

# Kommunikationstechnik - S4

Raphael Nambiar

Version: 25. Mai 2023

## OSI-Modell

### Dienst

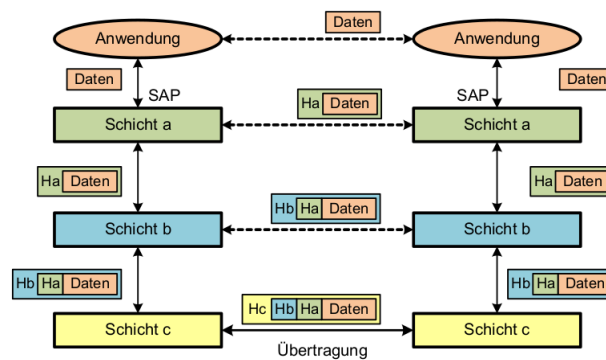
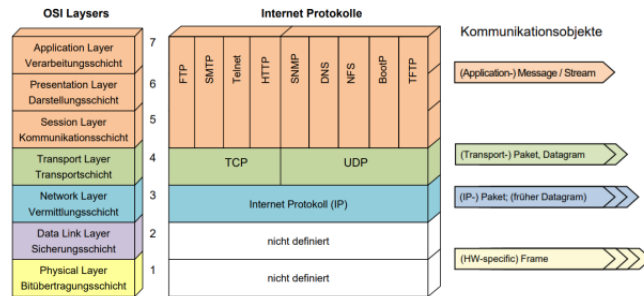
Klassifizierung von Diensten:

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

## Schicht

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.



## Protokoll

Ein Protokoll ist eine Sammlung von Nachrichten, Nachrichtenformaten und Regeln zu deren Austausch. In der Technik ist ein Kommunikationsprotokoll eine Vereinbarung, die festlegt wie eine Datenübertragung zwischen Kommunikationspartnern abläuft.

## Übertragungsmedien

### Ausbreitungsgeschwindigkeit

Lichtgeschwindigkeit im Vakuum:

$$c_0 = 299'792'458 \text{ m/s}$$

Ausbreitungsgeschwindigkeit in Medien:

$$c_{\text{Medium}} = 200'000 \text{ km/s} = \frac{2}{3} c_0$$

#### Beispiel:

Licht im Glas, Brechungsindex  $n = 1.5$

$$c_{\text{Glas}} = \frac{c_0}{n} = 200'000 \text{ km/s}$$

### Signaldämpfung

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

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

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

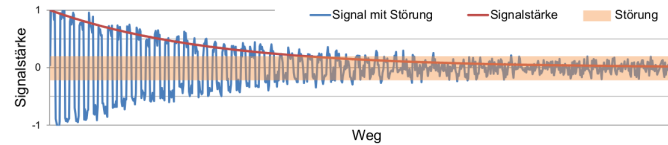
### Signal-Rausch-Verhältnis (SNR)

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

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

In dB angegeben.

## Signale und Störungen



Mögliche Ursachen der Störungen:

- Übersprechen zwischen den Leitungen
- Rauschen des Empfängers
- Einstreuungen durch andere Geräte / Anlagen (Motoren etc.)

### Kabeltypen

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

### Schirmeigenschaften

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

**xx/yTP** worin **TP** für Twisted Pair steht:

**xx** steht für die Gesamtschirmung:

U = ungeschirmt

F = Folienschirm

S = Geflechschirm

SF = Schirm aus Geflecht und Folie

**y** steht für die Aderpaarschirmung:

U = ungeschirmt

F = Folienschirm

S = Geflechschirm

### TP Kabel und Störungen

- 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)

#### Fausregel:

- Kapazitive Störung → Abschirmung
- Induktive Störung → twisted

### Lichtwellenleiter

- 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.

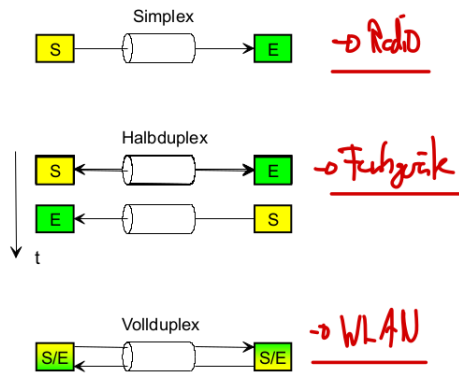
## Physical Layer

### Arten der Kommunikation (Verkehrsbeziehung)

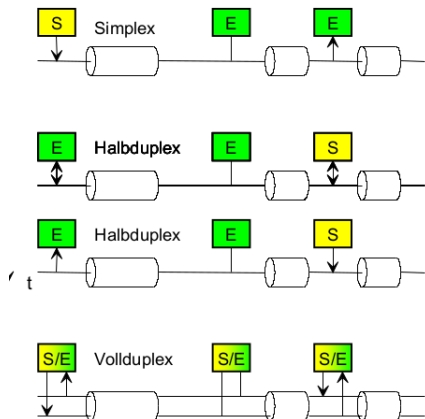
- Simplex → Ein Kanal, in eine Richtung
- Halbduplex → Ein Kanal, abwechselungsweise in zwei Richtungen
- Vollduplex → Ein Kanal pro Richtung

### Arten der Verbindungen (Kopplung)

**Punkt - Punkt** Direkte Verbindung zweier Kommunikationspartner



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



## Leitungscode

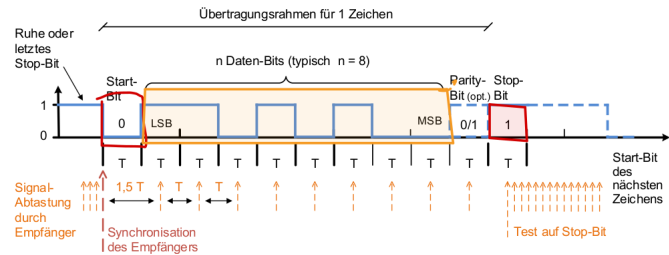
Leitungscode sollen:

- 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

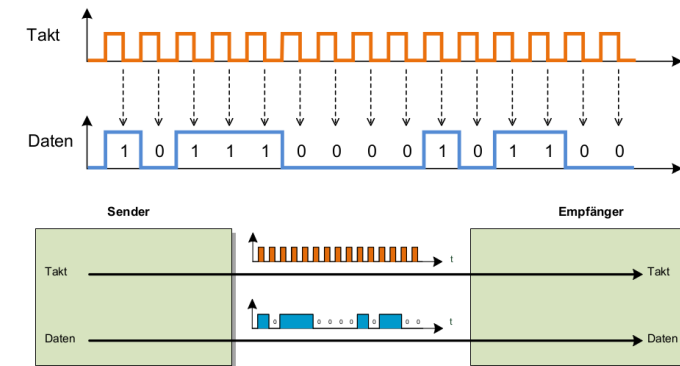


LSB = Least Significant Bit, MSB = Most Significant Bit

### 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)

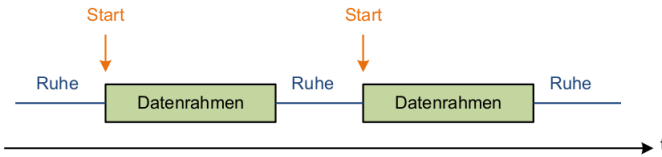
$$C_s = B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

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

## Data Link Layer (Sicherungsschicht)

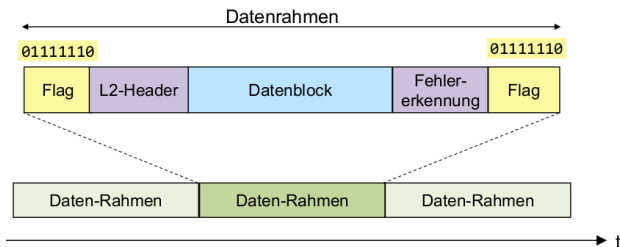
### Framing (Asynchron)

- 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

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

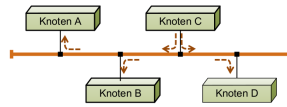
$N = \text{NutzBits}, P = \text{Payload}$

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

## Ethernet 1 (LAN, Grundlagen)

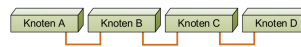
### Topologien

#### Bus



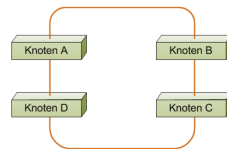
- Alle Stationen: sind passiv angeschlossen, horchen Leitung permanent ab, werden aktiv, wenn sie etwas senden wollen
- Taktrückgewinnung erlauben, um eine separate Taktleitung einzusparen
- Empfänger erkennt anhand einer Adresse, ob die Daten für ihn relevant sind

#### Linie



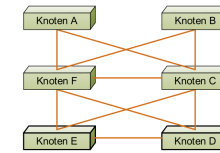
- Punkt-zu-Punkt Verbindungen zwischen benachbarten Knoten
- Alle Stationen müssen: Daten empfangen, Daten regenerieren, falls nötig weiterleiten
- Der Ausfall einer Station führt zur Segmentierung des LAN in zwei Teile

#### Ring



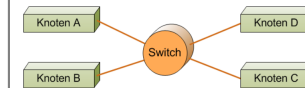
- Benötigt Verfahren zur Verhinderung von endlosem Kreisverkehr"
- Gewisse Redundanz: beim Ausfall einer Station kann immer noch jede Station erreicht werden

### Vermascht



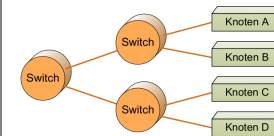
- Weitere Erhöhung der Redundanz:
- Ausfall einer oder eventuell auch mehrerer Stationen oder Verbindungen kann toleriert werden
- Zusätzliche Kosten und Aufwand, um mehrfache Lieferung von Daten zu verhindern

### 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

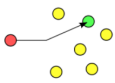
### Baum



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

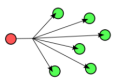
## Übertragungsarten

### Unicast



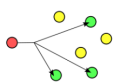
- Genau ein, klar spezifizierter Empfänger
- Frame trägt die Adresse dieses Empfängers
- Analogie: Briefpost

### 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

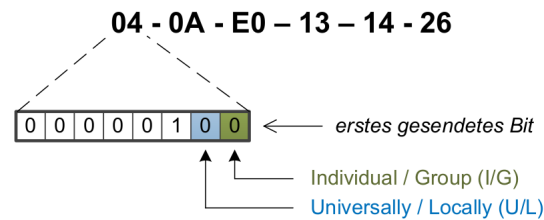
- 3-Byte "OUI" identifiziert Hersteller
- 3-Byte Laufnummer durch Hersteller verwaltet

Hersteller (I/G=0 und U/L=0)    Laufnummer

**04 - 0A - E0 - 13 - 14 - 26**

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:

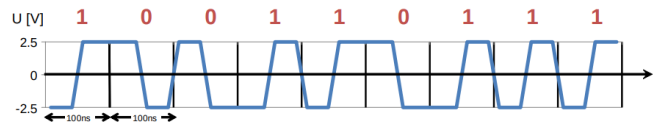


Individual/Group Bit (I/G):  
0 = individual address (Normalfall),  
1 = group address z.B. Broadcast FF-FF-FF-FF-FF-FF

Universally/Locally Bit (U/L):  
0 = universally administrated address (Normalfall)  
1 = locally administrated address

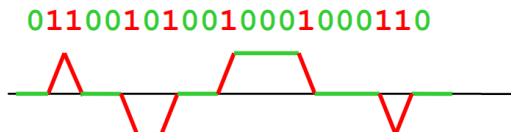
## 10 Mbit/s (10BASE-T) Manchester Codierung

- 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

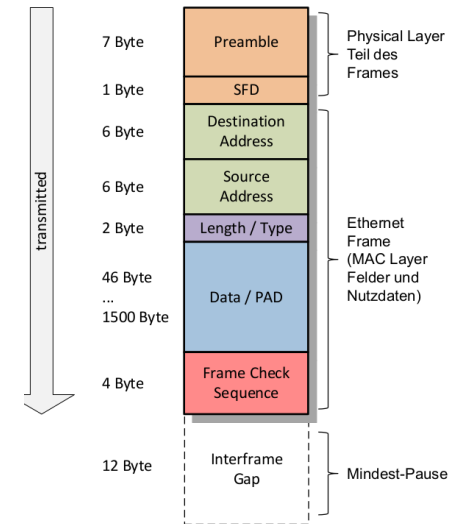


## 100 Mbit/s (100BASE-TX) NRZI-Codierung

- 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



## 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