

Inhaltsverzeichnis

Die Autoren	9
Vorwort	10
Was bringt die sechste Auflage Neues?	10
Was ist das Besondere an diesem Lehrbuch?	11
Pädagogische Hinweise	15
Ergänzungen für Dozenten	15
Kapitelreihenfolge	15
Eine letzten Anmerkung: Wir würden gerne von Ihnen hören ..	16
Danksagungen	16
Vorwort zur deutschen Ausgabe	19
Kapitel 1 Computernetzwerke und das Internet	21
1.1 Was ist das Internet?	23
1.1.1 Eine technische Beschreibung	24
1.1.2 Eine Dienstbeschreibung	26
1.1.3 Was ist ein Protokoll?	27
1.2 Der Netzwerkrand	30
1.2.1 Zugangsnetze	32
1.2.2 Trägermedien	38
1.3 Das Innere des Netzwerks	42
1.3.1 Paketvermittlung	43
1.3.2 Leitungsvermittlung	47
1.3.3 Netzwerk aus Netzen	52
1.4 Verzögerung, Verlust und Durchsatz in paketvermittelten Netzen	55
1.4.1 Überblick über Verzögerung in paketvermittelten Netzen	56
1.4.2 Warteschlangenverzögerung und Paketverlust	60
1.4.3 Ende-zu-Ende-Verzögerung	62
1.4.4 Durchsatz in Computernetzwerken	64
1.5 Protokollschichten und ihre Dienstmodelle	68
1.5.1 Schichtenarchitektur	68
1.5.2 Kapselung	74
1.6 Netzwerke unter Beschuss	76
1.7 Geschichte der Computernetzwerke und des Internets	81
1.7.1 Die Entwicklung der Paketvermittlung: 1961–1972	81
1.7.2 Proprietäre Netzwerke und Internetworking: 1972–1980	83
1.7.3 Die Ausbreitung der Netzwerke: 1980–1990	84
1.7.4 Die Internetexplosion: die 1990er Jahre	85
1.7.5 Das neue Jahrtausend	86
Interview mit Leonard Kleinrock	104
Kapitel 2 Anwendungsschicht	107
2.1 Grundlagen der Netzwerkanwendungen	109
2.1.1 Architektur von Netzwerkanwendungen	110
2.1.2 Kommunikation zwischen Prozessen	112

2.1.3	Transportdienste für Anwendungen	115
2.1.4	Vom Internet erbrachte Transportdienste	117
2.1.5	Anwendungsschichtprotokolle	121
2.1.6	In diesem Buch behandelte Netzanwendungen	122
2.2	Das Web und HTTP	122
2.2.1	Überblick über HTTP	123
2.2.2	Nichtpersistente und persistente Verbindungen	125
2.2.3	HTTP-Nachrichtenformat	128
2.2.4	Benutzer-Server-Interaktion: Cookies	132
2.2.5	Webcaching	134
2.2.6	Conditional GET	138
2.3	Dateitransfer: FTP	140
2.3.1	FTP-Befehle und -Antworten	141
2.4	E-Mail im Internet	142
2.4.1	SMTP	145
2.4.2	Vergleich mit HTTP	148
2.4.3	Mail-Nachrichtenformate	148
2.4.4	Mail-Zugriffsprotokolle	149
2.5	DNS – der Verzeichnisdienst des Internets	153
2.5.1	Von DNS erbrachte Dienste	154
2.5.2	Überblick über die Arbeitsweise von DNS	156
2.5.3	Resource Records und DNS-Nachrichten	162
2.6	Peer-to-Peer-Anwendungen	167
2.6.1	Verteilung von Dateien mittels P2P	168
2.6.2	Verteilte Hash-Tabellen	174
2.7	Socketprogrammierung: Erstellen von Netzanwendungen	180
2.7.1	Socketprogrammierung mit UDP	181
2.7.2	Socketprogrammierung mit TCP	186
2.7.3	TCPClient.py	188
	Interview mit Marc Andreessen	206
Kapitel 3 Transportschicht		209
3.1	Einführung und Transportschichtdienste	211
3.1.1	Beziehung zwischen Transport- und Netzwerkschicht	212
3.1.2	Überblick über die Transportschicht im Internet	214
3.2	Multiplexing und Demultiplexing	216
3.3	Verbindungslose Kommunikation: UDP	223
3.3.1	UDP-Segmentstruktur	227
3.3.2	UDP-Prüfsumme	227
3.4	Grundlagen des zuverlässigen Datentransfers	229
3.4.1	Aufbau eines zuverlässigen Datentransferprotokolls	231
3.4.2	Zuverlässige Datentransferprotokolle mit Pipelining	241
3.4.3	Go-Back-N (GBN)	244
3.4.4	Selective Repeat (SR)	249
3.5	Verbindungsorientierter Transport: TCP	255
3.5.1	Die TCP-Verbindung	255
3.5.2	TCP-Segmentstruktur	258

3.5.3	Schätzen der Rundlaufzeit und Timeouts	263
3.5.4	Zuverlässiger Datentransfer	266
3.5.5	Flusskontrolle	274
3.5.6	TCP-Verbindungsverwaltung	276
3.6	Grundlagen der Überlastkontrolle	282
3.6.1	Ursachen und Kosten von Überlast	283
3.6.2	Ansätze zur Überlastkontrolle	288
3.6.3	Beispiel für netzwerkunterstützte Überlastkontrolle: ABR in ATM-Netzen	290
3.7	TCP-Überlastkontrolle	292
3.7.1	Fairness	302
	Interview mit Van Jacobson	328

Kapitel 4 Netzwerkschicht 331

4.1	Einführung	334
4.1.1	Weiterleitung und Routing	334
4.1.2	Dienstmodelle der Netzwerkschicht	338
4.2	Virtuelle Verbindungen und Datagrammnetzwerke	340
4.2.1	Netzwerke mit virtuellen Verbindungen	341
4.2.2	Datagrammnetzwerke	344
4.2.3	Ursprünge der VC- und Datagrammnetzwerke	346
4.3	Was steckt in einem Router?	347
4.3.1	Verarbeitung der Eingabe	350
4.3.2	Switching	352
4.3.3	Verarbeitung am Ausgangsport	354
4.3.4	Wo findet Queuing statt?	354
4.3.5	Die Routing-Steuerungsebene	359
4.4	Internet Protocol (IP): Weiterleiten und Adressieren im Internet	359
4.4.1	Datagrammformat	360
4.4.2	IPv4-Adressierung	366
4.4.3	Internet Control Message Protocol (ICMP)	380
4.4.4	IPv6	384
4.4.5	Ein kurzer Ausflug in die IP-Sicherheit	390
4.5	Routing-Algorithmen	391
4.5.1	Der Link-State-Routing-Algorithmus	395
4.5.2	Der Distanzvektor-Routing-Algorithmus (DV)	399
4.5.3	Hierarchisches Routing	407
4.6	Routing im Internet	412
4.6.1	Intra-AS-Routing im Internet: RIP	412
4.6.2	Intra-AS-Routing im Internet: OSPF	416
4.6.3	Inter-AS-Routing: BGP	419
4.7	Broadcast- und Multicast-Routing	428
4.7.1	Broadcast-Routing-Algorithmen	428
4.7.2	Multicast	434
	Interview mit Vinton G. Cerf	462

Kapitel 5	Die Sicherungsschicht: Links, Zugangsnetze und LANs	465
5.1	Einführung in die Sicherungsschicht	467
5.1.1	Dienste der Sicherungsschicht	468
5.1.2	Wo ist die Sicherungsschicht implementiert?	470
5.2	Fehlererkennungs- und Fehlerkorrekturtechniken	471
5.2.1	Paritätsprüfungen.	473
5.2.2	Prüfsummenmethoden.	475
5.2.3	Cyclic Redundancy Check (CRC)	475
5.3	Protokolle und Links für Mehrfachzugriffe	478
5.3.1	Kanalaufteilungsprotokolle	480
5.3.2	Protokolle mit wahlfreiem Zugriff.	482
5.3.3	Protokolle mit abwechselndem Zugriff.	491
5.3.4	DOCSIS: das Sicherungsschichtprotokoll für Internetzugang via TV-Kabel	492
5.4	Lokale Netzwerke mittels Switches	494
5.4.1	Adressierung auf der Sicherungsschicht und ARP	495
5.4.2	Ethernet	502
5.4.3	Switches der Sicherungsschicht	508
5.4.4	Virtuelle lokale Netzwerke (VLANs).	514
5.5	Link-Virtualisierung – ein Netzwerk als Sicherungsschicht	518
5.5.1	Multiprotocol Label Switching (MPLS)	519
5.6	Netzwerke in Rechenzentren	522
5.7	Rückblick: ein Tag im Leben einer Webseitenanfrage	527
5.7.1	Einstieg: DHCP, UDP, IP und Ethernet	528
5.7.2	Und weiter: DNS und ARP	530
5.7.3	Wir kommen der Sache näher: Intradomain-Routing zum DNS-Server.	531
5.7.4	Nachrichtenaustausch zwischen Webclient und Webserver: TCP und HTTP.	532
	Interview mit Simon S. Lam	546
Kapitel 6	Drahtlose und mobile Netzwerke	549
6.1	Einführung.	551
6.2	Eigenschaften drahtloser Links und Netzwerke.	555
6.2.1	CDMA.	559
6.3	WLAN: IEEE 802.11.	562
6.3.1	Die 802.11-Architektur	563
6.3.2	Das MAC-Protokoll von IEEE 802.11	567
6.3.3	Der IEEE-802.11-Rahmen.	572
6.3.4	Mobilität im selben IP-Subnetz.	575
6.3.5	Weiterführende Merkmale von 802.11	577
6.3.6	Personal Area Networks: Bluetooth und Zigbee.	578
6.4	Internetzugang über zellulare Mobilfunknetze	581
6.4.1	Ein Überblick über die zellulare Netzarchitektur.	581
6.4.2	Zellulare 3G-Datennetze: Erweiterung des Internets auf mobile Teilnehmer.	584
6.4.3	Weiter geht's zu 4G: LTE.	587

6.5	Grundlagen des Mobilitätsmanagements	588
6.5.1	Adressierung	592
6.5.2	Routing zu einem mobilen Knoten	593
6.6	Mobile IP	598
6.7	Umgang mit Mobilität in zellularen Mobilfunknetzen	603
6.7.1	Das Routing eines Anrufs an einen mobilen Benutzer	604
6.7.2	Handoff bei GSM	605
6.8	Auswirkung von drahtloser Kommunikation und Mobilität auf Protokolle höherer Schichten	609
	Interview mit Deborah Estrin	619

Kapitel 7 Multimedia-Netzwerke 621

7.1	Multimediale Netzwerkanwendungen	623
7.1.1	Eigenschaften von Videoanwendungen	623
7.1.2	Eigenschaften von Audioanwendungen	624
7.1.3	Verschiedene multimediale Netzanwendungen	626
7.2	Streaming von gespeichertem Video	628
7.2.1	UDP-Streaming	630
7.2.2	HTTP-Streaming	631
7.2.3	Adaptives Streaming und DASH	636
7.2.4	Content-Distribution-Netzwerke	637
7.2.5	Fallstudien: Netflix, YouTube und Kankan	643
7.3	Voice-over-IP	647
7.3.1	Grenzen eines Best-Effort-Diensts	648
7.3.2	Jitter beim Audioempfänger beseitigen	650
7.3.3	Ausgleich von Paketverlusten	653
7.3.4	Fallstudie: VoIP mit Skype	657
7.4	Protokolle für dialogorientierte Echtzeitanwendungen	660
7.4.1	RTP	660
7.4.2	SIP	663
7.5	Netzunterstützung für Multimedia	669
7.5.1	Dimensionierung von Best-Effort-Netzwerken	671
7.5.2	Anbieten von mehreren Dienstklassen	673
7.5.3	DiffServ	683
7.6	Verbindungsorientierte Dienstgütegarantien: Ressourcenreservierung und Rufzulassung	687
	Interview mit Henning Schulzrinne	704

Kapitel 8 Sicherheit in Computernetzwerken 707

8.1	Was bedeutet Netzwerksicherheit?	709
8.2	Grundlagen der Kryptografie	711
8.2.1	Kryptografie mit symmetrischen Schlüsseln	713
8.2.2	Public-Key-Verschlüsselung	719
8.3	Nachrichtenintegrität und digitale Unterschriften	726
8.3.1	Kryptografische Hash-Funktionen	727
8.3.2	Nachrichtenauthentifizierungs-codes	728
8.3.3	Digitale Unterschriften	730

8.4	Endpunktauthentifizierung	737
8.4.1	Authentifizierungsprotokoll <i>ap1.0</i>	738
8.4.2	Authentifizierungsprotokoll <i>ap2.0</i>	738
8.4.3	Authentifizierungsprotokoll <i>ap3.0</i>	739
8.4.4	Authentifizierungsprotokoll <i>ap3.1</i>	740
8.4.5	Authentifizierungsprotokoll <i>ap4.0</i>	740
8.5	Absichern von E-Mail	742
8.5.1	Sichere E-Mail	743
8.5.2	PGP	746
8.6	Absichern von TCP-Verbindungen: SSL	748
8.6.1	Überblick	749
8.6.2	Ein vollständigeres Bild	752
8.7	Netzwerkschichtsicherheit: IPsec und virtuelle private Netze	754
8.7.1	IPsec und virtuelle private Netze (VPN)	755
8.7.2	Authentication Header Protocol (AH)	756
8.7.3	Security Associations	757
8.7.4	Das IPsec-Datagramm	758
8.7.5	IKE: Schlüsselverwaltung bei IPsec	762
8.8	Absichern von Wireless LAN	763
8.8.1	Wired Equivalent Privacy (WEP)	763
8.8.2	IEEE 802.11i	766
8.9	Operative Sicherheit: Firewalls und Intrusion-Detection-Systeme	768
8.9.1	Firewalls	768
8.9.2	Intrusion-Detection-Systeme	776
	Interview mit Steven M. Bellovin	793
Kapitel 9 Netzwerkmanagement		795
9.1	Was bedeutet Netzwerkmanagement?	797
9.2	Die Infrastruktur des Netzwerkmanagements	801
9.3	Das Internet-Standard Management Framework	805
9.3.1	Structure of Management Information: SMI	807
9.3.2	Management Information Base (MIB)	810
9.3.3	SNMP-Protokollablauf	814
9.3.4	Sicherheit und Verwaltung	816
9.4	ASN.1	819
	Interview mit Jennifer Rexford	827
Literatur		831
Register		873