

1 Motivation – warum dieses Buch.	1
Literatur.	5
2 Industrie 4.0, China 2025, IoT (Internet of Things), KI	7
2.1 Geschichte der Automatisierung	8
2.1.1 Industrie 4.0.	12
2.1.2 Made in China 2025 oder kurz: China 2025	14
2.1.3 Internet of Things (IoT) oder das Allesnetz.	17
2.2 Industrie 4.0, Künstliche Intelligenz (KI), Künstliche Neuronale Netzwerke (KNN)	20
2.2.1 Mustererkennung, Künstliche Neuronale Netze und Polynomklassifikatoren	23
2.2.2 Spracherkennung als ausgewähltes Beispiel für Anwendungen in der KI.	31
2.3 Prädiktive Wartung oder ‚Predictive Maintenance‘	33
2.3.1 Prädiktive Systeme in der Industrie.	34
2.3.2 Beispiel prädiktive Wartung bei Schichtdickenmessgeräten	37
2.4 Programmiersprachen, Fortran, C, C++, STEP7	39
2.4.1 Programmiersprache Fortran	40
2.4.2 Programmiersprache C	41
2.4.3 Programmiersprache C++	42
2.4.4 Programmiersprache STEP 7.	43
2.4.5 Zusammenfassung Programmiersprachen	44
2.5 Industrie 4.0, Mensch und Maschine.	45
Literatur.	46
3 Automatisierung und Qualitätskontrolle in Industrie 4.0.	51
3.1 Komplexitätspyramide der Automatisierung	52
3.1.1 Automatisierung – Offline, Online, Inline.	54
3.1.2 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	59
3.1.3 CE-Kennzeichnung	60

3.1.4	CE-Kennzeichnung und Funkzulassung	62
3.1.5	Schutzarten IP	64
3.1.6	Explosionsgefährdete Umgebungen ATEX, FM, IECEx.	68
3.1.7	Funktionale Sicherheit oder SIL – Safety Integrity Level.	74
	Literatur.	76
4	Automatisierungspyramide und Lösungsgeschäft	81
4.1	Lösungsgeschäft in der Automatisierung oder ‚Consultative Value Selling‘	82
4.1.1	Vertrag	85
4.1.2	Servicevertrag	86
4.1.3	Schichtdickenmessung als Beispiel zum Lösungsverkauf oder ‚Consultative Value Selling‘ in der Automatisierung	87
4.2	Automatisierungspyramide von 1985 – Industrie 4.0, ‚Made in China 2025‘, IoT	94
4.3	Unternehmensebene oder ERP-Level (Enterprise-Resource-Planning).	99
4.3.1	SAP – Ein ERP-Baustein von Industrie 4.0.	100
4.3.2	Persönliche Erfahrungen mit ERP-Systemen	104
4.3.3	Wie funktioniert SAP und welche Fehler werden häufig gemacht – Beispiel.	108
4.3.4	Zusammenfassung ERP (SAP)	114
4.4	MES Betriebsebene (Manufacturing Execution System)	115
4.4.1	Funktionsweise des MES und Abgrenzung zum ERP-System.	115
4.4.2	Normierungen und Verbandsaktivitäten für MES-Systeme.	120
4.4.3	Zusammenfassung MES	121
4.5	Prozessleitebene, Kontrollraum oder SCADA-Level	122
4.5.1	Geschichte von SCADA	122
4.5.2	Technik.	123
4.5.3	Zusammenfassung SCADA-System	126
4.6	SPS-Ebene (PLC-Level)	126
4.6.1	Geschichte der SPS – Speicherprogrammierbare Steuerung. ...	127
4.6.2	Technik der SPS.	127
4.7	Feldebene Sensorik/Aktorik.	131
4.7.1	Entwicklung der Sensoren in der Analysenmesstechnik im Hinblick auf die Automatisierung	132
4.7.2	Smart Manufacturing, Fabrik 4.0 in der Analysenmesstechnik im Jahre 2000.	149
	Literatur.	151

5	Feldbusse, Kommunikationsprotokolle, Bedienoberflächen, Hardware ASIC's	159
5.1	Verteilung der Feldbusse, Namurstudie, Anforderungen an Feldbusse	161
5.2	Normierungen der Bussysteme	163
5.2.1	IEEE 802 (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	169
5.2.2	Typische Netzwerk-Topologien von Bussystemen	171
5.3	Geschichte der Feldbusse und Bussysteme – Ethernet, HART, PROFIBUS, FF und Feldbus-Organisationen	173
5.3.1	Vor und Nachteile von Feldbussen	178
5.3.2	Gremien und Normierungen von Feldbus- und Bussystemen	179
5.4	PROFIBUS, die Dachorganisation, PROFIBUS & PROFINET International (PI)	179
5.4.1	Die verschiedenen PROFIBUS -Kommunikationsprotokolle und Bediensoftware	180
5.4.2	Zusammenfassung der Historie von Feldbussen	182
5.5	FDT/DTM™ und PACTware für Kontrollraum	185
5.5.1	Funktionsweise des FDT/DTM™ Konzepts	188
5.5.2	Zusammenfassung FDT/DTM™	192
5.6	Das OSI-Modell (Open System Interconnection Model)	193
5.6.1	Zusammenfassung OSI-Modell	198
5.7	Ethernet	199
5.7.1	Ethernet Geschichte	199
5.7.2	OSI-Modell und Ethernet	201
5.7.3	Ethernet-Protokoll (Datenframe)	202
5.7.4	CSMA/CD-Algorithmus (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection)	206
5.7.5	Ethernet Verbindungen und Vernetzungen, ASIC's	207
5.7.6	Ethernet Zukunft – Power over Ethernet (PoE) und Tbit/s-Ethernet	220
5.8	Ethernet TCP/IP Protokoll	223
5.9	EtherNet/IP – ein Ethernet Feldbus	225
5.9.1	EtherNet/IP Geschichte	225
5.9.2	OSI-Modell und EtherNet/IP, ControlNet und DeviceNet	225
5.9.3	Technik von EtherNet/IP und TCP/UDP	226
5.10	EtherCAT- ein Ethernet Feldbus	228
5.10.1	Geschichte EtherCAT	228
5.10.2	OSI-Modell und EtherCAT	230
5.10.3	EtherCAT-Frame	230
5.10.4	Technik des EtherCAT	232

5.10.5	ASIC EtherCAT von Beckhoff	233
5.10.6	Zusammenfassung EtherCAT	235
5.11	PROFINET – ein Ethernet Feldbus	235
5.11.1	PROFINET Geschichte	236
5.11.2	OSI-Modell und PROFINET	238
5.11.3	Technik des PROFINET	239
5.11.4	Zusammenfassung PROFINET	242
5.12	CC-Link – ein Ethernet Feldbus	243
5.12.1	CC-Link Geschichte	243
5.12.2	OSI-Modell und CC-Link	244
5.12.3	Der CC-Link Frame	244
5.12.4	Technik des CC-Link	246
5.12.5	Beispiel einer CC-Link-Safety Anwendung	247
5.13	PROFIBUS	248
5.13.1	PROFIBUS Geschichte	248
5.13.2	OSI-Modell und PROFIBUS	249
5.13.3	Die PROFIBUS Protokolle	252
5.13.4	Technik des PROFIBUS	252
5.13.5	ASIC PROFIBUS DP	255
5.13.6	Zusammenfassung PROFIBUS	257
5.14	HART (Highway Addressable Remote Transducer)	258
5.14.1	Geschichte HART	258
5.14.2	OSI-Modell und HART	260
5.14.3	Das HART-Protokoll	261
5.14.4	Technik des HART	262
5.14.5	HART-Gerätebeschreibung DDL (Device Description Language)	266
5.14.6	ASIC HART-Modem	268
5.14.7	Zusammenfassung HART	270
5.15	WirelessHART	271
5.15.1	WirelessHART Geschichte	272
5.15.2	Technik des WirelessHART	273
5.15.3	Zusammenfassung und Beispiel einer Netzwerk-Topologie mit WirelessHART und HART-IP	278
5.16	WLAN/Wi-Fi	280
5.16.1	WLAN/Wi-Fi Geschichte	280
5.16.2	OSI-Modell und WLAN/Wi-Fi	282
5.16.3	WLAN/Wi-Fi Frame	284
5.16.4	Technik des WLAN/Wi-Fi	285
5.16.5	ASIC für WLAN/Wi-Fi	286
5.16.6	Zusammenfassung WLAN/Wi-Fi	288

5.17	Bluetooth 1.0 bis Bluetooth 5	289
5.17.1	Bluetooth Geschichte.....	289
5.17.2	Bluetooth-Schichtenmodell	290
5.17.3	Bluetooth Datenpaket	291
5.17.4	Technik des Bluetooth	291
5.17.5	ASIC Bluetooth	292
5.17.6	Zusammenfassung Bluetooth.....	293
5.18	Modbus.....	293
5.18.1	Geschichte Modbus	293
5.18.2	OSI-Modell und Modbus.....	294
5.18.3	Modbus Protokoll	295
5.18.4	Zusammenfassung Modbus und persönliche Erfahrungen	296
5.19	CAN Bus	299
5.19.1	CAN Bus Geschichte.....	299
5.19.2	OSI-Modell und CAN Bus	299
5.19.3	CAN Bus Frame	300
5.19.4	Technik des CAN Bus und Störsicherheit	303
5.19.5	CANopen, DeviceNet	304
5.19.6	Zusammenfassung CAN Bus.....	305
5.20	IO-Link	305
5.20.1	Geschichte IO-Link	305
5.20.2	Technik des IO-Link und Spezifikationen	306
5.20.3	Zusammenfassung IO-Link	310
5.21	OPC UA (OPC Unified Architecture)	311
5.21.1	Geschichte OPC UA	311
5.21.2	OSI-Modell und OPC UA	314
5.21.3	Vernetzungstopologie von OPC UA	316
5.21.4	Cloud Computing.....	316
5.21.5	Beispiel einer OPC UA Struktur in der Solarindustrie	319
5.21.6	Zusammenfassung OPC UA	323
	Literatur.....	325
6	Historie von kleineren Firmen hinsichtlich Industrie 4.0, China 2025, IoT.....	351
6.1	Mittelstand und Automatisierung.....	351
6.2	Modernisierung von älteren Gerätegenerationen bezüglich der Automatisierungsschnittstelle	357
	Literatur.....	359
7	Automatisierung der Automobilbranche im Zeitraffer – Robotik	361
7.1	Geschichte der Automobilindustrie	361

7.2	Roboter	363
7.2.1	Taktile Messtechnik und Roboter	367
7.3	Problem von Kunststoff-Karosserien für die Materialanalyse – Lösung mit Terahertz	367
	Literatur	373
8	Zeittafel der Automatisierungstechnik seit 1970	375
8.1	KI, Neuronale Netze, Programmiersprachen – von der Robotik über die Automatisierungspyramide, Feldbusse und Gremien bis hin zu IoT (IIoT), Industrie 4.0 sowie ‚Made in China‘	382
8.2	Zusammenfassung des Zeitgeschehens	397
	Literatur	404
	Glossar	409
	Stichwortverzeichnis	417