

Thomas Schulz (Hrsg.)

INDUSTRIE 4.0

POTENZIALE ERKENNEN
UND UMSETZEN



Ein Fachbuch von

MM
MAGAZIN FÜR
MANAGEMENT

elektro
technik

INDUSTRY
IS THINGS



Vogel Business Media

OPC UA: Gesetz 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

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

aim
GERMANY

MES DACH
VERBAND

ISA

FIELDCOMM GROUP
Connecting the World of
Process Automation

FDT GROUP

OMAC
The Organisation for Machine
Automation and Control

MDIS

OpenFog

VDW

energistics
Energy Intelligence

MT Connect

EUROMAP
European Plastics and Rubber Machinery

SERCOS
international

<AutomationML/>

W3C

GLPA
GOLDEN LINK PLASTICS ALLIANCE

**INDUSTRIAL
DATA SPACE e. v.**

EtherCAT
Technology Group

IO-Link

ODVA

**ETHERNET
POWERLINK**
Standardization Group

VDMA

cia

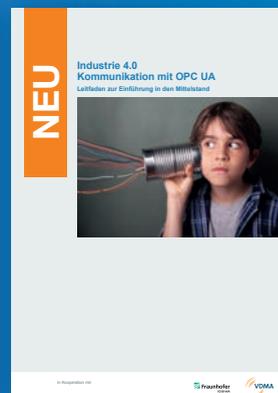
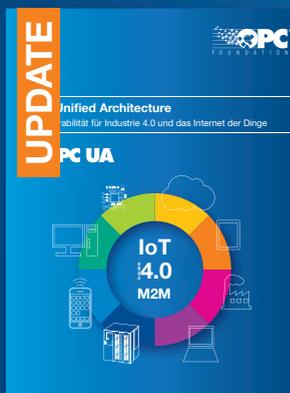
PI
PROFIBUS - PROFINET

Deutsche und englische Version
unter [opcfoundation.org/
resources/brochures/](http://opcfoundation.org/resources/brochures/)

OPC UA ist sicher!
Geprüft von Experten.
opcfoundation.org/security

VDMA-Leitfaden OPC UA
ISBN 978-3-8163-0709-9

OPC UA ist Voraussetzung
im Produkt-Kriterienkatalog
Kein Industrie 4.0 ohne OPC UA





Der **Onlineservice InfoClick** bietet unter www.vbm-fachbuch.de/infoclick nach Codeeingabe zusätzliche Informationen und Aktualisierungen zu diesem Buch.

InfoClick

In 2 Schritten zum Onlineservice

1. Einfach www.vbm-fachbuch.de/infoclick aufrufen.
2. Den unten stehenden Zugangscod in die Suchleiste eingeben und bestätigen.

Sofern Aktualisierungen oder Zusatzinformationen zu Ihrem Buch bereitstehen, werden diese anschließend unterhalb der Eingabemaske aufgeführt.



Ihr persönlicher Zugang
zum Onlineservice



339404990001

Thomas Schulz (Hrsg.)

Industrie 4.0

Thomas Schulz (Hrsg.)

Industrie 4.0

Potenziale erkennen und umsetzen

Vogel Business Media

Der Herausgeber:

THOMAS SCHULZ, Channel Manager Central and Eastern Europe – GE Digital

Die Autoren:

Dr.-Ing. PETER ADOLPHS † 2016, Geschäftsführer – Pepperl+Fuchs GmbH

Dipl.-Inform. BARIS AYAZ, Geschäftsführer – sourcewerk GmbH

M.A. HENNING BANTHIEN, Leiter der Geschäftsstelle der Plattform Industrie 4.0

Dipl.-Ing. WOLFGANG DORST, Bereichsleiter Industrial Internet – Bitkom

Dr. SRDAN DZOMBETA, Rechtsanwalt – PERSICON AG

Dipl.-Ing. WOLFGANG FRITSCHKE, Head of Competence Center Digital Assurance – IABG – Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH

Dipl.-Ing. (FH), MBM MARTIN HANKEL, Projektleiter Industrie 4.0 Technik – Bosch Rexroth AG

Dipl.-Ing. STEFAN HOPPE, Vorstand – OPC Foundation

PD Dr.-Ing. MARCO HUBER, Chief Consultant – USU Software AG

Dipl.-Inform. (FH) KLAUS HÜBSCHLE, Geschäftsführer – M&M Software GmbH

Dipl.-Inf. ANDREAS KALENDER, Rechtsanwalt – PERSICON AG

Dr.-Ing. CHRISTIAN MOSCH, Referent Forum Industrie 4.0 – VDMA Frankfurt

Dipl.-Ing. (FH) HEINRICH MUNZ, Lead Architect Industrie 4.0 – KUKA Aktiengesellschaft

Dipl.-Ing. HENRIK OPPERMANN, Leiter Forschung – USU Software AG

RA SANDRA SOPHIA REDEKER, Rechtsanwältin – Associated Partner Noerr LLP

Dipl.-Kfm. JAN RODIG, Geschäftsführer – tresmo GmbH

Dr. rer. nat. FELIX RUST, Teamleiter Risk & Security – IABG – Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH

Dr.-Ing. OLAF SAUER, Stellvertreter der Institutsleiters – Fraunhofer IOSB in Karlsruhe

M.Sc. SEBASTIAN SCHMIDT, Rechtsanwalt – PERSICON AG

Dipl.-Ing. THOMAS SCHULZ, Channel Manager Central and Eastern Europe – GE Digital

Dr. rer. pol. KARSTEN SCHWEICHHART, Business Development Industrie 4.0 – T-Systems International GmbH

Dr. rer. nat. DANIEL SENFF, Stellvertretender Leiter der Geschäftsstelle der Plattform Industrie 4.0

Dr. RICHARD MARK SOLEY, Executive Director Industrial Internet Consortium (IIC)

M.Sc. GEORG STÖGER, Director Projects and Products – TTTech Computertechnik AG

Weitere Informationen:

www.vbm-fachbuch.de



<http://twitter.com/vbmfachbuch>



www.facebook.com/vbm-fachbuch



www.vbm-fachbuch.de/rss/buch.rss_

Die Übersetzung des Beitrages «Digitale Revolution und digitaler Wandel, Teil II Das Ökosystem des Industrial Internet» erfolgte vom amerikanischen Englisch ins Deutsche durch:

Frau **Sabine Pagler**.

ISBN 978-3-8343-3394-0 E-Book ISBN 978-3-8343-6228-5

1. Auflage. 2017

Alle Rechte, auch der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Hiervon sind die in §§ 53, 54 UrhG ausdrücklich genannten Ausnahmefälle nicht berührt.

Printed in Germany

Copyright 2017 by Vogel Business Media GmbH & Co. KG, Würzburg

Grußwort

Die rasante Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft verändert die Art und Weise, wie in Deutschland produziert und gearbeitet wird: Industrie-4.0-Lösungen verzahnen die Produktion mit modernster Informations- und Kommunikationstechnik und schaffen intelligente Wertschöpfungsnetzwerke. Waren werden maßgeschneidert nach individuellen Kundenwünschen hergestellt – kostengünstig, in hoher Qualität und in effizienten Produktionsschritten. Industrie 4.0 wird bestehende Geschäftsmodelle verändern, etablierte Marktstrukturen verschieben und Anteile am Weltmarkt neu verteilen. Für den Innovations- und Wirtschaftsstandort Deutschland bietet das enorme Potenziale – insbesondere im Hinblick auf internationale Kooperationen: Zahlreiche Studien prognostizieren, dass die Einführung von Industrie 4.0 in Zukunft wesentlich zum wirtschaftlichen Wachstum Deutschlands und seiner Unternehmen beitragen wird.

Die Grundlagen für die digitale Transformation der Industrie zu legen – das ist eine der zentralen Gestaltungsaufgaben der kommenden Jahre. Im Kern dieser Transformation geht es um einen wichtigen Erfolgsfaktor der deutschen Volkswirtschaft: die leistungsfähige, innovationsstarke und zukunftsfähige Industrie. Denn: Die industrielle Produktion und die produktionsnahen Dienstleistungen stehen für mehr als die Hälfte der Wirtschaftsleistung in Deutschland.

Rückgrat der deutschen Industrie ist der Mittelstand. Er ist der Schlüssel für eine erfolgreiche digitale Transformation «Made in Germany». Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) müssen sich individuell auf die Digitalisierung einstellen, die richtigen Schritte einleiten und entsprechende Geschäftsmodelle entwickeln. Ihnen dafür die Grundlagen zu schaffen – das ist zentrale Aufgabe der Plattform Industrie 4.0, einem der größten Netzwerke für Industrie 4.0 weltweit. Mit ihrer Arbeit, ihren Services und Angeboten ebnet sie Unternehmen den Weg in eine vernetzte Produktion. Wie die Plattform Industrie 4.0 richtet sich auch das nachfolgende Buch an KMU. Auf den folgenden Seiten erfahren Sie mehr über die Aktionsfelder von Industrie 4.0 sowie deren Einflussfaktoren und Rahmenbedingungen. Sie erhalten praxisorientierte Tipps von Fachleuten und lernen die Tätigkeiten der Plattform Industrie 4.0 kennen. Viel Spaß beim Lesen und Lernen!

HENNING BANTHIEN

Leiter der Geschäftsstelle der Plattform Industrie 4.0

Vorwort des Herausgebers

Mit dem vorliegenden Buch möchte ich als Herausgeber einen Beitrag dazu leisten, dass mittelständische Unternehmen einen leichteren Zugang zu dem Thema Industrie 4.0 erlangen. Sie werden sich jetzt fragen: «Warum noch ein Buch über Industrie 4.0?» Literatur zu diesem Thema gibt es reichlich im deutschsprachigen Raum. Der allergrößte Teil ist von Experten für Experten geschrieben. Dieses Buch richtet sich an den fachinteressierten Leser, der sich grundlegend in die Thematik einarbeiten möchte und dafür praxisbezogene, allgemein verständliche Informationen benötigt.

Dazu erarbeitete ich mehrere sich ergänzende und ineinandergreifende Themenblöcke, die aus Expertensicht in ihrer Gesamtheit für die Entwicklung von Industrie 4.0 im Mittelstand von zentraler Bedeutung sind. Insgesamt stellen 24 verschiedene Fachautoren ihre Expertise zur Verfügung. Dabei wurde durch einen abwechslungsreichen Mix darauf geachtet, dass Einblicke aus Großkonzernen, Mittelstand sowie Start-ups vermittelt werden. Hierbei erheben wir als Autoren keineswegs den Anspruch auf Vollständigkeit der Behandlung eines derart komplexen Themas.

Der erste Teil dieses Buches orientiert sich an den drei für die Praxis von Industrie 4.0 besonders relevanten Aktionsfeldern Smart Services, Smart Products und Smart Factories (Bild 1).

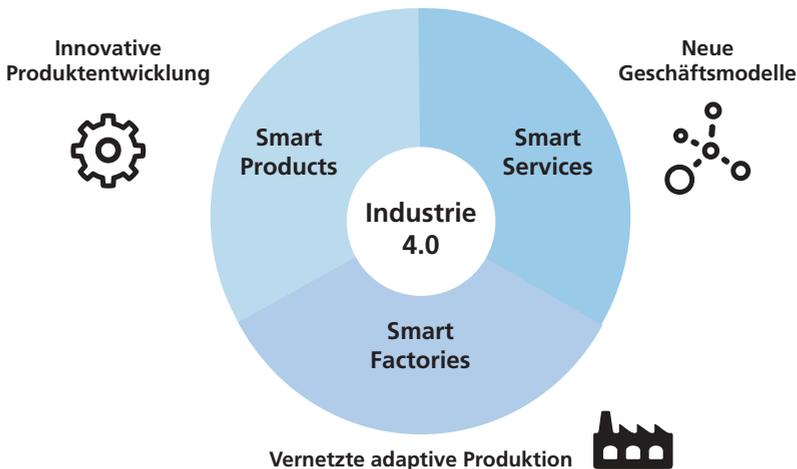


Bild 1 Vorrangige Aktionsfelder von Industrie 4.0

Welche Bedeutung hat das Wort «smart» im hier genannten Technikbezug? «Smart» ist eine Kombination aus immateriellen oder materiellen Gütern mit digitalen technischen Systemen, die vernetzt sind, intelligent miteinander kommunizieren und so einen Mehrwert für seinen Nutzer darstellen. Diese neuen technischen Funktionen können weit über das hinausgehen, was diese Güter ursprünglich einmal geleistet haben.

Smart Factories sind durch Softwaresysteme vernetzte adaptive Produktionssysteme mit einer Verzahnung der Wertschöpfungsnetzwerke. Der zeitnahen Verteilung und Bereitstellung von Informationen kommt hierbei eine Schlüsselfunktion zu. Wie kann nun der sichere, standardisierte Daten- und Informationsaustausch zwischen Geräten, Maschinen und Diensten realisiert werden? Neben der Echtzeitfähigkeit und Netzwerkfähigkeit zur Bereitstellung von Informationen spielt

auch die Wandlungsfähigkeit eine wichtige Rolle. Wir zeigen Beispiele von skalierbaren Architekturen mit dezentraler Intelligenz zu eigenen Entscheidungsfindungen.

Smart Products sind anwenderspezifisch flexibel angepasste Produkte mit intelligenter Vernetzung, die somit mit anderen Systemen kommunizieren können. Wir gehen der Frage nach, warum wir eine herstellerübergreifende Definition, basierend auf offenen Standards, benötigen und welchen Nutzen uns die Referenzarchitektur Industrie 4.0 und die Industrie-4.0-Komponente bieten. Industrie 4.0 bringt neue Anforderungen an die Vernetzbarkeit und Intelligenz von Komponenten und Lösungen. Hierzu erklären wir sieben allgemein gültige Basismerkmale.

Smart Services ist eine Kombination physischer und digitaler Dienstleistungen mit Mehrwerten für den Kunden. Diese können auf den Smart Products aufsetzen. Dadurch ist es möglich, die Marktpositionierung in jegliche Richtung zu verändern. Basis sind vernetzte Softwaresysteme, die in die Dienstleistungen implementiert werden. Welche Rolle spielen hierbei nun die Anforderungen der Kunden? Ist es sinnvoll, bestehende Geschäftsmodelle zu erweitern, oder sollten gleich neue Geschäftsmodelle eingeführt werden? Wir werden Einfluss und Wechselwirkungen von Angebots- und Marktpositionierung, Wertschöpfungskette sowie Erlösmodell erläutern.

Neben den drei vorrangigen Aktionsfeldern beschreiben wir Einflussfaktoren, deren Kenntnisse den anstehenden Wandel eines Unternehmens beschleunigen können. Wir erheben wiederum nicht den Anspruch der Vollständigkeit; unser Ziel ist es vielmehr, kompaktes Überblickwissen darzustellen.

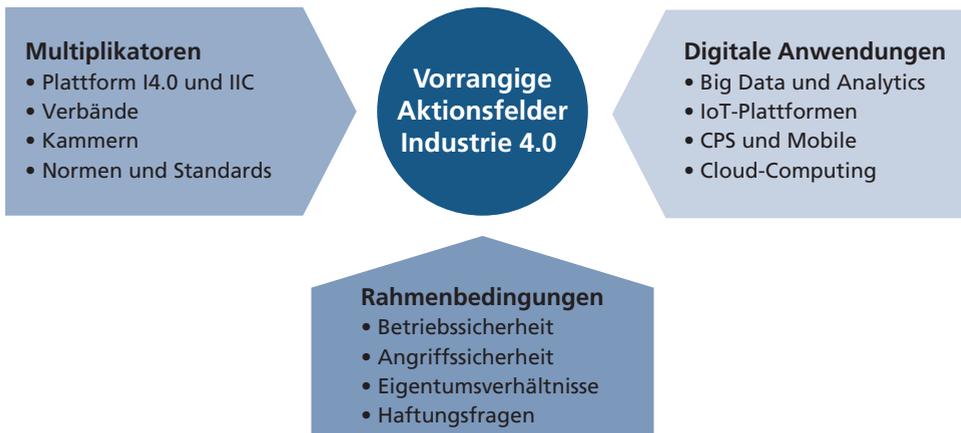


Bild 2 Einflussfaktoren auf die vorrangigen Aktionsfelder

Die Multiplikatoren bilden bei der Umsetzung von Industrie 4.0 wichtige Impulsgeber für neue Geschäftsmodelle, Methoden und Technologien. Die Plattform Industrie 4.0 ist dabei ohne Zweifel das zentrale Netzwerk für nationale und internationale Aktivitäten zur digitalen Transformation in Deutschland. Die von ihr vorgestellten Szenarien dienen als Orientierungshilfe und beschreiben konkret und vorstellbar eine mögliche Zukunft, damit Entscheidungsträger und Stakeholders gemeinsam darüber diskutieren können. Das **Industrial Internet Consortium (IIC)** setzt sein Augenmerk verstärkt auf Testbeds als wissenschaftliche Umgebung für Experimente. Beide Organisationen kooperieren zunehmend bei gemeinsamen Anwendungsfällen (*use case*) sowie im Umfeld internationaler Standardisierungsinitiativen.

Ohne Frage ist eine der wichtigsten Einflussfaktoren die digitale Informations- und Kommunikationsinfrastruktur mit ihren zahlreichen Anwendungen. Wir gehen dem Thema Big Data auf den Grund. Dabei beleuchten wir eingesetzte Technologien und bestehende Wirkmechanismen und beschreiben anhand von Einsatzmöglichkeiten im industriellen Umfeld, wo der Mehrwert für den Anwender liegt. Besondere Bedeutung widmen wir der intelligenten Datenanalyse und dem maschinellen Lernen.

Im folgenden Themenblock werden rechtliche Rahmenbedingungen des Schutzes von Wissen und Informationen im Unternehmen betrachtet. Welche Maßnahmen bieten sich zur Abwehr von Bedrohungen für Datensicherheit und den Datenschutz an? Spezielles Augenmerk richten wir dabei auf die Informationssicherheit von Industriesteueranlagen. Abschließend werden Maßnahmen und Best-Practice-Ansätze zur Erhöhung der IT-Sicherheit beschrieben.

Ich habe festgestellt, dass der Weg in Richtung Industrie 4.0 im Mittelstand noch weitgehend unbeschritten ist. Um zukünftigen Herausforderungen erfolgreich zu begegnen, müssen Sie die Digitalisierung der Industrie als Chance begreifen und die Transformation auf allen Unternehmensebenen konsequent vorantreiben. Als Herausgeber dieses Buches möchte ich dem Leser eine praxisorientierte Orientierungshilfe dafür geben.

Mein ganz besonderer Dank gilt FELIX GERG, der durch motivierenden Zuspruch, fachliche Diskussionen und konstruktive Anregungen in hohem Maße zum Gelingen der Arbeit beitrug. Danksagen möchte ich dem gesamten Team von Vogel Business Media für ihre freundliche Art und tatkräftige Unterstützung sowie den zahlreichen guten Ideen.

THOMAS SCHULZ

Inhaltsverzeichnis

Grußwort	5
(HENNING BANTHIEN)	
Vorwort des Herausgebers	7
(THOMAS SCHULZ)	

Digitale Revolution und digitaler Wandel

I Plattform Industrie 4.0	23
(HENNING BANTHIEN / DR. DANIEL SENFF)	
1 Digitale Transformation «Made in Germany»: Plattform Industrie 4.0 unterstützt Unternehmen auf dem Weg zur vernetzten Produktion	24
2 Gemeinsam den Wandel gestalten: Die Produktion von morgen	25
2.1 Auftragsgesteuerte Produktion	25
2.2 Wandlungsfähige Fabrik	26
2.3 Selbstorganisierende, adaptive Logistik	28
2.4 Value Based Services	30
2.5 Transparenz und Wandlungsfähigkeit ausgelieferter Produkte	32
3 Anwenderunterstützung in der Produktion	34
3.1 Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion	36
3.2 Innovative Produktentwicklung	37
3.3 Kreislaufwirtschaft	40
4 Handlungsbedarfe und Arbeitsgruppen	42
5 Mitwirkung und Beteiligungsmöglichkeiten	45
II Das Ökosystem des Industrial Internet	47
(DR. RICHARD SOLEY)	
III Die digital vernetzte Zukunft des Maschinen- und Anlagenbaus	51
(DR. CHRISTIAN MOSCH)	
1 Technologische Evolution als Voraussetzung für Industrie 4.0	52
2 Bedürfnisse kleiner und mittelständischer Unternehmen (KMU) im Maschinenbau	52

Smart Factories / Vernetzte Adaptive Produktion

I Interoperabilität für Industrie 4.0 mit OPC Unified Architecture	57
(STEFAN HOPPE)	
1 Service-orientierte Architektur OPC UA	58

2	Welche Daten und Dienste liefert ein Gerät oder eine Maschine?	59
2.1	Transport, Security, Zugriffsrechte	60
2.2	Modellierung	60
2.3	Keine Differenzierung mit OPC UA?	60
2.4	Dienste	61
2.5	Betriebssystem und Realtime	61
2.6	Skalierbarkeit	62
2.7	Adaptierung	63
3	Praktische Anwendungen von OPC UA	63
3.1	Anwendung vertikal: Energie-Monitoring und Big Data	63
3.2	Anwendung horizontal: M2M in der Wasserwirtschaft	64
3.3	Anwendung vertikal: IoT-Plattform	65
4	Roadmap und Ausblick auf Weiterentwicklungen	66
4.1	Trend: Informationsmodelle	66
4.2	Trend: Service-orientierte Architektur (SoA)	66
4.3	Trend: OPC UA im Chip	67
4.4	Trend: OPC UA mit TSN	67
5	Zusammenfassung	67
II	Deterministische Machine-to-Machine Kommunikation im Industrie 4.0 Umfeld	69
	(HEINRICH MUNZ / GEORG STÖGER)	
1	Die Bedeutung einer durchgängigen Industrie-4.0-Architektur	69
2	Die Big-Bounce-Theorie – Zentralisierung vs. Dezentralisierung von Rechenleistung	70
3	Interoperabilität – Warum nur genau ein M2M-Kommunikationsstandard so wichtig ist	71
3.1	Service-orientierte Architektur im Internet der Dinge	72
3.2	Semantische Servicebeschreibungen und Informationsmodelle	74
4	Echtzeit – ein häufig missverständener Begriff	76
5	Echtzeit-Anwendungen von OPC UA	78
5.1	Die Publisher/Subscriber-Architektur von OPC UA	80
5.2	Deterministische Echtzeit durch Time Sensitive Networking (TSN)	81
5.3	Werden durch OPC UA TSN herkömmliche Feldbusse überflüssig?	85
III	Lösungsbausteine für herstellerunabhängige, standardisierte Schnittstellen in der Produktion	87
	(DR.-ING. OLAF SAUER)	
1	Einführung	87
2	Maschinen- und Anlagenbau: Rückgrat und Herausforderung in Einem ..	88
2.1	Ausgangssituation in der Fabrik	89
2.2	Selbstbeschreibung von Maschinen und Anlagen	90
2.3	Selbstbeschreibung von Maschinenkomponenten	92

3	Werkzeuge und Standards	94
3.1	AutomationML™	95
3.2	OPC UA	95
3.3	Industrielle IoT-Adapter	95
4	Anwendungsfelder für produzierende Unternehmen	97
4.1	Neue Geschäftsmodelle für Maschinen-/Anlagenbauer und Komponentenlieferanten	97
4.2	Laufzeitdaten erfassen, speichern und auswerten	97
4.3	Neue Architekturen produktionsnaher IT-Systeme	99
5	Modularer Lösungsansatz	101
5.1	Ausgangspunkt der Arbeiten	101
5.2	Entwicklungspfad	103
6	Zusammenfassung und Handlungsbedarf	105

Smart Products / Innovative Produktentwicklung

I	Referenzarchitektur als Grundlage für neue Produkte zur Cloud-basierten Kommunikation	109
	(DR. PETER ADOLPHS)	
1	Was zeichnet die Kommunikation bei Industrie 4.0 aus?	110
2	Warum brauchen wir eine Referenzarchitektur für Industrie 4.0?	111
3	SOA – die Grundlage der Kommunikation für Industrie 4.0	113
4	Produktionshierarchie und deren Abbildung auf RAMI 4.0	114
5	Durchgängiges Engineering über den Produktlebenszyklus	115
6	RAMI-4.0-Layer-Struktur	116
7	Die Industrie-4.0-Komponente	117
8	Struktur der Verwaltungsschale	120
9	Anwendung von RAMI am Beispiel	120
10	Das RAMI-4.0-Architekturmodell im internationalen Kontext	124
II	Unterwegs lernen zu laufen: Smarte Produkte und Lösungen explorativ und agil entwickeln	127
	(MARTIN HANKEL)	
1	Industrie 4.0: Revolution und Evolution zugleich	127
1.1	Das Neue im Alten erkennen	128
1.2	In die Zukunft vortasten	128
2	Schnell Erfahrungen sammeln	129
2.1	Anwender: Kleine Veränderungen können große Effekte erzielen	129
2.2	Regelkreis zwischen Entwicklern und Anwendern	130
2.3	Sieben Merkmale für Industrie-4.0-Lösungen	131

2.3.1	Verteilte Intelligenz	131
2.3.2	Schnelle Vernetzung und flexible Konfiguration	132
2.3.3	Offene Standards	132
2.3.4	Virtuelles Echtzeitabbild	132
2.3.5	Digitales Lebenszyklus-Management	132
2.3.6	Sichere Wertschöpfungsnetzwerke	133
2.3.7	Mensch als Akteur	133
2.4	Prozessmodell zur Umsetzung von Industrie 4.0	133
3	Entwicklung von smarten Produkten	135
3.1	Smarte Produkte: Herstellerübergreifende Definitionen als Basis	135
3.2	RAMI 4.0 – Der Modellaufbau	136
3.3	Produktkriterien für Industrie-4.0-Produkte als Mindesteigenschaften	137
3.3.1	Identifikation	137
3.3.2	Industrie-4.0-Kommunikation	137
3.3.3	Industrie-4.0-Semantik	137
3.3.4	Virtuelle Beschreibung	138
3.3.5	Industrie-4.0-Dienste und -Zustände	138
3.3.6	Standardfunktionen	138
3.3.7	Security	138
3.4	Auswirkungen auf die Produktentwicklung	138
3.4.1	Services	138
3.4.2	Verteilte Intelligenz	139
3.4.3	Komponenten ohne eigene Intelligenz	139
3.4.4	Programmiersprachen aus der IT	139
3.4.5	Offenheit	139
3.4.6	Lebenszyklus	140
3.4.7	Kollaboration mit IT-Partnern	140
3.4.8	Daten	140
3.4.9	Neue Geschäftsmodelle	141
3.4.10	Zwischenfazit: Neuorientierung in der Produktentwicklung	141
4	Neue Prozesse für smarte Produkte – Agile Entwicklungsmethoden	143
4.1	Auf variable Ziele hin entwickeln	143
5	Beispiele für Industrie-4.0-fähige Produkte und Lösungen	144
5.1	IoT Gateway	144
5.2	Kommunikationsplattform Beispiel ActiveCockpit	144
5.3	Vom Condition Monitoring zur prädiktiven Wartung	146

Smart Services / Neue Geschäftsmodelle

I	Neue Ufer für traditionelles Geschäft: Geschäftsmodell- Architekturen für Industrie 4.0	151
	(DR. KARSTEN SCHWEICHHART)	
1	Treiber neuer Geschäftsmodelle – Warum es unabwendbar ist	151
2	Neue Geschäftsmodelle – datengetrieben, in Echtzeit, plattformbasiert	152
2.1	Datengetriebene Geschäftsmodelle	154

2.1.1	Wo entstehen Daten? Eine strukturierte Lokalisierung	155
2.1.2	Den Wert von Daten erhöhen	156
2.1.3	Datenbasierte Geschäftsmodelle – Das Basisrezept	157
2.2	Echtzeitbasierte Geschäftsmodelle	159
2.3	Plattformbasierte Ökosystem-Geschäftsmodelle – «Vier gewinnt»	161
2.3.1	Vier Rollen bilden eine Plattform	162
2.3.2	Eine Situation mit vier Gewinner	163
2.3.3	Vier Startkriterien	163
2.3.4	Vier Anbieter-Rollen im Plattformgeschäft	165
2.4	Der Mensch, die Technologie, das Recht	166
3	Enabler neuer Geschäftsmodelle – Digitale Business Transformation erforderlich	167
II	Erfolgreiche IoT-Geschäftsmodelle in der Industrie	171
	(JAN RODIG)	
1	Geschäftsmodelldefinition	171
2	Auswirkungen des IoT auf Geschäftsmodelle	172
2.1	Angebots- und Marktpositionierung: Bislang vor allem bestehende Kundengruppen im Fokus	172
2.1.1	Marktdurchdringung	173
2.1.2	Angebotsentwicklung	173
2.1.3	Marktentwicklung	173
2.1.4	Diversifikation	174
2.2	Wertschöpfungskette: Vom Produkt zum Service	174
2.2.1	Einfluss auf primäre Unternehmensaktivitäten	175
2.2.2	Einfluss auf sekundäre Unternehmensaktivitäten	177
2.3	Erlösmodell: Vom einmaligen zum nutzungs- und zeitabhängigen Erlös	178
2.3.1	Gegenstand der Monetarisierung	178
2.3.2	Erlösstrom	179
2.3.3	Erlösbeziehung	181
2.3.4	Dynamische und personalisierte Preismechanismen	182
3	Beispiele für erfolgreiche IoT-Geschäftsmodelle	182
3.1	IoT im Maschinen- und Anlagenbau	182
3.2	IoT in der Energiebranche	184
3.3	Weitere IoT-Geschäftsmodelle anderer Anbieter	185
4	Fazit und Ausblick	185

Digitale Anwendungen / Datenverarbeitung in der Industrie

I	Big Data – Vom Hype zum realen Nutzen in der industriellen Anwendung	189
	(KLAUS HÜBSCHLE)	
1	Megatrend Big Data	189

1.1	Ab wann reden wir von Big Data?	189
1.2	Wie wird Big Data heute eingesetzt?	190
1.3	Kosten / Nutzen und Smart Data	190
1.4	Erfolgreiche Killerapplikationen	191
1.5	Wer hat's erfunden?	192
1.6	Big Data und Cloud-Computing	192
1.7	Big Data ist Teamsport	193
2	Big Data in der industriellen Anwendung	193
2.1	Identifikation der wesentlichen Einflussfaktoren hilft Prozesse zu optimieren	193
2.2	Aufzeichnung des Nutzungsverhaltens verbessert Produkte	194
2.3	Datensammeln macht viele servicebasierte Geschäftsmodelle erst möglich und erfolgreich	194
2.4	Lieferketten werden optimiert und stabilisiert	195
2.5	Smarte Apps ersetzen den Experten vor Ort	195
2.6	Vorausschauende Wartung durch Predictive Analytics	196
2.7	Assistenzsysteme erleichtern Produktion und Wartung	196
2.8	Big Data erkennt Security-Risiken	196
3	Die Technologie-Basis von Big Data	197
3.1	Einteilung in Technologiekategorien	197
3.2	Cluster-Computing auf Commodity-Hardware macht Big Data erschwinglich	198
3.3	Das MapReduce-Verfahren – einfach, aber wirkungsvoll	198
3.4	Die Apache-Hadoop-Architektur	199
3.5	NoSQL-Datenbanken als Alternative zu RDBMS	203
3.6	In-Memory-Datenbanken	204
3.7	Streaming und Complex-Event-Processing analysieren Datenströme in Echtzeit	204
3.8	Machine Learning erlaubt Zukunftsprognosen	204
3.9	Programmiersprachen für Data Scientists	205
3.10	Interaktive Werkzeuge für Data Scientists und Power-User	206
3.11	Data Lakes machen das klassische Data-Warehouse Big-Data-fähig	206
4	Big Data und das Internet der Dinge	207
4.1	Das Internet der Dinge und Industrial-Internet-Systeme	207
4.2	IoT-Referenzarchitekturen	208
4.3	Fog Computing bringt die Intelligenz vor Ort	209
4.4	Die SPS als IoT-Controller	210
4.5	IoT-Plattformen als Cloud-basierte Lösungsbaukästen	210
5	Zusammenfassung und Ausblick	212
II	Machine Analytics – Wie aus Daten Werte für Industrie 4.0 entstehen	215
	(DR. MARCO HUBER / HENRIK OPPERMANN)	
1	Die Bedeutung von Big Data Analytics für Industrie 4.0	215
2	Die Verarbeitungskette der Datenanalyse	217

2.1	Datenerfassung	217
2.2	Datenvorverarbeitung	218
2.2.1	Datenbereinigung	219
2.2.2	Datentransformation	219
2.2.3	Datenreduktion	220
2.2.4	Datenintegration	220
2.3	Datenanalyse	220
2.3.1	Übersicht Machine Learning und Data Mining	220
2.3.2	Explorative Datenanalyse	223
2.3.3	Korrelation vs. Kausalität	223
2.3.4	Stromdaten-Analyse (Complex Event Processing)	224
2.4	Ergebnisdarstellung und -bewertung	224
3	Herangehensweise und Personen für erfolgreiche Datenanalysen	225
3.1	Der USU-Smart-Data-Prozess	225
3.2	Die Rolle des Menschen in der Datenanalyse	227
3.2.1	Der Data Scientist	228
3.2.2	Data Architect, Data Engineer und Data Analyst	229
3.2.3	Weitere wichtige Rollen	229
4	Beispielhafte Umsetzung	230
4.1	Architekturbeispiel für skalierbare Datenanalyse	230
4.2	Anwendungsbeispiele	232
4.2.1	Machine Analytics als Basis für Smart Services	232
4.2.2	Datenkorrektur von Testfahrtdaten	234
5	Ausblick und Zusammenfassung	236
5.1	Deep Learning: Überholen uns die Maschinen?	236
5.2	Zusammenfassung	237
III	Industrial Analytics – Daten einfach und verständlich vermitteln und Perspektiven ableiten	239
	(BARIS AYAZ)	
1	Maschinelles Lernen in der virtuellen Smart Factory	241
1.1	Was ist maschinelles Lernen?	241
1.2	Die virtuelle Smart Factory	241
1.3	Klassifikation – Effizienzsteigerung in der Qualitätssicherung	243
1.4	Ergebnisse richtig evaluieren und interpretieren	246
1.5	Regression – Optimale Produktionsplanung und -steuerung	249
1.6	Clustering – Ähnlichkeiten in Produktionsdaten aufdecken	253
2	Anwendungsgebiete für Industrial Analytics	254
2.1	Predictive Quality	254
2.2	Predictive Maintenance	255
2.3	Energy Analytics	256
3	Zusammenfassung	257

Rahmenbedingungen, Rechtsgrundlagen und Systemsicherheit

I	Know-how-Schutz im Umfeld von Industrie 4.0	261
	(SANDRA SOPHIA REDEKER)	
1	Einführung	261
2	Rechtliche Rahmenbedingungen	262
2.1	Welches Know-how ist geschützt?	262
2.2	Geheimnisschutz oder Registrierung gewerblicher Schutzrechte?	262
2.3	Änderungen aufgrund der Richtlinie zum Schutz von Geschäftsgeheimnissen	263
2.3.1	Der Begriff des Geschäftsgeheimnisses nach der neuen Richtlinie	264
2.3.2	Know-how-Verletzungen und Ausnahmen	265
2.3.3	Rechtsfolgen und prozessuale Geheimhaltung	266
3	Maßnahmen zum Schutz von geheimem Know-how im Rahmen digitaler Fertigungsprozesse	267
3.1	Risikoanalyse	267
3.2	Vertragliche Regelungen	268
3.2.1	Kooperationsvereinbarungen	270
3.2.2	Arbeitsverträge	271
3.2.3	Allgemeine Geschäftsbedingungen	272
3.3	Maßnahmen auf dem Gebiet der IT-Sicherheit	273
3.3.1	Gefahren für das Know-how	273
3.3.2	Nationales Referenzprojekt für IT-Sicherheit in der Industrie 4.0 ..	276
3.4	Organisatorische Maßnahmen	277
3.4.1	Personelle Maßnahmen	277
3.4.2	Technisch-organisatorische Maßnahmen	278
4	Zusammenfassung	280
II	Datensicherheit bei Smart Services und Cloud-Sicherheit und Datenschutz im Cloud-Computing	281
	(SRDAN DZOMBETA, ANDREAS KALENDER, SEBASTIAN SCHMIDT)	
1	Einleitung	281
2	Architektur	282
2.1	Cloud-Service-Modelle	282
2.2	Cloud-Deployment-Modell	283
2.3	Smart-Service-Architekturen	283
2.4	Service-orientierte Architekturen	284
3	Rechtlicher Rahmen	285
3.1	Allgemeines	285
3.2	Datenschutz	286
3.3	Informationssicherheit	287
4	Datensicherheit	289
4.1	Allgemeines	289

4.2	Normen, Standards, Frameworks	290
4.2.1	ISO 27 001	291
4.2.2	BSI-IT-Grundschutz	292
4.2.3	Trusted Cloud Label	293
4.2.4	EuroCloud StarAudit	293
4.2.5	NIST SP800-146	294
4.3	Gefährdungsszenarien	294
5	Best Practice	295
5.1	Datensicherheitsteam	295
5.2	Sicherheit durch Harmonisierung	296
5.3	Sicherheit durch Klarheit	296
5.4	Resilienz by Design	296
5.5	Domänenwissen	297
6	Zertifizierung	298
7	Auswahl und Kontrolle der Dienstleister	299
8	Zusammenfassung	302
III	Informationssicherheit in Industriesteueranlagen	303
	(WOLFGANG FRITSCHKE / DR. FELIX RUST)	
1	Aktuelle Herausforderungen und Bedrohungen	303
1.1	Das Vorgehen der Angreifer	304
1.2	Typen von Angreifern und Angriffen	308
1.3	Verwundbare Stellen	310
2	Maßnahmen zur Erhöhung der Informationssicherheit	311
2.1	Risikobewertung	312
2.2	Schutzbedarfsfeststellung	313
2.3	Bedrohungsanalyse	314
2.4	Schwachstellenanalyse	315
2.5	Kommunikationssicherheit	317
2.6	Systemhärtung	326
2.7	Organisatorische Sicherheitsmaßnahmen	327
2.8	Kontinuierliches Management der Informationssicherheit	328
3	Ansätze zur Weiterentwicklung der Informationssicherheit in Industrie 4.0	329
3.1	Neue Herausforderungen an die Informationssicherheit durch Industrie 4.0	329
3.2	Architekturansatz	330
3.3	Sichere Identitäten	331
3.4	Sichere unternehmensübergreifende Kommunikation für Industrie 4.0	332
4	Zusammenfassung	332

Resümee

Entwicklung und Ausblick von Industrie 4.0	337
(WOLFGANG DORST)	
Schlusswort des Herausgebers	339
(THOMAS SCHULZ)	

Sponsored Content

Der steinige Weg zur passenden IoT-Plattform	341
(tresmo)	
Industrie 4.0 muss in der Produktion immer ein geschäftsrelevantes Ziel haben!	345
(ABB)	

Abkürzungen	349
--------------------------	-----

Lebensläufe	353
--------------------------	-----

Quellenverzeichnis	359
---------------------------------	-----

Stichwortverzeichnis	371
-----------------------------------	-----

Digitale Revolution und digitaler Wandel

I Plattform Industrie 4.0

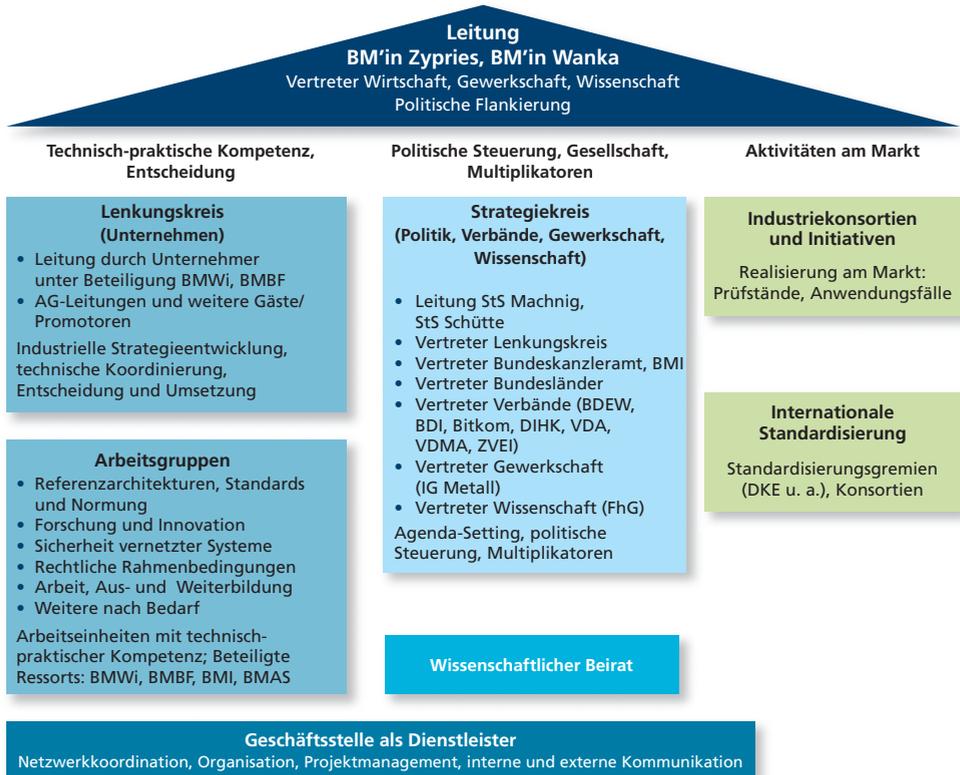


Bild I.1 Plattform Industrie 4.0 (Stand 01. März 2017)

1 Digitale Transformation «Made in Germany»: Plattform Industrie 4.0 unterstützt Unternehmen auf dem Weg zur vernetzten Produktion

Die Plattform Industrie 4.0 ist das zentrale Netzwerk für nationale und internationale Aktivitäten zur digitalen Transformation in Deutschland. Mit ihr zeigt Deutschland einen vielversprechenden Weg, Digitalisierung und Produktion systematisch zusammenzuführen. Die Plattform vereint diejenigen, die Industrie 4.0 mitgestalten wollen:

Der durch die Plattform etablierte Schulterschluss zwischen Wirtschaft, Verbänden, Wissenschaft, Gewerkschaften und Politik unterstützt das koordinierte Vorgehen in Wirtschaft und Gesellschaft durch die Abstimmung der verschiedenen Perspektiven und Ansätze. Dabei versteht sich die Plattform als ein Netzwerk, das Akteure zusammenführt, mit ihnen diskutiert, Prozesse moderiert, für Themen sensibilisiert und Unternehmen mobilisiert – damit Industrie 4.0 «Made in Germany» ein Erfolg wird. Die Arbeit der Plattform konzentriert sich dazu auf vier Bereiche:

1. Inhaltliche Empfehlungen erarbeiten

Deutschland soll einer der modernsten Industriestandorte bleiben und sich dynamisch weiterentwickeln. Die Arbeitsgruppen der Plattform erarbeiten hierfür aus Forschungs- und Praxiserkenntnissen Handlungsbedarfe und -empfehlungen für passende Rahmenbedingungen, die es Unternehmen vereinfachen, neue Denkansätze und technologische Entwicklungen aus dem Industrie-4.0-Kontext in die Unternehmenspraxis zu transferieren.

2. Unternehmen, insbesondere den Mittelstand, mobilisieren

Bisher befasst sich rund ein Drittel der Unternehmen in Deutschland mit dem Thema Industrie 4.0. Mit der Online-Landkarte zeigt die Plattform Praxisbeispiele und informiert über Fachveranstaltungen – damit noch mehr Unternehmen ihren Weg in die Industrie 4.0 finden. Anhand der vorhandenen Anwendungsfälle können sich Unternehmen informieren, mit dem Thema konkret auseinandersetzen und werden angeregt, entsprechende Szenarien zu erproben und umzusetzen.

3. Unterstützung aus einer Hand anbieten

Deutschland verfügt über viele Programme und Maßnahmen im Bereich Industrie 4.0. Die Plattform Industrie 4.0 bietet Interessenten schnellen Zugang zu Informationen, wie beispielsweise zu Fördermaßnahmen. Dabei dient die Plattform als zentraler Ansprechpartner für Interessierte im In- und Ausland. Somit werden Synergien erschlossen und Doppelarbeiten vermieden.

4. Internationale Vernetzung fördern

Den internationalen Austausch vorantreiben und die grenzüberschreitenden Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung gemeinsam angehen, das ist ein Kerngedanke der Plattform Industrie 4.0. Als wichtiger Ansprech- und Kooperationspartner treibt die Plattform in ersten Kooperationen auf europäischer und internationaler Ebene gemeinsame Industriestandards für eine vernetzte Produktion voran. Sie pflegt enge Kontakte zu Initiativen aus Japan, den USA, Frankreich, China sowie der Europäischen Kommission und baut diese systematisch aus. Dazu ist sie auf nationalen wie internationalen Veranstaltungen und Netzwerken präsent.

2 Gemeinsam den Wandel gestalten: Die Produktion von morgen

Industrie-4.0-Szenarien in 2020: ein systematischer Blick auf die Zukunft der Industrie. Mit der Erarbeitung konkreter Zukunftsszenarien der Industrie 4.0 bietet die Plattform sowohl den Unternehmen als auch der Politik, der Wissenschaft und den Arbeitnehmervertreterinnen und -vertretern eine Orientierungshilfe für die koordinierte Gestaltung der digitalen Transformation des Industriestandortes Deutschland. In Verbindung mit den bereits zu Industrie 4.0 realisierten Anwendungsbeispielen zeigen die Anwendungsszenarien ein Bild der Zukunft industrieller Produktion. Damit ermöglichen sie den Akteuren der Plattform sowohl eine fundierte Einordnung des Status quo als auch die Ableitung von Handlungsoptionen zur Gestaltung der digitalen Transformation der industriellen Produktion.

2.1 Auftragsgesteuerte Produktion

Dieses Anwendungsszenario stellt den Auftrag in den Mittelpunkt und beschreibt, wie die notwendigen Produktionsressourcen dynamisch über Unternehmensgrenzen hinweg für einen Auftrag zusammengestellt werden.

Autonome und automatisierte Vernetzung von Produktionsfähigkeiten über die eigenen Fabrikgrenzen hinaus zur Optimierung des Portfolios im Hinblick auf Kunden- und Marktanforderungen

Viele Produkte unserer Zeit verändern sich immer schneller. War das Displayglas eines Smartphones gestern noch eben, gibt es heute bereits erste gebogene Displays. Auch im Automobilbau wächst das Spektrum der eingesetzten Materialien stetig: Von Aluminium über hochfeste Stähle bis zu faserverstärkten Kunststoffen kommt heute eine Vielzahl unterschiedlicher Materialien zum Einsatz. Immer kürzer werdende Innovations- und Produktzyklen sowie die Verfügbarkeit neuer Produktionstechnologien zwingen produzierenden Unternehmen immer kürzere Reaktionszeiten und schnellere Investitionsentscheidungen auf – und das sowohl bei Konsum- als auch bei Investitionsgütern.

Um diesem Trend zu begegnen und langwierige Investitionsentscheidungen zu umgehen, beginnen Unternehmen, ihre Produktionsfähigkeiten über Unternehmensgrenzen hinweg immer stärker zu vernetzen.

Kerngedanke:

Das Anwendungsszenario «Auftragsgesteuerte Produktion» (Bild 2.1) beschreibt eine flexible Fertigungskonfiguration. Dank einer werks- und unternehmensübergreifenden Vernetzung von Produktionsfähigkeiten und Kapazitäten kann sie sich schnell an verändernde Markt- und Auftragsbedingungen anpassen und die Fähigkeiten und Kapazitäten bestehender Produktionsmittel bestmöglich ausnutzen. So wird das Potenzial der Vernetzung mit anderen Fabriken über die Grenzen des eigenen Werks hinaus dazu genutzt, das eigene Portfolio und insbesondere die Produktion im Hinblick auf die sich immer rascher ändernden Kunden- beziehungsweise Markt-

anforderungen auszurichten. Konkret werden die Fertigungsketten mit Blick auf unterschiedliche Parameter wie etwa Kosten und Zeit optimiert.

Im Kern beruht die auftragsgesteuerte Produktion auf einer Standardisierung der einzelnen Prozessschritte einerseits und der Selbstbeschreibung von Fähigkeiten der Produktionsmittel andererseits. Diese Standardisierung erlaubt die automatisierte Auftragsplanung, -vergabe und -steuerung zur Einbindung aller benötigten Fertigungsschritte und Produktionsmittel. Einzelne Prozessmodule können so wesentlich flexibler als früher miteinander kombiniert und ihre spezifischen Fähigkeiten genutzt werden.

Dazu bieten Unternehmen freie Fertigungskapazitäten an und steigern auf diese Weise die Auslastung des eigenen Maschinenparks. Bei Bedarf greifen andere Unternehmen auf die angebotenen Kapazitäten zu und erweitern so temporär das eigene Fertigungsspektrum. Bestehende Produktionskapazitäten werden so besser ausgelastet und Auftragsschwankungen ausgeglichen. Ziel ist es, die Einbindung von externen Fabriken in den Produktionsablauf möglichst selbstständig ablaufen zu lassen. Insbesondere soll die dazu notwendige Auftragsvergabe weitgehend automatisiert durchgeführt werden.

Im Ergebnis ...

Auf der einen Seite eröffnet sich für produzierende Unternehmen die Möglichkeit, die eigenen Fertigungsfähigkeiten und Kapazitäten ad hoc entsprechend der Auftragslage durch die Einbindung externer Produktionsmodule weitgehend automatisiert zu erweitern. Investitionsmittel werden dabei nicht gebunden. Sie werden so in die Lage versetzt, sehr flexibel auf veränderte Markt- und Kundenanforderungen zu reagieren. Auf der anderen Seite können Unternehmen, die ihre Maschinen auf dem Markt anbieten, ihre Kapazitätsauslastung optimieren.

2.2 Wandlungsfähige Fabrik

Dieses Anwendungsszenario (Bild 2.1) stellt eine Produktionsressource – in Abgrenzung zum Anwendungsszenario «Auftragsgesteuerte Produktion», in dem die unternehmensübergreifende Vernetzung im Fokus steht – in den Mittelpunkt und beschreibt, wie diese im Hinblick auf die Wandlungsfähigkeit gestaltet werden kann und welche Konsequenzen dies für den Lieferanten der Produktionsressource sowie den Systemintegrator hat.

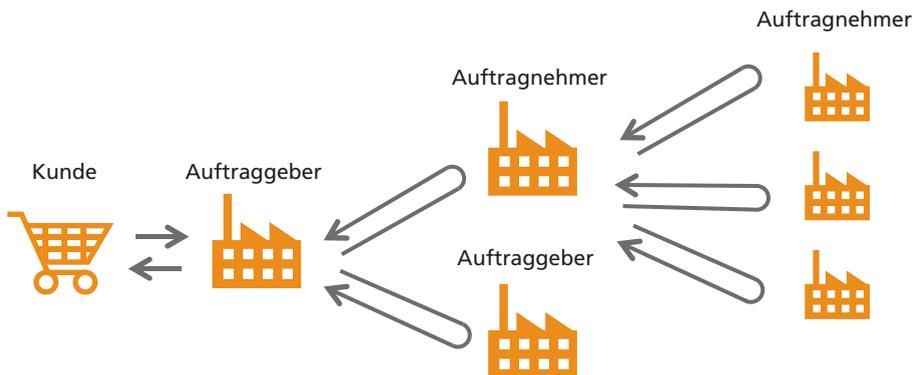


Bild 2.1 Wertschöpfungsnetz «Auftragsgesteuerte Produktion»

Plug & Produce – adaptierbare Fertigungskonfiguration innerhalb einer Fabrik zur kurzfristigen Veränderung von Produktionskapazitäten und Produktionsfähigkeiten

Plug & Play – an den heimischen PC lassen sich mittels USB-Kabel neue Geräte einfach anschließen und sind meist schon nach kurzer Zeit ohne weiteres Zutun nutzbar. Was beim Computer auf dem Schreibtisch schon lange Realität ist, wird zunehmend auch für die industrielle Produktion relevant. Die Anforderungen an die Wandlungsfähigkeit von Produktionsinfrastruktur steigen bereits heute ganz massiv. Immer kürzere Produkt- und Innovationszyklen machen es erforderlich, bei der Investitionsentscheidung für neue Produktionsanlagen nach Möglichkeit bereits künftig geforderte Fertigungsfähigkeiten und Prozessänderungen einzubeziehen. Zudem erschwert die steigende Volatilität von Aufträgen immer häufiger die optimale Auslastung von Fertigungslinien. Flexibilität und Wandlungsfähigkeit werden immer stärkere Entscheidungskriterien beim Bau und Betrieb neuer Produktionsanlagen.

Ein Beispiel ist das Bedrucken von Produkten. Hier kommen unterschiedliche Drucktechniken zum Einsatz – je nach Druckaufgabe beispielsweise Tampondrucker (Übertrag der Druckfarbe durch einen elastischen Tampon von der Druckform auf das Produkt), Tintenstrahldrucker und / oder Laserdrucker. In der wandlungsfähigen Fabrik können solche Betriebsmittel direkt an die Automation im Produktionsprozess angeschlossen werden. Einfach ausgedrückt, wird das zu bedruckende Material sagen: «Bedrucke mich», und der Tampondrucker wird fragen: «Ist das zu bedruckende Material fettfrei?», der Tintenstrahldrucker wird zusätzlich nach der Materialbeschaffenheit fragen, da er zum Beispiel für den Trockenprozess eine Hitzequelle verwendet, und der Laserdrucker wird nach dem zu beschriftenden Material fragen, um den Kontrast abzusichern.

Kerngedanke:

Das Anwendungsszenario der wandlungsfähigen Fabrik beschreibt den schnellen und unter Umständen auch weitgehend automatisierten Umbau einer Fertigung – sowohl im Hinblick auf geänderte Fertigungskapazitäten als auch auf geänderte Fertigungsfähigkeiten. Zentrales Konzept zur Umsetzung ist ein modularer und somit wandlungsfähiger Aufbau der Herstellung innerhalb einer Fabrik. Intelligente und interoperable Module, die sich weitgehend selbstständig an eine veränderte Konfiguration anpassen, und standardisierte Schnittstellen zwischen diesen Modulen ermöglichen so einen einfachen und schnellen Umbau, der sich an geänderte Markt- und Kundenanforderungen anpasst. Während im Anwendungsszenario «Auftragsgesteuerte Produktion» der Schwerpunkt bei der flexiblen Nutzung existierender Fertigungseinrichtungen durch intelligente Vernetzung liegt, beschreibt dieses Szenario die Wandlungsfähigkeit einer einzelnen Fabrik durch den (physischen) Umbau.

Beim Aufbau einer Produktionslinie steht heute in der Regel – zusätzlich zur Qualität – die Maximierung von Produktivität und Wirtschaftlichkeit im Hinblick auf eine vorgedachte Produktpalette im Vordergrund. Die einzelnen Komponenten werden in eine statische Beziehung zueinander gesetzt und sind in der Lage, die vorgedachten Funktionalitäten und Mengenerwartungen zu beherrschen. Oft übernimmt ein Systemintegrator die Abstimmung der Einzelkomponenten aufeinander sowie die Entwicklung einer Steuerung der Gesamtanlage. Wird die Auftragslage jedoch durch eine hohe Individualität der Produkte oder eine hohe Volatilität der Nachfrage geprägt, können so geplante Produktionslinien ihre Stärken nicht mehr ausspielen. Modular aufgebaute, auftragspezifisch wandlungsfähige Fertigungskonfigurationen gewinnen dann an Wert: Sie steigern beispielsweise die Gesamtauslastung der Fertigung oder die Lieferfähigkeit. Damit ändern sich aber auch die Anforderungen an einzelne Maschinen oder Fertigungsmodule: Wichtiger noch als eine hohe Varianz spezifischer Fertigungsvorgänge wird die