

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>2</b>
1.1	Anwendungen	3
1.2	Anforderungen	6
1.2.1	Konnektivität	7
1.2.2	Kostengünstige gemeinsame Nutzung von Ressourcen	10
1.2.3	Unterstützung gemeinsamer Dienste	15
1.3	Netzwerkarchitektur	19
1.3.1	Schichten und Protokolle	19
1.3.2	OSI-Architektur	26
1.3.3	Internet-Architektur	28
1.4	Implementierung von Netzsoftware	30
1.4.1	APIs und Sockets	31
1.4.2	Anwendungsbeispiel	33
1.4.3	Aspekte der Protokollimplementierung	36
1.5	Leistung	40
1.5.1	Bandbreite und Latenz	40
1.5.2	Verzögerung-Bandbreite-Produkt	44
1.5.3	Hochgeschwindigkeitsnetze	46
1.5.4	Leistungsanforderungen von Anwendungen	48
1.6	Zusammenfassung	50
1.7	Weiterführende Literatur	52
1.8	Übungen	54
<b>2</b>	<b>Direktverbindungsnetzwerke</b>	<b>64</b>
2.1	Hardwarebausteine	66
2.1.1	Knoten	66
2.1.2	Verbindungsleitungen	67
2.2	Kodierung (NRZ, NRZI, Manchester, 4B/5B)	75
2.3	Erzeugung von Frames	79
2.3.1	Byte-orientierte Protokolle (BISYNC, PPP, DDCMP)	80
2.3.2	Bitorientierte Protokolle (HDLC)	83
2.3.3	Taktbasierte Erzeugung von Frames (SONET)	84
2.4	Fehlererkennung	87
2.4.1	Zweidimensionale Parität	89
2.4.2	Internet-Prüfsummenalgorithmus	89
2.4.3	CRC (Zyklische Redundanzprüfung)	92
2.5	Zuverlässige Übertragung	97
2.5.1	Stop-and-Wait-Algorithmus	97
2.5.2	Sliding-Window	100
2.5.3	Gleichzeitige logische Kanäle	109

2.6	Ethernet (802.3)	110
2.6.1	Physikalische Eigenschaften	111
2.6.2	Medienzugriffssteuerung (MAC)	113
2.6.3	Erfahrung mit Ethernet	118
2.7	Token-Ring (802.5, FDDI)	119
2.7.1	Physikalische Eigenschaften	120
2.7.2	MAC beim Token-Ring	121
2.7.3	Token-Ring-Wartung	124
2.7.4	Frame-Format	125
2.7.5	FDDI	125
2.8	Drahtlose Netze (802.11)	130
2.8.1	Physikalische Eigenschaften	130
2.8.2	Kollisionsvermeidung	131
2.8.3	Verteilssystem	133
2.8.4	Frame-Format	135
2.9	Netzwerkkarten	136
2.9.1	Komponenten	136
2.9.2	Sicht des Hosts	137
2.9.3	Speicher-Flaschenhals	142
2.10	Zusammenfassung	145
2.11	Weiterführende Literatur	147
2.12	Übungen	148
<b>3</b>	<b>Paketvermittlung</b>	<b>164</b>
3.1	Vermittlung und Weiterleitung	166
3.1.1	Datagramme	168
3.1.2	Virtuelle Leitungsvermittlung	170
3.1.3	Source-Routing	177
3.2	Bridges und LAN-Switche	181
3.2.1	Lernende Bridges	181
3.2.2	Spanning-Tree-Algorithmus	184
3.2.3	Broadcast und Multicast	189
3.2.4	Beschränkungen von Bridges	190
3.3	Zellenvermittlung (ATM)	192
3.3.1	Zellen	193
3.3.2	Segmentierung und Reassemblierung	197
3.3.3	Virtuelle Pfade	203
3.3.4	Bitübertragungsschichten für ATM	204
3.3.5	ATM im LAN	205
3.4	Implementierung und Leistung	210
3.4.1	Ports	212
3.4.2	Schaltnetze	216
3.5	Zusammenfassung	219
3.6	Weiterführende Literatur	221
3.7	Übungen	222

<b>4</b>	<b>Internetworking</b>	<b>232</b>
4.1	Einfaches Internetworking (IP)	234
4.1.1	Was ist ein Internetwork?	234
4.1.2	Dienstmodell	236
4.1.3	Globale Adressen	247
4.1.4	Weiterleitung von Datagrammen in IP	249
4.1.5	Adressübersetzung (ARP)	256
4.1.6	Host-Konfiguration (DHCP)	261
4.1.7	Fehlermeldung (ICMP)	264
4.1.8	Virtuelle Netzwerke und Tunnel	265
4.2	Routing	268
4.2.1	Netzwerk als Graph	270
4.2.2	Distanzvektor-Routing (RIP)	271
4.2.3	Link-State-Routing (OSPF)	279
4.2.4	Metriken	288
4.2.5	Routing für mobile Hosts	292
4.3	Das globale Internet	297
4.3.1	Subnetting	299
4.3.2	Klassenloses Routing (CIDR)	303
4.3.3	Interdomain Routing (BGP)	306
4.3.4	Routing-Bereiche	314
4.3.5	IP-Version 6 (IPv6)	316
4.4	Multicast	328
4.4.1	Link-State-Multicast	329
4.4.2	Distanzvektor-Multicast	331
4.4.3	Protokollunabhängiges Multicast (PIM)	332
4.5	Multiprotocol Label Switching (MPLS)	336
4.5.1	Zielbasierte Weiterleitung	337
4.5.2	Explizites Routing	343
4.5.3	Virtuelle private Netzwerke und Tunnel	345
4.6	Zusammenfassung	349
4.7	Weiterführende Literatur	351
4.8	Übungen	352
<b>5</b>	<b>Ende-zu-Ende-Protokolle</b>	<b>372</b>
5.1	Einfacher Demultiplexer (UDP)	374
5.2	Zuverlässiger Byte-Strom (TCP)	376
5.2.1	Ende-zu-Ende-Fragen	377
5.2.2	Segmentformat	380
5.2.3	Auf- und Abbau von Verbindungen	382
5.2.4	Nochmals: Sliding-Window	387
5.2.5	Übertragung anstoßen	392
5.2.6	Adaptive Neuübertragung	395
5.2.7	Datensatzgrenzen	399
5.2.8	TCP-Erweiterungen	400
5.2.9	Alternative Designoptionen	401
5.3	Remote Procedure Call (RPC)	403
5.3.1	Bulk-Transfer (BLAST)	406
5.3.2	Anfrage/Antwort (CHAN)	412
5.3.3	Dispatcher (SELECT)	421
5.3.4	Von den Teilen zum Ganzen (SunRPC, DCE)	422

5.4	Netzwerkleistung (Performance) . . . . .	429
5.5	Zusammenfassung . . . . .	431
5.6	Weiterführende Literatur . . . . .	434
5.7	Übungen . . . . .	435
<b>6</b>	<b>Überlastkontrolle und Ressourcenzuteilung</b>	<b>448</b>
6.1	Ressourcenzuteilung . . . . .	450
6.1.1	Netzwerkmodell . . . . .	451
6.1.2	Taxonomie . . . . .	454
6.1.3	Bewertungskriterien . . . . .	457
6.2	Queuing-Disziplinen . . . . .	460
6.2.1	FIFO . . . . .	460
6.2.2	Faires Queuing . . . . .	462
6.3	Überlastkontrolle in TCP . . . . .	467
6.3.1	Additive Increase / Multiplicative Decrease . . . . .	467
6.3.2	Slow-Start . . . . .	470
6.3.3	Fast-Retransmit und Fast-Recovery . . . . .	474
6.4	Mechanismen zur Überlastvermeidung . . . . .	477
6.4.1	DECBit . . . . .	477
6.4.2	Random Early Detection (RED) . . . . .	478
6.4.3	Quellenbasierte Überlastvermeidung . . . . .	485
6.5	Dienstgüte (QoS) . . . . .	491
6.5.1	Anforderungen von Anwendungen . . . . .	492
6.5.2	Integrated-Services (RSVP) . . . . .	497
6.5.3	Differentiated-Services . . . . .	507
6.5.4	ATM-Dienstgüte . . . . .	511
6.5.5	Gleichungsbasierte Überlastkontrolle . . . . .	515
6.6	Zusammenfassung . . . . .	517
6.7	Weiterführende Literatur . . . . .	518
6.8	Übungen . . . . .	520
<b>7</b>	<b>Ende-zu-Ende-Daten</b>	<b>534</b>
7.1	Darstellungsformatierung . . . . .	536
7.1.1	Taxonomie . . . . .	537
7.1.2	Beispiele (XDR, ASN.1, NDR) . . . . .	541
7.1.3	Markup-Sprachen (XML) . . . . .	545
7.2	Datenkompression . . . . .	548
7.2.1	Verlustlose Kompressionsalgorithmen . . . . .	550
7.2.2	Bildkompression (JPEG) . . . . .	552
7.2.3	Videokompression (MPEG) . . . . .	557
7.2.4	Übertragung von MPEG über das Netzwerk . . . . .	562
7.2.5	Audiokompression (MP3) . . . . .	566
7.3	Zusammenfassung . . . . .	568
7.4	Weiterführende Literatur . . . . .	569
7.5	Übungen . . . . .	570

<b>8</b>	<b>Sicherheit in Netzwerken</b>	<b>578</b>
8.1	Kryptographische Algorithmen	580
8.1.1	Anforderungen	582
8.1.2	DES	584
8.1.3	Public Key Encryption (RSA)	588
8.1.4	Message-Digest 5 (MD5)	591
8.1.5	Implementierung und Leistung	594
8.2	Sicherheitsmechanismen	594
8.2.1	Authentifikationsprotokolle	595
8.2.2	Nachrichtenintegritätsprotokolle	599
8.2.3	Verteilung öffentlicher Schlüssel (X.509)	602
8.3	Beispielsysteme	605
8.3.1	Pretty Good Privacy (PGP)	605
8.3.2	Secure Shell (SSH)	608
8.3.3	Sicherheit auf der Transportschicht (TLS, SSL, HTTPS)	611
8.3.4	IP Security (IPSEC)	615
8.4	Firewalls	618
8.4.1	Filterbasierte Firewalls	619
8.4.2	Proxy-basierte Firewalls	620
8.4.3	Einschränkungen	622
8.5	Zusammenfassung	623
8.6	Weiterführende Literatur	625
8.7	Übungen	626
<b>9</b>	<b>Anwendungen</b>	<b>634</b>
9.1	Domain Name System (DNS)	636
9.1.1	Domain-Hierarchie	637
9.1.2	Name-Server	638
9.1.3	Namensauflösung	643
9.2	Traditionelle Anwendungen	645
9.2.1	Electronic Mail (SMTP, MIME)	646
9.2.2	Das World Wide Web (HTTP)	653
9.2.3	Netzwerkmanagement (SNMP)	659
9.3	Multimedia-Anwendungen	661
9.3.1	Real-time Transport Protocol (RTP)	662
9.3.2	Session Control und Call Control (SDP, SIP, H.323)	673
9.4	Overlay-Netzwerke	682
9.4.1	Routing-Overlays	685
9.4.2	Peer-to-Peer-Netzwerke	692
9.4.3	Inhaltsverteilungsnetzwerke	700
9.5	Zusammenfassung	706
9.5	Weiterführende Literatur	708
9.6	Übungen	710
	<b>Glossar</b>	<b>717</b>
	<b>Lösungen zu ausgewählten Übungen</b>	<b>749</b>
	<b>Literatur</b>	<b>763</b>
	<b>Index</b>	<b>775</b>