

Jörg Rech

Ethernet

**Technologien und Protokolle
für die Computervernetzung**



Verlag Heinz Heise

Inhalt

1	Eine Einführung in Netzwerke	1
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
2	Ethernet	31
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
3	Fast Ethernet	85
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
4	Gigabit-Ethernet	103
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
5	Ethernet Internals	151
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
6	Ethernet-Verkabelung	185
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
7	Ethernet-Komponenten	241
7.1	Netzwerkarten	241
7.1.1	Netzwerkarten für 10 MBit/s mit UTP/Koax	248
7.1.2	Netzwerkarten für 10 MBit/s und Lichtwellenleiter	250
7.1.3	Netzwerkarten für 10/100 MBit/s mit TP	251
7.1.4	Netzwerkarten für 100 MBit/s mit Lichtwellenleitern	252
7.1.5	Quattro-Netzwerkarte für 10/100 MBit/s mit 4-mal TP	254
7.1.6	Netzwerkarten für 1000 MBit/s	255
7.1.7	Netzwerkarten für 1000 MBit/s mit Lichtwellenleitern	257
7.1.8	Netzwerkarten 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
8	Die Projektierung und Planung eines Netzwerks	295
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
9	Netzwerktreiber-Architekturen	321
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
10	Netzwerkprotokolle	339
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-Adressklassen	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
11	Einführung in die Novell-Protokollfamilie	431
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
11.2.5	SPX-II	446

11.3	Novell-spezifische Routingprotokolle	448
11.4	Das SAP	452
11.4.1	Die Serviceanfragen	453
12	Die Protokolle der 5-7-Schicht	457
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
13	Wireless LAN	483
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
14	Fehleranalyse im Netzwerk	563
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

Anhang A – Abkürzungen	605
-------------------------------	------------

Anhang B – Literatur	611
-----------------------------	------------

Index	615
--------------	------------