

# S4

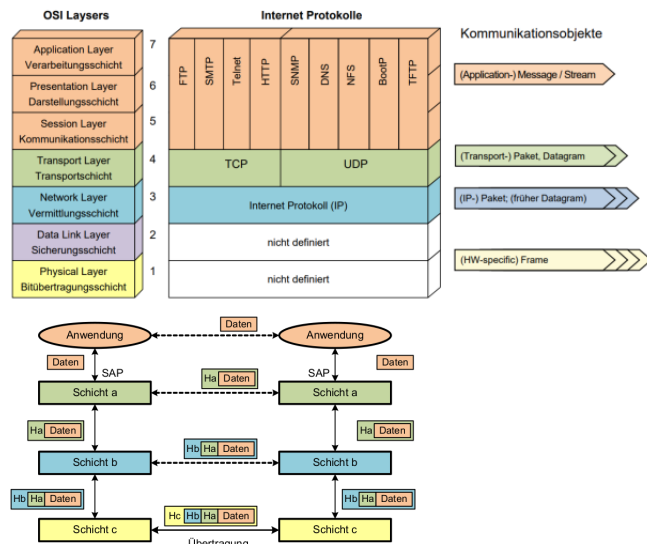
Version: 26. Mai 2023

## Dienst

Verbindungsorientiert	verbindungslos
Verbindungs-Aufbau nötig Ziel muss bereit sein	Jederzeit Nachrichten schicken Ziel muss nicht «bereit» sein

Zuverlässig	Unzuverlässig
Kein Datenverlust Sicherung durch Fehler-Erkennung - / Korrektur	Möglicher Datenverlust Keine Sicherung
Text-Nachrichten, Backup Dateidienste	Streaming Voip

Eine Schicht hat die Aufgabe der darüberliegenden Schicht bestimmte Dienste zur Verfügung zu stellen. Die Schichten benötigen kein Wissen über die Realisierung der darunterliegenden Schicht.



Ein Protokoll ist eine Sammlung von Nachrichten, Nachrichtenformaten und Regeln zu deren Austausch.

$$c_0 = 299'792'458m/s$$
$$c_{Medium} = 200'000 km/s = \frac{2}{3}c_0$$
$$c_{Glas} = \frac{c_0}{n} = 200'000 km/s$$

Signaldämpfung bezeichnet die Leistungsabnahme eines Signals.

- Je grösser die Bandbreite (Hz), desto höhere Datenraten (bit/s) übertragen
- Je kleiner die Dämpfung ist, desto grössere Distanzen können erreicht werden
- Senkt man die Bitrate (bei gleicher Dämpfung), können grössere Distanzen erreicht werden

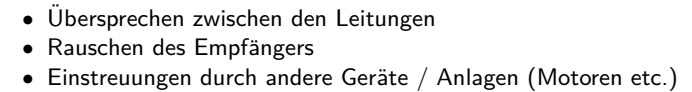
$$dB = 10 \cdot \log\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

$$dB = 10 \cdot \log\left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2$$

Das SNR ist ein Mass für die Qualität eines Signals. Es gibt an, wie stark das Signal im Vergleich zum Rauschen ist.

$$SNR = 10 \cdot \log\left(\frac{P_{Signal}}{P_{Noise}}\right)$$

## Signale und Störungen



- Koaxialkabel → Geeignet für hochfrequente Signale
- Twinaxial-Kabel → Hoher Schutz
- Twisted Pair (TP) → Häufig im Einsatz (Shielded / Unshielded)
- Glasfaser → Hohe Bandbreite, Geringe Dämpfung, Resistent

- Drahtgeflecht → niederfrequente Einstreuungen
- Metallisch beschichtete Folien → hochfrequente Störungen

S = Geflechschirm

- TP Kabel sind anfälliger auf Störungen als Koaxialkabel oder Glasfasern
- Störungen werden kapazitiv oder induktiv eingekoppelt z.B. von parallel geführten Leitungen oder Motoren etc.
- Bei Störungen von benachbarten Leitungen spricht man von Übersprechen oder Nebensprechen (crosstalk)

- Kappazitive Störung → Abschirmung
- Induktive Störung → twisted

- Zentrum aus Kernglas mit hoher optischer Dichte (Brechungsindex 1.5)
- Vom Mantelglas umschlossen, geringere optische Dichte (Brechungsindex 1.48)
- Lichtstrahlen breiten sich im Kernglas aus und werden am Mantelglas totalreflektiert
- Die Eigenwellen (Ausbreitungswege der Lichtstrahlen) werden als Moden bezeichnet.

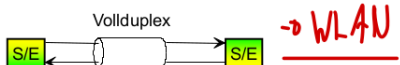
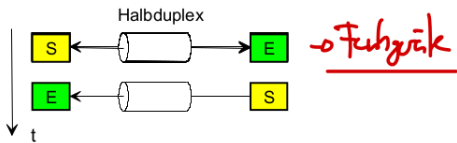
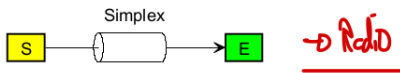
## Physical Layer

### Arten der Kommunikation (Verkehrsbeziehung)

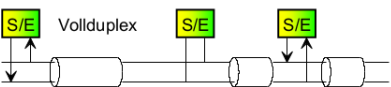
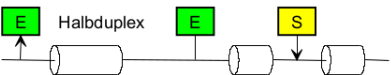
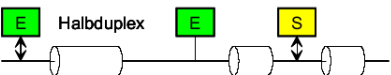
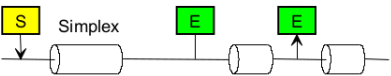
- Simplex → Ein Kanal, in eine Richtung
- Halbduplex → Ein Kanal, abwechselungsweise in zwei Richtungen
- Vollduplex → Ein Kanal pro Richtung

### Arten der Verbindungen (Kopplung)

**Punkt - Punkt** Direkte Verbindung zweier Kommunikationspartner



**Shared Medium** Mehrere Partner verwenden das gleiche Medium



## Leitungscode

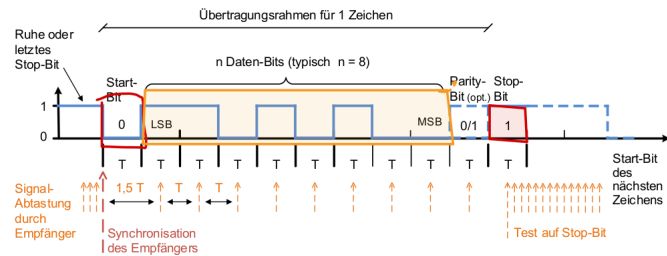
Leitungscode sollen:

- die physikalisch vorhandene Bandbreite effizient nutzen
- Taktrückgewinnung erlauben, um eine separate Taktleitung einzusparen
- möglichst gleichspannungsfrei sein, um Sender und Empfänger mit Übertragern (Signaltransformatoren, Magnetics) galvanisch trennen zu können.

Beispiele:

- 3-wertiger AMI-Code (Alternate Mark Inversion)
- PAM3 Kanalcodierung

## Serielle asynchrone Übertragung



*LSB* = Least Significant Bit, *MSB* = Most Significant Bit

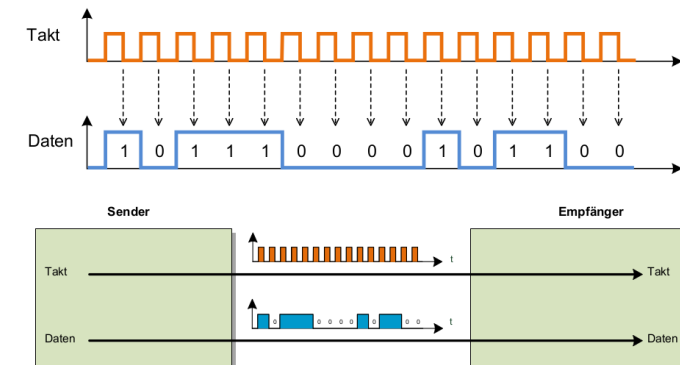
### Wichtig:

Übertragener Wert ablesen:

*LSB* zuerst, *MSB* zuletzt

1101'0100 → *LSB* zuerst → 0100'1101

## Serielle synchrone Übertragung



## Datenübertragungsrate

- Baudrate → Symbole pro Sekunde
- Zeichenrate → Zeichen pro Sekunde

## Frequenz

Die Frequenz ist die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde. Masseinheit Hertz (Hz)

## Bit-Dauer

$T [s] = \text{Bit-Dauer}$ ,  $B = \text{Baud}$

$$T = \frac{1}{B}$$

## maximale Symbolrate

Die maximale Symbolrate  $f_s$  (Baud) ist gleich der doppelten Bandbreite  $B$  (Hz) des Übertragungskanal.

Einheit: Baud (Bd)

Nyquist:

$$f_s = 2 \cdot B$$

## Maximal erreichbare Bitrate

$R [\text{bit/s}] = \text{Bitrate}$

$$R \leq 2B \cdot \log_2 M$$

$$\log_2(x) = \frac{\log_{10}(x)}{\log_{10}(2)}$$

## Bandbreite

Die Bandbreite hängt von der Übertragungsstrecke und der Stärke des Signals im Vergleich zu den vorhandenen Störungen, ab.

- Eigenschaft des Übertragungskanal und durch das Medium begrenzt
- Masseinheit Hertz (Hz)

## Kanalkapazität

Berücksichtigt für einen realen Kanal das Signal-zu-Rausch Leistungsverhältnis  $S/N$  (Shannon)

Einheit Bit/s (bps)

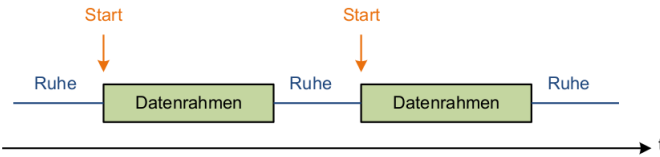
$$C_s = B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

$$\log_2(x) = \frac{\log_{10}(x)}{\log_{10}(2)}$$

## Data Link Layer (Sicherungsschicht)

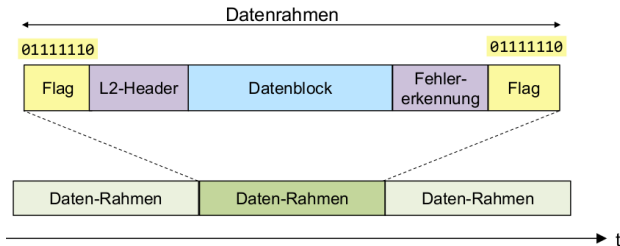
### Framing (Asynchron)

- Keine Daten → Nichts wird gesendet
- Zu Beginn eines Frames wird ein Start-Bit gesendet



### Framing (Synchron)

- Frames werden ohne Unterbruch gesendet
- Stehen keine Daten an, werden Flags gesendet
- Frames werden durch ein Start- und ein End-Flag begrenzt



### Bitstopfen

Wird verwendet, um ein Bitmuster zu garantieren.

- Sender fügt im Datenstrom nach 5 Einsen immer eine 0 ein.
- Empfänger wirft nach 5 Einsen immer ein Bit weg.

### Fehlererkennung / Fehlerkorrektur

- FER (Frame Error Ratio)
- RER (Residual Error Ratio)
- BER (Bit Error Ratio) Anzahl fehlerhafte Bits im Verhältnis zu Gesamtzahl der Bits

### Wahl der Framelänge

- Lange Frames → Höhere Nutzdatenrate, Fehleranfällig
- Kurze Frames → Tiefere Nutzdatenrate, Zuverlässig

### Datenraten

$$F_R = \text{FrameRate}, B = \text{BitRate}, F_L = \text{FrameLength}$$

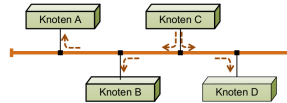
$$N = \text{NutzBits}, P = \text{Payload}$$

$$F_R = \frac{B}{8 \cdot (F_L + IFG)}$$
$$N = F_R \cdot P \cdot 8$$

## Ethernet 1 (LAN, Grundlagen)

### Topologien

#### Bus



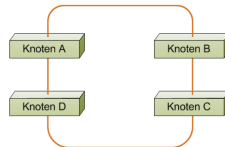
- Alle Stationen: sind passiv angeschlossen, horchen Leitung permanent ab, werden aktiv, wenn sie etwas senden wollen
- Taktrückgewinnung erlauben, um eine separate Taktleitung einzusparen
- Empfänger erkennt anhand einer Adresse, ob die Daten für ihn relevant sind

#### Linie



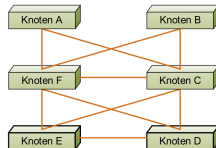
- Punkt-zu-Punkt Verbindungen zwischen benachbarten Knoten
- Alle Stationen müssen: Daten empfangen, Daten regenerieren, falls nötig weiterleiten
- Der Ausfall einer Station führt zur Segmentierung des LAN in zwei Teile

#### Ring



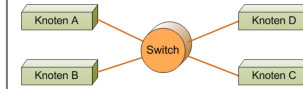
- Benötigt Verfahren zur Verhinderung von endlosem Kreisverkehr
- Gewisse Redundanz: beim Ausfall einer Station kann immer noch jede Station erreicht werden

#### Vermascht



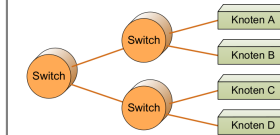
- Weitere Erhöhung der Redundanz:
- Ausfall einer oder eventuell auch mehrerer Stationen oder Verbindungen kann toleriert werden
- Zusätzliche Kosten und Aufwand, um mehrfache Lieferung von Daten zu verhindern

#### Stern



- Jede Station an zentralen Verteiler (Switch/Bridge) angeschlossen
- Verteiler entkoppelt Knoten elektrisch und macht LAN weniger störungsanfällig
- Verteiler sendet Daten, die er von einer Station erhält, an die anderen Knoten weiter

#### Baum



- Hierarchische Erweiterung der Sterntopologie
- Intelligenten Switches ermöglichen einen Grossteil der Kommunikation „lokal“
- Dadurch Verringerung der Last für die einzelnen Switches

## Übertragungsarten

#### Unicast



- Genau ein, klar spezifizierter Empfänger
- Frame trägt die Adresse dieses Empfängers
- Analogie: Briefpost

#### Broadcast



- An alle Knoten im LAN gerichtet
- Frame trägt die Broadcast-Adresse des LAN
- Analogie: Radio-Sendestation

#### Multicast



- Gruppe von Empfängern
- Frame trägt die Multicast-Adresse der Gruppe
- Analogie: Mailing-Liste

## MAC Adressen

Adressierung in LANs, bestehen aus 6 Bytes

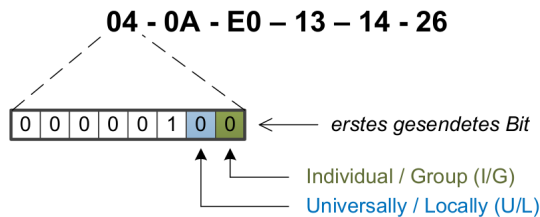
Registrierung bei IEEE

- 3-Byte "OUI" identifiziert Hersteller
- 3-Byte Laufnummer durch Hersteller verwaltet



00-00-0C	Cisco
00-00-0E	Fujitsu
00-00-AA	Xerox
00-01-02	3Com
00-AA-00	Intel
<b>00-15-12</b>	<b>ZHAW ©</b>
08-00-11	Tektronix
08-00-20	Sun
08-00-46	Sony
08-00-5A	IBM

Zwei Bits klassifizieren die MAC Adresse:



Individual/Group Bit (I/G):

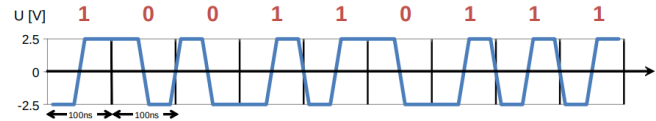
- 0 = individual address (Normalfall),
- 1 = group address z.B. Broadcast FF-FF-FF-FF-FF-FF

Universally/Locally Bit (U/L):

- 0 = universally administrated address (Normalfall)
- 1 = locally administrated address

## 10 Mbit/s (10BASE-T) Manchester Codierung

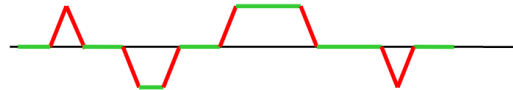
- Erlaubt die Taktrückgewinnung auf einfache Weise: weil Bei jedem Bit gibt es einen Signalwechsel
- Bandbreite von 10 MHz benötigt (also das doppelte des theoretischen Minimums)
- 1 positive Flanke, 0 negative Flanke



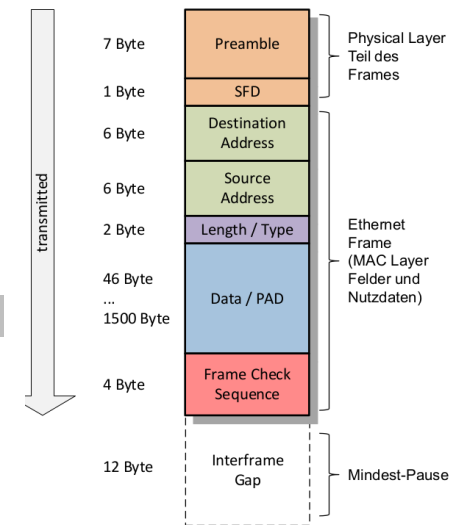
## 100 Mbit/s (100BASE-TX) NRZI-Codierung

- NRZI-Codierung (Non Return to Zero Inverted), kombiniert mit MLT-3 (MLT-3 = Multi-Level Transmit) 125 MBaud → 1 Symbol entspricht 8 ns
- 4B/5B Code Leitungscodierung
- 4 Bits des MII (Zeichen) werden mit einem 5 Bit-Zeichen (Code Group) auf der Leitung codiert

**011001010010001000110**



## Ethernet - Frame Format



- Length/Type (2 Bytes):
  - Fall 1: Länge von DATA ohne PAD ( $\leq 1500$ )
  - Fall 2: Typ von DATA = Protokoll der nächsten Schicht ( $\geq 1536$ )
    - Beispiel: 0x0800 für IP
- Data / Padding (46 – 1500 Bytes):
  - Enthält die eigentlichen Datenbytes (Nutzinformation)
  - Bei weniger als 46 Bytes Nutzdaten wird mit Padding (PAD) Bytes aufgefüllt
- Frame Check Sequence, FCS (4 Bytes):
  - IEEE CRC-32 Algorithmus
- Interframe Gap, IFG (12 Bytes):
  - "Zwangspause" zwischen aufeinanderfolgenden Frames
  - Ist **NICHT** Teil des Ethernet Frames

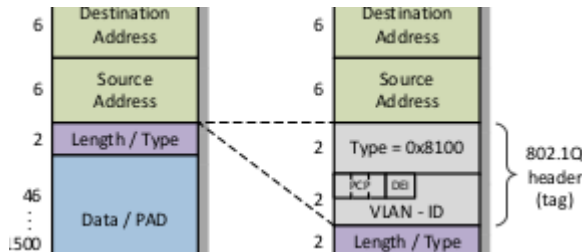
## Ethernet 2 (Ethernet Systeme)

### Virtuelle LANs

**Trunk-Links** Trunk Links sind Teil von mehreren VLANs. Auf den Trunk Links müssen Frames der verschiedenen VLANs eindeutig gekennzeichnet werden!

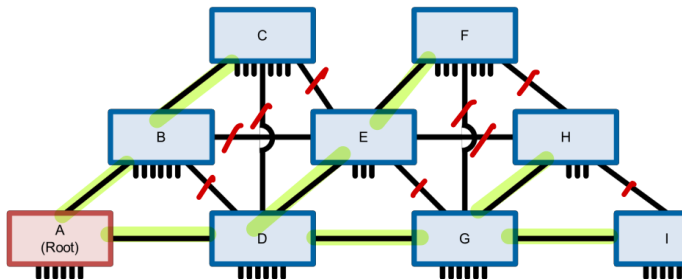
**VLAN-Tag** Erweiterung des Ethernet Headers durch einen VLAN-Tag. Die maximalen Nutzdatenlänge bleibt erhalten, der Ethernet Frame wird 4 Bytes länger

- Type 0x8100 → getaggttes Frame
- Priority Code Point ermöglicht die Priorisierung gewisser Applikationen
- Discard Eligibility Indicator 0 → Frame wird bei Überlastsituationen zuerst verworfen
- VLAN Tagging erfolgt oft beim Eintritt / Austritt ins Netz
- Für Endgeräte unsichtbar



### Spanning Tree

**Ziel:** Alle Segmente in einer loop-freien Topologie verbinden. Beim Spanning-Tree werden von redundanten Pfaden alle ausser einer gesperrt. Im Fehlerfall wird falls möglich ein ausgefallener Port ersetzt. Der Algorithmus bestimmt eine Root-Bridge, von welcher aus dem Baum aufgespannt wird.



### Autonegotiation

**Ziel:** Ermittlung der besten Betriebsart durch Austausch der Leistungsmerkmale zweier Netzwerkkomponenten.

## Bridges

Bridges verfügen über einen Mechanismus zum Erlernen von Adressen. Eine Bridge hört den Verkehr von allen Ports ab und merkt sich die Sender-Adressen aus den empfangenen Frames in der sogenannten «Filtering Database».

**Filtering Database** beinhaltet für jede bekannte Mac-Adresse das Bridge-Port, über welches der zugehörige Knoten erreichbar ist. Unbenutzte Einträge in der Filtering Database werden nach einer gewissen Zeit automatisch gelöscht

## Router

**Router** sind Komponenten, die es erlauben Subnetze miteinander zu verbinden. Router haben eine ähnliche Funktion wie Bridges, allerdings arbeiten sie auf dem Network Layer.

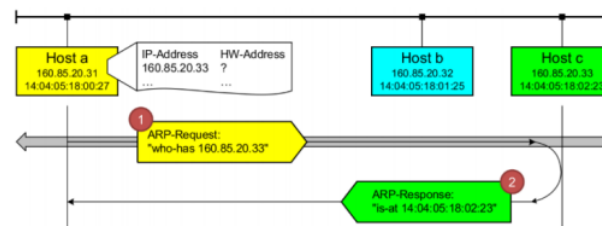
- Router empfangen nur Pakete, die direkt an sie adressiert sind.
- Die Weiterleitung erfolgt anhand der Network Layer Adresse.
- DBenutzen immer den optimalen Pfad.
- Für Endgeräte unsichtbar

## Routing-Tabelle

- Sortiert nach der Länge der Netzmaske
- Von oben nach unten durchsucht
- Verglichen werden die Netzadressen

## ARP (Address Resolution Protocol)

**Ziel:** Ermittlung der MAC-Adresse zu einer IP-Adresse.



## ARP (Internet Protokoll Format (IP-Header))

Ein IP-Packet besteht aus einem Header (min. 20 Byte) und Nutzdaten.

- **Version** IPv4 / IPv6
- **IHL** Header Length in 4-Byte (20 Byte → IHL = 5)
- **Type of Service** Erlaubt Priorisierung
- **Total Length** Länge des IP-Packets (Header + Nutzdaten)
- **ID Number** Identifikation des IP-Pakets / Fragmente
- **Flags** Kontroll-Flags für Fragmentierung
- **Fragment Offset** Gibt an, wo ein Fragment hingehört
- **Time to Live** Hop-Counter, 0 → Paket wird verworfen
- **Protocol** Übergeordnetes Protokoll

1. Byte								2. Byte								3. Byte								4. Byte							
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Version				IHL				Type of Service								Total Length															
Identification Number																Flags		Fragment Offset													
Time to Live								Protocol								IP Header Checksum															
IP Source Address																															
IP Destination Address																															
Options / Padding																															

Das unterliegende Netz limitiert die Grösse eines Pakets (Maximum Transfer Unit). Der Sender kennt die MTU der Netze nicht.

## Fragmentierung

Um über Netze mit verschiedenen Maximum Transfer Units (MTU) arbeiten zu können, unterstützt IP Fragmentierung und Reassembly.

- Länge der Nutzdaten = Vielfaches von 8 Bytes
- Die Pakete haben die gleiche und grösstmögliche Länge

Jedes IP Fragment beinhaltet alle notwendigen Daten um den Endknoten zu erreichen (IP Header) und ein Vielfaches von 8 Bytes an Transportlayer-Daten (Ausnahme: letztes Fragment)

## Reassembly

1. Zusammensetzen beim Zielhost
2. Letztes Fragment: MF = 0

Feld	Position	Werte	Funktion
	0	0	Reserved, must be Zero
DF	1	0 / 1	May / Don't Fragment
MF	2	0 / 1	Last / More Fragments

## Internet-Adressierung (IPv4)

- Netzadresse → Tiefste Adresse im Subnetz
- Broadcast → Höchste Adresse im Subnetz

Beispiel im Anhang.

Klasse	Adressbereich	Anzahl Netze	Interfaces pro Netz
A	1.0.0.0 – 127.255.255.255	127	16'777'214
B	128.0.0.0 – 191.255.255.255	16'384	65'534
C	192.0.0.0 – 223.255.255.255	2'097'152	254
D	224.0.0.0 – 239.255.255.555	Multicast Adressen	
E	240.0.0.0 – 255.255.255.255	Reserviert für zukünftige Nutzung	

Private Adressbereiche (werden im Internet nicht weitergeleitet):

Klasse	Netzadresse(n)	Anzahl Netze	Subnetzmaske
A	10.0.0.0	1	255.0.0.0
B	172.16.0.0 – 172.31.0.0	16	255.255.0.0
C	192.168.0.0 – 192.168.255.0	256	255.255.255.0

## Transport Layer

### User Datagram Protocol (UDP)

- unzuverlässiges, verbindungsloses Protokoll
- UDP-Sitzungen werden durch eine 2-Tupel-Adresse (Ziel-IP, Zielport) identifiziert.
- keine Mechanismen zur Fehlererkennung oder Fehlerkorrektur, Zuverlässigkeit und Flusskontrolle
- UDP-Pakete → beliebiger Reihenfolge ankommen oder verloren gehen, ohne Empfänger benachrichtigt
- für Anwendungen: geringe Latenz → Echtzeitkommunikation oder Streaming.
- Multicasting und Broadcasting,

### Transmission Control Protocol (TCP)

- zuverlässiges, verbindungsorientiertes Protokoll
- implementiert Fehlererkennung, Flusskontrolle und Sequenzierung.
- TCP-Sitzungen werden durch eine 4-Tupel-Adresse (Quell-IP, Quellport, Ziel-IP, Zielport) identifiziert.
- 3-Way-Handshake, um eine Verbindung aufzubauen: SYN, SYN-ACK, ACK.
- Sequenznummern, um Reihenfolge empfangener Pakete zu überprüfen und fehlende oder beschädigte Pakete zu erkennen.
- Bestätigungen (ACKs), um Empfang von Datenpaketen zu bestätigen und Sender informieren, welche Daten erfolgreich übertragen.
- Flusskontrolle, um sicherzustellen, dass der Sender Daten nicht schneller sendet, als der Empfänger verarbeiten kann.
- Überlastkontrolle, um die Netzwerküberlastung zu vermeiden
- Segmentierung von Daten in kleinere Einheiten (Segmenten) für Übertragung → stellt sicher, dn Reihenfolge zusammengefügt.
- TCP bietet Mechanismen zur Zuverlässigkeit, Flusskontrolle und Fehlerbehebung, ist jedoch im Vergleich zu UDP (User Datagram Protocol) langsamer und erzeugt einen höheren Overhead.

## Ports

- System Ports (Well-Known)
- User Ports (Registered)
- Dynamic / Private Ports

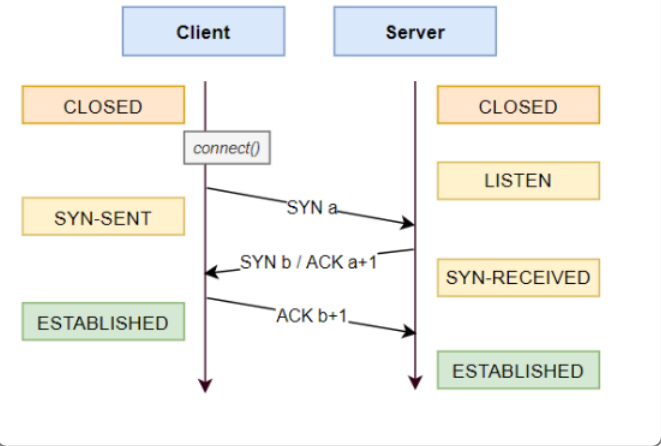
System Ports	User Ports	Dynamic Ports
0 - 1023	1024 - 49'151	49'152 - 65'535

## Verbindungsauf und -abbau und Datenaustausch

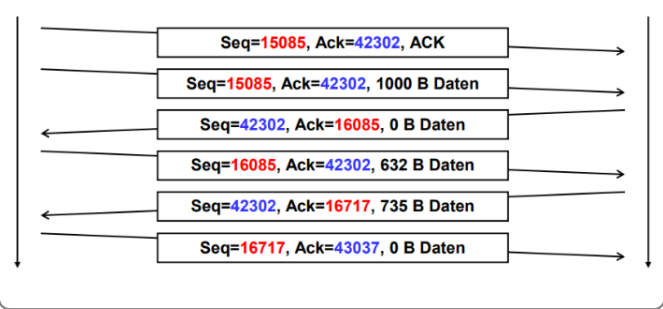
### Abkürzungen:

LISTEN	Auf Anforderung warten
SYN-SENT	Auf Anforderung warten
SYN-RECEIVED	Anforderung erhalten
ESTABLISHED	Verbindung besteht
SYN	Verbindungsaufbau
ACK	Paket bestätigen
FIN	Verbindungsabbau
FIN-WAIT-1	Verbindungsaufbau
FIN-WAIT-2	Abbauanforderung bestätigt
CLOSE-WAIT	Auf Lokale Verbindung warten
LAST-ACK	Verbindungsabbau bestätigt
TIME-WAIT	Letzte Bestätigung gesendet

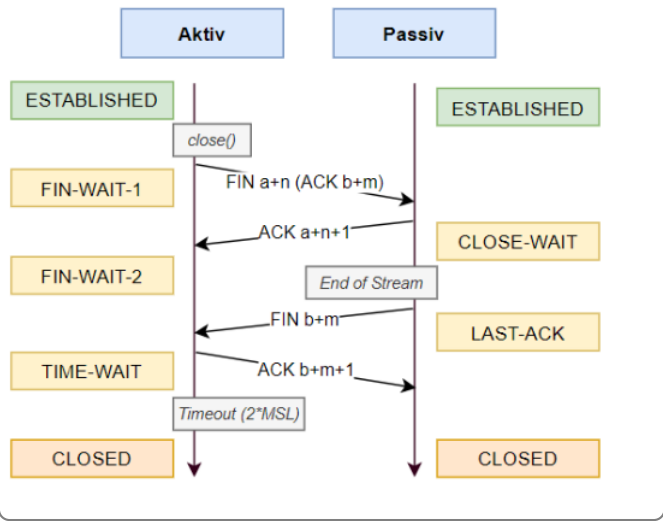
### Verbindungsaufbau:



## Datenaustausch:

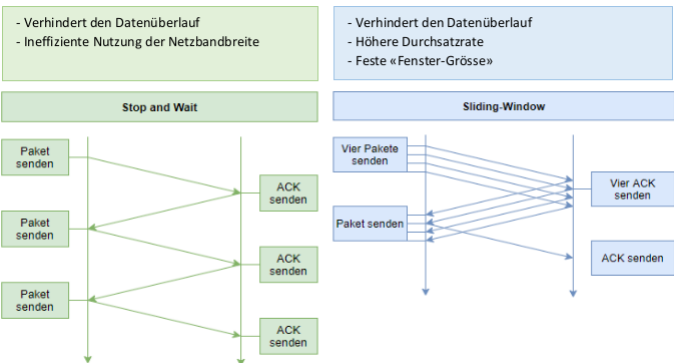


## Verbindungsabbau:



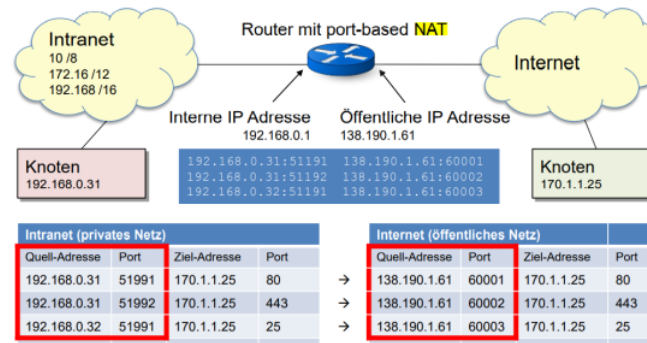
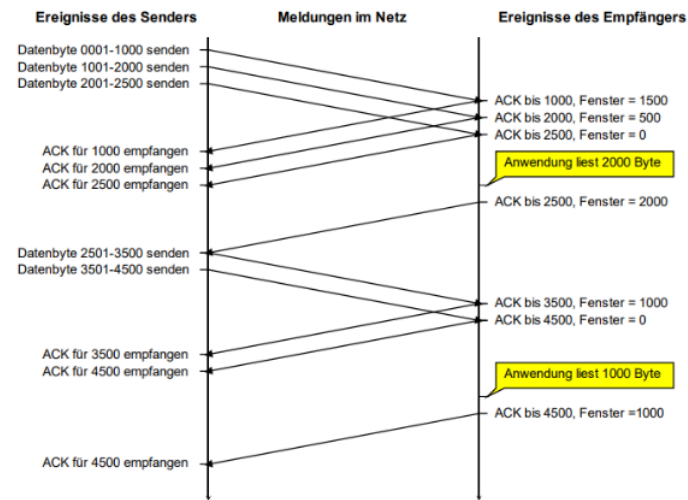
## Überlast des Empfängers: Fluss-Steuerung

TCP verwendet den Sliding-Window Mechanismus. Beide Seiten einen Buffer (Window).





## Fluss-Steuerung bei TCP

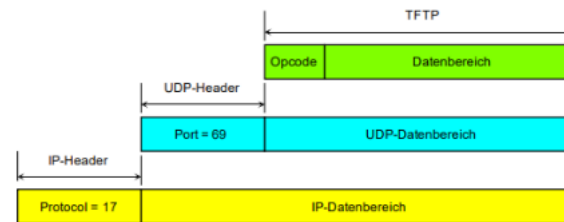


## BOOTP

- Manuelle Verwaltung
- Heimanwender sind überfordert
- Statische Adresszuordnung

## Trivial File Transfer Protocol (TFTP)

Basiert auf UDP



## Erkennung von verlorene Telegramme (Round Trip Time)

Um Fehler Paketverluste und andere Fehler zu verhindern, werden Pakete nach einer bestimmten Zeit erneut übertragen, wenn keine Bestätigung gesendet wurde. Um diese Zeit zu optimieren, misst TCP bei jeder aktiven Verbindung die Round-Trip Time (RTT).

## Retransmission Time-Out RTO

### Application Layer

### Domain Name Space (DNS)

## Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)

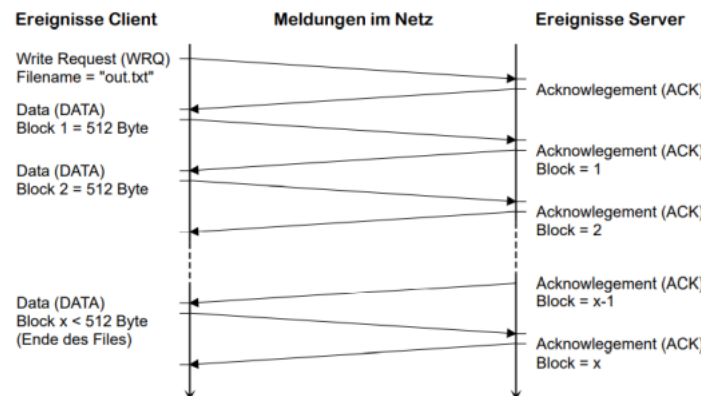
- Paketformat identisch zu BOOTP
- Dynamische Zuweisung von IP-Adressen
- PReserviert nur IP's von aktiven Geräte

Ablauf (DHCP):

1. Client sucht DHCP Server mittels Broadcast
2. DHCP Server antwortet (DHCP offer)
3. Der Client wählt einen Server und fordert eine
4. Der Server bestätigt mit einer Message, welche die endgültigen Parameter enthält
5. Vor Ablauf der Lease-Time erneuert der Client die Adresse

## Network Address Translation (NAT)

NAT verletzt das Konzept der OSI-Layer, da eine Network-Funktion auf den Transport-Header zugreift. IP-Adresse und Portnummer werden dabei verändert.



## Simple Mail Transfer Protocol (SMTP)

## Addressierung IPv4 Beispiel:

- Interface 000...000 32 – Länge vom Subnetz
- Subnetzmaske 255.255.240.0 1111'1111.1111'1111.1111'0000.0000'0000
- Subnetz 160.85.16.0/20 20 = Länge

					0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Subnetzmaske	255	255	240	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Subnetz	160	85	16	0 / 20	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Netzadresse	160	85	16	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subnetzmaske (invertiert)	255	255	240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Subnetz	160	85	16	0 / 20	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Broadcast	160	85	31	255	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

## Subnetze Berechnen

0	00000000
128	10000000
192	11000000
224	11100000
240	11110000
248	11111000
252	11111100
254	11111110
255	11111111

<https://www.itslot.de/2019/02/ipv4-subnetting-berechnen-schritt-fur.html>

## IP Subnetzmasken

Netzmaske (DEC)	Netzmaske (BIN)	Netz	Anzahl IPs
255.255.0.0	11111111'11111111'00000000'00000000	/16	65'534
255.255.128.0	11111111'11111111'10000000'00000000	/17	32'766
255.255.192.0	11111111'11111111'11000000'00000000	/18	16'382
255.255.224.0	11111111'11111111'11100000'00000000	/19	8'190
255.255.240.0	11111111'11111111'11110000'00000000	/20	4'094
255.255.248.0	11111111'11111111'11111000'00000000	/21	2'046
255.255.252.0	11111111'11111111'11111100'00000000	/22	1'022
255.255.254.0	11111111'11111111'11111110'00000000	/23	510
255.255.255.0	11111111'11111111'11111111'00000000	/24	254
255.255.255.128	11111111'11111111'11111111'10000000	/25	126
255.255.255.192	11111111'11111111'11111111'11000000	/26	62
255.255.255.224	11111111'11111111'11111111'11100000	/27	30
255.255.255.240	11111111'11111111'11111111'11110000	/28	14
255.255.255.248	11111111'11111111'11111111'11111000	/29	6
255.255.255.252	11111111'11111111'11111111'11111100	/30	2

## Filtering-Database

Aging-Time: 50 Sekunden

Zeit	Step	S → E	Port 1	Port 2	Port 3	Port 4
			Gelernte Adressen			
0 s	1	AtoB			A	
20 s	2	AtoC			A	
40 s	3	BtoC	B		A	
60 s	4	CtoA	B		A	C
80 s	5	CtoA	B			C
100 s	6	BtoA	B			C
120 s	7	BtoA	B			C
140 s	8	AtoB	B		A	
160 s	9	AtoB	B		A	
180 s	10	AtoB			A	