

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Eine Einführung in Netzwerke</b>	<b>1</b>
1.1	Erforderliche Netzwerkelemente .....	2
1.1.1	Netzwerkdienste .....	3
1.1.2	Übertragungsmedien .....	4
1.1.3	Netzwerkprotokolle .....	5
1.2	Die Netzwerktopologien .....	5
1.3	Einteilung der Netzwerke .....	10
1.4	Die Netzwerktechnologien .....	11
1.5	Die Sprache der Computer .....	12
1.5.1	Die Datenübertragung .....	15
1.5.2	Asynchrone und synchrone Datenübertragung .....	16
1.5.3	Die Frequenz .....	17
1.5.4	Das Datensignal .....	18
1.5.5	Die Bandbreite .....	19
1.5.6	Bitrate oder Datenrate .....	20
1.5.7	Baudrate .....	20
1.5.8	Übertragungsfrequenz versus Übertragungsrate .....	20
1.5.9	Kanalkapazität .....	21
1.5.10	Paketvermittlung .....	21
1.5.11	Grundlegende Zugriffsverfahren .....	22
1.6	Netzwerkarchitekturen .....	23
1.7	Ein Überblick über den Inhalt dieses Buchs .....	29
<b>2</b>	<b>Ethernet</b>	<b>31</b>
2.1	Die Geschichte des Ethernet .....	31
2.1.1	Das IEEE-Konsortium .....	34
2.1.2	Der Ethernet-Standard .....	34
2.2	Der Physical Layer .....	35
2.2.1	Teilbereiche des Physical Layer .....	37
2.2.2	Physical Line Signaling (PLS) .....	38
2.2.3	Attachment Unit Interface (AUI) .....	39

2.2.4	Die Media Access Unit (MAU) . . . . .	40
2.2.5	Das Physical Medium Attachment (PMA) . . . . .	40
2.2.6	Das Medium Dependent Interface (MDI) . . . . .	41
2.2.7	Die Kommunikation zwischen AUI und MAU . . . . .	41
2.2.8	Das SQE-Testsignal . . . . .	42
2.2.9	Die Jabber-Schutzfunktion . . . . .	43
2.3	<b>10BASE5</b> . . . . .	43
2.4	<b>10BASE2</b> . . . . .	46
2.5	<b>10BROAD36</b> . . . . .	50
2.6	<b>10BASE-T</b> . . . . .	50
2.7	<b>10BASE-F</b> . . . . .	55
2.7.1	<b>10BASE-FL</b> . . . . .	57
2.7.2	<b>10BASE-FB</b> . . . . .	57
2.7.3	<b>10BASE-FP</b> . . . . .	57
2.8	<b>Das Manchester-Codierungsverfahren</b> . . . . .	58
2.9	<b>Media Access Control (MAC)</b> . . . . .	60
2.9.1	Das Zugriffsverfahren (CSMA/CD) . . . . .	61
2.9.2	Halb- oder Vollduplex . . . . .	63
2.9.3	Der Zugriff auf das Medium . . . . .	64
2.9.4	Die Kollisionserkennung . . . . .	65
2.9.5	Die Ausbreitung einer Kollision . . . . .	66
2.9.6	Die Ausbreitung einer Kollisionsdomäne . . . . .	68
2.9.7	Sperrzeit der Kollisionserkennung . . . . .	69
2.9.8	Die späten Kollisionen, Late Collisions . . . . .	69
2.9.9	Der Backoff-Prozess . . . . .	70
2.10	<b>Frameformate bei Ethernet</b> . . . . .	72
2.10.1	Adressenformate . . . . .	73
2.10.2	Die Präambel laut DIX und IEEE 802.3 . . . . .	76
2.10.3	Die Frameformate im Ethernet . . . . .	77
2.10.4	Ziel- und Quelladresse eines Frames . . . . .	78
2.10.5	Ethernet oder IEEE 802.3 . . . . .	79
2.10.6	Logical Link Control (LLC) . . . . .	80
2.10.7	Die verschiedenen Frametypen . . . . .	83
2.10.8	Plug&Play bei der Frameauswahl . . . . .	84
<b>3</b>	<b>Fast Ethernet</b>	<b>87</b>
3.1	Der Reconciliation Layer und das MII . . . . .	88
3.1.1	Die Kommunikation über das MII . . . . .	90
3.2	<b>100BASE-X-Erweiterungen im Ethernet-Standard</b> . . . . .	91
3.2.1	Der Physical Coding Sublayer (PCS) . . . . .	91
3.2.2	Das Physical Medium Attachment (PMA) . . . . .	92
3.2.3	Der Physical Medium Dependent Sublayer (PMD) . . . . .	92

---

3.3	Das 4B/5B-Codierungsverfahren . . . . .	92
3.3.1	Der Start-of-Stream und End-of-Stream Delimiter . . . . .	95
3.4	100BASE-TX . . . . .	96
3.4.1	MLT-3 und Scrambling . . . . .	97
3.4.2	Link Integrity Test bei 100BASE-TX . . . . .	98
3.5	100BASE-T2 . . . . .	98
3.6	100BASE-T4 . . . . .	100
3.7	100BASE-FX . . . . .	101
3.7.1	100BASE-FX für große Distanzen . . . . .	103
3.8	Die Auto-Negotiation-Funktion . . . . .	104
3.8.1	Der Normal Link Pulse . . . . .	105
3.8.2	Der Auto-Negotiation-Informationsaustausch . . . . .	106
3.8.3	Auto-Negotiation-Handshake . . . . .	109
3.8.4	Die Next-Page-Funktion . . . . .	110
3.8.5	Extended-Next-Page-Funktion . . . . .	112
3.8.6	Probleme mit der Auto-Negotiation . . . . .	112
3.9	Flow Control nach IEEE 802.3x . . . . .	114
<b>4</b>	<b>Gigabit-Ethernet</b>	<b>117</b>
4.1	1000BASE-X-Erweiterungen im Ethernet-Standard . . . . .	118
4.2	Der Physical Layer von 1000BASE-X . . . . .	121
4.2.1	Die Kommunikation über das GMII . . . . .	122
4.2.2	Der Physical Coding Sublayer (PCS) . . . . .	123
4.2.3	Das Physical Medium Attachment (PMA) . . . . .	123
4.2.4	Der Physical Medium Dependent Sublayer (PMD) . . . . .	124
4.2.5	Die 8B/10B-Codierung . . . . .	124
4.2.6	Die Unterdrückung des Gleichspannungsanteils . . . . .	125
4.2.7	Symbole . . . . .	127
4.3	1000BASE-SX . . . . .	127
4.4	1000BASE-LX . . . . .	130
4.5	1000BASE-CX . . . . .	131
4.6	Auto-Negotiation bei 1000BASE-SX, 1000BASE-LX und 1000BASE-CX . . . . .	133
4.7	1000BASE-T . . . . .	136
4.7.1	Der Physical Layer von 1000BASE-T . . . . .	138
4.7.2	Digital Signal Processing . . . . .	139
4.7.3	Die Master-Slave-Rolle . . . . .	140
4.7.4	Scrambling bei 1000BASE-T . . . . .	141
4.7.5	Das 4D-PAM5-Codierungsverfahren von 1000BASE-T . . . . .	142
4.7.6	Die Trellis-Codierung . . . . .	147
4.7.7	Der Viterbi-Decoder . . . . .	148

4.7.8	Die Partial-Response-Filter .....	149
4.7.9	Die Hybridfunktion .....	150
4.7.10	Echo Cancellation .....	151
4.7.11	Minimierung des Crosstalk .....	151
4.7.12	Das Startup-Protokoll von 1000BASE-T .....	152
4.7.13	Auto-Negotiation- und MDI/MDI-X-Funktion bei 1000BASE-T .....	153
4.7.14	Auto-Negotiation bei 1000BASE-T .....	155
4.7.15	Neue Anforderungen an das TP-Kabel .....	157
<b>5</b>	<b>10Gigabit-Ethernet</b>	<b>159</b>
5.1	10Gigabit-Ethernet für Glasfaser .....	159
5.2	PHY-Details .....	161
5.2.1	Die 10GBASE-LX-4-Lösung .....	164
5.2.2	Die 10GBASE-SR-Lösung .....	166
5.2.3	Die 10GBASE-LR-Lösung .....	167
5.2.4	64B/66B-Codierung .....	168
5.2.5	10Gigabit-WAN-Lösungen (10GBASE-EW und -LW) .....	168
5.3	10GBASE-CX-4 .....	172
5.4	10GBASE-T .....	174
5.4.1	10GBASE-T-Herausforderung .....	174
5.4.2	10GBASE-T-PHY .....	177
5.4.3	Powermanagement .....	183
5.4.4	Master-Slave-Rolle .....	183
5.4.5	Auto-Negotiation bei 10GBASE-T .....	184
5.4.6	Trainingssequenz .....	186
5.4.7	Anforderungen an die Netzwerkinfrastruktur .....	188
5.5	GBit-Ethernet-Backplane-Lösungen .....	190
<b>6</b>	<b>40/100Gigabit-Ethernet</b>	<b>193</b>
6.1	PHY-Details .....	196
6.1.1	40GBASE-CR4 und 100GBASE-CR10 .....	198
6.1.2	40GBASE-SR4 und 100GBASE-SR10 .....	200
6.1.3	40GBASE-LR4 .....	203
6.1.4	100GBASE-LR4 und 100GBASE-ER4 .....	204
6.1.5	40GBASE-FR .....	206
6.1.6	40/100-GBit-Medienmodul-Schnittstellen .....	207
6.1.7	40GBASE-KR4 .....	208
6.1.8	Auto-Negotiation bei 40/100Gbit-Ethernet .....	208
6.1.9	Die Ethernet-Zukunft .....	211

---

<b>7</b>	<b>Ethernet Internals</b>	<b>213</b>
7.1	Längenbeschränkung im Ethernet .....	213
7.1.1	Die Einhaltung der Bitzeiten .....	216
7.1.2	Die Eingrenzung der Kollisionsdomäne .....	217
7.1.3	Die 5-4-3-Regel .....	219
7.1.4	Berechnung des Path Delay Value (PDV) .....	220
7.1.5	Berechnung der Interframe-Gap-Verluste .....	225
7.1.6	Die Berechnung der PDV im Netzwerk mit 100 MBit/s .....	226
7.1.7	Die PDV bei 1000BASE-X .....	230
7.2	Power over Ethernet .....	232
7.2.1	Leistungsklassen .....	239
7.2.2	PD-Erkennungsprozess .....	239
7.2.3	Klassifizierung .....	239
7.2.4	PD-Klassifizierungssignatur .....	241
7.2.5	PoE-Schaltzeiten .....	241
7.2.6	PoE in der Praxis .....	242
7.3	Energy Efficient Ethernet .....	243
7.4	Link Layer Discovery Protocol .....	246
<b>8</b>	<b>Ethernet-Verkabelung</b>	<b>249</b>
8.1	Standards und Spezifizierungen für die Verkabelung .....	250
8.1.1	Die EIA/TIA-Normierung .....	250
8.1.2	Die ISO/IEC-11801-Normierung .....	251
8.1.3	Die Norm EN 50173 .....	251
8.1.4	Die Normen EN 50288-x-x .....	252
8.1.5	Die Normen EN 55022 und EN 50082 .....	252
8.2	Kabeltypen .....	253
8.2.1	Twisted-Pair-Kabel .....	253
8.2.2	Koaxialkabel .....	273
8.2.3	Lichtwellenleiter .....	281
8.2.4	Der Aufbau der Lichtwellenleiter .....	282
8.3	Entscheidende Faktoren bei der Netzwerkverkabelung .....	305
8.3.1	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) .....	305
8.3.2	Sicherheit .....	306
8.3.3	Verlegung .....	306
8.3.4	Verkabelungsbereiche der strukturierten Verkabelung .....	307

<b>9</b>	<b>Ethernet-Komponenten</b>	<b>313</b>
9.1	Netzwerkkarten . . . . .	313
9.1.1	Netzwerkkarten für 10 MBit/s mit UTP/Koax . . . . .	322
9.1.2	Netzwerkkarten für 10 MBit/s und Lichtwellenleiter . . . . .	323
9.1.3	Netzwerkkarten für 10/100 MBit/s mit TP . . . . .	324
9.1.4	Netzwerkkarten für 100 MBit/s mit Lichtwellenleitern . . . . .	326
9.1.5	Quattro-Netzwerkkarte für 10/100 MBit/s mit 4-mal TP . . . . .	327
9.1.6	Netzwerkkarten für 1000 MBit/s . . . . .	328
9.1.7	Netzwerkkarten für 1000 MBit/s mit Lichtwellenleitern . . . . .	330
9.1.8	Netzwerkkarten für 1000 MBit/s mit TP . . . . .	331
9.1.9	Netzwerkkarten für 10 GBit/s . . . . .	332
9.2	Repeater und Hubs . . . . .	333
9.2.1	Repeater für 10 MBit/s . . . . .	335
9.2.2	Repeater für 100 MBit/s . . . . .	338
9.2.3	Ethernet Bridge . . . . .	339
9.2.4	Dualspeed Hubs für 10/100 MBit/s . . . . .	343
9.2.5	Repeater für 1000 MBit/s . . . . .	345
9.3	Switches . . . . .	348
9.3.1	Switching Hubs für 10/100 MBit/s . . . . .	358
9.3.2	Switching Hubs für 1000 MBit/s . . . . .	359
9.3.3	Switching Hubs für 10.000/40.000/100.000 MBit/s . . . . .	360
9.3.4	EEE für Switches . . . . .	360
9.3.5	Tranceiver-Module für Switches . . . . .	361
9.3.6	Die Managementfähigkeit von Hubs und Switches . . . . .	362
9.4	Medienwandler . . . . .	366
9.4.1	Midspan und Splitter . . . . .	368
<b>10</b>	<b>Die Projektierung und Planung eines Netzwerks</b>	<b>371</b>
10.1	Konzepte für den Aufbau eines Netzwerks . . . . .	371
10.2	Die Performance-Betrachtung . . . . .	379
10.3	Der „Mythos 40 Prozent“ . . . . .	381
10.4	Messung der Netzwerk-Performance . . . . .	385
10.5	Traffic-Analyse . . . . .	388
10.5.1	Werkzeuge, um Trends im Netzwerk zu erkennen . . . . .	389
10.5.2	Wie charakterisiert man ein Netzwerk? . . . . .	390
10.6	Die Auswertung von Netzwerkstatistiken . . . . .	392

---

<b>11</b>	<b>Netzwerkprotokolle</b>	<b>397</b>
11.1	Grundlagen: Was sind Protokolle? . . . . .	398
11.1.1	Bits und Bytes . . . . .	399
11.1.2	Die Protokolle der Schichten 3 und 4 . . . . .	399
11.1.3	Routing . . . . .	400
11.1.4	Verbindungslose und verbindungsorientierte Kommunikation . . . . .	401
11.2	Einführung in die TCP/IP-Protokollfamilie . . . . .	403
11.2.1	Request for Comment (RFC) . . . . .	403
11.2.2	Päckchen packen . . . . .	404
11.3	Das Internet Protocol . . . . .	405
11.3.1	IP-Header . . . . .	406
11.3.2	Maximum Transmission Unit (MTU) . . . . .	409
11.3.3	Time to Live (TTL) . . . . .	411
11.3.4	Protokolle der höheren Schicht . . . . .	411
11.3.5	IP-Adressen . . . . .	412
11.3.6	Optionen . . . . .	412
11.4	Adressierung in TCP/IP-Netzwerken . . . . .	413
11.4.1	Was sind IP-Adressen? . . . . .	414
11.4.2	Struktur der IP-Adressen . . . . .	414
11.4.3	Die Schreibweise von IP-Adressen . . . . .	415
11.4.4	IP-Adressklassen . . . . .	416
11.4.5	Klasse-A-Adressen . . . . .	417
11.4.6	Klasse-B-Adresse . . . . .	417
11.4.7	Klasse-C-Adresse . . . . .	418
11.4.8	Klasse-D-Adresse . . . . .	418
11.4.9	Klasse-E-Adresse . . . . .	419
11.4.10	Die IP-Adressbereiche . . . . .	419
11.4.11	Spezielle IP-Adressen . . . . .	421
11.4.12	Multicasts . . . . .	422
11.4.13	Private IP-Adressen . . . . .	423
11.4.14	Subnetze . . . . .	423
11.4.15	Das Subnetting . . . . .	424
11.4.16	Das Subnetting einer Klasse-A-Adresse . . . . .	429
11.4.17	Das Subnetting einer Klasse-C-Adresse . . . . .	429
11.4.18	Das Supernetting . . . . .	431
11.5	Routing im TCP/IP-Netzwerk . . . . .	432
11.5.1	Aufbau der Router . . . . .	433
11.5.2	Das Routing . . . . .	434
11.5.3	Default-Router . . . . .	438
11.5.4	Routingprotokolle . . . . .	438

11.6	Das Routing Information Protocol .....	439
11.6.1	Der RIP-Header .....	440
11.6.2	Austausch der Routinginformationen .....	441
11.6.3	Default Route .....	442
11.6.4	Probleme des RIP .....	442
11.6.5	Routingschleifen .....	443
11.6.6	Das RIP-II .....	444
11.7	Das Open Shortest Path First .....	445
11.7.1	Die OSPF-Routing-Hierarchie .....	446
11.7.2	Der Shortest-Path-First-Algorithmus .....	448
11.7.3	Der OSPF-Header .....	448
11.7.4	Das OSPF-Hello-Paket .....	450
11.7.5	Das OSPF-Database-Description-Paket .....	451
11.7.6	Das OSPF-Link-State-Advertisement-Format .....	453
11.7.7	Das OSPF-Link-State-Request-Paket .....	455
11.7.8	Das OSPF-Link-State-Update-Paket .....	456
11.7.9	Das OSPF-Link-State-Acknowledgement-Paket .....	456
11.8	Das Address Resolution Protocol .....	457
11.8.1	Die statische oder dynamische Adressauflösung .....	458
11.8.2	Die Funktion des ARP .....	458
11.8.3	Zeitverhalten der ARP-Einträge .....	459
11.8.4	Doppelte Adressen .....	459
11.8.5	Die ARP-Pakete .....	460
11.8.6	Das Reserve Address Resolution Protocol .....	461
11.9	Das ICMP als Sprachrohr im TCP/IP-Netzwerk .....	462
11.9.1	ICMP-Header .....	463
11.9.2	Das ICMP aller Ping .....	465
11.9.3	ICMP-Meldung Ziel nicht erreichbar .....	466
11.9.4	ICMP-Meldung Netzwerk nicht erreichbar .....	467
11.9.5	ICMP-Meldung Protokoll nicht zustellbar .....	468
11.9.6	ICMP-Meldung IP-Datagramm nicht teilbar .....	468
11.9.7	ICMP meldet Routingfehler .....	469
11.9.8	Unterschiedliche Implementierungen .....	471
11.10	Die TCP/IP-Transport-Protokolle .....	471
11.10.1	Das Transmission Control Protocol (TCP) .....	473
11.10.2	TCP-Header .....	474
11.10.3	Die Sicherheit des TCP .....	478
11.10.4	Flow Control .....	479
11.10.5	Aufbau einer TCP-Verbindung .....	482
11.10.6	Verlauf der TCP-Verbindung .....	483
11.10.7	Das Schließen einer TCP-Verbindung .....	484
11.10.8	Das User Datagram Protocol (UDP) .....	485
11.10.9	Der UDP-Header .....	486

---

<b>12</b>	<b>Die Protokolle der 5-7-Schicht</b>	<b>487</b>
12.1	Das Server-Message-Block-Protokoll . . . . .	487
12.1.1	Der SMB-Header . . . . .	492
12.2	Das Netware Core Protocol . . . . .	499
12.2.1	Der NCP-Header . . . . .	501
<b>13</b>	<b>Fehleranalyse im Netzwerk</b>	<b>513</b>
13.1	Überprüfung der Verkabelung . . . . .	516
13.2	Überprüfung der aktiven Komponenten . . . . .	518
13.2.1	Ping . . . . .	520
13.3	Überprüfung der Netzwerkstatistiken . . . . .	521
13.4	Protokollanalyse . . . . .	521
13.4.1	Die Durchführung der Protokollanalyse . . . . .	523
13.4.2	Header-Informationen . . . . .	525
13.4.3	Richtige Platzierung der Protokollanalysatoren . . . . .	526
13.4.4	Analysesysteme . . . . .	529
13.4.5	Software-Analysatoren . . . . .	530
13.4.6	Aufbau eines Software-Analysators . . . . .	530
13.5	Der Microsoft-Netzwerkmonitor . . . . .	531
13.5.1	Die Installation des Microsoft-Netzwerkmonitors . . . . .	532
13.5.2	Netzwerkmonitor-Agenten . . . . .	532
13.5.3	Der Netzwerkmonitor in der Praxis . . . . .	533
13.5.4	Die Aufzeichnung des Datenstroms . . . . .	534
13.5.5	Das Capture Summary Window . . . . .	535
13.5.6	Detailinformationen . . . . .	536
13.5.7	Beeinflussung der aufgezeichneten Datenmenge . . . . .	537
13.5.8	Anzeigefilter für die Übersichtlichkeit . . . . .	539
13.5.9	Das Setzen von Filtern . . . . .	540
13.5.10	Adressdatenbank . . . . .	541
13.5.11	Die Trigger-Funktion . . . . .	542
13.5.12	Anzeige der Netzwerkstatistiken . . . . .	542
13.5.13	Der Dedicate Capture Mode . . . . .	543
13.5.14	Der Protokoll-Parser . . . . .	543
13.5.15	Anzeige der vorhandenen Netzwerkmonitore . . . . .	544

## Anhang

<b>A</b>	<b>Abkürzungen</b>	<b>547</b>
<b>B</b>	<b>Literatur</b>	<b>553</b>
	<b>Index</b>	<b>557</b>