

Teil II: Grundlagen Rechnernetze

- ① Einführung Rechnernetze
- ② Das ISO-Referenzmodell OSI (Open System Interconnection)
- ③ Die Sicherungsschicht
 - (a) Aufgaben der Sicherungsschicht
 - (b) Fehlererkennung und Fehlerkorrektur
 - (c) Flußsteuerung
 - (d) Beispiel: High-level Data Link Control (HDLC)
- ④ Der IEEE-Standard 802 für lokale Netze: Beispiel Ethernet
- ⑤ Die Vermittlungsschicht: Beispiel Internetprotokoll (IP)
- ⑥ Die Transportschicht: Beispiele UDP und TCP

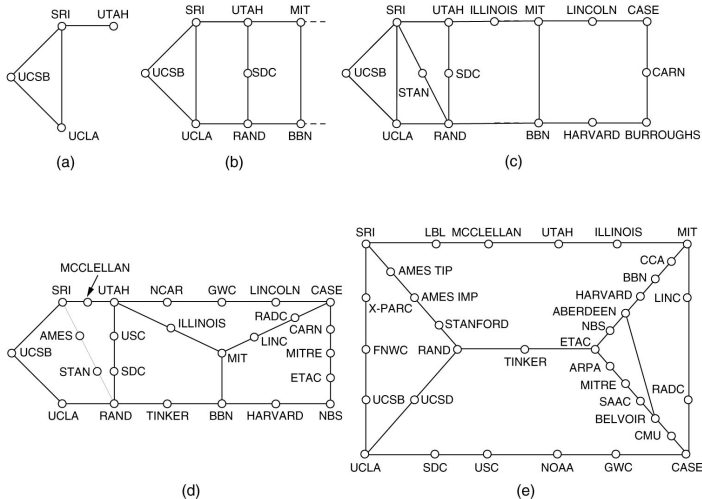
Literatur

- ① Andrew S. Tanenbaum, Nick Feamster, David J. Wetherall: *Computernetzwerke*, Pearson Studium, 6. Auflage, 2024
- ② James F. Kurose, Keith W. Ross: *Computer Networking: A Top-Down-Ansatz*, Pearson, 8. Auflage, 2021.
- ③ Douglas E. Comer: *TCP/IP - Studienausgabe: Konzepte, Protokolle, Architekturen*, Verlag mitp, 2011
- ④ Kevin R. Fall und W. Richard Stevens: *TCP/IP Illustrated Volume 1: The Protocols*, Addison-Wesley, 2011.
- ⑤ Gary R. Wright und W. Richard Stevens: *TCP/IP Illustrated Volume 2 - The Implementation*, Addison-Wesley, 1994

1969 Arpanet

Geldgeber: (Defense) Advanced Research Projects Agency
(DoD (Department of Defense), DoE (Department of Energy) und
NASA)

Verbindung der Vielzahl verschiedener Netze \Rightarrow Internet Protocol
(IP) (Mitte der 70er Jahre)



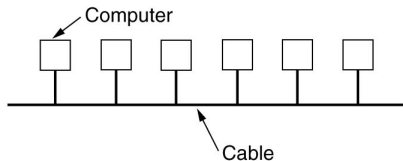
Arpanet: (a) Dezember 1969, (b) Juli 1970, (c) März, (d) April 1972, (e) September 1972

Quelle: [2]

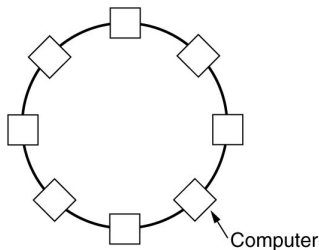
Interprocessor distance	Processors located in same	Example
1 m	Square meter	Personal area network
10 m	Room	Local area network
100 m	Building	
1 km	Campus	
10 km	City	Metropolitan area network
100 km	Country	Wide area network
1000 km	Continent	
10,000 km	Planet	The Internet

Local Area Networks (LAN)

- Durchmesser von bis zu wenigen Kilometern
- relativ hohe Übertragungsrate (10 MBit/s - 1 GBit/s, bis zu 100 Gbit/s)
- Topologien: Bus, Ring, Stern



(a)



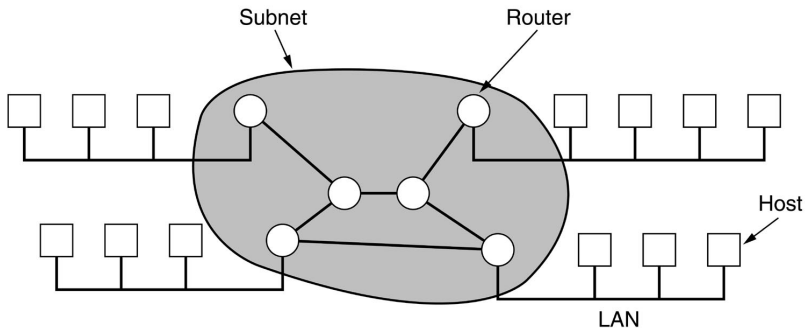
(b)

- Beispieltechnologie: Ethernet, Token-Ring

Metropolitan Area Networks (MAN)

- begrenzt auf Stadt/Region
z.B. unser Uni Campus-Netzwerk
- Vernetzung verschiedener LANs

Backbone-Topologie

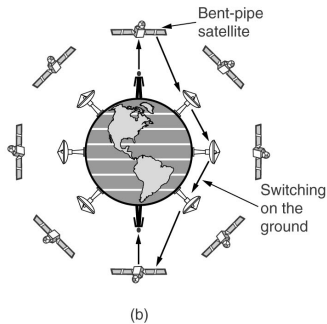
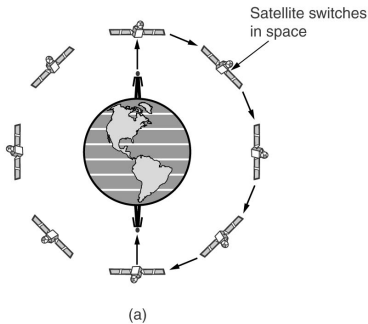


Quelle: Tanenbaum

- Beispieltechnologie: (ATM, FDDI) 1/10/100 Gigabit Ethernet

Wide Area Networks (WAN)

- keine räumliche Begrenzung, ggf. Satellitenverbindungen



- Beispieltechnologie: (ISDN, X.25) MPLS, Ethernet
- Beispiel: DFN, Elon Musks Starlink-Projekt



60 Starlink satellites stacked together before deployment on 24 May 2019

Quelle: <https://en.wikipedia.org/wiki/Starlink>

Starlink

- 9'24: über 7000 Satelliten im Low Earth Orbit (Leo) (800 - 2000 km)
- 9'24: über 4 Millionen Abonnenten
- 2022 Auf Bitte der ukrainischen Regierung hin hilft Starlink bei der Aufrechterhaltung der Internetverbindungen, 2 Tage nachdem sie gebeten wurden.
Seit Juni 2023 von der US Regierung finanziert.
19 500 der 47 000 Starlink Terminals wurden von Polen finanziert.
- Starshield: basiert auf Starlink-Technologie.
Für US-amerikanische Militär und Alliierte
Classified Contract mit der U.S. Regierung in 2021

Quelle: Wikipedia

Das Deutsche Forschungsnetz (DFN)

- 30.3.1984 Gründungsversammlung
USA und UK sind ca. 4 Jahre voraus.
- 9,6 Kilobit/s-Netz
X.25 Wissenschaftsnetz, B-Win, G-Win, seit 2004 X-Win
- 2000 war das DFN nach Transportvolumen und Zahl der Nutzer das größte Wissenschaftsnetz der Erde

Quelle: Editorial der DFN Mitteilungen, Ausgabe 86, Mai 2014. von Prof. em. Dr. Eike Jessen,
Gründungsvorstand des DFN-Vereins

- Anlässlich der Supercomputing Conference SC13 in Denver (17.-22.11.2013) nutzten Wissenschaftler erstmalig einen **100Gigabit/s-Link** zwischen Deutschland und den USA (Austausch von Experimentdaten des Large Hadron Colliders in Genf).

- 1994 DFN ist Mit-Initiator der Gründung der Betreibergesellschaft DANTE für das europäische Wissenschaftsnetz GEANT (géant (französisch) - Gigant),
⇒ GEANT ist ein Backbone-Netzwerk, das mittlerweile ca. 30 Forschungsnetze verbindet, darunter das DFN.
GEANT ist auf 100Gigabit/s umgestellt.
- X-Win: Anschlusskapazität bis zu 100Gigabit/s,
11 000 Kilometer Glasfaser

„das“ DFN, versus „der“ DFN-Verein



X-WIN Anno
2016

Quelle: DFN

Mitteilungen 90

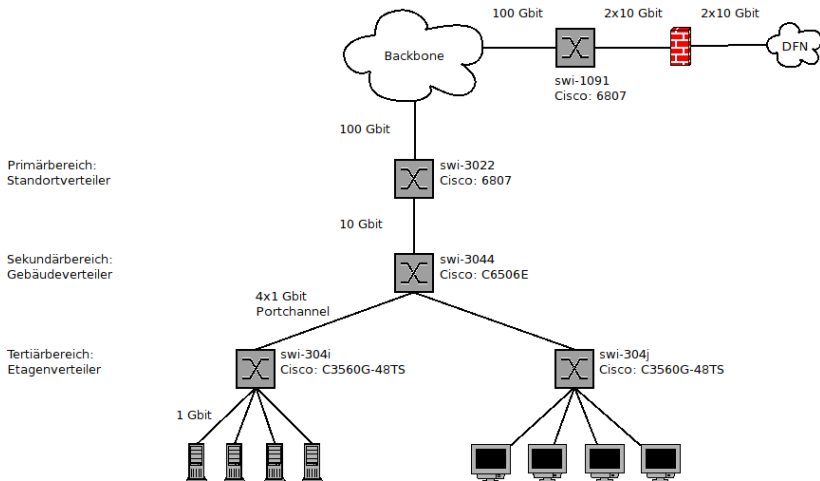
Übergang vom DFN in andere Netze:

- Géant: Frankfurt/Main (FRA), Hamburg HWS
- DE-CIX: Frankfurt/Main (FRA)
- BCIX, ECIX

DE-CIX ist Deutschlands größter Internetknoten gemessen am Datendurchsatz.

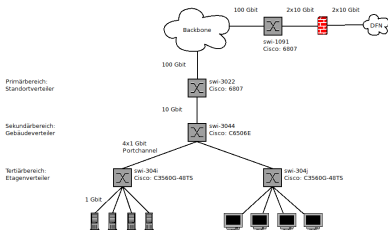
Stand Juni 2017: weltweit größter Internetknoten gemessen am Datendurchsatz.

Anschluß vom IFI an das Deutsche Forschungsnetz (DFN)



- Im IFI: Gigabit Ethernet (GE),
- Anschluß IFI an das Campus-Backbone mittels 10 Gbit Ethernet,
- 100 Gbit Ethernet Campus-Backbone
- Anschluß Campus-Backbone an das X-Win mittels 2x10 Gbit Ethernet

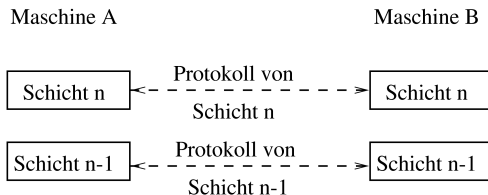
Drahtgebundene Netze



- Die verbundenen Komponenten sind Workstations/Server, PCs, sowie Netzwerkkomponenten wie Switche und spezielle Vermittlungsrechner (engl. Router)
- Die Verbindung zwischen direkt verbundenen Komponenten heißt **Link**.

Ein Rechnernetzwerk kann mathematisch als Graph mit Ecken (auch: Knoten) und Kanten (Links) dargestellt werden.

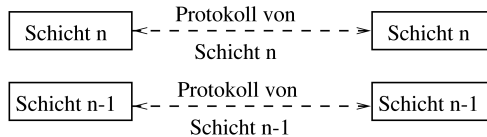
Strukturierung der Kommunikationssoftware in Schichten:



Die Schicht n auf Rechner A kommuniziert mit einer Partnerinstanz auf Schicht n auf Rechner B . Die Regeln, nach denen die Kommunikation abläuft, werden das **Protokoll von Schicht n** genannt.

Maschine A

Maschine B

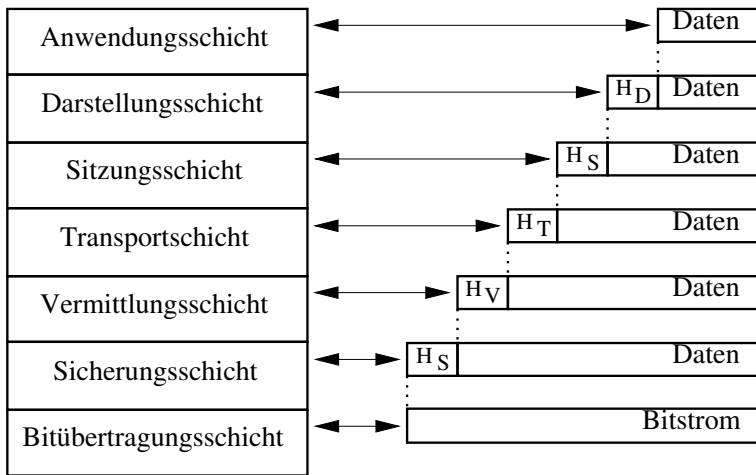


Die Kommunikation der Schicht n wird durch den **Dienst** der Schicht $n - 1$ realisiert. Der Dienst beinhaltet eine Menge von Funktionen, die von der Schicht $n - 1$ angeboten werden.

Die Schichten und Protokolle bilden die **Netzarchitektur**.

Das ISO-Referenzmodell OSI

(International Standard Organization / Open Systems Interconnection)



1. Bitübertragungsschicht (Physical Layer)

Die Dienstleistung der Bitübertragungsschicht ist die Übertragung einzelner Bits über ein (unzuverlässiges) Medium.

⇒ Normen für mechanische und elektrische bzw. optische Schnittstelle

2. Sicherungsschicht (Link Layer)

Die Sicherungsschicht ist für die **fehlerfreie** Übertragung von Bitketten zwischen direkt verbundenen Rechnern verantwortlich. Die Verbindung zwischen den beiden Rechnern wird **Link** genannt.

Aufgaben:

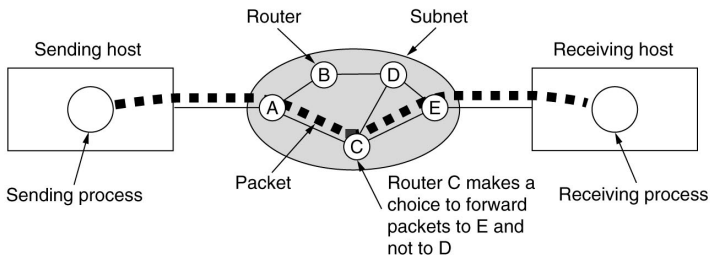
- ① Aufteilen der Daten in sogenannte **Datenübertragungsrahmen (Frames)** durch Einfügen von Rahmengrenzen.
- ② Fehlererkennung und -korrektur
- ③ **Flußkontrolle**: Werden Nachrichten auf einem Link verschickt, so kann es bei unterschiedlich leistungsfähigen Systemen zu einer Überlastung kommen und ggf. werden Pakete verworfen
⇒ Mittels Flußkontrolle wird die Senderate an die Verarbeitungrate angepaßt.

Beispielprotokoll: HDLC (High level Data Link Control, ISO)

3. Vermittlungsschicht (Network Layer)

Bisher: Wir können nur Nachrichten zwischen direkt verbundenen Rechnern schicken.

Die Vermittlungsschicht ist verantwortlich für den Transport von Nachrichten von einem Quellrechner zu einem Zielrechner über beliebig, untereinander verbundene Datenleitungen und Teilnetze. Die Nachrichten müssen an den Zwischenstationen **vermittelt** werden.



(Quelle: Tanenbaum)

Aufgaben:

- Wegwahl (Routing)
- Anpassung bei Übergang an ein anderes Netzwerk (Adressierung, Paketgröße, ...)
- Flußkontrolle
- Abrechnung der Dienstleistung (Accounting)

Es lassen sich zwei Dienstarten unterscheiden:

- **Virtual Circuit Service (verbindungsorientierter Dienst):** Es wird zwischen Quell- und Zielrechner eine **logische (virtuelle)** Verbindung aufgebaut und am Ende der Kommunikation wieder abgebaut.

Beispiel: X.25 PLP (Packet Layer Protocol),

X.25 PLP ist das Schicht 3 Protokoll der CCITT-Empfehlung X.25 für öffentliche Netze (1976)

X.25 ist eine Protokollfamilie für WANs über das Telefonnetz (Datex-P der deutschen Telekom): Anbindung von Alarm- und Notrufleitstellen sowie von EC-Kartenautomaten bis ca. 2015 genutzt, mittlerweile Umstieg auf IP

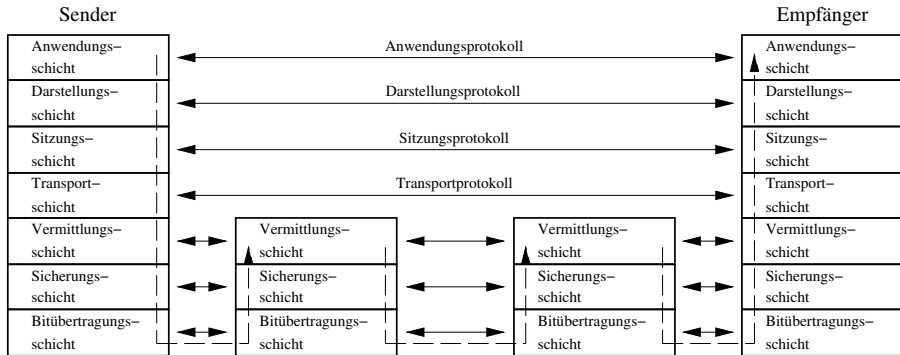
Who's who?

Comité Consultatif International de Télégraphique et Téléphonique (seit 1956 Behörde der Vereinten Nationen), 1993 umbenannt in **International Telecommunication Union (ITU-T)**

- **Datagram Service (verbindungsloser Dienst):** Die einzelnen Datenpakete einer Nachricht werden unabhängig voneinander vom Quell- zum Zielrechner übertragen. Jedes Datenpaket enthält Quell- und Zieladresse.

Beispiel: Internetprotokoll (IP)

Kommunikationsfluß



4. Transportschicht (Transport Layer)

Das Transportprotokoll ist ein **Ende-zu-Ende-Protokoll** zwischen Quell- und Zielrechner.

Wesentliche Aufgabe der Transportschicht ist die Erhöhung der Dienstqualität des Vermittlungsdienstes:

- ggf. Paketverlust überwachen und korrigieren,
- ggf. Auf- und Abbau von Transportverbindungen
- Flußkontrolle zwischen Quell- und Zielrechner
- ggf. Aufteilen der Nachricht in kleinere Dateneinheiten für Schicht 3
- Multiplexing oder Splitting auf Verbindungen der Schicht 3

Beispiele: TCP (Transmission Control Protocol),
UDP (User Datagram Protocol)

5. Sitzungsschicht (Session Layer)

Bereitstellung von Diensten, die von Anwendungen häufig benötigt werden. \implies Unterstützung von sogenannten **Sitzungen**

Weitverbreitete Meinung in den 90ern: „Die Sitzungsschicht ist Erfindung der ISO!“

Beispiele für OSI-Dienste:

- **Checkpoints** für zuverlässige Datenübertragung, Beispiel: openFT von Fujitsu (Einsatzgebiet: Behörden- und Bankensektor),
- **Token-Management** für Videokonferenzen
- **Client-Server-Kommunikation: Remote Procedure Call**
RPC-Protokolle für **synchrone** Kommunikation zwischen Client und Server

6. Darstellungsschicht (Presentation Layer)

Die Schichten 1-5 befassen sich im wesentlichen mit der korrekten Übertragung von Bits vom Quell- zum Zielrechner.

Aufgabe der Schicht 6 ist die Bewahrung der Bedeutung der Bits während der Übertragung.

⇒ Anpassung an verschiedene Datenformate: **Konvertierung** zwischen verschiedenen Formaten

Beispiele: IS 8824: ASN.1 (Abstract Syntax Notation One),
Sun/XDR (eXternal Data Representation)

Weitere Aufgaben:

⇒ Datenkomprimierung

⇒ Verschlüsselung

htonl, htons, ntohl, ntohs -- convert values between host
and network byte order

LIBRARY

Standard C Library (libc, -lc)

These routines convert 16 and 32 bit quantities between network byte order and host byte order.

(Network byte order is big endian, or most significant byte first.)

On machines which have a byte order which is the same as the network order, routines are defined as null macros.

These routines are most often used in conjunction with Internet addresses and ports as returned by `gethostbyname(3)` and `getservent(3)`.

NAME

inet_ntop, inet_pton - convert IPv4 and IPv6 addresses
between binary and text form

7. Anwendungsschicht (Application Layer)

In der Anwendungsschicht laufen die Benutzerprogramme (Anwendungen).

Beispiele: Electronic Mail, Dateitransfer (ftp, http get/post), Online-Banking, eCommerce, ...

Otto Spaniol (1996): „Die neue ICE-Zeit!“

Internet Protocol Stack

rlogin/rsh	NNTP	SMTP	Telnet	FTP	HTTP	NFS/ DNS,	SNMP	NTP
TCP						UDP		
IP								
Schicht 1 + 2								

- NNTP (Network News Transfer Protocol)
- SMTP (Simple Mail Transfer Protocol)
- DNS (Domain Name Service)
- SNMP (Simple Network Management Protocol)
- NTP (Network Time Protocol)
- NFS (Network File System)

Key to Internet Success: Layers

Applications

...built on...

Reliable (or unreliable) transport

...built on...

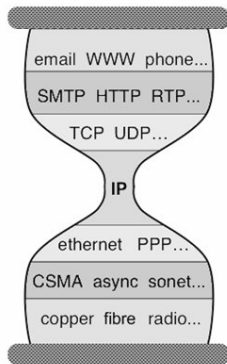
Best-effort global packet delivery

...built on...

Best-effort local packet delivery

...built on...

Physical transfer of bits



Quelle: Prof. Scott Shenker, UC Berkeley

Internet Engineering Task Force (IETF)

<http://www.ietf.org/>

Die IETF verfaßt die Internet Standards, die sogenannten
Requests for Comments (RFCs).

Gutes Intro zur Arbeitsweise der IETF in:

Christian Friebe: *IPv6 im Wandel* -

Analyse der IPv6-Standardisierung unter Sicherheitsaspekten,

Masterarbeit (Lehramt), Universität Potsdam, 2014.

<https://www.cs.uni-potsdam.de/bs/teaching/studentThesis.html>

3 Weisheiten zur Protokoll- und Netzwerkstandisierung

„If you know what you are doing, 3 layers are enough. If you don't, even 17 won't help.“

(Mike Padlipsky, *The Elements of Network Style*,
Prentice-Hall, 1985)

„The nice thing about standards is that there are so many to choose from.“

(Andrew Tanenbaum, 1988)

„Network standards are like sausages: If you intend to use them, you really don't want to see how they are made.“

(Gerald Cole, University of California, Los Angeles (UCLA),
in Seifert: *Gigabit Ethernet*)