusammen, um gemeinsam einen Kurs für Zukunftstechnologien zu entwickeln. Der Lenkungsausschuss des AMP setzt sich aus Vertretern von Top-Universitäten (u.a. MIT, Stanford, UC Berkeley) sowie CEOs führender Unternehmen (u.a. Caterpillar, Ford, Intel) zusammen. Auf Vorschlag des AMP wurde das National Network for Manufacturing Innovation (NNMI) gegründet, in dem sich führende Forschungsinstitute zusammengeschlossen haben, um die US-Industrie durch innovative Technologien global wettbewerbsfähiger zu machen. Insgesamt stellte die Obama-Regierung 2,2 Milliarden US-Dollar im Jahr 2013 für den Bereich Advanced Manufacturing zur Verfügung (vgl. Kagermann et al. 2013, S. 71 ff.).

Auch **China** strebt durch eine Stärkung des Industriesektors die globale Technologieführerschaft an. Der 12. Fünfjahresplan (2011-2015) umfasst dabei sieben „strategische Industrien“, darunter das „High-End Equipment Manufacturing“ und eine „New-Generation Information Technology“. Technologieintensive Zukunftsindustrien sollen dabei besonders fokussiert werden. Die chinesische Regierung stellt insgesamt 1,2 Billionen Euro zur Industrieförderung im Rahmen des Fünfjahresplans zur Verfügung (vgl. Kubach 2011, S. 4). Im Werkzeugmaschinenbau wird dabei unter anderem das „**Intelligent Manufacturing**“ gefördert. Auch das Internet der Dinge bzw. Internet of Things (IoT) findet schon seit 2010 verstärkt Beachtung. Dies zeigen beispielsweise eine seither jährlich stattfindende Konferenz zum Thema, Forschungsgruppen zu CPS oder eine „IoT-Innovation“-Zone mit 300 dort angesiedelten Unternehmen (vgl. Kagermann et al. 2013, S. 71 ff.).

Initiativen auch in anderen Ländern

3 Best Practices aus Controlling-Sicht

Industrie 4.0 ist ein stark technologiegetriebenes Thema, welches die Einführung innovativer Informations- und Kommunikationstechnologien erfordert. In der Praxis sind zahlreiche Projekte in Arbeit, deren Schwerpunkt vorrangig technisch geprägt ist (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Beispielhafte Industrie 4.0-Initiativen (vgl. Sauter et al., 2015)

Unternehmen	Branche	Industrie 4.0-Initiative	Enabler-Technologie
Daimler AG	Automobil-industrie	Optimierung der Produktionslogistik durch Traceability	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ad-hoc vernetzbare Sensoren ▪ Traceability und Echtzeitsystemabbild ▪ Schnittstelle zu vorhandenen CPS und Logistikkette
Festo AG & Co. KG	Antriebs-technik	Smart Factory – Flexible Just-in-Time-Produktion bei optimaler Auslastung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schnittstellenstandards für Fertigungsmodule ▪ Modulare/ selbstkonfigurierende Software ▪ Simulation von Auftragslage und Produktionslayout
HARTING Technologie-gruppe	Elektronik-komponenten	Integrated Industry – Next Step	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Traceability, Echtzeit-rückmeldung und M2M mithilfe der RFID-Technologie ▪ Vertikale Integration (von Feldebene mit RFID und Sensorik bis zum SAP-Backend-System)
Maschinenfabrik Reinhausen GmbH	Energie-technik	Manufacturing Execution System (MES) ›MR-CRM‹	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CPS ▪ Schnittstellenneutrale Vernetzung von Menschen und Maschinen (vertikale Integration von ERP, NC-Programmen und Qualitätssicherung)
Siemens AG	Technologie-konzern	Software und Automatisierungslösungen für die Smart Factory	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Totally Integrated Automation ▪ PLM Software ▪ Digitale Abbildung der Fabrik
Würth Gruppe	Verbindungs-technik, C-Teile-Management	Datenübertragung von Bestandsdaten und optisches Bestellsystem auf Basis eines Kanbansystems	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Traceability und M2M-Kommunikation zur Übermittlung von Bestandsdaten

Es ist wichtig, an ausgewählten Projekten zu demonstrieren, dass bei der Umsetzung von Industrie 4.0 der Controller eine wichtige Rolle als Mitgestalter und „wirtschaftliches Gewissen“ spielen muss. Die folgenden Best-Practice-Beispiele vertiefen diese Forderung.

3.1 Visualisierte Echtzeitproduktivität bei Hansgrohe

Bei **Hansgrohe** hat man sich bewusst dazu entschieden, das Thema Industrie 4.0 in mehreren Schritten anzugehen. Bereits 2010 wurde das **Projekt „BDE online“** ins Leben gerufen. Bis dahin war die Produktion eine mehr oder weniger IT-freie Zone. Fertigungsaufträge wurden ausgedruckt und der Schichtführer war für deren terminliche Einplanung verantwortlich. Die Werker wiederum notierten die benötigten Zeiten auf den Auftragspapieren und gaben diese nach Erledigung an den Schichtführer zurück. Werkstattsschreiber sorgten dafür, dass die Informationen ins SAP eingegeben wurden.

Hansgrohe SE	
Umsatz (Konzern)	841 Mio. Euro (2013)
Beschäftigte (Konzern)	3.446 (2013)
Produkte / Geschäftstätigkeit	Sanitärtechnik (u. a. Armaturen, Brausen, Badzubehör)

hansgrohe

Mit „BDE Online“ wurde alles ganz anders. Die Mitarbeiter melden sich nun mit Ihrer ID an der jeweiligen Montagelinie an. Ebenso wird der Start des Fertigungsauftrages dem System mitgeteilt. Dazu wurde je Montagelinie ein Terminal mit Kartenleser und einem in die Linie integrierten Scanner aufgestellt. Für Hansgrohe war es extrem wichtig, dass das System intuitiv und einfach zu bedienen ist. Die Mitarbeiter hatten noch keinerlei Erfahrungen im Umgang mit Tastatur und Maus.



Abbildung 20: Visualisierung der Echtzeitproduktivität bei Hansgrohe

Die **Kernfunktionalität besteht darin, dass jedes gefertigte Produkt am Ende der Montagelinie gescannt wird**. Das Einscannen generiert eine Rückmeldung, wobei das System die aktuelle Produktivität ermittelt – sowohl für den Auftrag als auch kumuliert für die betreffende Schicht. Die Mitarbeiter werden also in Echtzeit über die tatsächliche Produktivität informiert. Gleichzeitig wurde der Erfassungsaufwand drastisch reduziert. Die beschriebene Methodik wurde sukzessive für alle stark frequentierten Montagelinien im Hansgrohe Konzern übernommen. Die Projektphase „BDE Online“ wurde 2013 abgeschlossen.

Insgesamt wurde die Produktivität in den betreffenden Bereichen **um 3% gesteigert**, was zu einer erheblichen **Kostenreduzierung** beigetragen hat. Im Rahmen des im Jahr 2013 angelaufenen zweiten Projektschritts „MES“ (=Manufacturing Execution System) werden alle Maschinen im Bereich Grundfertigung (Bearbeitungszentren, Gieß- und KS-Spritzgußmaschinen) mit einem zentralen MES-System verbunden.

**Produktivität in
Echtzeit abgebildet**

Mitwirkung des Controllings

Controlling von Anfang an eingebunden

Das Controlling war vom Start weg in das Projekt eingebunden. Sowohl bei der Strategiefindung als auch in der Implementierungsphase war der **Controller als Sparringspartner** gefordert.

Einerseits war die Frage, welchen Mehrwert das Controlling durch die neu zu implementierenden Systeme erzielen kann (Phase 1 und 2 in Abbildung 21). Hier wurden vornehmlich operative Themen diskutiert, wie:

- Welche Anforderungen hat das Controlling und wie können diese erfüllt werden?
- Welchen Nutzen generiert die zusätzliche Transparenz?
- Welche Berücksichtigung erfahren diese Inhalte im Reporting?

Aus Controller-Sicht konnten dazu beispielsweise folgende Verbesserungen identifiziert werden:

- **Zeitnahe Daten** ermöglichen unmittelbare Reaktionen
- **Deutliche Verbesserungen im Planungsprozess** führen im Resultat dazu, dass die gesamten Vorbereitungszeiten auf dem Shopfloor um rund einen Tag reduziert werden konnten (z.B. Papiervermeidung, Rüstvorgänge)

Sehr viel herausfordernder waren die Diskussionen, als es darum ging, welche **Potenziale in den Folgejahren durch 4.0-Technologien** erschlossen werden können. Hier spielen nicht nur rein technologische Gesichtspunkte eine Rolle, vielmehr müssen Themen wie das Internet der Dinge, Arbeitsorganisation und Qualifizierung sowie die Tendenz zur zunehmenden Individualisierung der Konsumentenbedarfe in der Gesellschaft einbezogen werden. Letztendlich muss die gesamte Wertschöpfungskette neu gedacht und Nutzenpotenziale quantifiziert werden.

In den vergangenen Jahren konnte Hansgrohe feststellen, dass durch disruptive Technologieschübe vollkommen neue Rahmenbedingungen entstehen. **Controller müssen in Zukunft** mehr denn je in der Lage sein, die **Auswirkungen dieser Technologien** zu **bewerten** und den Transformationsprozess zu moderieren. Diese Anforderungen müssen auch **bei der Ausbildung** von Controllern entsprechend **berücksichtigt** werden.

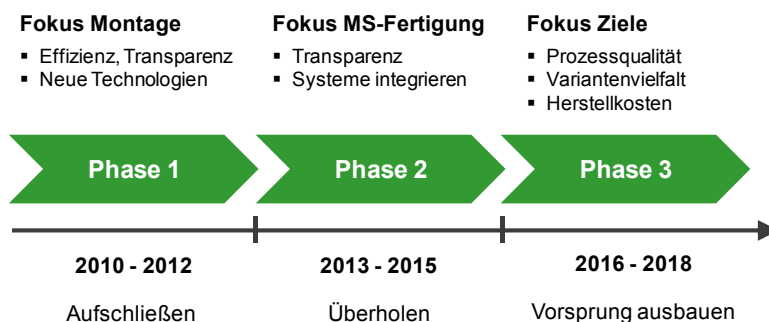


Abbildung 21: Umsetzungsstufen von Industrie 4.0 bei Hansgrohe

3.2 Geschäftsmodellinnovation bei Trumpf

Die Werkzeugmaschine zur Bearbeitung von Blech steht heute im Fokus von **Trumpf**. Die Aktivitäten konzentrieren sich auf die Weiterentwicklung der Maschine, um die Geschwindigkeit des Bearbeitungsprozesses zu erhöhen, die Qualität der produzierten Teile zu verbessern und die Verfügbarkeit des Gesamtsystems zu steigern. Die Digitalisierung hat diese Entwicklungen in den vergangenen Jahren wesentlich beeinflusst. Software hat sich als Kompetenzfeld neben der Hardware (Mechanik, Elektronik) etabliert.

TRUMPF GmbH + Co. KG	
Umsatz (Konzern)	2.343 Mio. Euro (2013)
Beschäftigte (Konzern)	9.881 (2013)
Produkte / Geschäftstätigkeit	Werkzeugmaschinen, industrielle Laser, Hochleistungselektronik



Durch Softwareentwicklungen in den Bereichen der Steuerung der Werkzeugmaschine und der Steuerung des Produktionsprozesses der Blechbearbeitung konnten Produktivitätsgewinne erzielt werden, die mit Hardwareentwicklungen nicht hätten erreicht werden können. Die typischerweise komplexen, verketteten Fertigungssysteme der Kunden können durch Digitalisierung intelligent miteinander vernetzt werden. So wird z.B. die Einlastung der Fertigungsaufträge auf den jeweiligen Zustand der Maschinen (Auslastung, Verfügbarkeit, Wartungszustand) hin optimiert. Dies geschieht in Echtzeit und berücksichtigt damit aktuelle Entwicklungen in der Fabrik: auf Auftrags- wie auch auf Fabrikseite.

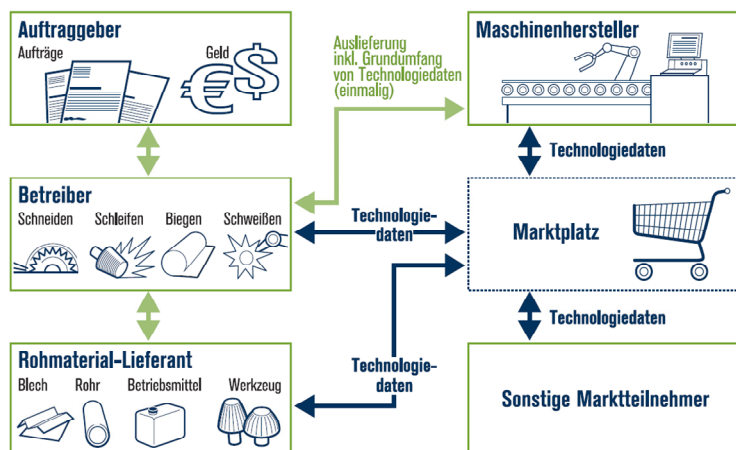


Abbildung 22: Geschäftsmodellinnovation bei Trumpf

Industrie 4.0 geht weit darüber hinaus: **Industrie 4.0 erfindet Geschäftsmodelle neu**. Werkzeugmaschinennutzer werden zukünftig digitale Produkte aus webbasierten Technologieplattformen bzw. Internet-Marktplätzen beziehen. Mit diesen Produkten werden sie sowohl die Effizienz ihrer Maschinen als auch die ihrer Produktion auf ein neues Niveau heben. In Zukunft werden Blechbearbeiter die Technologiedaten, die sie für die Bearbeitung bestimmter Bleche auf den jeweiligen Maschinen benötigen, auftragsbezogen online abrufen. Ein investitionsintensiver Kauf kompletter Technologiedatenbanken – in der Regel gemeinsam mit dem Kauf der Maschine – lässt sich so vermeiden. Nicht benötigte Daten müssen nicht beschafft werden. Überflüssige Investitionen werden vermieden. Weiterer Vorteil: Es werden jeweils die aktuellsten Technologiedaten verwendet. Ein vergleich-

Webbasierte Technologieplattformen

bares Geschäftsmodell ist die permanente Online-Wartung der Maschinen (z.B. Überwachung der Maschinen mit zustandsgesteuerter Anpassung der Maschinenparameter).

Eine Gemeinsamkeit aller digitalen Geschäftsmodelle ist, dass den Fertigungsunternehmen für deren Werkzeugmaschinen online (ggf. webbasiert) Informationen, Programme und Lösungen zur Verfügung stehen, die ihnen den optimalen Einsatz ihrer Werkzeugmaschinen ermöglichen. Trumpf arbeitet an der Entwicklung dieser Geschäftsmodelle, um die Bearbeitung von Blech noch besser und günstiger zu machen.

Mitwirkung des Controllings

Industrie 4.0 stellt das Controlling in Maschinenbauunternehmen vor neue Herausforderungen. Im heutigen Geschäftsmodell liegt der Fokus des Controllings auf der Bewertung der Leistungserstellung (Produktion) in Form von (Herstell-)Kosten und der Bewertung der Erlösseite (Verkauf der Produkte) in Form von Absatzmengen, Preisen und Umsatz. Dies wird sich **in digitalen Geschäftsmodellen fundamental ändern**. Auf der Kostenseite ist relevant, welche Aufwendungen für die Erstellung der Geschäftsmodelle und der entsprechenden Dienstleistungen anfallen. Vom Unternehmen sind hierfür erhebliche Vorleistungen zu erbringen, die der Entwicklung von Produkten im klassischen Geschäftsmodell entsprechen. Darüber hinaus sind hohe Investitionen für den Aufbau der entsprechenden technischen digitalen Plattformen erforderlich. Schließlich verursachen der laufende Betrieb der digitalen Systeme und deren Skalierung (Verbreitung der Anwendungen und zunehmende Zahl von Nutzern) hohe Kosten.

Die Kostenstrukturen digitaler Geschäftsmodelle unterscheiden sich daher wesentlich von denen klassischer Geschäftsmodelle und erfordern eine **Anpassung der Kostenrechnungssysteme** in Bezug auf Struktur, Detaillierungsgrad und zeitliche Dimension. Auf der **Erlösseite** stellt die **Ermittlung der Preise für digitale Produkte bzw. Dienstleistungen** das Controlling vor neue Aufgaben. Anstatt einer kostenbasierten Kalkulation ist der Nutzen des digitalen Produktes für den Kunden zu bewerten und dieser dann als Basis für die Preisermittlung zu verwenden. Eine Abschätzung der potentiellen Absatzmengen hat ebenfalls wesentlichen Einfluss auf den Preis bzw. die Wirtschaftlichkeit.

Der Controller muss die Wirtschaftlichkeit der Geschäftsmodelle aufzeigen

Die Wirtschaftlichkeit des Geschäftsmodells hängt damit weniger von der Kostenseite der Leistungserstellung (Herstellkosten) und dem erzielbaren Preis am Markt ab (Marge), sondern vielmehr von dem Aufwand, der für die Entwicklung des Geschäftsmodells zu leisten ist (Intensität, Dauer) sowie der Skalierbarkeit des Geschäftsmodells. Die Anzahl der Nutzer des digitalen Geschäftsmodells entscheidet über die Wirtschaftlichkeit. **Industrie 4.0-Geschäftsmodelle entsprechen den Geschäftsmodellen der digitalen Welt** im Internet („Google“) und müssen daher auch deren Controlling-Logik folgen. Eine für ein Maschinenbauunternehmen gravierende Veränderung.

3.3 Mobiles Produktionsmanagement bei Wittenstein

Im Sinne von Industrie 4.0 wurde bei **Wittenstein** ein mobiles Assistenzsystem für Produktionsmitarbeiter eingeführt. Es lässt zielgerichtete Informationsabfragen bei Fertigungsaufträgen in der Produktionsplanung und -steuerung zu. Die Anwendung unterstützt weiterhin die Erfassung und Dokumentation von Störfällen in der Produktion (sogenannte „Eskalationen“). Der wesentliche Nutzen des mobilen Produktionsmanagements liegt im effektiven Informationszugriff sowie der Beschleunigung des Eskalationsprozesses.



WITTENSTEIN AG	
Umsatz (Konzern)	241 Mio. Euro (2013)
Beschäftigte (Konzern)	1.608 (2013)
Produkte / Geschäftstätigkeit	Mechatronische Antriebstechnik



Abbildung 23: Industrie 4.0-Elemente bei Wittenstein

Im ersten Schritt wurden sämtliche Maschinen und Werkstatt-Arbeitsplätze mit Data-Matrix-Codes ausgestattet und diese auch auf den Fertigungsauftragspapieren generiert. Parallel dazu fand die Portierung der Kernfunktionen von Produktionsplanung und -steuerung auf einen Tablet-Computer mit Kamerafunktion statt.

Mit diesem System kann der Mitarbeiter **standortunabhängig** Feinplanungsinformationen zu Fertigungsaufträgen abrufen. Er navigiert auf dem Tablet durch ein App-Menü. Das Scannen eines Codes an der Maschine, oder auf den Fertigungspapieren seines Materials, ermöglicht dem Werker, auf direktem Weg an Informationen des geplanten Auftrags an seinem Arbeitsplatz, bzw. der vorgesehenen Fertigungsabfolge, zu gelangen.

Durch das System ist der Mitarbeiter in der Lage, Eskalationen direkt vor Ort zu erstellen und an den zuständigen Verantwortlichen zu melden. Er scannt den Code an seinem Arbeitsplatz und wählt den entsprechenden Fertigungsauftrag, bei dem der Störfall aufgetreten ist, aus. Neben der Beschreibung des Problems über die Tastatur hat er zusätzliche Möglichkeiten (Fotos, Videos und/oder Sprachnachrichten) und kann diese in der Meldung als Anhang speichern. Nach Übertragung der Daten wird der Empfänger umgehend per Mail benachrichtigt.

Der **Eskalationsprozess** ist damit **strukturierter und schneller**. Ferner nimmt die **Qualität der Dokumentation zu**. Der gesteigerte Informationsgehalt trägt dazu bei, stetig wiederkehrende Fehler bei der Bearbeitung eines Materials zu identifizieren und zu eliminieren.

Mitwirkung des Controllings

Es scheint, als wären mittlerweile die Grundbedingungen für das Internet der Dinge bzw. Industrie 4.0 geschaffen. Die kaufmännischen Aspekte scheinen sich momentan noch zu formulieren. Im Zusammenhang mit Industrie 4.0 ergeben sich mittelbare und unmittelbare Einflüsse.

Der unmittelbare Einfluss dieser Entwicklung betrifft Controlling-Prozesse und -Mitarbeiter. Die Echtzeitverfügbarkeit von Daten und Transparenz, Flexibilisierung und Dynamik von Prozessen sowie die Vernetzung der Unternehmen schaffen ein immenses Datenaufkommen. Dies hat bedeutende Auswirkungen auf Controlling-Prozesse, wie strategische Planung, Forecast sowie Kosten-, Leistungs- und Ergebnisrechnung.

Für die **strategische Planung** galt bislang, dass das zu beobachten und zu berücksichtigen ist, was Unternehmen und Controller für relevant hielten. Dies muss sich grundlegend ändern. Das einflussnehmende Umfeld von Industrie 4.0 erweitert sich in hohem Umfang und muss einbezogen werden. Reicht bislang als Planungswerkzeug die Balanced Scorecard aus, gerät sie nun aufgrund der komplexen und bidirektionalen Abhängigkeiten an ihre Grenzen. Eine adäquate Ablösung bietet das Dynamic Score Card-Modell. Mithilfe der darin enthaltenen Sensitivitätsanalysen und Simulationen können Ursache-Wirkungszusammenhänge ermittelt und der Faktor Zeit mit seinen Abhängigkeiten dargestellt werden.

Forecasts beruhten bislang auf dem Blick in die Vergangenheit, der mit Erwartungen und Vermutungen, welche die Zukunft betreffen, angereichert wurde. Dies war für zyklische Entwicklungen ausreichend, stößt bei disruptiven Veränderungen (die mit der Digitalisierung einhergehen) aber an seine Grenzen. Ein mathematisch-physikalisches Modell muss zu einem mathematisch-sozioökonomischen Modell transformiert werden. Die Planungshorizonte müssen dynamisch angelegt sein und Geschäftsjahresgrenzen „ignorieren“.

Der mittelbare Einfluss von Industrie 4.0 wirkt sich auf unternehmerische Geschäftsmodelle aus. Lassen sich Unternehmen auf die gebotenen Möglichkeiten ein und nehmen neue Geschäftsmodelle an oder wechseln ihre Modelle aus, dann beeinflusst dies ebenfalls die **Kosten-, Leistungs- und Ergebnisrechnung**. Die Wertschöpfung verändert sich, evtl. auch die Abrechnungsmodelle. In diesem Zusammenhang muss mit einer Flexibilisierung der Kosten, d.h. einer Verschiebung der Fixkostenanteile gerechnet werden, was für Unternehmen Risiko und Chance sein kann.

Die Auswirkungen von Industrie 4.0 werden besonders deutlich durch die Möglichkeiten, die sich durch Geschäftsmodellveränderungen ergeben. Der Großteil der bedeutenden Veränderungen, durch die Digitalisierung, fand in den USA in den Feldern „Produktzugang“ und „Preisgestaltung“ statt. Hier ist der eigentliche Effekt zu verorten! Industrie 4.0 eröffnet den Unternehmen also Möglichkeiten, die ihnen bislang versagt waren. Das Controlling muss sich darauf einstellen und vorbereiten.

Strategische Planung, Forecasts sowie Kosten-, Leistungs- und Ergebnisrechnung im Fokus

3.4 Vernetzte Produktion bei Euchner

Euchner ist mit ca. 10.000 Produktvarianten in 57 Produktfamilien ein Spezialist für Kleinserien- und Variantenfertigung, der 90% aller Bestellungen innerhalb von drei Wochen an die Kunden ausliefert. Diese Variantenvielfalt bei kurzer Lieferzeit und weltweiter Beschaffungstätigkeit erfordert die fast ausschließliche Produktion im Inland. Um dies wirtschaftlich zu gestalten und die Übersichtlichkeit für die Disponenten und Produktionsplaner zu erhalten, wird durch Verzicht auf Plandaten und Datenerfassung die Komplexität reduziert. Für Euchner liegen damit die Erwartungen an Industrie 4.0 am Sicherstellen der **Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Produktion** sowie dem **Beherrschen von Kleinserien bis hin zur Losgröße 1**.

EUCHNER
More than safety.

EUCHNER GmbH + CO. KG	
Umsatz	100 Mio. Euro (2013)
Beschäftigte	400 (2013)
Produkte / Geschäftstätigkeit	Sicherheitstechnik (u.a. Sicherheitsschalter, Sicherheitssysteme)

Das Steuern der Varianten bei gleichzeitiger, kostengünstiger Produktionsplanung und Disposition ist heute ein eindeutiger Zielkonflikt. Die optimale Planung der Kapazitäten für unterschiedliche Fertigungsauftragsarten (Kanban, Absatzplan, auftragsbezogene Fertigung) erfordert eine Vielzahl an Planungsdaten (Losteilungen, Ressourcen, Maschinenzeiten). Der Einkauf ist bei der Vielzahl an Beschaffungsteilen stark mit operativen Aufgaben belastet. Er könnte bei vorhandener Datenbasis und Automatisierung von diesen Routinetätigkeiten entlastet werden.



Abbildung 24: Auszug aus der Produktpalette von Euchner

Die in Industrie 4.0 propagierte vernetzte Produktion, d.h. das Verschmelzen von IT und Produktionstechnologie, hat das Potenzial, diese heute nicht verfügbaren Informationen zu generieren:

- **Automatisiertes Rückmelden von produzierten Stückzahlen** und einzelner Prozessschritte und nicht nur Fertigmeldung des gesamten Loses am Ende der Montage.
- Eine **tagesgenaue Aktualisierung der Fertigungskapazitäten** und nicht das wochenweise Einfrieren der Produktionsplanung.
- **Ständige Übersicht über die Auslastung** der Kapazitäten: Ist der begonnene Auftrag zu 90% erledigt oder welche Prozessschritte und Mengen stehen noch aus.
- **Automatisierte Bestellung** bei Lieferanten nach Einlastung des Produktionsauftrages unter Verwendung der jeweils aktuellen Zeichnungs-/Bestelldaten.

**Jeden Prozessschritt
ständig im Blick**

- **Produkte können in der Fertigung verfolgt werden** und melden der Auftragsabwicklung ihre baldige „Verfügbarkeit“ bzw. eine sich anbahnende Verzögerung. Die Produktionsplaner könnten bei Bedarf gegensteuern oder der Vertriebsinnendienst mit Kunden die Akzeptanz von Teillieferungen rechtzeitig abklären.
- Der Verzicht auf die Erfassung der Seriennummer beim Versand der Produkte ermöglicht heute nur eine Rückverfolgbarkeit auf Chargenbasis. Ein **automatisiertes Auslesen der Seriennummern** über RFID-Technik bei der Entnahme aus dem Versandlager würde den Versand nicht aufwändiger gestalten, aber die Datenbasis deutlich verbessern.

Mitwirkung des Controllings

Die von Produktionsplanung, Einkauf und Disposition benötigten Informationen können heute vom Controlling nicht in vollem Umfang geliefert werden, weil:

- Bereitsteller der Daten und Abnehmer der Informationen organisatorisch auseinander fallen.
- die Vielzahl der Informationen schon heute zu einer vom Menschen nicht beherrschbaren Komplexität führen.
- die Laufzeit für einige Auswertungen nicht unter hinnehmbarer Belastung der IT-Systeme („Nacht-Jobs“) durchgeführt werden können.

Die höhere Verfügbarkeit einer Vielzahl von Daten wird voraussichtlich zu einer eher noch steigenden Erwartung führen:

- aktuellere Informationen,
- kürzere Zyklen,
- zeitnähere Berichte.

Diese **Daten in Informationen und verständliche Berichte zu wandeln**, wird eine ständige Herausforderung des Controllings werden. Dabei müssen die Prozesse im Vorfeld unter aktiver Mitarbeit des Controllings optimiert und standardisiert werden, um nicht ineffiziente Prozesse zu zementieren oder Datenmüll zu generieren. Gleichzeitig muss der Controller der **Datenüberflutung** des Managements **vorbeugen** (nicht alles was geht, ist sinnvoll!). Neben dieser Beratung über mögliche und sinnvolle Berichte und Auswertungen wird vor allem die vorgeschaltete **Datenanalyse** und nachgelagerte **Dateninterpretation** als Dienstleistung für das Management immer wichtiger. Die technische Verarbeitung der Daten wird andere Fähigkeiten des Controllers bedürfen, vor allem hinsichtlich **spezialisierten Datenbanktechnologien**:

- Data-Warehouse mit OLAP-Würfel zur logischen Darstellung von Daten: Definition der Würfel
- In-Memory-Datenbanken: schneller Datenzugriff im Echtzeitbetrieb

Der Controller wird zum „Navigator“ durch Big Data!

Controller muss Datenbanktechnologien beherrschen

4 Von Industrie 4.0 zu Controlling 4.0

4.1 Industrie 4.0 und die Controlling-Hauptprozesse

Um die Bedeutung von Industrie 4.0 auf die zukünftige Arbeit des Controllers zu ermessen, ist eine Analyse der **sieben zentralen Controlling-Hauptprozesse** nützlich (vgl. IGC, 2011; Abbildung 25).

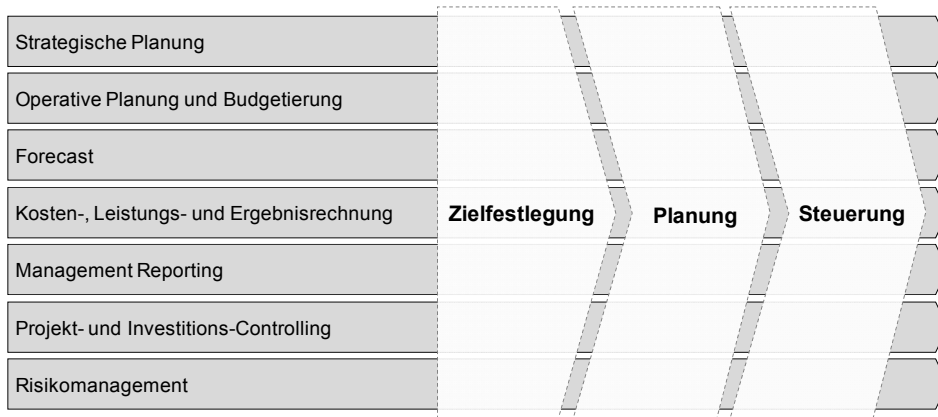


Abbildung 25: Controlling-Prozessmodell der International Group of Controlling (IGC) (in Anlehnung an: IGC, 2011, S. 21)

Die folgende tabellarische Übersicht weist auf die wichtigsten Veränderungen und Herausforderungen hin.

Tabelle 3: Einfluss von Industrie 4.0 auf die Controlling-Hauptprozesse (in Anlehnung an: Seiter et al., 2015)

Controlling-Hauptprozesse	Veränderung/Herausforderung/Einfluss durch Industrie 4.0
Strategische Planung	<ul style="list-style-type: none"> Nutzenquantifizierung der Digitalisierung und Vernetzung hinsichtlich des Optimierungspotenzials Identifikation neuer digitalisierungsorientierter Geschäftsfelder
Operative Planung und Budgetierung	<ul style="list-style-type: none"> Neue KPIs Flexible Budgetierung
Forecast	<ul style="list-style-type: none"> Ständig aktuelle Produktions- und Marktdaten Forecasts in Echtzeit
Kosten-, Leistungs- und Ergebnisrechnung	<ul style="list-style-type: none"> Verbesserte Transparenz der Fertigungskosten Bessere Verrechnungsgrundlage für Fertigungsgemeinkosten durch die umfassende Informationstransparenz
Management Reporting	<ul style="list-style-type: none"> Einsatz von mobilen Endgeräten Zukunftsgerichtete Berichte „What-If“-Analysen
Projekt- und Investitions-Controlling	<ul style="list-style-type: none"> Überwachung von Produktionsabläufen in Echtzeit Investitionsentscheidungen auf Basis von szenariobasierten Simulationsmodellen
Risikomanagement	<ul style="list-style-type: none"> Berücksichtigung neuer Risiken, die sich durch die umfassende Digitalisierung ergeben

Anhand der Controlling-Hauptprozesse „Management Reporting“ und „Risikomanagement“ lässt sich aufzeigen, dass sich der Charakter von Controlling-Instrumenten und -methoden verändern wird. So gewinnen im Rahmen des **Management Reportings** zukunftsgerichtete Berichtsarten an Bedeutung (vgl. Abbildung 26).

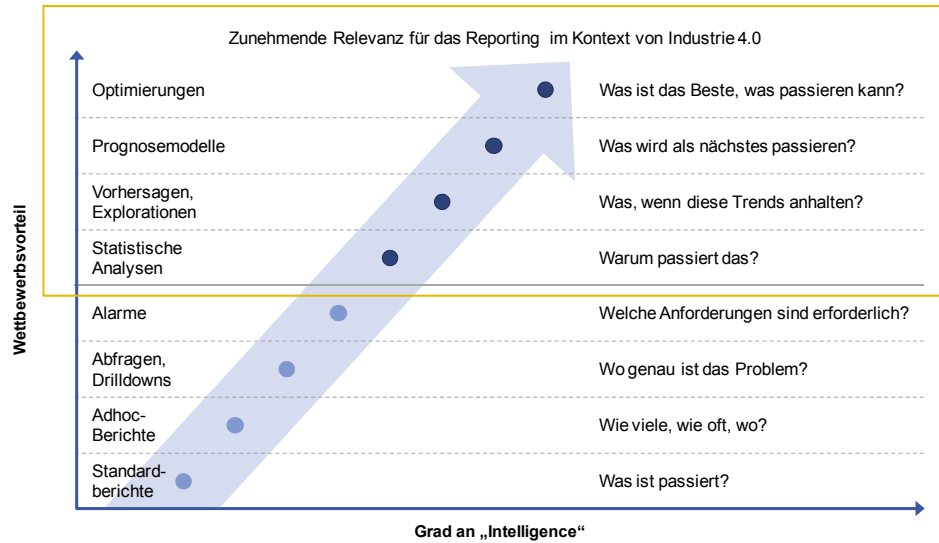


Abbildung 26: Relevanz von Berichtsarten im Kontext von Industrie 4.0 (in Anlehnung an: Gronau, 2012, S. 21 sowie Davenport und Harris 2007, S. 33)

Hinsichtlich des **Risikomanagements** steigt die Komplexität, da neue Risiken berücksichtigt werden müssen. Dies lässt sich insbesondere am Beispiel des Supply-Chains-Risikomanagements verdeutlichen (vgl. Abbildung 27).

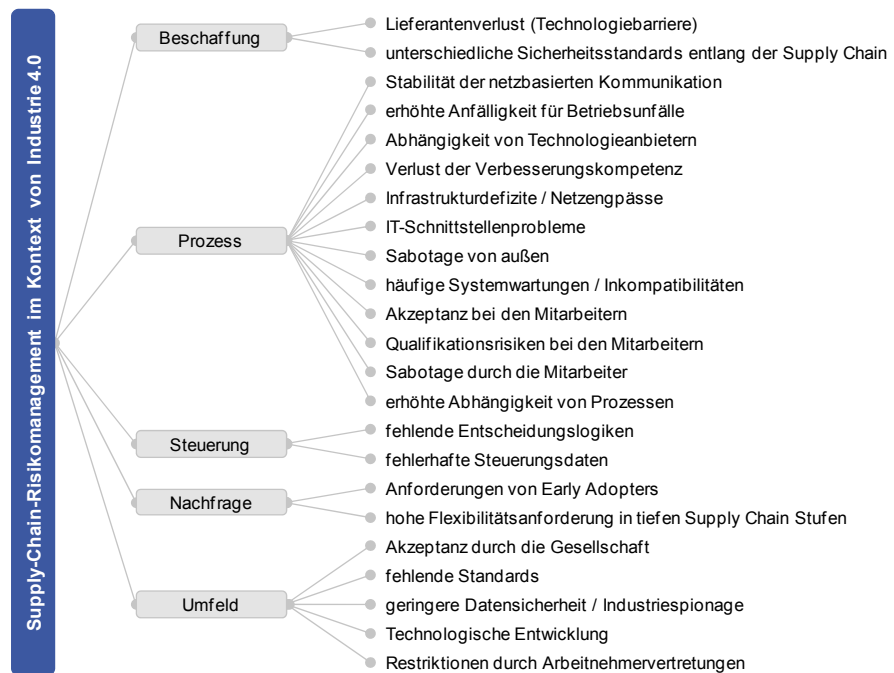


Abbildung 27: Risikoaspekte im Kontext von Industrie 4.0 (in Anlehnung an: Kersten et al., 2014, S. 114)

4.2 Bewertungsaufgaben im Rahmen der Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0

Auf den Controller kommen im Rahmen der Einführung von Industrie 4.0 wichtige Bewertungsaufgaben zu. Diese bedürfen keine neuen Instrumente, aber eine Kenntnis bezüglich der mit Industrie 4.0 zusammenhängenden Entwicklung und der unternehmensspezifischen Geschäftsprozesse. Die wesentlichen Bewertungskategorien zeigt Tabelle 4. Der Fokus liegt jeweils stark auf der **Bewertung des Einsatzes neuer Technologien**. Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbewertung wird notwendig sein, auch nicht-finanzielle Aspekte heranzuziehen.

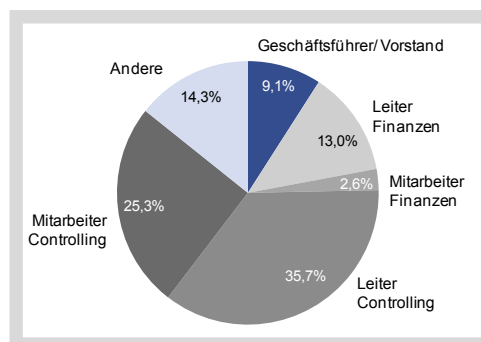
Tabelle 4: Kategorien für die Entscheidungsunterstützung
(in Anlehnung an: Mertens, 2015)

Kategorien	Relevante Fragestellungen
Bewertung von Systemvarianten	<ul style="list-style-type: none"> Welchen Grad der Automatisierung brauchen wir?
Bewertung von Produktvarianten	<ul style="list-style-type: none"> Welche neuen Produktvarianten rechnen sich?
Bewertung von Prozessvarianten	<ul style="list-style-type: none"> Wie ist die Wirtschaftlichkeit von Produktions- und Logistikprozessen zu bewerten?
Bewertung von Geschäftsmodellen	<ul style="list-style-type: none"> Wie sind neue Optionen von Geschäftsmodellen zu beurteilen?

4.3 Aktueller Stand innerhalb der Controller Community

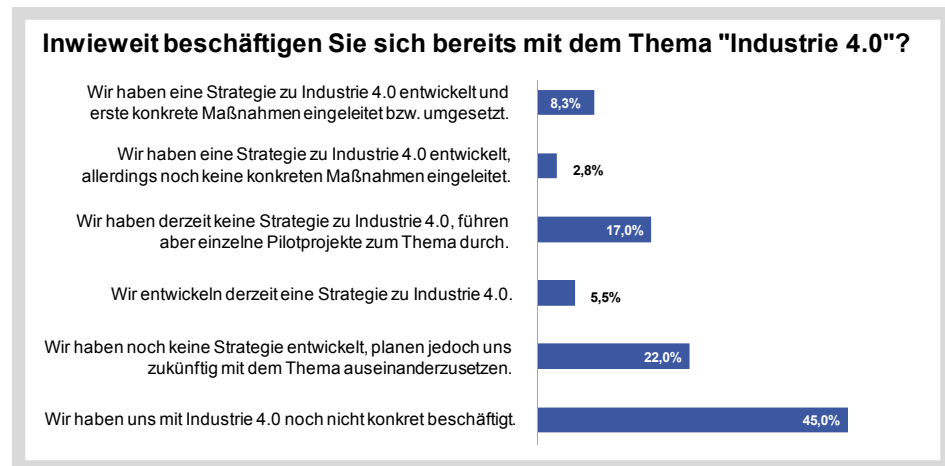
Um herauszufinden, inwiefern sich die Controller Community mit dem Thema Industrie 4.0 auseinandersetzt und welche Veränderungen sie für das Controlling erwartet, haben wir von Mitte März 2015 bis Mitte April 2015 eine Online-Fragebogenstudie durchgeführt. Insgesamt beteiligten sich **207 Personen** an dieser Umfrage. Die Fragen waren dabei in verschiedene Themenstellungen eingeteilt. Zunächst wurde im ersten Block Industrie 4.0 im Allgemeinen (1) behandelt. Im zweiten Fragenblock wollten wir herausfinden, welche Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die Controlling-Prozesse erwartet werden (2). Der dritte Fragenblock fokussierte die Auswirkungen der intelligenten Vernetzung auf die Kompetenzen des Controllers (3).

Mit über 60% ist die **Mehrheit der Befragten direkt im Controlling beschäftigt**. Die meisten von ihnen sind Abteilungsleiter. Neben ihnen nahmen Leiter der Finanzabteilung (13%), Geschäftsführer bzw. Vorstände (9,1%) und Mitarbeiter der Finanzabteilungen (2,6%) teil. 14,3% gaben eine andere Tätigkeitsbezeichnung (u.a. Produktionsmanager) an.



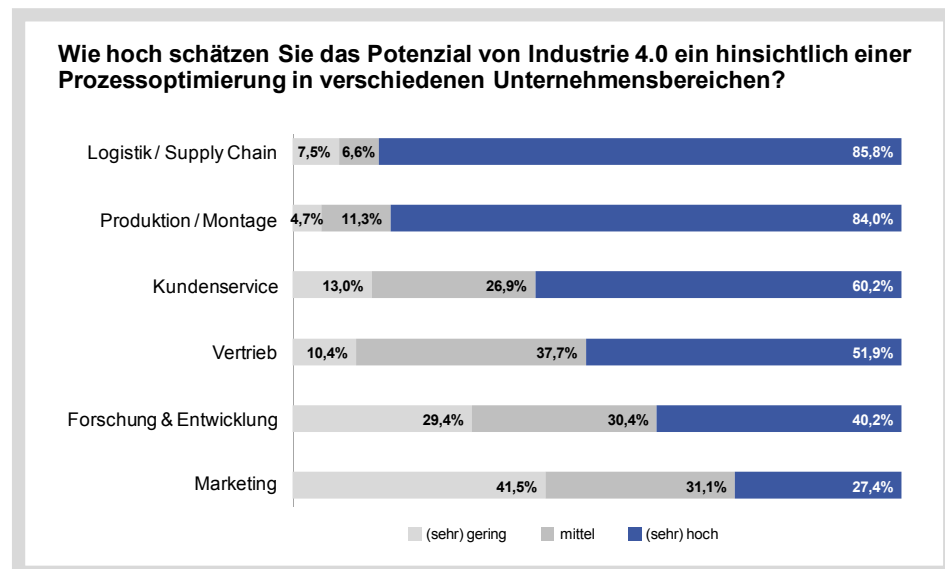
(1) Industrie 4.0 im Allgemeinen

Viele Unternehmen beschäftigen sich noch gar nicht mit Industrie 4.0



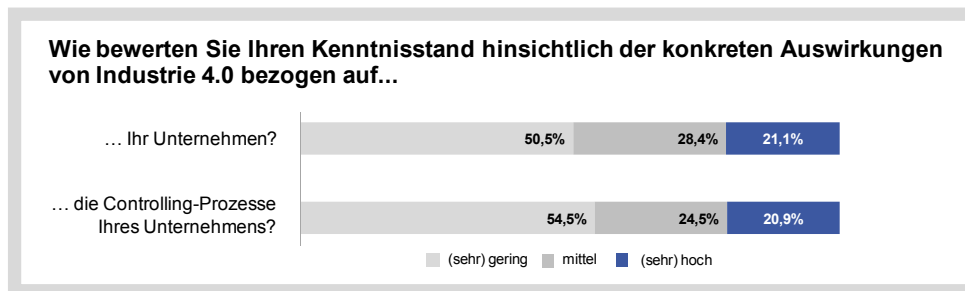
Auffällig ist, dass sich knapp die Hälfte der Unternehmen (45%) überhaupt noch **nicht konkret mit Industrie 4.0 beschäftigt**. Bei kleineren Unternehmen (bis 500 Mitarbeiter) sind dies sogar 58,5%. Eine Strategie in Verbindung mit konkreten Maßnahmen haben insgesamt nur 8,3% entwickelt. Einzelne Pilotprojekte zu Industrie 4.0 werden dagegen von 17% der Befragten durchgeführt.

Erwartete Optimierungspotenziale vor allem in Produktion und Logistik



Das größte Potenzial von Industrie 4.0 sehen die meisten Befragten in den Bereichen **Logistik/Supply Chain** (85,8%) und **Produktion/Montage** (84%). In der Logistik kann die Vernetzung zwischen den einzelnen Akteuren in der Wertschöpfungskette zu einer verbesserten Kommunikation beitragen. Über die Hälfte (60%) sieht auch im Kundenservice ein (sehr) hohes Potenzial. Hierbei könnten im Rahmen der intelligenten Vernetzung Smart Services, wie beispielsweise nachgelagerte Dienstleistungen den Kundenservice optimieren. Knapp 52% sehen auch Chancen die Prozesse im Vertrieb zu verbessern. Auch in den Bereichen Forschung und Entwicklung sowie Marketing werden mittlere bis hohe Potenziale zur Prozessverbesserung erwartet.

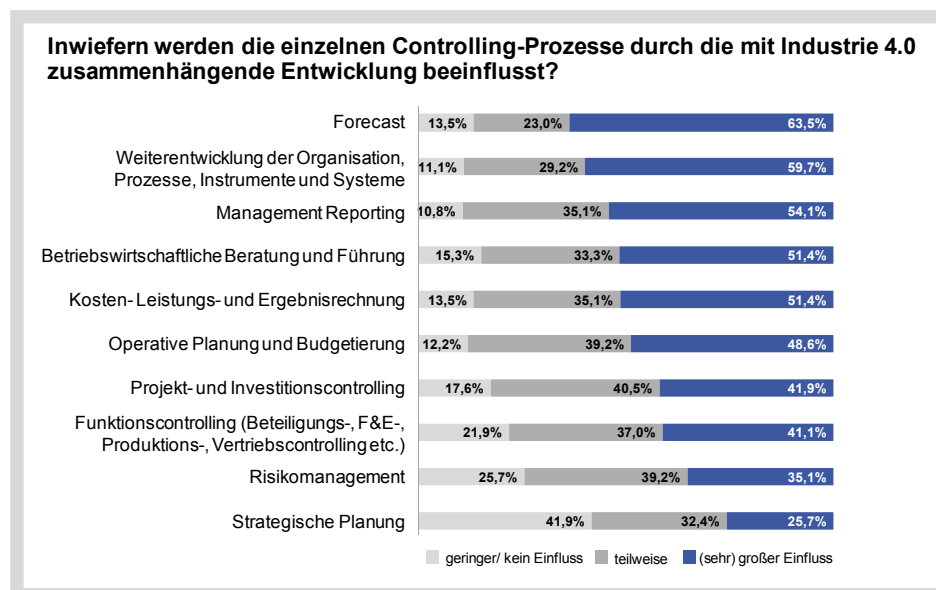
Bestehende Unklarheiten bezüglich der konkreten Auswirkungen von Industrie 4.0



Die Kenntnisse hinsichtlich der konkreten **Auswirkungen von Industrie 4.0 auf das eigene Unternehmen und die Controlling-Prozesse** des eigenen Unternehmens werden jeweils von knapp über der Hälfte der Befragten als (sehr) gering eingeschätzt. Immerhin schätzt jeweils ca. jeder Fünfte diese als (sehr) gut ein. Bei größeren Unternehmen werden die Kenntnisse durchweg schlechter bewertet, was mit einer erhöhten Komplexität zusammenhängen könnte. Bezüglich der erwarteten Optimierungspotenziale sind Befragte, die angeben, einen (sehr) hohen Kenntnisstand hinsichtlich der konkreten Auswirkungen von Industrie 4.0 zu besitzen, positiver gestimmt als diejenigen mit einem (sehr) geringen Kenntnisstand.

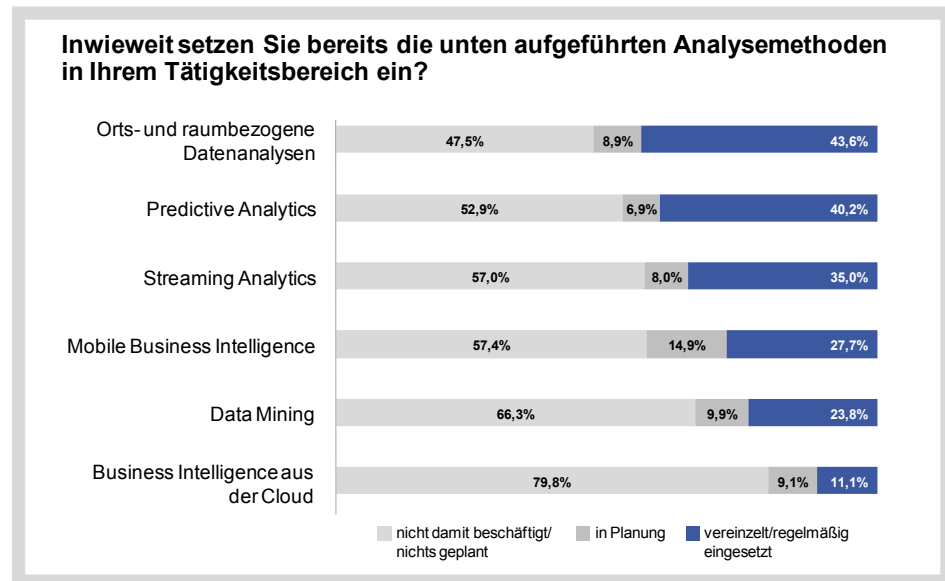
(2) Controlling-Prozesse

Forecasts durch Industrie 4.0 besonders beeinflusst



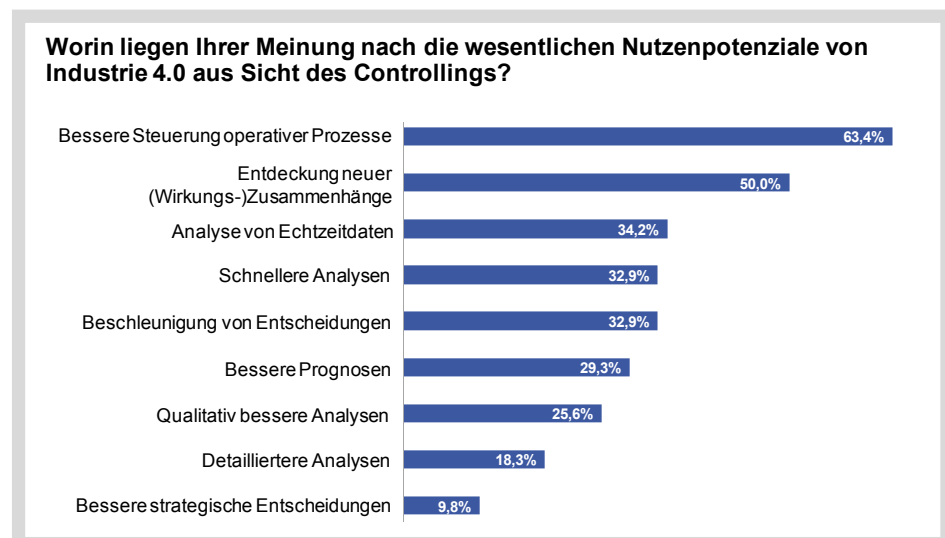
Die Controller Community sieht primär den **Forecast** einem (sehr) großen Einfluss (63,5%) unterlegen. **Neue Datenauswertungsmöglichkeiten** wie Predictive Analytics könnten hier eine Rolle spielen. Auch der Prozess der **Weiterentwicklung der Organisation, Prozesse, Instrumente und Systeme** wird nach Ansicht der Befragten stark beeinflusst. Das Management Reporting (54,1%), die betriebswirtschaftliche Beratung und Führung (51,4%) sowie die Kosten-Leistungs- und Ergebnisrechnung (51,4%) folgen.

Innovative Analysemethoden vereinzelt schon im Praxiseinsatz



Bereits heute setzen 43,6% der befragten Controller **orts- und raumbezogene Datenanalysen** ein. Auch **Predictive Analytics (Zukunftsprognosen)** sind schon bei knapp über 40% im Einsatz. Streaming Analytics (Analyse von Echtzeitdaten) sind bei ca. jedem dritten Controller im Einsatz. Data Mining zur Mustererkennung (23,8%) und Business Intelligence aus der Cloud (11,1%) sind noch wenig im Praxiseinsatz.

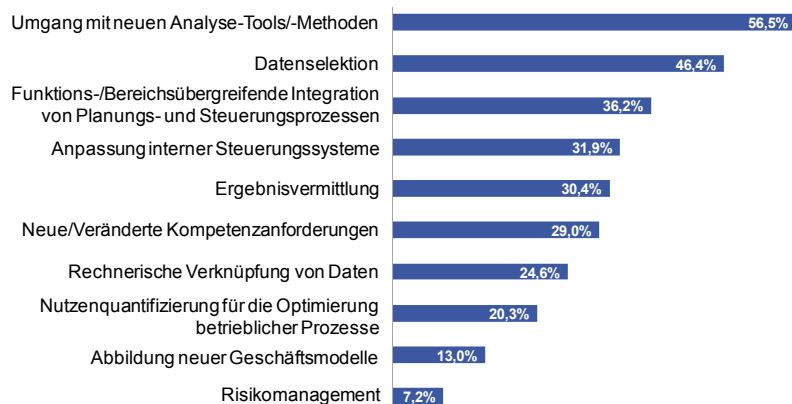
Verbesserte Steuerung operativer Prozesse und Entdeckung neuer Wirkungszusammenhänge als wesentliche Nutzenpotenziale



Eine **bessere Steuerung** der operativen Prozesse versprechen sich 63,4% der Befragten. Durch integrierte Systeme könnten kurzfristige Änderungen des Produktionsprogramms bis in die laufenden Produktionsprozesse hinein ermöglichen. Die **Entdeckung neuer Wirkungszusammenhänge** erhofft sich die Hälfte der Befragten. Dabei könnte die Verwendung neuartiger Analysemethoden wie die Mustererkennung innerhalb großer Datenbestände durch **Data Mining** Anwendung finden. Die Analyse von **Echtzeitdaten** (34,2%), **schnellere Analysen** (32,9%) und **beschleunigte Entscheidungen** (32,9%) zielen auf zeitkritische Potenziale ab.

Umgang mit neuen Analysemethoden und Datenselektion als wesentliche Herausforderungen

Was sind die wesentlichen Herausforderungen für das Controlling/ den Controller im Rahmen der Umsetzung von Industrie 4.0?

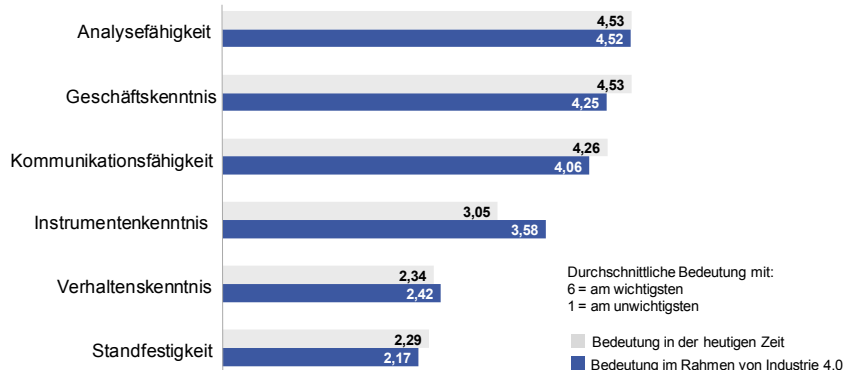


Mit Industrie 4.0 gehen neben den Potenzialen auch **Herausforderungen** für das Controlling einher. Dabei sieht die Mehrheit der Befragten den **Umgang mit neuen Analysemethoden** (56,5%) als größte Herausforderung. In die Ausbildung zukünftiger Controller werden solche Themen verstärkt zu integrieren sein. Weiter wird die **Datenselektion** (46,4%), also die Entscheidung, welche Daten aus einer großen Datenflut tatsächlich relevant sind, als Herausforderung gesehen.

(3) Kompetenzen des Controllers

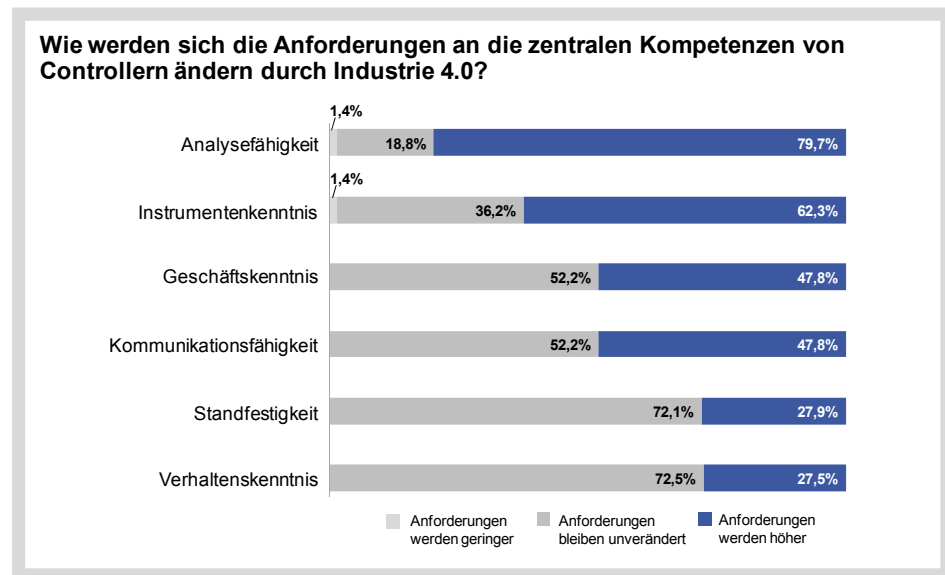
Rangfolge der Kernkompetenzen bleibt im Rahmen von Industrie 4.0 bestehen

Welche Controller-Kernkompetenzen sind besonders gefragt?



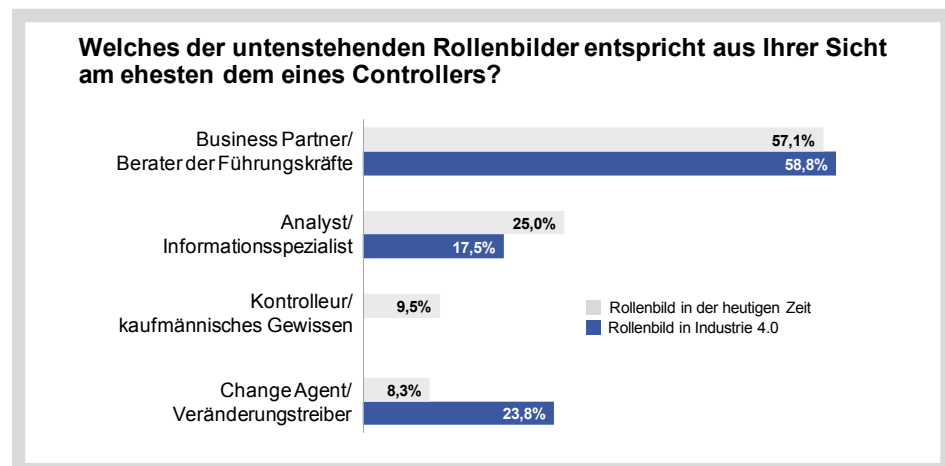
In der **Rangfolge der Kernkompetenzen** ändert sich nach Meinung der Controller Community wenig. Heute, wie auch im Rahmen von Industrie 4.0 sind Analysefähigkeit und Geschäftskennntnis die bedeutendsten Kompetenzen von Controllern. Die Kommunikationsfähigkeit folgt auf dem dritten Rang. Die Kenntnis der Instrumente wird nach Ansicht der Befragten noch leicht an Bedeutung gewinnen. Es folgen Verhaltenskennntnis und Standfestigkeit als weitere Kernkompetenzen.

Höhere Anforderungen insbesondere an die Analysefähigkeit und die Instrumentenkenntnis des Controllers



Nach den Anforderungen an die zentralen Controller-Kompetenzen gefragt, gaben die Teilnehmer eine klare Antwort. Insbesondere an die **Analysefähigkeit** (79,7%) und die **Instrumentenkenntnis** (62,3%) erwarten die Befragten **steigende Anforderungen**. Auch hinsichtlich der Geschäftskennntnis werden die Anforderungen steigen. Knapp die Hälfte der Controller erwartet, dass auch bezüglich der Kommunikationsfähigkeit in Zukunft höhere Ansprüche an den Controller gestellt werden.

Der Controller als Veränderungstreiber



In der heutigen Zeit, wie auch im Rahmen von Industrie 4.0 sehen knapp 60% den Controller in der Rolle des **Business Partners** bzw. des Beraters von Führungskräften. Seine Hauptaufgabe liegt dabei in der Entscheidungsunterstützung der Führungskräfte. Die Rolle des **Analysten/Informationsspezialisten** wird nach Meinung der Controlling Community in Industrie 4.0 etwas weniger stark vertreten sein als bisher. Wo heute noch jeder vierte Befragte den Controller in diesem Rollenbild sieht, sind es im Rahmen von Industrie 4.0 nur noch 17,5%. Aktuell sieht noch fast jeder zehnte Befragte den Controller als den Kontrolleur bzw. das kaufmännische Gewissen des Unternehmens. Diese Rolle scheint im Rahmen von Industrie

4.0 dagegen völlig zu verschwinden. Bemerkenswert ist, dass dagegen der **Change Agent/Veränderungstreiber** eine starke Zunahme verzeichnet. Als solcher ist der Controller gefragt, eigenständig und proaktiv Veränderungsprozesse im Unternehmen anzustoßen. Diese Entwicklung bestätigt ebenfalls die steigenden Anforderungen an den Controller im Zeitalter der intelligenten Vernetzung.

4.4 Neujustierung der Controller-Kompetenzen

Industrie 4.0 stellt eine große Herausforderung für den Controller dar. Er wird gefordert sein, bei der Einführung und Umsetzung als kenntnisreicher Business Partner für das Management zu fungieren. Hierzu ist es notwendig, für alle Controller proaktiv ein Industrie 4.0-spezifisiertes Kompetenzprofil zu erarbeiten und mit Leben zu füllen (vgl. Abbildung 28). Dabei ist der Bezug zu den Wissens-, Geschäfts- und Controlling-Prozessen herzustellen.

	Personale Kompetenz	Aktivitäts- und Umsetzungs-kompetenz	Sozial-kommunikative Kompetenz	Fach- und Methoden-kompetenz
Ebene Wissensarbeit				
Geschäftsprozess-Ebene				
Hauptprozesse-Ebene				
Strategische Planung				
Operative Planung und Budgetierung				
Forecast				
Kosten-, Leistungs- und Ergebnisrechnung				
Management Reporting				
Projekt- und Investitions-Controlling				
Risikomanagement				
Funktions-Controlling				
Betriebswirtschaftliche Beratung und Führung				
Weiterentwicklung der Organisation, Prozesse, Instrumente und Systeme				

Abbildung 28: Raster für das Controller-Kompetenzmodell (vgl. IGC, 2015)

Nach unserer Auffassung sind insbesondere Nachjustierungen im Bereich Fach- und Methodenkompetenz unbedingt erforderlich. Drei Themenkomplexe möchten wir dabei hervorheben:

- IT-gestützte Business Analytics
- technisches State of the Art von Produktions- und Logistikprozessen
- Geschäftsmodellentwicklungen

Durch die Nachjustierung der Kompetenzen wird der Controller auch im Zeitalter von Industrie 4.0 die „Single Source of Truth“ bleiben können. Dies gilt sowohl für strategische als auch für operative Fragestellungen. Im Rahmen der umfassenden Informationstransparenz und Datenvielfalt wird der Controller einerseits die relevanten Daten herausfiltern und andererseits die Datenqualität sicherstellen müssen.

5 Die gestaltende Rolle des Controllers

In den nächsten Jahren wird der Controller gefordert sein, sich verstärkt mit dem Thema Industrie 4.0 auseinanderzusetzen. Gerade im produzierenden Gewerbe sind dabei die Potenziale der mit Industrie 4.0 zusammenhängenden Digitalisierung noch nicht transparent genug.

Um bei der Behandlung des Themas Industrie 4.0 systematisch vorgehen zu können, werden im Folgenden Empfehlungen formuliert und somit aufgezeigt, mit welchen Aspekten sich der Controller dabei auseinandersetzen sollte. Darauf aufbauend wird auf Basis einer beispielhaften Controlling-Industrie 4.0-Roadmap dargelegt, welche Handlungsschritte im Zeitverlauf zu berücksichtigen sind.

5.1 Die Industrie 4.0-Entwicklung aktiv mitgestalten

Empfehlung 1

Interdisziplinäre Industrie 4.0-Projektteams bilden

Industrie 4.0 ist ein stark technologiegetriebenes Thema. Dabei steht insbesondere die Verbindung der Informations- und Kommunikationstechnologie mit der Produktionstechnologie im Fokus. Zur umfassenden Behandlung von Industrie 4.0 dürfen allerdings die wirtschaftlichen Aspekte nicht vernachlässigt werden. Spätestens bei der Positionierung von Industrie 4.0-Projekten und -Strategien auf der Topmanagementebene von Unternehmen müssen wirtschaftliche Aspekte vorgedacht, kommuniziert und nachweislich dargelegt werden.

Für die unternehmensinterne Behandlung von Industrie 4.0 ist demnach die **Bildung von interdisziplinären Projektteams als Grundvoraussetzung** zu sehen, um alle relevanten Aspekte berücksichtigen zu können. Idealerweise sind solche Projektteams zusammengestellt aus Experten aus dem Produktionsbereich, der IT-Abteilung und dem Controlling. Je nach Ausrichtung der unternehmensspezifischen Industrie 4.0-Strategie sind weitere Experten aus anderen Bereichen wie Marketing oder Vertrieb hinzuzuziehen.

Empfehlung 2

Controller noch stärker für die betrieblichen Prozesse sensibilisieren

Um die unternehmensbezogene Relevanz der umfassende Digitalisierung und intelligenten Vernetzung richtig einschätzen und geeignete Handlungsmaßnahmen formulieren zu können, ist eine äußerst gute Geschäftskennntnis notwendig. In diesem Zusammenhang müssen **Controller noch stärker für die betrieblichen Prozesse sensibilisiert** werden als zuvor, um das Management bei der Entscheidungsfindung unterstützen zu können.

So werden Controller beispielsweise gefordert sein, die Relevanz neuer Datenquellen umfassend beurteilen zu können und bei Bedarf zielgerichtet einzusetzen. Um beurteilen zu können, ob neue Datenquellen von Bedeutung sind, ist ein vertieftes Verständnis über die geschäftsbezogenen Ursache-Wirkungszusammenhänge notwendig.

Nutzenquantifizierung anstoßen und durchführen

Empfehlung 3

Die Umsetzung von Industrie 4.0-Projekten ist kein Selbstzweck. Aus unternehmerischer Sicht müssen Industrie 4.0-Projekte einen nutzenstiftenden Effekt im Sinne der Wirtschaftlichkeit hervorrufen. Dies betrifft sowohl die Leistungserstellung (Ziel: optimierte Prozesse) als auch das Leistungsangebot (Ziel: höherer Kundennutzen). Der Controller sollte die für Industrie 4.0-Projekte notwendige **Nutzenquantifizierung anstoßen und durchführen**.

Bezogen auf die Leistungserstellung sind zunächst konkrete Anwendungsfälle sowie Pilotprojekte zu definieren und darauf aufbauend die Wirkung der Digitalisierung und intelligenten Vernetzung nachzuweisen. Hinsichtlich des Leistungsangebots sollte der Controller als Business Partner die Beantwortung folgender Fragen anstreben (vgl. Porter und Heppelmann 2014, S. 50 ff.):

- Welche intelligenten, vernetzten Produktfunktionen soll das Unternehmen anstreben?
- Welche Funktionen sollen ins Produkt integriert, welche sollen in die Cloud ausgelagert werden?
- Soll das Unternehmen ein offenes oder ein geschlossenes System anstreben?
- Soll das Unternehmen alle Funktionen und die Infrastruktur selbst entwickeln oder andere beauftragen?
- Welche Daten braucht das Unternehmen, um den Wert seiner Produkte zu maximieren?
- Wie verwaltet das Unternehmen die Eigentums- und Zugriffsrechte für die Produktdaten?
- Soll das Unternehmen besser auf Vertriebspartner oder Service-netzwerke verzichten?
- Soll das Unternehmen sein Geschäftsmodell ändern?
- Soll das Unternehmen die gewonnenen Produktdaten an Dritte verkaufen?
- Soll das Unternehmen seinen Tätigkeitsbereich ausweiten?

Potenziale und Herausforderungen für Controlling-Prozesse, -Instrumente und -Systeme identifizieren und angehen

Empfehlung 4

Neben der unternehmensweiten Perspektive, welche auf die Leistungserstellung und das Leistungsangebot abzielt, sollten Controller die **Potenziale und Herausforderungen von Industrie 4.0 für die Controlling-Prozesse, -Instrumente und -Systeme identifizieren und angehen**.

Hinsichtlich der Potenziale ergeben sich beispielsweise neue Möglichkeiten durch die umfassende Verfügbarkeit von Echtzeitdaten. Aus Sicht des Controllings gilt es zu untersuchen, inwiefern diese in Forecasts oder Management Reports genutzt werden können. Zudem gilt es zu untersuchen, für welche Controlling-spezifischen Aufgabenbereiche neuartige Analyseinstrumente und -methoden aus den Bereichen Predictive Analytics oder Data Mining herangezogen werden können. Bezüglich der Herausforderungen stellt sich beispielsweise die Frage, wie digitale Geschäftsmodelle in der Kosten-, Leistungs- und Ergebnisrechnung abzubilden sind. Schließlich

treten dabei ganz andere Zahlungsströme im Vergleich zu rein physischen Produkten auf.

Ausgehend von den verschiedenen Beispielen des vorliegenden Dream Car-Berichts können folgende Thesen aufgestellt werden, welche bei der Weiterentwicklung der Controlling-Prozesse, -Instrumente und -Systeme zu berücksichtigen sind:

- **Agil statt deterministisch:** Eine bessere Verfügbarkeit von Echtzeitdaten erlaubt eine feinere und schnellere Steuerung der operativen Bereiche. Kapazitäten und Bedarfe werden dezentral gesteuert. Prozesse und Systeme werden zunehmend auf die zukünftige Volatilität vorbereitet.
- **Predictive anstatt Retrospective:** Die Informationsgrundlage von strategischen und operativen Entscheidungen besteht verstärkt aus statistischen Prognosen, welche das traditionell retrospektive Berichtswesen ergänzen.
- **Neue KPIs:** Echtzeitdaten aus der vernetzten Wertschöpfungskette ermöglichen neue bzw. verfeinerte operative Kennzahlen, die in der operativen Steuerung eingesetzt werden. Die retrospektive (Werks-) Ergebnisrechnung hat in der Steuerung an Bedeutung verloren. KPI-Informationen bestehen durch den Vorteil der höheren Aktualität.
- **Ad-hoc-Reporting:** Einhergehend mit der veränderten Steuerungslogik ist eine große Nachfrage nach kurzfristig verfügbaren und modular gestaltbaren Reports entstanden, die hohe Anforderungen an die BI-Systeme und das Reportdesign stellen.
- **Entscheidungen werden sehr schnell getroffen:** Die verfügbare Zeitspanne der Entscheidungsfindung ist wesentlich kürzer. Dies ist erforderlich, weil der Wettbewerb immer reaktiver geworden ist und die vernetzte Wertschöpfung komplexer.
- **Komplexitätsmanagement ist Erfolgsfaktor:** Die Komplexität in der Steuerung ist durch die stärkere Vernetzung und den damit einhergehenden Interdependenzen um ein Vielfaches gestiegen. Die Beherrschung der Komplexität ist eine aktive Disziplin im Controlling.
- **Informationsarchitekten und Interpret:** Die wesentlichen steuerungsrelevanten Informationen aus einer zunehmenden Datenflut aufzubereiten, ist wesentliche Kompetenz im Controlling. Dafür werden IT-spezifische Skills über System- und Datenarchitekturen genauso benötigt wie fachlich getriebene Anforderung und die Interpretation von Informationen.
- **Unterjährige Steuerungszyklen:** Die konventionelle Jahresscheibensicht von Unternehmen hat an Bedeutung verloren. Entscheidungen werden unterjährig bewertet, getroffen und umgesetzt. Hieran haben sich die Systeme der Planung und Ergebnisrechnung, inkl. Prognoserechnungen und Forecasts sowie das Berichtswesen und die Anreizsysteme, angepasst.

5.2 Industrie 4.0-Roadmap für das Controlling

Eine Industrie 4.0-Roadmap für das Controlling sollte zwei wesentliche Perspektiven berücksichtigen: Die unternehmensweite Perspektive „**Industrie 4.0-Transformationsprozess begleiten**“ sowie die Controlling-interne Perspektive „**Controlling weiterentwickeln**“ (vgl. Abbildung 29).

Da der Einfluss von Industrie 4.0 je nach Geschäftsmodell eines Unternehmens sehr unterschiedlich ausfällt, sind die inhaltlichen Schwerpunkte der Roadmap jedoch unternehmensindividuell auszuarbeiten.

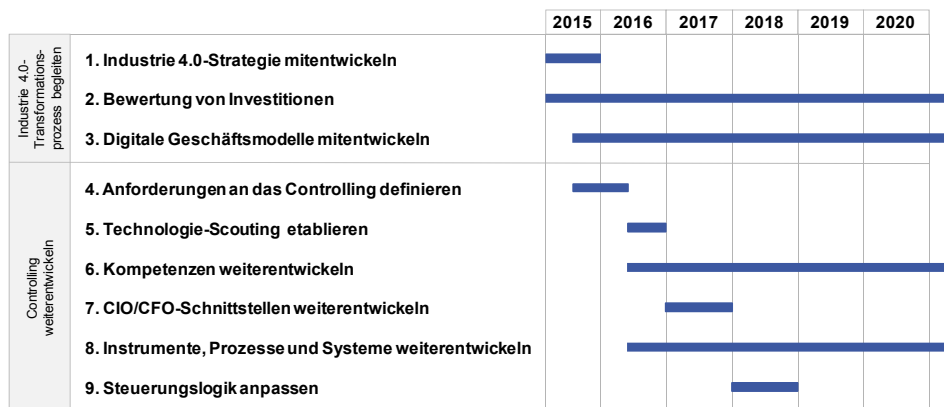


Abbildung 29: Beispielhafte Controlling-Industrie 4.0-Roadmap

Industrie 4.0 Transformation begleiten

Das Controlling ist als Ratgeber des Managements gefragt, um die Herausforderungen von Industrie 4.0 zu bewerten und Entscheidungen zu treffen.

- 1. Industrie 4.0-Strategie mitentwickeln:** Die möglichen Implikationen von Industrie 4.0 auf das eigene Geschäftsmodell werden bewertet. Relevante Anwendungsfelder der Zukunft werden identifiziert und unter Mitarbeit des Controllings bewertet. Das Ergebnis ist die Industrie 4.0-Strategie des Unternehmens.
- 2. Bewertung von Investitionen:** Industrie 4.0 verlangt hohe Investitionen in Innovation, Forschung & Entwicklung, IT-Infrastruktur und neue Technologien. Das Controlling agiert als unterstützende Funktion im Rahmen der Informationsaufbereitung, Risikobewertung und Entscheidungsfindung sowie als Gate-Keeper im Investitionsprozess.
- 3. Digitale Geschäftsmodelle mitentwickeln:** Neue digitale Geschäftsmodelle erfordern eine umfassende und nüchterne Business Case Betrachtung. Zudem erfordern die Geschäftsmodelle selbst neue Formen der Steuerung.

Controlling weiterentwickeln

Weiterhin muss sich das Controlling selbst kontinuierlich weiterentwickeln, um den zukünftigen Anforderungen gerecht zu werden.

- 4. Anforderungen an das Controlling definieren:** Auf Basis der unter 1. entwickelten Anwendungsfelder werden notwendige Veränderungen bei Controlling-Instrumenten, -Prozessen und -Systemen abgeleitet. Diese veränderten Anforderungen werden in ein unternehmensspezifisches Industrie 4.0-Controlling-Zielbild verarbeitet.

5. **Technologie-Scouting etablieren:** Die sich schnell wandelnden Technologien und Anforderungen werden durch die Rolle eines Technologie-Scouts im Controlling kontinuierlich beobachtet und für das Unternehmen bewertet.
6. **Kompetenzen weiterentwickeln:** Einhergehend mit den technischen, methodischen und prozessualen Änderungen werden die Fähigkeiten und Fertigkeiten im Controlling kontinuierlich weiterentwickelt. Dazu wird aus dem unter 4. entwickelten Zielbild das Kompetenzmodell im Controlling überarbeitet.
7. **CIO-/CFO-Schnittstellen weiterentwickeln:** Die Schnittstellen mit dem IT-Bereich werden aufgrund der noch engeren Zusammenarbeit ausgestaltet.
8. **Instrumente, Prozesse und Systeme weiterentwickeln:** Die zu verändernden Elemente (z.B. in den Bereichen Datenmanagement, Reporting, Planung, Forecast, Kostenrechnung) werden in interdisziplinären Teams bearbeitet. Dazu werden mehrstufige Roadmaps erarbeitet und agile Umsetzungsprojekte aufgesetzt.
9. **Steuerungslogik anpassen:** Die Steuerungslogik der Wertschöpfungsfunktionen sowie der digitalen Geschäftsmodelle wird an die neuen Gegebenheiten angepasst.

Bei der Umsetzung einer solchen Roadmap könnten folgende Meilensteine erreicht werden im Zeitverlauf:

- **2015:** Es werden immer mehr isolierte technische Anwendungsmöglichkeiten entwickelt und unter dem Sammelbegriff „Industrie 4.0“ vermarktet. Die Pioniere implementieren erste zusammenhängende Konzepte in der eigenen Wertschöpfung. Alle weiteren Unternehmen der produzierenden Industrie entwickeln zunächst ein eigenes Verständnis für Industrie 4.0 und leiten daraus Implikationen auf das eigene Geschäftsmodell ab.
- **2016:** Standards und Plattformen bilden zunehmend die Basis für zusammenhängende Industrie 4.0-Anwendungen in der eigenen Wertschöpfung. Der Transfer von Konzepten in die Praxis stößt auf viele Hemmnisse. Neue Informationstechnologien und analytische Methoden sind in vielen Großunternehmen in der Erprobungsphase und in Teilbereichen implementiert.
- **2017-2019:** Zunehmend mehr Wertschöpfung wird digitalisiert bzw. vernetzt. Auch unternehmensübergreifende Anwendungen im Sinne von Industrie 4.0 werden Realität. Neue digitale Geschäftsmodelle kreieren neue Märkte oder transformieren alte. Echtzeitdaten aus den Wertschöpfungsprozessen verändern die Steuerungskonzepte produzierender Unternehmen nachhaltig. Komplexe Datenmodelle erlauben zunehmend genaue Prognosen und Sensitivitätsanalysen. Deterministische Steuerungsprinzipien werden schrittweise durch agile ersetzt. Der Bedarf an Echtzeit-Reports steigt.
- **2020+:** Vorreiter bei Industrie 4.0 realisieren signifikante Effizienzvorteile. Die Bedienung bestimmter digitaler Schnittstellen ist für deren Zulieferer wettbewerbskritisch. Die Steuerung der Wertschöpfung erfolgt zunehmend agil. Prognosemodelle und Sensitivitätsanalysen bilden die Grundlage wesentlicher strategischer und operativer Entscheidungen.

Literaturempfehlungen



Der Abschlussbericht „**Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0**“ des Arbeitskreises Industrie 4.0 liefert einen umfassenden Überblick zum entsprechenden Thema. Unter der Leitung von Dr. Siegfried Dais (Robert Bosch GmbH) und Prof. Dr. Henning Kagermann (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften) hat der Arbeitskreis Anwendungsfelder und Forschungsbedarfe formuliert. Der Arbeitskreis übergab seinen Bericht im Rahmen der Hannover Messe 2013 an Bundeskanzlerin Angela Merkel.



In dem von Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl, Prof. Dr. Michael ten Hompel und Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser herausgegebenen Buch „**Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik**“ werden erste Anwendungen und wichtige Fragestellungen aus Sicht der Wirtschaft diskutiert. Ausgehend von Basistechnologien über die vertikale und horizontale Integration bis hin zu Cyber-Physischen Systemen werden relevante Bestandteile von Industrie 4.0 behandelt.



In ihrem Buch „**The Second Machine Age**“ beschreiben Erik Brynjolfsson und Andrew McAfee die Auswirkungen der sogenannten digitalen Revolution. Dabei analysieren sie die tiefgreifenden Veränderungen durch den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien. Sie verdeutlichen nicht nur die Auswirkungen der intelligenten Vernetzung in der Industrie, sondern gehen auch darauf ein, wie kommunizierende Geräte oder Spracherkennungssysteme das Leben außerhalb des Arbeitsalltags bereichern.



Zusammen mit der Ingenics AG hat das Fraunhofer IAO die repräsentative Marktbefragung „**Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0**“ durchgeführt. 518 Entscheider aus überwiegend mittelständischen Unternehmen nahmen teil. Die Befragten sehen klare Mehrwerte von Industrie 4.0. Sie identifizieren nicht die technischen Voraussetzungen, sondern „fehlende Fähigkeiten zur Veränderung in der Organisation“ als Hemmnisse für die Implementierung von IT-Innovationen.



Mit der Studie „**Industrie 4.0 - Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland**“ untersucht das Fraunhofer IAO im Auftrag des BITKOM mögliche Produktivitätssteigerungen und Wachstumsimpulse, des Einsatz von Industrie 4.0-Technologien in sechs ausgewählten Branchen. Weiterhin wird dargestellt, wie sich zukünftig Wertschöpfungsanteile in Wertschöpfungsketten verändern und welche Voraussetzungen für die erfolgreiche Nutzung von Industrie 4.0-Technologien notwendig sind.

Glossar

Aktor	Komponente aus Software, Elektronik und/oder Mechanik, die elektronische Signale, etwa von einem Steuerungscomputer ausgehende Befehle, in mechanische Bewegung oder andere physikalische Größen, zum Beispiel Druck oder Temperatur, umsetzt und so regulierend in einen Produktionsprozess eingreift.
Application „App“ (Anwendung)	Software, die ein Anwender auf IT-Ressourcen ablaufen lassen kann. Dies können sowohl IT-Ressourcen, wie speicherprogrammierbare Steuerungen oder Standardrechner, sein, aber auch mobile Geräte oder die Cloud.
Cloud	Abstrahierte virtualisierte IT-Ressourcen (wie zum Beispiel Datenspeicher, Rechenkapazität, Anwendungen oder Dienste, wie etwa Freemail-Dienste), die von Dienstleistern verwaltet werden. Der Zugang erfolgt über ein Netzwerk, meist das Internet. Der Begriff „Wolke“ (engl. Cloud) meint, dass der eigentliche physische Standort der Infrastruktur dieser Leistungen für den Nutzer oft nicht erkennbar rückverfolgt werden kann, sondern die Ressourcen „wie aus den Wolken“ abgerufen werden können.
Cloud Computing	Nutzung von IT-Ressourcen aus der Cloud.
Cyber Physical Production Systems (CPPS)	Anwendung von Cyber-Physical Systems in der produzierenden Industrie und somit die Befähigung zur durchgängigen Betrachtung von Produkt, Produktionsmittel und Produktionssystem unter Berücksichtigung sich ändernder und geänderter Prozesse.
Cyber Physical Systems (CPS)	CPS umfassen eingebettete Systeme, Produktions-, Logistik-, Engineering-, Koordinations- und Managementprozesse sowie Internetdienste, die mittels Sensoren unmittelbar physikalische Daten erfassen und mittels Aktoren auf physikalische Vorgänge einwirken, mittels digitaler Netze untereinander verbunden sind, weltweit verfügbare Daten und Dienste nutzen und über multimodale Mensch-Maschine-Schnittstellen verfügen. Cyber-Physical Systems sind offene soziotechnische Systeme und ermöglichen eine Reihe von neuartigen Funktionen, Diensten und Eigenschaften.
CPS-Plattform	Plattformkonstrukt, das Hardware-, Software und Kommunikationssysteme mit grundlegenden standardisierten CPS-Vermittlungs-, Interoperabilitäts- und Quality-of-Service-Diensten (QoS-Diensten) für Implementierung und Management von Cyber-Physical Systems und ihren Anwendungen sowie deren Einbindung in Wertschöpfungsnetzwerke umfasst. CPS-Plattformdienste mit ihrer Grundfunktionalität für Realisierung, verlässlichen Betrieb und Evolution von Cyber-Physical Systems sind integraler Bestandteil domänenspezifischer CPS-Anwendungsplattformen. Sie sichern die domänen- und unternehmensübergreifende Gesamtfunktionalität und -qualität auf technischer Systemebene, beispielsweise durch QoS-fähige Kommunikation, Dienste für IT-Sicherheit oder für Selbstdiagnose, Selbstheilung und Rekonfiguration.

Echtzeit	Echtzeit bedeutet, dass Daten in dem Moment erfasst und ausgewertet werden, in dem sie anfallen. Insgesamt sind die Anforderungen an die Echtzeit bzw. die zeitliche Verzögerung zwischen Datenaufnahme, Datenanalyse und Bereitstellung der Verarbeitungsergebnisse je nach Anwendungsbereich zu differenzieren. So können in der Produktion die Anforderungen an die zeitliche Verzögerung im Bereich von Sekunden (Alarmierungssysteme, Visualisierung aktueller Anlagenzustände) bis in den Stundenbereich (Übermittlung möglicher Lieferzeiten an Kunden) liegen.
Eingebettetes System (Embedded System)	Hardware- und Softwarekomponenten, die in ein umfassendes System integriert sind, um systemspezifische Funktionsmerkmale zu realisieren.
Horizontale Integration	Unter horizontaler Integration versteht man in der Produktions- und Automatisierungstechnik sowie IT die Integration der verschiedenen IT-Systeme für die unterschiedlichen Prozessschritte der Produktion und Unternehmensplanung, zwischen denen ein Material-, Energie- und Informationsfluss verläuft, sowohl innerhalb eines Unternehmens (beispielsweise Eingangslogistik, Fertigung, Ausgangslogistik, Vermarktung) aber auch über mehrere Unternehmen (Wertschöpfungsnetzwerke) hinweg zu einer durchgängigen Lösung.
Internet der Dienste	Teil des Internets, der Dienste und Funktionalitäten als granulare, webbasierte Softwarekomponenten abbildet. Provider stellen diese im Internet zur Verfügung und bieten die Nutzung auf Anforderung an. Über Internetdiensttechnologien sind die einzelnen Softwarebausteine beziehungsweise Dienstleistungen miteinander integrierbar. Unternehmen können die einzelnen Softwarekomponenten zu komplexen und dennoch flexiblen Lösungen orchestrieren (diensteorientierte Architektur). Über Cloud-basierte Entwicklungsplattformen kann eine Vielzahl an Marktakteuren sehr einfach internetfähige Dienstleistungen entwickeln und anbieten. Zudem entstehen Dienstplattformen, auf denen Kunden ein bedarfsbeziehungsweise prozessorientiertes Komplettangebot finden, statt Einzelangebote suchen, vergleichen und zusammenstellen zu müssen. Das Internet entwickelt sich so zum Dienstebaukasten für IKT-Anwendungen, -Infrastrukturen und -Dienste.
Internet der Dinge	Verknüpfung physischer Objekte (Dinge) mit einer virtuellen Repräsentation im Internet oder einer internetähnlichen Struktur. Die automatische Identifikation mittels RFID ist eine mögliche Ausprägung des Internets der Dinge, über Sensor- und Aktortechnologie kann die Funktionalität um die Erfassung von Zuständen beziehungsweise die Ausführung von Aktionen erweitert werden.
Interoperabilität	Fähigkeit unabhängiger, heterogener Systeme, möglichst nahtlos zusammenzuarbeiten, um Informationen auf effiziente und verwertbare Art und Weise auszutauschen, zu kooperieren und den Nutzern Dienste zur Verfügung zu stellen, ohne dass dazu gesonderte Absprachen zwischen den Systemen notwendig sind.

Manufacturing Execution System (MES)	Als Manufacturing Execution System wird ein am technischen Produktionsprozess operierendes IT-System bezeichnet. Es zeichnet sich gegenüber ähnlich wirksamen Systemen zur Produktionsplanung (sogenannte Enterprise Resource Planning Systeme) durch die direkte Anbindung an die verteilten Systeme des Prozessleitsystems aus und ermöglicht die Führung, Lenkung, Steuerung und Kontrolle der Produktion in Echtzeit. Dazu gehören klassische Datenerfassungen und Aufbereitungen wie Betriebsdatenerfassung, Maschinendatenerfassung und Personaldatenerfassung, aber auch alle anderen Prozesse, die eine zeitnahe Auswirkung auf den technischen Produktionsprozess haben.
Mensch-Maschine-Interaktion (Human-Computer Interaction, MMI beziehungsweise HCI)	Teilgebiet der Informatik, das sich mit der nutzergerechten Gestaltung von interaktiven Systemen und ihren Mensch-Maschine-Schnittstellen beschäftigt. Dabei werden neben Erkenntnissen der Informatik auch solche aus der Psychologie, der Arbeitswissenschaft, der Kognitionswissenschaft, der Ergonomie, der Soziologie und aus dem Design herangezogen. Wichtige Teilgebiete der Mensch-Maschine-Interaktion sind beispielsweise Usability Engineering, Interaktionsdesign, Informationsdesign und Kontextanalyse. Der letzte Aspekt ist bei Cyber-Physical Systems von Bedeutung, um in jeder Situation eine optimale Anpassung der Interaktion an die Nutzer zu gewährleisten.
Sensor	Technisches Bauteil, das bestimmte physikalische oder chemische Eigenschaften qualitativ oder als Messgröße quantitativ erfassen kann.
Smart Factory	Unternehmen, welches IKT zur Produktentwicklung, Engineering des Produktionssystems, Produktion, Logistik und Koordination der Schnittstellen zu den Kunden nutzt, um flexibler auf Anfragen reagieren zu können. Die Smart Factory beherrscht Komplexität, ist weniger störanfällig und steigert die Effizienz in der Produktion. In der Smart Factory kommunizieren Menschen, Maschinen und Ressourcen selbstverständlich wie in einem sozialen Netzwerk.
Smart Product	Bezeichnung für physische Produkte, die selbst Daten für ihr eigenes virtuelles Abbild zur Verfügung stellen können.
Ubiquitous Computing	Umfassende rechnergestützte Informationsverarbeitung. Weit über PC und Laptop und das dortige Paradigma der Mensch-Maschine-Interaktion hinausgehend, wird die Informationsverarbeitung in alltägliche Objekte und Aktivitäten integriert. Über das Internet der Dinge werden Menschen teils unmerklich bei ihren Tätigkeiten unterstützt.
Vertikale Integration	Unter vertikaler Integration versteht man in der Produktions- und Automatisierungstechnik sowie IT die Integration der verschiedenen IT-Systeme auf den unterschiedlichen Hierarchieebenen (beispielsweise die Faktor- und Sensorebene, Steuerungsebene, Produktionsleitebene, Manufacturing and Execution Ebene, Unternehmensplanungsebene) zu einer durchgängigen Lösung.
Virtualisierung	Herstellung einer virtuellen (anstatt einer tatsächlichen) Version, losgelöst von den konkreten Betriebsmitteln, etwa einer Hardwareplattform, einem Betriebssystem, einem Speichermedium oder Netzwerkressourcen.

**Das Glossar wurde bis auf den Begriff „Echtzeit“ entnommen aus Kagermann 2013, S. 84 ff.*

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die Zukunftsprojekte der Hightech-Strategie	1
Abbildung 2: Die vier industriellen Revolutionen.....	2
Abbildung 3: Handlungsfelder zur Umsetzung von Industrie 4.0	4
Abbildung 4: Wesentliche Merkmale von Industrie 4.0	5
Abbildung 5: Horizontales Wertschöpfungsnetzwerk.....	5
Abbildung 6: Durchgängiges System-Engineering über die gesamte Wertschöpfungskette	6
Abbildung 7: Vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme	6
Abbildung 8: Horizontale und vertikale Integration bei der KSB AG	7
Abbildung 9: Entwicklung hin zu intelligenten technischen Systemen	10
Abbildung 10: Die Entwicklungsstufen eingebetteter Systeme zum Internet der Dinge, Daten und Dienste	11
Abbildung 11: Entkoppelte, voll flexible und hochintegrierte Produktionssysteme.....	13
Abbildung 12: Getaktete Montage am Band	13
Abbildung 13: Merkmale smarter Produkte	14
Abbildung 14: Funktionsstufen smarter Produkte	15
Abbildung 15: Anlagenoptimierung als Smart Service	16
Abbildung 16: Anlagenoptimierung durch den Betreiber	16
Abbildung 17: Wachstumschancen durch Industrie 4.0	17
Abbildung 18: Risiken und Herausforderungen bei der Umsetzung von Industrie 4.0.....	18
Abbildung 19: Industrie 4.0-Readiness Check.....	20
Abbildung 20: Visualisierung der Echtzeitproduktivität bei Hansgrohe	23
Abbildung 21: Umsetzungsstufen von Industrie 4.0 bei Hansgrohe	24
Abbildung 22: Geschäftsmodellinnovation bei Trumpf.....	25
Abbildung 23: Industrie 4.0-Elemente bei Wittenstein	27
Abbildung 24: Auszug aus der Produktpalette von Euchner.....	29
Abbildung 25: Controlling-Prozessmodell der International Group of Controlling (IGC)	31
Abbildung 26: Relevanz von Berichtsarten im Kontext von Industrie 4.0.....	32
Abbildung 27: Risikoaspekte im Kontext von Industrie 4.0	32
Abbildung 28: Raster für das Controller-Kompetenzmodell	39
Abbildung 29: Beispielhafte Controlling-Industrie 4.0-Roadmap.....	43

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Abgrenzung CIM vs. Industrie 4.0.....	8
Tabelle 2: Beispielhafte Industrie 4.0-Initiativen	22
Tabelle 3: Einfluss von Industrie 4.0 auf die Controlling-Hauptprozesse.....	31
Tabelle 4: Kategorien für die Entscheidungsunterstützung	33

Quellenverzeichnis

- acatech**, Cyber-Physical Systems – Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion, München 2011.
- Bauer, J./Schlund, S./Marrenbach, D./Ganschar, O.**, Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland, Berlin 2014.
- Bauernhansl, T./ten Hompel M./Vogel-Heuser B.**, Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik – Anwendung, Technologie, Migration, Wiesbaden 2014.
- BITKOM**, Presseinformation „Kräftige Wachstumschancen durch Industrie 4.0“, Berlin 2014.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)**, Zukunftsbild „Industrie 4.0“, Berlin 2013.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)**, Die neue Hightech-Strategie Innovationen für Deutschland, Berlin 2014.
- Capgemini**, Industry 4.0 – The Capgemini Consulting View, Berlin 2014.
- Davenport, T./Harris, J.**, Competing on Analytics – The New Science of Winning, Boston 2007.
- Fallenbeck, N./Eckert, C.**, IT-Sicherheit und Cloud Computing, in: T. Bauernhansl, M. ten Hompel, & B. Vogel-Heuser, Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik (S. 397-431), Wiesbaden 2014.
- Fecht, N.**, Industrie 4.0: Die schöne neue Produktionswelt? Interview mit Prof. Dr. Thomas Bauernhansl, in: Open Automation 2013.
- Gronau, N.**, Analytic Manufacturing – Gesteigerte Wettbewerbsfähigkeit durch optimale Nutzung von Fertigungsdaten, in: Productivity Management, 17. Jg. (2012), H. 5, S. 19-21.
- International Group of Controlling (IGC)**, Controlling-Prozessmodell – Ein Leitfaden für die Beschreibung und Gestaltung von Controlling-Prozessen, Freiburg 2011.
- International Group of Controlling (IGC)**, Kompetenzen – das neue Kompetenzmodell der International Group of Controlling, Freiburg 2015.
- it's OWL**, Auf dem Weg zu Industrie 4.0: Lösungen aus dem Spitzencluster it's OWL, Paderborn 2014.
- Kagermann, H./Wahlster, W./Helbig, J.**, Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 – Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, Frankfurt/Main 2013.
- Kagermann, H./Riemensperger, F./Hoke, D./Helbig, J./Stocksmeier, D./Wahlster, W./Scheer, A. W./ Schweer, D.**, Smart Service Welt – Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft, Berlin 2014.
- Kersten, W./Schröder, M./Indorf, M.**, Industrie 4.0 – Auswirkungen auf das Supply Chain Risikomanagement, in: Kersten, W./Koller, H./Lödding, H. (Hrsg.), Industrie 4.0 – Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern, Berlin 2014, S. 101-126.
- Kubach, T.**, Chinas 12. Fünfjahrplan von 2011-2015: Prioritäten, Zielvorgaben, Projekte, Forschungsgruppe Politik und Wirtschaft Chinas, Universität Trier, Trier 2014.
- Mertens, P.**, Industrie 4.0 = CIM 2.0?, in: Industrie Management, 30. Jg. (2014), H. 1, S. 27-30.
- Mertens, P.**, Industrie 4.0 – Herausforderungen auch an Rechnungswesen und Controlling im Überblick, in: Controlling – Zeitschrift für erfolgsorientierte Unternehmensteuerung, 27. Jg. (2015), H. 8/9., o. S.
- Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden Württemberg**, Baden-Württemberg will Vorreiter für Industrie 4.0 werden und stellt dafür bis zu 14,5 Millionen Euro zur Verfügung (2014), <http://mfw.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse-und-oeffentlichkeitsarbeit/pressemitteilung/pid/baden-wuerttemberg-will-vorreiter-fuer-industrie-40-werden-und-stellt-dafuer-bis-zu-145-millionen/>, zugegriffen am 04.03.2015.

- Paulus, T./Zeibig, S.**, Controlling & Industrie 4.0 aus Sicht eines Maschinen- und Anlagenbauers, in: Controlling – Zeitschrift für erfolgsorientierte Unternehmensteuerung, 27. Jg. (2015), H. 8/9., o. S.
- Porter, M. E./Heppelmann, J. E.**, Wie smarte Produkte den Wettbewerb verändern, in: Harvard Business Manager 12/2014, S. 34-61.
- PricewaterhouseCoopers (PwC)**, Industrie 4.0 – Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution, Frankfurt/Main 2014.
- Riemensperger, F.**, Industrie 4.0 und Smart Service Welt – Die Chancen der Digitalen Revolution für die deutsche Industrie (2014), <https://www.bitkom-trendkongress.de/programm/2014/industrie-40-und-smart-service-welt>, zugegriffen am 06.03.2015.
- Roland Berger**, INDUSTRY 4.0 – The new industrial revolution: How Europe will succeed, München 2014.
- Sauter, R./Bode, M./Kittelberger, D.**, Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die produktionsnahe Steuerung der Wertschöpfung, in: Controlling – Zeitschrift für erfolgsorientierte Unternehmensteuerung, 27. Jg. (2015), H. 8/9., o. S.
- Scheer, A. W.**, Industrie 4.0 – Alter Wein in neuen Schläuchen? (2012), in: <http://www.august-wilhelm-scheer.com/2012/02/08/industrie-4-0-alter-wein-in-neuen-schlauchen/>, zugegriffen am 23.01.2015.
- Seiter, M./Sejdic, G./Rusch, M.**, Welchen Einfluss hat Industrie 4.0 auf die Controlling-Prozesse?, in: Controlling – Zeitschrift für erfolgsorientierte Unternehmensteuerung, 27. Jg. (2015), H. 8/9., o. S.
- Wirtschaftswoche**, Industrie 4.0 - Chance oder Hype? (2013), <http://www.wiwo.de/unternehmen/industrie/hannover-messe-industrie-4-0-chance-oder-hype/8033850.html>, zugegriffen am 04.03.2015.