

# 1 Merkmale von Rechnernetzen

- Netzgrößen: LAN (< 5-10km), MAN, WAN (> 100 km)
- Tunneling: Netz I mit Technologie I kommuniziert mit N2 und sieht T II nicht
- Netzintegration:
 

PSTN	IP	GSM	⇒	Festnetz	Mobilfunknetz	⇒	IP, ATM /IP, SONET
------	----	-----	---	----------	---------------	---	--------------------

 disruptive technologies (störende technologies) werden main stream  
 IP hat mainstream ISDN, ISDN/ATM ersetzt
- **echtzeit**(stromähnlich):
  - nicht tolerant ggü. Datenverlust (Robotersteuerung)
  - tolerant ggü. Datenverlust (VOIP, Stream, Telefon)
- **nicht echtzeit**(elastisch):  
interaktiv, asynchron (webbrowsing, Email)

## Vermittlungsprinzipien

- Durchschaltvermittlung (circuit switching)
  - Verbindung erhält durchgeschalteten Übertragungsweg für die gesamte Verbindungsdauer
  - Netz übernimmt i.a. keine Fehlersicherung
  - keine Zwischenspeicherung der Nutzdaten notwendig
  - Bsp: Fernsprechnet
- Speichervermittlung(store-and-forward switching)
  - Verbindung erhält einen physikalisch nicht dauernd belegten, jedoch logisch für die Verbindungsdauer zugeordneten Übertragungsweg
  - asynchroner Zeitmultiplex
  - kein Verbindungsaufbau und -abbau, aber hoher Vermittlungsaufwand
  - Sendungsvermittlung (message switching)  
Datenpaket enthält gesamte zu sendende Nachricht
  - Paketvermittlung (packet switching)  
Aufteilung der Nachricht in Pakete begrenzter Länge
- Vergleich: ( $t_0$  Paketlänge,  $t_p$  Übertragung)
 

Durschaltvermittlung	⇔	Sendungsvermittlung	⇔	Paketvermittlung
$2t_p + t_0$		$2t_p + 2t_0$		$2t_p + 3/2t_0$
- Signalisierung mittels
 

Request	⇒	Confirmation	⇒
Confirmation	⇐	Response	⇐

## 2 Methoden zur Systemuntersuchung

### 2.1 Wahrscheinlichkeitsrechnung

Ergebnisraum =  $\Omega$ , Versuchsergebnis =  $\omega_1$

#### Axiome

- 1)  $0 \leq P(A_i) \leq 1$
- 2)  $A_i \cap A_j = \emptyset \Rightarrow P(A_i \cup A_j) = P(A_i) + P(A_j)$
- 3)  $\sum_i P(\omega_i) = 1$

- $P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$
- **bedingte Wahrscheinlichkeit**  $P(A | B) = \frac{P(A, B)}{P(B)}$
- **statische Unabhängigkeit**  $P(A | B) = P(A)$  oder  $P(A, B) = P(A) \cdot P(B)$
- **Bayes-Formel**  $P(A_i | B) = \frac{P(B | A_i) \cdot P(A_i)}{P(B)}$

#### Zufallsvariable

eine Funktion, die jedem Elementarereignis eine reelle Zahl zuordnet  
diskret (ganzzahlig) oder kontinuierlich (reell)

- Verteilungsfunktion  $A(t) = P(A \leq t)$  (dabei ist A ZV)  
komplementäre Verteilungsfunktion  $A^c(t) = P(A > t)$
- gewöhnliche Momente ( $g(A) = A^k \Rightarrow E[A^k] = \int_{-\infty}^{\infty} t^k \cdot a(t) dt$ )
- Varianz  $\text{VAR}[A] = m_2 - m_1^2$
- Transformation  
diskret ZV: Verteilung  $\Leftrightarrow$  erzeugende Funktion  
kontinuierliche ZV: Verteilungsfunktion  $\Leftrightarrow$  Laplace-Transformation
- Bernoulli-Versuch: Misserfolg oder Erfolg

## Verteilungen

- Binomial-Verteilung  $x(i) = P(X = i) = \binom{N}{i} (1 - q)^i q^{N-i}$   
(z.B. Bitfehlerwahrscheinlichkeit)
- Geometrische Verteilung  $x(i) = P(X = i) = q^i (1 - q)$
- Poisson-Verteilung  $x(i) = \frac{y^i}{i!} e^{-y}$ ,  $E[X] = y$   
Ankunftsprozess mit negativ-exponentiell verteilten Zwischenankunftsabständen
- Verteilungsfunktionen
  - Deterministische Verteilungsfunktion (A konstant)  $A(t) = \begin{cases} 0 & t < t_0 \\ 1 & t \geq t_0 \end{cases}$
  - Negativ-exponentielle Verteilungsfunktion:  $A(t) = 1 - e^{-\lambda t}$
  - Erlang-k-Verteilungsfunktion:  $A(t) = 1 - \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t}$   
A ist Summe von k Phase die negativ-exponentiell verteilt sind
  - Hyperexponentielle Verteilungsfkt:  $A(t) = \sum_{i=1}^k p_i (1 - e^{-\lambda_i t}) = 1 - \sum_{i=1}^k p_i e^{-\lambda_i t}$   
A ist zufallsabhängige Auswahl zwischen k unterschiedlichen negativ-exponentiell verteilten Phasen

## 2.2 Ergebnisse der Nachrichtenverkehrstheorie

### Theorem von Little

$x$ : Anzahl der Anforderungen im System

$\lambda$ : mittlere Ankunftsrate des Ankuftsprozesses

$E[X]$ : mittlere Anzahl von Anforderungen im System

$E[T]$ : mittlere Aufenthaltszeit von Anforderungen im System

$$\lambda \cdot E[T] = E[X]$$

### Kendall-Notation

GI[X] / GI / n - S

GI[X]: Typ des Ankunftsprozesses

GI: Typ des Bedienprozesses

n: Anzahl von Bedieneinheiten

S: Anzahl der Wartepplätze (Verlustsystem)

- Wartesystem M/M/n- $\infty$   
Poisson-Ankunftsprozess, negativ-exponentielle Bedienzeit  
 $\Rightarrow$  Warteschlangenlänge
- Verlustsystem M/M/n-0  
 $\Rightarrow$  Blockierungswahrscheinlichkeit
- Wartesystem M/GI/1- $\infty$  Poisson-Ankunftsprozess, allgemein verteilte Bedienzeit

## 3 Netze

### 3.1 Netzstrukturen

- Maschenstruktur: große Anzahl von Verbindungen
- Sternstruktur: weniger Verbindungswege, mehr Vermittlungsaufwand
- Ringstruktur: (Einfacher Ring, Dualring)
- Busstruktur
- Ethernet: physikalisch: Sternform, Steuerung: busorientierte CSMA-CD

#### Wichtige Netzparameter

Ausbreitungsverzögerung (propagation delay)  $\tau = t_p = \frac{l}{v}$

Übertragungszeit  $t_N = \frac{l}{C}$

Busgeschwindigkeit bzw. -kapazität C

Buslänge l

Ausbreitungsgeschwindigkeit v

Paketlänge L

logische Buslänge (bit) :  $a_b = \frac{lC}{v}$  [bit]

logische Buslänge (Pakete) :  $a_N = \frac{lC}{Lv}$  [Pakete]

### 3.2 Netzzugang & Zugriff

- Frequenzmultiplex
- Synchroner Zeitmultiplex (Pulse-Code-Modulation): 8 bit pro 125  $\mu$ sec
- Raummultiplex: Leitungsbündel
- Codemultiplex: orthogonale Codes
- Wellenmultiplex: verschiedene Wellenlängen

## Zugriffsverfahren

- zentrale Steuerung: **Polling** (zyklisches Abfrageverfahren)
  - Roll-call-Polling  
zentrale Steuerung erteilt Sendeberechtigung gemäß def. Reihenfolge  
Hat Station nichts zu senden: Sendeberechtigung zurück, sonst Übertragung, dann Sendeberechtigung zurück
  - Hub-Polling  
Sendeberechtigung wird von Station zu Station weitergeleitet. Am Ende des Zyklus erhält die zentrale Steuerung Sendeberechtigung zurück
- verteilte Steuerung: **Token-Ring**  
Token wird reihum gereicht  
nur ein System hat Token (Problem bei Verlust / Verdopplung)  $\Rightarrow$  Monitorstation
- Slotted-Ring: Ringumfang erhöhen: Zeitachse in Slots

## Zufallsgesteuerte Zugriffsverfahren

- **Aloha**: Senden zum beliebigen Zeitpunkt, Empfang durch erkennen der Adresse  
Kollisionserkennung mittels Station zur Kollisionserkennung oder ACK  $\Rightarrow$  Kollisionsauflösung durch zufallsabhängiges Verschieben des Sendevorgangs

### Durchsatzberechnung

$$\text{Durchsatz } D = \frac{\text{Anzahl aller Versuche während einer Zeitspanne}}{t_0}$$

$$\text{Auslastung } p = D \cdot t_N$$

$$P_0 = P\{\text{kein weiteres Paket während des Kollisionsgefährdungsintervalls übertragen}\} = e^{-\sigma 2t_N}$$

$$D = \sigma \cdot e^{-\sigma 2t_N}$$

$$\Rightarrow \text{Maximum an der Stelle } \sigma = 0.5 \frac{1}{t_N} \text{ mit } D_{max} = \frac{1}{2et_N}, p_{max} = \frac{1}{2e}$$

- **Slotted-Aloha**: Einteilung der Zeitachse in konstante Slots  
Sendeversuch nur zu Beginn eines Slots mit Slotlänge  $T_{SL} = t_N + 2\tau$

### Durchsatz

$$\text{Durchsatz } D = \sigma \cdot e^{-\sigma 2t_{SL}}$$

$$\text{Auslastung } p = D \cdot T_{SL}$$

$$\text{Maximum des Durchsatzes bei } \sigma = \frac{1}{t_{SL}} \text{ mit } D_{max} = \frac{1}{et_{SL}}, p_{max} = \frac{1}{e}$$

### 3.3 CSMA-CD und Ethernet

**CSMA-CD**(Carrier Sense Multiple Acces with Collision Detection)  
CS: jede Station hört am Bus mit und fängt erst an zu übertragen wenn Bus frei ist  
Kollision möglich, Auflösung: Contention-Zustand(Kollisionszustand)  
non-persistent: CS nur zu bestimmten Zeitpunkten  
p-persistent: CS immer, falls Kanal frei wird mit Wahrscheinlichkeit p gesendet

#### **Back-off-Algorithmus**

Auflösung des Contention-Zustands:  
nach einer Anzahl von k Kollisionen verschiebt eine Station den eigenen Sendevorgang um  $1,2,\dots,2^k$  Slots mit Wahrscheinlichkeit  $1/2^k$

- virtuelle Übertragungszeit: tatsächlich benötigte Zeit für Übertragung eines Pakets

#### **Ethernet-Technologien**

- **10Base2 Ethernet**: Bustopologie, Koaxialkabel
- **10BaseT und 100BaseT**: sternförmig, zentraler Hub(Konzentrator)
- **Hubs**: Repeater der Bitstrom von Eingabeport an die Ausgangsports befördert
- **Bridge**: können Rahmen mit LAN-Zieladressen weiterleiten und filtern
- **Switches**: leistungsstarke Bridges (mehr Schnittstellen)

#### **Wireless LAN (WLAN)**

- Zelle: enthält mehrere Stationen und zentrale Basisstation (AP)
- Distribution System: Mehrere verbundene APs
- Ad-hoc-WLAN: mehrere Stationen können sich selbst gruppieren

#### **CSMA/CA** (Carrier-Sense Multiple Access with Collision Avoidance)

prüft Kanal ob er besetzt ist (keine Kollisionserkennung):

1. wenn Kanal min. ein DIFS (Distributed Inter-Frame Space)frei, darf Station mit Backoff beginnen + senden  
Ü erfolgreich: Empfänger wartet SIFS und sendet ACK an den Sender zurück
2. Kanal besetzt: warten, falls DIFS frei, Backoffintervall warten und senden

- Hidden-Node Problem, falls A und C sich nicht sehen und zu B senden wollen

#### **Collision Avoidance Mechanismus**

- Duration: Dauer der Übertragung des Rahmens wird angegeben
- RTS (Request To Send) und CTS (Clear To Send) als Reservierungsmechanismus

### 3.4 Digitale Übertragungshierarchie

- Ziel: Standardisierung der Übertragungshierarchie von Übertragungssystemen
- SONET-Rahmenstruktur
  - Rahmen aus 90 Spalten x 9 Reihen
  - Steuerinformation (
  - Nutzinformation (Datenpaket)
- bei SDH & SONET byteweise Multiplexbildung
- Unterschiede heute zwischen beiden gering

### 3.5 Datenflusssteuerung und Verkehrslenkung

- Ziel: Kontinuierliche, gesicherte Datenübertragung
- **Handshaking-Verfahren**  
Senden - Warten auf ACK oder NAK  
Dauer  $t_N + 2t_p$
- **Go-Back-n-Protokoll**  
Pakete werden kontinuierlich gesendet ohne auf einzelne Quittierung zu warten;  
Zeitüberwachung: falls diese bei Paket i abläuft wird ab Paket i wieder gesendet;  
keine Zwischenspeicherung, Empfang strikt nach Reihenfolge
- **Fenster-Protokolle**  
Sender darf in vorgegebenen Rahmen (Sendefenster) Pakete kontinuierlich senden  
Empfänger kann Anzahl von Paketen zwischenspeichern, die außerhalb der Reihenfolge kommen
- Ratenbasierte Datenflusssteuerung  
Steuerungsaufwand steigt bei kleine Paketen durch ACK/NAK an
- **Verkehrslenkung:**  
Aussuchen eines kostengünstigen Weges vom Ursprung zum Ziel
  - feste Verkehrslenkung (starre Routing-Tabelle)
  - alternative Verkehrslenkung (flexiblere Routing-Tabelle)
  - adaptive Verkehrslenkung (Berücksichtigung des aktuellen Zustands)  
zentral (Netzwerkkontrollzentrum) oder  
dezentral (Nachbarknoten tauschen Informationen untereinander aus)



## 4 Verbindungsnetzwerke

### 4.1 Verbindungsnetzwerke für Durchschaltvermittlung

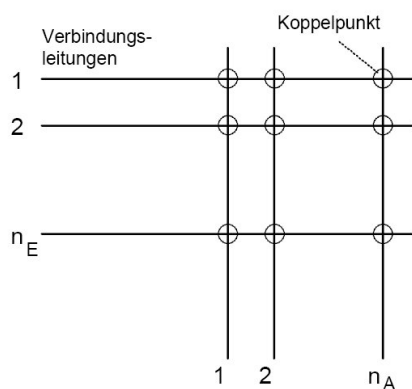
#### Koppelnetz

Weg ist für die gesamte Verbindungsdauer reserviert

$n_E \cdot n_A$  Koppelpunkte

#### Raummultiplex

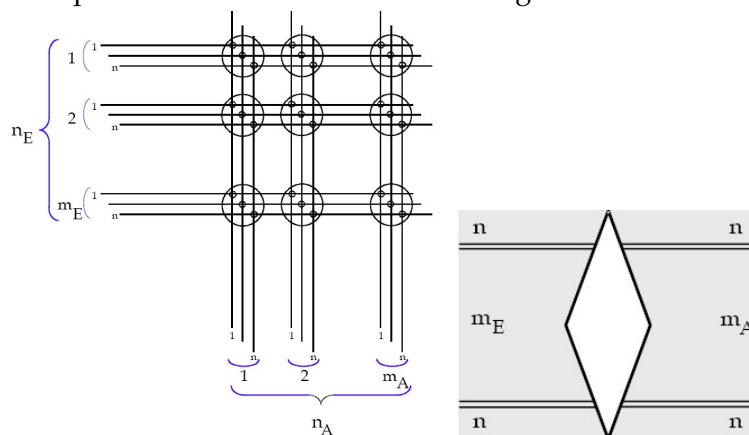
- Jede Eingangsleitung kann mit jeder Ausgangsleitung verbunden werden
- in der Realität zu viele Koppelpunkte und Leitungen nötig



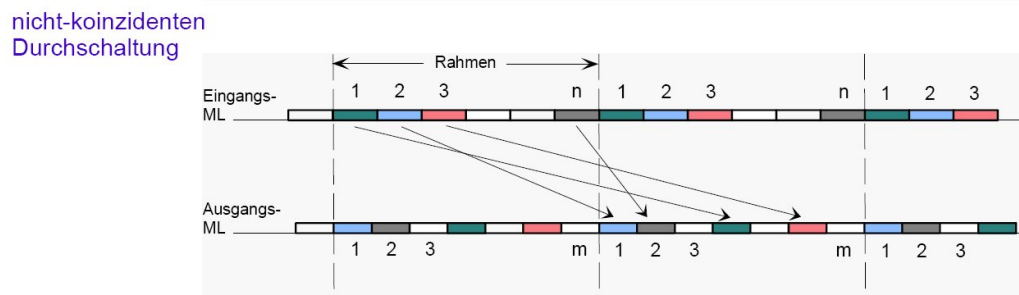
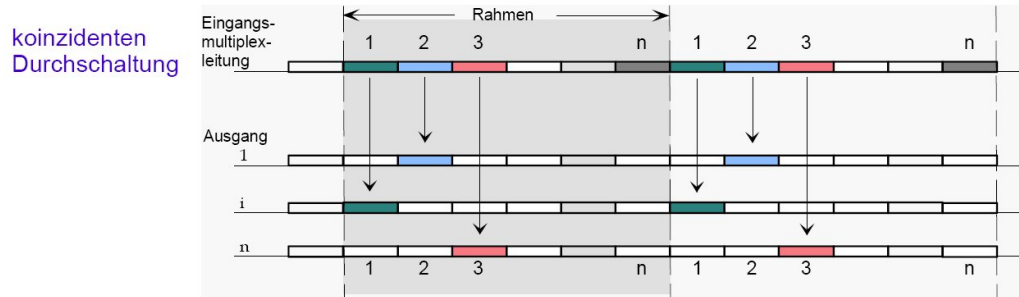
#### Zeitmultiplex

- Raumstufe  
koinzidente Durchschaltung: nur Zeitlagen gleicher Ordnungsnummer können durchgeschaltet werden

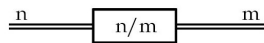
Prinzip der koinzidenten Durchschaltung



- Zeitstufe  
Eingangs- und Ausgangsmultiplexleitungen können unterschiedliche Anzahl von Zeitlagen (time-slot) besitzen;  
auch Zeitlagen ungleicher Ordnungsnummer können durchgeschaltet werden (Zwischenspeicherung notwendig)

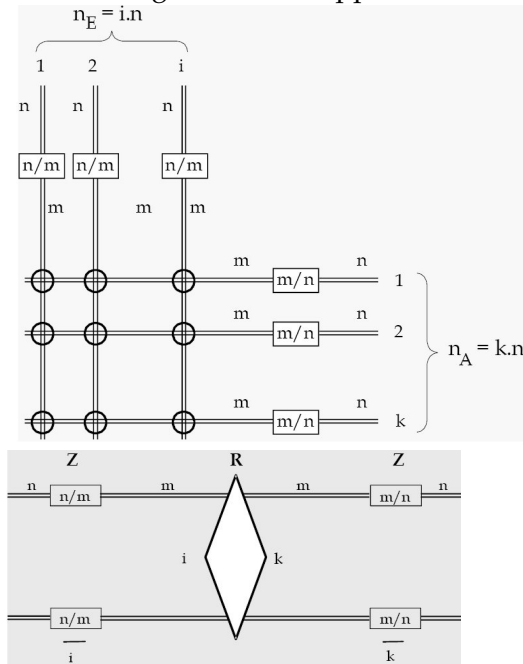


Schaltbild

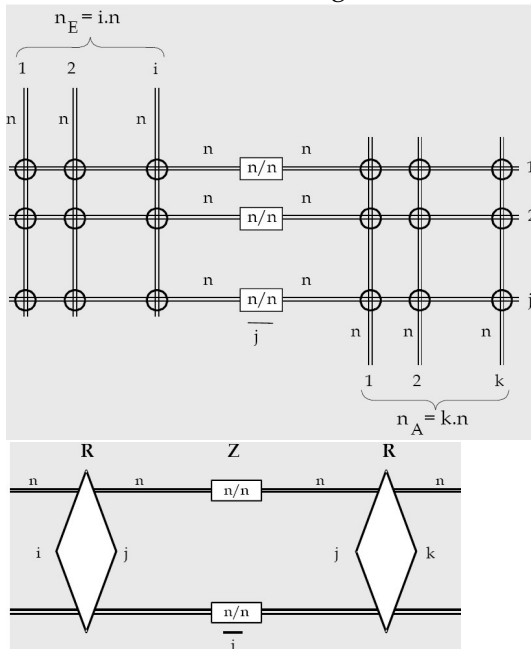


- interne Blockierungsfreiheit  
Zwischen einer freien Eingangsleitung und einer freien Ausgangsleitung ist eine Durchschaltung stets möglich

- ZRZ-Struktur (Zeit-Raum-Zeit)  
eine Leitung muss das doppelte an Zeitslots tragen



- RZR-Struktur (Raum-Zeit-Raum)  
intern blockierungsfrei  
ohne innere Takterhöhung

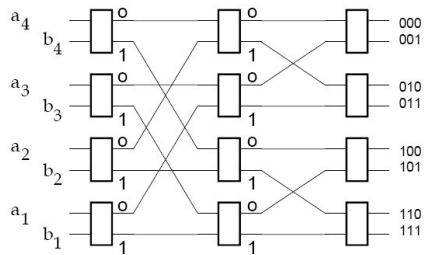


## 4.2 Verbindungsnetzwerke für Paketvermittlung

- konstante Paketlänge: Zeit wird diskretisiert in Paketübertragungsdauer bzw. Slots
- Input Queueing, Output Queueing, Combined Input/Output Queueing, Combined Input/Shared Queueing

### Banyan-Netze (self-switching networks)

- Intern blockierungsfrei



monotone Folgen in entgegengesetzter Richtung

- Output-blockierungsfrei: nur wenn Adressen ungleich
- Vermeidung interne Sortierung mit Batcher-Banyan-Netzen (Komplette Sortierung)  
Sortiernetz - Verbindungsnetz

## 5 Kommunikationsprotokolle

### Interprozess-Kommunikation

Zwei Prozesse, die mittels endlicher Automaten dargestellt werden kommunizieren miteinander (Austausch von Botschaften)

zwei Paare von Primitiven:

- Request - Confirmation
- Indication Response

- Endsystem: enthält Verarbeitungsinstanzen
- Transitsystem: stellt Verbindungen zwischen Endsystemen her
- im LAN: Aufteilung der Physical und Data Link Schicht

### Das ISO-Architekturmodell

1. **Physical Layer** (Bitübertragungsschicht: Hub)  
ungesicherte Verbindungen zur Übertragung von Datenströmen  
Bereitstellung von mechanischen, elektrischen Hilfsmitteln
2. **Data Link Layer** (Sicherungsschicht: Switch)  
Gewährleistung einer sicheren, fehlerfreien Übertragung  
Steuerung des Zugriffs, Paketierung, Kanalcodierung  
ohne Vermittlungsfunktion
3. **Network Layer** (Vermittlungsschicht: Router)  
bei durchschaltvermittelten Diensten: Steuerung von Verbindungen  
bei paketorientierten Diensten: Weitervermittlung von Datenpaketen  
wichtigste Aufgabe: Routing = Verkehrslenkung
4. **Transport Layer** (Transportschicht)  
erweitert Endsystemverbindungen zu Verb. zwischen Benutzern bzw. Teilnehmern  
unterste Schicht mit vollständiger Ende-zu-Ende Kommunikation  
Quality of Service
5. **Session Layer** (Kommunikationssteuerungsschicht)  
Durchführung und Beendigung einer kommunikationsorientierten Sitzung
6. **Presentation Layer** (Darstellungsschicht)  
verschiedene Datenformate werden in ein einheitliches Format transformiert  
z.B: ASCII, UNICODE, Verschlüsselung
7. **Application Layer** (Verarbeitungsschicht)  
Festlegung der eigentlichen Anwendung, Informationsverarbeitung  
Anwendungsprozess oberhalb der Schicht  
WWW, E-Mail, DNS

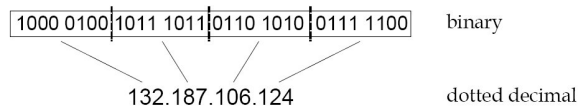
## 6 Internet

### 6.1 Structure and Basic Mechanisms

ISO/OSI	TCP/IP	
Application	Application	FTP, Telnet, WWW, DNS
Presentation	empty	
Session	empty	
Transport	Transport	TCP, UDP
Network	Internet	IP
Data Link	Host-to-Network	802.x, X.21, X.25
Physical		

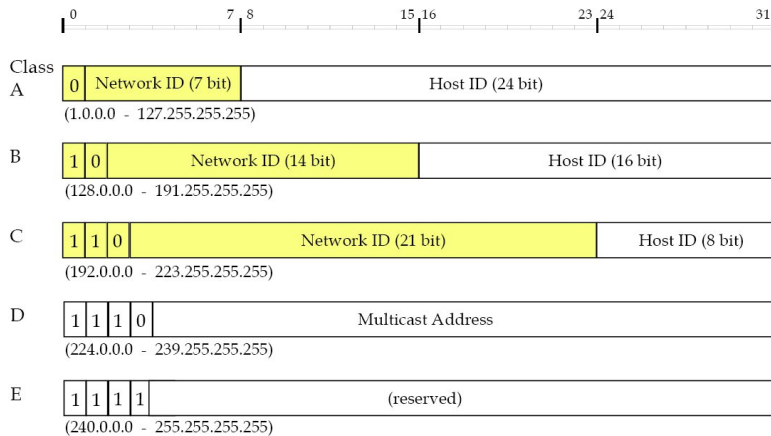
- **Application:** z.B. HTTP, SMTP, FTP
- **Transport:** transport of application-layer messages between end system, hosts or applications in hosts  
 verbindungsorientiert: TCP (Transmission Control Protocol), virtueller Kanal  
 verbindungslos: UDP (User Datagram Protocol) über Ports, unempfindlich ggü. verlorengegangenen und unsortierten Daten
- **Network:** delivers datagrams to destination host (routing)
- **Link:** delivers datagrams to next node along the route
- **Physical:** moves individual bits within the frame from one node to next node

- **End-to-end principle:**  
 End systems have equal roles on network and transport layer, distinguished on application layer (client, server, peer)
- **Internet core:** network of networks (tiered hierarchy of ISPs)
- **IP Addresses Version 4 (IPv4 - 32 bit address)**

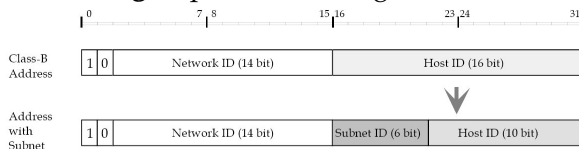


- **Interface:** Boundary between host/router and interconnection link
- **IP address:** address of an interface
- **Netmask:**  
 Efficient packet handling: fast identification of network and host part  
 Length of 1 bits represent network part: /x  
 IP-Address and netmask = network address

- **Classful addressing:** IP address class are A, B and C



- **Subnetting:** separation of large networks into subsystems



- **Classless Interdomain Routing (CIDR)**

the number x in classful addressing must be 8, 16 or 24

a.b.c.d/x, where x is number of bits in network portion

Routing protocols not dealing with individual network addresses, but prefixes

- **Address Resolution Protocol (ARP)**

data link layer communication is based on hardware addresses (MAC)

network layer communication is based on IP addresses

ARP: mechanism to find out hardware address when only IP is known

ARP broadcast to all hosts in local network with own IP and hardware address

- **Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)**

Enables hosts (DHCP clients) to obtain their IP configuration from a dedicated server (DHCP server) with UDP (ports)

- **Domain Name System (DNS)**

Name Server: Keeping information (distributed directory for Internet names)

Request to DNS: Dotted Decimal Notation of address

Distributed Directory System: queries iteratively or recursively (hierarchy)

- **Network Address Translation NAT**

connecting invisible machines and private networks to the Internet

Translation: all datagrams leaving local network have same single source NAT IP address (different port numbers)

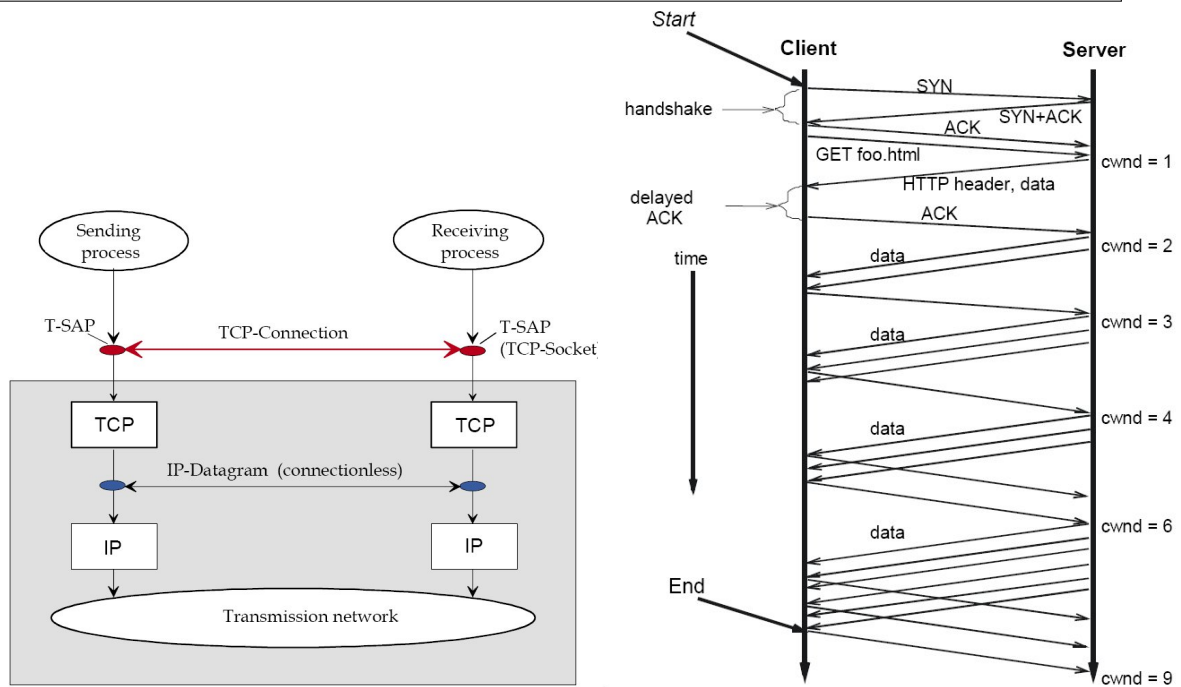
Problem: routers work on layer 3, NAT requires 4

## 6.2 Internet Protocol (IP)

IP transmits data using datagrams (Datenpakete). Datagrams can be fragmented.  
 IPv6: more address space (16 Byte address)

## 6.3 Transmission Control Protocol (TCP)

TCP is connection oriented, offers a reliable (zuverlässig) end-to-end byte stream to application processes  
 TCP connection between two TCP sockets (addresses), full-duplex and point-to-point  
 TCP socket consists of an IP-Address (32 bit) and a TCP port number (16 bit)  
 TCP transmits data in Segments (TCP data packet); fits in an IP datagramm



- Delayed ACKs: two IP packets are acknowledged together with one ACK
- The aim of the TCP bandwidth sharing using flow- and overload control is to distribute the transmission capacity as equally as possible



### **Congestion Window**

actual window size: Congestion Window (CWND): number of unacknowledged allowed segments

Threshold to limit CWND

*Start:* CWND grows exponentially *Congestion Avoidance:* after reaching THRESHOLD, CWND grows linearly

When a 3rd duplicate ACK event occurs / timeout event

-  $\text{THRESHOLD} = \text{CWND}/2$

-  $\text{CWND} = 1$

Retransmission of lost segment

**Fast Recovery:** schnellere Reaktion auf Paketverlust

## **6.4 Routing in the Internet**

### **Forwarding**

decides on how an incoming packet is to be relayed to

### **Routing**

is the process to be performed in order to find a cost-effective way through a network from a source to a destination data traffic

- network nodes acquire and communicate routing information by exchanging routing-related IP datagrams
- destination IP address is in the same subnet: first hop
- destination IP address is not in the subnet: standard or default gateway

### **IP routing**

single path routing (all packets originating from a single source are routed on the same path)

### **Distance-vector**

each node knows the cost of the link to each of its directly connected neighbors

each node talks only to its directly connected neighbors: it informs them everything it has learned

Each router constructs and maintains distance table with distance and shortest path to each node in the network

### **Link-state**

every node knows how to reach its directly connected neighbors

each node communicates to all other nodes, but informs only what it exactly knows

Flooding means that a node has to send its link-state information out on all of its directly connected links

### Dijkstra shortest-path algorithm

```
M = {s} bis jetzt erdigte Knoten
for each n in N - {s}
    C(n) = l(s,n) Kosten von s nach n, falls bekannt
while ( N ≠ M)
    M = M ∪ {w} sucht that C(w) is Min for all w in (N - M)
    for each n in (N-M)
        C(n) = MIN(C(n), C(w) + l(w,n))
```

- when the network topology changes: flooding mechanism
- Dijkstra does not generate much traffic  
responds rapidly to topology changes or node failures

### Routing Information Protocol (RIP)

RIP sets all link costs to 1; the metric used by RIP is hop count  
optimal route: minimum number of hops (max. 16 =  $\infty$ )

### Open Shortest Path First Protocol (OSPF)

uses Dijkstra shortest-path algorithm: individual link cost

### Border Gateway Protocol (BGP)

standard inter-domain routing protocol for the public Internet  
distance vector routing protocol  
peers exchange detailed path information rather than cost information

## 6.5 IP Network Management

### Simple Network Management Protocol (SNMP)

management standard for IP networks  
regelt die Kommunikation zwischen den überwachten Geräten (Router, Switch, PC,...)  
und Überwachungsstation und Management  
Organisation: zentral, dezentral, verteilt  
connectionless transport of control commands, using UDP

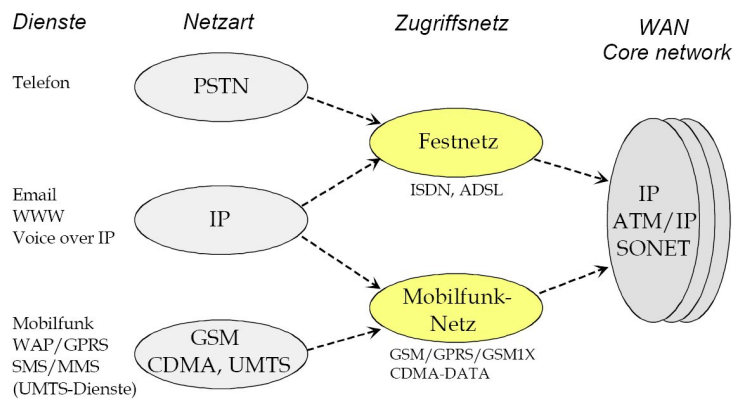
- Fault Management: identification, resolving faults
- Configuration Management: generation, restoration of config
- Accounting Management: usage monitoring
- Performance Management: analysis, prediction, improvement of network performance
- Security Management: authentication, authorization, protection

## 7 Vermittlungssysteme und -netze

### 7.1 Vermittlungssysteme

- Steuerung und Synchronisierung von vermittlungstechnischen Vorgängen
- Übermittlung und Auswertung von telefonischen Signalen
- Signalisierung: Nutzkanal oder Signalisierkanal

### 7.2 Konzepte zur Dienstintegration



- Integration oder Diversifikation
- Dienste-integrierendes Digitales Netz (ISDN)

### 7.3 ATM-Technologie

<b>Asynchronous Transfer Mode (ATM)</b> Daten in Zellen fester Länge übertragen (Paketvermittlung) asynchrone Zeitmultiplextechnik verbindungsorientiertes Vermittlungskonzept kleine Zellen: großer Overhead, geringer Vermittlungsaufwand
<b>Statistische Multiplexbildung</b> Zellen, die an Multiplexstufe ankommen gemäß FIFO weiterleiten hohe Auslastung der Ausgangsleitungen
<b>Protokollstruktur</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Bitübertragungsschicht (PHY)</li><li>• ATM-Schicht: Multiplex- und Demultiplexbildung</li><li>• ATM-Anpassungs-Schicht: Protokollanpassung zwischen höheren Schichten und der ATM-Schicht</li></ul>

- Virtuelle Kanäle: direkte Verbindung zwischen Endsystemen
- Virtuelle Pfade: Zusammenfassung mehrerer virtueller Kanäle  
Reduzierung des Routing-Aufwands
- konstante oder variable Bitrate
- Verträglichkeit des ATM-Zellstroms testen mit GCRA (Generic Cell Rate Algorithm). Dieser wird realisiert mittels Leaky-Bucket oder Virtual-Scheduling-Algorithmus
- Leaky-Bucket-Algorithmus  
eine Zelle gilt als nicht verträglich, wenn der Flüssigkeitsspiegel unmittelbar vor der Ankunft höher als der Grenzwert ist
- Virtual-Scheduling-Algorithmus  
tatsächliche Ankunftszeit  $t_i$  und der erwartete Ankunftszeitpunkt ( $TAT_i$ , Theoretical arrival time) werden verglichen  
L: Grenzwert (Toleranzgrenze)
  - $t_i > TAT_i$ : Zelle konform ( $TAT_{i+1} = t_i + I$ )
  - $t_i < TAT_i$ 
    - \*  $t_i > TAT_i - L$  toleriert ( $TAT_{i+1} = TAT_i + I$ )
    - \*  $t_i < TAT_i - L$  Zelle zu früh: verworfen ( $TAT_{i+1} = TAT_i$ )
- Verwendung des GCRA:  
GCRA (1/PCR,CDVT), wobei PCR = Peak Cell Rate, CDVT = Cell Delay Variation

Tolerance  
zur Überprüfung der Einhaltung des Verkehrsvertrags

## 8 Mobile Communication Networks

### 8.1 Introduction

- Aufteilung des Servicebereichs in Zellen: räumliche Wiederverwendung verfügbarer Frequenzen
- Frequenzmultiplex teilt jeder Zelle eine Zahl von Frequenzen zu
- Problems: Reflection, Diffractions, Shadowing effects

#### **FDMA (Frequency Division Multiple Access)**

Exclusive allocation of one frequency for the whole duration of a connection

#### **FDMA/TDMA - in GSM**

Frequency band segmented into time slots (combined with frequency division multiplex)

#### **Frequency hopping**

Change of frequency band every time frame: robustness

#### **SDMA (Space DMA)**

Separating medium is the space

#### **CDMA (Code DMA) - in UMTS**

orthogonal codes

- Small-scale fading: due to small changes in position
- Large-scale fading: on larger distances, signal strength decrease

### 8.2 GSM-Technologie

#### **GSM : Globale System for Mobile Communication**

Combination of FDMA / TDMA with slow frequency hopping

#### **GPRS : General Packet Radio Service**

transmission of packet data traffic

### 8.3 3rd Generation Mobile Networks - UMTS

<p><b>UMTS Network architecture</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- UE (User Equipment): Hardware, Smartcard</li> <li>- UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network): all radio relevant functionalities (Base Station)</li> <li>- CN (Core Network): Fixed transport network (routing, switching)</li> <li>- UMTS-PLMAN (Public Land Mobile Network): Subnet of network operator</li> </ul>
<p><b>CDMA-Technology</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Spreading: (pseudo-) orthogonal codes</li> <li>- Multiplexing</li> <li>- De-spreading</li> </ul>
<p><b>Orthogonal Codes</b></p> <p>Code is a vector <math>c = c_1, \dots, c_n; c_j \in \{+1, -1\}</math></p> <p>Codes are orthogonal if <math>c \cdot d = \sum_{j=1}^n c_j \cdot d_j = 0</math></p> <p><math>c \cdot c = n</math></p> <p>Pseudo-orthogonal: uncorrelated pseudo-random +1/-1-sequences</p> <p>generation with shift registers <math>\sum_{j=1}^n c_j \cdot c_{j+k} \approx 0</math></p>
<p><b>Spreading and De-spreading</b></p> $y_k = \frac{1}{n}(Y \cdot c_k) = \frac{1}{n} \cdot \left[ \sum_{j=1}^n \left( \sum_{i=1}^M x_i \cdot c_{i,j} \right) \cdot c_{k,j} \right]$ <p>for orthogonal codes: <math>y_k = x_k</math></p>

- Soft Handover: a mobile station is connected to several NodeBs
- Softer Handover: a mobile station is connected to several sectors of one NodeB
- Uplink Inner Loop Power Control  
a mobile station receives one or more Power Control commands and
  - reduces the transmit power (by one dB), if it receives at least one Power-Down command
  - increases the transmit power if it receives only Power-Up command
- CDMA cell does not have a fixed capacity: number of possible users depends on their activity, position, interference from other cells