

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung, warum dieses Buch	1
	Literatur	7
2	Geschichte der Automatisierung	9
2.1	Geschichte der Automatisierung von der Antike bis heute	9
	Literatur	16
3	Industrie 4.0 und IoT– Zusammenhänge	17
3.1	Geschichte von Industrie 4.0	17
3.2	Inhalte und Forderungen von Industrie 4.0	19
3.3	Einordnung von Industrie 4.0	21
3.4	Beispiel einer Planung zur Simulation der Wertschöpfungskette	22
3.5	Lösungsgeschäft in der Automatisierung oder ,Consultative Value Selling‘ oder ,Value added Selling‘	26
3.5.1	Schichtdickenmessung als Beispiel zum Lösungsverkauf oder ,Consultative Value Selling‘ in der Automatisierung	32
3.5.2	Typische Kenngrößen für das Lösungsgeschäft	43
	Literatur	45
4	Künstliche Intelligenz (KI)	47
4.1	Künstliche Intelligenz heute	47
4.2	Die Geschichte von KI	49
4.3	Künstliche Intelligenz und Lernverfahren	51
4.3.1	Definition von Künstlicher Intelligenz	51
4.3.2	Grundsätzliche Lernverfahren für KI	53
4.4	Struktur von KI und Klassifikatoren	55
4.5	Maschinenlernen – Statistische Lernverfahren und der Bayes-Klassifikator	57
4.5.1	Signalverarbeitung und Mustererzeugung als Vorstufe von KI-Maschinenlernen	57

4.5.2	Beispiel KI-Bayes-Klassifikator	59
4.6	Beispiel zur KI-Bildverarbeitung und Merkmalerzeugung – Lernen von Symbolen	61
4.7	Beispiel eines KI-Expertensystems – Evolutionäre Algorithmen	63
4.8	KI und Künstliche Neuronale Netzwerke	66
4.8.1	Geschichte der Künstlichen Neuronalen Netzwerke (KNN)	66
4.8.2	Normierung für die Eingangsdaten und die Gewichte	71
4.9	Lernverfahren für Künstliche Neuronale Netzwerke – Backpropagation Algorithmus	71
4.9.1	Generelles zum Lernverfahren	71
4.9.2	Lernverfahren des ADALINE's mit linearer Übertragungscharakteristik	72
4.9.3	Das Gradientenabstiegsverfahren	73
4.9.4	Der Backpropagation-Algorithmus	77
4.9.4.1	Konvergenzverhalten des Backpropagation-Algorithmus	82
4.9.4.2	Adaptive Lernalgorithmen	84
4.10	Prädiktive Wartung oder Predictive Maintenance in Industrie 4.0	85
4.10.1	Beispiel prädiktive Wartung bei Schichtdickenmessgeräten	88
4.11	Zusammenfassung von KI	90
	Literatur	91
5	Internet of Things – IoT	95
5.1	Geschichte von IoT und IIoT	96
5.2	Radio Frequency Identification – RFID	99
5.2.1	Geschichte von RFID	100
5.2.2	Technik von RFID und Integration ins Internet	103
5.2.3	Funktionsweise von RFID	105
5.2.4	Bauformen und Baugrößen von RFID-Systemen	110
5.2.5	Verschlüsselung, Modulations- und Kodierungsverfahren bei RFID-Systemen	111
5.2.6	Einsatzgebiete von RFID mit entsprechenden Applikationen	114
5.2.7	Normen zu RFID	117
5.2.8	Technische Begrenzungen, Risiken und Nachteile der RFID-Technik	117
5.3	Zusammenfassung IoT und RFID	120
	Literatur	121

6	Die Automatisierungspyramide von 1985 – Grundlegende	
	Struktur in IoT und Industrie 4.0	125
6.1	Geschichte und Normierung der Automatisierungspyramide	125
6.2	Die Automatisierungspyramide von 1985	128
6.2.1	Die Feldebene: Sensoren und Aktoren.	129
6.2.1.1	Entwicklung der Sensoren in der Analysenmesstechnik im Hinblick auf die Automatisierung	130
6.2.2	Die SPS-Ebene (Speicherprogrammierbare Steuerungen)	145
6.2.2.1	Geschichte der SPS – Speicherprogrammierbare Steuerung	146
6.2.2.2	Funktionsweise der SPS	146
6.2.2.3	Programmierung der SPS	151
6.2.2.4	Programmiersprache STEP 7 für SPS.	154
6.2.3	Die SCADA Ebene (Supervisory Control and Data Acquisition)	156
6.2.3.1	Geschichte von SCADA	157
6.2.3.2	Funktionsweise von SCADA	158
6.2.3.3	Zusammenfassung SCADA-System [48]	162
6.2.4	Die MES Ebene (Manufacturing Execution System)	163
6.2.4.1	Funktionsweise des MES und Abgrenzung zum ERP-System	164
6.2.4.2	Normierungen und Verbandsaktivitäten für MES-Systeme	169
6.2.4.3	Zusammenfassung MES-Systeme.	170
6.2.5	Die ERP Ebene (Enterprise Resource Planning)	170
6.2.5.1	Aufgaben des ERP-Systems	171
6.2.5.2	SAP als Beispiel für ein weltweites ERP-System und Industrie 4.0/IoT	177
6.2.5.3	Geschichte von SAP	177
6.2.5.4	Erfahrungen mit SAP	180
6.2.5.5	Funktionsweise von SAP und Anwendungsfehler	183
6.2.5.6	Zusammenfassung ERP/SAP	190
6.2.5.7	Beispiel Smart Manufacturing, Fabrik 4.0 in der Analysen- Messtechnik im Jahre 2000	191
6.3	Anforderungen an Sensoren, SPS, Gateways und Computer innerhalb der Automatisierungspyramide	193
6.3.1	Randbedingungen für Sensoren, SPS und Automatisierungskomponenten	193

6.3.2	Komplexitätspyramide für die Systemintegration in Industrie 4.0 und IoT/IIoT	194
6.3.3	Automatisierung – Offline, Online, Inline	196
6.3.4	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV).	201
6.3.4.1	CE-Kennzeichnung	202
6.3.4.2	CE-Kennzeichnung und Funkzulassung	204
6.3.5	Schutzarten IP (Ingress Protection)	206
6.3.6	Explosionsgefährdete Umgebungen ATEX, FM, IECEx.	209
6.3.7	Funktionale Sicherheit oder SIL – Safety Integrity Level	215
6.4	Zusammenfassung Automatisierungspyramide und Produktanforderungen	216
	Literatur.	217
7	Vertikale und horizontale Kommunikation innerhalb der Automatisierungspyramide – OSI Modell	229
7.1	Verteilung von Feldbussen und Bussysteme, Namurstudie	231
7.1.1	Namurstudie zu Kosteneinsparungen bezüglich Systemintegration durch Bussysteme	232
7.1.2	Anforderungen an Feldbusse, Vor- und Nachteile von Feldbussen	233
7.2	Das OSI Modell (Open Systems Interconnection Model)	234
7.2.1	Schicht 1: Bitübertragungsschicht (Physical Layer)	236
7.2.2	Schicht 2: Sicherungsschicht für Daten und Verbindung (Data Link Layer)	236
7.2.2.1	Typische Netzwerk-Topologien von Bussystemen (Schicht 2).	236
7.2.2.2	Weitere 2-Schicht-Protokolle	238
7.2.2.3	ARP-Protokoll und Internet	238
7.2.2.4	Funktionsweise des ARP-Protokoll mit Ethernet.	239
7.2.3	Schicht 3: Vermittlungsschicht (Network Layer).	240
7.2.4	Schicht 4: Transportschicht – Ende zu Ende Kontrolle (Transport Layer).	241
7.2.4.1	Typische Protokolle für die vierte Schicht.	242
7.2.5	Schicht 5: Sitzungsschicht (Session Layer).	244
7.2.6	Schicht 6: Darstellungsschicht (Presentation Layer).	244
7.2.7	Schicht 7: Anwendungsschicht (Application Layer).	244
7.2.8	Zusammenfassung OSI Modell	244

7.3	Geschichte der Bussysteme – Vom Ethernet über Internet bis hin zu OPC UA	245
7.4	Gremien und Normierungen der Feldbussysteme	253
7.4.1	Die 19 Feldbusfamilien	253
7.4.2	IEEE 802 – Institute of Electrical and Electronics Engineers.	258
7.4.2.1	Ethernet Alliance.	258
7.4.3	PROFIBUS&PROFINET International (PI)	259
7.4.3.1	Die verschiedenen PROFIBUS-Kommunikationsprotokolle und Bediensoftware- nicht auf dem Ethernet basierend	260
7.4.4	ODVA (Open DeviceNet Vendors Association, Inc.).	262
7.4.5	OPC Foundation.	263
7.4.6	FDT/DTM™ und PACTware – Normierung der Konfiguration und Bediensoftware für den Kontrollraum	265
7.4.6.1	Funktionsweise des FDT/DTM™ Konzepts	268
7.4.6.2	Stand der Technik	271
7.4.6.3	Zusammenfassung FDT/DTM™	273
7.4.7	FieldComm Group.	274
7.4.8	Zusammenfassung der Geschichte der Gremien und Feldbussen	275
	Literatur.	278
8	Ethernet, Internet IPv4 und IPv6	287
8.1	Ethernet und Industrial Ethernet.	287
8.1.1	Echtzeitanforderungen für Feldbusse und Industrial Ethernet.	288
8.1.2	Ethernet Geschichte	290
8.1.3	Ethernet und OSI Modell.	292
8.1.4	Ethernet-Protokolle	294
8.1.4.1	Ethernet II Frame	294
8.1.4.2	Weitere Ethernet-Frames.	301
8.1.4.3	Maximaler Datendurchsatz	305
8.1.5	CSMA/CD Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection	306
8.1.6	Funktionsweise des Address Resolution Protocol (ARP) mit Internet und Ethernet	311
8.2	Internet- Protokoll IPv4	312
8.2.1	Definition und Geschichte des Internet Protokolls	314

8.2.2	Technik des Internets	316
8.2.3	IPv4 Header und Ethernet II Frame	317
8.2.4	Internet-Protokoll IPV4 und Adressvergabe	322
8.2.5	CIDR Classless Inter-Domain Routing	323
8.3	Internet Protokoll IPv6	329
8.3.1	Ipv6 Header und Ethernet II Frame	331
8.3.2	Internet Protokoll IPv6 und Adressvergabe [107]	334
8.3.3	Adressaufbau von IPv6 im Detail	336
8.3.4	Adress-Aufteilung und generelle Adresszuweisung beim IPv6 Protokoll	339
8.3.5	Sonderadressen des IPv6/IPv4	340
8.3.6	Funktionalität von IPv6	343
8.3.7	Umnummerierung und Multihoming	347
8.3.8	Mobiles IPv6	348
8.3.9	Vergleich zwischen IPv6 und IPv4	348
8.3.9.1	Betriebssysteme für IPv6 und Routing [174–178]	352
8.3.10	Sicherheitssoftware	354
8.3.10.1	Paketfilter und Firewalls	354
8.3.10.2	IPSec Sicherheitssoftware	354
8.4	Ethernet TCP/IP – Protokollsuite	355
8.4.1	Geschichte von TCP/IP und Generelles	356
8.4.2	Aufbau des TCP Headers	357
8.4.3	Datenübertragung	360
8.4.3.1	Verbindungsaufbau	361
8.4.3.2	Verbindungsabbau	362
8.4.3.3	TCP/IP-Segment-Größe	363
8.4.3.4	Aufteilung der Anwendungsdaten auf TCP/IP	363
8.4.3.5	Retransmission Timer	365
8.4.4	Flusssteuerung und Staukontrolle	367
8.4.5	TCP Prüfsumme und TCP Pseudoheader	370
8.5	UDP Datagram Protocol	371
8.5.1	UDP Datagram Protocol und OSI Modell	372
8.5.2	Funktionsweise des UDP	373
8.6	TCP/IP Protokollsuite	375
8.7	Zusammenfassung Ethernet und Internet	380
	Literatur	382
9	Hardware Ethernet	401
9.1	Bussysteme	401
9.1.1	Paralleler Bus, serieller Bus, Master/Slave, Initiator, Target	401

9.1.2	Generelle Bus-Technologie	402
9.1.3	Adressierungsverfahren	403
9.1.4	Bussystem Zusammenfassung	405
9.2	Ethernet Verbindungen und Vernetzungen, ASIC's	406
9.2.1	Verbindungsmöglichkeiten des Ethernets in der Bitübertragungsschicht (Physikalischer Layer)	407
9.2.2	10 Mbit/s-Ethernet mit Kupferkabel	408
9.2.3	Mbit/s-Ethernet mit Lichtwellenleiter (Glasfaser) [27]	408
9.2.4	100 Mbit/s-Ethernet mit Kupferkabel	409
9.2.5	100 Mbit/s-Ethernet mit Lichtwellenleiter (Glasfaser)	410
9.2.6	Mbit/s-Ethernet oder 1Gbit/s Ethernet mit Kupferkabel	410
9.2.7	1000 Mbit/s-Ethernet oder 1 Gbit/s Ethernet mit Lichtwellenleiter (Glasfaser)	410
9.2.8	Kupferkabel CAT x	410
9.2.9	Lichtwellenleiter	410
9.2.10	8P8C-Stecker und RJ45-Stecker	412
9.2.11	ASICs für die Bitübertragungsschicht von Ethernet	415
9.2.11.1	ANALOG DEVICES: ADIN1300 10/100/1000-Mbit- Ethernet – PHY Gigabit-Ethernet Transceiver [40].	415
9.2.11.2	ARM/Hilscher: NETX 52 [41]	417
9.2.11.3	MICROCHIPTechnology/Micrel: KSZ8851-16 MLL [42].	418
9.2.11.4	Texas Instruments: ASIC DP83825I Low Power [43].	418
9.3	Weiterentwicklungen für Ethernet	418
9.3.1	Power over Ethernet (PoE) Technologie für die Zukunft	419
9.3.2	Tbit/s-Ethernet und seine Zukunft	420
9.3.3	Ethernet APL (Advanced Physical Layer)	421
9.3.3.1	Geschichte des Kommunikationsstandard Ethernet APL	422
9.3.3.2	OSI Modell und Ethernet-APL	422
9.3.3.3	Technik von Ethernet-APL	423
9.3.3.4	Single Pair of Ethernet	427
9.3.3.5	Zusammenfassung von Ethernet APL und Ethernet SPE	428
	Literatur	430

10	Ethernetbasierte Feldbusse und Bussysteme	435
10.1	EtherNet/IP	435
10.1.1	EtherNet/IP Geschichte	435
10.1.2	OSI Modell und EtherNet/IP, ControlNet und DeviceNet	436
10.1.3	Technik von EtherNet/IP und TCP/UDP	437
10.2	PROFINET	439
10.2.1	PROFINET Geschichte	439
10.2.2	OSI Modell und PROFINET	440
10.2.3	Technik des PROFINET	442
10.2.4	Zusammenfassung PROFINET	445
10.3	EtherCAT	446
10.3.1	Geschichte EtherCAT	446
10.3.2	OSI Modell und EtherCAT	447
10.3.3	EtherCAT-Frame	449
10.3.4	Technik des EtherCAT	450
10.3.5	ASIC EtherCAT von Beckhoff	452
10.3.6	Zusammenfassung EtherCAT	453
10.4	CC-Link	453
10.4.1	CC-Link Geschichte	454
10.4.2	OSI Modell und CC-Link	455
10.4.3	Der CC-Link Frame	456
10.4.4	Technik des CC-Link	458
10.4.5	Beispiel einer CC-Link-Safety Anwendung	459
10.5	Modbus TCP	460
10.5.1	Geschichte Modbus	460
10.5.2	OSI Modelle für und Modbus TCP und RTU	460
10.5.3	Modbus-Protokolle für Modbus TCP und RTU	462
10.5.3.1	Modbus TCP Protokoll	462
10.5.3.2	Modbus RTU-Protokoll	462
10.5.4	Zusammenfassung Modbus	463
10.6	IO-Link	463
10.6.1	Geschichte IO-Link	463
10.6.2	Technik des IO-Link und Spezifikationen	464
10.6.2.1	IO-Link Anschlusstechnologie	466
10.6.2.2	IO-Link über Single Pair Ethernet (SPE)	467
10.6.3	IO-Link Software	468
10.6.3.1	IO-Link Device Description	468
10.6.3.2	IO-Link Safety	468
10.6.4	IO-Link Wireless	468
10.6.5	Zusammenfassung IO-Link	468

10.7	OPC UA (Open Platform Communication Unified Architecture)	470
10.7.1	Einleitung und Fakten zu OPC UA	470
10.7.2	Geschichte OPC UA	471
10.7.3	OSI Modell und OPC UA	472
10.7.4	Funktionsweise von OPC UA	474
10.7.5	Vernetzungstopologie von OPC UA	477
10.7.6	Cloud Computing	478
10.7.7	Beispiel einer OPC UA Struktur in der Solarindustrie	480
10.7.7.1	SECS/GEM und Anwendungen	480
10.7.7.2	CIGS- Solarzelle	481
10.7.7.3	Prozess zur Herstellung einer CIGS Solarzelle.	482
10.7.8	Zusammenfassung OPC UA	484
10.8	WLAN/Wi-Fi	486
10.8.1	WLAN/Wi-Fi Geschichte	486
10.8.2	OSI Modell und WLAN/Wi-Fi	488
10.8.3	WLAN/Wi-Fi Frame	490
10.8.4	Technik des WLAN/Wi-Fi	492
10.8.5	Zukünftige Entwicklungen.	492
10.8.6	ASIC für WLAN/Wi-Fi	493
10.8.6.1	ASIC RN1810/RM1810E	493
10.8.6.2	Kombinierte Wi-Fi/Bluetooth-PC-Einsteckkarte mit Intel AX200 [156]	494
10.8.7	Zusammenfassung WLAN/Wi-Fi	495
	Literatur	496
11	Hardwareentwicklungen – μ-Controller, ASICs, FPGA und Multicore-Prozessoren und Feldbusse.	507
11.1	Zeitgeschehen von Hardwareentwicklungen	507
11.2	Multicore-Prozessoren	517
11.3	Leistungsvergleich- von μ -Controller zu Multicore-Prozessoren	518
	Literatur	521
12	Zusammenfassung Des Zeitgeschehens.	525
	Literatur	532
	Glossar	533
	Personenverzeichnis	543
	Sachverzeichnis	545