

Inhalt

Vorwort	XI
TEIL A Grundlagen und Bussysteme	1
1 Grundlagen vernetzter Systeme	5
1.1 Verteilte Automatisierung	5
1.1.1 Organisationsstruktur	5
1.1.2 Informationsaustausch	7
1.1.2.1 Punkt-zu-Punkt-Verbindung	9
1.1.2.2 Lokale Netze	10
1.1.2.3 Zentrale/dezentrale Automatisierungsstrukturen	11
1.2 Lokale Netze	14
1.2.1 Netztopologien	15
1.2.2 Übertragungsmedien	16
1.2.2.1 Zweidrahtleitung	16
1.2.2.2 Koaxialleitung	18
1.2.2.3 Lichtwellenleiter	18
1.2.3 Datenübertragung	19
1.2.3.1 Basisband	19
1.2.3.2 Trägerband	20
1.2.3.3 Breitband	21
1.2.4 Zugriffsverfahren	22
1.2.4.1 Master-Slave-Verfahren	22
1.2.4.2 Multimaster-Prinzip	23
1.3 Kommunikationsmodelle	26
1.3.1 Protokollmodelle	26
1.3.1.1 OSI-Referenzmodell	27
1.3.1.2 TCP/IP-Protokoll	32

1.3.2	Verbindungsmodelle	33
1.3.2.1	Verbindungsorientierte Übertragungsverfahren	33
1.3.2.2	Verbindungslose Übertragungsverfahren	34
1.3.3	Client-Server-Modell versus Pub-/Sub-Modell	35
1.3.4	Objektorientierte Kommunikation	37
1.3.5	Prüftechniken und Verifikation	39
1.4	Eingebettete Systeme und Vernetzung	41
1.4.1	Charakterisierung	41
1.4.1.1	Eingebettete Systeme	41
1.4.1.2	Cyber-Physical Systems	43
1.4.2	Hard- und Softwarekomponenten	45
1.4.2.1	Hardware	45
1.4.2.2	Software	48
1.4.2.3	Vernetzung	49
1.4.3	Anwendungsbeispiel: Raspberry Pi	51
1.5	Übungsaufgaben	53
2	Bussysteme	55
2.1	Kommunikationsschnittstellen	55
2.1.1	Punkt-zu-Punkt-Verbindungen	56
2.1.1.1	Parallele Schnittstellen	56
2.1.1.2	Serielle Schnittstellen	57
2.1.2	Busschnittstellen	62
2.1.2.1	Eigenschaften einer Busleitung	62
2.1.2.2	System- und Peripheriebusse	64
2.1.2.3	Prozess- und Feldbusse	69
2.2	Feldbussysteme	70
2.2.1	Technische Ausprägung lokaler Netze	70
2.2.2	Der Fabrikbus MAP/MMS	73
2.2.3	Ausgewählte Feldbussysteme	74
2.2.3.1	PROFIBUS	75
2.2.3.2	INTERBUS	79
2.2.3.3	CAN	83
2.2.3.4	ASi	85
2.2.3.5	SERCOS	89
2.2.3.6	LON	90
2.3	Offene Kommunikation	92
2.3.1	Offene Steuerungen und Systeme	92
2.3.2	Grundlagen von OPC	94
2.3.3	Kommunikation mit OPC Unified Architecture	99
2.4	Übungsaufgaben	104

TEIL B	Industrial Ethernet und mobile Kommunikation	107
3	Industrial Ethernet	109
3.1	Netzwerktechnik mit Ethernet	109
3.1.1	Grundlagen von Ethernet	110
3.1.1.1	Physikalische Realisierungsvarianten	110
3.1.1.2	Datenübertragung und Zugriffsverfahren	114
3.1.1.3	Power over Ethernet	118
3.1.2	Gerätetechnik und Topologien	120
3.1.2.1	Klassische Ethernet-Topologie	120
3.1.2.2	Netzwerkkomponenten	120
3.1.2.3	Switched Ethernet	123
3.1.3	Management und Diagnose	125
3.2	Sicherheit in Netzen	126
3.2.1	Sicherheit in Unternehmensnetzen	126
3.2.2	Techniken zum Schutz des Netzes	128
3.2.3	Sicherheit in der Praxis	130
3.3	Ethernet und Internettechnologien	131
3.3.1	TCP/IP und Internet	131
3.3.1.1	TCP/IP im OSI-Referenzmodell	131
3.3.1.2	Adressierung im IP-Protokoll	133
3.3.1.3	TCP-Protokoll	134
3.3.1.4	UDP-Protokoll	136
3.3.1.5	Internet-Anwendungsprotokolle	136
3.3.2	WWW im Internet	138
3.3.2.1	Grundprinzip des Webs	139
3.3.2.2	Anwendungsprotokoll HTTP	142
3.4	Ethernet-basierte Echtzeitbussysteme	144
3.4.1	Einführung und Übersicht	144
3.4.2	Ausgewählte Bussysteme	146
3.4.2.1	EtherNet/IP	146
3.4.2.2	PROFINET	147
3.4.2.3	EtherCAT	150
3.4.2.4	SERCOS III	152
3.4.3	Ausblick zu industriellem Echtzeit-Ethernet	154
3.5	Übungsaufgaben	156
4	Mobile Kommunikation	159
4.1	Technische Grundlagen	159
4.1.1	Funkübertragung	160
4.1.1.1	Signalausbreitung	160

4.1.1.2	Satellitenübertragung	163
4.1.1.3	Regulierungen zu den Frequenzbereichen	165
4.1.2	Übertragungs- und Zugriffsverfahren	166
4.1.2.1	Bandspreizung	166
4.1.2.2	Multiplexing	168
4.1.3	Drahtlos und mobil in der Industrie	169
4.2	Drahtlose lokale Netze	172
4.2.1	Wireless Local Area Network	173
4.2.1.1	Netzarchitektur	174
4.2.1.2	OSI-Referenzmodell für WLAN	175
4.2.1.3	Roaming und Wireless Mesh Network	177
4.2.1.4	WiMAX	179
4.2.2	Wireless Personal Area Networks	180
4.2.2.1	Bluetooth	181
4.2.2.2	ZigBee	184
4.2.2.3	EnOcean	186
4.2.2.4	WirelessHART	187
4.2.2.5	RFID & NFC	189
4.2.3	Eingebettete Systeme und drahtlose Netze	191
4.3	Weitverkehrsnetze	193
4.3.1	Grundlagen Mobilfunk	195
4.3.1.1	Mobilfunkgenerationen	195
4.3.1.2	Struktur eines Mobilfunknetzes	196
4.3.1.3	Identifikation und Anwendungsprofile	197
4.3.2	GSM, UMTS und weitere Generationen	198
4.3.2.1	GSM/GPRS	198
4.3.2.2	UMTS	200
4.3.2.3	LTE	200
4.3.2.4	5G	201
4.3.3	Low-Power-Weitverkehrsnetze	202
4.3.3.1	LoRaWAN	203
4.3.3.2	SigFox	204
4.4	Sicherheit in drahtlosen Netzen	204
4.4.1	Einführung	205
4.4.2	Verschlüsselung und Authentisierung	205
4.4.3	Überwachung	206
4.4.4	Schutzmaßnahmen	207
4.5	Übungsaufgaben	210

TEIL C	Cyber-Physical Systems und deren Vernetzung	213
5	Cyber-Physical Systems und deren Vernetzung	217
5.1	Digitalisierung der Produktion	217
5.1.1	Cyber-Physical System (CPS)	218
5.1.1.1	Definition	218
5.1.2	Industrie 4.0 und Industrial Internet (IIoT)	225
5.1.2.1	Definition von Industrie 4.0	225
5.1.2.2	Was ist das Industrial Internet?	230
5.1.2.3	IoT und IIoT	231
5.1.3	Cloud-Computing	236
5.1.3.1	Was ist Cloud-Computing?	237
5.1.3.2	Anwendungen in der Industrial Cloud	241
5.2	Das neue Automatisierungsmodell	245
5.2.1	CPS-basierte Automation	245
5.2.1.1	Automatisierungsmodell	246
5.2.1.2	IoT-/IIoT-Plattformen	248
5.2.2	Referenzarchitekturen für Industrie 4.0 und IIoT	251
5.2.2.1	Referenzarchitektur für Industrie 4.0	251
5.2.2.2	Industrial Internet Reference Architecture	255
5.2.2.3	Vergleich von RAMI 4.0 mit IIRA	257
5.2.3	Das Dienstparadigma in der Automatisierung	259
5.2.3.1	Dienste in der Automatisierungstechnik	259
5.2.3.2	Automatisierungsfunktionen als Service	262
5.2.3.3	Smart Services	263
5.3	Kommunikation	265
5.3.1	Obere Anwendungsschicht	266
5.3.1.1	OPC UA	267
5.3.1.2	DDS	269
5.3.1.3	OPC UA versus DDS	273
5.3.1.4	Alternative Kommunikationsschnittstellen	275
5.3.2	Untere Anwendungsschicht	277
5.3.2.1	HTTP und REST	277
5.3.2.2	WebSocket	280
5.3.2.3	MQTT	283
5.3.2.4	CoAP	286
5.3.3	MQTT versus OPC UA und DDS	287
5.4	Vernetzung	291
5.4.1	Zeitdeterministisches Ethernet	291
5.4.1.1	TSN	291
5.4.1.2	OPC UA over TSN	294

5.4.1.3	DDS und TSN	295
5.4.1.4	Zeitdeterministik im WAN	297
5.4.2	Drahtlose und mobile Vernetzung	298
5.4.2.1	5G für Industrie 4.0	299
5.4.2.2	5G und TSN	301
5.4.3	Weiterentwicklungen des Übertragungsmediums	303
5.4.3.1	Single Pair Ethernet	303
5.4.3.2	Strahlende Kabel	305
5.5	Übungsaufgaben	306
TEIL D	Anhang	315
	Lösungen zu den Übungsaufgaben	317
	Normen und Standards	343
	Abkürzungen	347
	Glossar	359
	Index	367