



Andrew S. Tanenbaum  
David J. Wetherall

# Computernetzwerke

5., aktualisierte Auflage



**Andrew S. Tanenbaum  
David J. Wetherall**

# Computernetzwerke

**5., aktualisierte Auflage**

**PEARSON**

---

Higher Education  
München • Harlow • Amsterdam • Madrid • Boston  
San Francisco • Don Mills • Mexico City • Sydney  
a part of Pearson plc worldwide

# Computernetzwerke - PDF

## Inhaltsverzeichnis

### Computernetzwerke 5.Auflage

#### Inhaltsübersicht

- Vorwort 15
- Kapitel 1 - Einleitung 21
- Kapitel 2 - Die Bitübertragungsschicht 119
- Kapitel 3 - Die Sicherungsschicht 233
- Kapitel 4 - Die MAC-Teilschicht (Medium Access Control) 303
- Kapitel 5 - Die Vermittlungsschicht 411
- Kapitel 6 - Die Transportschicht 565
- Kapitel 7 - Die Anwendungsschicht 693
- Kapitel 8 - Sicherheit in Netzen 863
- Kapitel 9 - Leseempfehlungen und Bibliografie 989
- Register 1015

#### Inhaltsverzeichnis

- Vorwort 15
- Kapitel 1 - Einleitung 21
  - 1.1 Einsatz von Rechnernetzen 24
    - 1.1.1 Geschäftsanwendungen 24
    - 1.1.2 Anwendungen im Privatbereich 27
    - 1.1.3 Mobile Benutzer 32
    - 1.1.4 Gesellschaftliche Aspekte 36
  - 1.2 Netzhardware 39
    - 1.2.1 Personal Area Network 41
    - 1.2.2 Lokale Netze (LANs) 42
    - 1.2.3 Stadtnetze (MANs) 46
    - 1.2.4 Fernnetze (WANs) 47
    - 1.2.5 Internetworks 51
  - 1.3 Netzsoftware 53
    - 1.3.1 Protokollhierarchien 53
    - 1.3.2 Entwurfsaspekte bei Schichten 58
    - 1.3.3 Verbindungsorientierte und verbindungslose Dienste 60
    - 1.3.4 Basisoperationen von Diensten 63
    - 1.3.5 Beziehung zwischen Diensten und Protokollen 65
  - 1.4 Referenzmodelle 66
    - 1.4.1 Das OSI-Referenzmodell 66
    - 1.4.2 Das TCP/IP-Referenzmodell 70
    - 1.4.3 Das in diesem Buch benutzte Modell 73
    - 1.4.4 Vergleich: OSI- und TCP/IP-Referenzmodell\* 74
    - 1.4.5 Kritik am OSI-Modell und OSI-Protokollen\* 76
    - 1.4.6 Kritik am TCP/IP-Referenzmodell\* 79

# Inhaltsverzeichnis

## 1.5 Beispielnetze 80

- 1.5.1 Das Internet 80
- 1.5.2 Mobilfunknetze der dritten Generation\* 91
- 1.5.3 Drahtlose LANs: IEEE 802.11\* 96
- 1.5.4 RFID und Sensornetze\* 100

## 1.6 Standardisierung von Netzen 103

- 1.6.1 Who's who in der Welt der Telekommunikation 104
- 1.6.2 Who's who in der Welt der internationalen Normen 106
- 1.6.3 Who's who in der Welt der Internetstandards 108

## 1.7 Metrische Einheiten 110

## 1.8 Überblick über das restliche Buch 111

## Zusammenfassung 113

## Übungsaufgaben 114

## Kapitel 2 - Die Bitübertragungsschicht 119

### 2.1 Theoretische Grundlagen der Datenübertragung 121

- 2.1.1 Fourieranalyse 121
- 2.1.2 Signale mit begrenzter Bandbreite 122
- 2.1.3 Maximale Datenübertragungsrate eines Kanals 125

### 2.2 Gerichtete Übertragungsmedien 127

- 2.2.1 Magnetische Medien 127
- 2.2.2 Twisted-Pair-Kabel 128
- 2.2.3 Koaxialkabel 130
- 2.2.4 Trägerfrequenzanlagen 130
- 2.2.5 Glasfaserleiter 132

### 2.3 Drahtlose Übertragung 137

- 2.3.1 Das elektromagnetische Spektrum 138
- 2.3.2 Funkübertragung 141
- 2.3.3 Mikrowellenübertragung 143
- 2.3.4 Infrarotübertragung 147
- 2.3.5 Lichtübertragung 147

### 2.4 Kommunikationssatelliten\* 149

- 2.4.1 Geostationäre Satelliten 150
- 2.4.2 MEO-Satelliten 154
- 2.4.3 LEO-Satelliten 154
- 2.4.4 Vergleich: Satelliten und Glasfaser 157

### 2.5 Digitale Modulation und Multiplexing 159

- 2.5.1 Basisbandübertragung 159
- 2.5.2 Übertragung im Durchlassbereich 164
- 2.5.3 Frequenzmultiplexverfahren 167
- 2.5.4 Zeitmultiplexverfahren 169
- 2.5.5 Codemultiplexverfahren 170

### 2.6 Das öffentliche Telefonnetz 173

- 2.6.1 Aufbau des Telefonsystems 174
- 2.6.2 Politik im Bereich Telefonie 177
- 2.6.3 Teilnehmeranschlüsse: Modems, ADSL und Glasfaser 180

# Inhaltsverzeichnis

2.6.4 Verbindungsleitungen und Multiplexverfahren 189

2.6.5 Vermittlung 197

## 2.7 Das Mobiltelefonsystem\* 202

2.7.1 Die erste Generation der Mobiltelefone: Analoge Sprache 204

2.7.2 Die zweite Generation der Mobiltelefone: Digitale Sprache 208

2.7.3 Die dritte Generation der Mobiltelefone: Digitale Sprache und Daten 212

## 2.8 Kabelfernsehen\* 217

2.8.1 Gemeinschaftsantennen-Fernsehen 217

2.8.2 Internet über Kabel 218

2.8.3 Zuweisung der Frequenzbereiche 220

2.8.4 Kabelmodems 221

2.8.5 Vergleich: ADSL und Kabel 224

Zusammenfassung 226

Übungsaufgaben 227

## Kapitel 3 - Die Sicherungsschicht 233

### 3.1 Entwurfsaspekte der Sicherungsschicht 235

3.1.1 Dienste für die Vermittlungsschicht 235

3.1.2 Rahmenbildung 238

3.1.3 Fehlerüberwachung 242

3.1.4 Flusskontrolle 243

### 3.2 Fehlererkennung und -korrektur 244

3.2.1 Fehlerkorrekturcodes 246

3.2.2 Fehlererkennungscode 252

### 3.3 Grundlegende Protokolle der Sicherungsschicht 258

3.3.1 Ein utopisches Simplexprotokoll 263

3.3.2 Ein Simplexprotokoll mit Stop-and-Wait für einen fehlerfreien Kanal 265

3.3.3 Ein Stop-and-Wait-Simplexprotokoll für verdrauschte Kanäle 267

### 3.4 Schiebefensterprotokolle 271

3.4.1 1-Bit-Schiebefensterprotokoll 274

3.4.2 Protokoll mit Go-back-N 277

3.4.3 Protokoll mit selektiver Wiederholung 284

### 3.5 Beispiele für Protokolle der Sicherungsschicht 291

3.5.1 Packet over SONET 291

3.5.2 ADSL 295

Zusammenfassung 298

Übungsaufgaben 299

## Kapitel 4 - Die MAC-Teilschicht (Medium Access Control) 303

### 4.1 Die Kanaluordnung 305

4.1.1 Statische Kanaluordnung 305

4.1.2 Voraussetzungen für dynamische Kanaluordnung 307

### 4.2 Mehrfachzugriffsprotokolle 309

4.2.1 ALOHA 309

4.2.2 CSMA-Protokolle (Carrier Sense Multiple Access) 314

4.2.3 Kollisionsfreie Protokolle 317

4.2.4 Protokolle mit eingeschränkter Konkurrenz 322

# Inhaltsverzeichnis

4.2.5 Protokolle für drahtlose LANs 325

## 4.3 Ethernet 328

4.3.1 Bitübertragungsschicht von klassischem Ethernet 329

4.3.2 Ethernet-MAC-Teilschichtprotokoll 331

4.3.3 Leistungsaspekte bei Ethernet 335

4.3.4 Switched Ethernet 337

4.3.5 Fast Ethernet 339

4.3.6 Gigabit-Ethernet 342

4.3.7 10-Gigabit-Ethernet 346

4.3.8 Das Ethernet – ein Rückblick 347

## 4.4 Drahtlose LANs 349

4.4.1 IEEE-802.11-Architektur und -Protokollstapel 349

4.4.2 Die IEEE-802.11-Bitübertragungsschicht 351

4.4.3 Das IEEE-802.11-MAC-Teilschichtprotokoll 353

4.4.4 IEEE-802.11-Rahmenstruktur 360

4.4.5 Dienste 362

## 4.5 Drahtloses Breitband\* 364

4.5.1 Vergleich von IEEE 802.16 mit IEEE 802.11 und 3G 365

4.5.2 IEEE-802.16-Architektur und -Protokollstapel 366

4.5.3 IEEE-802.16-Bitübertragungsschicht 367

4.5.4 IEEE-802.16-MAC-Teilschichtprotokoll 369

4.5.5 IEEE-802.16-Rahmenstruktur 371

## 4.6 Bluetooth\* 372

4.6.1 Architektur von Bluetooth 373

4.6.2 Bluetooth-Anwendungen 374

4.6.3 Bluetooth-Protokollstapel 375

4.6.4 Bluetooth-Funkschicht 376

4.6.5 Bluetooth-Verbindungsschicht 377

4.6.6 Bluetooth-Rahmenstruktur 378

## 4.7 RFID\* 380

4.7.1 Architektur von EPC Gen 2 381

4.7.2 Bitübertragungsschicht von EPC Gen 2 382

4.7.3 Tag-Identifizierungsschicht von EPC Gen 2 383

4.7.4 Nachrichtenformate der Tag-Identifizierung 385

## 4.8 Switches der Sicherungsschicht 386

4.8.1 Verwendung von Bridges 386

4.8.2 Learning-Bridges 388

4.8.3 Spannbäume und Bridges 391

4.8.4 Repeater, Hubs, Bridges, Switches, Router und Gateways 394

4.8.5 Virtuelle LANs 397

Zusammenfassung 405

Übungsaufgaben 406

## Kapitel 5 - Die Vermittlungsschicht 411

5.1 Entwurfsaspekte der Vermittlungsschicht 413

5.1.1 Paketvermittlung unter Verwendung des Store-and-forward-Verfahrens 413

5.1.2 Dienste für die Transportschicht 414

# Inhaltsverzeichnis

5.1.3 Implementierung eines verbindungslosen Dienstes	415
5.1.4 Implementierung eines verbindungsorientierten Dienstes	417
5.1.5 Vergleich von VC-Netzen und Datagrammnetzen	418
<b>5.2 Routing-Algorithmen</b>	<b>420</b>
5.2.1 Das Optimalitätsprinzip	422
5.2.2 Routing nach dem kürzesten Pfad	423
5.2.3 Fluten	427
5.2.4 Distanzvektoralgorithmus	428
5.2.5 Link-State-Routing	431
5.2.6 Hierarchisches Routing	437
5.2.7 Broadcast-Routing	439
5.2.8 Multicast-Routing	441
5.2.9 Anycast-Routing	444
5.2.10 Routing für mobile Hosts	445
5.2.11 Routing in Ad-hoc-Netzen	448
<b>5.3 Algorithmen zur Überlastungsüberwachung</b>	<b>452</b>
5.3.1 Prinzipien der Überlastungsüberwachung	454
5.3.2 Routing unter Berücksichtigung des Verkehrs	455
5.3.3 Zugangssteuerung	457
5.3.4 Drosseln des Verkehrs	458
5.3.5 Lastabwurf	463
<b>5.4 Dienstgüte</b>	<b>465</b>
5.4.1 Anforderungen der Anwendungen	466
5.4.2 Traffic-Shaping	468
5.4.3 Scheduling der Pakete	473
5.4.4 Zugangssteuerung	477
5.4.5 Integrierte Dienste	481
5.4.6 Differenzierte Dienste	484
<b>5.5 Internetworking</b>	<b>487</b>
5.5.1 Unterscheidungsmerkmale von Netzen	488
5.5.2 Verbindung von Netzen	490
5.5.3 Tunneling	493
5.5.4 Internetwork-Routing	494
5.5.5 Fragmentierung der Pakete	496
<b>5.6 Vermittlungsschicht im Internet</b>	<b>500</b>
5.6.1 IPv4	503
5.6.2 IP-Adressen	507
5.6.3 IP Version 6	520
5.6.4 Internetsteuerprotokolle	531
5.6.5 Label Switching und MPLS	536
5.6.6 OSPF-Protokoll	540
5.6.7 BGP	546
5.6.8 Internet-Multicasting	551
5.6.9 Mobiles IP	553
<b>Zusammenfassung</b>	<b>557</b>
<b>Übungsaufgaben</b>	<b>558</b>

# Inhaltsverzeichnis

## Kapitel 6 - Die Transportschicht 565

### 6.1 Dienste der Transportschicht 567

- 6.1.1 Dienste für die oberen Schichten 567
- 6.1.2 Dienstprimitive der Transportschicht 569
- 6.1.3 Berkeley-Sockets 573
- 6.1.4 Beispiel für Socket-Programmierung: Ein Internetdateiserver 575

### 6.2 Elemente von Transportprotokollen 580

- 6.2.1 Adressierung 581
- 6.2.2 Verbindungsaufbau 584
- 6.2.3 Freigabe von Verbindungen 591
- 6.2.4 Fehlerüberwachung und Flusskontrolle 595
- 6.2.5 Multiplexing 601
- 6.2.6 Systemwiederherstellung 602

### 6.3 Überlastungsüberwachung 604

- 6.3.1 Gewünschte Bandbreitenzuordnung 605
- 6.3.2 Regulierung der Senderate 609
- 6.3.3 Probleme mit der drahtlosen Übertragung 614

### 6.4 Internettransportprotokolle: UDP 616

- 6.4.1 Einführung in UDP 616
- 6.4.2 Entfernte Prozeduraufrufe 618
- 6.4.3 Echtzeittransportprotokolle 621

### 6.5 Internettransportprotokolle: TCP 628

- 6.5.1 Einführung in TCP 628
- 6.5.2 TCP-Dienstmodell 629
- 6.5.3 TCP-Protokoll 632
- 6.5.4 TCP-Header 633
- 6.5.5 Verbindungsaufbau in TCP 637
- 6.5.6 Verbindungsfreigabe in TCP 638
- 6.5.7 Modellierung der Verwaltung von TCP-Verbindungen 639
- 6.5.8 TCP-Schiebefenster 642
- 6.5.9 Verwaltung von Timern in TCP 646
- 6.5.10 TCP-Überlastungsüberwachung 649
- 6.5.11 Die Zukunft von TCP 659

### 6.6 Leistungsaspekte\* 660

- 6.6.1 Leistungsprobleme in Rechnernetzen 661
- 6.6.2 Messung der Netzwerkleistung 662
- 6.6.3 Hostdesign für eine Optimierung der Leistung 666
- 6.6.4 Schnelle Segmentverarbeitung 669
- 6.6.5 Header-Komprimierung 672
- 6.6.6 Protokolle für Long Fat Networks 674

### 6.7 Verzögerungstolerante Netze\* 679

- 6.7.1 DTN-Architektur 680
- 6.7.2 Bündel-Protokoll 683

### Zusammenfassung 686

### Übungsaufgaben 687

## Kapitel 7 - Die Anwendungsschicht 693



# Inhaltsverzeichnis

## 7.1 DNS – Domain Name System 695

7.1.1 DNS-Namensraum 696

7.1.2 Ressourcendatensätze 699

7.1.3 Nameserver 703

## 7.2 E-Mail\* 708

7.2.1 Architektur und Dienste 709

7.2.2 Benutzeragenten 711

7.2.3 Nachrichtenformate 716

7.2.4 Nachrichtenübertragung 725

## 7.3 World Wide Web 734

7.3.1 Übersicht über die Architektur 735

7.3.2 Statische Webdokumente 752

7.3.3 Dynamische Webseiten und Webanwendungen 763

7.3.4 HTTP – HyperText Transfer Protocol 775

7.3.5 Das mobile Web 787

7.3.6 Suchen im Web 789

## 7.4 Streaming Audio und Video 792

7.4.1 Digitales Audio 794

7.4.2 Digitales Video 799

7.4.3 Streaming von gespeicherten Medien 808

7.4.4 Streaming von Live-Medien 817

7.4.5 Echtzeitkonferenzen 821

## 7.5 Content Delivery 832

7.5.1 Content und Internetverkehr 833

7.5.2 Serverfarmen und Webproxys 836

7.5.3 Content-Delivery-Netze 841

7.5.4 Peer-to-Peer-Netze 846

Zusammenfassung 857

Übungsaufgaben 858

## Kapitel 8 - Sicherheit in Netzen 863

### 8.1 Kryptografie 868

8.1.1 Einführung in die Kryptografie 868

8.1.2 Substitutionschiffren 871

8.1.3 Transpositionschiffren 873

8.1.4 One-Time Pads 874

8.1.5 Zwei Grundprinzipien der Verschlüsselung 879

### 8.2 Algorithmen für die symmetrische Verschlüsselung 881

8.2.1 DES – Data Encryption Standard 883

8.2.2 AES – Advanced Encryption Standard 886

8.2.3 Chiffriermodi 890

8.2.4 Weitere Chiffren 895

8.2.5 Kryptoanalyse 896

### 8.3 Algorithmen für öffentliche Schlüssel 897

8.3.1 RSA 898

8.3.2 Weitere Algorithmen für öffentliche Schlüssel 900

### 8.4 Digitale Signaturen 901

# Inhaltsverzeichnis

8.4.1 Signaturen mit symmetrischen Schlüsseln 902

8.4.2 Signaturen mit öffentlichen Schlüsseln 903

8.4.3 Message Digests 905

8.4.4 Die Geburtstagsattacke 909

## 8.5 Verwaltung öffentlicher Schlüssel 911

8.5.1 Zertifikate 912

8.5.2 X.509 914

8.5.3 PKI – Infrastruktur für öffentliche Schlüssel 915

## 8.6 Kommunikationssicherheit 919

8.6.1 IPsec 919

8.6.2 Firewalls 924

8.6.3 Virtuelle private Netze 927

8.6.4 Drahtlose Sicherheit 929

## 8.7 Authentifizierungsprotokolle 934

8.7.1 Authentifizierung auf der Basis eines gemeinsamen geheimen Schlüssels 935

8.7.2 Einrichten eines gemeinsamen Schlüssels: Das Schlüsselaustauschprotokoll von Diffie und Hellman 940

8.7.3 Authentifizierung mithilfe eines Schlüsselverteilungszentrums 942

8.7.4 Authentifizierung mit Kerberos 945

8.7.5 Authentifizierung mithilfe öffentlicher Verschlüsselung 948

## 8.8 E-Mail-Sicherheit\* 949

8.8.1 PGP – Pretty Good Privacy 949

8.8.2 S/MIME 954

## 8.9 Sicherheit im Web 954

8.9.1 Bedrohungen der Sicherheit 954

8.9.2 Sichere Namensvergabe 955

8.9.3 SSL – Secure Sockets Layer 961

8.9.4 Sicherheit bei mobilem Code 965

## 8.10 Soziale Themen 969

8.10.1 Datenschutz 969

8.10.2 Redefreiheit 972

8.10.3 Urheberrechte 976

Zusammenfassung 979

Übungsaufgaben 981

## Kapitel 9 - Leseempfehlungen und Bibliografie 989

### 9.1 Empfehlungen für weiterführende Literatur\* 990

9.1.1 Einführung und allgemeine Werke 990

9.1.2 Bitübertragungsschicht 991

9.1.3 Sicherungsschicht 992

9.1.4 MAC-Teilschicht 993

9.1.5 Vermittlungsschicht 993

9.1.6 Transportschicht 995

9.1.7 Anwendungsschicht 995

9.1.8 Netzsicherheit 996

### 9.2 Alphabetische Bibliografie\* 997

## Register 1015

# Inhaltsverzeichnis

## Vorwort

## Kapitel 1 - Einleitung

### 1.1 Einsatz von Rechnernetzen

- 1.1.1 Geschäftsanwendungen
- 1.1.2 Anwendungen im Privatbereich
- 1.1.3 Mobile Benutzer
- 1.1.4 Gesellschaftliche Aspekte

### 1.2 Netzhardware

- 1.2.1 Personal Area Network
- 1.2.2 Lokale Netze (LANs)
- 1.2.3 Stadtnetze (MANs)
- 1.2.4 Fernnetze (WANs)
- 1.2.5 Internetworks

### 1.3 Netzsoftware

- 1.3.1 Protokollhierarchien
- 1.3.2 Entwurfsaspekte bei Schichten
- 1.3.3 Verbindungsorientierte und verbindungslose Dienste
- 1.3.4 Basisoperationen von Diensten
- 1.3.5 Beziehung zwischen Diensten und Protokollen

### 1.4 Referenzmodelle

- 1.4.1 Das OSI-Referenzmodell
- 1.4.2 Das TCP/IP-Referenzmodell
- 1.4.3 Das in diesem Buch benutzte Modell
- 1.4.4 Vergleich: OSI- und TCP/IP-Referenzmodell
- 1.4.5 Kritik am OSI-Modell und OSI-Protokollen
- 1.4.6 Kritik am TCP/IP-Referenzmodell

### 1.5 Beispielnetze

- 1.5.1 Das Internet
- 1.5.2 Mobilfunknetze der dritten Generation
- 1.5.3 Drahtlose LANs: IEEE 802.11
- 1.5.4 RFID und Sensornetze

### 1.6 Standardisierung von Netzen

- 1.6.1 Who's who in der Welt der Telekommunikation
- 1.6.2 Who's who in der Welt der internationalen Normen
- 1.6.3 Who's who in der Welt der Internetstandards

### 1.7 Metrische Einheiten

### 1.8 Überblick über das restliche Buch

### Zusammenfassung

### Übungsaufgaben

## Kapitel 2 - Die Bitübertragungsschicht

# Inhaltsverzeichnis

## 2.1 Theoretische Grundlagen der Datenübertragung

- 2.1.1 Fourieranalyse
- 2.1.2 Signale mit begrenzter Bandbreite
- 2.1.3 Maximale Datenübertragungsrate eines Kanals

## 2.2 Gerichtete Übertragungsmedien

- 2.2.1 Magnetische Medien
- 2.2.2 Twisted-Pair-Kabel
- 2.2.3 Koaxialkabel
- 2.2.4 Trägerfrequenzanlagen
- 2.2.5 Glasfaserleiter

## 2.3 Drahtlose Übertragung

- 2.3.1 Das elektromagnetische Spektrum
- 2.3.2 Funkübertragung
- 2.3.3 Mikrowellenübertragung
- 2.3.4 Infrarotübertragung
- 2.3.5 Lichtübertragung

## 2.4 Kommunikationssatelliten

- 2.4.1 Geostationäre Satelliten
- 2.4.2 MEO-Satelliten
- 2.4.3 LEO-Satelliten
- 2.4.4 Vergleich: Satelliten und Glasfaser

## 2.5 Digitale Modulation und Multiplexing

- 2.5.1 Basisbandübertragung
- 2.5.2 Übertragung im Durchlassbereich
- 2.5.3 Frequenzmultiplexverfahren
- 2.5.4 Zeitmultiplexverfahren
- 2.5.5 Codemultiplexverfahren

## 2.6 Das öffentliche Telefonnetz

- 2.6.1 Aufbau des Telefonsystems
- 2.6.2 Politik im Bereich Telefonie
- 2.6.3 Teilnehmeranschlüsse: Modems, ADSL und Glasfaser
- 2.6.4 Verbindungsleitungen und Multiplexverfahren
- 2.6.5 Vermittlung

## 2.7 Das Mobiltelefonsystem

- 2.7.1 Die erste Generation der Mobiltelefone: Analoge Sprache
- 2.7.2 Die zweite Generation der Mobiltelefone: Digitale Sprache
- 2.7.3 Die dritte Generation der Mobiltelefone: Digitale Sprache und Daten

## 2.8 Kabelfernsehen

- 2.8.1 Gemeinschaftsantennen-Fernsehen
- 2.8.2 Internet über Kabel
- 2.8.3 Zuweisung der Frequenzbereiche

# Inhaltsverzeichnis

2.8.4 Kabelmodems

2.8.5 Vergleich: ADSL und Kabel

Zusammenfassung

Übungsaufgaben

## Kapitel 3 - Die Sicherungsschicht

### 3.1 Entwurfsaspekte der Sicherungsschicht

3.1.1 Dienste für die Vermittlungsschicht

3.1.2 Rahmenbildung

3.1.3 Fehlerüberwachung

3.1.4 Flusskontrolle

### 3.2 Fehlererkennung und -korrektur

3.2.1 Fehlerkorrekturcodes

3.2.2 Fehlererkennungscode

### 3.3 Grundlegende Protokolle der Sicherungsschicht

3.3.1 Ein utopisches Simplexprotokoll

3.3.2 Ein Simplexprotokoll mit Stop-and-Wait für einen fehlerfreien Kanal

3.3.3 Ein Stop-and-Wait-Simplexprotokoll für verdrauschte Kanäle

### 3.4 Schiebefensterprotokolle

3.4.1 1-Bit-Schiebefensterprotokoll

3.4.2 Protokoll mit Go-back-N

3.4.3 Protokoll mit selektiver Wiederholung

### 3.5 Beispiele für Protokolle der Sicherungsschicht

3.5.1 Packet over SONET

3.5.2 ADSL

Zusammenfassung

Übungsaufgaben

## Kapitel 4 - Die MAC-Teilschicht (Medium Access Control)

### 4.1 Die Kanalzuordnung

4.1.1 Statische Kanalzuordnung

4.1.2 Voraussetzungen für dynamische Kanalzuordnung

### 4.2 Mehrfachzugriffsprotokolle

4.2.1 ALOHA

4.2.2 CSMA-Protokolle (Carrier Sense Multiple Access)

4.2.3 Kollisionsfreie Protokolle

4.2.4 Protokolle mit eingeschränkter Konkurrenz

4.2.5 Protokolle für drahtlose LANs

### 4.3 Ethernet

4.3.1 Bitübertragungsschicht von klassischem Ethernet

4.3.2 Ethernet-MAC-Teilschichtprotokoll

4.3.3 Leistungsaspekte bei Ethernet

# Inhaltsverzeichnis

- 4.3.4 Switched Ethernet
- 4.3.5 Fast Ethernet
- 4.3.6 Gigabit-Ethernet
- 4.3.7 10-Gigabit-Ethernet
- 4.3.8 Das Ethernet – ein Rückblick

## 4.4 Drahtlose LANs

- 4.4.1 IEEE-802.11-Architektur und -Protokollstapel
- 4.4.2 Die IEEE-802.11-Bitübertragungsschicht
- 4.4.3 Das IEEE-802.11-MAC-Teilschichtprotokoll
- 4.4.4 IEEE-802.11-Rahmenstruktur
- 4.4.5 Dienste

## 4.5 Drahtloses Breitband

- 4.5.1 Vergleich von IEEE 802.16 mit IEEE 802.11 und 3G
- 4.5.2 IEEE-802.16-Architektur und -Protokollstapel
- 4.5.3 IEEE-802.16-Bitübertragungsschicht
- 4.5.4 IEEE-802.16-MAC-Teilschichtprotokoll
- 4.5.5 IEEE-802.16-Rahmenstruktur

## 4.6 Bluetooth

- 4.6.1 Architektur von Bluetooth
- 4.6.2 Bluetooth-Anwendungen
- 4.6.3 Bluetooth-Protokollstapel
- 4.6.4 Bluetooth-Funkschicht
- 4.6.5 Bluetooth-Verbindungsschicht
- 4.6.6 Bluetooth-Rahmenstruktur

## 4.7 RFID

- 4.7.1 Architektur von EPC Gen 2
- 4.7.2 Bitübertragungsschicht von EPC Gen 2
- 4.7.3 Tag-Identifizierungsschicht von EPC Gen 2
- 4.7.4 Nachrichtenformate der Tag-Identifizierung

## 4.8 Switches der Sicherungsschicht

- 4.8.1 Verwendung von Bridges
- 4.8.2 Learning-Bridges
- 4.8.3 Spannbäume und Bridges
- 4.8.4 Repeater, Hubs, Bridges, Switches, Router und Gateways
- 4.8.5 Virtuelle LANs

## Zusammenfassung

## Übungsaufgaben

## Kapitel 5 - Die Vermittlungsschicht

### 5.1 Entwurfsaspekte der Vermittlungsschicht

- 5.1.1 Paketvermittlung unter Verwendung des Store-and-forward-Verfahrens
- 5.1.2 Dienste für die Transportschicht

# Inhaltsverzeichnis

- 5.1.3 Implementierung eines verbindungslosen Dienstes
- 5.1.4 Implementierung eines verbindungsorientierten Dienstes
- 5.1.5 Vergleich von VC-Netzen und Datagrammnetzen

## 5.2 Routing-Algorithmen

- 5.2.1 Das Optimalitätsprinzip
- 5.2.2 Routing nach dem kürzesten Pfad
- 5.2.3 Fluten
- 5.2.4 Distanzvektoralgorithmus
- 5.2.5 Link-State-Routing
- 5.2.6 Hierarchisches Routing
- 5.2.7 Broadcast-Routing
- 5.2.8 Multicast-Routing
- 5.2.9 Anycast-Routing
- 5.2.10 Routing für mobile Hosts
- 5.2.11 Routing in Ad-hoc-Netzen

## 5.3 Algorithmen zur Überlastungsüberwachung

- 5.3.1 Prinzipien der Überlastungsüberwachung
- 5.3.2 Routing unter Berücksichtigung des Verkehrs
- 5.3.3 Zugangssteuerung
- 5.3.4 Drosseln des Verkehrs
- 5.3.5 Lastabwurf

## 5.4 Dienstgüte

- 5.4.1 Anforderungen der Anwendungen
- 5.4.2 Traffic-Shaping
- 5.4.3 Scheduling der Pakete
- 5.4.4 Zugangssteuerung
- 5.4.5 Integrierte Dienste
- 5.4.6 Differenzierte Dienste

## 5.5 Internetworking

- 5.5.1 Unterscheidungsmerkmale von Netzen
- 5.5.2 Verbindung von Netzen
- 5.5.3 Tunneling
- 5.5.4 Internetwork-Routing
- 5.5.5 Fragmentierung der Pakete

## 5.6 Vermittlungsschicht im Internet

- 5.6.1 IPv4
- 5.6.2 IP-Adressen
- 5.6.3 IP Version 6
- 5.6.4 Internetsteuerprotokolle
- 5.6.5 Label Switching und MPLS
- 5.6.6 OSPF-Protokoll

# Inhaltsverzeichnis

5.6.7 BGP

5.6.8 Internet-Multicasting

5.6.9 Mobiles IP

Zusammenfassung

Übungsaufgaben

## Kapitel 6 - Die Transportschicht

### 6.1 Dienste der Transportschicht

6.1.1 Dienste für die oberen Schichten

6.1.2 Dienstprimitive der Transportschicht

6.1.3 Berkeley-Sockets

6.1.4 Beispiel für Socket-Programmierung: Ein Internetdateiserver

### 6.2 Elemente von Transportprotokollen

6.2.1 Adressierung

6.2.2 Verbindungsaufbau

6.2.3 Freigabe von Verbindungen

6.2.4 Fehlerüberwachung und Flusskontrolle

6.2.5 Multiplexing

6.2.6 Systemwiederherstellung

### 6.3 Überlastungsüberwachung

6.3.1 Gewünschte Bandbreitenzuordnung

6.3.2 Regulierung der Senderate

6.3.3 Probleme mit der drahtlosen Übertragung

### 6.4 Internettransportprotokolle: UDP

6.4.1 Einführung in UDP

6.4.2 Entfernte Prozeduraufrufe

6.4.3 Echtzeittransportprotokolle

### 6.5 Internettransportprotokolle: TCP

6.5.1 Einführung in TCP

6.5.2 TCP-Dienstmodell

6.5.3 TCP-Protokoll

6.5.4 TCP-Header

6.5.5 Verbindungsaufbau in TCP

6.5.6 Verbindungsfreigabe in TCP

6.5.7 Modellierung der Verwaltung von TCP-Verbindungen

6.5.8 TCP-Schiebefenster

6.5.9 Verwaltung von Timern in TCP

6.5.10 TCP-Überlastungsüberwachung

6.5.11 Die Zukunft von TCP

### 6.6 Leistungsaspekte

6.6.1 Leistungsprobleme in Rechnernetzen

6.6.2 Messung der Netzwerkleistung



# Inhaltsverzeichnis

6.6.3 Hostdesign für eine Optimierung der Leistung

6.6.4 Schnelle Segmentverarbeitung

6.6.5 Header-Komprimierung

6.6.6 Protokolle für Long Fat Networks

## 6.7 Verzögerungstolerante Netze

6.7.1 DTN-Architektur

6.7.2 Bündel-Protokoll

Zusammenfassung

Übungsaufgaben

## Kapitel 7 - Die Anwendungsschicht

### 7.1 DNS – Domain Name System

7.1.1 DNS-Namensraum

7.1.2 Ressourcendatensätze

7.1.3 Nameserver

### 7.2 E-Mail

7.2.1 Architektur und Dienste

7.2.2 Benutzeragenten

7.2.3 Nachrichtenformate

7.2.4 Nachrichtenübertragung

### 7.3 World Wide Web

7.3.1 Übersicht über die Architektur

7.3.2 Statische Webdokumente

7.3.3 Dynamische Webseiten und Webanwendungen

7.3.4 HTTP – HyperText Transfer Protocol

7.3.5 Das mobile Web

7.3.6 Suchen im Web

### 7.4 Streaming Audio und Video

7.4.1 Digitales Audio

7.4.2 Digitales Video

7.4.3 Streaming von gespeicherten Medien

7.4.4 Streaming von Live-Medien

7.4.5 Echtzeitkonferenzen

### 7.5 Content Delivery

7.5.1 Content und Internetverkehr

7.5.2 Serverfarmen und Webproxys

7.5.3 Content-Delivery-Netze

7.5.4 Peer-to-Peer-Netze

Zusammenfassung

Übungsaufgaben

## Kapitel 8 - Sicherheit in Netzen

# Inhaltsverzeichnis

## 8.1 Kryptografie

- 8.1.1 Einführung in die Kryptografie
- 8.1.2 Substitutionschiffren
- 8.1.3 Transpositionschiffren
- 8.1.4 One-Time Pads
- 8.1.5 Zwei Grundprinzipien der Verschlüsselung

## 8.2 Algorithmen für die symmetrische Verschlüsselung

- 8.2.1 DES – Data Encryption Standard
- 8.2.2 AES – Advanced Encryption Standard
- 8.2.3 Chiffriermodi
- 8.2.4 Weitere Chiffren
- 8.2.5 Kryptoanalyse

## 8.3 Algorithmen für öffentliche Schlüssel

- 8.3.1 RSA
- 8.3.2 Weitere Algorithmen für öffentliche Schlüssel

## 8.4 Digitale Signaturen

- 8.4.1 Signaturen mit symmetrischen Schlüsseln
- 8.4.2 Signaturen mit öffentlichen Schlüsseln
- 8.4.3 Message Digests
- 8.4.4 Die Geburtstagsattacke

## 8.5 Verwaltung öffentlicher Schlüssel

- 8.5.1 Zertifikate
- 8.5.2 X.509
- 8.5.3 PKI – Infrastruktur für öffentliche Schlüssel

## 8.6 Kommunikationssicherheit

- 8.6.1 IPsec
- 8.6.2 Firewalls
- 8.6.3 Virtuelle private Netze
- 8.6.4 Drahtlose Sicherheit

## 8.7 Authentifizierungsprotokolle

- 8.7.1 Authentifizierung auf der Basis eines gemeinsamen geheimen Schlüssels
- 8.7.2 Einrichten eines gemeinsamen Schlüssels: Das Schlüsselaustauschprotokoll von Diffie und Hellman
- 8.7.3 Authentifizierung mithilfe eines Schlüsselverteilungszentrums
- 8.7.4 Authentifizierung mit Kerberos
- 8.7.5 Authentifizierung mithilfe öffentlicher Verschlüsselung

## 8.8 E-Mail-Sicherheit

- 8.8.1 PGP – Pretty Good Privacy
- 8.8.2 S/MIME

## 8.9 Sicherheit im Web

- 8.9.1 Bedrohungen der Sicherheit

# Inhaltsverzeichnis

- 8.9.2 Sichere Namensvergabe
- 8.9.3 SSL – Secure Sockets Layer
- 8.9.4 Sicherheit bei mobilem Code

## 8.10 Soziale Themen

- 8.10.1 Datenschutz
- 8.10.2 Redefreiheit
- 8.10.3 Urheberrechte

## Zusammenfassung

## Übungsaufgaben

## Kapitel 9 - Leseempfehlungen und Bibliografie

### 9.1 Empfehlungen für weiterführende Literatur

- 9.1.1 Einführung und allgemeine Werke
- 9.1.2 Bitübertragungsschicht
- 9.1.3 Sicherungsschicht
- 9.1.4 MAC-Teilschicht
- 9.1.5 Vermittlungsschicht
- 9.1.6 Transportschicht
- 9.1.7 Anwendungsschicht
- 9.1.8 Netzsicherheit

### 9.2 Alphabetische Bibliografie

## Register

### Numerics

- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G
- H
- I
- J
- K
- L
- M
- N
- O
- P
- Q

# Inhaltsverzeichnis

R  
S  
T  
U  
V  
W  
X  
Z

Ins Internet: Weitere Infos zum Buch, Downloads, etc.

Copyright

# Copyright

Daten, Texte, Design und Grafiken dieses eBooks, sowie die eventuell angebotenen eBook-Zusatzdaten sind urheberrechtlich geschützt. Dieses eBook stellen wir lediglich als **persönliche Einzelplatz-Lizenz** zur Verfügung!

Jede andere Verwendung dieses eBooks oder zugehöriger Materialien und Informationen, einschließlich

- der Reproduktion,
- der Weitergabe,
- des Weitervertriebs,
- der Platzierung im Internet, in Intranets, in Extranets,
- der Veränderung,
- des Weiterverkaufs und
- der Veröffentlichung

bedarf der **schriftlichen Genehmigung** des Verlags. Insbesondere ist die Entfernung oder Änderung des vom Verlag vergebenen Passwortschutzes ausdrücklich untersagt!

Bei Fragen zu diesem Thema wenden Sie sich bitte an: [info@pearson.de](mailto:info@pearson.de)

## Zusatzdaten

Möglicherweise liegt dem gedruckten Buch eine CD-ROM mit Zusatzdaten bei. Die Zurverfügungstellung dieser Daten auf unseren Websites ist eine freiwillige Leistung des Verlags. **Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.**

## Hinweis

Dieses und viele weitere eBooks können Sie rund um die Uhr und legal auf unserer Website herunterladen:

**<http://ebooks.pearson.de>**