

Jörg Rech

# Ethernet

**Technologien und Protokolle  
für die Computervernetzung**



Verlag Heinz Heise

# Inhalt

<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 . . . . .	4
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 . . . . .	20
1.5.6	Bitrate oder Datenrate . . . . .	20
1.5.7	Baudrate . . . . .	20
1.5.8	Übertragungsfrequenz versus Übertragungsrate . . . . .	21
1.5.9	Paketvermittlung . . . . .	21
1.5.10	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 . . . . .	33
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) . . . . .	38
2.2.4	Die Media Access Unit (MAU) . . . . .	39
2.2.5	Das Physical Medium Attachment (PMA) . . . . .	40
2.2.6	Das Medium Dependent Interface (MDI) . . . . .	40
2.2.7	Die Kommunikation zwischen AUI und MAU . . . . .	40
2.2.8	Das SQE-Testsignal . . . . .	41
2.2.9	Die Jabber-Schutzfunktion . . . . .	42
2.3	10Base5 . . . . .	43
2.4	10Base2 . . . . .	46
2.5	10Broad36 . . . . .	49
2.6	10BaseT . . . . .	49
2.7	10BaseF . . . . .	54
2.7.1	10BaseFL . . . . .	56
2.7.2	10BaseFB . . . . .	56
2.7.3	10BaseFP . . . . .	56

2.8	Das Manchester-Kodierungsverfahren . . . . .	57
2.9	Media Access Control (MAC) . . . . .	58
2.9.1	Das Zugriffsverfahren (CSMA/CD) . . . . .	60
2.9.2	Halb- oder Vollduplex . . . . .	62
2.9.3	Der Zugriff auf das Medium . . . . .	63
2.9.4	Die Kollisionserkennung . . . . .	64
2.9.5	Die Ausbreitung einer Kollision . . . . .	65
2.9.6	Die Ausbreitung einer Kollisionsdomäne . . . . .	67
2.9.7	Sperrzeit der Kollisionserkennung . . . . .	68
2.9.8	Die späten Kollisionen, Late Collisions . . . . .	68
2.9.9	Der Backoff-Prozess . . . . .	69
2.10	Frameformate bei Ethernet . . . . .	71
2.10.1	Adressenformate . . . . .	72
2.10.2	Die Präambel laut DIX und IEEE 802.3 . . . . .	75
2.10.3	Die Frameformate im Ethernet . . . . .	75
2.10.4	Ziel- und Quelladresse eines Frames . . . . .	76
2.10.5	Ethernet oder IEEE 802.3 . . . . .	77
2.10.6	Logical Link Control (LLC) . . . . .	78
2.10.7	Die verschiedenen Frametypen . . . . .	81
2.10.8	Plug&Play bei der Frameauswahl . . . . .	82
<b>3</b>	<b>Fast Ethernet</b>	<b>85</b>
3.1	Der Reconciliation Layer und das MII . . . . .	86
3.1.1	Die Kommunikation über das MII . . . . .	88
3.2	100Base-X-Erweiterungen im Ethernet-Standard . . . . .	89
3.2.1	Der Physical Coding Sublayer (PCS) . . . . .	89
3.2.2	Das Physical Medium Attachment (PMA) . . . . .	90
3.2.3	Der Physical Medium Dependent Sublayer (PMD) . . . . .	90
3.3	Das 4B/5B-Kodierungsverfahren . . . . .	90
3.3.1	Der Start-of-Stream und End-of-Stream Delimiter . . . . .	92
3.4	100Base-TX . . . . .	93
3.4.1	MLT-3 und Scrambling . . . . .	95
3.4.2	Link Integrity Test bei 100Base-TX . . . . .	96
3.5	100Base-T2 . . . . .	96
3.6	100Base-T4 . . . . .	98
3.7	100Base-FX . . . . .	99
3.7.1	100Base-FX für große Distanzen . . . . .	100
<b>4</b>	<b>Gigabit-Ethernet</b>	<b>103</b>
4.1	1000Base-X-Erweiterungen im Ethernet-Standard . . . . .	104
4.2	Der Physical Layer von 1000Base-X . . . . .	107
4.2.1	Die Kommunikation über das GMII . . . . .	108
4.2.2	Der Physical Coding Sublayer (PCS) . . . . .	109
4.2.3	Das Physical Medium Attachment (PMA) . . . . .	110
4.2.4	Der Physical Medium Dependent Sublayer (PMD) . . . . .	110
4.2.5	Die 8B/10B-Kodierung . . . . .	110
4.2.6	Die Unterdrückung des Gleichspannungsanteils . . . . .	111
4.2.7	Symbole . . . . .	113
4.3	1000Base-SX . . . . .	113
4.4	1000Base-LX . . . . .	116
4.5	1000Base-CX . . . . .	117

4.6	1000Base-T . . . . .	119
4.6.1	Der Physical Layer von 1000Base-T . . . . .	122
4.6.2	Digital Signal Processing . . . . .	123
4.6.3	Die Master-Slave-Rolle . . . . .	124
4.6.4	Scrambling bei 1000Base-T . . . . .	124
4.6.5	Das 4D-PAM5-Kodierungsverfahren von 1000Base-T	125
4.6.6	Die Trellis-Kodierung . . . . .	130
4.6.7	Der Viterbi-Decoder . . . . .	132
4.6.8	Die Partial-Response-Filter . . . . .	132
4.6.9	Die Hybridfunktion . . . . .	133
4.6.10	Echo Cancellation . . . . .	134
4.6.11	Minimierung des Crosstalk . . . . .	135
4.6.12	Das Startup-Protokoll von 1000Base-T . . . . .	136
4.6.13	Auto-Negotiation- und MDI/MDI-X-Funktion bei 1000Base-T . . . . .	137
4.6.14	Neue Anforderungen an das TP-Kabel . . . . .	138
4.7	Flow Control nach IEEE 802.3x . . . . .	139
4.8	10Gigabit-Ethernet . . . . .	140
4.8.1	Wavelength Division Multiplexing . . . . .	143
4.8.2	Serielle 10Gigabit-Ethernet-Varianten . . . . .	145
4.8.3	10Gigabit-WAN-Lösung . . . . .	146
4.8.4	Ethernet – der Weg in die Zukunft . . . . .	149
<b>5</b>	<b>Ethernet Internals</b>	<b>151</b>
5.1	Die Auto-Negotiation-Funktion . . . . .	151
5.1.1	Der Normal Link Pulse . . . . .	152
5.1.2	Der Auto-Negotiation-Informationsaustausch . . . . .	154
5.1.3	Auto-Negotiation-Handshake . . . . .	156
5.1.4	Die Next-Page-Funktion . . . . .	157
5.1.5	Probleme mit der Auto-Negotiation . . . . .	158
5.1.6	Auto-Negotiation bei 1000Base-SX, 1000Base-LX und 1000Base-CX . . . . .	160
5.1.7	Auto-Negotiation bei 1000Base-T . . . . .	163
5.2	Längenbeschränkung im Ethernet . . . . .	165
5.2.1	Die Einhaltung der Bitzeiten . . . . .	168
5.2.2	Die Eingrenzung der Kollisionsdomäne . . . . .	169
5.2.3	Die 5-4-3-Regel . . . . .	171
5.2.4	Berechnung des Path Delay Value (PDV) . . . . .	172
5.2.5	Berechnung der Interframe-Gap-Verluste . . . . .	176
5.2.6	Die Berechnung der PDV im Netzwerk mit 100 MBit/s . . . . .	178
5.2.7	Die PDV bei 1000Base-X . . . . .	182
<b>6</b>	<b>Ethernet-Verkabelung</b>	<b>185</b>
6.1	Standards und Spezifizierungen für die Verkabelung . . . . .	186
6.1.1	Die EIA/TIA-Normierung . . . . .	186
6.1.2	Die ISO/IEC-11801-Normierung . . . . .	187
6.1.3	Die Norm EN 50173 . . . . .	187
6.1.4	Die Normen EN 55022 und EN 50082 . . . . .	187

6.2	Kabeltypen .....	188
6.2.1	Twisted-Pair-Kabel .....	188
6.2.2	Koaxialkabel .....	203
6.2.3	Lichtwellenleiter .....	211
6.2.4	Der Aufbau der Lichtwellenleiter .....	212
6.3	Entscheidende Faktoren bei der Netzwerkverkabelung .....	232
6.3.1	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) .....	233
6.3.2	Sicherheit .....	233
6.3.3	Verlegung .....	234
6.3.4	Verkabelungsbereiche der strukturierten Verkabelung .....	235
<b>7</b>	<b>Ethernet-Komponenten</b>	<b>241</b>
7.1	Netzwerkkarten .....	241
7.1.1	Netzwerkkarten für 10 MBit/s mit UTP/Koax .....	248
7.1.2	Netzwerkkarten für 10 MBit/s und Lichtwellenleiter .....	250
7.1.3	Netzwerkkarten für 10/100 MBit/s mit TP .....	251
7.1.4	Netzwerkkarten für 100 MBit/s mit Lichtwellenleitern .....	252
7.1.5	Quattro-Netzwerkkarte für 10/100 MBit/s mit 4-mal TP .....	254
7.1.6	Netzwerkkarten für 1000 MBit/s .....	255
7.1.7	Netzwerkkarten für 1000 MBit/s mit Lichtwellenleitern .....	257
7.1.8	Netzwerkkarten für 1000 MBit/s mit TP .....	258
7.2	Repeater und Hubs .....	258
7.2.1	Repeater für 10 MBit/s .....	261
7.2.2	Repeater für 100 MBit/s .....	264
7.2.3	Ethernet Bridge .....	265
7.2.4	Dualspeed Hubs für 10/100 MBit/s .....	269
7.2.5	Repeater für 1000 MBit/s .....	272
7.3	Switches .....	274
7.3.1	Switching Hubs für 10/100 MBit/s .....	285
7.3.2	Switching Hubs für 1000 MBit/s .....	286
7.3.3	Die Managementfähigkeit von Hubs und Switches .....	287
7.4	Medienwandler .....	291
<b>8</b>	<b>Die Projektierung und Planung eines Netzwerks</b>	<b>295</b>
8.1	Konzepte für den Aufbau eines Netzwerks .....	295
8.2	Die Performance-Betrachtung .....	303
8.3	Der „Mythos 40 Prozent“ .....	305
8.4	Messung der Netzwerk-Performance .....	309
8.5	Traffic-Analyse .....	311
8.5.1	Werkzeuge, um Trends im Netzwerk zu erkennen .....	313
8.5.2	Wie charakterisiert man ein Netzwerk? .....	314
8.6	Die Auswertung von Netzwerkstatistiken .....	316
<b>9</b>	<b>Netzwerktreiber-Architekturen</b>	<b>321</b>
9.1	Schnittstellen .....	322
9.2	NDIS .....	323
9.2.1	Die NDIS-Versionen .....	324
9.2.2	NDIS 5.0 .....	325
9.2.3	NDIS 5.1 .....	330
9.2.4	Verwendung der NDIS-Versionen .....	330
9.2.5	Zertifizierung von NDIS-Treibern .....	331

---

9.3	Open Datalink Interface . . . . .	332
9.3.1	MLID . . . . .	332
9.3.2	ODI-Schnittstellen . . . . .	333
9.3.3	Event Control Blocks . . . . .	335
9.3.4	Die ODI-Evolution . . . . .	335
9.3.5	Verwendung der ODI-Versionen . . . . .	336
9.3.6	Zertifizierung von ODI-Treibern . . . . .	336
<b>10</b>	<b>Netzwerkprotokolle</b>	<b>339</b>
10.1	Grundlagen: Was sind Protokolle? . . . . .	339
10.1.1	Bits und Bytes . . . . .	340
10.1.2	Die Protokolle der Schichten 3 und 4 . . . . .	341
10.1.3	Routing . . . . .	342
10.1.4	Verbindungslose und verbindungsorientierte Kommunikation . . . . .	343
10.2	Einführung in die TCP/IP-Protokollfamilie . . . . .	345
10.2.1	Request for Comment (RFC) . . . . .	345
10.2.2	Päckchen packen . . . . .	346
10.3	Das Internet Protocol . . . . .	347
10.3.1	IP-Header . . . . .	348
10.3.2	Maximum Transmission Unit (MTU) . . . . .	351
10.3.3	Time to Live (TTL) . . . . .	353
10.3.4	Protokolle der höheren Schicht . . . . .	353
10.3.5	IP-Adressen . . . . .	354
10.3.6	Optionen . . . . .	355
10.4	Adressierung in TCP/IP-Netzwerken . . . . .	356
10.4.1	Was sind IP-Adressen? . . . . .	356
10.4.2	Struktur der IP-Adressen . . . . .	357
10.4.3	Die Schreibweise von IP-Adressen . . . . .	358
10.4.4	IP-Addressklassen . . . . .	359
10.4.5	Klasse-A-Adressen . . . . .	359
10.4.6	Klasse-B-Adresse . . . . .	360
10.4.7	Klasse-C-Adresse . . . . .	361
10.4.8	Klasse-D-Adresse . . . . .	361
10.4.9	Klasse-E-Adresse . . . . .	361
10.4.10	Die IP-Adressbereiche . . . . .	362
10.4.11	Spezielle IP-Adressen . . . . .	364
10.4.12	Multicasts . . . . .	365
10.4.13	Private IP-Adressen . . . . .	365
10.4.14	Subnetze . . . . .	366
10.4.15	Das Subnetting . . . . .	367
10.4.16	Das Subnetting einer Klasse-A-Adresse . . . . .	372
10.4.17	Das Subnetting einer Klasse-C-Adresse . . . . .	372
10.4.18	Das Supernetting . . . . .	374
10.5	Routing im TCP/IP-Netzwerk . . . . .	375
10.5.1	Aufbau der Router . . . . .	376
10.5.2	Das Routing . . . . .	377
10.5.3	Default-Router . . . . .	381
10.5.4	Routingprotokolle . . . . .	381

10.6	Das Routing Information Protocol . . . . .	382
10.6.1	Der RIP-Header . . . . .	383
10.6.2	Austausch der Routinginformationen . . . . .	384
10.6.3	Default Route . . . . .	385
10.6.4	Probleme des RIP . . . . .	385
10.6.5	Routingschleifen . . . . .	386
10.6.6	Das RIP-II . . . . .	387
10.7	Das Open Shortest Path First . . . . .	388
10.7.1	Die OSPF-Routing-Hierarchie . . . . .	389
10.7.2	Der Shortest-Path-First-Algorithmus . . . . .	390
10.7.3	Der OSPF-Header . . . . .	391
10.7.4	Das OSPF-Hello-Paket . . . . .	393
10.7.5	Das OSPF-Database-Description-Paket . . . . .	394
10.7.6	Das OSPF-Link-State-Advertisement-Format . . . . .	396
10.7.7	Das OSPF-Link-State-Request-Paket . . . . .	397
10.7.8	Das OSPF-Link-State-Update-Paket . . . . .	398
10.7.9	Das OSPF-Link-State-Acknowledgement-Paket . . . . .	399
10.8	Das Address Resolution Protocol . . . . .	400
10.8.1	Die statische oder dynamische Adressauflösung . . . . .	400
10.8.2	Die Funktion des ARP . . . . .	401
10.8.3	Zeitverhalten der ARP-Einträge . . . . .	401
10.8.4	Doppelte Adressen . . . . .	402
10.8.5	Die ARP-Pakete . . . . .	402
10.8.6	Das Reserve Address Resolution Protocol . . . . .	404
10.9	Das ICMP als Sprachrohr im TCP/IP-Netzwerk . . . . .	405
10.9.1	ICMP-Header . . . . .	406
10.9.2	Das ICMP aller Ping . . . . .	408
10.9.3	ICMP-Meldung Ziel nicht erreichbar . . . . .	409
10.9.4	ICMP-Meldung Netzwerk nicht erreichbar . . . . .	410
10.9.5	ICMP-Meldung Protokoll nicht zustellbar . . . . .	410
10.9.6	ICMP-Meldung IP-Datagramm nicht teilbar . . . . .	411
10.9.7	ICMP meldet Routingfehler . . . . .	411
10.9.8	Unterschiedliche Implementierungen . . . . .	413
10.10	Die TCP/IP-Transport-Protokolle . . . . .	414
10.10.1	Das Transmission Control Protocol (TCP) . . . . .	415
10.10.2	TCP-Header . . . . .	417
10.10.3	Die Sicherheit des TCP . . . . .	420
10.10.4	Flow Control . . . . .	422
10.10.5	Aufbau einer TCP-Verbindung . . . . .	424
10.10.6	Verlauf der TCP-Verbindung . . . . .	426
10.10.7	Das Schließen einer TCP-Verbindung . . . . .	427
10.10.8	Das User Datagram Protocol (UDP) . . . . .	428
10.10.9	Der UDP-Header . . . . .	429
<b>11</b>	<b>Einführung in die Novell-Protokollfamilie</b>	<b>431</b>
11.1	Das IPX . . . . .	432
11.1.1	Der IPX-Header . . . . .	433
11.1.2	Die Kontrollfelder des IPX-Headers . . . . .	433
11.2	Das SPX . . . . .	438
11.2.1	Der SPX-Header . . . . .	438
11.2.2	Handshake . . . . .	441
11.2.3	SPX-Fehlerkontrolle . . . . .	442
11.2.4	Wartezeiten . . . . .	444
	SPX-II . . . . .	446

11.3	Novell-spezifische Routingprotokolle .....	448
11.4	Das SAP .....	452
11.4.1	Die Serviceanfragen .....	453
<b>12</b>	<b>Die Protokolle der 5-7-Schicht</b>	<b>457</b>
12.1	Das Server-Message-Block-Protokoll .....	457
12.1.1	Der SMB-Header .....	461
12.2	Das Netware Core Protocol .....	469
12.2.1	Der NCP-Header .....	470
<b>13</b>	<b>Wireless LAN</b>	<b>483</b>
13.1	WLANs und andere Funktechniken .....	483
13.1.1	Der Einstieg in ein drahtloses Netz .....	485
13.1.2	WLANs und die Rechtsgrundlage .....	486
13.2	Physikalische Grundlagen .....	488
13.2.1	Die 802.11-Standards .....	490
13.3	Der 802.11 Physical Layer .....	491
13.3.1	Frequency-Hopping-Spread-Spektrum-Technologie ..	492
13.3.2	FHSS-Modulationsverfahren .....	494
13.3.3	FHSS-Frameformat .....	495
13.3.4	Direct-Sequence-Spread-Spektrum-Technologie ..	496
13.3.5	DSSS-Modulationsverfahren und PN-Codes .....	499
13.3.6	DSSS-Frameformat .....	504
13.3.7	DSSS-Kanalaufteilung .....	506
13.3.8	Die IEEE-Infrarot-Technologie .....	508
13.3.9	IR-Frameformat .....	510
13.4	Netzwerkformen .....	511
13.5	MAC .....	515
13.5.1	Distribution Coordination Function .....	515
13.5.2	Das Hidden-Station-Problem .....	519
13.5.3	Fragmentierung .....	521
13.5.4	Point Coordination Function .....	523
13.5.5	Frameformat .....	527
13.5.6	Wired-Equivalent-Privacy-Algorithmus .....	532
13.5.7	Authentifizierung .....	535
13.5.8	Passives und aktives Scanning .....	538
13.5.9	Power-Management .....	541
13.6	Planung eines WLAN .....	545
13.6.1	Reichweiten .....	545
13.6.2	Kanalaufteilung .....	548
13.6.3	Bandbreitenbetrachtung .....	550
13.6.4	Antennen .....	552
13.7	TCP/IP und Wireless LAN .....	554
13.7.1	Roaming .....	555
13.7.2	Mobile IP-Architektur .....	556
13.7.3	Routing .....	558
13.7.4	Fallstricke – TCP/IP im Wireless LAN .....	559
<b>14</b>	<b>Fehleranalyse im Netzwerk</b>	<b>563</b>
14.1	Überprüfung der Verkabelung .....	566
14.2	Überprüfung der aktiven Komponenten .....	568
14.2.1	Ping .....	570
14.2	Überprüfung der Netzwerkstatistiken .....	571

14.3	Protokollanalyse .....	572
14.3.1	Die Durchführung der Protokollanalyse .....	573
14.3.2	Header-Informationen .....	576
14.3.3	Richtige Platzierung der Protokollanalysatoren .....	577
14.3.4	Analysesysteme .....	579
14.3.5	Software-Analysatoren .....	580
14.3.6	Aufbau eines Software-Analysators .....	580
14.4	Der Microsoft-Netzwerkmonitor .....	581
14.4.1	Vollversion .....	582
14.4.2	Die Installation des Microsoft-Netzwerkmonitors .....	582
14.4.3	Netzwerkmonitor-Agenten .....	583
14.4.4	Der Netzwerkmonitor in der Praxis .....	584
14.4.5	Die Aufzeichnung des Datenstroms .....	585
14.4.6	Das Capture Summary Window .....	586
14.4.7	Detailinformationen .....	588
14.4.8	Beeinflussung der aufgezeichneten Datenmenge .....	588
14.4.9	Anzeigefilter für die Übersichtlichkeit .....	590
14.4.10	Das Setzen von Filtern .....	591
14.4.11	Adressdatenbank .....	592
14.4.12	Die Trigger-Funktion .....	593
14.4.13	Anzeige der Netzwerkstatistiken .....	593
14.4.14	Der Dedicate Capture Mode .....	594
14.4.15	Der Protokoll-Parser .....	594
14.4.16	Anzeige der vorhandenen Netzwerkmonitore .....	595
14.5	Der Novell LANalyser for Windows .....	595
14.5.1	Die Installation des LANalyser .....	595
14.5.2	Die Statistikanzeige im LANalyser .....	596
14.5.3	Die Voreinstellung des LANalyser .....	597
14.5.4	Das Aufzeichnen der Datenpakete .....	598
14.5.5	Die Darstellung der aufgezeichneten Daten .....	600
14.5.6	Anzeigefilter .....	600
14.5.7	Die Alarmaktionen .....	601
14.5.8	Messwerte und Trends .....	603

<b>Anhang A – Abkürzungen</b>	<b>605</b>
-------------------------------	------------

<b>Anhang B – Literatur</b>	<b>611</b>
-----------------------------	------------

<b>Index</b>	<b>615</b>
--------------	------------