
Die Automatisierungspyramide - Ein Literaturüberblick

Meudt, Tobias; Pohl, Malte; Metternich, Joachim

7. Juni 2017



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Kontakt

meudt@ptw.tu-darmstadt.de

<http://www.ptw.tu-darmstadt.de> | <http://www.prozesslernfabrik.tu-darmstadt.de>

Abstract

Deutsch:

In diesem Beitrag werden unterschiedliche Ansätze von Automatisierungspyramiden gegenübergestellt. Leider gibt es in der Literatur keinen Konsens über die Benennung und die Anzahl an Ebenen, die eine Automatisierungspyramide umfassen sollte (es existieren Modelle mit drei bis sieben Ebenen). Im Folgenden werden die unterschiedlichen Ansätze tabellarisch erfasst und eine Einordnung vorgenommen. Diese Publikation soll Autoren und Forschern als Orientierungshilfe zur Auswahl eines der Konzepte dienen.

English:

In this article, different approaches to automation pyramids are compared. Unfortunately, there is no consensus in the literature about the naming and the number of levels that an automation pyramid should comprise (models with three to seven levels are existing). In the following, the different approaches are tabulated and a classification is carried out. This publication is intended to help authors and researchers to provide guidance on how to select one of the concepts.

Inhaltsverzeichnis

Abstract	ii
Inhaltsverzeichnis	I
1 Einleitung	1
2 Automatisierungspyramide	2
2.1 Modellvarianten	2
2.2 Vorstellung ausgewählter Konzepte	5
2.2.1 DIN EN 62264.....	5
2.2.2 Modell nach Siepmann.....	5
2.3 Auflösung der Automatisierungspyramide	7
3 Fazit.....	8
Literaturverzeichnis	II

1 Einleitung

Die heutige Kommunikation in Industrieunternehmen ist zum großen Teil durch das hierarchische System der Automatisierungspyramide geprägt.¹ Im Zuge einer zunehmenden Automatisierung der Produktion hat die Automatisierungspyramide zum Ziel, die Komplexität der industriellen Fertigung zu verringern, indem sie die Prozesse im Unternehmen in einzelne Ebenen unterteilt. So soll eine leicht verständliche, visuelle Darstellung der industriellen Fertigung, deren Techniken und der Grenzen innerhalb der Produktion geschaffen werden.² Die heutige, klassische Automatisierungspyramide besteht aus strikt getrennten Hierarchieebenen.³ Typischerweise werden die jeweiligen Ebenen durch verschiedene Systeme, wie zum Beispiel ERP, MES, SCADA und SPS, unterstützt.⁴ Die Automatisierungsebenen erfordern für die Kommunikation innerhalb der jeweiligen Ebenen verschiedene Datenübertragungssysteme.⁵ In den oberen Ebenen arbeiten komplexe Rechnersysteme mit einer Vielzahl an Teilnehmern in Netzen zusammen. Hier werden große Datenmengen verarbeitet, wobei die Verarbeitungszeiten gleichzeitig von nachrangiger Bedeutung sind. Im Gegensatz dazu sind in den unteren Ebenen die Teilnehmerzahlen und die Netzausdehnung eher gering. Da hier kleine Datenmengen mit hoher Geschwindigkeit verarbeitet werden, können Echtzeitanforderungen entstehen.⁶

¹ Vgl. Forstner und Dümmler (2014), S. 199.

² Vgl. Siepmann (2016), S. 49.

³ Vgl. Kleinemeier (2014), S. 571.

⁴ Vgl. Forstner und Dümmler (2014), S. 199.

⁵ Vgl. Langmann (2010), S. 315.

⁶ Vgl. Heinrich et al. (2015), S. 4-5.

2 Automatisierungspyramide

2.1 Modellvarianten

Die heutige, klassische Automatisierungspyramide basiert auf der sogenannten „CIM-Pyramide“, die in den 70er und 80er Jahren aufgestellt wurde.⁷ Aufgrund der breiten Anwendungsmöglichkeit und dem großen Auslegungsspielraum haben sich bis heute diverse Varianten der Automatisierungspyramide entwickelt. So existieren in einschlägiger Literatur nur selten identische Modelle der Automatisierungspyramide. Vielmehr werden in den unterschiedlichen Modellen Ebenen entfernt, neue ergänzt oder zusammengefasst. Zudem weichen häufig die Benennungen der Ebenen voneinander ab. Aktuelle Modelle, wie sie im RAMI 4.0 (Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0) zugrunde gelegt werden, enthalten bis zu 7 Ebenen, wohingegen stark aggregierte Modelle nur 3 Ebenen aufweisen. Tabelle 1 enthält eine Übersicht über eine Reihe von Modellen und deren Ebenen.

⁷ Vgl. Siepmann (2016), S. 49.

Tabelle 1: Automatisierungspyramiden

Nr.	Quelle	Anzahl Ebenen	Benennung der Ebenen							Bemerkung
1	Hankel (2015), S. 1.	7	Product	Field Device	Control Device	Station	Work Centers	Enterprise	Connected World	auf Basis RAMI 4.0
2	Fallenbeck und Eckert (2014), S. 405.	6	Produktionsprozess	Ein-/Ausgangssignale	SPS	SCADA	MES	ERP	-	-
3	Siepmann (2016), S. 49.	6	Level 0: Fertigung/Produktionsprozess (Prozessebene)	Level 1: Feldgeräte: Ein-/Ausgangssignale, Aktoren/Sensoren (Feldebene, Shopfloor)	Level 2: SPS Speicherprogrammierbare Steuerung (Steuerungsebene)	Level 3: HMI Human-Machine-Interface, Supervisory Control and Data Acquisition SCADA ((Prozess-)Leitebene)	Level 4: MES Manufacturing Execution System (Betriebsebene)	Level 5: ERP (Unternehmensebene, Topfloor)	-	-
4	dataParc (2016), o.S.	5	Level 0: Production Process	Level 1: Sensors and Actuators	Level 2: Automated Process Control	-	Level 3: Manufacturing Operations Management	Level 4: Business Planning and Logistics	-	auf Basis ISA-95
5	Schöning (2014), S. 544.	5	-	Feldebene: I/O Signale	Steuerungsebene: SPS	Prozessebene: SCADA	Betriebsebene: MES	Unternehmensebene: ERP	-	auf Basis DIN ISO 62264
6	Heinrich et al. (2015), S. 4-5.	5	-	Feldebene	Prozessleitebene	Produktionsleitebene	Betriebsleitebene	Unternehmensleitebene	-	-
7	Becker (o.J.), S. 6.	5	Aktor-Sensor-Interface	Feldebene mit Feldbussystemen	Zellebene mit Zellbussystemen	Automatisierungsebene	Leitebene	-	-	freies Manuskript
8	Huber (2016), S. 273.	5	Level 0: Produkt	Level 1: Maschinen/Anlagen	-	Level 2: SCADA (operative Steuerung)	Level 3: MES (taktische Steuerung)	Level 4: ERP (strategische Steuerung)	-	-
9	Bettenhausen und Kowalewski (2013), S. 4.	5	-	Feldebene	Steuerungsebene	Prozessleitebene	Betriebsleitebene	Unternehmensleitebene	-	-
10	Langmann (2010), S. 312.	5	-	Feldebene (Sensoren, Aktoren)	Steuerebene (Steuerung)	Führungsebene (Zellenrechner; horizontale Kommunikation mit Technischem Büro (PC und Arbeitsplatzrechner))	Produktionsleitebene (Leitrechner; horizontale Kommunikation mit Technischem Büro (PC und Arbeitsplatzrechner))	Planungsebene (Datenverarbeitung)	-	-
11	Heimbold (2015), S. 36-38.	5	-	Feldebene	Steuerungsebene	Prozessleitebene	Produktionsleitebene	Unternehmensleitebene	-	-
12	Kunbus Industrial Communication (o.J.), o.S.	5	-	Feldebene	Steuerungs-/Prozessebene	System-/Zellebene	Leitebene	Betriebsleitebene	-	-
13	Mühlehner und Geringer (2010), S. 5.	5	-	Feldebene (Eingang- und Ausgangsmodule)	Steuerungsebene (SPS)	Leitebene, Prozessleitsystem (SCADA)	Betriebsleitebene (MES)	Unternehmensebene (ERP)	-	-

Nr.	Quelle	Anzahl Ebenen	Benennung Ebenen							Bemerkung
14	Tehrani et al. (2016), S. 223.	5	Level 0: Sensors and Actuators	Level 1: Field Level	Level 2: Cell Level	-	Level 3: Plant Level	Level 4: Company Level	-	Level 0,1,2 werden manchmal zusammengefasst
15	Fleischmann et al. (2016), S. 700.	5	-	Feldebene (Sensoren, Aktoren)	SPS (Maschinen- und Anlagensteuerung)	SCADA (Bedien- und Beobachtungssystem)	MES (Produktionssteuerung, BDM)	ERP	-	-
16	Hollender (2010), S. 5.	5	-	Sensors, Actuators, Fieldbuses	Automation Controllers	Application Servers, Supervision & Control	Manufacturing & Execution	ERP	-	-
17	Hoppe (2014), S. 331.	4	-	Device-Level: Sensor-Actor-Machine (Component)	Control-Level: Machine controllers (Shop Floor)	-	MES-Level: Manufacturing Execution System (Plant)	ERP-Level: Enterprise Ressources (Enterprise)	-	zwischen jeder Ebene ein Communication-Layer
18	Steiner und Poledna (2016), S. 311.	4	-	Device Level (Sensors, Actuators)	Control Level (PLCs)	-	MES Level	ERP Level	-	-
19	Symestic (o.J.), o.S.	3	-	-	-	Automatisierungstechnik (SPS, Sensoren, Aktoren)	MES	ERP	-	-
20	Bildstein und Seidelmann (2014), S. 585.	3	-	-	Level 0,1,2: Operative (Equipment, Carrier)	-	Level 3: Taktisch (MES)	Level 4: Strategisch (ERP)	-	vereinfachte Automatisierungspyramide nach ISA-95
21	Hilbrich (2008), S. 16-17.	3	-	Umsetzung elektr. Signale in Fahrbefehle, Starten oder Stoppen von Maschinen	-	-	MES (Steuerung und Überwachung der Produktionsprozesse und -anlagen)	ERP (administrative Ebene)	-	-
22	Collier (2012), o.S.	3	-	-	Level 0,1,2: Batch Control, Continuous Control, Discrete Control	-	Level 3: Manufacturing Operations & Control	Level 4: Business Planning & Logistics	-	auf Basis ISA-95
23	Dimitrov (2015), S. 14.	3	-	-	-	Automatisierung (Produktionsleitebene)	MES (Betriebsleitebene)	ERP (Unternehmensleitebene)	-	in einfacher Ausprägung
24	Klette und Schumacher (2011), S. 13.	3	-	-	-	KANBAN/ Automation Fertigungsprozesse	MES Fertigungsmanagement	ERP Unternehmensmanagement	-	-
25	Hollender (2010), S. 316.	3	-	-	Level 0,1,2: Batch Control, Continuous Control, Discrete Control	-	Level 3: Manufacturing Operations & Control	Level 4: Business Planning & Logistics	-	auf Basis ISA-95 Functional Hierarchy Model (IEC 62264)

2.2 Vorstellung ausgewählter Konzepte

Im Folgenden werden zwei Konzepte die in der Literatur oft genannt sind vorgestellt.

2.2.1 DIN EN 62264

Aktuelle Standards zur Automatisierungspyramide sind in der Normenreihe DIN EN 62264 (identisch zu IEC 62264) auf Basis der ISA-95 Spezifikation enthalten. Die ISA-95 Spezifikation beinhaltet Richtlinien, wie geschäftsprozessrelevante IT-Systeme mit den IT-Systemen für Produktionssteuerung miteinander verbunden werden sollen.⁸ Ziel der DIN EN 62264 ist der durchgängige Austausch von Informationen im Unternehmen und die Verbesserung der Integration unabhängig vom Automatisierungsgrad. Hierfür sollen unterschiedliche EDV-Methoden vereinheitlicht und zusammengeführt werden, sodass robuste und pflegeleichte Integrationslösungen entwickelt werden können.⁹ Die DIN EN 62264 legt das hierarchische Unternehmensmodell nach den Definitionen der PERA (Purdue Enterprise Reference Architecture) zu Grunde. Das PERA Reference Model definiert folgende Ebenen:¹⁰

- **Level 0 - Physikalischer Produktionsprozess**
- **Level 1 - Intelligente Geräte:** Sensoren, Aktoren und ähnliche Instrumente
- **Level 2 - Steuerungs-/Kontrollsysteme:** Überwachung und automatische Steuerung des Produktionsprozesses
- **Level 3 - Manufacturing Operations Management:** Produktionsleitung, Wartung, Materialbestandsführung (MES/MOMS)
- **Level 4 - Business Logistics Systems:** Aktivitäten der strategischen und taktischen Unternehmensführung im Bereich Einkauf, Verkauf, Langzeit-Planung, Logistik usw. (ERP)

Insbesondere umfasst die DIN EN 62264 die IT-Integration der Unternehmensführung (Level 4) mit der Steuerungs-/Kontrollsystemebene (Level 2). Somit soll eine vollständige und in allen Industriezweigen anwendbare Definition und Beschreibung der Funktionen sowie des Informationsaustauschs zwischen Leitsystem und Unternehmens-IT ermöglicht werden. Zudem sollen klare Systemgrenzen und Verantwortlichkeiten definiert werden.¹¹

2.2.2 Modell nach Siepmann

Das Modell nach Siepmann (siehe Abbildung 1) stellt eine auf der Normenreihe DIN EN 62264 basierende Automatisierungspyramide nach klassischem Ansatz dar. Vorteilhaft hierbei sind der hohe Detaillierungsgrad und zahlreiche Übereinstimmungen mit anderen bestehenden Modellen. Anzumerken ist jedoch, dass die unterste Ebene, die Siepmann als Prozessebene bezeichnet, in einigen anderen, meist älteren Ansätzen nicht explizit genannt wird.

⁸ Vgl. Bildstein und Seidelmann (2014), S. 584.

⁹ Vgl. Adams et al. (2007), S. 52.

¹⁰ Vgl. o.V. (2008), o.S. Brandl (2008), S. 12.

¹¹ Vgl. Adams et al. (2007), S. 53.

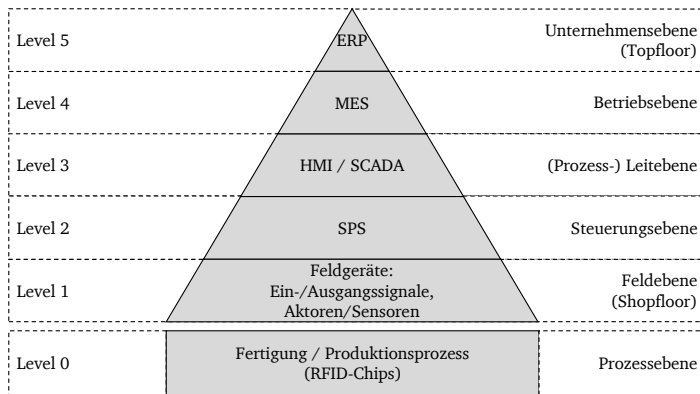


Abbildung 1: Klassische Automatisierungspyramide nach Siepmann¹²

Die Automatisierungspyramide nach Siepmann besteht aus sechs grundlegenden Levels (0 bis 5), die die unterschiedlichen Ebenen der automatisierten Fertigung wiedergeben:¹³

- **Level 0: Prozessebene**
Die unterste Ebene der Automatisierungspyramide umfasst die Fertigung und den Produktionsprozess. Intelligente Produkte oder RFID-Chips stellen aus der Prozessebene Informationen zu Produkteigenschaften und Produktionsschritten bereit.
- **Level 1: Feldebene / Shopfloor**
Der Produktionsbereich bzw. die Produktionsstätte bilden den Shopfloor, welcher auch als Feldebene bezeichnet wird. Hierzu zählen sowohl Sensoren, wie Temperaturfühler und Lichtschranken, als auch Aktoren, wie Schaltschützen und elektrische Regler. In der Feldebene werden produktionsrelevante Informationen in Form von Ein- und Ausgangssignalen verarbeitet.
- **Level 2: Steuerungsebene**
Die Steuerungsebene verarbeitet mittels einer SPS Sensordaten (Eingangssignal) und gibt anschließend die Ergebnisdaten (Ausgangssignal) an die Feldebene zurück. Die Steuerungsebene ist demnach maßgeblich an einer dezentral organisierten Maschinen- und Anlagensteuerung beteiligt.
- **Level 3: (Prozess-)Leitebene**
Die Leitebene beschreibt die Darstellung der Steuerung sowie Warnmeldungen über Prozessleit-, HMI- und SCADA-Systeme. So dient die Leitebene in Form einer Mensch-Maschine-Schnittstelle ein Bedien- und Beobachtungssystem.
- **Level 4: Betriebsebene**
Basierend auf der Betriebs-, Maschinen- und Personaldatenerfassung übernimmt ein MES die Steuerung, Lenkung und Kontrolle einer Produktion und bildet das Bindeglied zwischen Maschinensteuerung und Unternehmensebene bzw. Topfloor. Das MES dient vor allem der Produktionsfeinplanung sowie -datenerfassung und übermittelt entsprechende Daten an das ERP-System.
- **Level 5: Unternehmensebene / Topfloor**
Ein ERP-System, auch Topfloor genannt, beinhaltet die Produktionsgrobplanung und Bestellabwicklung der industriellen Fertigung.

¹² Eigene Abbildung nach Siepmann (2016), S. 49.

¹³ Vgl. Siepmann (2016), S. 49.

2.3 Auflösung der Automatisierungspyramide

In der klassischen, hierarchisch gestalteten Automatisierungspyramide gibt es bislang relativ wenige Schnittstellen zwischen den einzelnen Ebenen. Daher erfolgt die mit den Ebenen verbundene Betrachtungsweise und die Steuerung der Ebenen heute in der Regel noch isoliert.¹⁴ Eine übergreifende Vernetzung ist im Bereich der industriellen Fertigung derzeit nur bedingt vorzufinden. Meist werden mehrere IT-Systeme nebeneinander betrieben, welche nur selten miteinander vernetzt sind oder trotz Vernetzung aufgrund unterschiedlicher Semantik keine Datenintegration erlauben.¹⁵ Hieraus ergeben sich häufig Fertigungsinseln und inkonsistente Stamm- und Bewegungsdaten. Zuverlässige Produkt-, Material-, Prozess- und Qualitätsdaten für die Produktionsplanung und -steuerung können nur mit hohem zeitlichem und manuellem Aufwand erfasst werden. Zudem sind die Betriebs-, Pflege- sowie Wartungskosten über alle Fertigungsinseln hinweg enorm und die Verlagerung der Systeme an andere Standorte ist aus Kostengründen nicht realisierbar.¹⁶

In Zukunft wird sich eine logische und evolutionäre Weiterentwicklung zu umfangreichere Vernetzung und Verbindung auf allen Ebenen der Automatisierungspyramide in horizontaler und vertikaler Richtung ergeben.¹⁷ Der starre Aufbau der Automatisierungspyramide wird in Zukunft aufgeweicht und durchlässiger werden.¹⁸ So werden zukünftig zunehmend mehr Daten von Geräten, Anlagen und Systemen innerhalb eines Unternehmens, über mehrere Ebenen hinweg und zwischen Unternehmen auf unterschiedlichen Ebenen ausgetauscht.¹⁹ Die strikte Trennung der Ebenen und der Top-Down-Ansatz des Informationsflusses werden sich aufweichen. Durch eine intelligente Vernetzung können alle Geräte und Dienste eigenständig untereinander kommunizieren.²⁰ Durch die direkte Koppelung der verschiedenen Ebenen an die Feldebene können dann bislang fehlende Rückkanäle eingerichtet und als Feedback Loops genutzt werden.²¹ Infolgedessen wird die starre Struktur der Automatisierungspyramide zukünftig mehr und mehr an Bedeutung verlieren.²² Eine weitgehend dezentrale und eben vernetzte Kommunikationsstruktur wird die zentrale Organisation und Steuerung verdrängen.²³ Die Auflösung der starren Hierarchie der Automatisierungspyramide impliziert jedoch nicht, dass die Systeme auf den unterschiedlichen Ebenen vollständig verschwinden. Vielmehr liegt der Fokus auf einer nahtlosen Verbindung der Ebenen zu einer Netzwerkstruktur.²⁴

Die letztere beschriebene nahtlose Verbindung aller Ebenen ist für eine einfache Kommunikation zwischen einzelnen Akteuren als ideal anzusehen. Diese wird aber große zeitliche und finanzielle Bemühungen der Integration nach sich ziehen und ist auch davon abhängig ob sich ausrüstende Unternehmen auf einheitliche Standards einigen können.

¹⁴ Vgl. Schöning (2014), S. 544.

¹⁵ Vgl. Vogel-Heuser (2017), S. 39.

¹⁶ Vgl. Hilbrich (2008), S. 16.

¹⁷ Vgl. Hoppe (2017), S. 122.

¹⁸ Vgl. Bildstein und Seidelmann (2014), S. 586.

¹⁹ Vgl. Hoppe (2017), S. 122.

²⁰ Vgl. Hoppe (2014), S. 327.

²¹ Vgl. Schöning (2014), S. 550.

²² Vgl. Kleinemeier (2014), S. 571.

²³ Vgl. Huber (2016), S. 273.

²⁴ Vgl. Kleinemeier (2014), S. 574.

3 Fazit

Es bleibt abzuwarten, wie und ob sich die Automatisierungspyramide in Zukunft auflösen wird. Dazu bedarf es allerdings Bemühungen auf nationaler und internationaler Ebene, um einen Konsens zu erreichen und Standards für die Kommunikation zwischen einzelnen Hardware und Software Applikationen zu etablieren. Ein paralleles und vermeintlich einfacheres Entwickeln eigener Ansätze und Kategorisierungen (siehe Tabelle 1) sollte von den Akteuren am Markt vermieden werden.

Literaturverzeichnis

- Adams, M.; Kühn, W.; Stör, T. und Zelm, M. (2007): DIN EN 62264. Die neue Norm zur Interoperabilität von Produktion und Unternehmensführung - Teil 1, in: Automatisierungstechnische Praxis atp 49/2007, Heft 5, S. 52-56.
- Becker, U. (o.J.): Grundlagen der Automatisierungstechnik I, Einführung in die Automatisierungstechnik, Fachzentrum für Automatisierungstechnik im BTZ Rohr-Kloster, http://www.ipsta.de/download/automationstechnik/Kap1_Grundlagen.pdf, letzter Zugriff: 10.04.2017.
- Bettenhausen, K. und Kowalewski, S. (2013): Cyber-Physical Systems: Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation, VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, April 2013, https://www.vdi.de/uploads/media/Stellungnahme_Cyber-Physical_Systems.pdf, letzter Zugriff: 10.04.2017.
- Bildstein, A. und Seidelmann, J. (2014): Industrie 4.0-Readiness: Migration zur Industrie 4.0-Fertigung, in: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Bauernhansl, T.; Hompel, M. und Vogel-Heuser, B. (Hrsg.), Wiesbaden, Springer Vieweg, S. 581-597.
- Brandl, D. (2008): What is ISA-95? Industrial Best Practices of Manufacturing Information Technologies with ISA-95 Models, 19.05.2008, BR&L Consulting, http://apsom.org/docs/T061_isa95-04.pdf, letzter Zugriff: 10.04.2017.
- Collier, N. (2012): Manufacturing Execution Systems, 30.07.2012, Pharmaceutical Processing, <http://www.pharmpro.com/article/2012/07/manufacturing-execution-systems>, letzter Zugriff: 10.04.2017.
- dataParc (2016): OPC UA: A Framework for the Industrial Internet of Things, 29.02.2016, <http://blog.dataparcsolutions.com/opc-ua-enabling-the-industrial-internet-of-things>, letzter Zugriff: 10.04.2017.
- Dimitrov, T. (2015): Permanente Optimierung dynamischer Probleme der Fertigungssteuerung unter Einbeziehung von Benutzerinteraktionen, in: Karlsruher Schriften zur Anthropomatik, Band 21, Beyerer, J. (Hrsg.), KIT Scientific Publishing, <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000048541>, letzter Zugriff: 10.04.2017.
- Fallenbeck, N. und Eckert, C. (2014): IT-Sicherheit und Cloud Computing, in: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Bauernhansl, T.; Hompel, M. und Vogel-Heuser, B. (Hrsg.), Wiesbaden, Springer Vieweg, S. 397-431.
- Forstner, L. und Dümmler, M. (2014): Integrierte Wertschöpfungsnetzwerke - Chancen und Potenziale durch Industrie 4.0, in: Elektrotechnik & Informationstechnik, Heft 7, 131. Jg., S. 199-201.
- Fleischmann, H.; Kohl, J.; Blank, A.; Schacht, M.; Fuchs, J. und Franke, J. (2016): Semantische Kommunikationsschnittstellen zur Zustandsüberwachung im Karosseriebau, in: wt Werkstattstechnik online, Heft 10, Jg. 106, S. 699-704.
- Hankel, M. (2015): Industrie 4.0 - Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0), Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie, ZVEI, https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Themen/Industrie_4.0/Das_Referenzarchitekturmodell_RAMI_4.0_und_die_Industrie_4.0-Komponente/pdf/ZVEI-Faktenblatt-Industrie4_0-RAMI-4_0.pdf, letzter Zugriff: 10.04.2017.
- Heimbold, T. (2015): Einführung in die Automatisierungstechnik, München, Carl Hanser Verlag.
- Heinrich, B.; Linke, P. und Glöckler, M. (2015): Grundlagen Automatisierung - Sensorik, Regelung, Steuerung, Wiesbaden, Springer Vieweg.
- Hilbrich, H.-C. (2008): Produktionsdaten ganzheitlich integrieren, in: Wissensmanagement, 02/2008, S. 16-17.

- Hollender, M. (2010): Collaborative Process Automation Systems, International Society of Automation ISA.
- Hoppe, G. (2017): High Performance Automation verbindet IT und Produktion, in: Handbuch Industrie 4.0, Band 2, 2. Auflage, Vogel-Heuser, B.; Bauernhansl, T. und Hompel, M. (Hrsg.), Springer Verlag, S. 119-144.
- Hoppe, S. (2014): Standardisierte horizontale und vertikale Kommunikation: Status und Ausblick, in: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Bauernhansl, T.; Hompel, M. und Vogel-Heuser, B. (Hrsg.), Wiesbaden, Springer Vieweg, S. 325-341.
- Huber, W. (2016): Industrie 4.0 in der Automobilproduktion - Ein Praxisbuch, Wiesbaden, Springer Vieweg.
- Kleinemeier, M. (2014): Von der Automatisierungspyramide zu Unternehmensteuerungsnetzwerken, in: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Bauernhansl, T.; Hompel, M. und Vogel-Heuser, B. (Hrsg.), Wiesbaden, Springer Vieweg, S. 571-579.
- Klette, J. und Schumacher, J. (2011): Die perfekte Produktion - Manufacturing Excellence durch Short Interval Technology (SIT), Berlin Heidelberg, Springer Verlag.
- Kunbus Industrial Communication (o.J.): Praxiswissen - Automatisierungspyramide, <https://www.kunbus.de/automatisierungspyramide.html>, letzter Zugriff: 10.04.2017.
- Langmann, R. (2010): Taschenbuch der Automatisierung, 2. Auflage, München, Hanser Verlag.
- Morlock, F. und Dorka, T. (2014): Automatisierungspyramide für die integrierte Sach- und Dienstleistungserbringung, in: wt Werkstattstechnik online, Jg. 104, Heft 7/8, S. 448-452.
- Mühlehner, T. und Geringer, R. (2010): Durchgängige Automatisierung in der Lebensmittelindustrie anhand von automationX, 20.05.2010, automationX, <http://lefa-berlin.de/wp-content/uploads/2011/06/Zusammenfassung-VDB-Forum-2010-Prozesskontrolle.pdf>, letzter Zugriff: 10.04.2017.
- o.V. (2008): ISA95 Levels for Enterprise Integration, in: Control - Promoting Excellence in Process Automation, 07.10.2008, <http://www.controlglobal.com/articles/2008/isa95enterpriselevels/>, letzter Zugriff: 10.04.2017.
- Schöning, H. (2014): Data Mining und Analyse, in: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Bauernhansl, T.; Hompel, M. und Vogel-Heuser, B. (Hrsg.), Wiesbaden, Springer Vieweg, S. 543-554.
- Siepmann, D. (2016): Industrie 4.0 - Technologische Komponenten, in: Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0, Roth, A. (Hrsg.), Berlin Heidelberg, Springer Gabler Verlag, S. 47-72.
- Steiner, W. und Poledna, S. (2016): Fog computing as enabler for the Industrial Internet of Things, in: e&I Elektrotechnik und Informationstechnik, November 2016, Vol. 133, Issue 7, S. 310-314.
- Symestic (o.J.): Industrie 4.0 und MES, <http://www.symestic.de/de/industrie-4-0.html>, letzter Zugriff: 10.04.2017.
- Tehrani, A.-H.; Dörsam, E. und Neumann, J. (2016): Improving Automation and Process Control of an Indirect Gravure (pad) Printing Machine, in: Acta Polytechnica Hungarica, Journal of Applied Science, Vol. 13/2016, No. 4, S. 221-240.
- Vogel-Heuser, B. (2017): Herausforderungen und Anforderungen aus Sicht der IT und der Automatisierungstechnik, in: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Bauernhansl, T.; Hompel, M. und Vogel-Heuser, B. (Hrsg.), Wiesbaden, Springer, S. 37-48.