

# Rechnernetze

WS 1998/99

Prof. Dr. W. Effelsberg

Lehrstuhl für  
Praktische Informatik IV

Universität Mannheim



# Inhalt

## 1. Einführung

- 1.1 Geschichte der Rechnernetze, Motivation
- 1.2 Typen von Rechnernetzen
- 1.3 Protokollhierarchien
- 1.4 Normungsgremien
- 1.5 ISO-Referenzmodell für offene Rechnernetze

## 2. Bitübertragungsschicht (Physical Layer)

- 2.1 Definition
- 2.2 Mechanische/elektrische/funktionale Spezifikation
- 2.3 Übertragungstechniken, Modulation
- 2.4 Physikalische Medien
- 2.5 Beispiele: V.24, ADSL

## 3. Sicherungsschicht (Data Link Layer)

- 3.1 Übertragungsfehler: Ursachen
- 3.2 Fehlererkennungs- und Fehlerkorrekturcodes
- 3.3 Bitstopfen und Rahmenbegrenzer
- 3.4 Bestätigungen und Sequenznummern
- 3.5 Flußkontrolle
- 3.6 Beispiel: HDLC

## Inhalt (2)

### 4. Lokale Netze

- 4.1 Topologien für lokale Netze
- 4.2 Medienzugangskontrolle
- 4.3 ALOHA
- 4.4 CSMA/CD (Ethernet)
- 4.5 Token Ring
- 4.6 FDDI
- 4.7 Logical Link Control im LAN
- 4.8 Sternkoppler und LAN Switching

### 5. Weitverkehrsnetze und Routing

- 5.1 Das Prinzip der Paketvermittlung
- 5.2 Virtuelle Verbindungen oder Datagramme?
- 5.3 Wegewahl (Routing) für Punkt-zu-Punkt-Netze
- 5.4 Wegewahl (Routing) für Multicast-Netze
- 5.5 Überlastkontrolle in der Vermittlungsschicht
- 5.6 Beispiele: IP, X.25, ATM

### 6. ISDN

- 6.1 Ziele von ISDN
- 6.2 Grundlagen von ISDN
- 6.3 Schichten 1, 2 und 3 für ISDN
- 6.4 Breitband-ISDN
- 6.5 ISDN-Standards

## **Inhalt (3)**

### **7. Transportschicht**

- 7.1 ISO-Definition der Transportschicht
- 7.2 ISO-Transportdienst
- 7.3 ISO-Transportprotokolle
- 7.4 Transportprotokolle im Internet: Architektur
- 7.5 UDP (User Datagram Protocol)
- 7.6 TCP (Transmission Control Protocol)

### **8. Darstellungsschicht**

- 8.1 Aufgaben und Funktionsweise
- 8.2 Die Darstellungsschicht nach ISO/OSI
- 8.3 XDR - die Darstellungs"schicht" im Internet

### **9. Anwendungsschicht**

- 9.1 Architektur der Anwendungsprotokolle im Internet
- 9.2 smtp für elektronische Post
- 9.3 ftp für Dateitransfer
- 9.4 nfs für den Fernzugriff auf Dateien im Netz
- 9.5 telnet für virtuelles Terminal (remote login)
- 9.6 http für das World Wide Web
- 9.7 Telefondienste über IP

### **10. Formale Methoden zur Spezifikation von Protokollen**

## 11. Verzeichnisdienste

11.1 Architektur des Domain Name Service (DNS)

11.2 Protokolle des DNS

## Literatur (1)

1. **Bocker, P.:** ISDN – The Integrated Services Digital Network, 2. Auflage, Springer-Verlag, 1992
2. **Comer:** Internetworking with TCP/IP, Vol.1; Prentice-Hall, 1995
3. **De Prycker, Martin:** Asynchronous Transfer Mode. 3<sup>rd</sup> edition, Prentice Hall Europe, 1995
4. **Halsall, Fred:** Data Communications, Computer Networks and Open Systems. 3<sup>rd</sup> edition, Addison-Wesley, 1992
5. **Huitema, Ch.:** Routing in the Internet, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1995
6. **Huitema, Ch.:** IPv6, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1995
7. **Kuo, Frank, Effelsberg, Wolfgang und Garcia-Luna-Aceves, J.J.:** Multimedia Communications - Protocols and Applications. Prentice Hall, Upper Saddle River, 1998
8. **Partridge, C.:** Gigabit Networking. Addison Wesley, 1994
9. **Peterson, Larry L. and Davie, Bruce S.:** Computer Networks - A Systems Approach. Morgan Kaufmann Publishers, 1996

## Literatur (2)

10. **Tanenbaum, A.S.:** Computer Networks. 3<sup>rd</sup> edition, Prentice Hall, 1996
11. **Zitterbart, M.:** Hochleistungskommunikation, Band 1: Technologie und Netze. Oldenbourg, München/Wien, 1995
12. **Zitterbart, M.:** Transportdienste und Transportprotokolle (Hochleistungskommunikation, Band 2), Oldenbourg, München/Wien, 1996
13. **Zitterbart, M., Schmidt, C.:** Internetworking - Brücken, Router&Co.; TAT-Band 8, International Thomson Publishing, 1995

# 1.1 Geschichte der Rechner und der Rechnernetze

- 1950: Hauptspeicher 64 KB  
BATCH-Betriebssystem, Einbenutzerbetrieb  
Programmierung in Assembler  
Peripherie: Lochstreifen
- 1960: Hauptspeicher 64 KB (Magnetkerne)  
BATCH, Multiprogramming, I/O-Kanäle  
FORTRAN, COBOL  
Magnettrommel, Magnetplatte, Magnetband,  
Lochkarten
- 1970: Hauptspeicher 256 KB (Halbleiter/Magnetkerne)  
Virtueller Speicher, Paging  
Time-Sharing-Betriebssysteme  
Terminals für Systemprogrammierer
- 1980: Hauptspeicher 1 MB (Halbleiter)  
Time-Sharing + TP-Monitor  
Terminal-Netze über Sandleitungen  
Interaktive Programmentwicklung am Terminal  
Transaktionsverarbeitung On-Line am Terminal  
Magnetplatte, Magnetband

## Geschichte der Rechner (2)

- 1990: Leistungsstarke Arbeitsstationen und PCs mit 1 MB Hauptspeicher, 1 MIPS, 1 Mio. Bildpunkte  
Abteilungsrechner  
Zentrale Großrechenzentren  
Benutzerfreundliche Programme auf PCs  
UNIX  
PASCAL, C  
LAN, WAN mit Paketvermittlung (X.25)  
Netzarchitekturen der Hersteller  
ISO-OSI-Architektur  
Glasfaserkabel  
Mobilfunk
- 1998: PCs und Unix-Workstations weit verbreitet  
64 MB Hauptspeicher, RISC, 64 Bit CPU  
Abteilungs-Server derselben Architektur  
Zentrale Großrechenzentren  
Windows 98, Unix  
C, C++  
LAN (100 MBit/s), ATM als Backbone,  
Internet-Protokolle dominieren alles, WWW; lokale PC-Netze; Glasfaserkabel, Mobilfunk, Satelliten (LEO); Aufhebung des Postmonopols im Weitverkehr

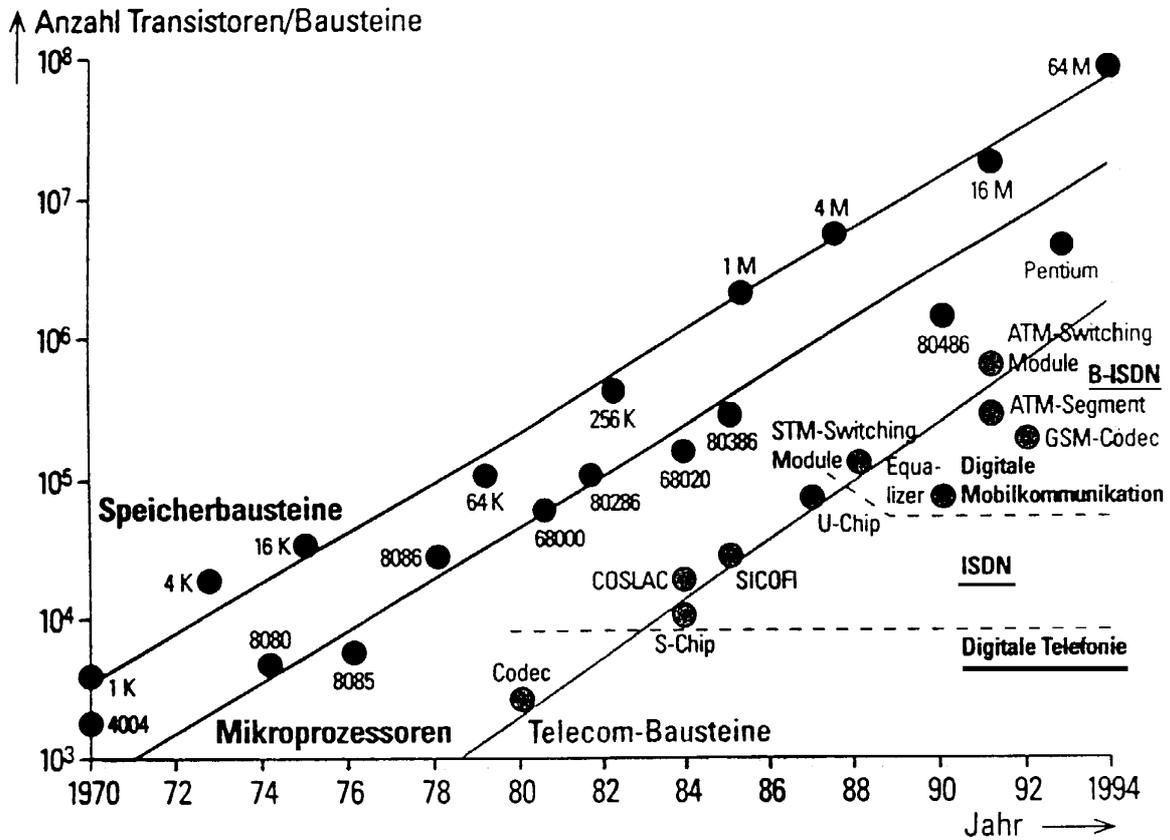
## Geschichte des Internet

- 1965: Experimentelles Rechnernetz mit drei Rechnern am MIT aufgebaut
- 1968: Verbindung von Rechnern über ein gemeinsames Medium  
Ziel: Datenübertragung bei einem nuklearen Unfall
- 1969: Gründung der Network Working Group  
Die ersten vier Rechner werden miteinander verbunden  
(UCLA, UCSB, SRI, University of Utah)
- 1971: Experiment: Einloggen in entfernte Rechner  
Nutzung von E-mail
- 1972: Erste öffentliche Demonstration des Netzwerkes
- 1973: Erste Satelliten-Übertragungstrecke (Hawaii-CA)
- 1973/74: Entwurf der TCP/IP-Protokolle zur Verknüpfung verschiedener Netze
- 1975: Verwaltung an das Department of Defense übergeben
- 1980: TCP/IP-Protokolle in Berkeley UNIX
- Ende 80er: Internet breitet sich in Europa, Australien, ... aus  
Wachstumsrate: 10-15% Rechner pro Jahr  
über 25% Verkehr pro Jahr

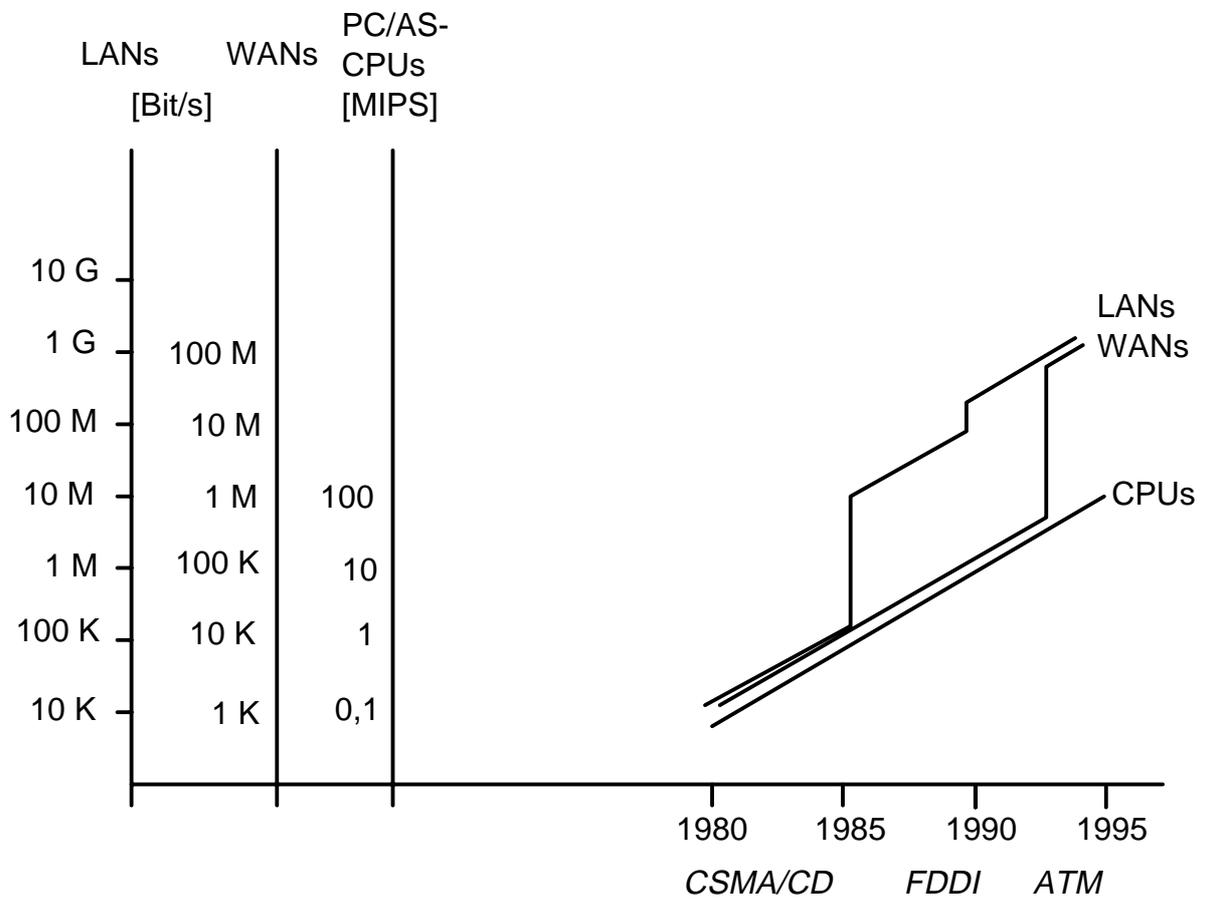
## Geschichte des Internet (2)

- 1989- 85% Zuwachs an Rechnern zwischen '89 und '92  
92: (80.000 Rechner '89, 727.000 Rechner '92)  
• 2.056.000 Rechner 1993!!
- 1991- 105% Zuwachs an Datenvolumen ( $1.1 \cdot 10^{13}$   
98: Bytes/Monat)  
120% Zuwachs an Netzen (28.578)  
IP Version 6 erscheint im Markt  
IP Telephony wird populär

# Fortschritte in der Mikroelektronik



# MIPS, LANs und WANs



## 1.2 Typen von Rechnernetzen, Abgrenzung

Kopplung unabhängiger Rechner zum Zweck des Datenaustauschs

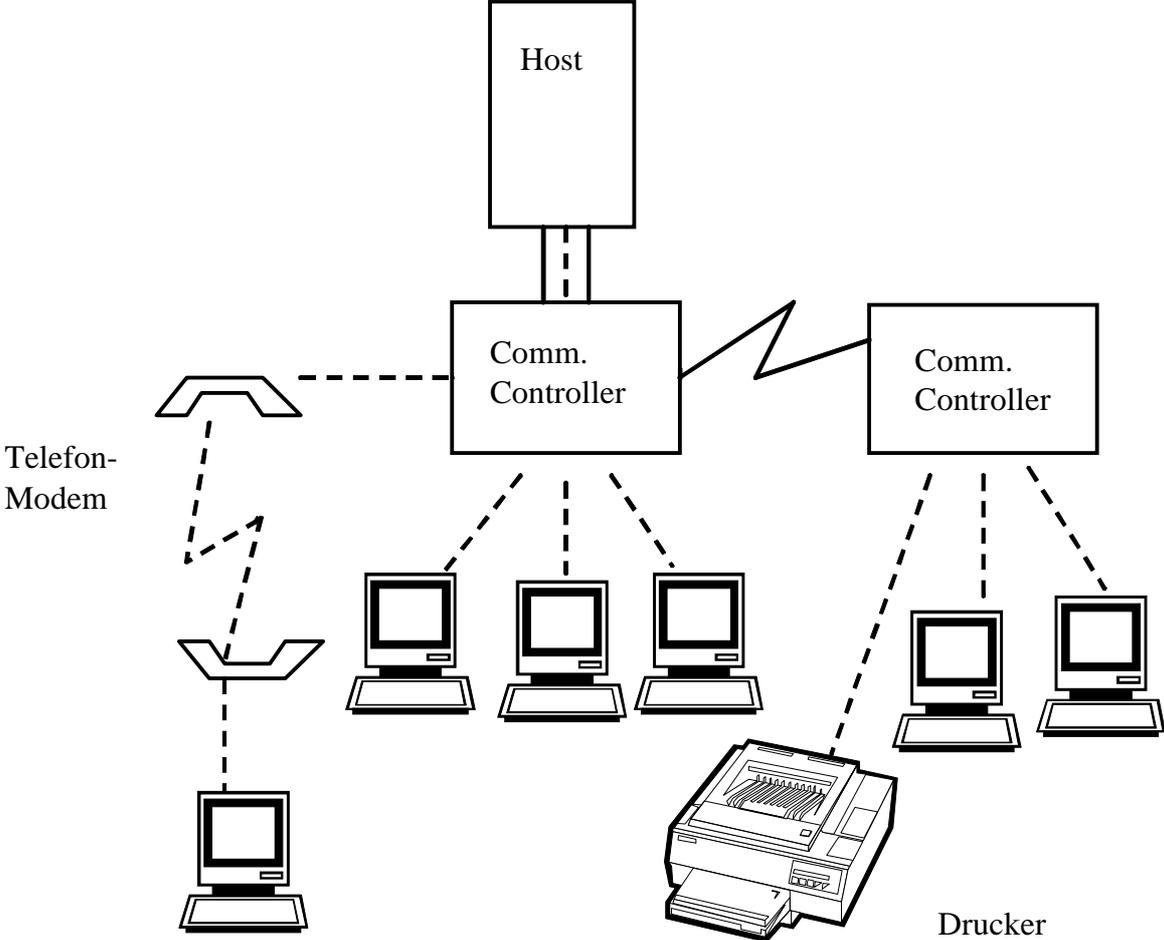
### Abgrenzung gegenüber

- Bus, Kanal
- Interkonnektionsnetz eines Parallelrechners (Mehrprozessor-System vs. Verteiltes System)
- Terminalnetz
- DC-System, TP-Monitor

## Ziele der Rechnernetze

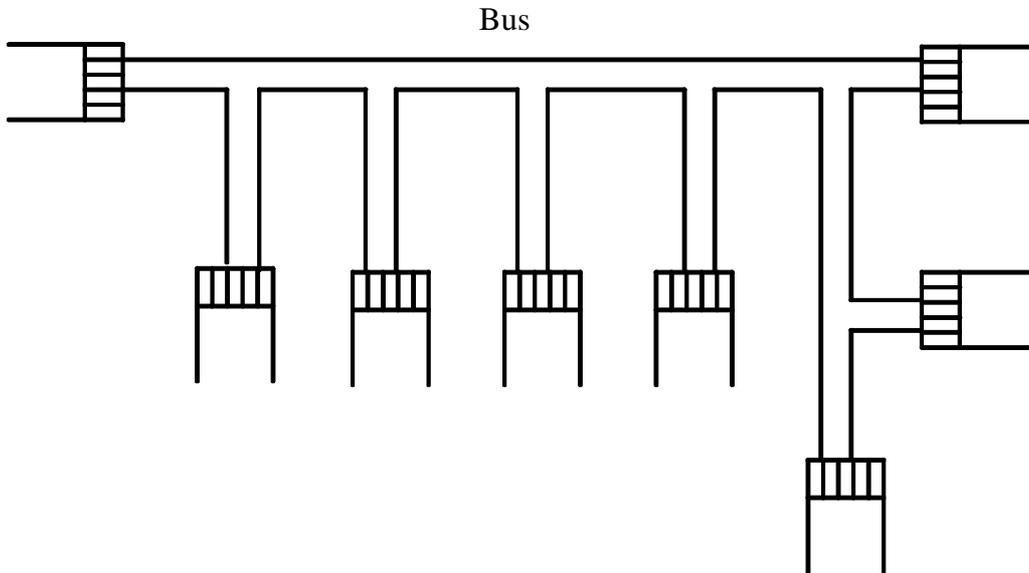
- **Datenverbund**  
Zugriff auf entfernte Daten
- **Funktionsverbund**  
Zugriff auf Spezialrechner, z.B. Server
- **Lastverbund**  
gleichmäßige Lastverteilung
- **Verfügbarkeitsverbund**  
Fehlertoleranz, schrittweises Wachstum

# Terminalnetz

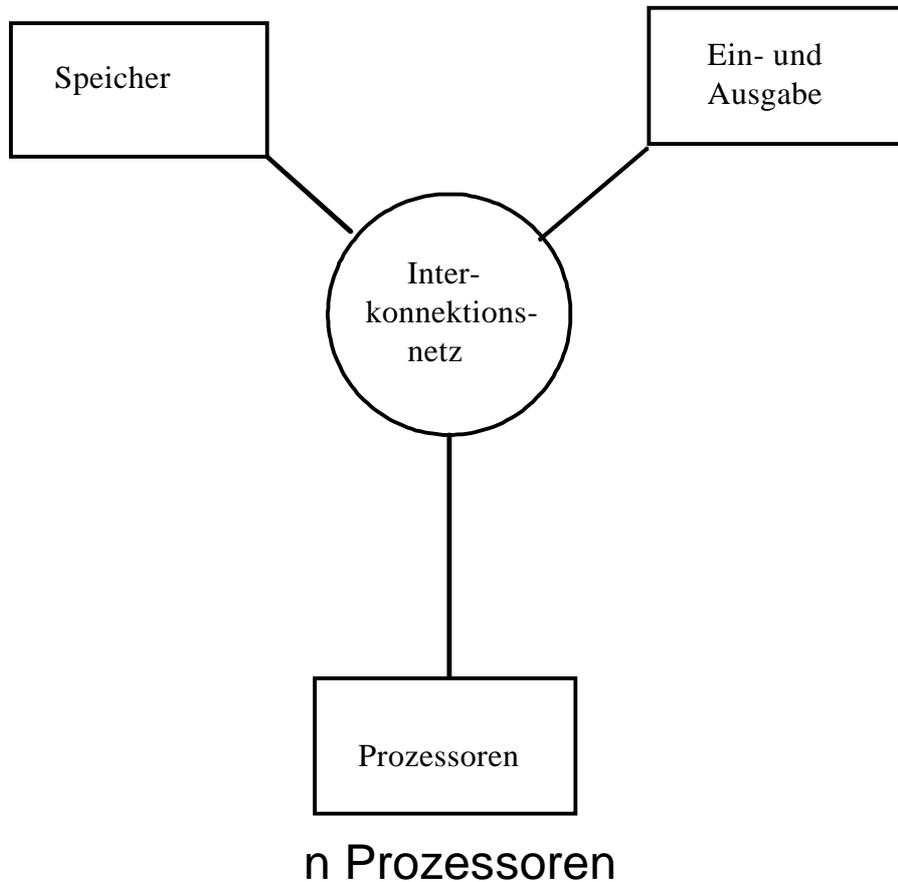


# Bus und Interkonnektionsnetz

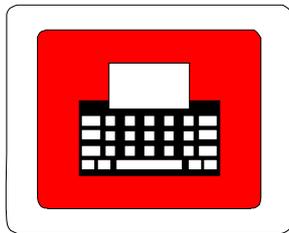
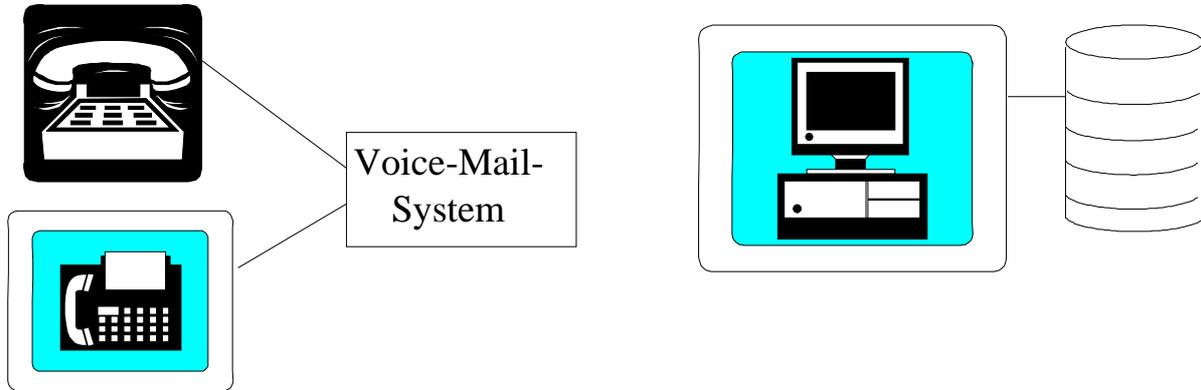
## Bus in einem Rechner



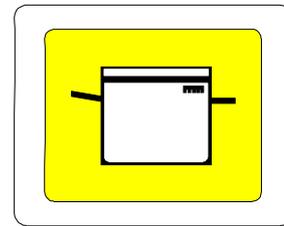
## Interkonnektionsnetz in einem Parallelrechner



## Bürosysteme (historisch)



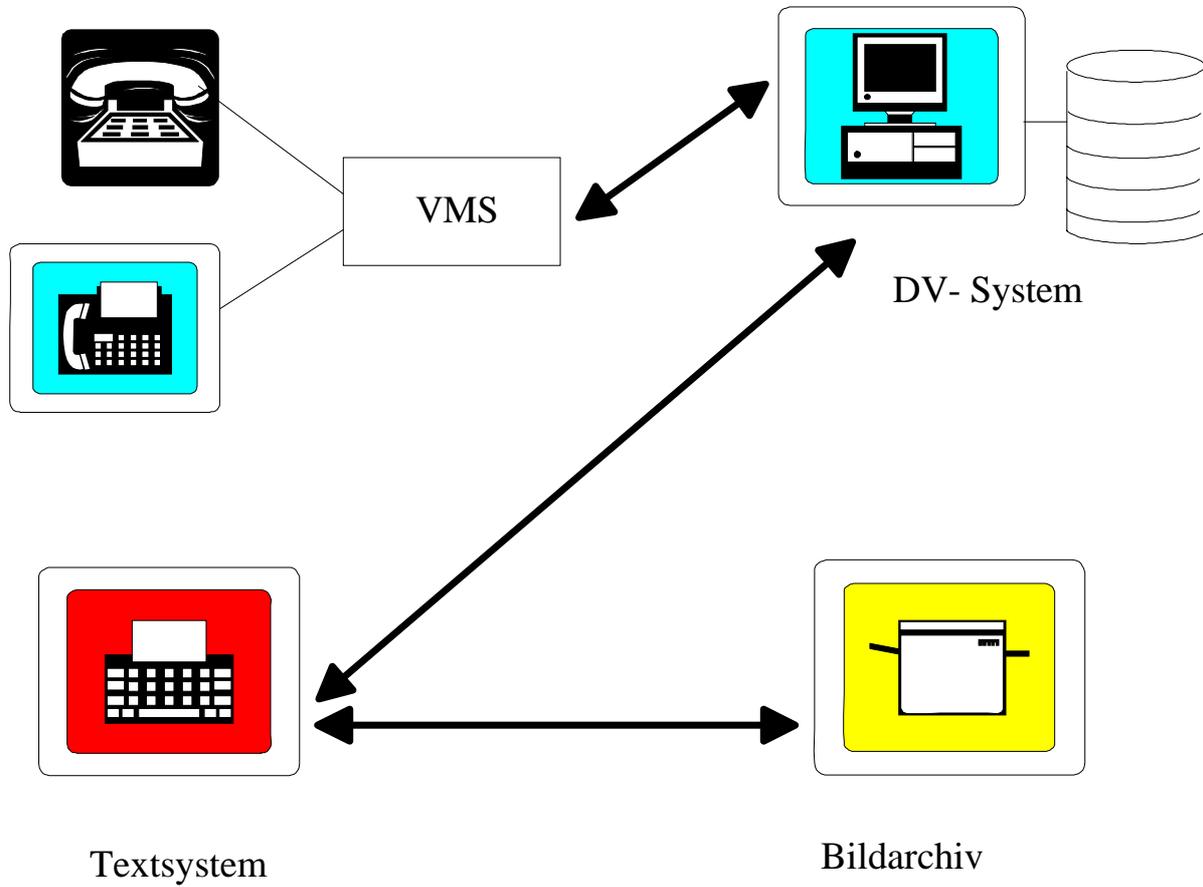
Speicherschreibmaschine  
Textsystem (PC)



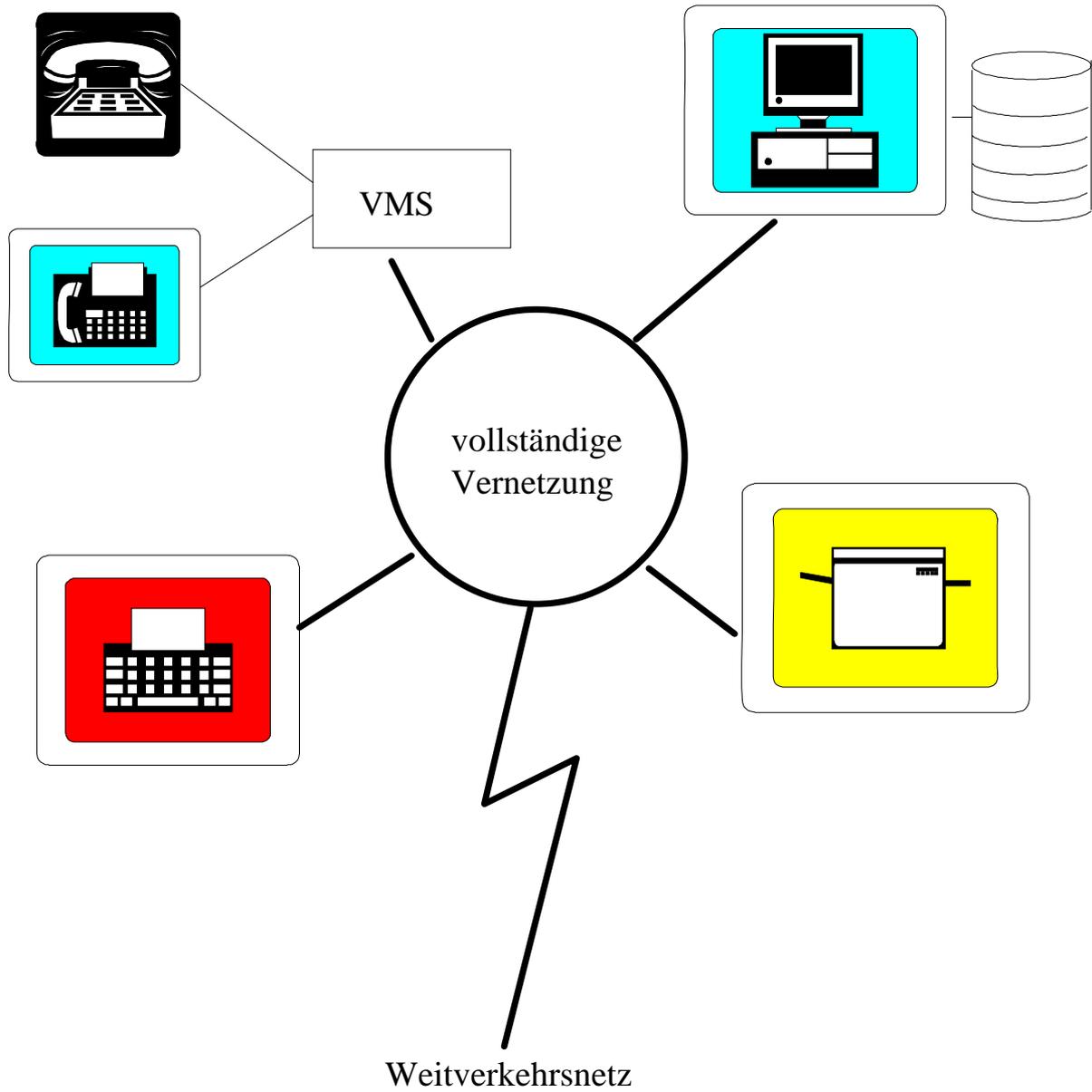
Bildarchiv

Verschiedene unabhängige Subsysteme

# Kommunikation zwischen unabhängigen Subsystemen



# Zielsetzung



## 1.3 Normungsgremien

### Normung des Begriffs "Normung" (DIN 820)

Normung ist die planmäßige, durch die interessierten Kreise gemeinschaftlich durchgeführte Vereinheitlichung von materiellen und immateriellen Gegenständen zum Nutzen der Allgemeinheit.

### Normungsinstitutionen

- International Organization for Standardization (ISO)
- International Telecommunications Union (ITU) Ehemals: Comite Consultatif International de Télégraphie et Téléphonique (CCITT)
- European Computer Manufacturers Association (ECMA)
- CEN/ CENELEC/ ETSI (europäisch)
- National Institute of Standards and Technology (NIST)

## International Standards Organization (ISO)

- Normung auf internationaler Ebene
- Mitglieder: Nationale Normungsgremien (DIN, ANSI, AFNOR,...)
  - ISO TC 97: Information Processing Systems
  - DIN: Normungsausschuß Informationsverarbeitung (NI)
  - TC 97/SC 6: Data Communications
  - TC 97/SC 18: Text and Office Communications
  - TC 97/SC 21: Open Systems Interconnection
- Stufen einer Norm
  - a) Working Draft (WD)
  - b) Draft Proposal (DP)
  - c) Draft International Standard (DIS)
  - d) International Standard (IS)
- Normen besitzen keine Rechtsverbindlichkeit

## International Telecommunications Union (ITU)

### ehemals: Comité Consultatif International de Télégraphie et Téléphonique (CCITT)

- Internationale Vereinigung der Postgesellschaften (Telecoms)
- Vollversammlung alle 4 Jahre ( ..., 1980, 1984, 1988, 1992, 1996 ...)
- Verabschiedung von Empfehlungen (Recommendations)
- Verwendung verschiedener Farben für die Empfehlungen jeder Vollversammlung
  - gelb (Yellow Books) (1980)
  - rot (Red Books) (1984)
  - blau (Blue Books) (1988)
- ITU ist eine UN-Organisation
  - ITU-R (ITU Radiocommunication Standardization Sector)
  - ITU-T (ITU Telecommunication Standardization Sector)
- gegliedert in 15 Studienkommissionen
  - Studienkommission 7: Data networks and Open Systems communication

## CEN/CENLEC/ETSI

- europäische Normungsinstitute
- europaweite Harmonisierung der nationalen Normen
- Functional Standards, Profiles

und viele weitere

## Standards im Internet

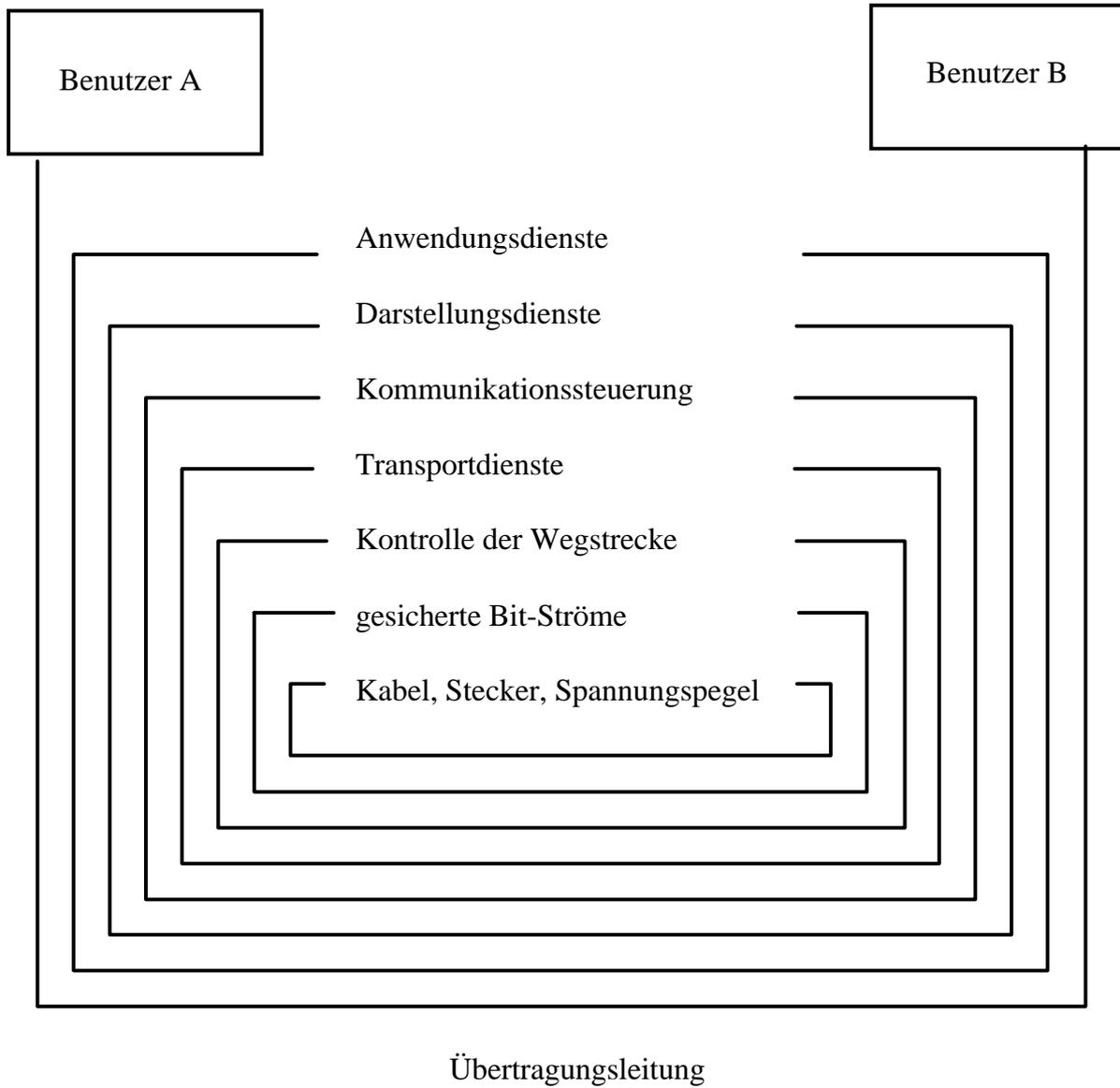
- Gründung des IAB (Internet Activity Board)
- IAB
  - IETF (Internet Engineering Task Force)
  - IRTF (Internet Research Task Force)
- RFC (Request for Comment)
- sind nicht immer Standarddokumente, können auch rein informell sein
- Arbeitsgruppen mit jeweils einem Leiter
  - Mitglied der Arbeitsgruppe kann jeder werden
  - Kommunikation erfolgt vorwiegend über E-Mail oder Videokonferenzen
  - typische Arbeitszeit: 9-18 Monate
  - Ergebnis: Proposed Standard
- Draft Standard: mindestens zwei unabhängige Implementierungen; Interoperabilitätstests; Stabilität über 4 Monate ---> Internet Standard

## Industriekonsortien

- Zusammenschluß vorwiegend industrieller Partner
- Ziel: rasche Realisierung kompatibler Produkte
  - deshalb: schnelle Entwicklung eines gemeinsamen de-facto Standards
- Einbringung der Ergebnisse in die internationale Standardisierung
- Beispiele:
  - ATM-Forum
  - SMDS Interest Group
  - BONDING (Bandwidth on Demand Interoperability Group)
- Problem: Vorgehensweise manchmal zu schnell, so daß interessante und richtungsweisende Forschungsergebnisse keinen Eingang in die de-facto Standardisierung finden.

# 1.4 Protokollhierarchien

## Strukturierung des Problems



## 1.5 Das ISO-Referenzmodell für Offene Systeme

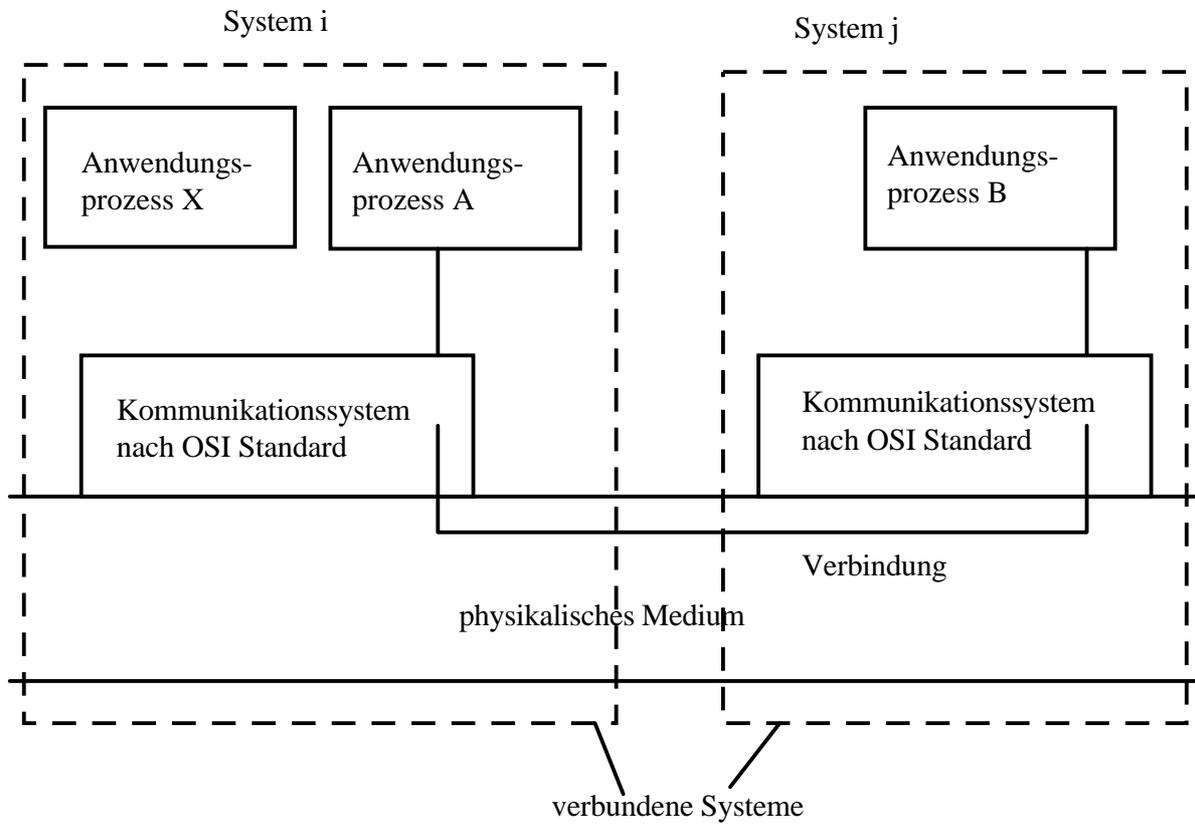
- OSI = OPEN SYSTEMS INTERCONNECTION
- Kurz: ISO/OSI-Referenzmodell
- ISO International Standard 7498
- Ein Modell für geschichtete Kommunikationssysteme
- Einführung der Grundbegriffe (Terminologie)
- Schlägt sieben Schichten und ihre Funktionalität vor

Schicht	ISO
7	Anwendungsschicht
6	Darstellungsschicht
5	Kommunikationssteuerungsschicht
4	Transportschicht
3	Vermittlungsschicht
2	Sicherungsschicht
1	Bitübertragungsschicht

# Strukturierung des Problems



# OSI - Kommunikationssystem



## Grobstruktur im ISO-Referenzmodell

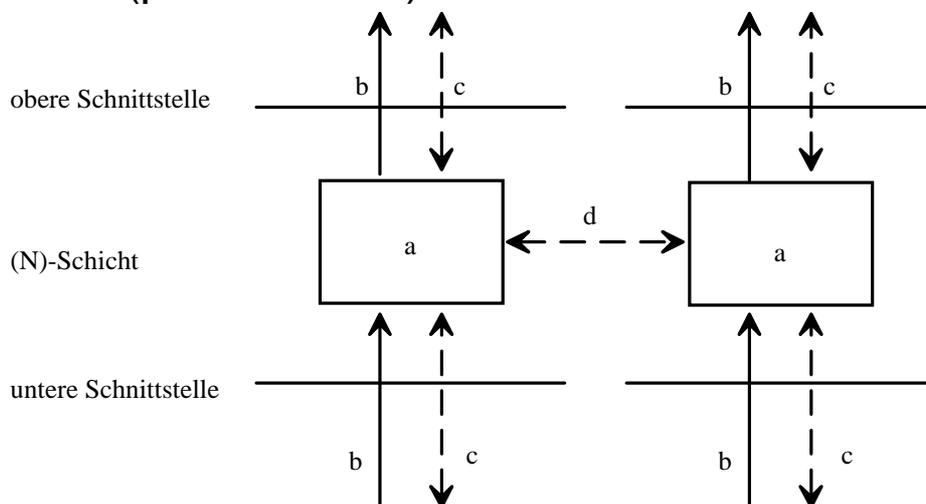
- Transportorientierte Schichten; Technische Erbringung von Bitstrom-Übertragungen
  - Elementare Nachrichtenübertragung: nur Bedürfnis des Nachrichtenaustauschs unterstellt
  - Kein Bezug auf Kooperationsbeziehung der Dienstnehmer
  - Inhalt der Nachricht transparent (ohne Bedeutung für die transportorientierten Schichten)
- Anwendungsorientierte Schichten; Anwendungsbezogene Kommunikationsdienstleistungen
  - Kooperation der Teilnehmer (Systemzweck) in formaler Weise berücksichtigt
  - Steuerung des Ablaufs
  - Informationsdarstellung
  - Kompensation von Fehlverhalten

## Prinzipien des ISO-Referenzmodells

- Offenes System
  - Rechnersystem (Hardware, Software, Peripherie, ...), das sich bei der Kommunikation an die OSI-Standards hält
- (N)-Schicht
  - wird aus sämtlichen Einheiten einer (N)-Hierarchiestufe in allen offenen Systemen gebildet
- (N)-Instanz, (N)-Entity; Implementierung einer (N)-Schicht in einem System
  - es kann verschiedene Typen von (N)-Instanzen geben, die verschiedene Protokolle für die (N)-Schicht implementieren
- Partnerinstanzen, Peer-Entities
  - Instanzen derselben Schicht an verschiedenen Orten. Partnerinstanzen erfüllen die Funktionen einer Schicht durch Datenaustausch

## Schicht

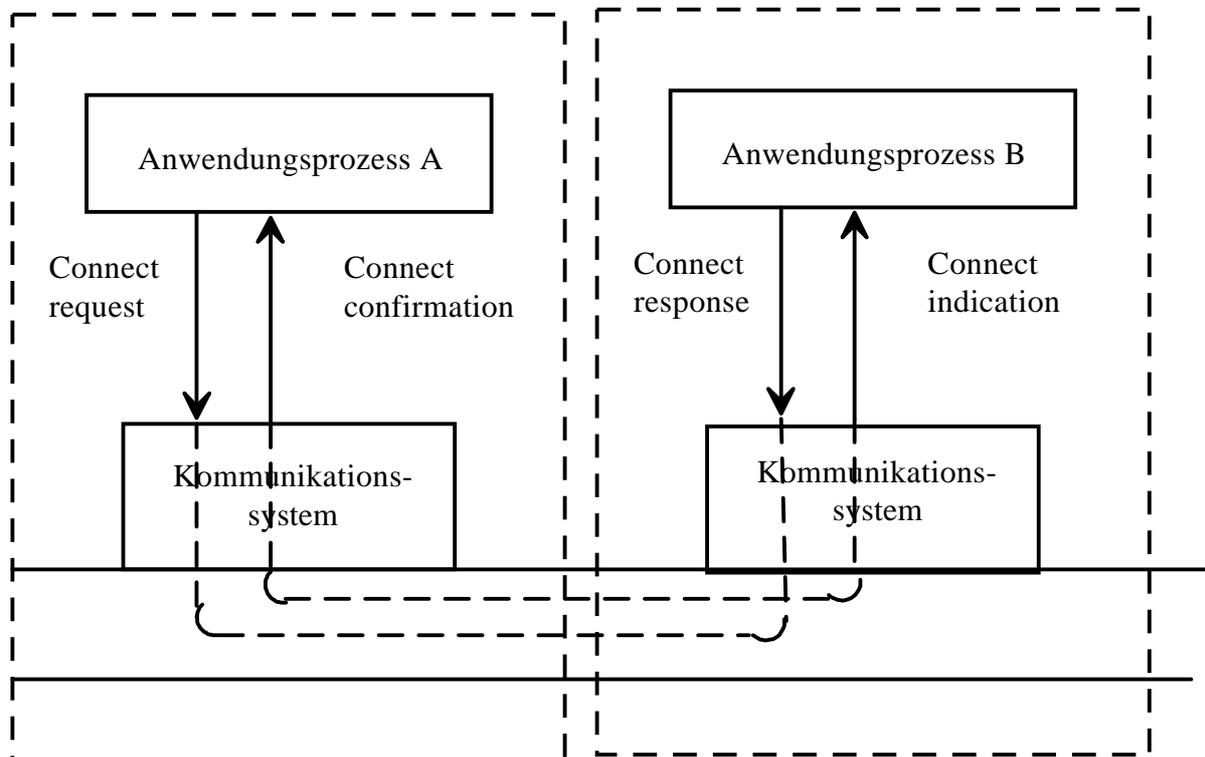
- Hauptaufgabe jeder Schicht ist es, der darüberliegenden Schicht Dienste anzubieten. Diese Dienste setzen sich zusammen aus:
  - Dienstleistungen, die innerhalb dieser Schicht erbracht werden, und
  - dem kumulativen Resultat der Dienstleistungen aller darunterliegenden Schichten.
- Schichten sind über sogenannte Dienstprimitive miteinander verknüpft.
- Direkte Kommunikation mit Schichten (N+1) und (N-1)
- Indirekte Kommunikation (Protokoll) mit Partnerinstanzen (peer entities)



a = gleichgestellte (N)-Instanzen (Peer Entities)  
b = Dienstleistungen (Layer Service)  
c = Dienstprimitive (Service Primitives)  
d = Protokoll unter gleichgestellten (Peer Protocol)

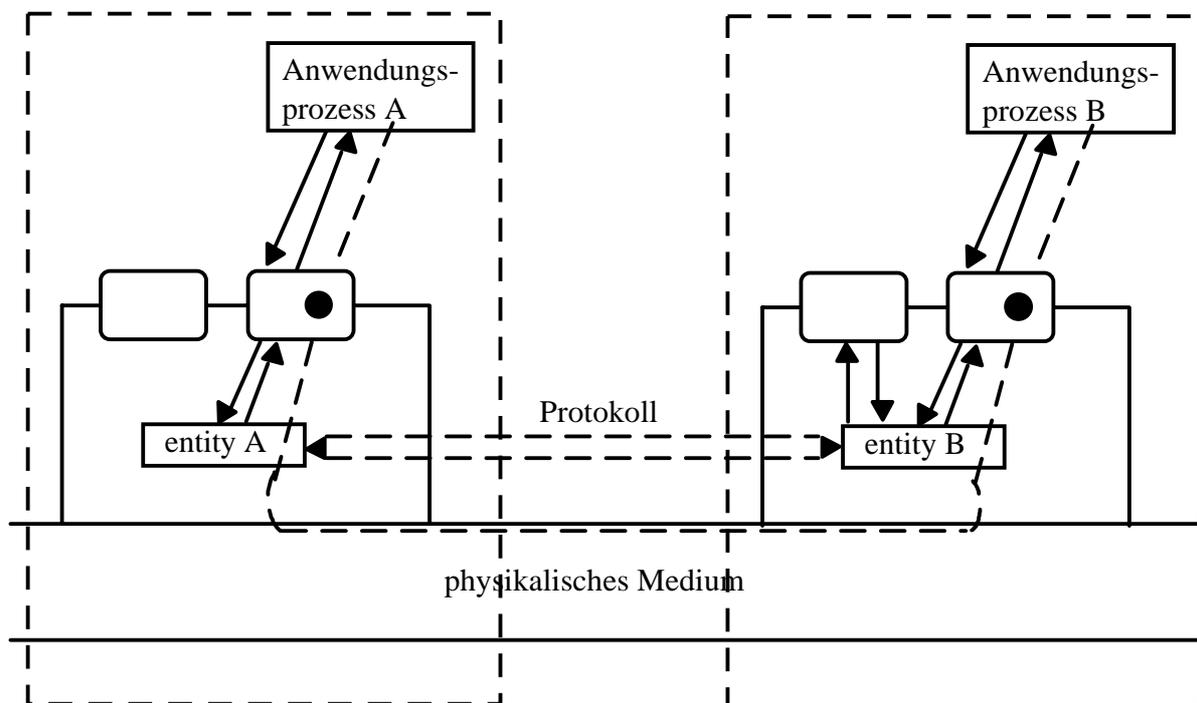
# Ereignisse zwischen Anwendungsprozeß und Kommunikationssystem

## Beispiel: CONNECT (Verbindungsaufbau)

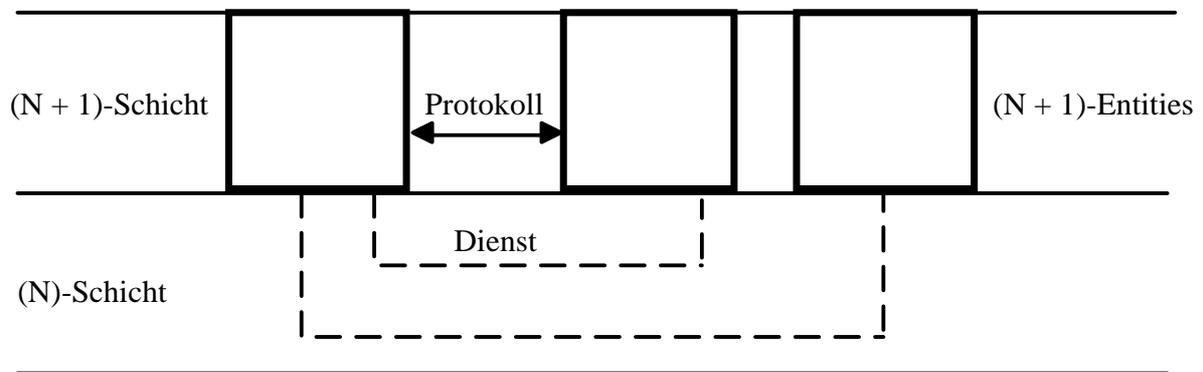


# Protokoll

Menge der Regeln für den Datenaustausch  
zwischen Entities derselben Schicht

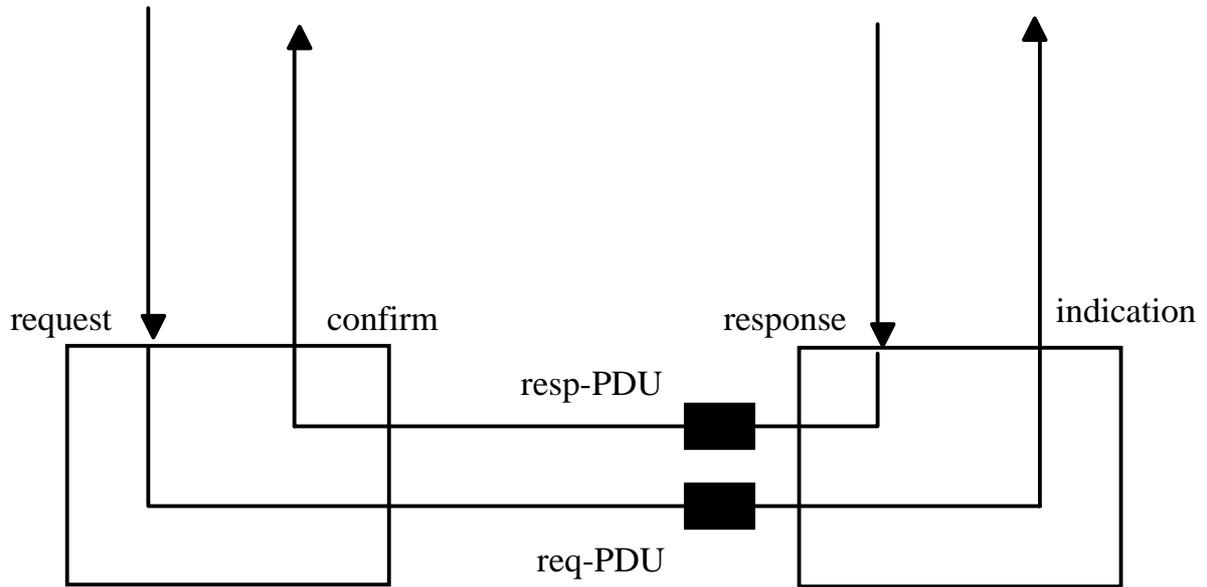


# Dienst und Protokoll



Das Protokoll der Schicht (N+1) benutzt die Dienste der Schicht (N).

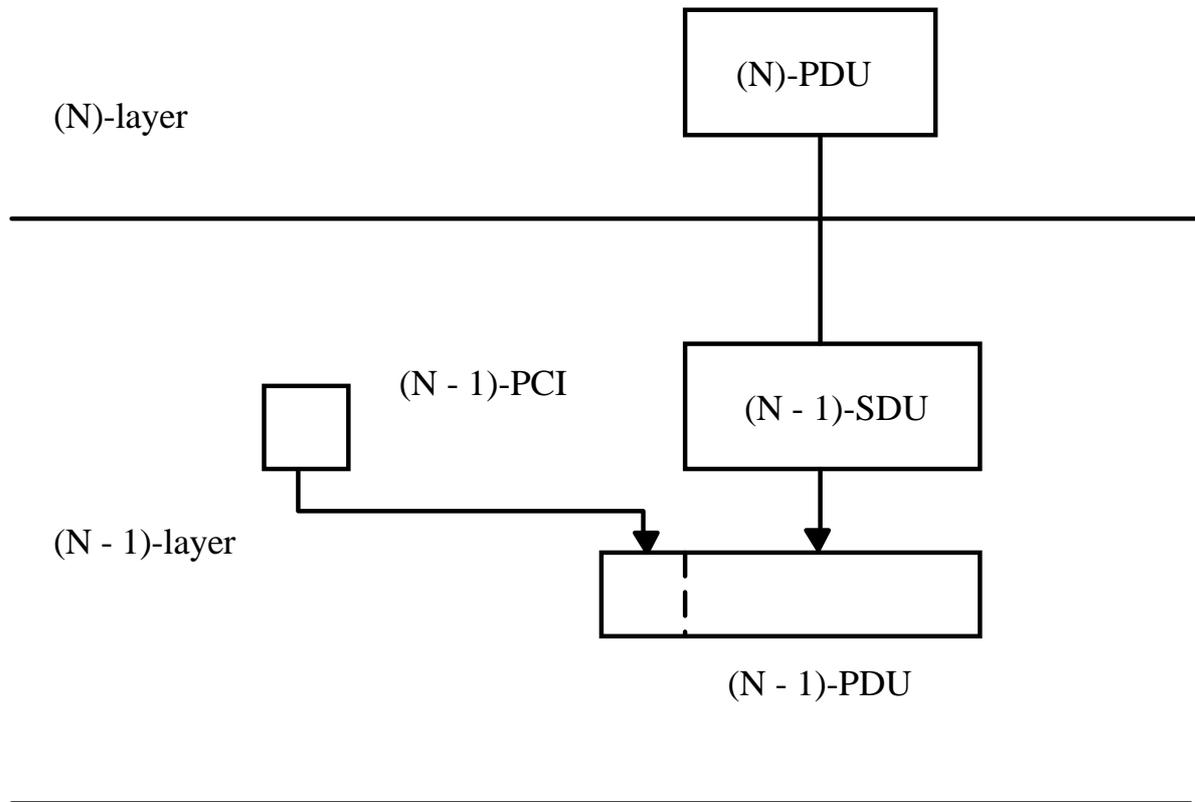
# Dienstereignisse und Protokoll dateneinheiten



## Arten von Dienstprimitiven

- **Anforderung (Request)**
- Aktivieren einer Dienstleistung durch den Benutzer.
- **Anzeige (Indication)**
  - Dem Benutzer anzeigen, daß vom entfernten Benutzer ein Dienst angefordert wurde, oder daß eine Dienstleistung vom Anbieter der Dienstleistung selbst ausgelöst wurde.
- **Antwort (Response)**
  - Quittieren einer vorherigen Anzeige durch den Benutzer.
- **Bestätigung (Confirmation)**
  - Quittieren einer vorherigen Anforderung durch den Anbieter.

## PDU und SDUs (im einfachen Fall)



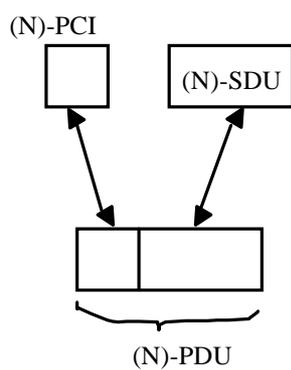
PCI = protocol-control-information

PDU = protocol-data-unit

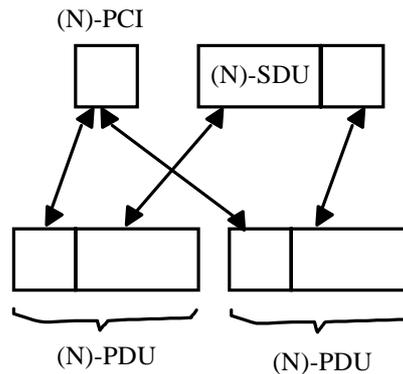
SDU = service-data-unit

# PDUs und SDUs

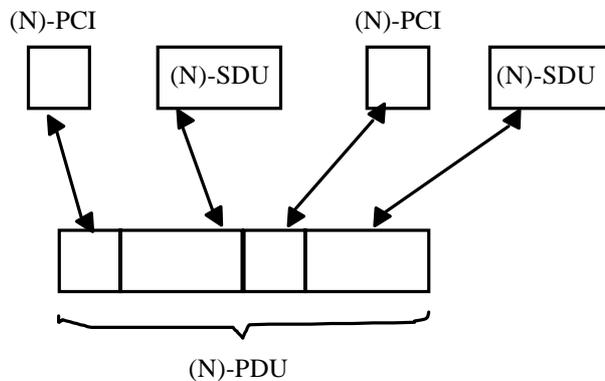
- a) einfacher Fall
- b) Segmenting/Reassembling
- c) Blocking/Deblocking
- d) Concatenation/Seperation



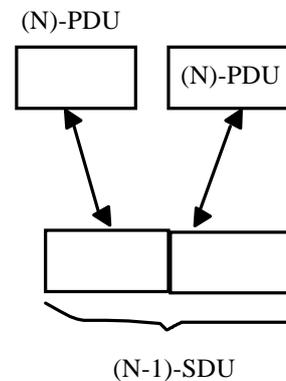
a) Neither segmenting nor blocking



b) Segmenting/Reassembling



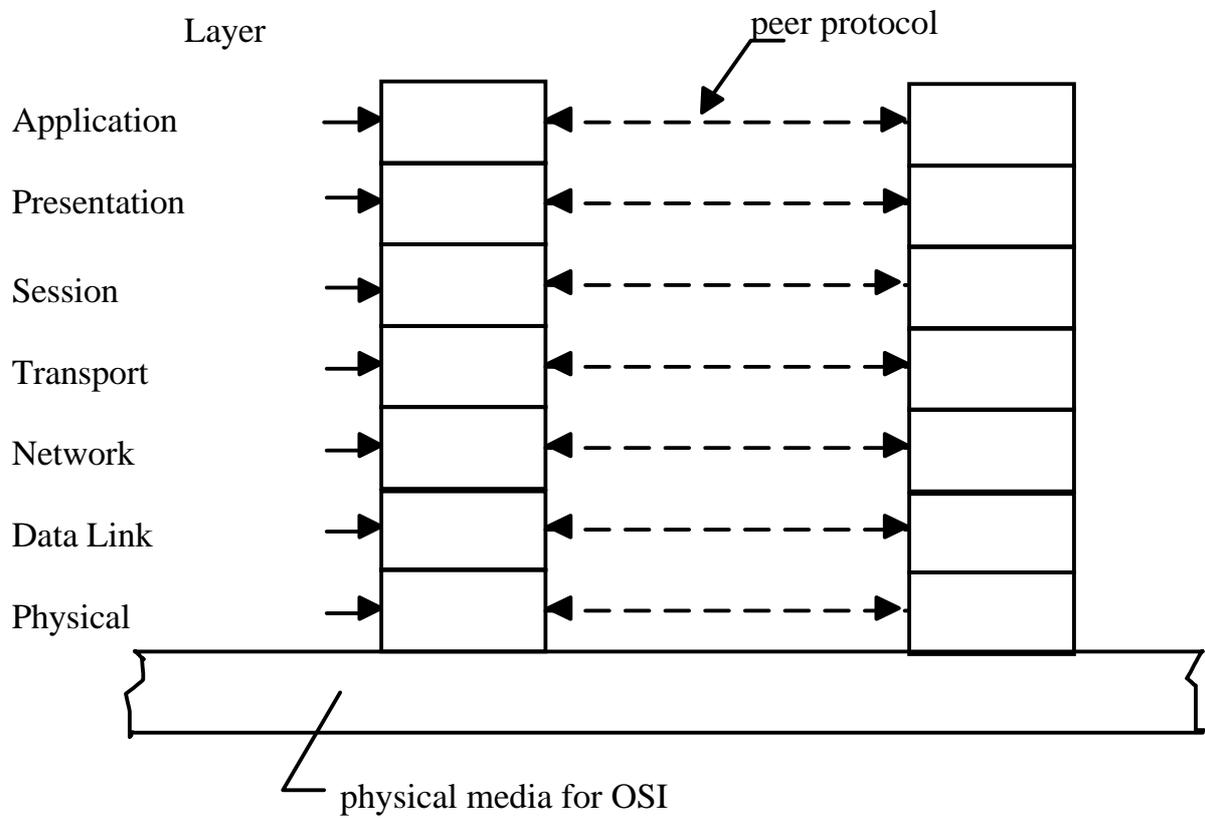
c) Blocking/Deblocking



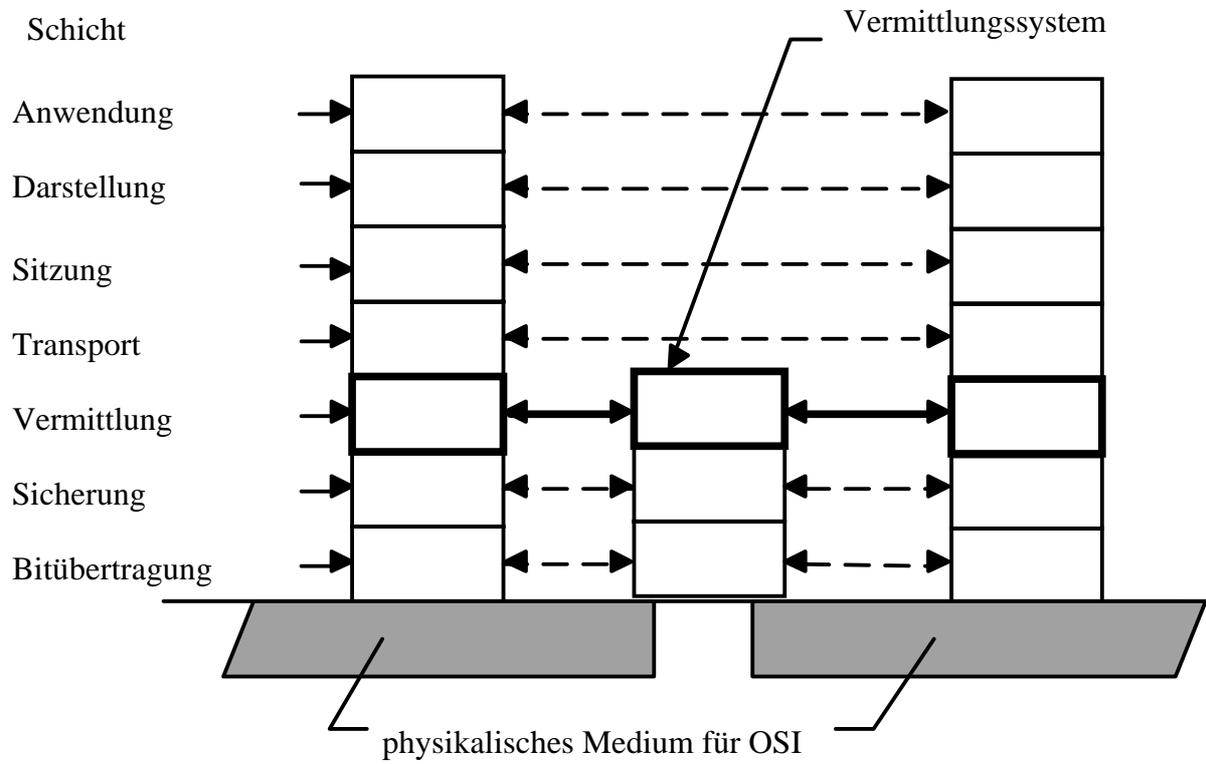
d) Concatenation/Seperation

SDU = service-data-unit  
 PCI = protocol-control-information  
 PDU = protocol-data-unit

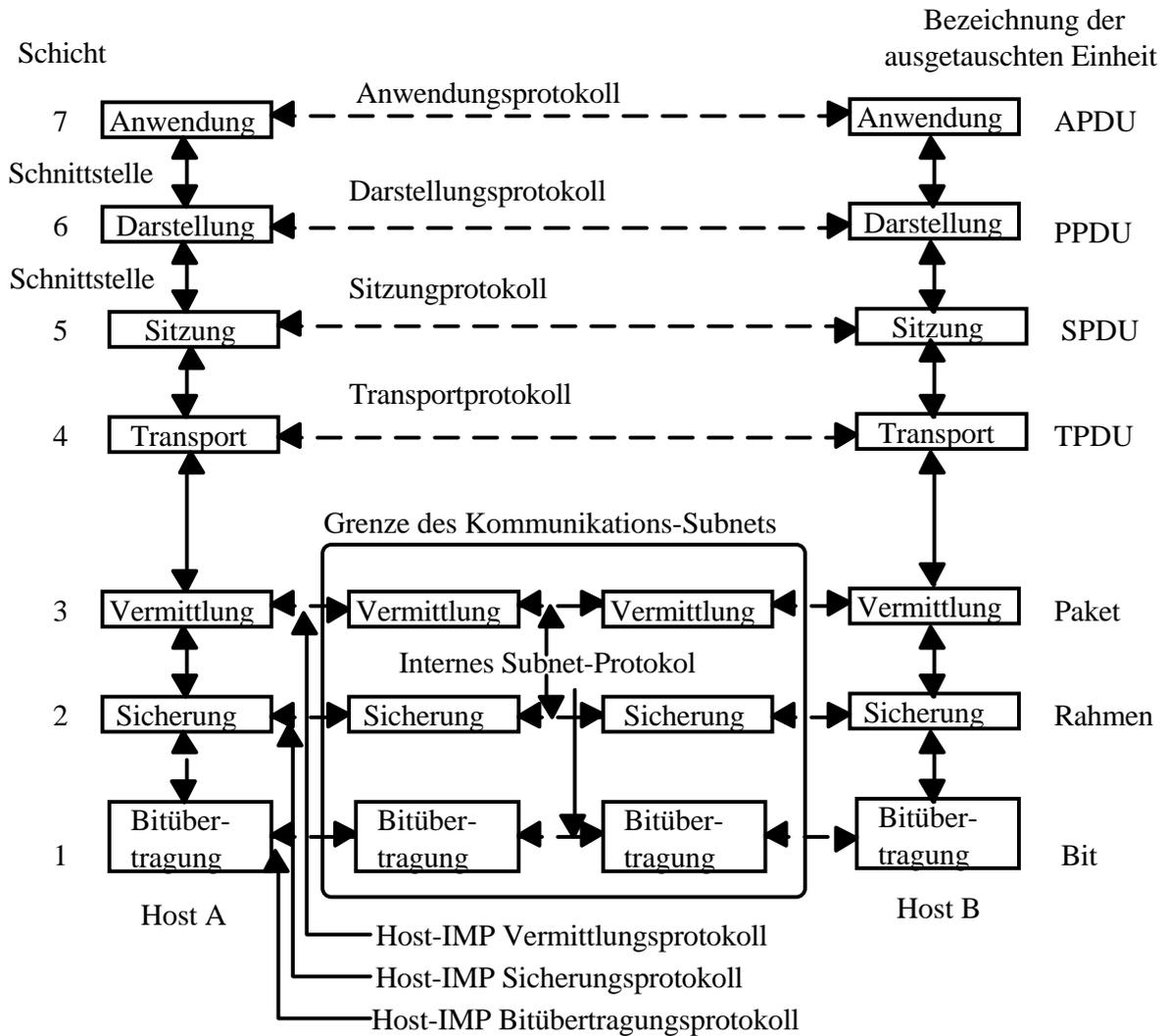
# Referenzmodell und Partnerprotokolle



# Vermittlungssysteme



# ISO - Referenzmodell mit Zwischenknoten

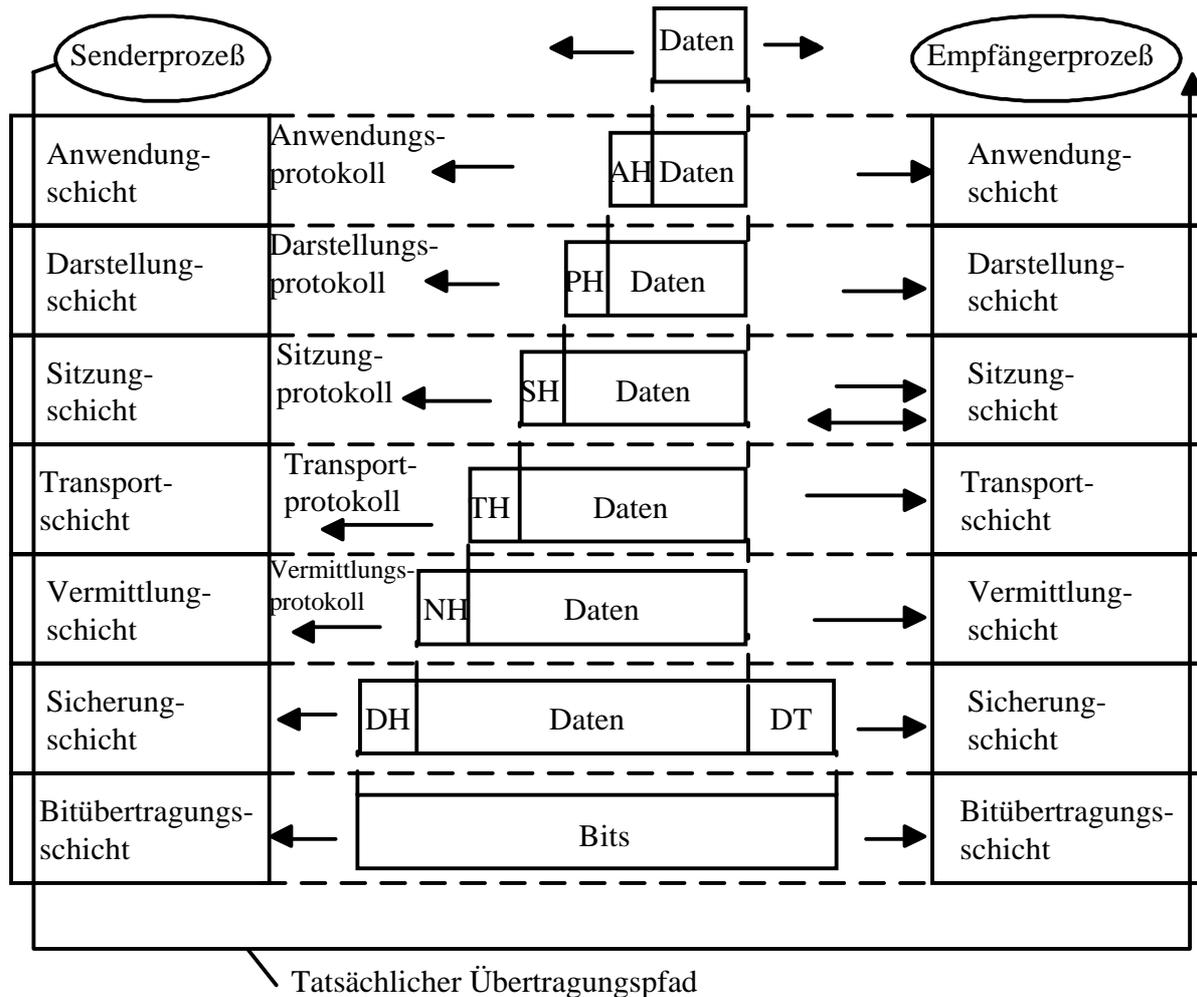


## Die sieben Schichten des ISO-Referenzmodells

- Die Bitübertragungsschicht ermöglicht die transparente Übertragung eines Stroms binärer Information über eine Leitung.
- Die Sicherungsschicht soll insbesondere Übertragungsfehler entdecken und korrigieren.
- Die Vermittlungsschicht übermittelt Daten auf eine transparente Art und Weise. Dazu wird von der Transportschicht eine entsprechende Route ausgewählt.
- Die Transportschicht übermittelt die Daten von Endbenutzer zu Endbenutzer. Sie entlastet den Benutzer von den Details der Datenübertragung.
- Die Kommunikationssteuerungsschicht koordiniert die Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen miteinander kommunizierenden Anwendungsprozessen.
- Die Darstellungsschicht transformiert die Darstellung der übermittelten Daten in eine Form, die von den kommunizierenden Anwendungsprozessen verstanden wird.
- Die Anwendungsschicht beschreibt die Natur der Datenübertragung, um den Anforderungen der Benutzer zu genügen. Die Anwendungsschicht ist die einzige Zugriffsmöglichkeit der Anwendungsprozesse zur Datenübertragung.

## Beispiel

Ein Beispiel dafür, wie das OSI-Modell sich auf Nachrichtenformate auswirkt. Einige der Nachrichtenköpfe (Header) könnten leer sein.



## Schichtenmodelle verschiedener Netzarchitekturen

Layer	ISO	Internet	SNA
7	Application	SMTP, FTP,  telnet, http	End user
6	Presentation		NAU services
5	Session		Data flow control
4	Transport	TCP	Transmission control
3	Network		Path control
		IP	
2	Data link control	Data link control	Data link control
1	Physical	Physical	Physical