



Leseprobe

Handbuch Industrie 4.0

Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik

Herausgegeben von Gunther Reinhart

ISBN (Buch): 978-3-446-44642-7

ISBN (E-Book): 978-3-446-44989-3

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44642-7>

sowie im Buchhandel.

Gunther Reinhart

Handbuch Industrie 4.0

Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik

HANSER

Der Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart, Technische Universität München

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek:

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

ISBN: 978-3-446-44642-7

E-Book-ISBN: 978-3-446-44989-3

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 Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Alle in diesem Buch enthaltenen Verfahren bzw. Daten wurden nach bestem Wissen erstellt und mit Sorgfalt getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die in diesem Buch enthaltenen Verfahren und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Verfahren oder Daten oder Teilen davon entsteht.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle – reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.



© Carl Hanser Verlag, München 2017

www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Dipl.-Ing. Volker Herzberg, Julia Stepp

Herstellung: Cornelia Rothenaicher

Satz: Kösel Media GmbH, Krugzell

Coverrealisierung: Stephan Rönigk

Titelmotiv: Frank Wohlgemuth, Hamburg

Druck und Bindung: FIRMENGRUPPE APPL, aprinta druck GmbH, Wemding

Printed in Germany

Vorwort

Ein neues Zeitalter der Industrialisierung beginnt: Objekte, Maschinen und Geräte werden intelligent, nutzen das Internet der Dinge und kommunizieren mit den Menschen auf natürliche Weise. Potenzial genug, die Automatisierung der Produktion neu zu definieren. Sie wird sich nicht nur weiter beschleunigen, sondern auch leistungsfähiger und intelligenter werden. Gerne bezeichnen wir die Transformation unserer Fabriken in dieses neue Zeitalter mit dem Begriff der 4. Industriellen Revolution. Sie wird in den nächsten Jahren die Art, in der Produkte entwickelt, gefertigt und vertrieben werden, vollständig verändern.

Durch die digitale Vernetzung der Kunden, Produzenten und Lieferanten werden sich völlig neue Prozesse etablieren. Das vorliegende Handbuch möchte diese Entwicklung begleiten. Es beschreibt, wie sich die Unternehmen mit Hilfe überall verfügbarer Rechnerleistung (Cloud) und sinnvoll genutzter Datenbankkapazitäten (Big Data) neue Geschäftsfelder erschließen können. Es beantwortet auch die Frage, wie aus Maschinen, Robotern und Anlagen Cyber-physische Produktionssysteme werden. Ganz neue Geräte und Systeme der Automatisierung werden entstehen und auf den internationalen Märkten der Industrieausrüstung angeboten.

Leider ist Industrie 4.0 weder ein Produkt noch ein Prozess. Erst einmal ist es auch kein Projekt, vielmehr ist es ein Impuls und eine Aufforderung an die produzierende Industrie, durch die Integration moderner Informations- und Kommunikationstechnologie neuartige, intelligente Produktionsanlagen und Produktionssysteme zu entwickeln. Gerne wird hierfür auch der englische Begriff der Smart Factory verwendet. Jedes Unternehmen muss für sich selbst entwickeln und entscheiden, wie seine Smart Factory aussieht. Dazu sind geeignete Projekte mit dem Commitment der Unternehmensleitung zur Definition und zum Aufbau der eigenen intelligent vernetzten Produktion aufzu-

setzen. Wenigstens sind die „Zutaten für Industrie 4.0“, also die Elemente der Smart Factory bekannt: Die Cyber-physischen Produktionssysteme, das Internet der Dinge, Sensornetzwerke, die Cloud Services, Big Data Analytics, Digitale Schatten und Digitale Zwillinge, kurz die Digitale Fabrik. Nicht zu vergessen kognitive und physische Assistenzsysteme wie kooperative Roboter.

In diesem Handbuch Industrie 4.0 erfahren Sie, wie durch den Einsatz neuer Technologien neuartige Produktionssysteme für kundenindividuelle Produkte und Services wirtschaftlich darstellbar sind. Auch Produkt-Service-Kombinationen und neuartige softwarebasierte Geschäftsplattformen werden behandelt. Ebenso zeigt das Handbuch, wie die vorhandenen Ressourcen auf die digitale Fabrik bzw. die Smart Factory umgestellt werden können. Viele verfügbaren Automatisierungskomponenten, Werkzeug- und Verarbeitungsmaschinen sind bereits Industrie 4.0-fähig oder können für die Transformation vorbereitet werden. Die Herausforderung liegt in der Realisierung einer leistungsfähigen Echtzeitkommunikation zwischen diesen so genannten Cyber Physical Systems (CPS).

Das Handbuch gliedert sich in drei Teile, welche systematisch aufeinander aufbauen. Im Teil A *Prozesse der Smart Factory* wird anhand mehrerer Beiträge beschrieben, wie sich die Prozesse in der Smart Factory verändern und welche organisatorischen, technischen, rechtlichen und nicht zuletzt menschlichen Aspekte dies betrifft. Auch neue Geschäftsmodelle und entsprechende Transformationsstrategien werden behandelt. Teil B beschreibt *Cyber-physische Komponenten für die Produktion*. Wir beginnen mit dem intelligenten Werkstück mit Produktgedächtnis, setzen fort mit Werkzeugen, Werkzeugmaschinen und Anlagen mit ihrer Verkettung als Cyber-physische Systeme und schließen mit Aspekten der Montage, der Logistik und der Automatisierung.

Teil C stellt schließlich konkrete *Anwendungsbeispiele* vor. Von vernetzten Anlagen für die spanende Fertigung über vernetzte Montage- und Verpackungsanlagen geht es zu branchenbezogenen Beispielen: Die Automobilindustrie, die Luftfahrtindustrie, die Elektronikindustrie und den Werkzeugbau mit seiner individuellen Einzel- und Kleinserienfertigung.

Das Handbuch erklärt die Schnittstellen, die Verknüpfung mit der bereits eingeführten und im Consumer-Markt etablierten Informations- und Kommunikationstechnologie sowie mit den zugehörigen Geräten und auch den Aufbau neuer Strukturen und Abläufe. Jedes Unternehmen, das in den nächsten Jahren wettbewerbsfähig bleiben möchte, befasst sich bereits konkret mit Industrie 4.0. Dieses Handbuch ist ein unverzichtbarer Ratgeber auf dem Weg in dieses neue Zeitalter.

Ich möchte mich hiermit ganz herzlich bei den zahlreichen Autoren, meinen Kollegen und ihren wissenschaftlichen Mitarbeitern bedanken. Sie haben spontan und proaktiv die Idee eines derartigen Handbuchs aufgegriffen und mit ihren Beiträgen bereichert. Nur so

war es möglich in derart kurzer Zeit ein so umfassendes Opus zu erstellen. Genauso intensiv möchte ich mich auch bei den Koordinatoren und Lektoren dieses Buchprojekts bedanken, ganz besonders bei Herrn Dino Knoll. Er und seine Kollegen haben mit unermüdetem Einsatz dafür gesorgt, dass die Beiträge inhaltlich wie zeitlich zusammenpassten, die Begrifflichkeit abgestimmt wurden und so ein für die Praxis hilfreiches Werk entstand. Schließlich danke ich dem Hanser Verlag und insbesondere Herrn Volker Herzberg und Frau Julia Stepp für die professionelle Betreuung des Buches und für die Möglichkeit, ein solches Werk gemeinsam zu erarbeiten und zu publizieren.

Gunther Reinhart

München im April 2017

Allen Autorinnen und Autoren ist die Gleichbehandlung der Geschlechter ein Anliegen. Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wurde nur die maskuline Form verwendet.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	VII
Der Herausgeber	XXIII
Autorenverzeichnis	XXV
Von CIM zu Industrie 4.0	XXXI
<i>Gunther Reinhart, Detlef Zühlke</i>	
Industrielle Revolutionen	XXXI
Globalwirtschaftliche Einflussfaktoren (Market Pull)	XXXV
Technologische Einflussfaktoren (IK-Technology Push)	XXXVIII

TEIL A

Prozesse der Smart Factory

1 Geschäftsmodell-Innovation	3
<i>Gunther Schuh, Michael Salmen, Philipp Jussen, Michael Riesener, Violett Zeller, Tobias Hensen, Advan Begovic, Martin Birkmeier, Christian Hocken, Felix Jordan, Jan Kantelberg, Christoph Kelzenberg, Dominik Kolz, Christian Maasem, Jan Siegers, Maximilian Stark, Christian Tönnies</i>	
1.1 Die Transformation vom Produkt- zum Lösungsanbieter	3
1.2 Der Digitale Schatten als Basis für Predictive Analytics	10
1.3 Innovationsarten zur Einführung neuer Geschäftsmodelle und Kundenorientierung durch neue Innovationsprozesse	12
1.4 Netzwerkartige Wertschöpfungssysteme	18
1.5 Plattformansätze zur Kollaboration	21
1.6 Wandel zum Industrie 4.0-Unternehmen	24
2 Veränderung in der Produktionsplanung und -steuerung	31
<i>Peter Nyhuis, Marco Hübner, Melissa Quirico, Philipp Schäfers, Matthias Schmidt</i>	
2.1 Einführung in die PPS	31
2.2 Transparenz durch Datenverfügbarkeit als Enabler für eine leistungsfähigere PPS	33
2.3 Potenziale der Digitalisierung für die Aufgaben der PPS	34
2.3.1 Produktionsprogrammplanung	35
2.3.2 Auftragsmanagement und Auftragsversand	35

2.3.3	Sekundärbedarfsplanung	37
2.3.4	Fremdbezugsgrobplanung und Fremdbezugsplanung	38
2.3.5	Produktionsbedarfsplanung	40
2.3.6	Eigenfertigungsplanung	40
2.3.7	Eigenfertigungssteuerung	41
2.3.8	Bestandsmanagement	42
2.3.9	Produktionscontrolling	43
2.4	Mythos PPS 4.0	45
3	Der Mensch in der Produktion von Morgen	51
	<i>Gunther Reinhart, Klaus Bengler, Christiane Dollinger, Carsten Intra, Christopher Lock, Severina Popova-Dlogosch, Christoph Rimpau, Jonas Schmidtler, Severin Teubner, Susanne Vernim</i>	
3.1	Die Bedeutung von Industrie 4.0 für den Mitarbeiter	51
3.2	Grundlegende Konzepte und Modelle	54
3.2.1	Das Konzept Mensch – Technik – Organisation (MTO)	54
3.2.2	Belastungs-Beanspruchungskonzept	56
3.2.3	Gestaltung von Assistenzsystemen	57
3.2.4	Systemergonomische Analyse	59
3.3	Qualifizierung des Produktionsmitarbeiters in der Industrie 4.0	60
3.3.1	Entwicklungstendenzen der Arbeit in der Produktion durch Industrie 4.0	60
3.3.2	Charakteristik des Produktionsmitarbeiters der Zukunft	63
3.3.3	Qualifikationsbedarf für den Produktionsmitarbeiter der Zukunft	64
3.4	Individuelle dynamische Werkerinformationssysteme	66
3.4.1	Übersicht Werkerinformationssysteme	68
3.4.2	Individuelle Werkerinformation	72
3.4.3	Dynamische Werkerinformation	77
3.5	Mensch-Roboter-Interaktion	77
3.6	Personalführung	79
3.6.1	Auswirkungen einer stärkeren Vernetzung und Digitalisierung	79
3.6.2	Auswirkungen des demografischen Wandels und veränderten Werteverständnisses	81
3.6.3	Auswirkungen des produktionstechnischen Umfelds	82
3.6.4	Anschauungsbeispiel: Reduzierung kognitiver Belastung für Führungspersonen ...	84
4	Daten, Information und Wissen in Industrie 4.0	89
	<i>Jörg Krüger, Axel Vick, Moritz Chemnitz, Martin Rosenstrauch, Johannes Hügler, Maximilian Fechteler, Matthias Blankenburg</i>	
4.1	Maschinensteuerung aus der Cloud – Automation as a Service	89
4.1.1	Einführung zu Cloud-Plattformen und -Diensten	89
4.1.2	Potenziale der Cloud für die Produktion	91
4.1.3	Wege zur Cloud-basierten Automatisierung	92
4.2	Big Data	97
4.2.1	Definitionen	98
4.2.2	Tools	99
4.2.3	Anwendungen	100
4.2.4	Mögliche Anwendungsgebiete	101

4.3	Kommunikation	104
4.3.1	Kommunikationstechnik für die Produktion: Bereit für Industrie 4.0?	104
4.3.2	Kommunikation auf der Feldebene	106
4.3.3	Drahtloskommunikation in der Fabrik	106
4.3.4	Middleware und Standards: Die Fabrik vernetzt sich	107
4.3.5	Potentiale des taktilen Internets	108
5	Cyber-Sicherheit in Industrie 4.0	111
	<i>Claudia Eckert</i>	
5.1	Motivation	111
5.2	Sicherheitsbedrohungen und Herausforderungen	112
5.2.1	Charakteristika von Industrie 4.0	113
5.2.2	Bedrohungen	114
5.2.2.1	Angreifertypen	114
5.2.2.2	Bedrohungen für Industrial Control Systems	114
5.2.3	Anforderungen an die Cyber-Sicherheit	116
5.2.3.1	Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen	116
5.2.3.2	Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten	117
5.2.3.3	Produktion intelligenter Produkte, Verfahren und Prozesse	118
5.2.3.4	Orientierung an individualisierten Kundenwünschen	119
5.2.3.5	Verfügbarkeit relevanter Informationen in Echtzeit	119
5.3	Cyber-Sicherheit: Lösungsansätze	120
5.3.1	Sicherheitsleitfaden	121
5.3.2	Produkt- und Know-how-Schutz	123
5.3.2.1	Software Reverse Engineering und Gegenmaßnahmen	123
5.3.2.2	Absicherungskonzepte für industrielle Steuerungsanlagen	126
5.3.3	Sicherheit von Apps	127
5.3.3.1	Ausgewählte Problembereiche von Android-Apps	127
5.3.3.2	App-Ray-Analysewerkzeug	128
5.3.4	Datensouveränität: Industrial Data Space	130
5.3.4.1	Architekturüberblick	131
5.3.4.2	Sicherheitsarchitektur	132
5.3.4.3	Anwendungsszenario: Predictive Maintenance	134
5.4	Zusammenfassung	135
6	Organisation, Qualität und IT-Systeme für Planung und Betrieb	137
	<i>Michael Niehues, Gunther Reinhart, Robert H. Schmitt, Günther Schuh, Felix Brambring, Max Ellerich, Hannes Elser, Daniel Frank, Sebastian Groggert, Andreas Gützlaff, Verena Heinrichs, Thomas Hempel, Kevin Kostyszyn, Hao Ngo, Laura Niendorf, Eike Permin, Jan-Philipp Prote, Christina Reuter, Robin Türtmann</i>	
6.1	Systeme für Geschäftsprozesse	137
6.1.1	Systeme zur Planung und zum Betrieb der Geschäftsprozesse	137
6.1.1.1	Enterprise Resource Planning	137
6.1.1.2	Manufacturing Execution Systems	137
6.1.1.3	Advanced Planning and Scheduling	139

6.1.1.4	PPS als Schnittmenge von ERP und MES	139
6.1.2	Trends im Planning and Scheduling	140
6.1.2.1	Echtzeitdatenerfassung und unternehmensübergreifende Bereitstellung ...	140
6.1.2.2	Zentrale, dezentrale und hybride Steuerungsstrukturen	143
6.1.2.3	Plattformstrategie und App-basierte Individualisierung	145
6.1.2.4	Werkzeuge zur zielgruppenspezifischen Datenaufbereitung	145
6.2	Organisation und IT	146
6.2.1	Organisation von Planung und Betrieb	146
6.2.2	Cyber-physische Systeme zur Unterstützung der Planung und des Betriebs	147
6.2.2.1	Hochauflösende Datenaufnahme	147
6.2.2.2	Prognosefähigkeit durch echtzeitnahe Simulation	150
6.2.2.3	Entscheidungsunterstützung mittels intuitiver Visualisierung	153
6.3	Qualität und IT	154
6.3.1	Computerized Quality	155
6.3.2	Trends im Kontext von Industrie 4.0	157
6.3.2.1	Data Analytics zur Steigerung von Produkt- und Prozessqualität	157
6.3.2.2	Smart Devices für die Qualitätssicherung	160
6.3.2.3	Plattform-basierte Kollaboration für eine bessere Ressourcennutzung	161
6.3.2.4	Selbstoptimierende Prüfsysteme	164
6.3.2.5	Interaktive Prozessdokumentation auf Wiki-Basis	164
6.3.3	Fazit	165
7	Aspekte der Fabrikplanung für die Ausrichtung auf Industrie 4.0	169
	<i>Uwe Dombrowski, Tobias Stefanak, Philipp Krenkel</i>	
7.1	Aktueller Stand und Weiterentwicklung der Digitalen Fabrik	169
7.1.1	Definition der Digitalen Fabrik	170
7.1.2	Methoden und Werkzeuge der Digitalen Fabrik	172
7.1.3	Nutzen der Digitalen Fabrik	175
7.2	Beitrag der Digitalen Fabrik zur Ausrichtung der Fabrikplanung auf Industrie 4.0	177
7.2.1	Betriebsanalyse	178
7.2.2	Grobplanung	180
7.2.3	Feinplanung	183
7.2.4	Umsetzung	186
7.2.5	Betrieb, Tuning und Anpassung	186
7.3	Zusammenfassung und Ausblick	188
8	Rechtsfragen bei Industrie 4.0: Rahmenbedingungen, Herausforderungen und Lösungsansätze	191
	<i>Gerrit Hornung, Kai Hofmann</i>	
8.1	Handlungsbedarf	191
8.2	Datenhoheit	191
8.2.1	Konzeptionelle Schutzrichtungen	192
8.2.2	Schutz in der unmittelbaren Einflussosphäre	193
8.2.3	Immaterialgüterrecht	193
8.2.4	Schutz von Unternehmensgeheimnissen	195
8.2.5	Faktische Datenhoheit durch Softwareschutz	197

8.2.6	„Dateneigentum“	198
8.2.7	Fazit	199
8.3	Haftung und Rechtsgeschäfte	200
8.3.1	Haftung	200
8.3.1.1	Vertragliche Haftung	200
8.3.1.2	Gesetzliche Haftung	201
8.3.2	Rechtsgeschäfte	202
8.4	Datenschutzrecht	204
8.4.1	Betriebliche Mitbestimmung	204
8.4.2	Grundsätzliche Anforderungen im Betrieb	204
8.4.3	Zusammenarbeit mit Dritten	205
8.5	IT-Sicherheitsrecht	206
8.5.1	Reichweite des IT-Sicherheitsgesetzes	206
8.5.2	Auswirkungen auf die Industrie 4.0	207
8.5.3	Untersuchungsbefugnisse des BSI	208
8.6	Fazit	208
9	Strategien zur Transformation der Produktionsumgebung	213
	<i>Dennis Kolberg, Ellina Marseu, Dominic Gorecky, Jonas Koch, Christian Plehn, Detlef Zühlke, Gunther Reinhart</i>	
9.1	Identifikation von Handlungsbedarfen	213
9.2	Management von Änderungen in der Produktion	217
9.2.1	Aufbau und Kontext des Änderungsmanagements in der Produktion	218
9.2.2	Der Änderungsprozess für eine digitalisierte Produktion	219
9.2.2.1	Phase I: Proaktivität	220
9.2.2.2	Phase II: Reaktivität	221
9.2.2.3	Phase III: Retrospektivität	222
9.2.3	Analyse von Produktionsänderungen	222
9.2.4	Zusammenfassung	225
9.3	Definition von Anforderungen für CPPA	226
9.3.1	Status Quo bei der Erstellung von Lastenheften im Kontext der Produktion	227
9.3.2	Vorgehen und Checkliste zur Erstellung von Lastenheften für CPPA	227
9.3.2.1	1. Schritt: Projektziel festlegen	228
9.3.2.2	2. Schritt: Problemfelder identifizieren	228
9.3.2.3	3. Schritt: Lösungsalternativen bestimmen	229
9.3.2.4	4. Schritt: Lösungsalternativen abstimmen und integrieren	230
9.3.2.5	5. Schritt: Finales Lastenheft erstellen	230
9.4	Vorgehen zur Konzeption und Realisierung	232
9.4.1	Status Quo bei der Produkt- bzw. Systementwicklung	233
9.4.1.1	Disziplinspezifische Vorgehensmodelle und Werkzeuge	234
9.4.1.2	Disziplinübergreifende Vorgehensmodelle und Werkzeuge	237
9.4.1.3	Status Quo bei der Entwicklung von CPS-basierten Lösungen	239
9.4.1.4	Status Quo bei der Entwicklung von wandelbaren Produktionsanlagen	242
9.4.2	Entwicklungsmethodik für Cyber-physische Produktionsanlagen	242
9.4.2.1	Phasen 1 und 2: Übergreifende System- und Subsystementwürfe	244
9.4.2.2	Phase 3: Detaillierter Subsystementwurf	249

9.4.2.3	Phasen 4 und 5: Integration	253
9.5	Zusammenfassung	254
10	Systematische Einbindung von Kunden in den Innovationsprozess	257
	<i>Simon Bock, Johann Füller, Giordano Koch, Udo Lindemann</i>	
10.1	Notwendigkeit und Chancen der Kundeneinbindung in Zeiten der Digitalisierung	257
10.2	Öffnen des Innovationsprozesses durch Open Innovation	259
10.3	Kundeneinbindung in den Innovationsprozess	260
10.3.1	Phasen der Kundeneinbindung	260
10.3.2	Methoden zur Einbindung von Kunden und externen Akteuren	261
10.3.3	Ideen, Konzepte und Technologien	263
10.4	Von Mass Customization zum kundeninnovierten Produkt	265
10.5	Agile Entwicklungsprozesse	266
10.6	Produktarchitekturen adaptierbarer und individualisierbarer Produkte	272
10.7	Kostenbeurteilung adaptierbarer und individualisierter Produkte	275
11	Industrie 4.0 und die Steigerung der Energieeffizienz in der Produktion	279
	<i>Sebastian Thiede, Gerrit Posselt, Christoph Herrmann</i>	
11.1	Energieflüsse und Energieeffizienz in der Produktion	279
11.2	Cyber-physische Produktionssysteme im Kontext der Energieeffizienz	281
11.3	Energetransparente Maschinen	282
11.4	Energieeffizienz in der Prozesskette – Dynamischer Energiewertstrom	285
11.5	Energieeffizienz auf Fabrikebene	287
11.5.1	3D-Monitoring thermischer Emissionen	287
11.5.2	Multi-Level-Simulation	288
11.6	Zusammenfassung und Ausblick	290

TEIL B

Mechatronische (cyber-physische) Automatisierungskomponenten

1	Das gentelligente Werkstück	295
	<i>Berend Denkena, Marc-André Dittrich, Florian Uhlich, Lukas Maibaum, Tobias Mörke</i>	
1.1	Die Vision: Das gentelligente Werkstück	295
1.2	Die Vision: Einordnung gentelligenter Werkstücke	297
1.3	Die Umsetzung: Befähigung des Werkstücks	298
1.3.1	Daten erfassen	299
1.3.1.1	Sensorbasierte Datenaufnahme	299
1.3.1.2	Bauteilrandzonenbasierte Datenaufnahme	302
1.3.2	Werkstückidentifikation und inhärentes Speichern von Daten	304
1.3.3	Kommunikation	309
1.4	Anwendungen	311
1.4.1	Anwendung in der Fertigungsphase	311
1.4.2	Anwendung in der Nutzungsphase	316

2	Das intelligente Werkzeug	323
	<i>Michael Zäh, Philipp Rinck, Sebastian Pieczona, Eva Schaupp, Thomas Grosch, Eberhard Abele, Joachim Metternich</i>	
2.1	Das Werkzeug – bisher und zukünftig	323
2.2	Aktuelle Ansätze und Beispiele intelligenter Werkzeuge	324
2.2.1	Einstufung von Werkzeugen	324
2.2.2	Anwendungsfälle für intelligente Werkzeuge	325
2.2.3	Schnittstellen zur Einbindung eines intelligenten Werkzeugs	328
2.3	Werkzeugüberwachung	331
2.4	Intelligenter Werkzeugkreislauf	334
2.4.1	Motivation	334
2.4.2	Funktionsbausteine des Smart Tools	334
2.4.3	Fazit und Ausblick	339
3	Die vernetzte Werkzeugmaschine	341
	<i>Christian Brecher, Werner Herfs, Denis Özdemir, Markus Obdenbusch, Johannes Nittinger, Frederik Wellmann, Michael Königs, Christian Krella, Simon Sittig</i>	
3.1	Frontloading durch eine effizientere CAD-CAM-NC-Kette	343
3.1.1	Die CAD-CAM-NC-Kette	343
3.1.2	Automatisierungsmechanismen in heutigen CAM-Systemen	344
3.1.3	Weiterführende Ansätze in Forschung und Praxis	346
3.1.4	Zwischenfazit	349
3.2	Simulation des Prozess-Maschine-Verhaltens im Produktentstehungsprozess	349
3.2.1	Optimierung von NC-Programmen in der Arbeitsvorbereitung	351
3.2.2	Rückkopplung von Erkenntnissen in der Entwicklungsphase von Produktionsmitteln	355
3.2.3	Zwischenfazit	356
3.3	Big Data-Analysen im produzierenden Unternehmen	356
3.3.1	Integrative Vernetzung der CAD-CAM-NC-Kette	357
3.3.2	Prozessdatenrückführung und -kontextualisierung	359
3.3.3	Datenevaluation	360
3.3.3.1	Manuelle Prozessevaluation	360
3.3.3.2	Produktivitätssteigerungen	361
3.3.3.3	Automatisierte Evaluation und Qualitätsprognose	361
3.3.4	Zwischenfazit	362
3.4	Impulse von Industrie 4.0 auf das Condition-Monitoring von Werkzeugmaschinen	363
3.4.1	Vision der selbstüberwachenden Werkzeugmaschine	363
3.4.2	Maschinenkomponentenmodelle für die Gebrauchsdauerprognose	365
3.4.3	Integration in die Produktionslandschaft	368
3.4.4	Zwischenfazit	369
3.5	Neue Bedienkonzepte für die nutzerzentrierte Werkzeugmaschine	370
3.5.1	Konventionelle Bedienkonzepte	370
3.5.2	Neue Bedienkonzepte	371
3.5.3	Anforderungen an ein nutzerzentriertes Bedienkonzept	372
3.5.4	Touchscreen-Bedienung im Produktionsumfeld	372

3.5.5	Benutzerzentrierte Dialoggestaltung	374
3.5.6	Middleware	376
3.5.7	Zwischenfazit	376
3.6	Fazit	376
4	Verarbeitungsanlagen und Verpackungsmaschinen	379
	<i>Jens-Peter Majschak, Marc Mauermann, Tobias Müller, Christoph Richter, Marcel Wagner, Gunther Reinhart</i>	
4.1	Konsumgüterproduktion 4.0	379
4.1.1	Anlagen zur Massenproduktion von Verbrauchsgütern	379
4.1.2	Trends im Lebensmittel- und Pharmabereich	381
4.1.3	Wandlungsfähige Verarbeitungsprozesse	383
4.2	Vom Stoffsystem zum Produkt in wandlungsfähigen Prozessketten	384
4.2.1	Wandlungsfähige Fließprozesse	384
4.2.2	Variationsebenen in Verarbeitungsanlagen	388
4.3	Elemente wandlungsfähiger Verarbeitungsanlagen	390
4.3.1	Der qualitätsgeführte Prozess	390
4.3.2	Qualitätsmaterial und Qualitätsprodukt	393
4.3.3	Wandlungsfähige Wirkpaarungen	395
4.4	Wandlungsfähige Verarbeitungsanlagen	399
4.4.1	Wandlungsfähige Anlagenstrukturen	399
4.4.2	Selbstüberwachende und selbstoptimierende Maschinen	403
4.4.3	Prozessintegrierte mechatronische Simulation	414
4.4.4	Aspekte der automatisierten Reinigung von wandlungsfähigen Anlagen	417
4.4.5	Bedienerassistenz	420
5	Transfersysteme	429
	<i>Klaus Dröder, Franz Dietrich, Alexander Tornow, Christian Löchte, Birk Wonnemberg, Roman Gerbers, Paul Bobka</i>	
5.1	Verkettung von Anlagen	430
5.1.1	Verkettung in der automatisierten Produktion	430
5.1.2	Flexibilisierung von Transfersystemen	431
5.1.3	Potential flexibler Verkettung in typischen Anordnungsstrukturen	432
5.1.4	Maximierung der Flexibilität von Transfersystemen am Beispiel des „Incremental Manufacturing“	436
5.2	Roboterbasierte Transfersysteme	437
5.2.1	Sensorintegration in roboterbasierten Transfersystemen	438
5.2.2	Intuitive Programmierung von roboterbasierten Transfersystemen	439
5.2.3	Anwendungsbeispiel: Hochflexibler Werkstücktransfer „Griff in die Kiste“	442
5.3	Greiftechnik in Transfersystemen	443
5.3.1	Funktionsintegrierte Greifsysteme	444
5.3.2	Anpassungsfähige Greifsysteme	447

6	Logistik 4.0	451
	<i>Christian Lieberoth-Leden, Marcus Röschinger, Johannes Lechner, Willibald A. Günthner</i>	
6.1	Digitalisierung und Vernetzung in der Supply Chain 4.0	453
6.1.1	Einsatz intelligenter Ladungsträger am Beispiel der Lebensmittel-Supply Chain	454
6.1.2	Kollaboratives Lebenszyklusmanagement in der Cloud am Beispiel der Werkzeug-Supply Chain	460
6.2	Einsatz digitaler Werkzeuge in der Logistikplanung	465
6.2.1	Einsatz von Virtual Reality zur Planung manueller Kommissioniersysteme	466
6.2.2	Kollaborative Planung und Inbetriebnahme von Materialflusssystemen	471
6.3	Schnittstellen zur Einbindung des Menschen in digitale Logistikprozesse	475
6.3.1	Neue Formen des Informationsaustauschs für eine effizientere manuelle Kommissionierung	477
6.3.2	Assistenzsysteme für Staplerfahrer zur Darstellung und Erfassung von Prozessdaten	479
6.4	Steuerungskonzepte für automatisierte und flexible Materialflüsse in Produktion und Distribution der Industrie 4.0	483
6.4.1	Effiziente Erstellung einer Steuerung für Materialflusssysteme durch automatische Softwaregenerierung	485
6.4.2	Verwendung einer verteilten Materialflussteuerung zur Realisierung von wandelbaren Materialflusssystemen	487
6.4.2.1	Verteilte Materialflussteuerung im Internet der Dinge der Intralogistik ...	489
6.4.2.2	Autonome Fördertechnikmodule zur Selbstkonfiguration der Materialflussteuerung	490
6.5	Einführung und Einsatz von RFID zur dezentralen Datenhaltung	497
6.5.1	Innovative Konzepte und Werkzeuge zur Einführung von RFID	499
6.5.2	Automatische Erfassung und Bereitstellung von Prozessdaten	507
7	Montage 4.0	513
	<i>Julian Backhaus, Veit Hammerstingl, Joachim Michniewicz, Cosima Stocker, Marco Ulrich, Gunther Reinhart</i>	
7.1	Motivation	513
7.2	Beispielprodukt und -anlage	515
7.2.1	Beispielprodukt	515
7.2.2	Beispielanlage	515
7.3	Lösungsneutrale Fähigkeitenbeschreibung	516
7.3.1	Begriffsbestimmung und Beispiele	516
7.3.2	Nutzen	519
7.3.3	Taxonomie der Fähigkeiten	520
7.4	CAD-Produktanalyse – Generierung von Produkthanforderungen	522
7.4.1	Assembly-by-Disassembly – Bestimmung von Montagereihenfolgen und -bewegungen	523
7.4.2	Bestimmung von quantitativen Prozessparametern	524
7.4.3	Bestimmung von Bauteilschnittstellen	525
7.5	Automatische Montageplanung	525
7.5.1	Einführung und Systemübersicht	525

7.5.2	Erzeugung des Fähigkeitenmodells einer Anlage mit bekanntem Layout	528
7.5.3	Anforderungen-Fähigkeiten-Abgleich – Automatische Montageplanung	529
7.5.3.1	Arten der Prüfung	530
7.5.3.2	Bestimmung von Sekundärprozessen	532
7.5.4	Beispielhafte Abgleichmodule	532
7.5.5	Automatische Ableitung von Handlungsempfehlungen	534
7.5.5.1	Produktorientierte Handlungsempfehlungen	534
7.5.5.2	Betriebsmittelorientierte Handlungsempfehlungen	535
7.5.6	Bewertung und Auswahl von Planungsalternativen	535
7.5.7	Automatische Erstellung von Montageanleitungen	536
7.6	Automatisierte Integration	536
7.6.1	Automatisierte Konfiguration von Produktionskomponenten (Plug & Produce)	536
7.6.1.1	Konzept zur Ad-hoc-Vernetzung heutiger Anlagenkomponenten	538
7.6.1.2	Automatisierte Generierung eines vereinheitlichten Fabrikabbildes	540
7.6.2	Zeitoptimale Bahnplanung von Robotersystemen	542
7.6.2.1	Selbst-Programmierung von Industrierobotern	542
7.6.2.2	Modellierung als Graph und Beschreibung im Konfigurationsraum	542
7.6.2.3	Praxisgerechte Methoden arbeiten stichprobenbasiert	543
7.6.2.4	Kollisionsdetektion als Flaschenhals	544
7.6.2.5	Optimierung der Fahrtzeit	544
7.6.2.6	Einsatz in der Montage	546
7.6.3	Aufteilung auf Zielsysteme und Codegenerierung	547
7.7	Automatisierte Hardwareauslegung am Beispiel von Zuführsystemen	548
7.7.1	Grundlagen	548
7.7.2	Physiksimulation	549
7.7.3	Randbedingungen	549
7.7.4	Simulationsgestützte Auslegung	550
7.7.5	Fertigung und Validierung	551
7.7.6	Fazit	552
7.8	Zusammenfassung	552
8	Wandelbare modulare Automatisierungssysteme	555
	<i>Dominic Gorecky, André Hennecke, Mathias Schmitt, Stephan Weyer, Detlef Zühlke</i>	
8.1	Die Automatisierungspyramide	555
8.1.1	Dezentrale Prozesssteuerung mittels <i>Smarter Produkte</i>	557
8.1.2	Konvergenz von Feld- und Steuerungsaufgaben mittels <i>Smarter Feldgeräte</i>	561
8.1.3	Vertikale Integration und cloudbasierte, modulare IT-Systeme	564
8.2	Smarte Vernetzung	566
8.2.1	Kommunikationsstandards für Industrie 4.0	567
8.2.2	Ethernet in der Automatisierungstechnik	569
8.2.2.1	Echtzeitfähige Kommunikation mit Time Sensitive Networking	570
8.2.2.2	Software Defined Networking – Ein neues Netzwerkparadigma in der Automatisierungstechnik	571
8.2.2.3	Neue Kommunikationsstrukturen für Industrie 4.0-Netzwerke	575
8.2.3	Standards zur Informationsmodellierung in der Automatisierungstechnik	577

TEIL C

Anwendungsbeispiele

1	Vernetzte Anlagen für die spanende Fertigung	587
	<i>Jürgen Fleischer, Heinz Gaub, Heiner Lang, Markus Klaiber, Sebastian Schöning, Bastian Rothaupt</i>	
1.1	Flexible Kleinserienfertigung von Maschinenkomponenten	587
1.1.1	Randbedingungen und Fertigungsumfeld	587
1.1.2	Lösungsansatz für die vernetzte Fertigung	589
1.2	Lösungsassistenz in der vernetzten Großserienfertigung	591
1.2.1	Aufbau des Lösungsassistenten	591
1.2.2	Bedienerführung	592
1.2.3	Datenanalyse und Fehlerauswertung	592
1.3	Digitale Lösungen für Honsysteme	593
1.3.1	Honen in der Großserienfertigung	593
1.3.2	Fernwartungslösung für Honmaschinen	594
1.3.3	Cloudservices durch Maschinenanbindung	596
1.4	Fertigung von Maschinenkomponenten für Spritzgießmaschinen	597
1.4.1	Spritzgießmaschinen	598
1.4.2	Anlagen für die Fertigung der Maschinenkomponenten	599
1.4.3	Intelligente Fertigungsmittel	601
1.4.4	Vertikale und horizontale Vernetzung	601
1.4.5	Selbstorganisierende Transportprozesse	602
1.5	Fazit	603
2	Montagesysteme: Skalierbare Automatisierung in der „Lernfabrik Globale Produktion“	605
	<i>Gisela Lanza, Sebastian Greinacher, Fabio Echsler Minguillon</i>	
2.1	Die Lernfabrik im Kontext von Industrie 4.0	605
2.1.1	Zielstellung der Lernfabrik Globale Produktion	605
2.1.2	Sichten auf Industrie 4.0 in der Lernfabrik	606
2.1.3	Aufbau der Lernfabrik	606
2.2	Das Konzept der skalierbaren Automatisierung	607
2.2.1	Herausforderungen der Automatisierung in der Montage	607
2.2.2	Prinzip der skalierbaren Automatisierung	608
2.2.3	Potenziale der skalierbaren Automatisierung	609
2.2.4	Fazit zum Konzept der skalierbaren Automatisierung	610
2.3	Umsetzung der skalierbaren Automatisierung in der Lernfabrik Globale Produktion	610
2.3.1	Skalierungsstufen in der Lernfabrik	610
2.3.2	Technische Umsetzung der skalierbaren Automatisierung in der Lernfabrik	616
2.4	Ausblick	620

3	Verarbeitungstechnik	621
	<i>Jens-Peter Majschak, Gunther Reinhart, Georg Götz, Christoph Richter, Marc Mauermann, Simon Berger, Marcel Wagner</i>	
3.1	Individualisierte Lebensmittelverarbeitung und -verpackung in Losgröße 1 – FORFood	621
3.1.1	Lebensmittelverarbeitung für die Herstellung einer kundenindividuellen Mahlzeit in Losgröße 1	621
3.1.2	Formatflexible Verarbeitungsprozesse für ein kundenindividuelles Verpacken	623
3.1.3	Digital Moulding für ein formatflexibles Thermoformen	623
3.1.4	Flexibler Siegelprozess mittels Multi-Kontur-Werkzeugen	624
3.1.5	Automatisierte Herstellung von individualisierten Sammelpackungen	625
3.2	Automatische Feinzerlegung von Schinken	626
3.2.1	Aufgabenstellung	626
3.2.2	Anlagenkonzept	627
3.2.3	Erfassung der Schinkeneigenschaften	628
3.2.4	Schnittreihenfolge	629
3.2.5	Referenz-Petri-Netze – Ansatz zur Modellierung und Simulation von Prozessschritten und Gesamtprozessen	630
3.2.6	Zusammenfassung	631
3.3	Kognitive Systeme im Druckgewerbe	631
3.3.1	Steigender Kostendruck im Druckgewerbe	631
3.3.2	Reduktion der Makulatur als potenzieller Stellhebel	631
3.3.3	Regelungskonzept	632
3.3.4	Technische Bewertung	633
3.3.5	Wirtschaftliche Bewertung für eine Offsetdruckmaschine	633
3.3.6	Zusammenfassung	634
4	Anwendungsfeld Flugzeugbau	635
	<i>Thorsten Schüppstuhl, Christian Schlosser</i>	
4.1	Betrachtung der Branche	635
4.1.1	Wirtschaftliche Randbedingungen	635
4.1.2	Technologische und organisatorische Besonderheiten	636
4.1.3	Industrie 4.0-Ansätze und Ist-Situation	636
4.2	Befähigertechnologien für bedeutende Aufgaben	638
4.2.1	Rumpfsektionenmontage	638
4.2.2	Turbinenschaufelmontage	639
4.2.3	Brennkammerinspektion	640
4.3	Befähigende Querschnittstechnologien	642
4.3.1	Mobile Roboter für die Rumpf-Außenstruktur	642
4.3.2	Ortsflexibles Robotersystem für Bearbeitungsaufgaben	644
4.3.3	Mensch-Maschine-Systeme	645
4.4	Integrationstechnologien	647
4.4.1	Ziele und Ansätze	647
4.4.2	Beispiele für Lösungsansätze	648
4.4.3	Unterstützung der Integration	650

5	Intelligent vernetzte Elektronikproduktion	653
	<i>Eva Bogner, Christopher Kästle, Jörg Franke, Gunther Beitinger</i>	
5.1	Elektronische Systeme sind Grundlage und Vorbild für das Internet der Dinge	653
5.1.1	Die Befähiger des Internets der Dinge basieren auf fortschrittlichen elektronischen Aufbautechnologien	653
5.1.2	Die Produktion elektronischer Systeme ist Vorbild für die Digitalisierung der Fabrik	655
5.2	Vollautomatisierung von Fertigung und Materialfluss	659
5.2.1	Prozess- und Informationsautomatisierung	659
5.2.2	Traceability	661
5.2.3	Identifikation und Vernetzung zu CPS	663
5.3	Dynamische Wertschöpfungsketten	665
5.3.1	Individuelle Produktkonfiguration	665
5.3.2	Optimierte Auftragsabwicklung	666
5.3.3	Flexible Produktionssysteme	668
5.4	Nullfehler-Produktion	671
5.4.1	Qualitätssicherung	671
5.4.2	Big Data versus Smart Data	673
5.4.3	Mensch-Maschine-Interaktion	676
5.5	Durchgängige Informationssysteme	678
5.5.1	Produktentwicklung	678
5.5.2	CAD/CAM-Kopplung	680
5.5.3	Anbindung an das Manufacturing Execution System	683
5.6	Referenzmodell	684
5.6.1	Entwicklung zum Digital Enterprise	685
5.6.2	Greenfield- und Brownfield-Ansatz	687
5.6.3	Beispiel: Siemenswerke in Amberg und Chengdu	687
6	Die SmartFactory für individualisierte Kleinserienfertigung	691
	<i>Stephan Weyer, Fabian Quint, Stefanie Fischer, Dominic Gorecky, Detlef Zühlke</i>	
6.1	SmartFactory ^{KL} -Systemarchitektur	693
6.1.1	Konzeption der Systemarchitektur	693
6.1.2	Systemarchitektur – Anforderungen und Spezifikationen	694
6.2	Umsetzung der Systemarchitektur	697
6.2.1	Produktschicht	698
6.2.2	Produktionsschicht	699
6.2.3	Versorgungsschicht	701
6.2.4	Integrationsschicht	702
6.2.5	IT-Systemschicht	702
6.3	Anwendungsszenario	703
6.4	Zusammenfassung und Ausblick	706

7	Anwendungsfeld Automobilindustrie	709
	<i>Gunther Reinhart, Dino Knoll, Ulrich Teschemacher, Gregor Lux, Joscha Schnell, Florian Endres, Fabian Distel, Christian Seidel, Christoph Berger, Jan Klöber-Koch, Julia Pielmeier, Stefan Braunreuther</i>	
7.1	Big Data Analytics in der Produktionslogistik am Beispiel der Materialflussanalyse	710
7.1.1	Analytics-Technologien und der Digitale Schatten in der Produktionslogistik	710
7.1.2	Materialflussanalyse im Digitalen Schatten	711
7.1.3	Fazit und Ausblick	711
7.2	Logistik 4.0 – Optimierungsverfahren zur Steigerung der Dynamik	712
7.2.1	Motivation	712
7.2.2	Zielsetzung	712
7.2.3	Vorgehensweise	712
7.2.4	Ergebnisse	713
7.3	Selbst-Kalibrierung roboterbasierter Messsysteme	714
7.3.1	Ausgangssituation	714
7.3.2	Zielsetzung	714
7.3.3	Vorgehensweise	715
7.3.4	Ergebnisse	716
7.4	Data Mining in der Batterieproduktion für die Elektromobilität	716
7.5	Digitale Produktion mittels additiver Fertigungsverfahren	718
7.5.1	Additive Fertigung und Industrie 4.0	718
7.5.2	Kurzüberblick zu aktuellen Prozesskategorien der Additiven Fertigung	719
7.5.3	Case Study – Additive Fertigung von Zahnrädern	719
7.6	Konzeption sowie Umsetzung einer Trainingsumgebung zur Qualifikation von Instandhaltern im Umfeld Industrie 4.0	720
	Stichwortverzeichnis	725

Der Herausgeber



Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart

ist Ordinarius für Betriebswissenschaften und Montagetechnik an der Technischen Universität München. Er studierte Maschinenbau mit dem Schwerpunkt Konstruktion & Entwicklung und promovierte bei Prof. Dr.-Ing. J. Milberg am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb) der Technischen Universität München. Danach war er leitender Angestellter in verschiedenen Funktionen bei der BMW AG in München und Dingolfing. 1993 wurde Prof. Reinhart auf den Lehrstuhl für Betriebswissenschaften und Montagetechnik an der Technischen Universität München und in die Leitung des iwb berufen.

Von März 2002 bis Februar 2007 war Herr Reinhart von seinen Tätigkeiten am *iwb* beurlaubt und übernahm die Aufgabe des Vorstandes für Technik und Markt bei der *IWKA Aktiengesellschaft* in Karlsruhe, einem Maschinenbaukonzern mit ca. 13 000 Mitarbeitern weltweit. Dabei widmete er sich insbesondere der globalen Erschließung neuer Märkte, der Einrichtung eines Produktionssystems und dem Ausbau der *IWKA Verpackungstechnik-Gruppe*.

Seit 2007 ist er wieder zurück an der Technischen Universität München und leitet gemeinsam mit Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael F. Zäh das zwischenzeitlich auf weit über 100 Mitarbeiter gewachsene Institut an den Standorten Garching bei München und Augsburg. Gleichzeitig ist er Vorstandsvorsitzender des *Bayerischen Clusters für Mechatronik und Automation e. V.*

Seit 2016 ist Prof. Reinhart darüber hinaus geschäftsführender Leiter des *Fraunhofer IGCV* in Augsburg (Fraunhofer Einrichtung für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik). Dieses Institut beschäftigt sich mit den Bauweisen und der Verarbeitung des hybriden Leichtbaus in intelligent vernetzten Produktionsstrukturen.

Herr Reinhart ist Wissenschaftlicher Beirat der *nationalen Plattform Industrie 4.0*, Themensprecher der Plattform Digitale Produktion des *Zentrums Digitalisierung Bayern* und Leiter des *Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrums Augsburg*. Er unterstützt mehrere Organisationen und Unternehmen als Beirat und Aufsichtsrat.

Darüber hinaus ist er Mitglied bei zahlreichen wissenschaftlichen Gesellschaften und Akademien (*acatech* - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, *WGP*, *CIRP*, *WiGeP* und *WG-MHI*). Er hat ca. 800 Veröffentlichungen in führenden Fachzeitschriften publiziert und ist Autor bzw. Herausgeber von zwölf Büchern und zwei Buchreihen. Er hat weit über 100 wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zur Promotion geführt.

**Christian Lieberoth-Leden, Marcus Röschinger,
Johannes Lechner, Willibald A. Günthner**

Die Rolle der Logistik in der Industrie 4.0 ist so vielfältig und bedeutsam wie die Logistik selbst. Dabei werden die Aufgaben der Logistik auch im vierten industriellen Zeitalter, also die Aufgaben der Logistik 4.0, grundlegend dieselben bleiben. So wird die Logistik stets eine wichtige Schnittstellenfunktion darstellen, die für die Verfügbarkeit des richtigen Gutes in der richtigen Menge, im richtigen Zustand, am richtigen Ort, zur richtigen Zeit, für den richtigen Kunden, zu den richtigen Kosten und zur richtigen Qualität verantwortlich ist. Der Fokus der Logistik 4.0 liegt daher im Einsatz neuer und innovativer Technologien. Schließlich können hierdurch verschiedene logistische Kennzahlen, wie z. B. Liefertreue, -qualität, -flexibilität, -fähigkeit und Servicegrad, weiter optimiert

werden. Für die Logistik 4.0 müssen in der Folge neue Konzepte für die Planung, Steuerung, Realisierung und Kontrolle von Material- und Informationsflüssen erstellt und umgesetzt werden. In diesem Kontext gilt es, alle Ebenen der Unternehmenslogistik (Bild 6.1) zu betrachten und geeignete Technologien für Optimierungen zu identifizieren. Lösungen für die Logistik 4.0 adressieren dabei nicht nur innerbetriebliche Prozesse, sondern gleichermaßen auch überbetriebliche. Beispielsweise erfordern die immer komplexer und globaler werdenden Wertschöpfungsketten und -netzwerke neue Ansätze im Supply Chain Management, um die effizientere Koordination der Material- und Informationsflüsse von Rohstofflieferanten bis zum Kunden zu ermöglichen.

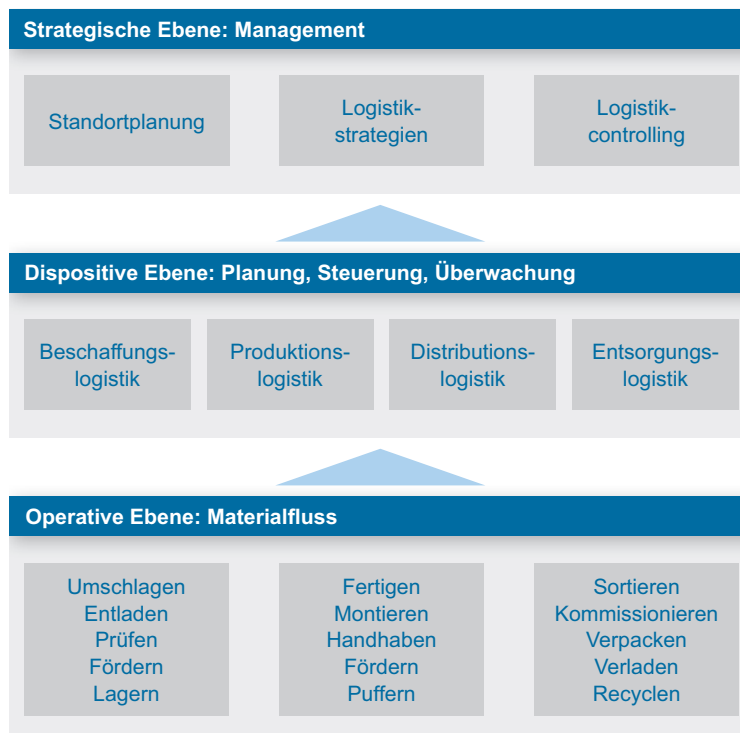


Bild 6.1

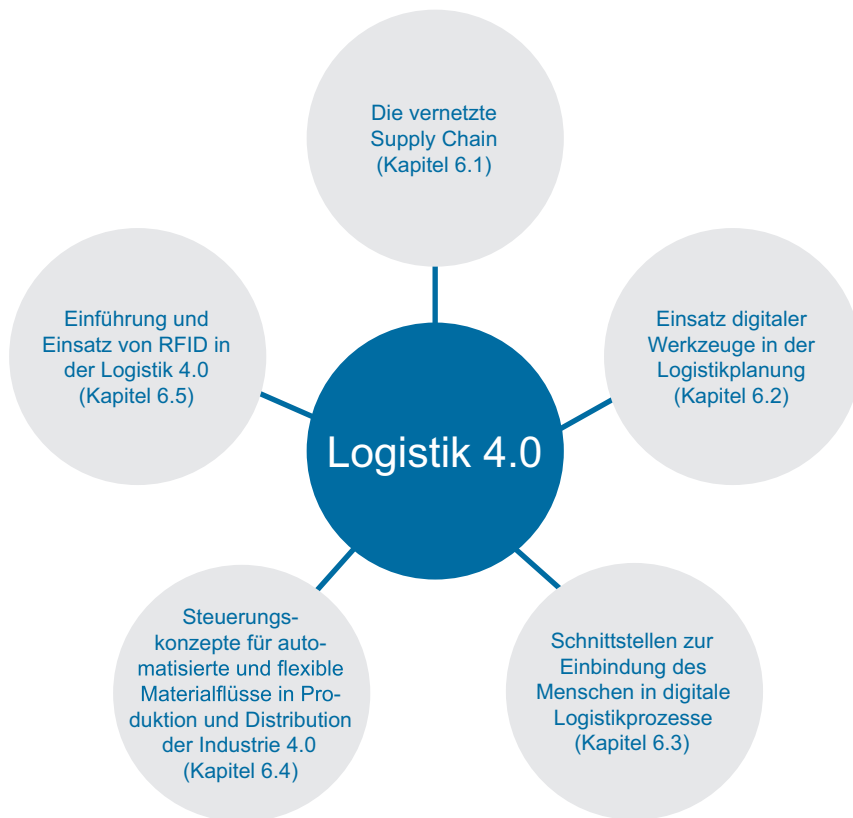
Logistik 4.0 adressiert alle Ebenen der klassischen Unternehmenslogistik (Quelle: Lehrstuhl fml, Technische Universität München)

Aus technischer Perspektive betrachtet, zielt die Logistik 4.0 nach der bereits erfolgten Mechanisierung und Automatisierung auf die Digitalisierung und Virtualisierung von Fördertechnikgeräten und Materialflussanlagen ab. Diese sollen schließlich nicht mehr nur schlanke und selbststeuernde, sondern vielmehr kognitive Logistikprozesse und -systeme ermöglichen, welche sich unter anderem durch Lernfähigkeit, Intelligenz und Entscheidungsfähigkeit auszeichnen. Als Ausgangsbasis für die Logistik 4.0 dienen hierbei die Konzepte und Erfahrungen aus dem Internet der Dinge und Dienste in der Intralogistik (Günthner 2010). So wird auch hier die Grundidee verfolgt, dass sich logistische Objekte, wie Behälter, Werkstücke oder Pakete, selbstständig ihren Weg durch das Logistiksystem bahnen. Zu diesem Zweck kommunizieren die Objekte untereinander und mit technischen Einrichtungen wie Fördertechnikmodulen oder Maschinen, welchen sie mitteilen, was mit ihnen geschehen soll. Ein wesentliches Charakteristikum derartiger Systeme besteht in deren ausgeprägter Dezentralität und Modularisierung. So können Systemelemente steuerungstechnisch einfach miteinander gekoppelt werden und folglich eine neue Systemkonfiguration realisieren. Aufgrund des dezentralen Steuerungsansatzes ist der Aufwand für die Anpassung der Steuerung an die neue Konfiguration äußerst gering. Für das Gesamtsystem ergibt sich somit ein hoher Grad an Wandelbarkeit. Dies sind wichtige Eigenschaften, um aktuellen Rahmenbedingungen wie der zunehmenden Individualisierung von Produkten, einer steigenden Variantenvielfalt und kürzeren Produktlebenszyklen Rechnung zu tragen.

Neben dem Internet der Dinge wird innerhalb der Industrie 4.0 auch das Internet der Dienste von entscheidender Bedeutung sein. So stellen Software-Services bestimmte Funktionen zur Verfügung und unterstützen hierdurch verschiedene Prozesse. Im Falle von operativen Prozessen können Dienste beispielsweise für die Koordination des Materialflusses eingesetzt werden, indem sie den intelligenten Objekten Informationen für deren Entscheidungsfindung bereitstellen. Weitere Dienste adressieren Prozesse in der Planung und bieten hierfür unterstützende Funktionen und Tools. Eine wichtige Eigenschaft und gleichzeitig ein großer Vorteil der Serviceorientierung, also der informationstechnischen und organisatorischen Integration von Diensten in Unternehmensprozesse, besteht darin, dass diese aufwandsarm an neue Randbedingungen angepasst werden können. So stehen die Dienste nicht

nur unabhängig von Systemkonfigurationen, Standorten und Zeiten zur Verfügung, sondern werden oftmals webbasiert, zum Beispiel aus einer Cloud, bereitgestellt, was den Einsatz von verschiedenen Endgeräten, wie Tablets und Smartphones, auch in operativen Bereichen ermöglicht.

Um die Zielstellungen und Potenziale der Logistik 4.0 zu präzisieren, werden in den folgenden Unterkapiteln ausgewählte Anwendungen betrachtet und greifbare Handlungsempfehlungen präsentiert. Hierzu werden verschiedene Aspekte der Logistik 4.0 betrachtet (Bild 6.2). Für diese werden innovative Lösungen und Konzepte beschrieben, welche auf andere Anwendungsfälle übertragbar sind und somit zu einer Umsetzung der Logistik 4.0 beitragen. Dabei liegt in Kapitel 6.1 der Fokus zunächst auf unternehmensübergreifenden Prozessen. Zum einen wird in diesem Kontext ein Konzept für das überbetriebliche Behältermanagement mittels intelligenter Behälter vorgestellt. Zum anderen wird eine Cloud-Lösung für das industrielle Werkzeugmanagement präsentiert, welche Dienste für die zugehörigen Prozesse bereitstellt und durchgängige Informationsflüsse in und zwischen allen am Werkzeug-Lebenszyklus beteiligten Unternehmen erlaubt. Aspekte der intensiveren unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit werden auch in Kapitel 6.2 adressiert. Hier liegt der Fokus auf der kollaborativen Planung von Materialflusssystemen. Hierzu wird eine Software-Plattform präsentiert, welche synchrone Planungsaktivitäten ermöglicht, wie zum Beispiel die parallele und unternehmensübergreifende Erstellung und Anpassung eines Layouts. Zudem wird auf die Potenziale der Virtual Reality-Technologie eingegangen und gezeigt, wie diese für die effiziente und transparente Planung von manuellen Kommissioniersystemen ausgeschöpft werden können. Kapitel 6.3 widmet sich daraufhin neuartigen Schnittstellen zwischen Mensch und Maschine, um digitale Logistikprozesse zu ermöglichen. So wird beschrieben, wie eine effizientere Bereitstellung von Informationen mittels Augmented Reality-Technologie gelingen kann und den Menschen bei der Ausführung seiner Tätigkeiten unterstützt. Auf die Umsetzung von wandelbaren Materialflusssystemen wird in Kapitel 6.4 eingegangen. Hierbei werden dezentrale und zentrale Steuerungsansätze gegenübergestellt und die jeweiligen Systemarchitekturen genauer betrachtet. Ein wichtiger Bestandteil in automatischen Materialflusssystemen, unabhängig von deren Steuerungsansatz, sind identifizierbare Objekte. Da in die-

**Bild 6.2**

Inhalte dieses Kapitels in der Übersicht
(Quelle: Lehrstuhl fml, Technische Universität München)

sem Zusammenhang die funkbasierte automatische Identifikation und Lokalisierung große Potenziale bieten, wird dem Einsatz der RFID-Technologie in der Logistik 4.0 das Kapitel 6.5 gewidmet. Dabei werden auch Konzepte und Werkzeuge vorgestellt, welche die optimierte Auslegung und effiziente Inbetriebnahme der Identifikationssysteme ermöglichen.

6.1 Digitalisierung und Vernetzung in der Supply Chain 4.0

Wesentliche Zielstellungen der Industrie 4.0 sind die vertikale und horizontale Integration von Prozessen und IT-Systemen. Dabei wird unter vertikaler Integration unter anderem das Verschmelzen der einzelnen Hierarchieebenen der klassischen Automatisierungspyramide in ein durchgängiges IT-System verstanden. Die horizontale Integration hingegen zielt ab auf die

konsequente informationstechnische Vernetzung verschiedener Prozessschritte, auch über Unternehmensgrenzen hinweg. Somit gilt es, bei der Konzeption entsprechender Lösungen neben internen Prozessen auch angeschlossene und übergreifende Prozesse in anderen Unternehmen zu berücksichtigen. Hierdurch steigt die Transparenz in der gesamten Supply Chain an, wodurch schließlich die Sicherheit und Stabilität der Prozesse erhöht werden kann (Kagermann 2013). Im Folgenden soll daher der Fokus auf der horizontalen Integration liegen und dargestellt werden, wie Prozesse, vor allem im unternehmensübergreifenden Umfeld, im Kontext der Logistik 4.0 vernetzt werden können und welche Potenziale sich hieraus ergeben.

Das übergeordnete Ziel der Vernetzung besteht darin, nicht nur die physischen Prozesse optimal aufeinander abzustimmen, also z. B. die rechtzeitige Bereitstellung von Material sicherzustellen, sondern die Prozesse auch auf digitaler Ebene zu integrieren. Als wichtige Aufgabenstellung lässt sich hierbei die durchgängige Gestaltung von Informationsflüssen identifizieren. Nur wenn jedem Prozessschritt in der Supply Chain die benötigten Daten rechtzeitig und in der richtigen Form

-verarbeitung eingegangen. Warum eine engere Zusammenarbeit und Vernetzung in der Lebensmittel-Supply Chain erstrebenswert ist, zeigt ein Blick auf die aktuelle Ausgangssituation. So wirken sich die Logistikkosten stark auf den Preis von Lebensmitteln für den Endverbraucher aus. Vor dem Hintergrund des hohen Konkurrenzdrucks sind diese somit ein wichtiger Stellhebel, um langfristig Gewinne erzielen zu können. In diesem Kontext gilt es zudem durch die Logistik sicherzustellen, dass Produkte für den Endverbraucher stets verfügbar sind. Dies und mitunter sehr niedrige Verfallsdaten erfordern eine schnelle Abwicklung der mehrstufigen Logistikprozesse sowie kurze Durchlaufzeiten.

Es wird also ersichtlich, dass effiziente Logistikprozesse eine wesentliche Voraussetzung darstellen, um in der Lebensmittelbranche erfolgreich zu sein. Hierzu gilt es, die Prozesse in den einzelnen Gliedern der Supply Chain nicht losgelöst voneinander zu optimieren. Vielmehr müssen Lösungen entwickelt werden, die die Anforderungen aller Beteiligten gleichermaßen berücksichtigen. Somit kann schließlich nicht nur die Effizienz von Prozessen, sondern auch die Transparenz in der Supply Chain gesteigert werden. Dies ist ein wichtiger Aspekt, auch da die Rückverfolgbarkeit von Lebensmitteln von hoher Bedeutung ist und entsprechende Dokumentationen von Warenein- und -ausgängen vorgeschrieben sind. Hierzu müssen die einzelnen Unternehmen verstärkt zusammenarbeiten. Nur auf diese Weise können im Falle von festgestellten Qualitätsmängeln Lebensmittel aufwandsarm zurückgerufen und somit sowohl die Verbraucher als auch die Hersteller vor größerem Schaden geschützt werden. Vor dem Hintergrund diverser Warenumschnitte (z. B. in Distributionszentren und Cross-Docks) und eines hohen Transportaufkommens geht mit diesen verpflichtenden Dokumentationen jedoch ein hoher – meist manueller – Aufwand einher. Dieser steigt für gekühlte und tiefgekühlte Produkte weiter an, da hier zusätzlich Temperaturdaten erfasst und protokolliert werden müssen. Nur auf diese Weise kann die Einhaltung der Kühlkette kontrolliert und nachgewiesen werden. Allerdings ist es aktuell oftmals schwierig nachzuvollziehen, wo sich welche Behälter in der Supply Chain befinden. Da erst nach aufwendigen Inventuren zuverlässige Aussagen über den tatsächlichen Standort, Zustand und Bestand möglich sind, werden in der Regel mehr Behälter als nötig in der Supply Chain vorgehalten. Durch die Integration von automatischen Erfas-

zungssystemen an entsprechenden Stellen kann diesem Informationsmangel entgegengewirkt werden. Zudem können durch derartige Systeme weitere Tätigkeiten, die aktuell vor allem manuell durchgeführt werden, automatisiert werden. Beispiele hierfür sind die Identifikation, Vollständigkeitskontrolle und Protokollierung von Versandeinheiten oder Lieferungen.

Aus der skizzierten Ausgangssituation wird deutlich, dass auf Basis einer automatischen Erfassung sowie sicheren Speicherung und Übertragung von Daten, z. B. Temperaturen, Standorte und Transportmengen, die Transparenz und Effizienz in der Lebensmittel-Supply Chain gesteigert werden kann. Aufbauend auf einer konsistenten Datenbasis können daraufhin neue Funktionen wie die automatische Kühlkettenüberwachung und Rückverfolgung von Lebensmitteln realisiert werden. Diese Aspekte stellen die Grundlage für eine gelungene horizontale Integration in der Lebensmittel-Supply Chain dar und werden im Lösungskonzept, das im Folgenden genauer betrachtet wird, berücksichtigt. Bild 6.4 zeigt hierzu zunächst einen Überblick über das Gesamtkonzept und unterteilt dieses in fünf Gestaltungsebenen. Dabei adressieren die beiden unteren Ebenen die notwendige Hardware, wie intelligente Behälter und Geräte für den Aufbau einer geeigneten Kommunikationsinfrastruktur. Darauf aufbauend wird in den drei Software-Ebenen festgelegt, wie die Daten ausgetauscht werden (z. B. Übertragungsprotokolle), welche Datenbankstrukturen geeignet sind und wie Daten ausgewertet und zu nützlichen Informationen aggregiert werden können. Basierend auf dieser Unterscheidung in Hardware- und Software-spezifische Aspekte gliedern sich die folgenden Ausführungen in zwei Unterkapitel.

Physische Elemente im System intelligenter Behälter

Wann ist ein Behälter intelligent? Auch wenn es als Antwort auf diese Frage keine allgemeingültige Definition gibt, weisen intelligente Behälter typischerweise einige der folgenden Charakteristika und Systemelemente auf. Zunächst sind intelligente Behälter in der Lage, durch integrierte Sensoren verschiedene Daten selbstständig zu erfassen. Hierbei kann es sich sowohl um Umwelt- bzw. Umgebungsdaten, Zustandsdaten als auch Daten bezüglich des Inhalts handeln. Da die reine Erfassung und Speicherung von Daten im Anwendungskontext nur einen geringen Mehrwert bringt, besteht ein weiteres wichtiges Merkmal intelligenter

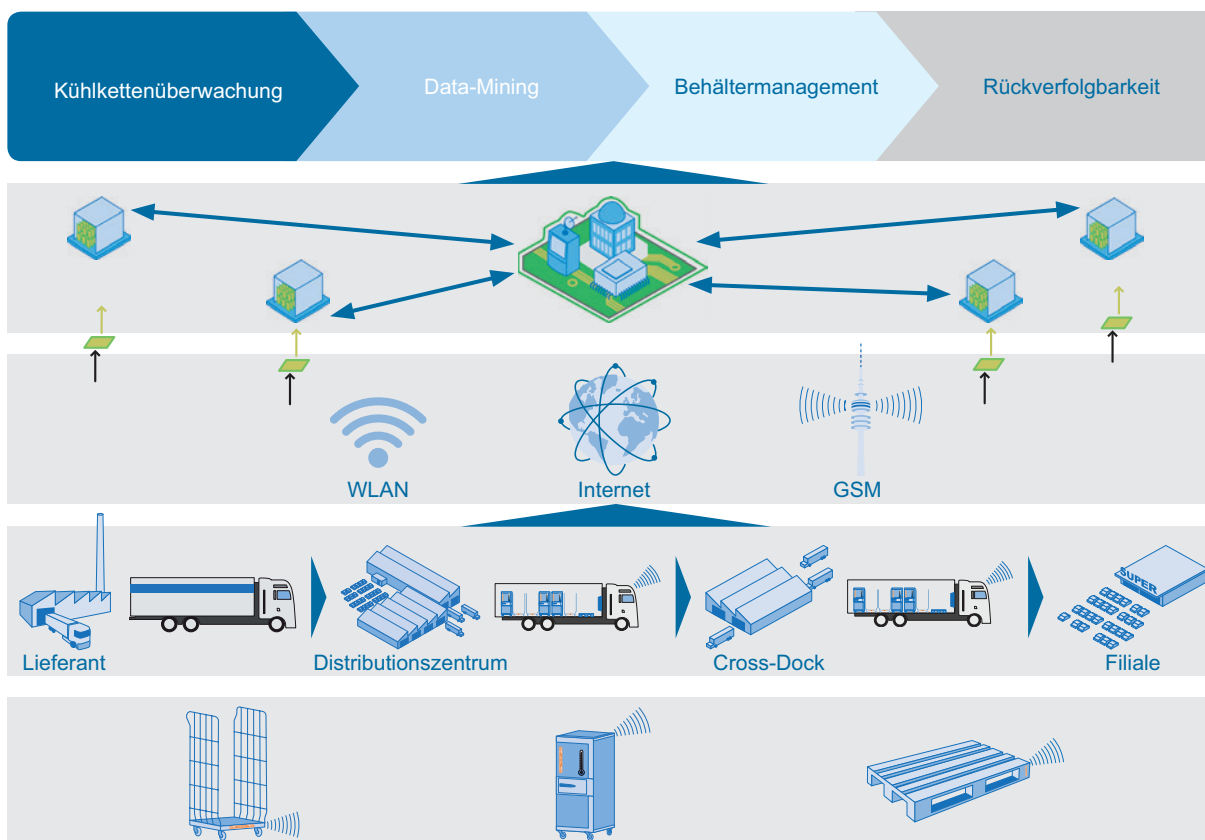


Bild 6.4 Gesamtkonzept und Gestaltungsebenen für die Integration von intelligenten Behältern in die Lebensmittel Supply Chain (Quelle: Lehrstuhl fml, Technische Universität München)

Behälter in der Verarbeitung der erfassten Daten. Hierzu werden die Behälter mit Rechenkapazität ausgestattet, z.B. durch Integration von Mikrocontrollern. Basierend auf implementierten Entscheidungslogiken können die Behälter somit Daten auswerten und autonom Entscheidungen treffen. Hierdurch ist es schließlich möglich, dass Behälter ihren Weg durch die Supply Chain nicht nur selbst überwachen, sondern unter Berücksichtigung aktueller Zustände und Randbedingungen aktiv steuern. Da Entscheidungen also dezentral im jeweiligen Prozessschritt getroffen werden, sinkt der Koordinationsaufwand innerhalb der gesamten Supply Chain und es entsteht ein Internet der Dinge aus intelligenten Behältern. In diesem Zusammenhang wird eine weitere wesentliche Eigenschaft von intelligenten Behältern ersichtlich, nämlich die Kommunikationsfähigkeit. Hierunter fällt einerseits der Datenaustausch mit anderen am Prozess beteiligten Objekten, wie z.B. Förder- und Handhabungseinrichtungen, sowie mit übergeordneten IT-Systemen. Der Datenaustausch erfolgt hierbei in der Regel drahtlos, wozu z.B.

Funk- oder RFID-Module in die Behälter eingebaut werden. Andererseits sehen einige Konzepte intelligenter Behälter einen direkten Datenaustausch mit am Prozess beteiligten Menschen vor. So können diese, beispielsweise durch visuelle oder auditive Signale, bezüglich des aktuellen Zustands des Behälters informiert und gegebenenfalls zum manuellen Eingreifen aufgefordert werden.

Für den Einsatz in der Lebensmittelbranche, in der die Rückverfolgbarkeit und insbesondere die Überwachung der Kühlkette von sehr hoher Bedeutung ist, zeigt Bild 6.5 einen mit intelligenten Modulen ausgestatteten Thermobehälter. Er verfügt über mehrere Temperatursensoren, welche die exakte Erfassung der Lufttemperatur sowohl im Inneren des Behälters als auch in dessen Umgebung ermöglichen. Die erfassten Temperaturwerte werden in einem integrierten Speicher abgelegt und von einem Mikrocontroller verarbeitet, wodurch die Überwachung der Einhaltung der Kühlkette auf Behälterebene realisiert werden kann. Weiterhin ist es möglich, Temperaturverläufe aufzu-

zeichnen, auszuwerten und deren weitere Entwicklung zu prognostizieren. Somit kann der Thermobehälter bereits vor dem Eintreten kritischer Temperaturen, die im schlimmsten Fall eine Entsorgung der Lebensmittel bedingen, einen Warnhinweis kommunizieren. Durch die Erfassung und Aufzeichnung der Außentemperatur kann zudem transparent rückverfolgt werden, ob sich der Behälter jederzeit in geeigneten Räumen, wie z. B. gekühlten Lagerzonen und Transportcontainern, befunden hat. Weitere Sensoren dienen zur Erfassung der Luftfeuchtigkeit und Vibration im Behälter, welche zu einer Beschädigung der Ware führen können.

Wie bereits erwähnt, werden die erfassten Daten von einem integrierten Mikrocontroller weiterverarbeitet. Eine weitere Aufgabe dieses Systemelements besteht in der Steuerung der Kommunikation mit Objekten der Prozessinfrastruktur und den daran beteiligten Menschen. Letzteren gilt es in erster Linie, den aktuellen Zustand des Behälters und der darin befindlichen Lebensmittel möglichst transparent und einfach darzustellen. Zu diesem Zweck sind am Thermobehälter Leuchtdioden angebracht, die vom Mikrocontroller an-

gesteuert werden. Beispielsweise kann den Mitarbeitern auf diese Weise signalisiert werden, dass eine kritische Temperaturgrenze überschritten worden und ein sofortiges Eingreifen nötig ist. Über denselben Ansatz kann auch die durchgehende Energieversorgung des intelligenten Behälters sichergestellt werden, zumal die Mitarbeiter frühzeitig auf einen geringen Batterieladezustand hingewiesen werden können, ohne dass sie spezielle Anzeigen aufrufen oder Messungen durchführen müssen. Die Kommunikation mit der Infrastruktur erfolgt hingegen automatisch und drahtlos auf Basis von RFID im UHF-Bereich. Diese Technologie zeichnet sich durch hohe Lesereichweiten aus und ist in der Logistik weit verbreitet (siehe auch Kapitel 6.5). Der umgesetzte Thermobehälter bedient sich dieser Vorteile, wobei sich die Kommunikation in zwei Stufen unterteilen lässt. So werden die Daten, die vom Behälter übertragen werden sollen, zunächst in den internen Speicher des in den Behälter integrierten RFID-Transponders geschrieben. Hierzu stehen entsprechende Schnittstellen und Übertragungsprotokolle zwischen Sensoren, Mikrocontroller und Speicher zur Verfü-

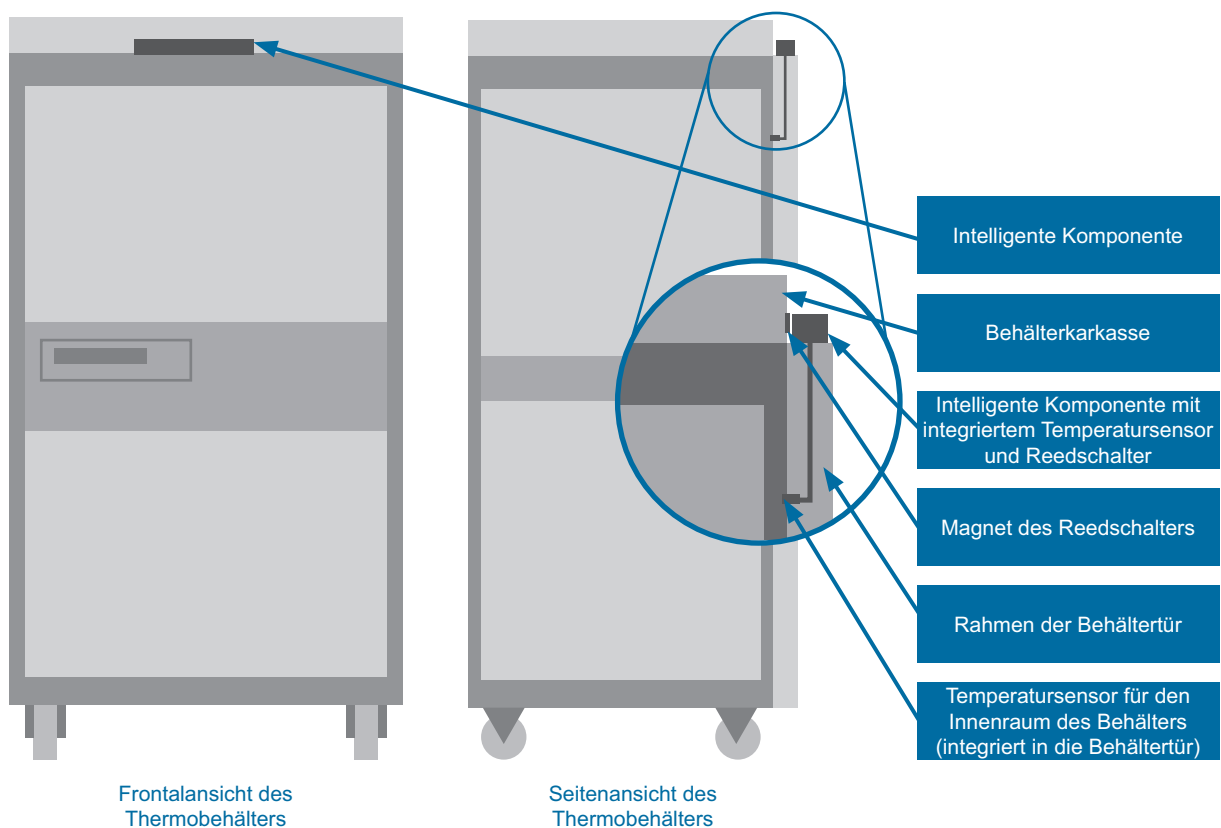


Bild 6.5 Skizze des intelligenten Thermobehälters für die Lebensmittelbranche (Quelle: Lehrstuhl fml, Technische Universität München)

ung. Daraufhin können die Daten an beliebiger Stelle in der Supply Chain ausgelesen und weiterverarbeitet werden. Um dies zu ermöglichen gilt es, eine geeignete Infrastruktur aufzubauen und festzulegen, an welchen Stellen entlang der Prozesskette das Auslesen und Übertragen von Daten notwendig und sinnvoll ist. Wichtige Identifikationspunkte stellen vor allem die Warenein- und -ausgänge bei Herstellern, Distributionszentren, Cross-Docks und Filialen dar. Allerdings kann auch das Auslesen und Kontrollieren von Daten bei Übergängen zwischen internen Bereichen, z.B. zwischen einem gekühlten Lager- und dem Versandbereich, sinnvoll sein. Um einen intelligenten Thermobehälter eindeutig identifizieren und die gespeicherten Daten erfassen zu können, müssen geeignete Geräte an den Identifikationspunkten bereitstehen. Hierzu können stationäre RFID-Reader eingesetzt werden, wobei sichergestellt werden sollte, dass diese im Prozess auf jeden Fall passiert werden. Dementsprechend empfiehlt es sich, die Reader entweder in Toren (Bild 6.6) anzubringen oder RFID-Gates aufzustellen.

Alternativ besteht die Möglichkeit, mobile Reader, z.B. Handhelds, einzusetzen. Hierdurch kann zwar keine vollautomatische Datenerfassung realisiert werden, jedoch können diese an mehreren Identifikationspunkten genutzt werden, wodurch der Aufwand für den Aufbau der Infrastruktur sinkt. Zusatzfunktionalitäten, wie das Anzeigen von Daten und die Erfassung von anderen Kennzeichnungen (z.B. Barcodes), erhöhen die Flexibilität und machen die mobilen Identifikationsgeräte vor allem für kleinere Unternehmen wirtschaftlich. Ein Ansatz, der die gleiche Zielstellung verfolgt, ist die Integration von Lesegeräten in LKW. Dabei erfolgt die Identifikation von intelligenten Behältern jeweils bei der Be- und Entladung, wobei der Standort

über integrierte GPS-Module bestimmt wird. Gerade in der Lebensmittel-Supply Chain, in der viele Warenumschläge erfolgen, kann hierdurch die Anzahl an umzusetzenden Identifikationspunkten reduziert werden. Hält man sich alleine die hohe Anzahl an Einzelhandelsfilialen, die beliefert werden müssen, vor Augen, so wird das Einsparungspotenzial dieses Ansatzes deutlich. Darüber hinaus ermöglicht dieser Ansatz die Datenerfassung und -übertragung während des Transports, wodurch die Transparenz in der Lebensmittel-Supply Chain weiter gesteigert werden kann.

Kommunikation und Auswertung von Daten in der Lebensmittel-Supply Chain

Für die Datenübertragung und -speicherung müssen Schnittstellen und Protokolle ausgewählt und in der Supply Chain umgesetzt werden. Um den Aufwand hierfür zu reduzieren und einfache Erweiterungen zu ermöglichen, empfiehlt es sich, auf standardisierte Informationsdienste zurückzugreifen. So basiert die IT-Infrastruktur für den vorgestellten intelligenten Thermobehälter auf dem Electronic Product Code Information Service (EPCIS), dessen Architektur in Bild 6.7 zusammengefasst ist. Es handelt sich hierbei um ein in der Logistik weit verbreitetes standardisiertes System für den Datenaustausch in Wertschöpfungsketten, welches von der Organisation GS1 gepflegt und entsprechend neuer Anforderungen erweitert wird (GS1 Global 2014).

Ein wesentlicher Aspekt bei der Implementierung von EPCIS ist die Zuweisung von Identifikationsnummern zu Objekten. Unter dem Oberbegriff Electronic Product Code (EPC) stehen hierzu eine Reihe verschiedener Nummernarten zur Verfügung, die unter anderem die Identifikation von Artikeln, Transporteinheiten, Inven-

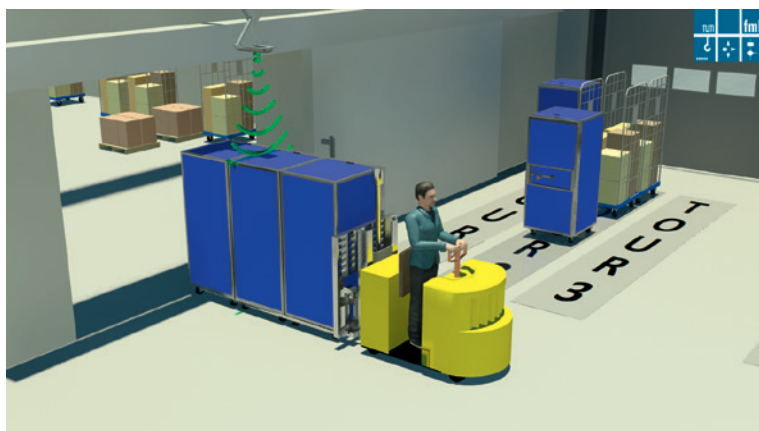


Bild 6.6

Identifikation intelligenter Thermobehältern durch stationäre Reader (Quelle: Lehrstuhl fml, Technische Universität München)

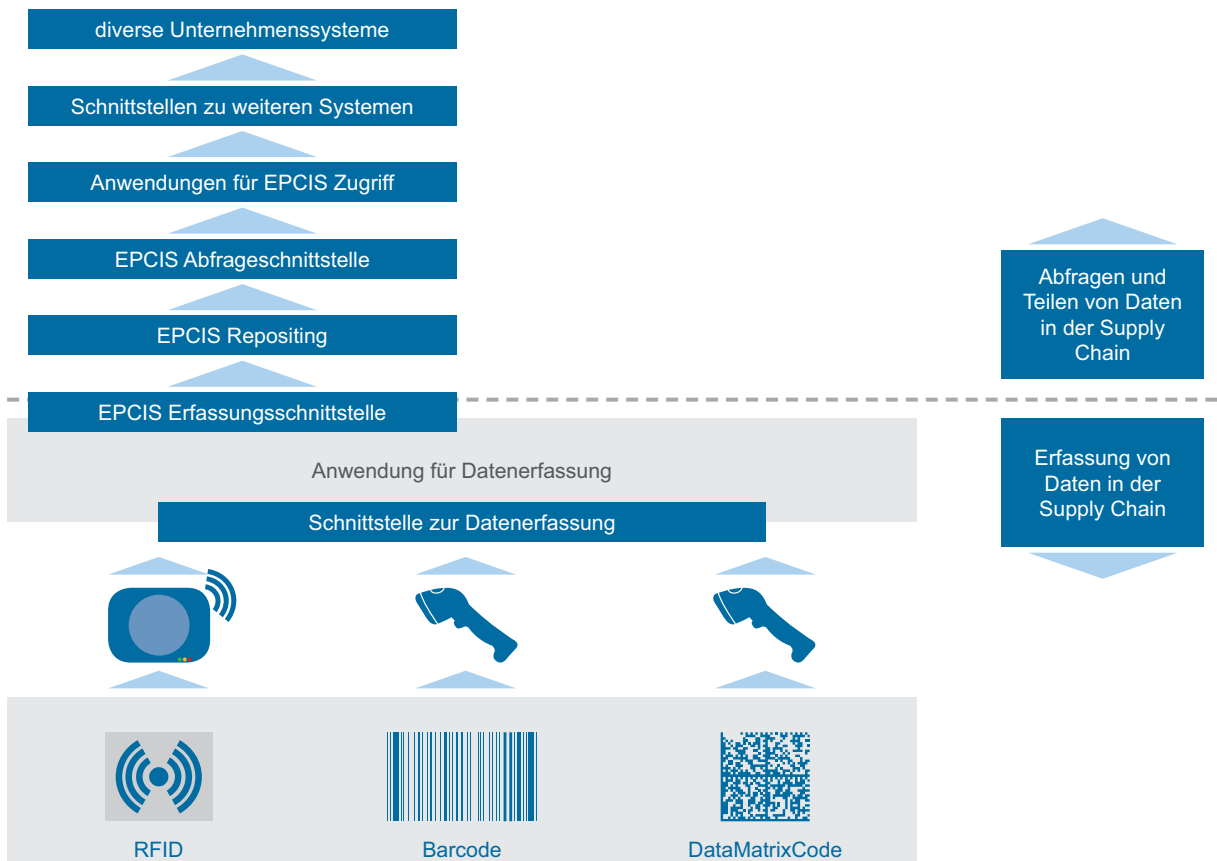


Bild 6.7 Aufbau und Elemente des Informationsdienstes EPCIS (nach GS1 Global 2014a)

targütern sowie Standorten ermöglichen. Um die automatische Identifikation von Objekten wie dem intelligenten Thermobehälter realisieren zu können, müssen diese mit Kennzeichnungen, in welchen ein EPC codiert ist, versehen werden. Beispielsweise kann der EPC hierzu in einem Barcode verschlüsselt und ein entsprechendes Label am Objekt angebracht werden. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Verwendung von RFID-Transpondern als Datenträger für den EPC. Beim Auslesen der Transponderdaten wird dieser erfasst und somit die eindeutige Zuordnung von Daten und Objekt ermöglicht. Dabei sammelt und filtert eine Middleware die ausgelesenen Daten, woraufhin diese in eine standardisierte Form, sogenannte EPCIS-Events, gebracht und über eine Erfassungsschnittstelle (EPCIS Capture Interface) in einer Datenbank (EPCIS-Repository) abgelegt werden. EPCIS-Events sind XML-basiert und weisen einen standardisierten Aufbau auf, wobei der Inhalt im Kern die vier Dimensionen Was (ein oder mehrere EPC), Wann (Zeitstempel), Wo (Lokationsnummer) und Warum (Core Business Vocabulary)

enthält. In einer Art Anhang können in EPCIS-Events weitere prozessspezifische Daten übertragen und somit alle relevanten Informationen erfasst werden. Im Falle des intelligenten Thermobehälters werden also an allen Identifikationspunkten EPCIS-Events generiert, aus denen nicht nur hervorgeht, welcher Behälter wann und wo (z.B. Warenausgang Distributionszentrum) identifiziert wurde, sondern auch warum (z.B. Verladung auf LKW) und welchen Zustand Behälter und Inhalt hatten (z.B. Oberflächen- und Kerntemperatur). Auf Basis der durchgängigen Eventgenerierung in der Supply Chain sind folglich umfangreiche Auswertungen und Rückverfolgungen für alle Behälter und Lebensmittel möglich. Der Zugriff durch entwickelte Softwareanwendungen auf die gespeicherten Events erfolgt hierbei über eine Abfrageschnittstelle (EPCIS-Query). Um alle Events zu einem Objekt, die mitunter verteilt in der Supply Chain gespeichert sind, berücksichtigen zu können, wird zudem der Auffindungsdienst Object Name Service (ONS) genutzt. Darauf aufbauend können den Beteiligten der Supply Chain

weitere Dienste bereitgestellt werden, die über die reine Behälter- und Lebensmittelnachverfolgung (Tracking und Tracing) hinausgehen. Unter anderem ist es auf Basis aktueller Standort- und Bestandsinformationen möglich, Bestände zu optimieren und Bedarfe effizienter zu planen. Auch die Integration des Informationsdienstes für intelligente Behälter in die bestehende IT-Landschaft, z. B. die Vernetzung mit ERP-Systemen, bietet Potenziale (Wang 2014). So können Informationen aus beiden Systemen angereichert und für ein effizienteres Bestell- und Auftragsmanagement genutzt werden, wodurch schließlich die Transparenz in der gesamten Lebensmittel-Supply Chain weiter gesteigert werden kann.

Das Beispiel des intelligenten Behälters zeigt schließlich die Möglichkeiten und Potenziale auf, die sich aus dem Ansatz der dezentralen Datenhaltung ergeben. Dieser Ansatz zur horizontalen Integration in der Supply Chain ist jedoch nicht für alle Anwendungsfälle sinnvoll. Vor allem in Anwendungsfällen, in denen viele Daten zu einem Objekt vorliegen, Daten von verschiedenen Supply Chain-Partnern parallel bearbeitet oder Daten häufig entlang des Objekt-Lebenszyklus geändert werden, bietet die Datenhaltung in einer zentralen Plattform mitunter größere Potenziale. Diese Gesichtspunkte werden im folgenden Unterkapitel, in welchem ein Konzept für die intensive unternehmensübergreifende Zusammenarbeit in der Werkzeug-Supply Chain beschrieben wird, aufgegriffen.

6.1.2 Kollaboratives Lebenszyklusmanagement in der Cloud am Beispiel der Werkzeug-Supply Chain

In Produktionsbetrieben stellt das Werkzeugmanagement einen wichtigen Aufgabenbereich dar. Gerade vor dem Hintergrund hoher personeller und monetärer Aufwände, z. B. für die Beschaffung, Lagerung, Bereitstellung, Einrichtung und Instandsetzung von Werkzeugen, gilt es, die Prozesse im Werkzeugmanagement möglichst effizient zu gestalten und schließlich einen optimalen Werkzeugeinsatz zu ermöglichen. Wesentliche Tätigkeiten lassen sich dabei einerseits der Werkzeugplanung, die sich z. B. mit der Auswahl und Zuordnung von Werkzeugen zu Fertigungsaufträgen und Maschinen sowie der Anforderungsdefinition an neue Werkzeuge beschäftigt, zuordnen. Andererseits gilt es, im Rahmen der Werkzeuglogistik Werkzeugbestände zu verwalten, Werkzeugbedarfe zu ermitteln sowie die

Bereitstellung der richtigen Werkzeuge an der richtigen Maschine zu planen (Mayer 1988). Neben dem Materialfluss von Werkzeugen spielt jedoch auch der begleitende Informationsfluss eine entscheidende Rolle im Werkzeugmanagement. So muss sichergestellt werden, dass in jedem Prozessschritt die benötigten Daten bereitstehen bzw. erfasst und übertragen werden. Dementsprechend sollten bei der Erstellung von geeigneten Konzepten für eine durchgängige Informationslogistik Anforderungen möglichst aller Prozesse im Werkzeugmanagement berücksichtigt werden. Diese lassen sich verschiedenen Phasen im Lebenszyklus eines Werkzeuges zuordnen (Bild 6.8). Am Werkzeug-Lebenszyklus sind wiederum mehrere Unternehmen beteiligt, welche die Werkzeug-Supply Chain bilden, wobei jedes Unternehmen verschiedene Daten benötigt und generiert:

- Der Werkzeughersteller generiert Konstruktionsdaten (z. B. geometrische Soll-Daten), für den Werkzeugeinsatz relevante Daten (z. B. zulässige Drehzahlen und geometrische Ist-Daten) sowie logistische Daten (z. B. Lagerbestand und Versanddaten).
- Die Hersteller von Maschinen benötigen Werkzeugdaten unter anderem für die Konstruktion und Inbetriebnahme von Maschinen.
- Der Anwender von Werkzeugen ist auf Werkzeugdaten angewiesen, um Maschinen einrichten und eine fehler- und ausschussfreie Produktion realisieren zu können. Weiterhin müssen auch hier Werkzeugbestände und -zustände verwaltet werden.
- Im Verlauf des Lebenszyklus wird ein Werkzeug, oftmals bei einem Dienstleistungsunternehmen, mehrfach geschärft und neu vermessen, woraus veränderte geometrische Daten resultieren.

Zwar existieren für den Datenaustausch zwischen den Unternehmen und Prozessen diverse Konzepte, jedoch stellen diese meist Insellösungen dar oder basieren auf manuellen Datenübertragungen und Papierdokumenten (z. B. Werkzeugbegleitkarten). Hieraus resultieren oftmals nicht nur eine mangelnde Transparenz im Werkzeugmanagement, z. B. hinsichtlich tatsächlicher Bestände, Zustände und Standorte, sondern auch Risiken hinsichtlich der Prozesssicherheit. So können durch die medialen Brüche im Informationsfluss manuelle Fehleingaben (z. B. bei der Maschineneinrichtung), die im schlimmsten Fall zu Maschinencrashes führen, nicht ausgeschlossen werden. Vor diesem Hintergrund wird im Folgenden ein Konzept vorgestellt, welches im Rahmen eines Forschungsprojekts erarbeitet

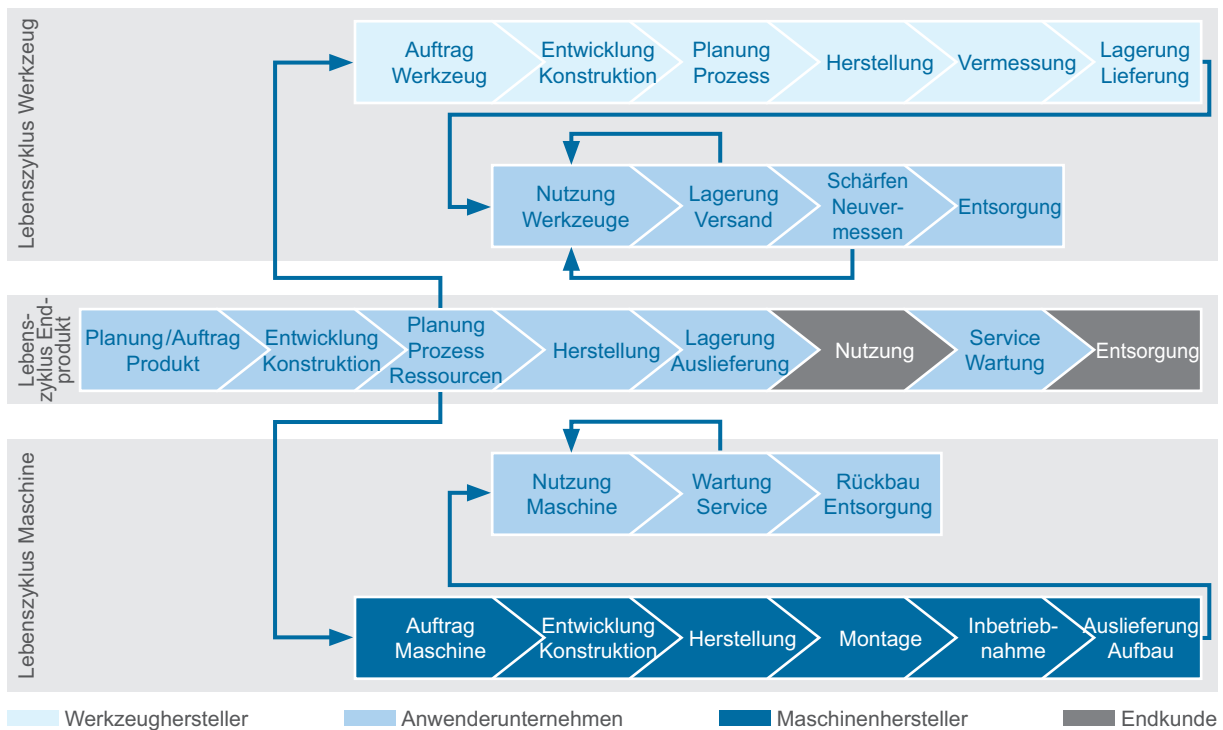


Bild 6.8 Vereinfachte Darstellung der Prozesse entlang des Werkzeuglebenszyklus und der Werkzeug-Supply Chain (Quelle: Lehrstuhl fml, Technische Universität München)

wurde und die unternehmensübergreifende Digitalisierung des Werkzeugmanagements zum Ziel hat (Röschinger 2014). Hierbei wird sichergestellt – basierend auf Web-Services und einer zentralen Cloud-Plattform, auf welche alle Unternehmen der Werkzeug-Supply Chain Zugriff haben –, dass zu jedem Zeitpunkt und für alle Prozessschritte aktuelle Werkzeugdaten zur Verfügung stehen. Dazu werden verschiedene Daten entlang des Werkzeug-Lebenszyklus automatisch erfasst und in der Cloud aktualisiert. Außerdem sieht das Konzept sowohl den Datenabruf von verschiedenen Endgeräten (z. B. Desktop PC, Smartphone, Tablet) als auch den automatischen Datenabruf vor, wodurch Automatisierungslücken, z. B. bei der Maschineneinrichtung, geschlossen werden können.

Bei der Erstellung eines Konzepts für ein unternehmensübergreifendes und Cloud-basiertes Werkzeugmanagement müssen diverse Gestaltungsfelder adressiert werden (Bild 6.9). So gilt es, alle relevanten Systemelemente sowie Lokationen zu identifizieren und für den automatischen Datenaustausch vorzubereiten. Zudem müssen die bestehenden Prozesse detailliert analysiert und diejenigen Prozessschritte identifiziert werden, in welchen eine automatische Da-

tenfassung und -bereitstellung realisiert werden soll. Es sollten entsprechend Soll-Prozesse definiert werden, aus welchen nicht nur die benötigten Zugriffspunkte auf die Cloud, sondern auch die in den jeweiligen Prozessschritten benötigten bzw. generierten Daten hervorgehen. Diese sind in einem Datenmodell zu strukturieren und festzuhalten, wodurch die Basis für die Umsetzung der Cloud-Datenbank geschaffen wird. Schließlich gilt es, die Art und Weise der Datenübertragung zu betrachten, also eine geeignete Kommunikationsinfrastruktur zu entwerfen. Hierbei müssen, insbesondere vor dem Hintergrund einer Cloud-Lösung, auch sicherheitstechnische Fragestellungen beantwortet werden. Neben technischen Maßnahmen sollte hierfür ein detailliertes Rechte- und Rollenkonzept erstellt werden, welches festhält, wer auf welche Daten Zugriff hat.

Kennzeichnung und Identifikation von relevanten Systemelementen

Um eine explizite Zuordnung von Daten zu Objekten und hierauf aufbauend eine digitale Vernetzung der Prozesse zu ermöglichen, müssen Objekte entlang (unternehmensübergreifender) Prozesse eindeutig identi-

Cloud-basiertes Werkzeugmanagementsystem



Bild 6.9 Gestaltungsfelder bei der Konzeption des Cloud-basierten unternehmensübergreifenden Werkzeugmanagementsystems (Quelle: Lehrstuhl fml, Technische Universität München)

fiziert werden können. Das betrachtete Konzept für den Anwendungsfall des Werkzeugmanagements verfolgt hierzu den Ansatz der zentralen Datenhaltung. Das bedeutet, dass die Daten nicht auf den Systemelementen, sondern in einer zentralen Plattform – im Anwendungsfall in einer Cloud-Datenbank – gespeichert und verarbeitet werden. Folglich liegt die Intelligenz nicht bei den Systemelementen auf Prozessebene, sondern in der übergeordneten zentralen Cloud-Instanz. Da sowohl die zentrale als auch die dezentrale Datenhaltung diverse Vorteile und Nachteile aufweisen (Diekmann 2007), sollten die beiden Konzepte vor dem Hintergrund eines konkreten Anwendungsfalls gegeneinander abgewogen werden. Im Falle des Cloud-basierten Werkzeugmanagementsystems wird der Ansatz der zentralen Datenhaltung gewählt, da Daten nicht nur am Standort, an dem sich das gekennzeichnete Objekt befindet, zugänglich sein sollen. Vielmehr sollen Daten stets aktuell für alle Supply Chain-Partner verfügbar und abrufbar sein. Dabei sollen Datensynchronisationen zwischen der zentralen Cloud-Plattform und dezentralen Datenspeichern vermieden werden, da ansonsten die Aktualität und Konsistenz der Cloud-Daten nur eingeschränkt gewährleistet werden kann.

Das Konzept für ein unternehmensübergreifendes Werkzeugmanagement baut also auf einer zentralen Datenhaltung auf, wozu den Werkzeugen zunächst ein-

deutige Identifikationsnummern zugeordnet werden. Um die Überschneidungsfreiheit dieser Nummern sicherzustellen und eine flexible Erweiterbarkeit der Lösung, also unter anderem die Anbindung weiterer Unternehmen an die Cloud-Plattform, zu ermöglichen, wird hierzu auf den bereits in Kapitel 6.1.1 beschriebenen EPC-Standard zurückgegriffen. Durch die Vergabe von serialisierten Artikelnummern (SGTIN – Serialized Global Trade Item Number) können Werkzeuge eindeutig identifiziert und der richtige Datensatz in der Cloud adressiert werden. Um die Prozesse im Werkzeugmanagement durchgängig zu digitalisieren, müssen auch Systemelemente, mit denen Werkzeuge im Laufe ihres Lebenszyklus in Wechselwirkung stehen, automatisch identifizierbar sein, wofür diesen ebenfalls eindeutige Identifikationsnummern zuzuweisen sind. Beispiele hierfür sind Aufnahmen, in die Werkzeuge vor dem Einsatz in Maschinen montiert werden, Maschinenspindeln und Maschinen. Wie die verschiedenen Systemelemente gekennzeichnet werden, wie also die Codierung der Identifikationsnummern auf dem physischen Objekt erfolgt, ist im betrachteten Konzept nicht fest definiert. Vielmehr ist dieses unabhängig von gewählten Kennzeichnungs- und Identifikationstechnologien umsetzbar. Somit können auch verschiedene Technologien zum Einsatz kommen sowie bereits bestehende Lösungen (z. B. Identifikation von Aufnahmen

mittels RFID) verwendet werden. Einen interessanten Ansatz für die Kennzeichnung von Werkzeugen stellen jedoch optische Codes, wie Data Matrix Codes, dar. Diese werden den oben genannten Herausforderungen am besten gerecht, da sie sehr klein skaliert und somit auch auf sehr kleine Werkzeuge aufgebracht werden können. Außerdem bedingen optische Codes keinen physischen Datenträger, sondern können, z.B. durch den Einsatz von Lasergeräten, direkt auf die Werkzeugoberfläche appliziert werden. Hierdurch können sowohl zusätzliche fertigungstechnische Bearbeitungsschritte (z.B. Anbringung einer Bohrung für RFID Transponder) als auch Risiken hinsichtlich der Einschränkung der Funktionsfähigkeit des Werkzeuges vermieden werden.

Auf Basis der zugeordneten Identifikationsnummern und der aufgetragenen Kennzeichnungen können die Systemelemente eindeutig und automatisch identifiziert werden, womit eine wesentliche Voraussetzung für den Datenaustausch mit der Cloud geschaffen ist. Im nächsten Schritt gilt es nun festzulegen, wann und wo dieser erfolgen soll. Hierzu sind unter anderem Lokationen zu definieren, an welchen eine Identifikation erfolgen muss, um eine transparente und durchgängige Nachverfolgbarkeit zu ermöglichen (Tracking und Tracing). Beispiele hierfür sind Wareneingangs-, Versand- sowie Lagerbereiche. Durch den Einsatz von Identifikationsgeräten (z.B. RFID Reader, Barcode Lesegeräte und Smartphones) sowie die Zuweisung eindeutiger Lokationsnummern kann somit konsequent erfasst werden, welches Werkzeug sich wo befindet bzw. befunden hat. Auf Basis der festgelegten Identifikationspunkte können Soll-Prozesse definiert werden. Dabei gilt es zu beachten, dass an vielen Stellen nicht nur Daten in die Cloud zu übertragen sind (z.B. ID des Werkzeuges, Zeitpunkt und ID der Lokation), sondern oftmals auch Daten von der Cloud abgerufen werden müssen. Diese Aspekte sollen durch folgende Auflistung, welche den erweiterten Ablauf der automatisierten Maschineneinrichtung abstrahiert wiedergibt, dargestellt werden:

- Das benötigte Werkzeug muss zunächst aus dem Lager oder einem Lagersystem (z.B. Werkzeugschrank) geholt werden. Der genaue Standort (z.B. Lagerfach) kann aus der Cloud abgefragt werden, wozu auch Smartphones oder Tablets eingesetzt werden können. Für ein durchgängiges Tracking und Tracing wird das Werkzeug bei der Entnahme aus dem Lager ausgebucht und der Standort (z.B. Maschinenumge-

bung) bzw. Status (z.B. in Transport) entsprechend in der Cloud aktualisiert.

- Für den Einsatz auf der Maschine müssen viele Werkzeuge zunächst in eine Aufnahme montiert werden. Nach der physischen Montage muss auch eine datentechnische Verheiratung erfolgen, also eine Relation zwischen dem spezifischen Werkzeug und der Aufnahme hergestellt werden. Einerseits ist dies nötig, um später nachvollziehen zu können, welches Werkzeug sich wann in welcher Aufnahme befunden hat. Andererseits kann hierdurch eine eindeutige Zuordnung von veränderten geometrischen Daten, die mitunter aus einer Vermessung der Kombination aus Werkzeug und Aufnahme resultieren, erfolgen.
- Sobald das Werkzeug in die Maschine eingesetzt wird, entweder über ein Wechselsystem oder direkt in die Maschinenspindel, stehen somit die aktuellen und korrekten Daten zur Verfügung. Diese können nach der Identifikation des Werkzeuges oder der Aufnahme – durch die datentechnische Verheiratung können über beide Objekte die benötigten Datensätze referenziert werden – automatisch in die Maschinensteuerung übertragen werden. Neben dem Datenabruf wird in der Cloud der Standort des Werkzeuges und der Aufnahme aktualisiert, sodass in späteren Auswertungen auch die Zuordnung von Werkzeugen zu Maschinen berücksichtigt werden kann.
- Während des Werkzeugeinsatzes auf der Maschine können verschiedene Daten in die Cloud übertragen und dort gespeichert werden. Beispiele hierfür sind Einsatzzeiten, Daten zum bearbeiteten Material, Mengen von bearbeitetem Material (Laufmeter) sowie unter Umständen Fehlercodes. Hierdurch entsteht nicht nur für das Anwenderunternehmen eine wertvolle Datenbasis, sondern auch der Werkzeughersteller kann Auswertungen hinsichtlich der Werkzeugeignung für den Bearbeitungsprozess anstellen und Produktoptimierungen anstoßen.
- Nach dem Einsatz wird das Werkzeug entweder im Wechselsystem der Maschine gepuffert oder ausgewechselt. Auch hierbei sollte für ein durchgängiges Tracking und Tracing der Standort des Werkzeuges aktualisiert werden. Bevor das Werkzeug dann wieder eingelagert wird, erfolgt oftmals die Demontage aus der Aufnahme. Dieser Prozessschritt ist ebenfalls digital in der Cloud abzubilden. Weist eine optische Begutachtung oder Analyse erfasster Daten (z.B. kritische Laufmeter- bzw. Standwegzahl) darauf

hin, dass ein Werkzeug nicht mehr für weitere Bearbeitungseinsätze infrage kommt, so muss es instand gesetzt werden. Je nach Unternehmen kann dies unternehmensintern oder bei einem externen Dienstleister erfolgen, wobei das Werkzeug im letztgenannten Fall versandt werden muss. Basierend auf einer Identifikation am Warenausgang gilt es dabei, den Standort und Status (z. B. nicht verfügbar) des Werkzeuges in der Cloud zu aktualisieren. Angekommen beim Instandsetzer sollte dann der Standort erneut aktualisiert werden, wodurch die durchgängige Nachverfolgbarkeit in der gesamten Supply Chain gewährleistet werden kann.

Zur Realisierung der Soll-Prozesse müssen zum einen die zu erfassenden und bereitzustellenden Daten in einem Datenmodell dokumentiert und eine entsprechende Datenbank aufgesetzt werden. Zum anderen muss definiert werden, wie der Zugriff auf die Datenbank erfolgt und geeignete Schnittstellen geschaffen werden – hierauf wird im nächsten Unterkapitel genauer eingegangen.

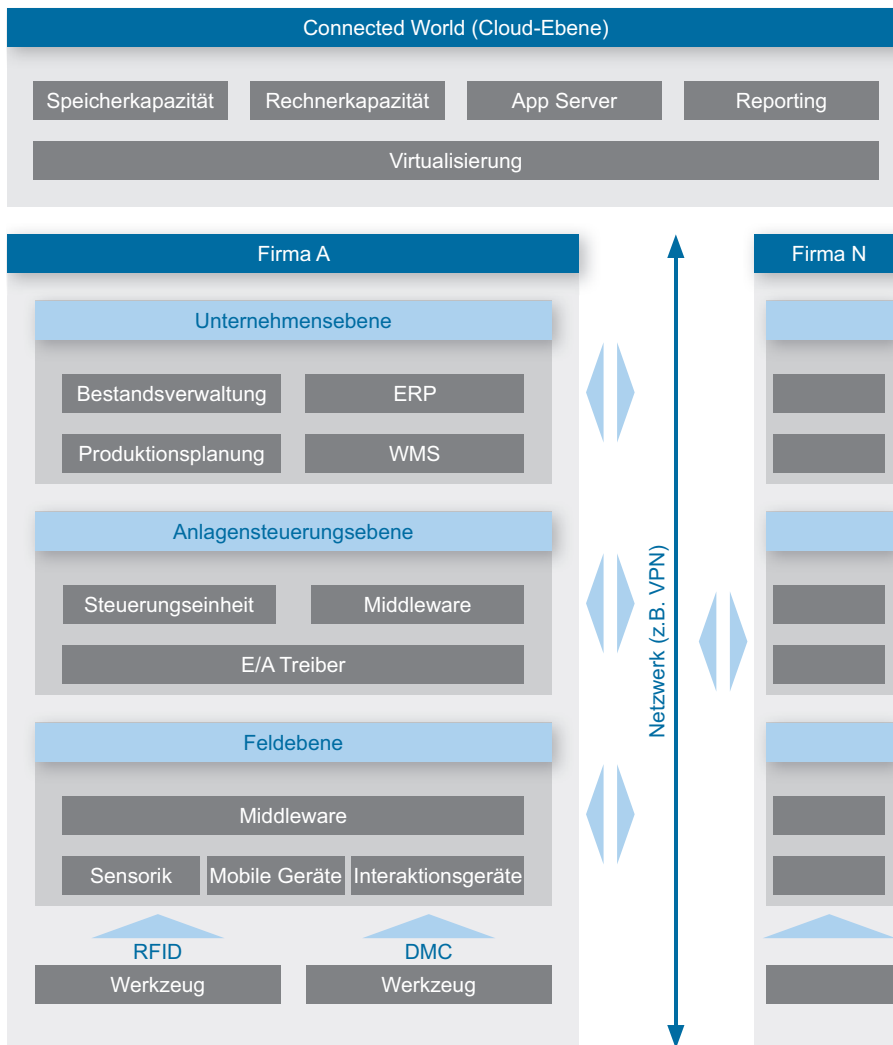
Systemarchitektur für den unternehmensübergreifenden Austausch von Werkzeugdaten

Ziel des vorgestellten Cloud-Konzepts ist die automatische Datenerfassung und -bereitstellung, wobei dies flexibel entsprechend der Prozessanforderungen umzusetzen ist. Vor diesem Hintergrund können die verschiedenen Funktionen des Cloud-basierten Werkzeugmanagementsystems als Dienstleistung aufgefasst werden. Diese werden von einem Dienstleister, dem Betreiber der Cloud Plattform, als Web-Services für die Werkzeug-Supply Chain bereitgestellt. Es bietet sich daher an, die Systemarchitektur, in Bild 6.10 in einer groben Übersicht dargestellt, entsprechend des Paradigmas der Serviceorientierten Architektur (SOA) zu gestalten. Demzufolge befinden sich an den beschriebenen Identifikationspunkten auf der Feldebene Identifikationsgeräte, welche die auf den Systemelementen codierte Identifikationsnummer auslesen. Über eine Middleware wird diese an die Maschinensteuerung auf der Anlagensteuerungsebene weitergegeben. Von dort aus erfolgt ein Web-basierter Datenaustausch mit der Cloud-Ebene. Alternativ kann dieser auch direkt vom Erfassungsgerät (z. B. Smartphone) aus stattfinden, wobei dieses über eine Internetverbindung verfügen muss.

Um den Datenaustausch möglichst standardisiert durchzuführen, wird auf das in Kapitel 6.1.1 vorgestellte

te Konzept EPCIS zurückgegriffen. Dabei ermöglichen die für alle Prozessschritte definierten EPCIS-Events nicht nur die durchgängige Erfassung und Bereitstellung von Daten, sondern auch den Aufbau einer breiten Datenbasis für die Auswertung des gesamten Werkzeug-Lebenszyklus. Ein wichtiger Aspekt in diesem Zusammenhang ist die eindeutige Festlegung des Datenzugriffs und der Datensicherheit. Hierfür müssen einerseits die Kommunikationswege verschlüsselt und geschützt werden (z. B. durch https und VPN). Andererseits sollten für die Supply Chain-Partner Zugriffsrechte definiert, in einem Rechte- und Rollenkonzept festgehalten und unter anderem durch Logging-Funktionen realisiert werden. Somit kann sichergestellt werden, dass die jeweiligen Unternehmen nicht auf alle Daten der Supply Chain-Partner Zugriff haben, sondern nur auf die für sie relevanten und freigegebenen. Gerade vor dem Hintergrund der Erweiterbarkeit, also z. B. der Anbindung weiterer Anwenderunternehmen, welche mitunter Wettbewerber sind, ist dies ein entscheidender Aspekt. Allerdings sind die Datenzugriffe nicht nur im unternehmensübergreifenden Kontext zu betrachten. Es muss auch definiert werden, wer innerhalb eines Unternehmens Zugriff auf welche Daten hat. Für unterschiedliche Abteilungen und Mitarbeitergruppen können dementsprechend Zugriffe verweigert, nur Leserechte oder Vollzugriffe eingerichtet werden.

Einer der großen Vorteile der vorgestellten Architektur besteht in der Flexibilität hinsichtlich der Verwendung verschiedener Endgeräte. So kann der Datenaustausch mit der Cloud nicht nur von Maschinen aus, sondern auch Browser-basiert an Arbeitsplätzen erfolgen. Schließlich besteht auch die bereits erwähnte Möglichkeit, durch Smartphones auf die Cloud-Plattform zuzugreifen. Da die Lösung von einer vorhandenen Internetverbindung abhängig ist und diese auf Maschinenebene nicht immer gegeben oder gewünscht ist, kann der Einsatz von Smartphones eine interessante Zwischenlösung auf dem Weg zum vollautomatisierten Werkzeugmanagement darstellen. In einer Smartphone-App können verschiedene Funktionen realisiert und dabei die unterschiedlichen Module des Geräts, wie GPS Empfänger und Kamera, genutzt werden. Auch wenn im betrachteten Konzept noch keine Datenübertragung vom Smartphone zur Maschine vorgesehen ist, z. B. über Bluetooth, können durch den Einsatz von Smartphones der händische und papierbasierte Dokumentationsaufwand im Werkzeugmanagement reduziert und stets aktuelle Daten bereitgestellt werden.

**Bild 6.10**

Abstrahierte Systemarchitektur für das Cloud-basierte unternehmensübergreifende Werkzeugmanagementsystem (Quelle: Lehrstuhl fml, Technische Universität München)

Abschließend lässt sich also festhalten, dass durch Cloud-Lösungen eine intensive Vernetzung zwischen Supply Chain-Partnern erreicht werden kann. Am Beispiel der Werkzeug-Supply Chain zeigt sich, dass hierdurch Prozesse bei allen beteiligten Partnern optimiert werden können. So können, basierend auf der automatischen Erfassung und Bereitstellung aktueller Daten, diverse neue Funktionen ermöglicht werden. Bereits die automatische Identifikation von Werkzeugen und die Anzeige der zugehörigen Daten erhöht die Transparenz und Sicherheit in den Prozessen, zumal sichergestellt ist, dass es sich um die richtigen und aktuellen Daten handelt. Tiefer gehende Funktionen, wie die Übertragung der Daten direkt in die Maschinensteuerung, schließen Automatisierungslücken und eliminieren Fehlerquellen wie z.B. Fehleingaben bei der manuellen Datenübertragung. Aus Sicht des Werkzeug-

lebenszyklus betrachtet, ermöglichen Auswertungsfunktionen neue Aussagen über den optimalen Werkzeugeinsatz sowie transparente Informationen über Werkzeugbestände, -zustände und -standorte.

6.2 Einsatz digitaler Werkzeuge in der Logistikplanung

Für die breite Umsetzung der Logistik 4.0 müssen nicht nur die technologischen Grundlagen geschaffen werden, sondern auch entsprechende Methoden und Werkzeuge für die anwendungsfallbezogene Planung von

Logistik 4.0-Anwendungen und -Systemen bereitgestellt werden. Nur auf diese Weise können auch komplexe Systeme effizient geplant werden (Kagermann 2013). Auch im Bereich der Logistik werden Planungswerkzeuge benötigt, welche die flexible und robuste Planung der vielschichtigen technischen Systeme ermöglichen. So müssen neben den zu realisierenden Materialflüssen auch Informations- und Energieflüsse sowie Schnittstellen zu anderen Systemen wie z. B. Fertigungs- und Montagesystemen, adressiert werden. Außerdem muss die Rolle des Menschen in den technischen Systemen ausführlich analysiert und berücksichtigt werden. Zum einen bezieht sich diese Aussage auf die Mitarbeiter in den zu planenden Systemen. So muss bereits in der Planung sichergestellt werden, dass die spätere Ausführung manueller Tätigkeiten, die z. B. im Bereich der Kommissioniersysteme oftmals dominieren, nicht nur möglichst effizient, sondern auch ergonomisch möglich ist. Zum anderen sind auch das Aufgabenfeld des Planers zu untersuchen und dessen Tätigkeiten durch innovative Werkzeuge zu unterstützen.

Grundlegend werden an die Planung von Materialflusssystemen, egal ob es sich um eine Neu-, Erweiterungs- oder Umstellungsplanung handelt, diverse Anforderungen gestellt. Wichtig sind in diesem Zusammenhang die bereits erwähnte zunehmende Komplexität der Planungsobjekte sowie der steigende Planungsumfang. Außerdem wird gefordert, dass Planungsprojekte effizienter durchgeführt werden, wozu es nicht nur die Planungssicherheit, sondern auch die Planungsgeschwindigkeit zu erhöhen gilt. Diesen Anforderungen kann durch den Einsatz innovativer Werkzeuge und Methoden nachgekommen werden, wobei diese durchgängig für den gesamten Planungsprozess bereitstellen sind.

Um aufzuzeigen, wie die genannten Planungsphasen durch digitale Werkzeuge unterstützt werden können, werden im Folgenden zwei wichtige Aspekte aufgegriffen und konkrete Lösungsansätze vorgestellt. Zum einen handelt es sich hierbei um den Einsatz der Virtual Reality Technology in der Planung von Kommissioniersystemen. Diese ermöglicht es, den Menschen frühzeitig, also bevor das System realisiert wird, in die Planung einzubeziehen und dessen Interaktion mit den Systemkomponenten zu testen. Zum anderen wird eine Plattform für die digitale und kollaborative Planung vorgestellt. Hierbei wird der Umstand adressiert, dass an der Planung von komplexen Systemen diverse

Unternehmen beteiligt sind. Diese müssen eine große Menge an Daten austauschen und koordinieren, wobei oftmals Probleme hinsichtlich der Konsistenz und der Transparenz auftreten. Außerdem besteht ein hoher Abstimmungsbedarf zwischen den Unternehmen, um sicherzustellen, dass die jeweils entwickelten Systemkomponenten kompatibel sind und schließlich zu einem Gesamtsystem zusammengebaut werden können. Die präsentierte Plattform greift diese Herausforderungen bei der kollaborativen Planung auf, indem sie unter anderem die synchrone und unternehmensübergreifende Betrachtung und Bearbeitung von Layouts ermöglicht. Anhand der vorgestellten Lösungskonzepte können sowohl die Potenziale von digitalen Werkzeugen in der Logistikplanung nachvollzogen als auch Handlungsbedarfe für weitere Anwendungsfälle abgeleitet werden.

6.2.1 Einsatz von Virtual Reality zur Planung manueller Kommissioniersysteme

Die Technologie der Virtual Reality (VR) erlaubt es den Menschen, mit einer virtuellen Welt, also einem künstlich am Rechner erzeugten Abbild der Realität, zu interagieren bzw. in diese einzutauchen. Im Kontext der VR wird dieses Eintauchen in die virtuelle Welt als Immersion bezeichnet. Für eine ausgeprägte Form der Immersion müssen Mensch-Maschinen-Schnittstellen eingesetzt werden, die eine starke und realitätsgetreue Interaktion des Nutzers mit der Simulationsumgebung (Bild 6.11) fördern. Bei der geschaffenen virtuellen Welt kann es sich um eine Nachbildung existierender Systeme, Modelle geplanter künftiger Systeme oder

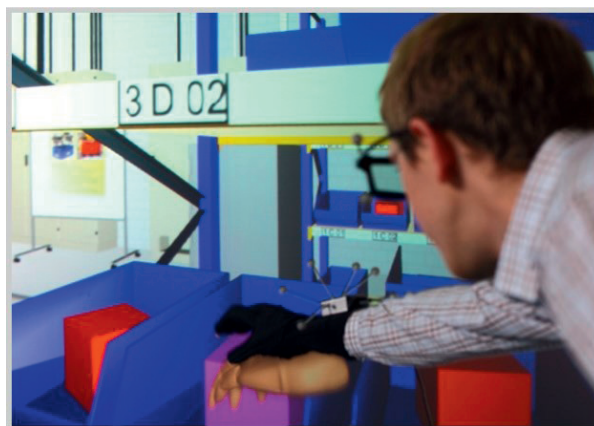


Bild 6.11 Virtual Reality-Umgebung (Quelle: Lehrstuhl fml, Technische Universität München)

Stichwortverzeichnis

Symbole

1D-/2D-Codierverfahren 560
3D-Druck 396
3D-Laserscanner 179
3D-Monitoring 288
3 V's 98

A

Aachener Qualitätsmanagement Modell 154
Abwehrfunktion 192
Adaptierbarkeit 276
adaptive Systeme 404
additive Fertigung 650, 718
Ad-hoc-Vernetzung 538
Advanced Message Queuing Protocol 107
Advanced Planning and Scheduling (APS)
139
Advanced Planning System 601
Agenten 490
Analysemethoden
- Big Data 99
Analytic Hierarchy Process 224
Änderungsmanagement 217
Android Apps 127
Andruck 633
Anforderungen-Fähigkeiten-Abgleich 529
- in der Montageplanung 529
Angriffertypen 114
Angriffspunkte 115
Anlagenarchitektur 388
Anlagenbediener 421
Anlagenreinigung 417
Anlagenstruktur 390, 399
Anwendungsfalldiagramm 245
Apache Hadoop 99
App
- für Verschleißerkennung 597
App-Analysewerkzeuge 130
Application Programming Interfaces 346
AppRay 127

App-Sicherheit 127
APS *siehe* Advanced Planning System
Arbeitsanweisungen 661
Arbeitsmittel 53
Arbeitsplangenerierung 681
Arbeitsplanung 311
Arbeitsvorbereitung 351
AR-Technologie 480
Assembly-by-Disassembly 523
Assistenzsystem 57, 145, 421, 479, 706
Attribute 248
Auffindungsdienst 459
Auftragsabwicklung 666
Auftragseingang 667
Auftragssteuerung 658
Augmented Reality 186, 480, 661, 677
Ausbringung 389
Aussteuerwerkzeuge 327
Auto-ID-Technologie 560
Automated Feature Recognition 345
AutomationML 578
automatisiertes Verpacken 625
Automatisierung
- Cloud-basierte 92
- skalierbare 608
Automatisierungsgrad 431, 615
Automatisierungskomponenten
- wandlungsfähige 537
Automatisierungsportfolio 678
Automatisierungspyramide 93, 120, 555, 678
Automatisierungstechnik 555
Automobilbau 591
Automobilproduktion 709
Autonomie 164
Autonomous Vehicles 101
AVB-Standard 570

B

Barcode 660, 662
Batch 382
Batch-Produktion 382

- Batchprozess 386
 Batterieproduktion 716
 Bauteile
 - gentelligente 319
 Bauteilschnittstellen 525
 BaZMod-Schnittstelle 330
 Bearbeitungszentren 591
 Bedienerbelastung 421f.
 Bedienerführung 592
 Bedienerqualifikation 421
 Bedienkonzepte 370
 - für Werkzeugmaschinen 372
 Bedrohungen 114
 Befähigertechnologien 638
 Behälter
 - intelligenter 455
 Behältermanagement 508
 Belastungs-Beanspruchungskonzept 56
 Belastungsfälle 320
 Belastungsgrößen 84
 Beschaffungsmodelle 667
 Bestandsmanagement 42
 Bestandsreduzierung 46
 betriebliche Mitbestimmung 204
 Betriebsmittel 616
 Betriebsmittelmodell
 - digitales 518
 Betriebs-Traceability 663
 Bevölkerungswachstum 381
 Big Data 10, 97, 673
 Big Data-Analysen 48, 356
 Big Data Analytics 710
 Binärcodeanalyse 124
 Blackboard 490
 Blindbedienung 374
 Blockchain-Technologie 117
 Breakthrough-Innovation 13
 Brownfield-Ansatz 214, 687
 Bypass-Methodik 669
- C**
- CAD/CAM-Kopplung 680
 CAD-CAM-NC-Kette 343, 357
 CAD-Produktanalyse 522
 CAM-Automatisierung 347
 CAM-Systeme 344
 CAM-Workflow 347
 CAPP-Methoden 347
 CAQ-Systeme 155
 Care-Kompetenz 272
 Cloud-basiertes Werkzeugmanagement 461
 Cloud Computing 90, 564f.
 Cloud-Lösungen 465
- Cloud-Plattformen 113
 Cloudservices 596
 Cloud Storage 90
 Cloudsystem 11
 Co-Creation 257, 259
 Codierung 335
 COMESCO-Kommunikationsstandard 684
 Community Cloud 90
 Complex Event Processing 26
 Computer Integrated Manufacturing XXXII
 Computerized Quality 156
 Condition-Monitoring 363
 Consumer-Technologien 371
 Continuous Processing 382
 CPPA *siehe* Cyber-physische Produktionsanlage
 CPPA-Entwicklung 242
 CPS-basierte Lösungen 239
 Create- and Play-Kompetenz 272
 cyber-physische Objekte 653
 Cyber-physische Produktionsanlage 226
 Cyber-physisches Produktionssystem 663
 Cyber-physisches System XXXIV, 34, 97, 561, 563,
 653
 Cyber-Sicherheit 111
 - Lösungsansätze 120
- D**
- Data Analytics 157
 Data Broker 23
 Datacentertopologie 577
 Data Collector 23
 Data Distribution Service 108
 Data Economy 100
 Data Matrix Codes 463
 Data Mining 716
 Datenaufnahme
 - bauteilrandzonenbasierte 302
 - sensorbasierte 299
 Datenbrille 161, 477, 479f., 677
 Dateneigentum 198
 Datenerfassung 674
 Datenevaluation 360
 Datenhaltung 559
 Datenhandschuh 470, 479
 Datenhoheit 191
 Datenschutzrecht 204
 Daten-Souveränität 130
 Datenübertragung 328
 Definitionen
 - Big Data 98
 Dekompositionsstufe 399
 demografischer Wandel 81
 Demontgearbeitsplatz 440

Designoptimierung 319
 Design Thinking 268
 Design- und Entwicklungsphase 263
 deskriptive Analyse 103
 Detektion 419
 Diagnose
 - signalgestützte 366
 - wissensbasierte 657
 Diagnostic Analytics 674
 Dialoggestaltung
 - benutzerzentrierte 375
 Digitale Fabrik 169
 Digital Enterprise 686
 digitaler Schatten 9f., 517
 digitaler Werkstückschatten 295, 315
 digitaler Zwilling 417
 Digitales Produktgedächtnis 558
 digitale Vernetzung 621
 Digital Twin 714
 Diskretisierung der Arbeitsorgane 624
 Disposables 396
 disruptive Innovationen 14
 Distributed Denial of Service-Attacke 574
 Dokumentation 122
 Dongle 125
 Drahtloskommunikation 106
 Drehbearbeitung 588
 Durchlaufzeiten 46

E

Ebenenflug 524
 Echtzeit-Ethernet 569
 Echtzeitfähigkeit 94
 eCl@ss 579
 ECM *siehe* Engineering Change Management
 Eigenfertigungsplanung 40
 Eigenfertigungssteuerung 41
 Eigenschaftsschwankung 384
 Einflussgröße 403
 eingebettete Systeme 563
 Electronic Product Code Information Service 458
 Elektromobilität 716
 Elektromotor-Montage 607
 Elektronikentwurf 251
 Elektronikfertigung 659
 Elektronikproduktion 653
 Emissionen 332
 Emissive Projection Display 480
 Energieeffizienz 279
 Energieübertragung 329
 Energiewertstrom 285
 Engineering Change Management 218
 Enterprise Resource Planning 19

Enterprise Resource Planning (ERP) 137
 Enterprise Resource Planning-System 33, 556
 EPCIS *siehe* Electronic Product Code Information Service
 EPD *siehe* Emissive Projection Display
 Erfahrungswissen 422
 Ergonomie 184
 ERP (Enterprise Resource Planning)-Systeme 138, 603
 Erreichbarkeitsprüfung 532
 Ertragsmodell 7
 Ethernet 569
 Evaluation
 - automatisierte 361
 Expertenbefragung 224
 Expertensystem 421
 Exploits 114

F

Fabriklebenszyklus 177
 Fabrikplanungsprojekte 177
 Fähigkeitenmodell 528
 Feature-Makro-Mapping 344
 Fehlbedienung 373
 Fehlerdatenanalyse 592
 Fehlerlokalisierung 421
 Fehlermanagement 159
 Fehlerstatistik 660
 Feinplanung 183
 Feldbus 115
 Fernwartung 121
 Fernwartungslösung 594
 Fertigung
 - flexible 323
 - vernetzte 589
 Fertigungsauftragseröffnung 667
 Fertigungsmittel
 - intelligente 601
 Fertigungsplanungssystem 343
 Fertigungssteuerung 311
 Fertigungszellen 433
 Flexibilität 387, 431
 Flexibilitätsplanung 273
 flexible Roboterkinematik 625
 flexibles Fertigungssystem 589, 601
 Flugzeugbau 635
 Flurförderfahrzeuge 479
 Fördertechnikmodule 486
 Formanpassung
 - aktive 447
 - passive 448
 Formatflexibilität 623
 formatflexibler Verpackungsprozess 623

Framework-Kompetenz 271
 Fremdbezugsplanung 32, 38
 Fügeprozesse 444
 Führungsaufgaben 79
 Funkstrecke 500
 Funktechnologien 121
 Funktionalmarktanalyse 229
 Funktionen 248
 Funktionsinkrement 625
 Funktionsintegration 481
 Funktionstest 672

G

Gabelstapler 481
 Ganzheitliches Produktionssystem
 XXXIV
 Gebrauchsdauerprognose 365
 Geheimnisschutz 196
 Generative Design Approach 319
 Gerätehierarchie 581
 Geschäftsgeheimnisse 195
 Geschäftsmodelle 4
 - plattformbasierte 23
 Geschäftsmodell-Innovation 5
 gesetzliche Haftung 201
 GIML-Format 308
 Grass Blade-Ansatz 214
 Greenfield-Ansatz 214, 687, 697
 Greifbarkeitsprüfung 532
 Greifsysteme
 - anpassungsfähige 447
 - funktionsorientierte 444
 Greiftechnik 443
 Griff in die Kiste 443
 Großserienfertigung 591

H

Haftung
 - vertragliche 200
 Handhabungsflexibilität 527
 Handlungsempfehlungen
 - in der Montage 534
 Handschuhbedienung 373
 Hannoveraner Lieferkettenmodell 31
 Head Mounted Display 469
 Head up-Display 480
 Heijunka 666
 HMD *siehe* Head Mounted Display
 Homogenisierung 386
 Honen 593
 Honzentren 593
 Human Machine Interface 371

Hygieneklasse 389
 Hygienezustand 418

I

IAONA (Industrial Automation Open Networking
 Alliance) 575
 Ideengenerierungs- und Konzeptphase 263
 Identifikationsnummer 458, 664
 IEEE TSN-Standards 571
 IFA-Lernfabrik 44
 IFU Planungstisch 4.0 180
 Immaterialgüterrecht 193
 Incremental Manufacturing 436
 individualisierte Produktion 622
 individualisierter Kundenbedarf 621
 individualisiertes Produkt 265
 Individualisierung 665
 Individualisierung von Produkten 621
 Industrial Control Systems 116
 Industrial Data Space 130, 132
 Industrial Ethernet 569
 Industrie 4.0 XXXIV, 111
 Industrie-PC 562
 Industrieroboter 433, 542
 - Sonderbauformen 441
 Informationsautomatisierung 661
 Informationsdarstellung 477
 Informationsmodell 558
 Informationsmodellierung 577
 Informationsstrukturierung 421
 Informationssysteme 69
 - durchgängige 678
 Infrastructure as a Service 90
 Initiierungsphase eines Projektes 244
 In-Memory-Datenbanken 143
 innerbetriebliche Kollaboration 162
 innermaschinelles Verfahren 390
 Innovationsprozesse 15
 Innovationstypen 13
 Instandhaltung 592, 640, 642
 - Werkstückstatus-getriebene 316
 Instandhaltungsmethodik
 - proaktive 316
 Instandhaltungsplanung 318
 Integrationsgrad 380
 Integrationstechnologien 637, 647
 Interlocking-Abgleich 663
 Internet der Dinge 489, 653
 Intralogistik 489
 ISA-95 580
 Isolation 122
 IT-Infrastruktur 618
 IT-Sicherheit 112

IT-Sicherheitsrecht 206
 IT-Sicherheitstechnologie 120
 IT-Systeme
 - Cloud-basierte 565

K

Kanban
 - elektronisches 661
 Kapazitätsbalancierung 384
 Kapazitätsmarkt 163
 Kapselung
 - modulare 355
 Kleinserienfertigung 587
 - individualisierte 691
 Know-how-Diebstahl 118
 Know-how-Schutz 123
 Kognition 405
 kohlenstoffverstärkter Kunststoff 644
 Kollaboration 161
 Kollaborationsplattform 472
 Kollaborationsproduktivität 18
 Kommissioniersysteme 466
 Kommissionierung
 - manuelle 477
 Kommunikation 176, 309
 Kommunikationsprotokolle 567
 Kommunikationsschnittstelle 564
 Kommunikationstechnik 104
 Komponentenhärtung 122
 Konfigurationsraum 542
 Konnektor-Architektur 132
 Konsumgüterindustrie 621
 kontinuierliche Produktion 382
 kontinuierliche Prüfung 122
 kontinuierlicher Prozess 386
 Kostensenkungspotenziale 275
 kundenindividuelle Fertigung 665
 kundeninnovierte Lösungen 266
 Kundenorientierung 12, 15
 Kundenwünsche 119, 679

L

Ladungsträger 454
 Lasermarkierung 304
 Lastenheft 245
 Lastenhefterstellung 227
 Lastenheft für CPPA 228
 Lead-User-Methode 264
 LEAN Development 268
 Lean Production XXXIII
 Lebensdauerprognose 367
 Lebensmittel 379

Lebensmittelbranche 456
 Lebensmittelsicherheit 381
 Lebensmittelverarbeitung 621
 Lebenszyklusmanagement 460
 Leistungserstellungsmodell 8
 Leistungsmodell 7
 Leitanwender 606
 Lernfabrik Globale Produktion 605
 Lesefeldausprägung 505
 Linienanordnung 434
 Logistik 183, 451
 Logistik 4.0 712
 Logistikmodule 486
 Logistikplanung 465
 Lokalisierung
 - mit RFID 508
 Lokalisierungssystem 649
 Losgröße 1 162, 295, 467
 Losgrößenplanung 668
 Lösungsassistent 591

M

Machbarkeitsuntersuchung
 - RFID-System 502
 Machine Learning 101
 Makulaturreduktion 631
 Manufacturing Change Management 218
 Manufacturing Execution System (MES) 19, 137,
 556, 601, 664, 683
 Manufacturing Management System 589
 Manufacturing Resource Planning (MRP II) 137
 Maschinenflexibilität 526
 Maschinenkomponentenmodelle 365
 Maschinensteuerung 89
 Maschinenstillstandzeiten 592
 Mass Customization 257, 260, 265
 Massenproduktion
 - individualisierte 695
 Materialbedarfe 37
 Materialflussanalyse 711
 Materialfluss-Interface 486
 Materialflussmodule
 - cyber-physische 491
 Materialflusssysteme 471
 - automatisierte 483
 - Steuerungsentwicklung 485
 Materialmodell 395
 Material Requirements Planning (MRP) 137
 Material-Traceability 662
 Materialversorgung 668
 MCM *siehe* Manufacturing Change Management
 MCM-Prozess 220
 Mechanikentwurf 250

mechatronische Simulation 414
 Mehrwertdienst 92
 Mensch-Maschine-Interaktion 252, 676
 Mensch-Maschinen-Schnittstellen 476
 Mensch-Maschine-Systeme 59, 645
 Mensch-Roboter-Interaktion 77
 Mensch-Roboter-Kollaboration 185
 Mensch-Roboter-Kooperation 617
 Mensch - Technik - Organisation 54
 Mensch-und-Maschine-Interaktion 54
 Messsysteme
 - Selbst-Kalibrierung 714
 Middleware 376
 Migrationspfade 96
 Migrationsstrategie 215
 Mikrocontroller 563
 Mitarbeiterunterstützung 358
 mobile Endgeräte 116, 359
 mobiler Roboter 622
 Modellierungs-Software 245
 Monitoring 383
 Montage 513
 Montageanleitungen 536
 Montagekonzept
 - wandlungsfähiges 638
 Montagepläne 535
 Montageplanung
 - automatische 525
 Montageprozesse 655
 Mooresches Gesetz 654
 Motion-Capturing 185
 MQTT 569
 MTConnect 568
 MTO-Konzept 55
 Multikopter 178
 Multi-Level-Simulation 288, 290
 Multi-Touch 371
 Multitouch-Software-Interface 181

N

NC-Planer 351
 NC-Programme 351
 NC-Programm-Generierung 681
 Netnographie 261
 Netzsegmentierung 121
 Netzwerkanordnung 435
 nichtlineare Arbeitspläne 311ff.
 NoSQL 100
 Nullfehler-Produktion 671

O

Obfuskatoren 124
 Object Name Service 459
 Objektortung 141
 ODVA-Maschinendatenmodell 577
 Offsetdruck 631
 Online-Datenverarbeitung 159
 Online-Performance-Monitor 676
 Online Research Communities 261
 ONS *siehe* Object Name Service
 OPC UA 107, 582
 OPC UA Binar 567
 OPC UA XML 568
 OPC Unified Architecture 567
 Open Innovation 257
 Open Innovation-Wettbewerbe 263
 Open Organisation 271
 Ordnungsschikanen 551
 Ortungssysteme
 - kamerabasierte 482

P

parallele Stoffströme 387
 Parallelisierung 386
 Parameteroptimierung 319
 PAT 382
 Perceptron 716
 Personalführung 79
 Pflichtenheft 227
 Pharmaprodukte 379
 Physical Unclonable Functions 126
 Physik-Engine 415
 Physiksimulation 549
 Pick-by-Vision® 478
 Piraterie 123
 Planungsqualität 176
 Platform as a Service 90
 Plattform-basierte Kollaboration 161
 Plattformtechnologien 21
 PLM-System 678
 Plug & Produce 536
 Poka Yoke-System 661
 PPS *siehe* Produktionsplanung und -steuerung
 prädiktive Analyse 103
 präskriptive Analyse 103
 Predictive Analytics 10, 675
 Predictive Maintenance 134
 Predictive Policing 101
 Prescriptive Analytics 675
 primäre Variationsebene 388
 Private Cloud 90
 Probabilistic Roadmap Method 543

Product Backlog 16
 Produkt 616
 - kundenindividuelles 694
 Produktarchitektur 266, 272
 Produktentstehungsprozess 350
 Produktentwicklung 678
 Produktflexibilität 431, 526
 Produktinkrement 17
 Produktionsänderungen
 - Analyse von 222
 Produktionsanlagen
 - wandelbare 242
 Produktionsarbeit 62
 Produktionsbedarfsplanung 40
 Produktionscontrolling 32, 43
 Produktionskonzepte 692
 Produktionsmitarbeiter 63
 Produktionsmittel-Eigenschaften 355
 Produktionsmodul 695
 Produktionsplanung und -steuerung (PPS)
 31, 49, 139
 Produktionsplattformen
 - Cloud-basierte 92
 Produktionsprogrammplanung 32, 35
 Produktionsschicht 699
 Produktionssysteme
 - Cyber-physische 281
 - flexible 668
 Produktkonfiguration
 - individuelle 665
 Produkt-Lebenszyklus 122
 Produktmodularität 384
 Produktpiraterie 123
 Produktschicht 698
 Produktschutz 125
 Prognosefähigkeit 26
 Programmierung
 - intuitive 439
 Protokoll-Bindings 567
 Prozessanalyse 382
 Prozessdaten 158, 673
 Prozessdatenerfassung 507
 Prozessdatenrückführung 359
 Prozessdokumentation 164
 Prozesse
 - selbstlernende 315
 Prozessevaluation 360
 Prozess-Maschine-Simulation 353
 Prozessmodell 405, 418
 Prozessregelung 325, 403
 Prozesssteuerung 403
 - dezentrale 557
 Prozess-Traceability 663
 Prozessüberwachung 313, 656

Prozessveranschaulichung 421
 Prüfsysteme 164
 Prüf-Traceability 662
 Prüfverfahren 672
 Public Cloud 90
 PUF-Technologie 126

Q

QR-Code 662
 Qualifikation 720
 Qualifikationsanforderungen 65
 Qualifizierung 418
 Qualität 154, 176
 Qualitätsdaten 394
 Qualitätskriterium 394
 Qualitätsmanagement 155
 Qualitätsmessung 394
 Qualitätsparameter 391
 Qualitätssicherung 160, 358, 671
 Querschnittstechnologien 642
 Q-Watchdog 676

R

Radio Frequency Identification *siehe* RFID
 Ransomware 114
 Reader 511
 Received Signal Strength Indicator *siehe* RSSI-Wert
 Rechtsgeschäfte 202
 Redundanz 387
 Referenzmodell 686
 Reifegradmodelle 215
 Reinigungsprozess 417
 Reinigungssystem 418
 Reinigungsvalidierung 418
 Rekonfiguration 386
 Rekonfigurationsklassen 387
 Requirements Engineering 226
 Ressourceneffizienz 394
 Reverse Engineering 123
 RFID 497, 560, 655
 RFID-Chip 297, 324, 590, 601
 RFID-Komponenten 499
 RFID-Projekte 499
 RFID-System 309
 RFID-Tag 698
 RFID-Technologie 107
 RFID-Transponder 336
 Ringanordnung 434
 Risikomanagement 4
 Robo-Boss 101
 Roboter 617
 - mobile 642

Robotersystem
 - ortsflexibles 644
 Rohstoffeigenschaften 383
 Rohstoffqualität 385
 RSSI-Wert 502
 Rumpfsektionenmontage 638
 Rüsten 590
 Rüstkontrolle 661, 663
 Rüstoptimierung 670

S

Same Day Delivery 162
 Schallemission 332
 Schlanke Produktion XXXIII
 Schnittstellen 55, 475
 - standardisierte 328
 - zwischen Cloud und Produktion 95
 Schulungen 122
 Schutzrichtungen 192
 Schutzziele 112
 Schwingungen 333
 Scrum 268
 Scrum-Methodik 15
 SDN *siehe* Software Defined Networking
 Secure Memory Device 125
 Sekundärbedarfsplanung 32, 37
 Selbstkonfiguration 383
 selbstoptimierende Maschinen 403
 selbstoptimierende Prüfsysteme 164
 Selbstoptimierung 164, 383
 Selbstparametrierung 383
 Selbst-Programmierung 542
 Sensorik 332
 Sensorintegration 438
 sensorischer Abgleich 533
 Sensortypen 300
 Serialized Global Trade Item Number 462
 SGTIN *siehe* Serialized Global Trade Item Number
 Shared Memory 354
 Sicherheitsarchitektur 132
 Sicherheitsleitfaden 121
 Sicherheitsprotokolle 121
 Sicherheitstechnik 617
 Siemens Industry Mall 666
 Simulation 414
 Simulationsmethode 414f.
 Simulationsmodell 470
 Smart Data 673
 Smart Devices 160, 371
 Smarte Feldgeräte 561f.
 Smarte Objekte 113
 Smarte Produkte 118, 123, 558
 Smarte Vernetzung 566
 Smart Factory 601, 647
 Smart Factory Apps 119
 Smart Factory in der Flugzeugproduktion 637
 SmartFactory^{KL} 693
 Smart-Tool 334
 Smartwatch 375
 SMD-Fertigung 660
 Social Media-Daten 159
 Software as a Service 90
 Software Defined Networking 571
 Software-Entwurf 252
 Softwaregenerierung
 - automatische 485
 Software Reverse Engineering 123
 Softwareschutz 197
 spanende Fertigung 587
 Spannsystem
 - flexibles 589
 Speicherprogrammierbare Steuerungen
 19, 115, 562
 Speichersystem 387, 400
 Speichertechniken 307
 Speicherung
 - magnetische 307
 Spracherkennung 478
 Spritzgussmaschinen 597
 SPS *siehe* speicherprogrammierbare Steuerungen
 Standard for the Exchange of Product model data
 579
 Standardisierung 176
 Standortplanung 180
 STEP *siehe* Standard for the Exchange of Product
 model data
 Steuerung
 - verteilte 487
 Steuerungsansätze
 - zentrale 557
 Steuerungsarchitektur 142
 Steuerungsplattformen
 - Cloud-basierte 93
 Stillstandszeit 401
 strukturelle Systemmodellierung 223
 Stückzahlflexibilität 431
 Subsysteme in CPPA 246
 Subsystementwurf 249
 Supply Chain 453
 Supply Chain Management 666
 Surface Mounted Devices 654
 synchronisierte Einzelfertigung 162
 SysML 245
 Systemarchitektur
 - für Industrie 4.0-Produktionsanlagen 694
 Systemdefinition 223
 Systemergonomische Analyse 59

T

Taktzahl 389
 Taxonomie der Fähigkeiten 520
 Taylorismus *XXXI*
 Teamcenter 680
 Thermobehälter
 - intelligenter 457
 Thermoformen 391
 Time Sensitive Networking 570
 Topologieoptimierung 319
 Totally Integrated Automation 679
 Touchscreen-Bedienung 372
 Traceability 656f., 661
 - externe 663
 Traceability-System 659
 Trackingsystem 470
 Tracking und Tracing 460
 Transfersysteme 429
 - roboterbasierte 437
 Transformationslinie 4
 Transformationsstrategien 213
 Transponder 500
 Transport-Leitsystem 602
 Transportmodul 400
 Transportwege
 - autonome 669
 Treibermodule 487
 Trilateration 509
 Trusted Platform Module 125
 TSN *siehe* Time Sensitive Networking
 Turbinenschaufelmontage 639

U

UML 245
 Unternehmensgeheimnisse 195
 Unternehmenslogistik 451
 Urbanisierung 381
 Useware-Engineering 237

V

Validierung 418
 Value Generator 23
 Variantenflexibilität 431
 Variantenvielfalt 692
 VDMA Industrie 4.0-Readiness-Check 215
 Verarbeitbarkeit 383
 Verarbeitungsmaschine 379, 403
 Verarbeitungsprozess 383
 Verarbeitungssystem 379
 Verarbeitungstechnik 621
 Verarbeitungsverhalten 383

Verarbeitungsvorgang 380
 Verarbeitungszeit 386
 Verbrauchsgüter 379
 Vermarktungsmodell 8
 Vernetzung 18
 - smarte 566
 Verpackung 382
 Verpackungsmaschine 623
 Verpackungsmaschinenbau 625
 Verschleißarten 331
 Verschleißerkennung 596
 Verschleißuntersuchung 333
 Verschraubbarkeitsprüfung 532
 Verwertungsfunktion 192
 Viable System Modell 270
 Vibrationswendelförderer 549
 Virtual Reality 466
 virtuelle Inbetriebnahme 414
 virtuelle Netzwerkfunktionen 575
 virtuelle Repräsentanz 516
 virtuelles Modell 113
 Visualisierung 619
 Visualisierung von Prozessdaten 354
 VLAN-Ansatz 576
 V-Modell 239, 679
 Vorgehensmodell
 - IT-Security 122
 Vorgehensmodell des Engineerings 241
 Vorgehensmodelle der Bediensystemgestaltung 238
 Vorgehensmodelle der Elektrotechnik/Elektronik 236
 Vorgehensmodelle der Mechatronik 240
 Vorgehensmodelle der Softwareentwicklung 237
 Vorgehensmodelle zur Entwicklung von CPS 241
 Vorgehensmodell zur Entwicklung von CPPA 244
 VR *siehe* Virtual Reality
 VR-Modell 468

W

Wandlungsbefähiger 616
 Wandlungsfähigkeit 242, 609
 WAN-Kommunikation 573
 Wearable-Technologien 479
 Werkerinformation
 - Tablet-basiert 75
 Werkerinformationssysteme 66
 Werkstück 295
 - gentelligentes 296
 - Gestaltabweichung 315
 Werkstückidentifikation 304
 Werkstückoberflächen
 - Online-Bewertung 314

- Werkstücktransfer 442
 - Werkzeug 323
 - aktorisches 305
 - intelligentes 324
 - Werkzeugauswahlprozess 348
 - Werkzeugdatenaustausch 464
 - Werkzeugmanagement 334
 - Werkzeugmaschine 341
 - nutzerintegrierte 370
 - selbstüberwachende 364
 - Werkzeugspannfutter 338
 - Werkzeug-Supply Chain 460
 - Werkzeugüberwachung 331
 - Werkzeugverschleiß 327, 331
 - Werteverständnis 81
 - Wertschöpfungsketten
 - dynamische 665
 - Wertschöpfungsprozess 116
 - Wertschöpfungssystem 20
 - Wiederherstellungsplan 122
 - Wiki-basierte Managementsysteme 165
 - Wirbelstromsensor 301
 - Wirkpaarung 396
 - Wirtschaftlichkeitsbewertung 615
 - Wissensmodellierung 224
 - Workflowgestaltung 375
- Z**
- Zeitspanvolumen 314
 - Zerspanungsprozess 327
 - Zielposen 546
 - Zielsystemeaufteilung 547
 - Zuführsysteme
 - Hardwareauslegung 548
 - Zustandsüberwachung 102, 325, 363