Inhaltsverzeichnis

Vorwort 12

Kapitel 1 Computernetzwerke und das Internet 21

1.1 Was ist das Internet? 23
1.1.1 Eine technische Beschreibung 23
1.1.2 Eine Dienstbeschreibung 26
1.1.3 Was ist ein Protokoll? 28
1.2 Der Netzwerkrand 31
1.2.1 Client- und Server-Programme 33
1.2.2 Zugangsnetze 34
1.2.3 Trägermedien 41
1.3 Das Innere des Netzwerkes 44
1.3.1 Leitungsvermittlung und Paketvermittlung 44
1.3.2 Wie gelangen Pakete durch paketvermittelte Netzwerke? 53
1.3.3 ISP und Internet-Backbones 54
1.4 Verzögerung, Verlust und Durchsatz in paketvermittelten Netzen 56
1.4.1 Überblick über Verzögerung in paketvermittelten Netzen 57
1.4.2 Warteschlangenverzögerung und Paketverlust 61
1.4.3 Ende-zu-Ende-Verzögerung 64
1.4.4 Durchsatz in Computernetzwerken 66
1.5 Protokollschichten und ihre Dienstmodelle 69
1.5.1 Schichtenarchitektur 70
1.5.2 Nachrichten, Segmente, Datagramme und Rahmen 76
1.6 Netzwerke unter Beschuss 78
1.7 Geschichte der Computernetzwerke und des Internets 84
1.7.1 Die Entwicklung der Paketvermittlung: 1961–1972 84
1.7.2 Proprietäre Netzwerke und Internetworking: 1972–1980 86
1.7.3 Die Ausbreitung der Netzwerke: 1980–1990 87
1.7.4 Die Internetexplosion: die 1990er 88
1.7.5 Jüngste Entwicklungen 90

Kapitel 2 Anwendungsschicht 109

2.1 Grundlagen der Netzwerkanwendungen 111
2.1.1 Architektur von Netzwerkanwendungen 111
2.1.2 Kommunikation zwischen Prozessen 114
2.1.3 Transportdienste für Anwendungen 116
2.1.4 Vom Internet erbrachte Transportdienste 119
2.1.5 Anwendungsschichtprotokolle 123
2.1.6 In diesem Buch behandelte Netzanwendungen 124
2.2 Das Web und HTTP 125
2.2.1 Überblick über HTTP 125
2.2.2 Nichtpersistente und persistente Verbindungen 127

Bibliografische Informationen
http://d-nb.info/1019492929

digitalisiert durch DEUTSCHE NATIONAL BIBLIOTHEK

2.2.3 HTTP-Nachrichtenformat ... 131
2.2.4 Benutzer-Server-Interaktion: Cookies ... 135
2.2.5 Webcaching ... 138
2.2.6 Bedingtes GET ... 142
2.3 Dateitransfer: FTP ... 143
2.3.1 FTP-Befehle und -Antworten ... 145
2.4 E-Mail im Internet ... 146
2.4.1 SMTP ... 149
2.4.2 Vergleich mit HTTP ... 152
2.4.3 Mail-Nachrichtenformate und MIME ... 152
2.4.4 Mail-Zugriffsprotokolle ... 155
2.5 DNS – der Verzeichnisdienst des Internets ... 160
2.5.1 Von DNS erbrachte Dienste ... 161
2.5.2 Überblick über die Arbeitsweise des DNS ... 163
2.5.3 Resource Records und DNS-Nachrichten ... 169
2.6 Peer-to-Peer-Anwendungen ... 175
2.6.1 Verteilung von Dateien mittels P2P ... 175
2.6.2 In einer P2P-Community nach Information suchen ... 182
2.6.3 Fallstudie: P2P-Internettelefonie mit Skype ... 189
2.7 Socket-Programmierung mit TCP ... 190
2.7.1 Socket-Programmierung mit TCP ... 192
2.7.2 Beispiel einer Client-Server-Anwendung in Java ... 194
2.8 Socket-Programmierung mit UDP ... 201

Kapitel 3 Transportschicht 225

3.1 Einführung und Transportschichtdienste ... 227
3.1.1 Beziehung zwischen Transport- und Netzwerkschicht ... 227
3.1.2 Überblick über die Transportschicht im Internet ... 230
3.2 Multiplexing und Demultiplexing ... 232
3.3 Verbindungslose Kommunikation: UDP ... 239
3.3.1 UDP-Segmentstruktur ... 243
3.3.2 UDP-Prüfsumme ... 244
3.4 Grundlagen des zuverlässigen Datentransfers ... 245
3.4.1 Aufbau eines zuverlässigen Datentransferprotokolls ... 247
3.4.2 Zuverlässige Datentransferprotokolle mit Pipelining ... 258
3.4.3 Go-Back-N (GBN) ... 261
3.4.4 Selective Repeat (SR) ... 265
3.5 Verbindungsorientierter Transport: TCP ... 272
3.5.1 Die TCP-Verbindung ... 272
3.5.2 TCP-Segmentstruktur ... 275
3.5.3 Schätzen der Rundlaufzeit und Timeouts ... 280
3.5.4 Zuverlässiger Datentransfer ... 283
3.5.5 Flusskontrolle ... 292
3.5.6 TCP-Verbindungsverwaltung ... 294

3.6 Grundlagen der Überlastkontrolle ... 301
3.6.1 Ursachen und Kosten von Überlast ... 302
3.6.2 Ansätze zur Überlastkontrolle ... 308
3.6.3 Beispiel für netzwerkunterstützte Überlastkontrolle: ATM ABR ... 309
3.7 TCP-Überlastkontrolle ... 311
3.7.1 Fairness ... 320

Kapitel 4 Netzwerkschicht 343

4.1 Einführung ... 346
4.1.1 Weiterleitung und Routing ... 346
4.1.2 Dienstmodelle der Netzwerkschicht ... 350
4.2 Virtuelle Leitungen und Datagrammnetzwerke ... 352
4.2.1 Netzwerke mit virtuellen Leitungen ... 353
4.2.2 Datagrammnetzwerke ... 356
4.2.3 Ursprünge der VC- und Datagrammnetzwerke ... 359
4.3 Was steckt in einem Router? ... 360
4.3.1 Eingangsports ... 361
4.3.2 Das Switching Fabric ... 364
4.3.3 Ausgangsports ... 366
4.3.4 Wo findet Queuing statt? ... 367
4.4 Das Internetprotokoll (IP): Weiterleiten und Adressieren im Internet ... 371
4.4.1 Datagrammformat ... 371
4.4.2 IPv4-Adressierung ... 378
4.4.3 Internet Control Message Protokoll (ICMP) ... 393
4.4.4 IPv6 ... 396
4.4.5 Ein kurzer Ausflug in die IP-Sicherheit ... 403
4.5 Routing-Algorithmen ... 404
4.5.1 Der Link-State-Routing-Algorithmus (LS) ... 407
4.5.2 Der Distanzvektor-Routing-Algorithmus (DV) ... 412
4.5.3 Hierarchisches Routing ... 421
4.6 Routing im Internet ... 425
4.6.1 Intra-AS-Routing im Internet: RIP ... 425
4.6.2 Intra-AS-Routing im Internet: OSPF ... 428
4.6.3 Inter-AS-Routing: BGP ... 432
4.7 Broadcast- und Multicast-Routing ... 440
4.7.1 Broadcast-Routing-Algorithmen ... 440
4.7.2 Multicast ... 446

Kapitel 5 Die Sicherungsschicht und Lokale Netzwerke 473

5.1 Sicherungsschicht: Einführung und Dienste ... 475
5.1.1 Von der Sicherungsschicht zur Verfügung gestellte Dienste ... 476
5.1.2 Wo ist die Sicherungsschicht implementiert? ... 479

5.2 Fehlererkennungs- und Fehlerkorrekturtechniken ... 481
5.2.1 Paritätsprüfungen ... 483
5.2.2 Prüfsummenmethoden ... 485
5.2.3 Cyclic Redundancy Check (CRC) ... 486
5.3 Protokolle für Mehrfachzugriffe ... 488
5.3.1 Kanalaufteilungsprotokolle ... 491
5.3.2 Protokolle mit wahlfreiem Zugriff ... 492
5.3.3 Protokolle mit abwechselndem Zugriff ... 500
5.3.4 Lokale Netzwerke (Local Area Networks, LANs) ... 501
5.4 Adressierung auf der Sicherungsschicht ... 502
5.4.1 MAC-Adressen ... 502
5.4.2 Address Resolution Protocol (ARP) ... 505
5.5 Ethernet ... 509
5.5.1 Ethernet-Rahmenstruktur ... 510
5.5.2 CSMA/CD: Das Medienzugriffsprotokoll von Ethernet ... 515
5.5.3 Ethernet-Technologien ... 517
5.6 Switches der Sicherungsschicht ... 520
5.6.1 Weiterleiten und Filtern ... 521
5.6.2 Eigenständiges Lernen ... 523
5.6.3 Eigenschaften von Switches der Sicherungsschicht ... 524
5.6.4 Switches und Router im Vergleich ... 525
5.6.5 Virtuelle Lokale Netzwerke (VLANs) ... 527
5.7 PPP – das Point-to-Point-Protokoll ... 531
5.7.1 PPP-Daten-Framing ... 533
5.8 Link-Virtualisierung – ein Netzwerk als Sicherungsschicht ... 535
5.8.1 Asynchronous Transfer Mode (ATM) ... 537
5.8.2 Multiprotocol Label Switching (MPLS) ... 541

Kapitel 6 Drahtlose und mobile Netzwerke 557

6.1 Einführung ... 560
6.2 Eigenschaften drahtloser Links und Netzwerke ... 564
6.2.1 CDMA ... 567
6.3 WLAN: IEEE 802.11 ... 571
6.3.1 Die 802.11-Architektur ... 572
6.3.2 Das MAC-Protokoll von IEEE 802.11 ... 576
6.3.3 Der IEEE 802.11-Rahmen ... 582
6.3.4 Mobilität im selben IP-Subnetz ... 585
6.3.5 Weiterführende Merkmale von 802.11 ... 586
6.3.6 Bluetooth und WiMAX ... 588
6.4 Internetzugang über zellulare Mobilfunknetze ... 592
6.4.1 Ein Überblick über die zellulare Architektur ... 592
6.4.2 Zellulare Standards und Technologien – ein Streifzug ... 594
6.5 Grundlagen des Mobilitätsmanagements ... 599
6.5.1 Adressierung ... 601
6.5.2 Routing zu einem mobilen Knoten ... 603
6.6 Mobile IP ... 608

6.7 Umgang mit Mobilität in zellularen Mobilfunknetzen 612
6.7.1 Das Routing eines Anrufes an einen mobilen Benutzer 614
6.7.2 Handoff bei GSM 616
6.8 Auswirkung von drahtloser Kommunikation und Mobilität auf Protokolle höherer Schichten 619

Kapitel 7 Multimedia-Netzwerke 633

7.1 Multimediale Netzwerkanwendungen 635
7.1.1 Beispiele für Multimedia-Anwendungen 635
7.1.2 Hürden für Multimedia im heutigen Internet 639
7.1.3 Wie sollte das Internet weiterentwickelt werden, um Multimedia besser zu unterstützen? 639
7.1.4 Audio- und Videokompression 641
7.2 Streaming von gespeichertem Audio und Video 645
7.2.1 Zugriff auf Audio und Video über einen Webserver 646
7.2.2 Versand von Multimedia von einem Streamingserver an ein Hilfsprogramm 647
7.2.3 Real-Time Streaming Protocol (RTSP) 649
7.3 Best-Effort-Service optimal nutzen 654
7.3.1 Grenzen eines Best-Effort-Dienstes 654
7.3.2 Jitter beim Audioempfänger beseitigen 657
7.3.3 Ausgleich von Paketverlusten 660
7.3.4 Verteilung von Multimedia-Daten im heutigen Internet: Content-Distribution-Netzwerke 664
7.3.5 Dimensionierung von Best-Effort-Netzwerken, um hohe Dienstgüte zu erreichen 668
7.4 Protokolle für interaktive Echtzeit-Anwendungen 669
7.4.1 RTP 669
7.4.2 RTP Control Protocol (RTCP) 674
7.4.3 SIP 677
7.4.4 H.323 683
7.5 Anbieten von mehreren Dienstklassen 685
7.5.1 Motivierende Szenarien 686
7.5.2 Scheduling- und Überwachungsmechanismen 691
7.5.3 DiffServ 698
7.6 Dienstgütegarantien anbieten 703
7.6.1 Motivierendes Beispiel 704
7.6.2 Ressourcenreservierung, Rufzulassung, Rufaufbau 705
7.6.3 Garantierte Dienstgüte im Internet: Intserv und RSVP 709

Kapitel 8 Sicherheit in Computernetzwerken 725

8.1 Was bedeutet Netzwerksicherheit? 727
8.2 Grundlagen der Kryptografie 729
8.2.1 Kryptografie mit symmetrischen Schlüsseln 732
8.2.2 Public-Key-Verschlüsselung 738

8.3 Nachrichtenintegrität ... 744
8.3.1 Kryptografische Hash-Funktionen ... 744
8.3.2 Nachrichtenauthentifizierungscodes ... 746
8.3.3 Digitale Unterschriften ... 748
8.4 Endpunktauthentifizierung ... 755
8.4.1 Authentifizierungsprotokoll *ap1.0* ... 756
8.4.2 Authentifizierungsprotokoll *ap2.0* ... 756
8.4.3 Authentifizierungsprotokoll *ap3.0* ... 757
8.4.4 Authentifizierungsprotokoll *ap3.1* ... 758
8.4.5 Authentifizierungsprotokoll *ap4.0* ... 758
8.4.6 Authentifizierungsprotokoll ap5.0 ... 760
8.5 Absichern von E-Mail ... 761
8.5.1 Sichere E-Mail ... 763
8.5.2 PGP ... 768
8.6 Absichern von TCP-Verbindungen: SSL ... 770
8.6.1 Überblick ... 771
8.7 Netzwerkschichtsicherheit: IPsec ... 776
8.7.1 Authentication Header (AH)-Protokoll ... 777
8.7.2 Encapsulation Security Payload Protocol (ESP) ... 779
8.7.3 SA- und Schlüsselverwaltung ... 779
8.8 Absichern von Wireless LAN ... 780
8.8.1 Wired Equivalent Privacy (WEP) ... 781
8.8.2 IEEE 802.11i ... 783
8.9 Operative Sicherheit: Firewalls und Intrusion-Detection-Systeme ... 785
8.9.1 Firewalls ... 786
8.9.2 Intrusion-Detection-Systeme ... 793

Kapitel 9 Netzwerkmanagement 807

9.1 Was bedeutet Netzwerkmanagement? ... 809
9.2 Die Infrastruktur des Netzwerkmanagements ... 813
9.3 Das Internet-Standard Management Framework ... 817
9.3.1 Structure of Management Information: SMI ... 819
9.3.2 Management Information Base, MIB ... 823
9.3.3 SNMP-Protokollablauf ... 825
9.3.4 Sicherheit und Verwaltung ... 829
9.4 ASN.1 ... 833

Literaturverzeichnis 843

Register 881