



Computernetzwerke

6., aktualisierte Auflage

Andrew S. Tanenbaum
Nick Feamster
David J. Wetherall

Computernetzwerke

Computernetzwerke

Inhaltsverzeichnis

Computernetzwerke

Impressum

Inhaltsübersicht

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Vorwort zur deutschen Auflage

Kapitel 1 - Einleitung

1.1 Einsatzbereiche für Rechnernetze

1.1.1 Zugang zu Informationen

1.1.2 Kommunikation von Person zu Person

1.1.3 E-Commerce

1.1.4 Unterhaltung

1.1.5 Das Internet der Dinge

1.2 Rechnernetzarten

1.2.1 Breitbandnetze

1.2.2 Mobilfunk- und Drahtlosnetze

1.2.3 Netze für Content-Provider

1.2.4 Transitnetze

1.2.5 Unternehmensnetze

1.3 Netztechnologie von lokal zu global

1.3.1 Personal Area Network

1.3.2 Lokale Netze (LANs)

1.3.3 Heimnetze

1.3.4 Stadtnetze (MANs)

1.3.5 Fernnetze (WANs)

Inhaltsverzeichnis

1.3.6 Internetworks

1.4 Beispielnetze

1.4.1 Das Internet

1.4.2 Mobile Netze

1.4.3 Drahtlose Netze (WiFi)

1.5 Netzprotokolle

1.5.1 Designziele

1.5.2 Protokollschichten

1.5.3 Verbindungen und Zuverlässigkeit

1.5.4 Basisoperationen von Diensten

1.5.5 Beziehung zwischen Diensten und Protokollen

1.6 Referenzmodelle

1.6.1 Das OSI-Referenzmodell

1.6.2 Das TCP/IP-Referenzmodell

1.6.3 Kritik am OSI-Modell und an den OSI-Protokollen

1.6.4 Kritik am TCP/IP-Referenzmodell und an den dazugehörigen
Protokollen

1.6.5 Das in diesem Buch benutzte Modell

1.7 Standardisierung

1.7.1 Standardisierung und Open Source

1.7.2 Whos who in der Welt der Telekommunikation

1.7.3 Whos who in der Welt der internationalen Normen

1.7.4 Whos who in der Welt der Internetstandards

1.8 Politische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte

1.8.1 Online-Äußerungen

1.8.2 Netzneutralität

1.8.3 Sicherheit

1.8.4 Datenschutz

1.8.5 Desinformation

1.9 Metrische Einheiten

Inhaltsverzeichnis

1.10 Überblick über das restliche Buch

Kapitel 2 - Die Bitübertragungsschicht

2.1 Gerichtete Übertragungsmedien

2.1.1 Persistente Speichermedien

2.1.2 Twisted-Pair-Kabel

2.1.3 Koaxialkabel

2.1.4 Powerline Networks

2.1.5 Glasfaserleiter

2.2 Drahtlose Übertragung

2.2.1 Das elektromagnetische Spektrum

2.2.2 Frequency Hopping Spread Spectrum

2.2.3 Direct Sequence Spread Spectrum

2.2.4 Ultrabreitbandkommunikation

2.3 Nutzung des Spektrums für Übertragungen

2.3.1 Funkübertragung

2.3.2 Mikrowellenübertragung

2.3.3 Infrarotübertragung

2.3.4 Lichtübertragung

2.4 Von den Wellenformen zu den Bits

2.4.1 Theoretische Grundlagen der Datenübertragung

2.4.2 Maximale Datenübertragungsrate eines Kanals

2.4.3 Digitale Modulation

2.4.4 Multiplexing

2.5 Das öffentliche Telefonnetz

2.5.1 Aufbau des Telefonsystems

2.5.2 Teilnehmeranschlüsse: Modems, ADSL und Glasfaser

2.5.3 Verbindungsleitungen und Multiplexverfahren

2.5.4 Vermittlung

2.6 Mobilfunknetze

2.6.1 Gängige Begriffe und Konzepte: Zellen, Handover, Paging

Inhaltsverzeichnis

- 2.6.2 Die erste Generation der Mobiltelefone (1G): Analoge Sprache
- 2.6.3 Die zweite Generation der Mobiltelefone (2G): Digitale Sprache
- 2.6.4 GSM Global System for Mobile Communications
- 2.6.5 Die dritte Generation der Mobiltelefone (3G): Digitale Sprache und Daten
- 2.6.6 Die vierte Generation der Mobiltelefone (4G): Paketvermittlung
- 2.6.7 Die fünfte Generation der Mobiltelefone (5G)

2.7 Kabelnetze

- 2.7.1 Geschichtlicher Abriss der Kabelnetze:
 - Gemeinschaftsantennen-Fernsehen
- 2.7.2 Breitbandinternetzugang über Kabel: HFC-Netze
- 2.7.3 DOCSIS
- 2.7.4 Gemeinsame Ressourcennutzung in DOCSIS-Netzen: Knoten und Minizeitscheiben

2.8 Kommunikationssatelliten

- 2.8.1 Geostationäre Satelliten
- 2.8.2 MEO-Satelliten
- 2.8.3 LEO-Satelliten

2.9 Vergleich verschiedener Zugangsnetze

- 2.9.1 Terrestrische Zugangsnetze: Kabel, Glasfaser und ADSL
- 2.9.2 Satelliten im Vergleich zu terrestrischen Netzen

2.10 Politische Entscheidungen im Bereich der Bitübertragungsschicht

- 2.10.1 Zuweisung der Frequenzbereiche
- 2.10.2 Das Mobilfunknetz
- 2.10.3 Das Telefonnetz

Kapitel 3 - Die Sicherungsschicht

3.1 Entwurfsaspekte der Sicherungsschicht

- 3.1.1 Dienste für die Vermittlungsschicht
- 3.1.2 Rahmenbildung
- 3.1.3 Fehlerkontrolle
- 3.1.4 Flusskontrolle

Inhaltsverzeichnis

3.2 Fehlererkennung und -korrektur

3.2.1 Fehlerkorrekturcodes

3.2.2 Fehlererkennungscode

3.3 Grundlegende Protokolle der Sicherungsschicht

3.3.1 Einige vereinfachende Annahmen

3.3.2 Grundlagen der Übertragung und des Empfangs

3.3.3 Simplexprotokolle der Sicherungsschicht

3.4 Effizienz verbessern

3.4.1 Ziel: Bidirektionale Übertragung, mehrere Rahmen gleichzeitig im Umlauf

3.4.2 Beispiele für Vollduplex-Schiebefensterprotokolle

3.5 Protokolle der Sicherungsschicht in der Praxis

3.5.1 Packet over SONET

3.5.2 ADSL

3.5.3 DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification)

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

4.3.4 Switched Ethernet

4.3.5 Fast Ethernet

Inhaltsverzeichnis

- 4.3.6 Gigabit-Ethernet
- 4.3.7 10-Gigabit-Ethernet
- 4.3.8 40- und 100-Gigabit-Ethernet
- 4.3.9 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 Bluetooth

- 4.5.1 Architektur von Bluetooth
- 4.5.2 Bluetooth-Anwendungen
- 4.5.3 Bluetooth-Protokollstapel
- 4.5.4 Bluetooth-Funkschicht
- 4.5.5 Bluetooth-Verbindungsschicht
- 4.5.6 Bluetooth-Rahmenstruktur
- 4.5.7 Bluetooth 5

4.6 DOCSIS

- 4.6.1 Überblick
- 4.6.2 Ranging
- 4.6.3 Zuordnung der Kanalbandbreite

4.7 Switches der Sicherungsschicht

- 4.7.1 Verwendung von Bridges
- 4.7.2 Learning-Bridges
- 4.7.3 Spannbäume und Bridges
- 4.7.4 Repeater, Hubs, Bridges, Switches, Router und Gateways
- 4.7.5 Virtuelle LANs

Kapitel 5 - Die Vermittlungsschicht

- 5.1 Entwurfsaspekte der Vermittlungsschicht

Inhaltsverzeichnis

- 5.1.1 Paketvermittlung unter Verwendung des Store-and-forward-Verfahrens
- 5.1.2 Dienste für die Transportschicht
- 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 Flooding
- 5.2.4 Distanzvektoralgorithmus
- 5.2.5 Link-State-Routing
- 5.2.6 Hierarchisches Routing in einem Netz
- 5.2.7 Broadcast-Routing
- 5.2.8 Multicast-Routing
- 5.2.9 Anycast-Routing

5.3 Traffic-Management auf der Vermittlungsschicht

- 5.3.1 Der Grund für Traffic-Management: Überlastung
- 5.3.2 Verfahren zum Traffic-Management
- 5.3.3 Hop-by-Hop-Rückstau

5.4 Dienstgüte und Erlebnisqualität der Anwendungen

- 5.4.1 Anforderungen an die Erlebnisqualität der Anwendungen
- 5.4.2 Overprovisioning
- 5.4.3 Scheduling der Pakete
- 5.4.4 Integrierte Dienste
- 5.4.5 Differenzierte Dienste

5.5 Internetworking

- 5.5.1 Internetworks: Ein Überblick
- 5.5.2 Unterscheidungsmerkmale von Netzen
- 5.5.3 Verbindung von heterogenen Netzen
- 5.5.4 Verbindung von Endpunkten über heterogene Netze hinweg

Inhaltsverzeichnis

5.5.5 Internetwork-Routing: Routing über mehrere Netze

5.5.6 Unterstützung verschiedener Paketgrößen: Paketfragmentierung

5.6 Softwaredefinierter Netzbetrieb

5.6.1 Überblick

5.6.2 Die SDN-Steuerungsebene: Logisch zentralisierte
Softwaresteuerung

5.6.3 Die SDN-Datenebene: Programmierbare Hardware

5.6.4 Programmierbare Netztelemetrie

5.7 Vermittlungsschicht im Internet

5.7.1 IPv4

5.7.2 IP-Adressen

5.7.3 IP Version 6

5.7.4 Internetsteuerprotokolle

5.7.5 Label Switching und MPLS

5.7.6 OSPF-Protokoll

5.7.7 BGP

5.7.8 Internet-Multicasting

5.8 Regeln und Richtlinien auf der Vermittlungsschicht

5.8.1 Peering-Dispute

5.8.2 Priorisierung von Datenverkehr

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

Inhaltsverzeichnis

6.2.4 Fehlerkontrolle und Flusskontrolle

6.2.5 Multiplexing

6.2.6 Systemwiederherstellung

6.3 Überlastkontrolle

6.3.1 Gewünschte Bandbreitenzuordnung

6.3.2 Regulierung der Senderate

6.3.3 Probleme mit drahtloser 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 Das Transportschichtprotokoll 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-Überlastkontrolle

6.5.11 TCP CUBIC

6.6 Transportprotokolle und Überlastkontrolle

6.6.1 QUIC: Schnelle UDP-Internetverbindungen

6.6.2 BBR: Überlastkontrolle auf der Basis von Bottleneck-Datenrate

6.6.3 Die Zukunft von TCP

6.7 Leistungsaspekte

6.7.1 Leistungsprobleme in Rechnernetzen

6.7.2 Messung der Netzwerkleistung

Inhaltsverzeichnis

- 6.7.3 Messung des Zugangsnetzdurchsatzes
- 6.7.4 Messung der Erlebnisqualität
- 6.7.5 Hostdesign für eine Optimierung der Leistung
- 6.7.6 Schnelle Segmentverarbeitung
- 6.7.7 Header-Komprimierung
- 6.7.8 Protokolle für Long Fat Networks

Kapitel 7 - Die Anwendungsschicht

7.1 DNS Domain Name System

- 7.1.1 Geschichtliches und Überblick
- 7.1.2 Der DNS-Nachschlageprozess
- 7.1.3 DNS-Namensraum und -Hierarchie
- 7.1.4 DNS-Anfragen und -Antworten
- 7.1.5 Namensauflösung
- 7.1.6 DNS in der Praxis
- 7.1.7 DNS und Privatsphäre
- 7.1.8 Namensstreitigkeiten

7.2 E-Mail

- 7.2.1 Architektur und Dienste
- 7.2.2 Benutzeragenten
- 7.2.3 Nachrichtenformate
- 7.2.4 Nachrichtenübertragung
- 7.2.5 Endzustellung

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 und HTTPS
- 7.3.5 Privatsphäre im Web

7.4 Streaming von Audio und Video

- 7.4.1 Digitales Audio

Inhaltsverzeichnis

7.4.2 Digitales Video

7.4.3 Streaming von gespeicherten Medien

7.4.4 Echtzeit-Streaming

7.4.5 Voice-over-IP

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

7.5.5 Die Entwicklung des Internets

Kapitel 8 - Sicherheit in Netzen

8.1 Grundlagen der Netzwerksicherheit

8.1.1 Allgemeine Sicherheitsprinzipien

8.1.2 Allgemeine Angriffsprinzipien

8.1.3 Von der Bedrohung zur Lösung

8.2 Die wichtigsten Komponenten eines Angriffs

8.2.1 Erkunden

8.2.2 Herumschnüffeln und Ausspähen (mit einem Spritzer Spoofing)

8.2.3 Spoofing (außer ARP)

8.2.4 Disruption

8.3 Firewalls und Systeme zum Erkennen von Eindringlingen

8.3.1 Firewalls

8.3.2 Erkennen und Abwehren von Eindringlingen

8.4 Kryptografie

8.4.1 Einführung in die Kryptografie

8.4.2 Zwei Grundprinzipien der Verschlüsselung

8.4.3 Substitutionschiffren

8.4.4 Transpositionschiffren

8.4.5 One-Time Pads

8.5 Algorithmen für die symmetrische Verschlüsselung

Inhaltsverzeichnis

8.5.1 DES Data Encryption Standard

8.5.2 AES Advanced Encryption Standard

8.5.3 Chiffriermodi

8.6 Asymmetrische Verschlüsselung

8.6.1 RSA

8.6.2 Weitere Algorithmen für öffentliche Schlüssel

8.7 Digitale Signaturen

8.7.1 Signaturen mit symmetrischen Schlüsseln

8.7.2 Signaturen mit öffentlichen Schlüsseln

8.7.3 Message Digests

8.7.4 Die Geburtstagsattacke

8.8 Verwaltung öffentlicher Schlüssel

8.8.1 Zertifikate

8.8.2 X.509

8.8.3 PKI Infrastruktur für öffentliche Schlüssel

8.9 Authentifizierungsprotokolle

8.9.1 Authentifizierung auf der Basis eines gemeinsamen geheimen Schlüssels

8.9.2 Einrichten eines gemeinsamen Schlüssels: Das Schlüsselaustauschprotokoll von Diffie und Hellman

8.9.3 Authentifizierung mithilfe eines Schlüsselverteilungszentrums

8.9.4 Authentifizierung mit Kerberos

8.9.5 Authentifizierung mithilfe öffentlicher Verschlüsselung

8.10 Kommunikationssicherheit

8.10.1 IPsec

8.10.2 Virtuelle private Netze

8.10.3 Drahtlose Sicherheit

8.11 E-Mail-Sicherheit

8.11.1 PGP Pretty Good Privacy

8.11.2 S/MIME

8.12 Sicherheit im Web

Inhaltsverzeichnis

- 8.12.1 Bedrohungen der Sicherheit
- 8.12.2 Sichere Namensvergabe und DNSSEC
- 8.12.3 Transportschichtsicherheit
- 8.12.4 Nicht vertrauenswürdigen Code ausführen

8.13 Soziale Themen

- 8.13.1 Vertrauliche und anonyme Kommunikation
- 8.13.2 Redefreiheit
- 8.13.3 Urheberrechte

Kapitel 9 - Leseempfehlungen und Bibliografie

9.1 Empfehlungen für weiterführende Literatur

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

9.2 Alphabetische Bibliografie

Register

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 Passwort- und DRM-Schutzes ausdrücklich untersagt!

Bei Fragen zu diesem Thema wenden Sie sich bitte an: **info@pearson.de**

Zusatzdaten

Möglicherweise liegt dem gedruckten Buch eine CD-ROM mit Zusatzdaten oder ein Zugangscode zu einer eLearning Plattform bei. Die Zurverfügungstellung dieser Daten auf unseren Websites ist eine freiwillige Leistung des Verlags. **Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.** Zugangscodes können Sie darüberhinaus auf unserer Website käuflich erwerben.

Hinweis

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

<https://www.pearson-studium.de>