

Springer Reference Technik

Springer Reference

Birgit Vogel-Heuser
Thomas Bauernhansl
Michael ten Hompel *Hrsg.*

Handbuch Industrie 4.0 Bd.4

Allgemeine Grundlagen

2. Auflage

VDI



Springer Vieweg

Springer Reference Technik

Springer Reference Technik bietet Ingenieuren – Studierenden, Praktikern und Wissenschaftlern – zielführendes Fachwissen in aktueller, kompakter und verständlicher Form. Während traditionelle Handbücher ihre Inhalte bislang lediglich gebündelt und statisch in einer Printausgabe präsentiert haben, bietet „Springer Reference Technik“ eine um dynamische Komponenten erweiterte Online-Präsenz: Ständige digitale Verfügbarkeit, frühes Erscheinen neuer Beiträge online first und fortlaufende Erweiterung und Aktualisierung der Inhalte.

Die Werke und Beiträge der Reihe repräsentieren den jeweils aktuellen Stand des Wissens des Faches, was z. B. für die Integration von Normen und aktuellen Forschungsprozessen wichtig ist, soweit diese für die Praxis von Relevanz sind. Reviewprozesse sichern die Qualität durch die aktive Mitwirkung von namhaften HerausgeberInnen und ausgesuchten AutorInnen.

Springer Reference Technik wächst kontinuierlich um neue Kapitel und Fachgebiete. Eine Liste aller Reference-Werke bei Springer – auch anderer Fächer – findet sich unter <http://link.springer.com/search?facet-content-type=%22ReferenceWork%22>.



JE HELLER DER KOPF, UMSO BRILLANTER DIE IDEE.
THIS IS SICK
Sensor Intelligence.



Visionäre Denkerinnen und Denker mit Erfindergeist gesucht. Entwickeln Sie gemeinsam mit uns Sensorlösungen, die weltweit Standards setzen und die nächste industrielle Revolution mitgestalten. Ihre Karriere: anspruchsvoll, abwechslungsreich und mit besten persönlichen Entwicklungschancen. Ihr Umfeld: hochprofessionell, international und inspirierend. Ihr neuer Arbeitgeber: ein Hightech-Unternehmen mit weltweit mehr als 7.400 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Ihre Zukunftsadresse: www.sick.de/karriere

Birgit Vogel-Heuser • Thomas Bauernhansl
Michael ten Hompel

Handbuch Industrie 4.0 Bd.4

Allgemeine Grundlagen

2. Auflage

Herausgeber
Birgit Vogel-Heuser
Technische Universität München
München, Deutschland

Michael ten Hompel
Technische Universität Dortmund
Dortmund, Deutschland

Thomas Bauernhansl
Universität Stuttgart
Stuttgart, Deutschland

Ursprünglich erschienen unter: Bauernhansl, T., ten Hompel, M., Vogel-Heuser, B.
„Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik“

ISBN 978-3-662-53253-9

ISBN 978-3-662-53254-6 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-53254-6

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2014, 2017

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

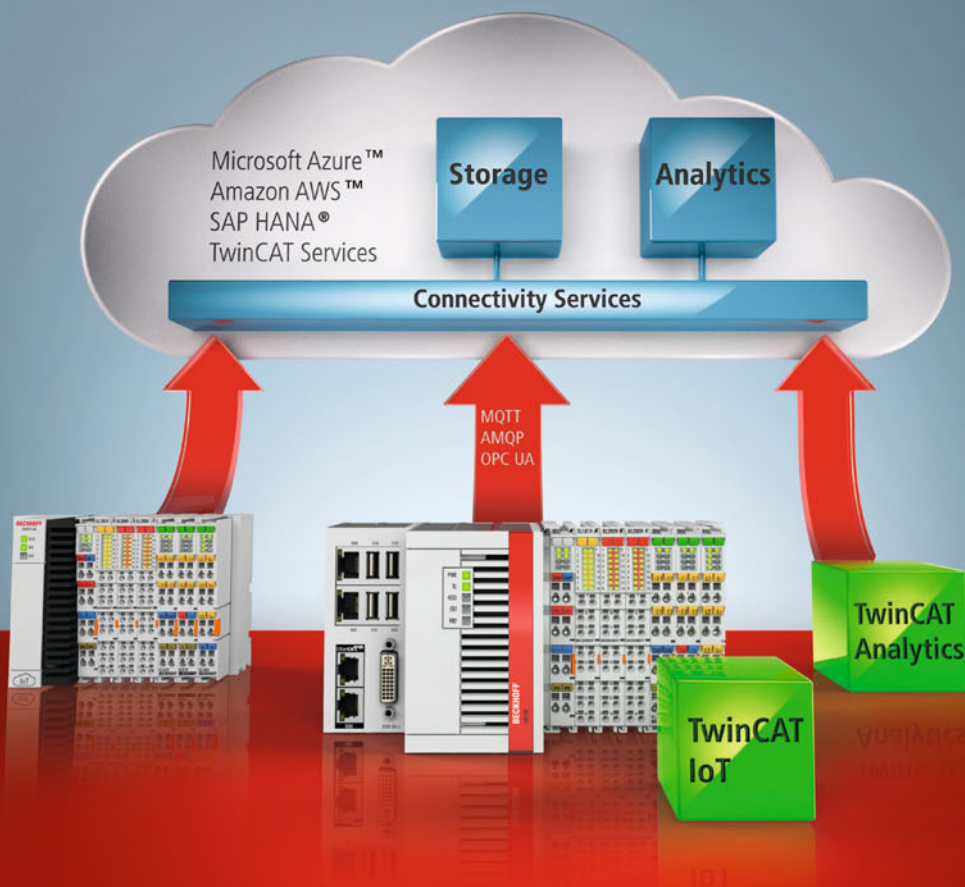
Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature
Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Germany
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Die Steuerungsplattform für Industrie 4.0: TwinCAT.



www.beckhoff.de/Industrie40

Mit PC-based Control bietet Beckhoff die Basistechnologie für Industrie-4.0- und IoT-Anwendungen. Maschinensteuerungen lassen sich über die Engineering- und Steuerungsplattform TwinCAT entsprechend erweitern: für Big-Data-Anwendungen, Cloud-Kommunikation, vorausschauende Wartung sowie für umfassende analytische Funktionen zur Erhöhung der Produktionseffizienz. Dabei unterstützt TwinCAT IoT standardisierte Protokolle für die Cloud-Kommunikation; Cloud-Dienste und -Services sind einfach in das Maschinen-Engineering integrierbar. TwinCAT Analytics bietet, neben Fehleranalyse und vorausschauender Wartung, zahlreiche Möglichkeiten zur Energie- und Prozessoptimierung von Maschinen und Anlagen.

Vorwort des Verlags

Der Erfolg des Buches „Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik“ von 2014 und die parallele Entwicklung der Online-Nachschlagewerke bei Springer, SpringerReference, führen zu einer erheblich erweiterten zweiten Auflage. Der Umfangszuwachs ließ eine Bandteilung sinnvoll erscheinen, dieser vierte Band umfasst die Beiträge zur Industrie 4.0 mit unveränderter, nachhaltiger Bedeutung in der Produktion, Automatisierung und Logistik.

Im Juni 2016

Thomas Lehnert, Programmleiter, Springer-Verlag



The Industrial Interoperability Standard

Viel mehr als ein Protokoll ... und darum gesetzt für Industrie 4.0

OPC UA ist ein Framework für Industrielle Interoperabilität

- Modellierung von Daten und Schnittstellen für Geräte und Dienste
- Integrierte Security für Zugriff auf Daten & Dienste – validiert vom BSI
- Erweiterbare Transportprotokolle:
Client/Server und Publisher/Subscriber und Roadmap für TSN
- Skalierbar vom Sensor bis in die IT Cloud
- International: OPC UA ist IEC62541
- Unabhängig von Herstellern, Betriebssystemen, Sprachen, vertikalen Märkten



Download der
Technologie-
Broschüre:
[opcfoundation.org/
resources/brochures/](http://opcfoundation.org/resources/brochures/)

Kooperationen der OPC Foundation mit anderen Organisationen in verschiedenen Märkten: Informationsmodelle aus verschiedenen Branchen sind abgebildet in OPC UA und werden so interoperabel mit integrierter Security.

PLCopen
for efficiency in automation

BACnet
INTEREST GROUP EUROPE

m2m
ALLIANCE

AVM
Verband für Automatisierte
Steuerungssysteme und Maschinen

**MES
DACH**
VERBAND

ISA
95

FDI
COOPERATION

PT
Group

OMAC
The Organization for Machine
Automation and Control

MDIS

energistics
ENERGY & ENVIRONMENT

MTconnect

EUROMAP
EUROPEAN UNION OF MANUFACTURING APPLICATION PROTOCOLS

SERCOS
international

<AutomationML>

CUFA
CONCEPTS FOR UNIVERSAL FACTORY AUTOMATION

W3C

**INDUSTRIAL
DATA SPACE e.V.**

EtherCAT
Technology Group

IO-Link

ODVA

PI
PROFIBUS - PROFINET

**ETHERNET
POWERLINK**
Standardization Group

VDMA

www.opcfoundation.org

OPC
FOUNDATION

Vorwort zur 2. Auflage

Mit der 1. Auflage dieses Buches, das bereits 2014 unter dem Titel *„Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik“* (Hrsg.: Bauernhansl, ten Hompel, Vogel-Heuser) erschienen ist, wurde ein wichtiger Schritt unternommen, das Thema Industrie 4.0 in der Fachliteratur zu verankern. Doch bereits damals war uns als Herausgebern klar, dass ein statisches Buch einer Entwicklung dieser Tragweite und Dynamik nicht gerecht werden kann. Aus diesem Grund haben wir entschieden, dieses Werk ab der 2. Auflage in ein Handbuch zu überführen, um einen Rahmen zu schaffen, die Geschichte der vierten industriellen Revolution fortzuschreiben. Industrie 4.0 wird mittlerweile international stark diskutiert und an der Realisierung gearbeitet. Mit dem *„Handbuch Industrie 4.0“* erscheint erstmals ein Nachschlagewerk, das aus einzelnen, in sich abgeschlossenen Beiträgen zu den Themen Industrie 4.0 in Produktion, Logistik und Automatisierung besteht. Dieses Werk wird sowohl online als auch in gedruckter Form veröffentlicht. Die Online-Version kann, ähnlich einem Wiki, fortlaufend ergänzt und weiterentwickelt werden, um bei diesem sich rapide entwickelnden Thema den aktuellen Stand darzulegen. Die Online-Version bietet die Grundlage, in regelmäßigen Abständen eine neue Auflage der Druckversion zu verlegen.

Um dem Format eines Nachschlagewerks gerecht zu werden, sind nicht nur Beiträge aus der 1. Auflage übernommen und überarbeitet worden, sondern auch zahlreiche Beiträge hinzugekommen. Diese teilen sich auf die folgenden neuen Kapitel auf:

- Digitalisierung der Wertschöpfung
- Industrie-4.0-Anwendungsszenarien für die Automatisierung
- Cyber-physische Systeme im Betrieb
- Engineering-Aspekte in der Industrie 4.0
- Vertikale und horizontale Integration in der Automatisierung
- Datamining und Datenanalyse in der Industrie 4.0 und deren juristische Aspekte
- Zusammenwirken von Mensch und Maschine in der Industrie 4.0
- Intelligente Ladungsträger als Teil cyber-physischer Systeme
- Materialflusstechnik für Industrie 4.0
- Industrie-4.0-fähige Flurförderzeuge
- Hybride Dienstleistungen für Industrie-4.0-Systeme
- Sensorik und Aktorik für Industrie-4.0-Logistiksysteme
- Management von Industrie-4.0-Systemen in der Logistik.

Zur Realisierung dieser umfassenden Erweiterung konnten wir, wie bereits in der ersten Auflage, zahlreiche Fachleute aus Forschung und Wirtschaft als Autoren gewinnen, um das Thema aus wissenschaftlicher und praktischer Sicht aufzubereiten. Erst die Betrachtung aus beiden Blickwinkeln ermöglicht es unserer Auffassung nach, den Überblick über das Mögliche und die Vision in einem Werk zu vereinen und Migrationspfade hinein in die vierte industrielle Revolution aufzuzeigen. Aufgrund der fortschreitenden Entwicklung werden nunmehr auch erfolgreiche Anwendungsbeispiele vorgestellt. In diesem Sinne ist das Handbuch Industrie 4.0 als ein lebendiges Nachschlagewerk für Forscher, Praktiker und Studierende gleichermaßen zu verstehen und richtet sich an alle Leserinnen und Leser, die sich mit diesem spannenden Thema beschäftigen wollen.

Diese Druckversion umfasst den Stand der Dinge im Frühjahr 2016 und ist in einem Team gleichberechtigter Partner entstanden. Wir danken allen Autoren, dem Verlag, dem Lektorat und all denen, die sonst noch zum Gelingen beigetragen haben, sehr herzlich. Ganz besonderer Dank gilt Sigrid Cuneus vom Springer-Verlag und unseren Mitarbeitern Andreas Bildstein und Sascha Feldhorst, die durch ihren unermüdlichen Einsatz in Koordination und Organisation die Grundlage für die Transformation des Werks in ein Handbuch gelegt haben.

Im April 2016

Birgit Vogel-Heuser, Thomas Bauernhansl und Michael ten Hompel

Your Global Automation Partner

TURCK

Industrie 4.0 Daten- und Kommunikationslösungen



Durchgängige HF/UHF-RFID-Lösungen für Datenerfassung und -vorverarbeitung, Identifikation, Rückverfolgung, Serialisierung

Intelligente Sensor- und Verbindungslösungen mit IO-Link-Kommunikation für maximale Flexibilität

Robuste IP67-I/O-Systeme mit dezentraler Intelligenz und Multiprotokoll-Ethernet-Kommunikation zur einfachen IT-Integration

www.turck.de



fashion solutions

**Passt
wie
angegossen.**

join the number one

KNAPP schickt neueste Technologien und Komplettlösungen für die Mode- und Textilbranche auf den Catwalk. Die smarten Lösungen für Hänge- und Liegeware passen sich flexibel Ihren Anforderungen an und sorgen jede Saison für Ihren souveränen Auftritt. Trends kommen und gehen – KNAPP bleibt en vogue.

Das kleine Schwarze der Intralogistik: Ihr zuverlässiger Begleiter für zahlreiche Prozesse im Lager ist das OSR Shuttle™. Das all-in-shuttle vereint mehr als 10 Jahre Know-how und Erfahrung von KNAPP und ermöglicht sichere, effiziente und flexible Prozesse. So haben Sie Ihre Kollektionen immer im Blick und immer verfügbar.

KNAPP AG
8075 Hart bei Graz | Austria
sales@knapp.com
www.knapp.com

KNAPP

Inhaltsverzeichnis

Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma	1
<i>Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl</i>	
Herausforderungen und Anforderungen aus Sicht der IT und der Automatisierungstechnik	33
<i>Prof. Dr. Birgit Vogel-Heuser</i>	
Use Case Industrie 4.0-Fertigung im Siemens Elektronikwerk Amberg . . .	45
<i>Prof. Dr. Karl-Heinz Büttner, Dipl.-Ing. Ulrich Brück</i>	
Enabling Industrie 4.0 – Chancen und Nutzen für die Prozessindustrie . . .	69
<i>Dr. Thorsten Pötter, Jens Folmer, Prof. Dr. Birgit Vogel-Heuser</i>	
Vom fahrerlosen Transportsystem zur intelligenten mobilen Automatisierungsplattform	83
<i>Dipl.-Ing. Alexander Bubeck, Dipl.-Ing. Matthias Gruhler, Dipl.-Ing. Ulrich Reiser</i>	
Adaptive Logistiksysteme als Wegbereiter der Industrie 4.0	97
<i>Prof. Dr.-Ing. Willibald Günthner Dipl.-Wirtsch.-Ing., Eva Klenk Dipl.-Wi.-Ing., Dr.-Ing. Peter Tenerowicz-Wirth</i>	
Die horizontale Integration der Wertschöpfungskette in der Halbleiterindustrie – Chancen und Herausforderungen	125
<i>Dr. Thomas Kaufmann, M. Eng. Lisa Forstner</i>	
IT-Sicherheit und Cloud Computing	135
<i>Dr. Niels Fallenbeck, Prof. Dr. Claudia Eckert</i>	
iProduction, die Mensch-Maschine-Kommunikation in der Smart Factory .	171
<i>Dr. Alexander Schließmann</i>	
Mensch-Maschine-Interaktion	201
<i>Dipl.-Ing. Martin Naumann, Dipl.-Ing. Thomas Dietz, Dipl.-Ing. Alexander Kuss</i>	
Mensch-Maschine-Interaktion im Industrie 4.0-Zeitalter	217
<i>Dominic Gorecky, Mathias Schmitt, Dr. Matthias Loskyll</i>	

Chancen von Industrie 4.0 nutzen	235
<i>Prof. Dr. Henning Kagermann</i>	
 Logistik 4.0 – Ein Ausblick auf die Planung und das Management der zukünftigen Logistik vor dem Hintergrund der vierten industriellen Revolution	247
<i>Prof. Dr. Michael ten Hompel, Prof. Dr. Michael Henke</i>	
 Industrie 4.0 – Anstoß, Vision, Vorgehen	259
<i>Dr. rer. nat. Siegfried Dais</i>	

LET'S TALK ABOUT YOU



Und darüber, wie Ihre Intralogistik mit Modulen
und Komplettlösungen noch wirtschaftlicher wird.

Sie möchten mehr Flexibilität, Transparenz und Effizienz in Ihren Prozessen? Unser Know-how als einer der weltweit führenden Systemanbieter macht uns zum unvergleichlich starken Partner in allen Fragen rund um die Intralogistik. Angefangen bei Behältern über Hochregallager bis zur hochperformanten IT-Lösung. Ob skalierbare Module oder Komplettlösungen. Ob für Start-ups, Mittelständler oder Global Player.

Sprechen Sie mit uns über Ihre Ideen und Anforderungen. Wir hören Ihnen zu und entwickeln gemeinsam eine Lösung, die Sie erfolgreicher macht – ganz gleich, in welcher Branche. **LET'S TALK.**

LAGERTECHNIK &
BEHÄLTERSYSTEME

INTEGRIERTE
AUTOMATIONSSYSTEME

LOGISTIKSOFTWARE

ABFALLTECHNIK &
RECYCLING



+49 2735 70-1

[lets-talk.ssi-schaefer.com](https://www.lets-talk.ssi-schaefer.com)



Die intelligente Produktion von morgen

Phoenix Contact – Ihr Partner für Industrie 4.0

„Mit unserer Erfahrung im Maschinenbau und in der Automatisierung sind wir bestens gerüstet, um die Digitalisierung unserer Welt in die intelligente Produktion von morgen zu verwandeln.“

Roland Bent, Geschäftsführung Marketing & Entwicklung

Mehr Informationen unter Telefon (0 52 35) 3-1 20 00 oder
phoenixcontact.de/industrie40





**WIE PACKEN SIE 600 MIO. TONNEN FRACHT
IN EINE BOX, IN DIE NUR 216 MIO. PASSEN?
ES IST EINFACH. DIE ANTWORT IST SAP HANA.**

Mit der SAP HANA® Cloud Platform ist der Hamburger Hafen in der Lage, Prozesse zentral, flexibel und in Echtzeit zu steuern – inklusive der Daten zur Schiffsroutenplanung und topaktueller Wettervorhersagen. Das schafft die Grundlage, um die Kapazitäten des Hafens in nur zehn Jahren zu verdoppeln. So einfach kann Innovation sein. Mehr erfahren Sie auf sap.de/iot



Run Simple



4 INDUSTRY 4.0
READY

WIR BRINGEN INDUSTRIE 4.0 AUF DEN WEG.

THIS IS **SICK**
Sensor Intelligence.

Das Informationszeitalter hat für die Industrie erst begonnen. Intelligente, robuste und zuverlässige Sensorik ist unverzichtbar für Herausforderungen wie sichere Mensch-Maschine-Interaktion, immer individuellere Kundenwünsche, hohe Varianz und die Beherrschung kurzfristiger Nachfrageschwankungen. Wir zeigen Ihnen, was heute schon möglich ist. Gehen Sie mit uns gemeinsam den Weg in eine effizientere Zukunft. www.sick.de/i40

INDUSTRIE 4.0

CYBERPHYSISCHE SYSTEME

PROZESSOPTIMIERUNG

FABRIK DER ZUKUNFT



Potenziale erkennen und umsetzen

Die Zukunftsoffensive Industrie 4.0 – auch als vierte industrielle Revolution bekannt – eröffnet Produktionsunternehmen vielfältige Möglichkeiten für neue Produktionsabläufe, Geschäftsmodelle und Dienstleistungen. Die Stuttgarter Produktionsakademie hat in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IPA eine eigene Seminarreihe zum Thema Industrie 4.0 entwickelt, in der die Teilnehmer lernen, Industrie 4.0 Schritt für Schritt im eigenen Unternehmen umzusetzen.



www.stuttgarter-produktionsakademie.de

WEITERBILDUNGSBEDARF

Besuchen Sie unsere Seminare und bringen Sie Ihr Wissen auf den neuesten Stand.



SIND SIE BEREIT FÜR INDUSTRIE 4.0?

Bestimmen Sie Ihre Position auf dem Weg zu Industrie 4.0.

Mit dem Industrie 4.0 Readiness Check geben wir Ihnen Handlungsempfehlungen auf allen Ebenen der zukunftsorientierten Unternehmensgestaltung.



Erfahren Sie mehr:
www.unity.de/industrie-4-0/readiness-check

UNITY
CONSULTING & INNOVATION

Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl, Fraunhofer IPA, Universität Stuttgart

1 Warum der industrielle Wettbewerb zunimmt und die Welt der Produktion komplex wird

Wenn im Zusammenhang mit Industrie 4.0 immer wieder von der 4. Industriellen Revolution gesprochen wird, macht es Sinn, zunächst einmal einen Blick auf die vergangenen drei Revolutionen zu werfen, zu analysieren, was in diesen unterschiedlichen Phasen passiert ist und wie diese Revolutionen aufeinander aufbauen.

1.1 Industrielle Revolutionen der letzten 260 Jahre

Die 1. Industrielle Revolution startete um 1750, getrieben durch die Entwicklung der Dampfmaschine. Arbeits- und Kraftmaschinen ermöglichten die Industrialisierung und haben einen großen Beitrag dazu geleistet, dass seit dieser Zeit in industriell geprägten Ländern keine strukturell bedingten Hungerkatastrophen mehr entstanden sind. Bedingt durch diese Entwicklung kam es zu einer Bevölkerungsexplosion. Einerseits konnte die Bevölkerung mit Kleidung und Nahrung versorgt werden, da das Transportsystem (Dampfschifffahrt, Eisenbahn) verbessert wurde. Andererseits verbesserte sich die Produktivität in der Herstellung von Grundversorgungsgütern, z.B. in der Landwirtschaft enorm [1].

Natürlich haben solche Revolutionen immer auch Auswirkungen auf die Gesellschaft. Das klassische Handwerk und die Landwirtschaft haben sich auf der Beschäftigungsseite stark reduziert und es sind zwei neue Schichten entstanden: Die Fabrikarbeiterschaft und die Fabrikbesitzer.

Einige haben sehr an der industriellen Wertschöpfung verdient, die Fabrikarbeiter jedoch wurden in den Anfängen der Industrialisierung ausgebeutet. Es gab Kinderarbeit, Vierjährige haben in der Fabrik geschuftet, die Arbeiterschaft ist nicht alt geworden. Auch wenn die Arbeitsbedingungen damals sehr schlecht waren, sind immer mehr Menschen in die Städte gezogen, was eine strukturelle Armut der Fabrikarbeiterschaft nach sich zog, den Pauperismus [2].

Diese Entwicklung führte schließlich am Übergang zur 2. Industriellen Revolution auch zu einer bürgerlichen Revolution. Die 2. Industrielle Revolution war geprägt durch arbeitsteilige Massenproduktion mit Hilfe elektrischer Energie. Das wird häufig vergessen.

Meist wird von einer organisationsgetriebenen Revolution gesprochen. Man erinnert an das von Henry Ford entwickelte Fließband, an die wissenschaftliche Betriebsführung nach Frederic W. Taylor.



Abbildung 1: Industrielle Revolutionen der letzten 260 Jahre, Treiber und Veränderungen, © Fraunhofer IPA, Bildquellen AUDI automediennetportal.net, DFKI, bahnbilder.de.

Gleichzeitig wurden aber auch elektrische Antriebe und Verbrennungsmotoren entwickelt. Insbesondere die elektrifizierten Antriebssysteme ermöglichten es zu dezentralisieren, also die Arbeitsmaschinen nicht durch zentrale Kraftmaschinen anzutreiben, sondern dezentral zu betreiben. Zudem erhielt Erdöl eine immer größere Bedeutung als Grundstoff der chemischen Industrie und somit auch als neuer Treibstoff für mobile Systeme – allen voran für die Automobile [3].

Die großindustrielle Massenproduktion, die dadurch ermöglicht wurde, ist vor allem in der Chemie- und Elektroindustrie sowie natürlich im Maschinenbau und der Automobilindustrie vorangeschritten. Die Bevölkerung wuchs weiter an. Und der Gesellschaft wurde klar, dass man die Fabrikarbeiter nicht weiter ausbeuten kann, sondern dass es hier ein Wohlstandsbedürfnis gibt, dem Rechnung zu tragen ist, um soziale Spannungen abzubauen. Dieses Bedürfnis konnte mit der großindustriellen Massenproduktion befriedigt werden, die es aufgrund von Skaleneffekten ermöglichte, sehr kostengünstig Produkte herzustellen. Zu dieser Zeit wuchs die Bedeutung der Gewerkschaften sehr stark an. Es entstand im Übergang von der 1. zur 2. Industriellen Revolution die Sozialdemokratie. Die Ideen des Kommunismus haben sich verbreitet und es sind entsprechende Systeme entstan-

den. Damals wurde die Basis für unsere heutige konsumorientierte Wohlstandsgesellschaft gelegt.

Unterbrochen durch zwei Weltkriege ging es dann mit der 3. Industriellen Revolution Anfang der 60er Jahre weiter. In Deutschland war das zunächst die Zeit des Wirtschaftswunders. Diese Revolution wurde getrieben durch die Elektronik und später die Informations- und Kommunikationstechnologie, die eine fortschreitende Automatisierung der Produktionsprozesse ermöglichte. Damit fand einerseits Rationalisierung statt, andererseits wurde in der Folge auch die variantenreiche Serienproduktion ermöglicht.

Im Übergang der Wirtschaftswunderjahre in die 80er Jahre waren viele Märkte gesättigt, da viele Grundbedürfnisse der Wohlstandsgesellschaften befriedigt waren. Mehr und mehr wurden die Verkäufermärkte deshalb zu Käufermärkten. Es ging also nicht mehr darum nur zu produzieren, und alles was man produzierte wurde ohnehin verkauft. Die Kunden haben sich immer mehr differenziert, die Wünsche wurden individueller. Es wurde sehr selektiv auf Qualität und Individualität geachtet. Die variantenreiche Serienproduktion bis hin zur Mass Customization ist immer mehr in den Vordergrund gerückt.

Gleichzeit hat sich die Marktwirtschaft weiterentwickelt, in Deutschland insbesondere die soziale Marktwirtschaft. Es kam, getrieben durch die Informations- und Kommunikations-Technologien und später dann durch das Internet, zu einer weltweiten Verfügbarkeit von Wissen. Zudem haben die industrialisierten Gesellschaften begonnen, über Ihre Verhältnisse zu leben. Damals in den 70er und 80er Jahren wurde der Grundstein für die Verschuldung der Volkswirtschaften gelegt. Nach dem Fall des Eisernen Vorhangs konnte die Globalisierung ungehindert fortschreiten. In dieser Phase befinden wir uns heute noch. Weltweit findet immer mehr Arbeitsteilung statt und die global verteilte Produktion ist das Mittel der Wahl.

Im Zuge dieser 3. Industriellen Revolution verlor der Anteil der Wertschöpfung am Bruttoinlandsprodukt immer mehr an Bedeutung. Die Volkswirte sind davon ausgegangen, dass entwickelte Volkswirtschaften zu Dienstleistungsgesellschaften werden und die Industrie einen ähnlichen Weg geht wie davor die Landwirtschaft – also eigentlich in der Bedeutungslosigkeit versinkt. Man glaubte, dass sie einen Anteil von unter zehn Prozent an der Bruttowertschöpfung haben würde. Diese Entwicklung ist auch zu beobachten, insbesondere in Frankreich, in England und in den USA. Eine Ausnahme ist hier Deutschland. Deutschland hat es geschafft, den Industrieanteil seit der Wiedervereinigung in den 90er Jahren stabil zu halten [4]. Er pendelt um die 25 Prozent, unterbrochen durch die Finanzmarktkrise, wo er unter 20 Prozent absank. Nach der Krise hat sich Deutschland sehr schnell wieder erholt und hat mittlerweile einen Industrieanteil von über 25 Prozent an der gesamtwirtschaftlichen Bruttowertschöpfung [5].

Deutschland wurde dafür sehr lange belächelt. Noch vor zehn Jahren konnte man häufig hören, dass Deutschland der „kranke Mann“ Europas sei [6]. Insbesondere die angelsächsisch geprägten Volkswirtschaften, die sich in Richtung Dienstleistungsgesellschaften entwickelten, haben den Finger in die vermeintliche Wunde gelegt und Deutschland dafür kritisiert, den Wechsel in die Wissens- und Dienstleistungsgesellschaft nicht zu schaffen. Unsere Strukturen passten aus der Sicht der damaligen Zeit nicht zu einer modernen Volkswirtschaft. Unser relativ hoher Industrieanteil, unsere Sparkassen und Volksbanken, die Art wie unsere Finanzwirtschafts aufgestellt war, unsere mittelständischen Strukturen sowie die gesetzlich relativ stark verankerten Sozialleistungen wurde negativ betrachtet. Aufgrund der Auswirkungen der Finanzmarktkrise 2007/08 haben viele Volkswirte ihre Modelle überdacht und ihre Ansichten geändert.

1.2 Beitrag der Industrie zum Erfolg von Volkswirtschaften

Es wird heute festgestellt, dass auch entwickelte Volkswirtschaften einen hohen Industrieanteil benötigen, um erfolgreich zu sein [7]. Dafür gibt es drei Hauptgründe, Produktivität, Innovation und Export.

Produktivitätsbeitrag

Das Produktivitätswachstum der Industrie lag zwischen 2000 und 2010 in Deutschland bei dreißig Prozent und damit doppelt so hoch wie im Dienstleistungssektor [8].

Das ist dadurch zu erklären, dass industrielle Produktion rationalisiert werden kann. Dienstleistung entsteht im Zusammenspiel von Menschen, während industrielle Produktion immer im Zusammenspiel von Mensch und Maschine stattfindet. Aufgrund der Möglichkeiten, die sich daraus ergeben, ist ein höherer Produktivitätszugewinn möglich. Und dieser Produktivitätsbeitrag schlägt sich im Wachstum einer Volkswirtschaft nieder.

Innovationsbeitrag

Der Großteil aller Investitionen in Innovation stammt aus der Industrie. 2010 kamen 86,5 Prozent der F&E Ausgaben, in Summe knapp 50 Milliarden Euro, von der Industrie [8]. Wenn ein Land einen entsprechend niedrigen Industrieanteil hat, dann fehlt dieser Innovationsbeitrag, sodass eine Erneuerung der Volkswirtschaft nicht so stattfinden kann wie in höher industrialisierten Ländern.

Exportbeitrag

2010 kamen in Deutschland 93,4 Prozent aller exportierten Güter und Leistungen aus der Industrie [8]. Hohe Exporte führen zu einer ausgeglichenen Handelsbilanz – oder sogar, wie im Falle Deutschlands, zu einem Handelsüberschuss, und das geht immer einher mit einem Kapitalüberschuss. Das heißt, Volkswirtschaften mit einem niedrigen industriellen Anteil und damit einem niedrigen Exportbeitrag, haben häufig eine negative Handelsbilanz, was sich entsprechend in der Verschul-

dung niederschlägt [9]. Diese Erkenntnis, dass die Industrie Wachstum sowie Beschäftigung sichert und so maßgeblich zur Finanzierung der Volkswirtschaft beiträgt, ist mittlerweile auch in den Dienstleistungsgesellschaften angekommen. Die USA hat erkannt, dass sie einen höheren Industrieanteil benötigt. Man hat sich dort zum Ziel gesetzt, wieder einen Anteil von 20 Prozent zu erreichen [10].

Das soll, erstens, über sehr niedrige Energiekosten (Schiefergas und Schieferöl) gelingen. Damit zieht man vor allem die energieintensiven Industrien an und es scheint, dass dies bereits entsprechende Wirkung zeigt. Man baut, zweitens, Handelsbeschränkungen auf, beispielsweise durch die Anti-Dumping-Gesetzgebung. Man setzt, drittens, auf niedrige Zinsen. Die Währung wird absichtlich abgewertet, um den Exporterfolg zu verbessern. Viertens, wird eine anwendungsorientierte Forschung forciert. In den USA wird zurzeit sehr viel Geld in den Aufbau von Strukturen und Organisationen für produktionsorientierte anwendungsnahe Forschung nach dem Vorbild Fraunhofer investiert [10].

Auch innerhalb Europas ist die Erkenntnis gewachsen, dass eine eigene industrielle Produktion große Vorteile bringt. Deutschland ist zum Vorbild geworden. In Großbritannien wird ein großes Re-Industrialisierungsprogramm gefahren. High Value Manufacturing soll die Basis des re-industrialisierten Großbritanniens werden. Gesamt-Europa steht bei 16 Prozent und strebt ebenfalls 20 Prozent Industrieanteil am Bruttoinlandsprodukt bis zum Jahr 2020 an [5]. Man setzt hier sehr stark auf Ressourceneffizienz und auf die Produktion komplexer Güter. Man baut indirekte Handelsbeschränkungen auf (z.B. REACH, ROHS) oder Sicherheitsbestimmungen (z.B. CE). Auch die EZB hält die Zinsen sehr niedrig. Und: Auch in Europa wird stark in die anwendungsnahe Forschung investiert. Das neue Programm HORIZON 2020 hat einen hohen Umsetzungs- und Industriebezug.

In Asien, insbesondere in China, beobachtet man diese Entwicklung natürlich sehr kritisch. Diese Länder durchlaufen gerade im Eilgang die Entwicklungen der 2. und 3. Industriellen Revolutionen und brauchen ihren hohen Industrieanteil, um weiterhin Wohlstand zu schaffen. Die Verantwortlichen in China wissen, dass in den letzten Jahren aufgrund der Einkommensentwicklung Produktivitätsnachteile aufgebaut wurden. Es wird daher sehr stark auf das Thema Automatisierung gesetzt, um diese Nachteile auszugleichen. Andererseits hat man in Asien Zugang zu sehr vielen wertvollen Ressourcen, zum Beispiel Seltene Erden. Auch darüber wird versucht, die industrielle Produktion abzusichern. China setzt sehr stark auf staatliche Subventionen (wie zuletzt im Bereich Photovoltaik). Auch China investiert große Summen in Forschung und Bildung. Mehrstellige Milliardenbeiträge fließen hier in den Aufbau entsprechender Strukturen und Institutionen.

Die Bedeutung der industriellen Produktion wurde mittlerweile von allen Volkswirtschaften erkannt. Es wird zukünftig nicht mehr so sein, dass man kurzsichtig Wertschöpfung in andere Länder verlagert. Man holt die Wertschöpfung vielmehr wieder zurück ins eigene Land. Apple etwa, baut zurzeit eine eigene Fabrik in den

USA auf. Der weltweite Wettbewerb um Wertschöpfung nimmt also zu, und Deutschland wird hart um seinen industriellen Kern kämpfen müssen.

1.3 Die Nachfrageseite des Wachstums

Unser Wachstum wird in Zukunft nicht durch mangelnde Nachfrage bedroht sein. Der Wettbewerb zwischen den Volkswirtschaften wird zwar zunehmen, aber es wird global genügend Nachfrage geben, um die Produktion auszubauen.

Wenn man sich die Entwicklung der Weltbevölkerung anschaut, dann ist, ausgehend von 1950 bei einer Zahl von 2,5 Milliarden, die Weltbevölkerung heute auf über sieben Milliarden angewachsen (2013: 7,2) und 2025 werden es 7,9 Milliarden sein [7]. Entscheidend hierbei ist: Der Teil der Weltbevölkerung der konsumiert, wird sich in den nächsten Jahren sehr stark entwickeln. Während es 1990 nur 1,2 Milliarden Menschen gab, die mehr als zehn Dollar pro Tag zur Verfügung hatten, waren es 20 Jahre später doppelt so viele. Nach einer Studie von Mc Kinsey [7] werden es 2025 sogar 4,2 Milliarden Menschen sein. Das heißt, wir werden eine extreme Zunahme derjenigen haben, die am globalen Konsum partizipieren wollen und damit entsprechend auch für Wachstum sorgen können.

Dieses Wachstum wird hauptsächlich in den Entwicklungsmärkten stattfinden. Von 2010 bis 2025 wird der Weltverbrauch in Milliarden US-Dollar in den entwickelten Märkten von 26 auf 34 ansteigen und in den Entwicklungsmärkten von zwölf auf 30 [11]. Er wird sich dort also verdreifachen!

Gleichzeitig wird die demographische Entwicklung starken Einfluss haben. Das Durchschnittsalter wird bis 2050 um zehn Jahre ansteigen. Wir werden weiterhin urbanisieren. 60 bis 70 Prozent aller Menschen leben dann in Städten [12]. Die Nachfrage wird also da sein, aber die Art des Konsums wird sich sehr stark ändern. In den entwickelten Ländern wird man auf hochindividualisierte Produkte setzen müssen. Also auf Produkte, die exakt auf die Bedürfnisse der einzelnen Konsumenten zugeschnitten sind.

Das bedeutet, wir gehen in Richtung Personalisierung, während wir in den Entwicklungsmärkten stark regionalisiert Produkte anbieten müssen, die hinsichtlich Funktionalität, Design und Kosten an den Bedürfnissen dieser Märkte orientiert sind. Neben Asien und Südamerika wird auch Afrika mehr und mehr in diesem Zusammenhang eine große Rolle spielen [13].

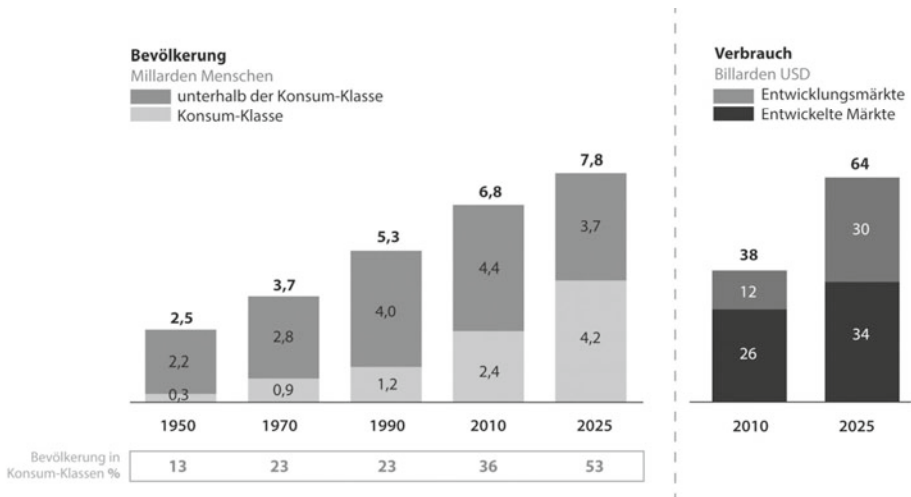


Abbildung 2: Entwicklung des globalen Verbrauchs © Fraunhofer IPA [vgl. 11]

1.4 Die Angebotsseite des Wachstums

Allerdings wird es sehr wohl ein angebotsseitiges Wachstumsproblem geben. Wir werden es nicht schaffen, mit unserem aktuelle Wertschöpfungssystem, also die Art und Weise in der wir Wertschöpfung betreiben und organisieren, das dafür nötige Wachstum zu erreichen, weil uns auf dem Weg dahin die notwendigen Ressourcen ausgehen werden [14].

Wir verbrauchen pro Jahr die Menge an fossilen Energieträgern, die die Natur in einer Million Jahre gebildet hat [15]. Das heißt, man muss in jedem Fall darüber nachdenken, wie man sich von fossilen Energieträgern trennt, denn sie werden – egal ob in einem kürzen oder längerer Zeitraum – nicht mehr in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen. Unser Energiebedarf wird sich bis zum Jahr 2050 verdoppeln, wenn wir nicht massiv an den Energieeffizienzthemen arbeiten. Wir bedrohen die Umwelt sowie die Artenvielfalt und verändern das Klima [16].

Wir werden darüber nachdenken müssen, wie wir von der eigentlichen Wertschöpfung zu einer Wertschaffung kommen. Das wird nur über einen Paradigmenwechsel im Umgang mit den Produktionsfaktoren gelingen. Wir müssen die Art und Weise, wie wir Wertschöpfung betreiben, komplett verändern. Das betrifft die Faktoren Energie, Material, Personal (Wissen) und Kapital sowie die dispositiven Faktoren.

1.5 Die Wende der Produktionsfaktoren

Wir werden im Zuge der vierten Revolution eine Wende aller Produktionsfaktoren benötigen, wenn wir Nachfrage und Angebot zukünftig nachhaltig in Einklang bringen wollen [17].

Die Energiewende wird in Deutschland schon lange diskutiert. Es geht letztlich darum, sich von fossilen Energieträgern zu trennen und auf regenerative Energie und Energieeffizienz zu setzen. Viel wichtiger als die Energiewende wird voraussichtlich die Materialwende sein. Die Frage: Wie schaffen wir es, sämtliche Materialien in unseren Konsumkreisläufen zu halten, also Recycling-Kreisläufe zu schließen? Wie schaffen wir es, auch nachwachsende Rohstoffe entsprechend einzusetzen? Vor allem ist es wichtig, keinen Abfall bzw. schädliche Emissionen mehr zu erzeugen, sondern diese als Rohstoff für neue Produkte oder die Natur zu betrachten und die Wertschaffung zu integrieren [18].

Die Personalwende fokussiert in den entwickelten Ländern, aber zum Teil auch in den sich entwickelnden Ländern, die demografischen Veränderungen und den Fachkräftemangel, der kein deutsches, sondern ein globales Problem ist [19]. Das heißt, wir müssen uns schon heute überlegen, wie wir die Verschwendung aus unseren Prozessen nehmen – also auch die Verschwendung von Personalressourcen. Aber wir müssen ein Arbeitsumfeld schaffen, das es Mitarbeitern ermöglicht, ihre vollen Fähigkeiten zu entfalten und über lange Zeit motiviert zu bleiben und entsprechend lange produktiv zu arbeiten.

Bei der Kapitalwende geht es im Wesentlichen darum, dass sowohl die volkswirtschaftlichen Finanzierungsansätze als auch die unternehmerischen Finanzierungsansätze im Lichte der Finanzmarktkrisen überdacht werden müssen. Die Art und Weise, wie sich die Finanzwirtschaft von der Realwirtschaft entkoppelt, ist zu überdenken. Es wird schon sehr intensiv daran gearbeitet, diese beiden Welten wieder stärker miteinander zu verbinden. Die Finanzmärkte müssen wieder ihre eigentliche Kernaufgabe wahrnehmen, nämlich die Finanzierung von Innovation, Investition und Konsum. Die Art und Weise wie wir Fabriken organisieren, wie wir unsere Führungssysteme gestalten, also die dispositiven Faktoren, müssen sich ebenfalls ändern. Auch hier gibt es bereits neue Ansätze – auch in China beispielsweise. Dieser Wandel der Produktionsfaktoren wird dazu führen, dass Deutschland und Europa mit grüneren Wertschaffungsketten die Nachfrageseite befriedigen kann, ohne in ein angebotsseitiges Problem zu geraten.

Der Enabler für alle diese „Wenden“ in den Produktionsfaktoren wird die Informations- und Kommunikationstechnologie sein. Hierher wird ein Großteil der notwendigen Innovationen entstehen. Das ist heute schon im Bereich der Energiewende zu sehen: Smart Grids, beispielsweise, sind die Basis dafür, diese Wende überhaupt zu vollziehen.