

3 Einführung in Rechnernetze

3.1 Bemerkungen zum Internet

3.2 Zur Paketübertragung

3.3 Einfache Netzprogramme

3.4 Ein Modell der Datenübertragung

3.5 Klassifizierung von Netzen

3.6 Erweiterung der TCP/IP-Familie

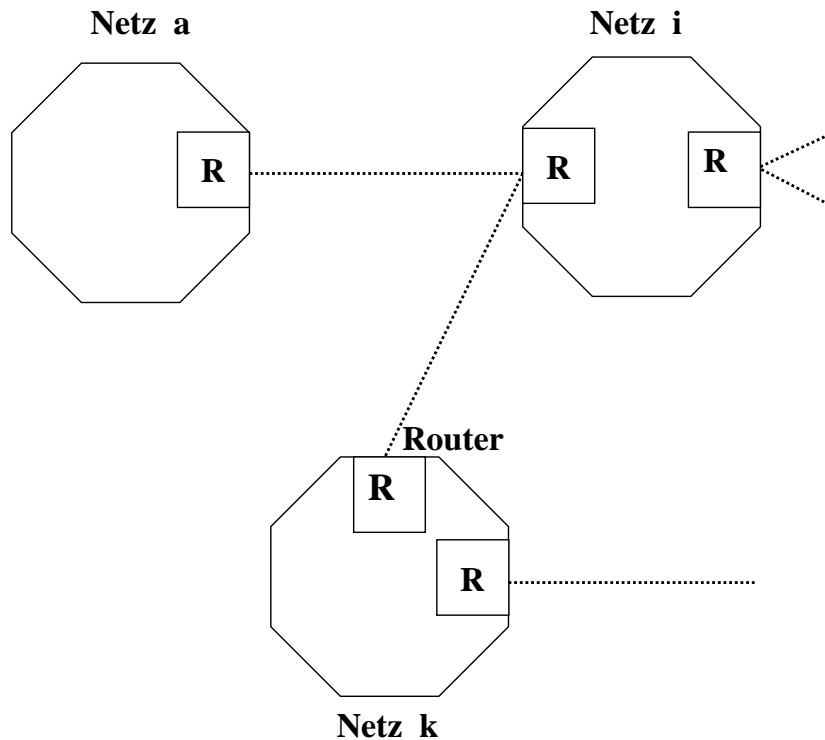
3.7 Systems Network Architecture

3.8 ISO/OSI-Modell

Das Internet:

- **Organisch gewachsen seit 1970.**
- **Ein Netz von Rechnernetzen.**
- **Es nutzt die Technik der Paketvermittlung.**
- **Alle Rechner im Internet sind gleichberechtigt, im Januar 2006 schätzte man ihre Zahl auf 395 Millionen.**
- **Die Zahl der Nutzer des Internet wird für März 2006 auf eine Milliarde geschätzt.**
- **In RFCs (Request for Comments) werden die allgemeinen Regeln zum Betrieb des Internet festgelegt. In April 2006 erschien RFC 4478.**
- **Ein einheitliches Transportprotokoll (TCP/IP) ermöglicht Dienste wie
File Transfer,
Email,
Usenet,
Telnet,
...,
World Wide Web.**

Das Internet: Ein Netz von Netzen



Netzprobleme: Wegewahl,
Durchsatz,
Sicherheit des Datentransports,
Einschränkung des Datenzugriffs.

Wachstum des Internet:

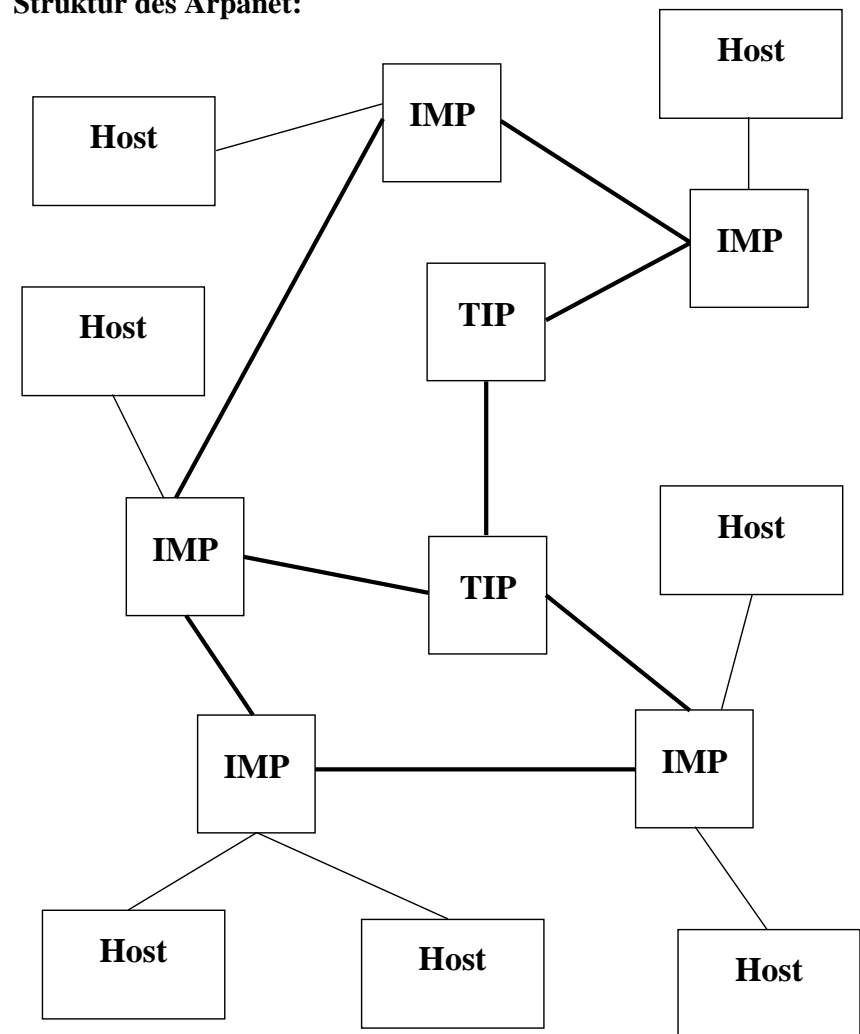
Datum	"Hosts"	Datum	"Hosts"
12/69	4	01/93	1.313.000
06/70	9	07/93	1.776.000
12/70	13	01/94	2.217.000
04/71	23	07/94	3.212.000
10/72	31	01/95	5.846.000
01/73	35	07/95	8.200.000
06/74	62	01/96	14.352.000
03/77	111	07/96	16.729.000
12/79	188	01/97	21.819.000
08/81	213	07/97	26.053.000
05/82	235	01/98	29.670.000
08/83	562	07/98	36.739.000
10/84	1.024	01/99	43.230.000
10/85	1.961	07/99	56.218.000
02/86	2.308	01/00	72.398.092
11/86	5.089	07/00	93.047.785
12/87	28.174	01/01	109.574.429
07/88	33.000	07/01	125.888.197
01/89	80.000	01/02	147.344.723
07/89	130.000	07/02	162.128.493
10/89	159.000	01/03	171.638.297
10/90	313.000	01/04	233.101.481
01/91	376.000	07/04	285.139.107
07/91	535.000	01/05	317.646.084
10/91	617.000	07/05	353.284.187
01/92	727.000	01/06	394.991.609
07/92	992.000		

Bemerkung: Ein Host ist ein Rechner mit eigener IP-Nummer, die Erhebungsmethode wurde mehrmals geändert.

Daten zur Internetentwicklung:

- 1967 Entwurf des ARPANET beschrieben in L. Roberts: "Multiple Computer Networks and Intercomputer Communication", ACM Conf.
- 1969 ARPANET funktionsfähig, Vier-Knoten-Netz im Dezember 1969.
- 1972 Email erfunden (Ray Tomlinson), ALOHAnet (Abramson) angeschlossen, File Transfer Protocol (RFC 354) spezifiziert.
- 1973 Europäische Rechner angeschlossen.
- 1979 Usenet eingeführt.
- 1983 TCP/IP Einführung beendet, Domain System eingeführt.
- 1986 NSFnet installiert.
- 1988 Internet Worm, CERT (Computer Emergency Response Team) gegründet.
- 1990 Ende des ARPANET.
- 1991 Gopher (Lindner, McCahill), WWW (Berners-Lee) und PGP (Zimmerman) eingeführt.
- 1992 Mosaic-Browser eingeführt.

Struktur des Arpanet:



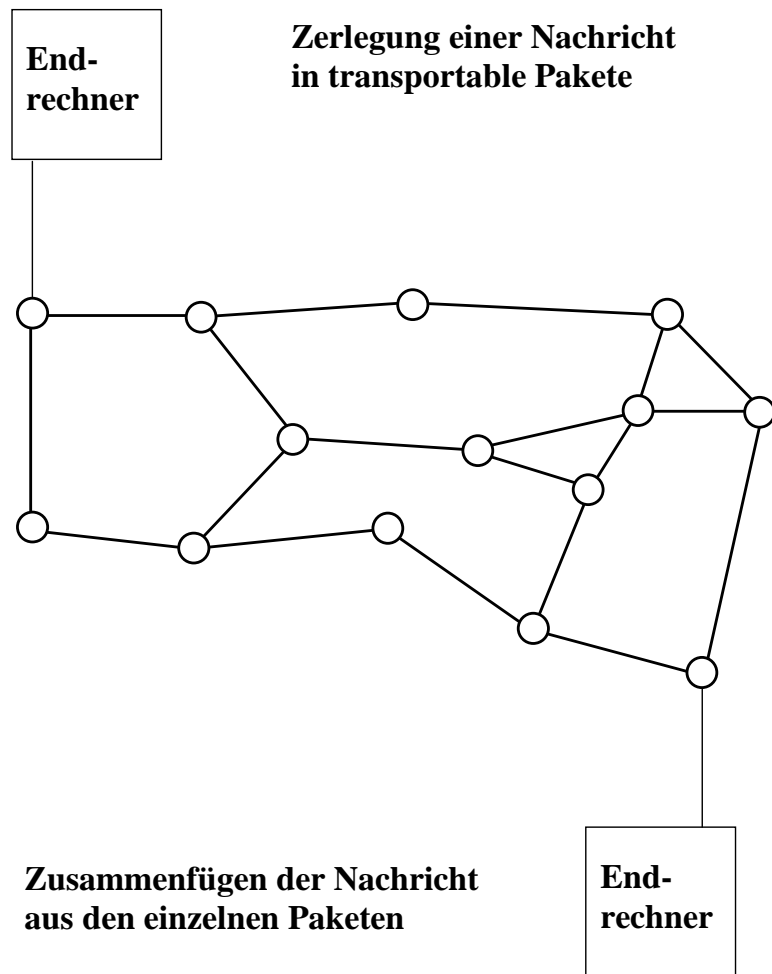
IMP = Interface Message Processor

TIP = Terminal Interface Message Processor

Die IMPs und TIPs sind durch 50 kbps Leitungen verbunden.

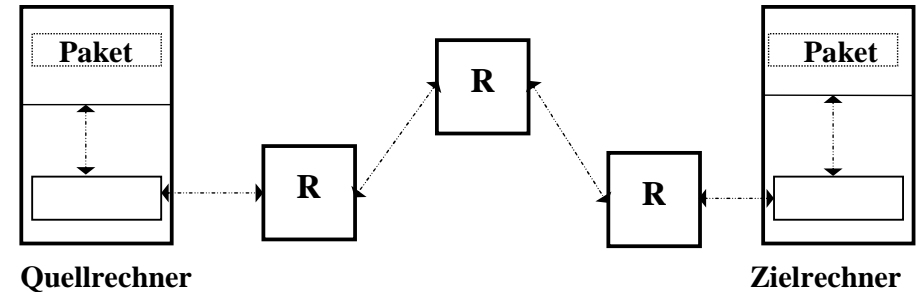
Die IMPs waren ursprünglich Honeywell 516 Minirechner, später Honeywell 316 Minirechner.

Zur Paketübertragung:



Bemerkung: Jedes Paket kann einen anderen Weg durch das Netz zurücklegen. Pakete einer Nachricht können sich überholen.

Zur Paketübertragung durch ein Netzwerk:



Bemerkung: Die Zwischenrechner können verschiedenen autonomen Rechnernetzen angehören.

Probleme:

Netzadressierung (Netze, Rechner, Prozesse),

Adreßumsetzung,

Segmentierung und Reassemblierung,

Wegewahl (Zeitpunkt, Wegaufbau, Wegabbau),

Verbindungswahl,

Verkehrskontrolle (innerhalb eines Netzen, an den Netzeändern),

Fehlerkontrolle (Verlust, Duplizierung, Verfälschung von Paketen, Zeitüberwachung),

Nutzung der Verbindungen (Trennen und Zusammenführen von Datenströmen, verschiedene Multiplexverfahren),

Anpassung an Transportmedium (Codierung, Signalisierung).

Ein einfaches Netzprogramm:

```
// interaddr.java
// Bestimmung aller Internet-Adressen
// zu einem Rechnernamen

import java.net.*;

public class interaddr {
public static void main (String[] args) throws Exception {

    if (args.length != 1) {
        System.err.println (
            "Nutzung: interaddr Rechnername");
        System.exit (1);
    }

    InetAddress [] a =
        InetAddress.getAllByName (args[0]);

    for (int i = 0; i < a.length; ++i)
        System.out.println (a [i]);
} //main
} //interaddr
```

Nutzung des Programms interaddr:

```
D:\mysrc\c15>java interaddr localhost
localhost/127.0.0.1
```

```
D:\mysrc\c15>java interaddr www.uni-hamburg.de
www.uni-hamburg.de/134.100.32.72
```

```
D:\mysrc\c15>java interaddr tkrn6
tkrn6/134.100.15.166
```

```
D:\mysrc\c15>java interaddr java.sun.com
java.sun.com/72.5.124.55
```

```
D:\mysrc\c15>java interaddr www.microsoft.com
www.microsoft.com/207.46.18.30
www.microsoft.com/207.46.19.30
www.microsoft.com/207.46.19.60
www.microsoft.com/207.46.20.30
www.microsoft.com/207.46.20.60
www.microsoft.com/207.46.198.30
www.microsoft.com/207.46.198.60
www.microsoft.com/207.46.225.60
```

D: >tracert xx.lcs.mit.edu (Beispiel aus dem Jahre 2001)

Verfolgung der Route zu mintaka.lcs.mit.edu [18.26.0.36] über maximal 30 Abschnitte:

```
 1 <10 ms <10 ms cbswitch04.informatik.uni-hamburg.de [134.100.1.250]
 2 <10 ms <10 ms cbswitch01.informatik.uni-hamburg.de [134.100.525]
 3 <10 ms <10 ms atm-informatik.informatik.uni-hamburg.de [134.10.5.33]
 4 <10 ms <10 ms atm-nixgate.rrz.uni-hamburg.de [134.100.38.254]
 5 <10 ms <10 ms ar-hamburg1.g-win.dfn.de [188.1.47.1]
 6 <10 ms <10 ms cr-hamburg1.g-win.dfn.de [188.1.30.10]
 7 10 ms 20 ms cr-muenchen1.g-win.dfn.de [188.1.18.29]
 8 20 ms 30 ms cr-frankfurt1.g-win.dfn.de [188.1.18.25]
 9 110 ms 110 ms ir-nyc1.g-win.dfn.de [188.1.18.54]
10 110 ms 110 ms dfn-IR-NYC1.ny4.ny.dante.net [212.1.200.49]
11 111 ms 110 ms abilene-dante-ny.abilene.ucaid.edu [212.1.200.14]
12 110 ms 121 ms 110 ms 192.5.89.101
13 561 ms 120 ms 110 ms 192.5.89.10
14 120 ms 140 ms 181 ms B24-RTR-FDDI.MIT.EDU [18.168.0.14]
15 120 ms 140 ms 121 ms RADOLE.LCS.MIT.EDU [18.201.1.3]
16 120 ms 120 ms 121 ms anacreon.lcs.mit.edu [18.24.10.1]
17 120 ms 121 ms 130 ms mintaka.lcs.mit.edu [18.26.0.36]
```

Verfolgung der Route beendet.

E: >tracert mintaka.lcs.mit.edu (Beispiel aus dem Jahre 2006)

Routerverfolgung zu mintaka.lcs.mit.edu [18.26.0.36] über maximal 30 Abschnitte

```
 1 16 ms 31 ms hmb2-d8-1.mcbone.net [62.104.214.46]
 2 16 ms 31 ms 32 ms G7-0.hmb2-g2.mcbone.net [62.104.214.6]
 3 32 ms 31 ms 31 ms lo0-0.hnv2-j2.mcbone.net [62.104.191.206]
 4 32 ms 31 ms 31 ms ge-2-0-0-0.dus2-j2.mcbone.net [62.104.191.195]
 5 31 ms 32 ms 47 ms lo0-0.dus2-j.mcbone.net [62.104.191.201]
 6 31 ms 31 ms 47 ms L0.dus1-g2.mcbone.net [62.104.191.143]
 7 31 ms 32 ms 47 ms ge-6-12.car2.Dusseldorf1.Level3.net [212.162.47.81]
 8 31 ms 31 ms 47 ms 4.68.119.162
 9 125 ms 125 ms 125 ms so-3-0-0.mp1.Boston1.Level3.net [209.247.9.125]
10 125 ms 125 ms 250 ms ae-22-52.car2.Boston1.Level3.net [4.68.100.35]
11 125 ms 125 ms 125 ms 4.79.2.2
12 109 ms 109 ms 125 ms B24-RTR-2-BACKBONE.MIT.EDU [18.168.0.23]
13 110 ms 125 ms 125 ms MITNET.TRANTOR.CSAIL.MIT.EDU [18.4.7.65]
14 125 ms 125 ms 125 ms trantor.kalzan.csail.mit.edu [128.30.0.246]
15 109 ms 125 ms 125 ms mintaka.lcs.mit.edu [18.26.0.36]
```

Ablaufverfolgung beendet.

// Ein Netzprogramm zur Zeitabfrage

```
import java.net.*;  
import java.io.*;
```

```
public class daytime {  
public static void main (String[] args) {  
    String hostname;  
    if (args.length > 0) {  
        hostname = args[0];  
    } else {  
        // Zur Zeit offen  
        hostname = "134.100.32.55";  
    }  
    try {  
        Socket theSocket = new Socket (hostname, 13);  
        InputStream timeStream =  
            theSocket.getInputStream ();  
        StringBuffer time = new StringBuffer ();  
        int c;  
        while ((c = timeStream.read ()) != -1)  
            time.append ((char) c);  
        String timeString = time.toString ().trim ();  
        System.out.println("It is " + timeString + " at "  
            + hostname);  
    } // end try  
    catch (UnknownHostException e) {  
        System.err.println(e); }  
    catch (IOException e) {  
        System.err.println(e); }  
} //main  
} //daytime
```

Nutzung des Programms daytime:

```
D:\mysrc>java daytime  
It is Mon May 1 15:43:22 2006 at 134.100.32.55
```

```
D:\mysrc>java daytime tkrn6  
It is Mon May 1 15:47:54 2006 at tkrn6
```

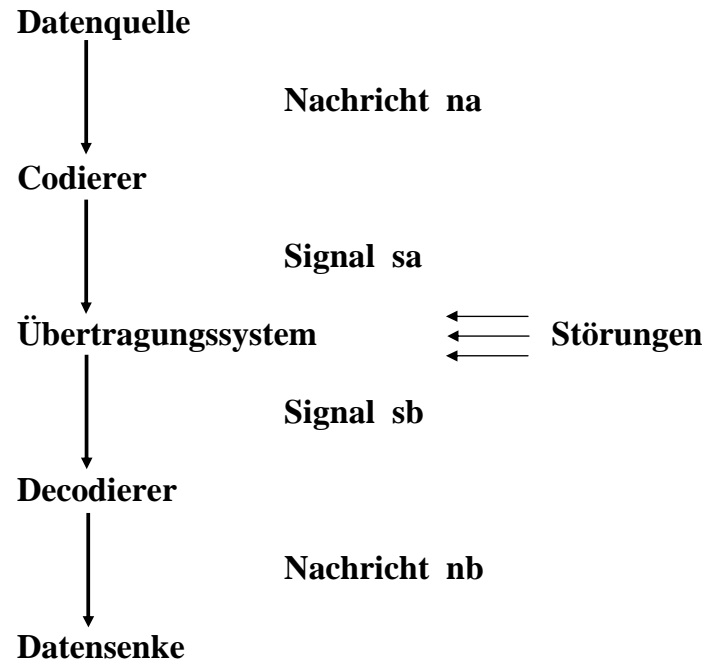
```
D:\mysrc>java daytime public.hamburg.de  
java.net.UnknownHostException: public.hamburg.de
```

```
D:\mysrc>java daytime public.uni-hamburg.de  
It is Mon May 1 15:46:15 2006 at public.uni-hamburg.de
```

```
D:\mysrc>java daytime 134.28.6.100  
java.net.ConnectException: Connection timed out: connect
```

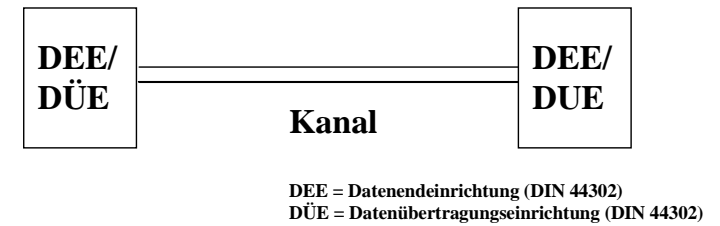
```
D:\mysrc>java daytime localhost  
java.net.ConnectException: Connection refused: connect
```

Modell zur Datenübertragung:

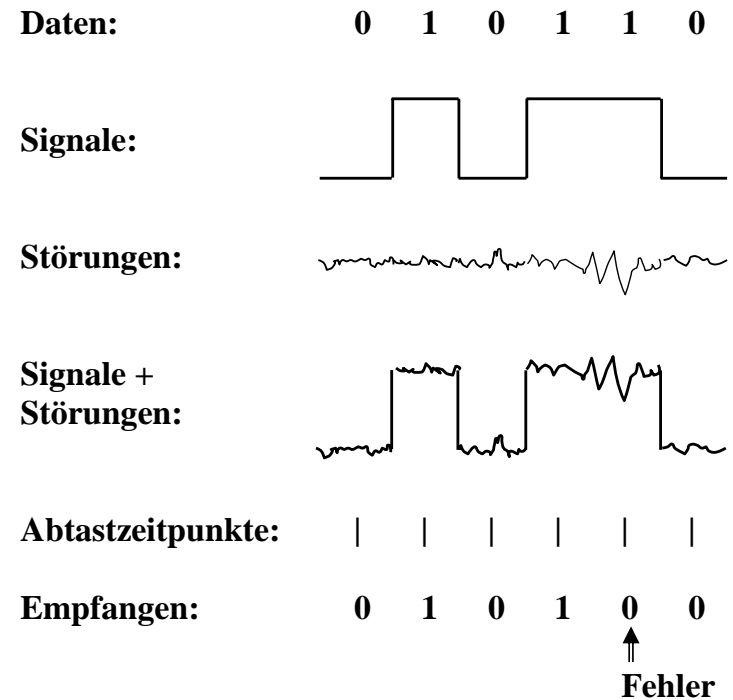


Bemerkung: Ziel der Datenübertragung ist es, die Gleichheit von Sende- und Empfangsnachricht herzustellen.

Bild einer Datenübertragung:



Beispiel einer Datenübertragung:



Forderung: Erkennen sämtlicher Fehler.

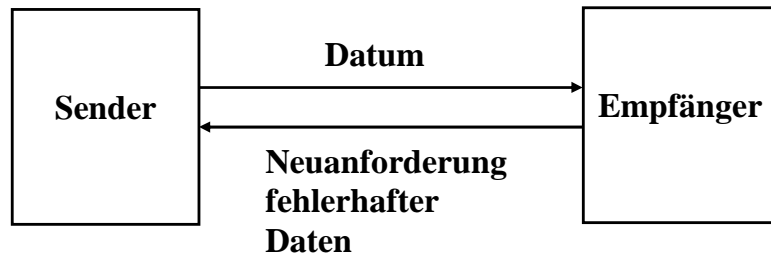
Aufgaben der Datenübertragung:

- Festsetzung von Codes
- Schutz gegen Übertragungsfehler
- Schutz gegen Datendiebstahl und Datenverfälschung
- Effiziente Nutzung des Übertragungssystems
- Adressierung
- Wegewahl
- Flußkontrolle
- Protokolle
-
-
-

Eine Version des Internationalen Telegraphenalphabets Nr. 2

CCIT-No.	Code Bit		Zeichen	
	12	345		
1	11	000	A	-
2	10	011	B	?
3	01	110	C	:
4	10	010	D	Wer da?
5	10	000	E	3
6	10	110	F	[
7	01	011	G]
8	00	101	H	← nationale Belegungs- ← Varianten
9	01	100	I	¹⁰ 8
10	11	010	J	Klingel
11	11	110	K	(
12	01	001	L)
13	00	111	M	.
14	00	110	N	,
15	00	011	O	9
16	01	101	P	0
17	11	101	Q	1
18	01	010	R	4
19	10	100	S	'
20	00	001	T	5
21	11	100	U	7
22	01	111	V	=
23	11	001	W	2
24	10	111	X	/
25	10	101	Y	6
26	10	001	Z	+
27	00	010		Wagenrücklauf
28	01	000		Zeilenvorschub
29	11	111		Buchstabenumschaltung
30	11	011		Ziffernumschaltung
31	00	100		Zwischenraum
32	00	000		Leerzeichen

Automatisches Rückfragesystem:



Der Empfänger prüft jedes empfangene Datum, ob es korrekt ist. Im Fehlerfall wird es noch einmal angefordert.

Beispiel: Internationales Telegraphenalphabet Nr. 3.

Klassifizierung von Netzen nach ihrer Größe:

Mehrere Rechner

auf einer Platine - Multiprozessor

in einem Gehäuse - Multicomputer

in einem Raum

in einem Gebäude

auf einem Campus



Local Area Network (LAN)

in einer Region (Durchmesser 1 km – 30 km)

Metropolitan Area Network (MAN)

sonst

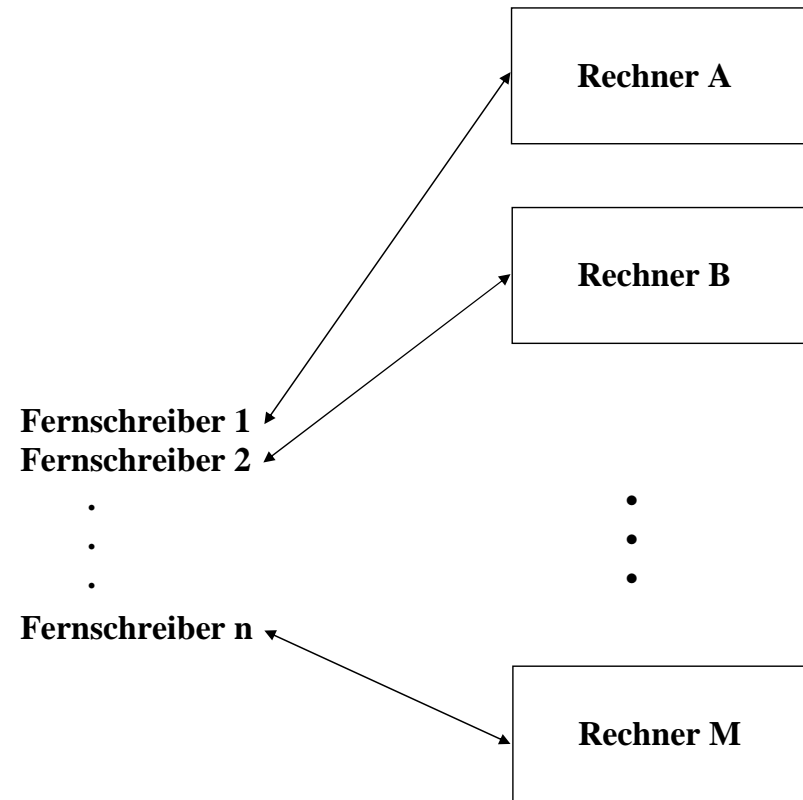
Wide Area Network (WAN)

Bemerkung: Es sind auch die Bezeichnungen wie CAN (Car Area Network), GAN (Global Area Network), HAN (House Area Network) und SAN (Storage Area Network) in Gebrauch.

Klassifizierung von Netzen nach ihrer Nutzung:

- ◆ Lastverbund
- ◆ Leistungsverbund
- ◆ Kommunikationsverbund
- ◆ Datenverbund
- ◆ Funktionsverbund
- ◆ Wartungsverbund

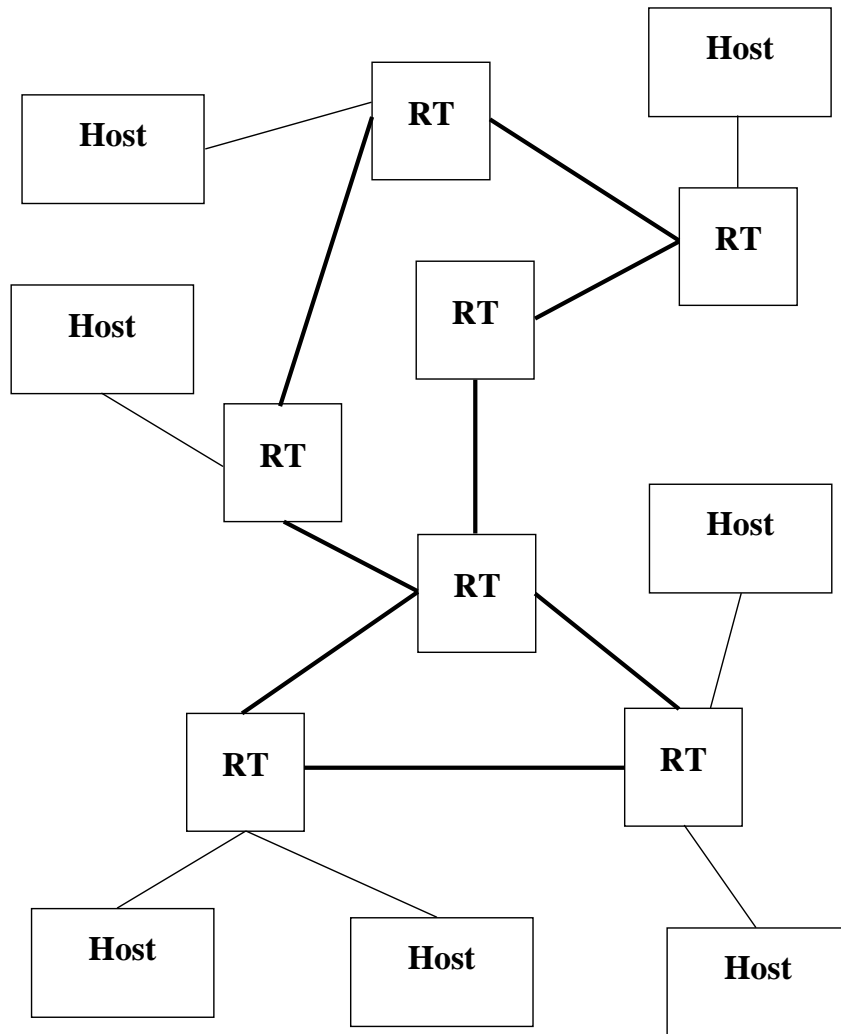
Situation vor dem Bestehen von Rechnernetzen:



Bemerkungen:

- (i) Große Distanz zwischen Rechner und Terminal ist möglich.
- (ii) Datenaustausch zwischen Rechnern ist umständlich.

Netzstruktur:



RT = Router

Ergänzung der TCP/IP-Familie um Schichten:

Application	Schicht 5
Transport	Schicht 4
Internet	Schicht 3
Network Interface	Schicht 2
Physical	Schicht 1

Bemerkung: Die Schichten 1, 2 und 4 entsprechen in etwa den OSI-Schichten 1, 2 und 4. Die Schicht 5 entspricht der Zusammenfassung der OSI-Schichten 5, 6 und 7. Die Internet-Schicht findet keine direkte Entsprechung im OSI-Modell.

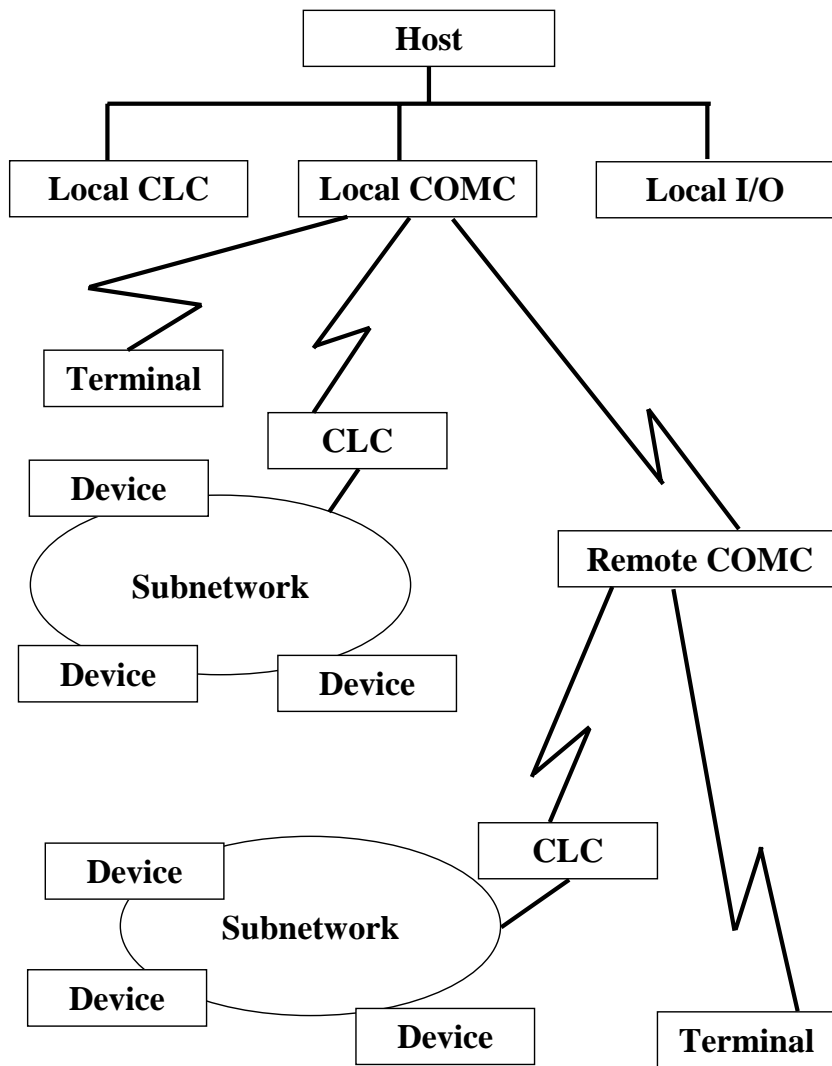
Grobe Schichtenzuordnung einzelner Protokolle:

5:	FTP	TELNET	SMTP	BOOTP	NFS	SNMP
4:	TCP			UDP		
3:	IP		ICMP	IGMP		
2:	CSMA/CD		Token Ring	FDDI		

Legende:

- BOOTP** = Bootstrap Protocol
- FTP** = File Transfer Protocol
- NFS** = Network File System
- SMTP** = Simple Mail Transfer Protocol
- SNMP** = Simple Network Management Protocol

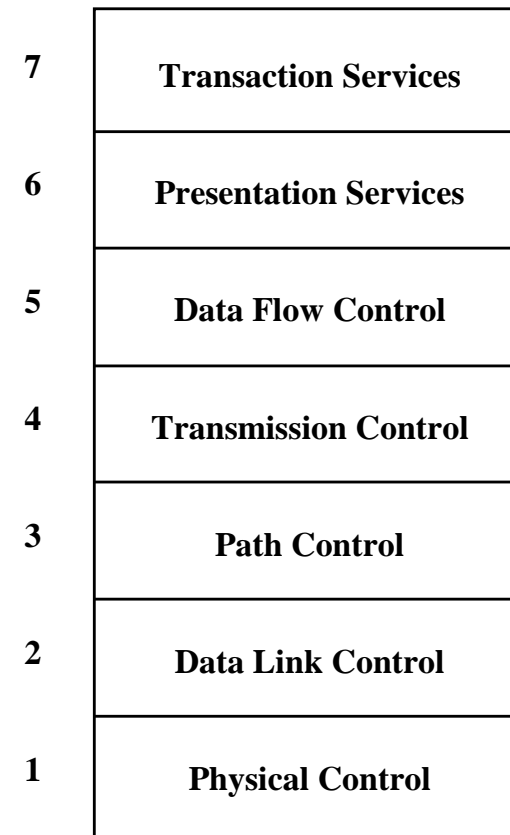
Beispiel eines SNA-Netzes:



COMC = Communications Controller
CLC = Cluster Controller

Schichtenstruktur von SNA:

(SNA = Systems Network Architecture)



Das OSI-Schichten Modell:

Schicht 7: Anwendungsschicht
(Application Layer)

Schicht 6: Darstellungsschicht
(Presentation Layer)

Schicht 5: Kommunikations-
Steuerungsschicht
(Session Layer)

Schicht 4: Transportschicht
(Transport Layer)

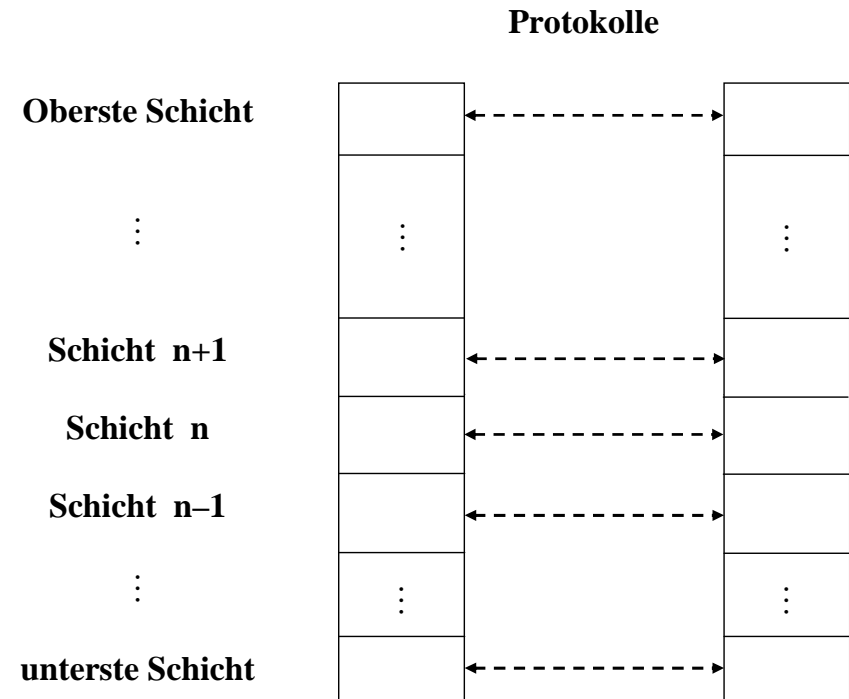
Schicht 3: Vermittlungsschicht
(Network Layer)

Schicht 2: Sicherungsschicht
(Data Link Layer)

Schicht 1: Bitübertragungsschicht
(Physical Layer)

Bemerkung: OSI = Open Systems Interconnection

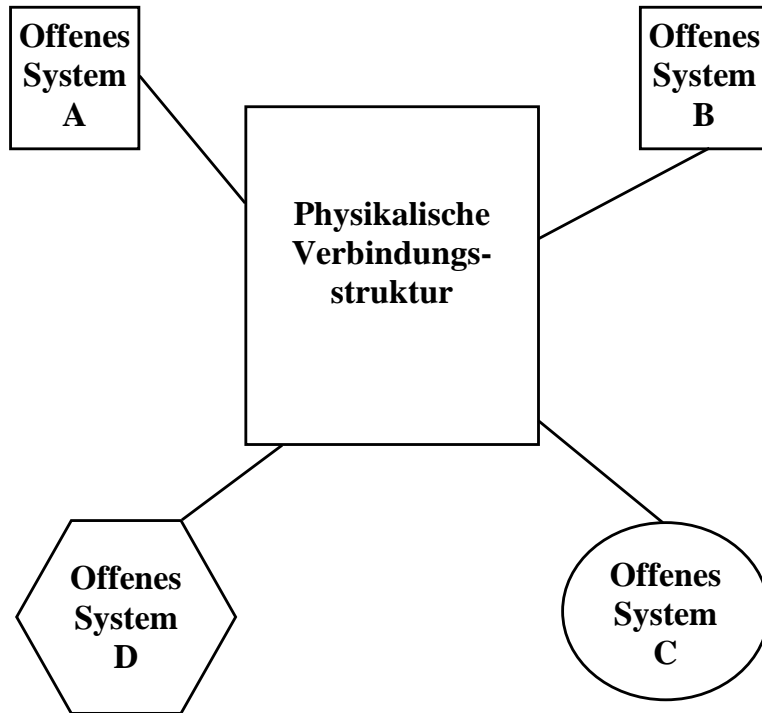
Geschichtete Systeme:



Bemerkung: Die Schicht n bietet Dienste für die Schicht n+1 und nutzt Dienste der Schicht n-1. Zur Realisierung von Protokollen für die Schicht n benötigt man Dienste aller darunterliegenden Schichten.

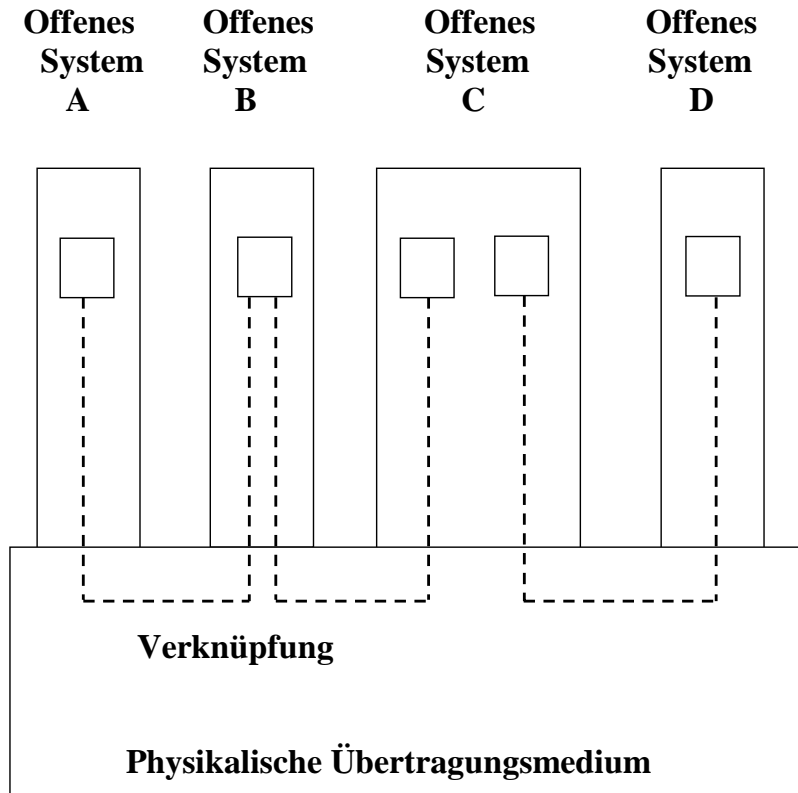
ISO/OSI-Modell (1):

Verknüpfung offener Systeme über physikalische Träger:



Bemerkung: Das OSI-Modell definiert nur den Datenaustausch zwischen offenen Systemen, es macht keine Vorschriften über den inneren Aufbau der beteiligten Systeme.

ISO/OSI-Modell (2):



Grundelemente des OSI-Modells:

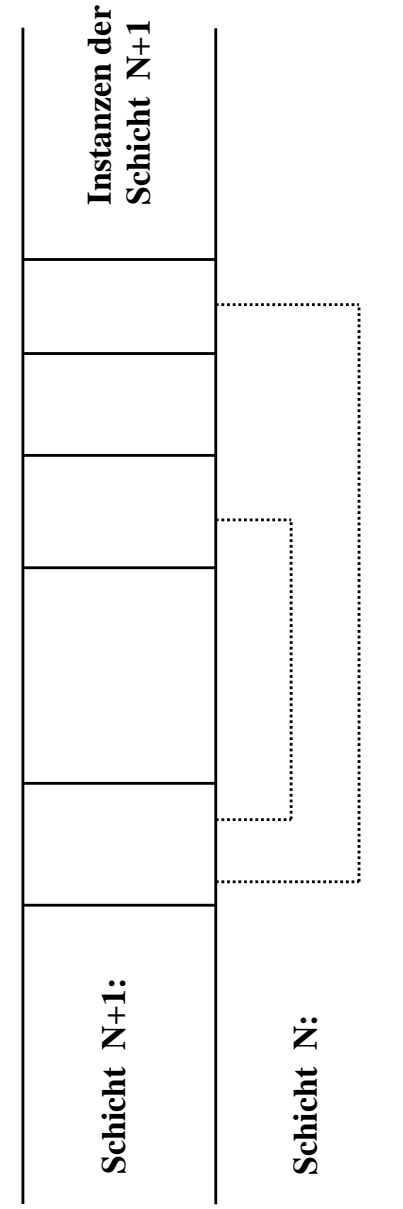
- a) offenes System
- b) Anwendungsinstanz
- c) Verknüpfungen zwischen Anwendungsinstanzen
- d) Transportmedien

Beispiele zu Definitionen aus ISO/IEC 7498-1 : 1994(E) Information Processing Systems - OSI Reference Model - The Basic Model

- (N)-subsystem:** an element in a hierarchical division of an open system which interacts directly only with elements in the next higher division or the next lower division of that open system.
- (N)-layer:** a subdivision of the OSI architecture, constituted by subsystems of the same rank (N).
- peer-(N)-entities:** entities within the same (N)-layer.
- (N)-service:** a capability of the (N)-layer and the layers beneath it, which is provided to (N+1)-entities at the boundary between the (N)-layer and the (N+1)-layer.
- (N)-service-access-point, (N)-SAP:** the point at which (N)-services are provided by an (N)-entity to an (N+1)-entity.
- (N)-protocol:** a set of rules and formats (semantic and syntactic) which determines the communication behaviour of (N)-entities in the performance of (N)-functions.
- (N)-entity-type:** a description of a class of (N)-entities in terms of a set of capabilities defined for the (N)-layer.
- (N)-entity:** an active element within an (N)-subsystem embodying a set of capabilities defined for the (N)-layer that corresponds to a specific (N)-entity-type (without any extra capabilities being used).
- (N)-entity-invocation:** a specific utilization of part or all of the capabilities of a given (N)-entity (without any extra capabilities being used).

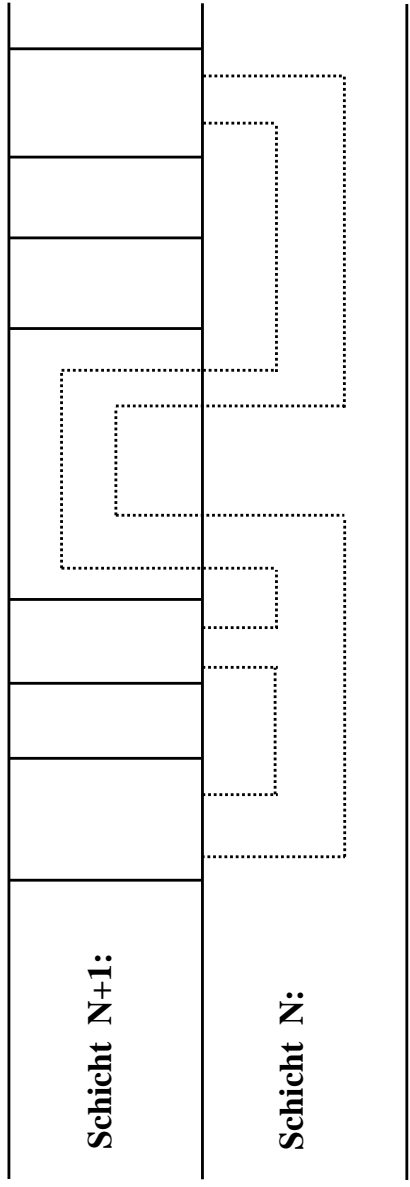
ISO/OSI-Modell (3):

Instanzen der Schicht N+1 kommunizieren mittels Instanzen der Schicht N:



Bemerkung: Vorkommnisse der Schicht N+1 benötigen zum Informationsaustausch die Dienste der Schicht N.

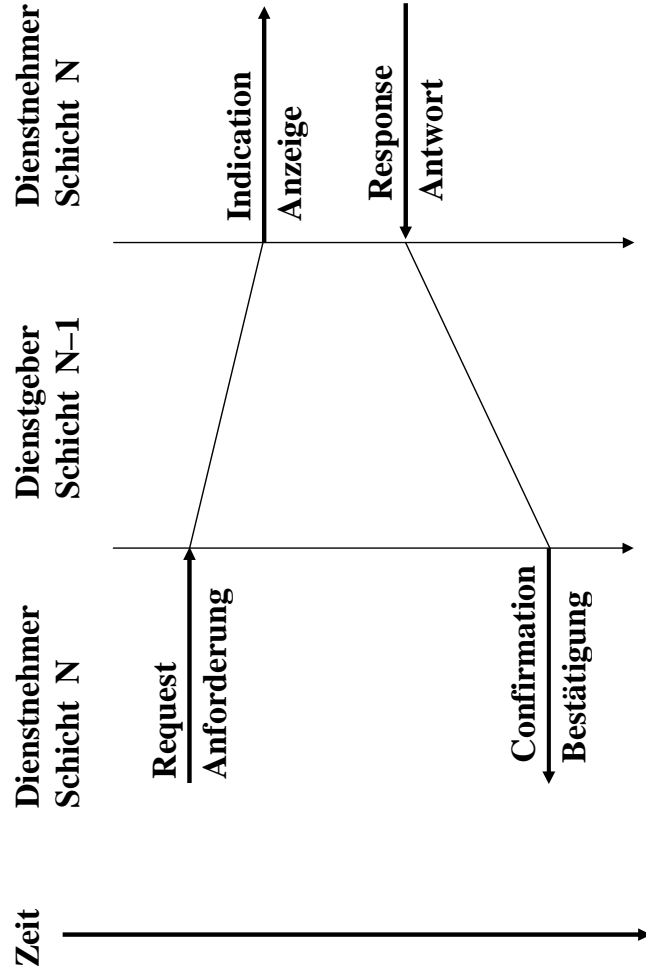
ISO/OSI-Modell (4): Kommunikation über Zwischenstation (Relais):



Bemerkung: Weder die Schicht N noch die Schicht N+1 haben Kenntnis davon, ob die Kommunikation zwischen Instanzen der Schicht N über Zwischenstationen erfolgt oder nicht.

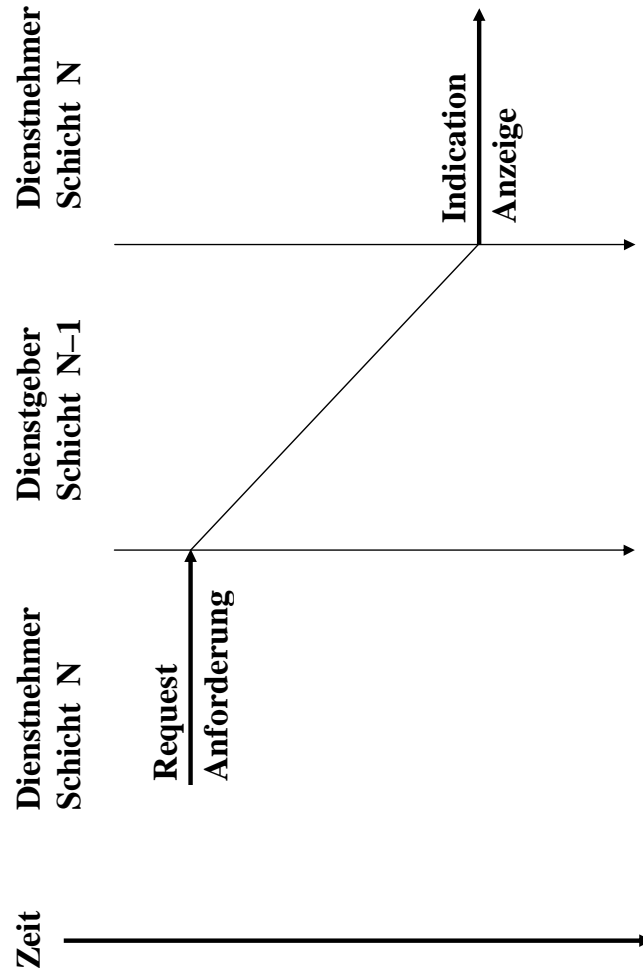
ISO/OSI-Modell (5): Dienstypen:

Bestätigter Dienst:



ISO/OSI-Modell (6): Diensttypen:

Unbestätigter Dienst:



ISO/OSI-Modell (7): Kommunikationseinheiten:

(N)-Schnittstellendateneinheit:

Zwischen (N+1)- und (N)-Instanzen über einen (N)-Dienstzugangspunkt (= (N)-SAP) ausgetauschte Dateneinheit.

Bezeichnung: Interface Data Unit, IDU,
 $(N)\text{-IDU} = (N)\text{-ICI} + (N)\text{-SDU}$.

(N)-Schnittstellenkontrollinformation:

Zwischen (N)-Schicht und (N+1)-Schicht ausgetauschte Parameter zur Steuerung von Dienstfunktionen.

Bezeichnung: Interface Control Information, ICI.

(N)-Dienstdateneinheit:

Dateneinheit, die transparent zwischen (N)-Dienstzugangspunkten übertragen wird.

Bezeichnung: Service Data Unit, SDU.

(N)-Protokollkontrolldaten:

Daten, die zwischen (N)-Instanzen ausgetauscht werden, um die Ausführung von Operationen zu steuern.

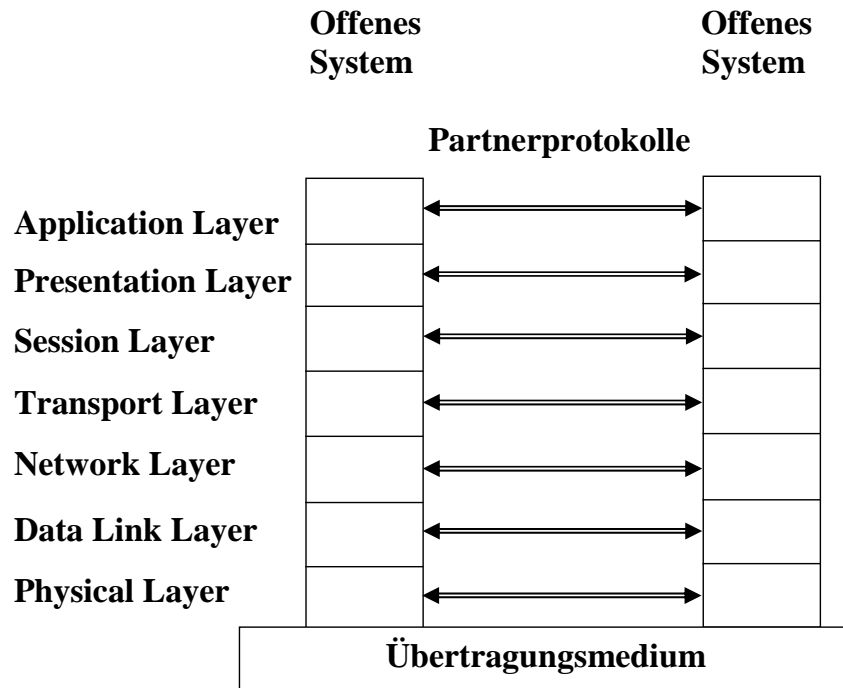
Bezeichnung: Protocol Control Information, PCI.

(N)-Protokolldateneinheit:

Dateneinheit, die zwischen (N)-Instanzen unter Benutzung eines Dienstes der (N-1)-Schicht ausgetauscht wird.

Bezeichnung: Protocol Data Unit, PDU,
 $PDU = PCI + SDU$, $(N)\text{-PDU} = (N-1)\text{-SDU}$.

ISO/OSI-Modell (8): Kommunikation im ISO/OSI-Modell:



In den Kommunikationsweg zwischen Endsystemen können Transitsysteme eingeschaltet sein. Je nach Schichtzahl des Transitsystems spricht man von Regenerator, "Switch", Brücke, Router, "Gateway" oder "Firewall."

ISO/OSI-Modell (9):

Grober Überblick über die den einzelnen Schichten zugewiesenen Aufgaben im ISO/OSI-Modell:

Bitübertragungsschicht:

Ungesicherte Verbindung zwischen Systemen, Übertragung unstrukturierter Bitfolgen, Festlegung der mechanischen, physikalischen, funktionalen und prozeduralen Charakteristika der physischen Verbindung.

Sicherungsschicht:

Gesicherter Datentransfer, Übertragung von Bitketten in Rahmen, Fehlererkennung und Fehlerbehandlung, Quittierung, Zeitüberwachung.

Vermittlungsschicht:

Wegewahl, Staukontrolle, Reihenfolgesicherung, Zusammenfassen und Trennen von Datenströmen.

ISO/OSI-Modell (10):

Transportschicht:

**Datentransfer zwischen Nutzern in Endsystemen,
Qualitätskontrolle,
Sicherung gegen Fehler,
Transparenz bezüglich Übertragung- und
Vermittlungstechnik.**

Kommunikationssteuerungsschicht:

**Ablaufsteuerung und Koordinierung,
Sitzungsverwaltung.**

Darstellungsschicht:

**Transfersyntax,
Datenkompression,
Datenverschlüsselung.**

Anwendungsschicht:

**Zurverfügungstellung allgemeiner Dienste, wie
Dateitransfer,
entfernter Prozeduraufruf,
gesicherte Nachrichtenvermittlung.**

ISO/OSI-Modell (11):

Prinzipien zur Bestimmung einer Schicht in einem geschichteten System:

- (1) Gruppieren Funktionen gemäß ihrer pragmatischen, semantischen und syntaktischen Erscheinung. Ähnliche Funktionen gehören in die gleiche Schicht.**
- (2) Die Funktionen einer Schicht sollten änderbar sein, ohne die Funktionen einer anderen Schicht umdefinieren zu müssen.**
- (3) Die Schnittstellenbeschreibungen zwischen angrenzenden Schichten sollten einfach sein und die Zahl der Dienste zwischen den Schichten gering.**
- (4) Bei der Zuordnung von Funktionen zu Schichten sollte man auf die Erfahrung der Vergangenheit, falls vorhanden, zurückgreifen.**
- (5) Der erwartete technische Wandel sollte bei der Festlegung der Schichten berücksichtigt werden.**
- (6) Die Zahl der Schichten sollte nicht zu groß werden.**
- (7) In der Nutzung sollten Schichten nie "leer" sein.**

ISO/OSI-Modell (12):

Zur Geschichte des OSI-Modells nach W. Stallings:

Um 1977 definierte eine Datenbankgruppe bei Honeywell Information Systems um Mike Canepa und Charles W. Bachman ein Sieben-Schichten-Modell, genannt Distributed Systems Architecture, u. a. zur einfachen Strukturierung verteilter Datenbanken.

Innerhalb von ISO schlug das Britische Normierungsinstitut BSI 1977 vor, einen Standard für die Kommunikation zwischen verteilten Anwendungen zu schaffen. Es wurde ein Unterkomitee (TC97, SC16) mit dem Titel "Open Systems Interconnection" gegründet.

Auf der Sitzung im März 1978 von TC97, SC16 in Washington, DC wurde der Vorschlag von Canepa und Bachman als Grundlage eines neuen Standards übernommen.

Eine frühe Darstellung des OSI-Modells findet man in Hubert Zimmermann: OSI Reference Model — The ISO Model of Architecture in Open Systems Interconnection, IEEE Transactions on Communications, Vol. 28, No. 4, April 1980.