

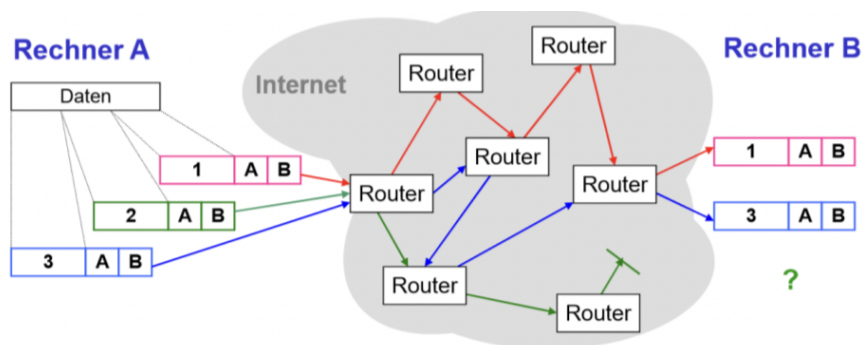
# Rechnernetze

[github/bircni](#)

# 1. Einleitung

## Datenübertragung im Internet

- Die Bitübertragungsschicht
  - Bit wird in Form physikalischer Signale übertragen
  - Übertragungsmedien
    - \* Kupferkabel - elektrische Signale
    - \* Glasfaserkabel - Lichtpulse (Intensität)
    - \* Funkwellen - Amplitude, Frequenz
  - Problem: Übertragungsfehler wegen Signalverfälschung
- Die Sicherungsschicht
  - Verantwortlich für zuverlässigen Datenaustausch zwischen direkt verbundenen Rechnern
  - Möglichkeiten: Punkt zu Punkt, Bus, Stern
  - Aufgaben:
    - \* Framing: Generierung der Datenpakete
    - \* Fehlererkennung: Generierung der Prüfsummen
    - \* (Bus)Media-Access-Control (MAC): Wer darf wann senden?
    - \* (Stern)Hardware-Adressierung: Eindeutige Adressierung der Interfaces
- Die Vermittlungsschicht (IP)
  - IP ist optimiert für Datenübertragung über heterogene, nicht zuverlässige Netzwerke
    - \* Übertragung erfolgt in Form unabhängiger Pakete
    - \* Einheitliches, übergreifendes Adressschema
    - \* Keine Mechanismen zur Fehlerbehebung



- Die Transportschicht (TCP)
  - Ziel:
    - \* Zuverlässigkeit des Datentransports
    - \* Sicherung der Übertragung zwischen Anwendungsprozessen
  - TCP:
    - \* Anwendung übergibt Daten an die TCP-Schicht
    - \* korrekter Transport als Aufgabe von TCP

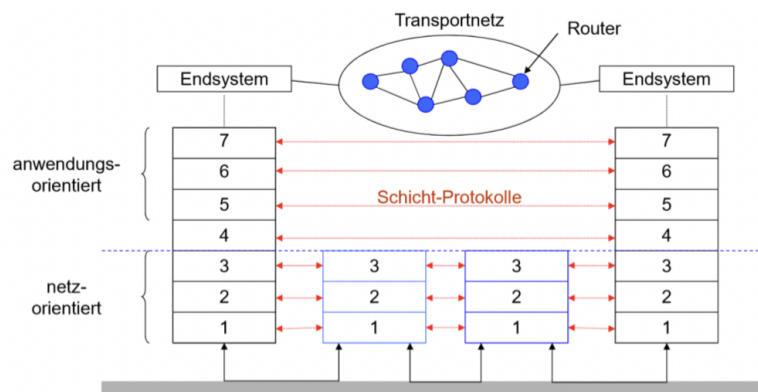
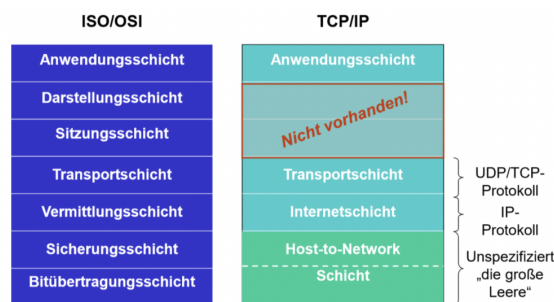
## ISO/OSI-Modell

- 7 Schichten
- Jede Schicht definiert Funktionen die als Dienste der nächst höheren Schicht zu Verfügung stehen
- keine Implementierungsvorgaben
- höhere Schicht nutzt die Funktionen der darunter liegenden Schicht
- Prinzip: "Information Hiding"
- Grobstruktur:
  - Schicht 1-3: Netz orientiert, reine Transportfunktionalitäten, Inhalt irrelevant
  - Schicht 4: Verbindet die Netz- und Anwendungsschicht
  - Schicht 5-7: Anwendungs orientiert, Festlegung des Datenaustauschs und Datenformats



- Funktionen der Schichten:

1. Bitübertragungsschicht: (Bit-Repräsentation)  
ermöglicht die Übertragung unstrukturierter Bitsröme; z.B. physikalische Darstellung
2. Sicherungsschicht: (Ethernet)  
dient zur Entdeckung von Übertragungsfehlern und deren Korrektur
3. Vermittlungsschicht: (IP)  
ermöglicht transparente Übertragung der Daten im Netzwerk (Routing)
4. Transportschicht: (TCP)  
Sicherung der Übertragung zw. zwei Anwendungen auf versch. Rechnern
5. Sitzungsschicht: (Dialog-Steuerung)  
sorgt für Synchronisation und den geregelten Dialogablauf zw. zwei Anwendungsprozessen (Login)
6. Darstellungsschicht:  
Umsetzung der Darstellungen der Informationen
7. Anwendungsschicht:  
einzige Zugriffsmöglichkeit der Anwendungsprozesse zur Datenübertragung (Mail,DNS)



## 2. Datenübertragung

### Fourieranalyse

Jede periodische Funktion  $g(t)$  mit  $t$  (Zeit) und Periode  $T$  kann als Überlagerung von Sinus- und Cosinustermen dargestellt werden.

$$g(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(\omega_n t) + b_n \sin(\omega_n t)]$$

$a_n$  und  $b_n$  sind Fourierkoeffizienten mit  $\omega_n = 2\pi n/T$

Der  $n$ -te Summand heißt  $n$ -te Harmonische.

Ist  $g(t)$  der Spannungsverlust eines elektr. Signals dann ist  $(a_n^2 + b_n^2)$  proportional zur Leistung, die bei der Frequenz  $f_n$  übertragen wird.

Beispiel-Applet: <https://falstad.com/fourier>

### Dämpfung D

Üblicherweise wird die Dämpfung in der Einheit Dezibel angegeben

$$D_{dB} = 10 * \log_{10}(P_{in}/P_{out})[dB]$$

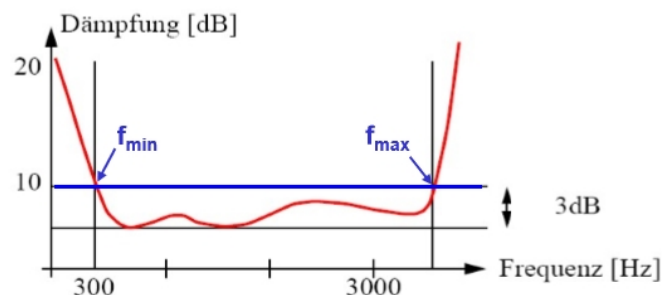
$$D_{dB} = 20 * \log_{10}(U_{in}/U_{out})[dB]$$

→ Unabhängig davon ob Leistung  $[P]$  oder Spannung  $[U]$  verglichen werden ergibt sich bei der Formel der gleiche Wert. Wird als Einheit dB verwendet, addieren sich die Dämpfungen einzelner Abschnitte.

### Bandbreite B

Bandbreite eines Übertragungskanal  $B = f_{max} - f_{min}$

- Frequenzbereich der ohne wesentl. Dämpfung übertragen werden kann.
- $f_{max}$  und  $f_{min}$  sind dadurch gegeben, dass die außen liegenden Frequenzen unter 50% der leistungsstärksten Frequenzen liegen.



## Nyquist-Theorem

Zusammenhang zwischen Bandbreite  $B$  und der maximal möglichen Datenrate  $D$  eines idealen Übertragungskanals:

$$D = 2 * B * \log_2(N)$$

- $B$  = Bandbreite des Übertragungskanals in [Hz]
- $N$  = Anzahl der möglichen diskreten Signalstufen pro Signaländerung
- $D$  = Datenrate in bps (Bit pro Sekunde)

Beispiel:

- Binäres Signal mit  $N=2$  und Übertragungskanal mit 3000Hz → maximal erreichbare Datenrate beträgt 6000 bps

## Shannon'scher Kanalkapazitätssatz

- Maximale Datenrate eines realen Datenkanals
  - $D$  hängt vom "Signal-Rausch"-Abstand (SNR) ab
$$D = B * \log_2(1 + SNR)$$
    - $B$  = Bandbreite des Übertragungskanals in [Hz]
    - $SNR = P_S / P_R$
    - $P_S$  = mittlere Leistung im Nutzsignal
    - $P_R$  = mittlere Leistung im Rauschsignal
  - Die gebräuchliche Einheit von SNR ist [dB]
    - $(SNR)_{dB} = 10 * \log_{10}(SNR)$
- Beispiel
  - Übertragungskanal mit 3000 Hz (Telefon);  $(SNR)_{dB} = 30dB$ 
    - $SNR = 1000$
    - $D = 3000 * \log_2(1 + 1000) \approx 30000 \text{ bit/s}$

## Bitrate vs. Signalgeschwindigkeit

- Signalgeschwindigkeit: Anzahl der Signalwechsel pro Sekunde
  - Die Signalgeschwindigkeit wird in Baud [Bd] angegeben
  - Oft auch als "Baudrate" bezeichnet
- Bit-Rate: Anzahl der übertragenen Bits pro Sekunde
  - Die Bitrate kann größer als die Baudrate werden
  - Für binäre Signalstufe (2-Stufen-Kodierung) gilt: Bitrate = Baudrate
  - Bei Nutzung einer 4-Stufen-Kodierung gilt: Bitrate = 2x Baudrate

## Die Ende-zu-Ende-Verzögerung von Datenpaketen

- Zeit: Datenpaketübertragung von Quell-Knoten zu Ziel-Knoten
- Verzögerungsarten die zur Verzögerung beitragen:

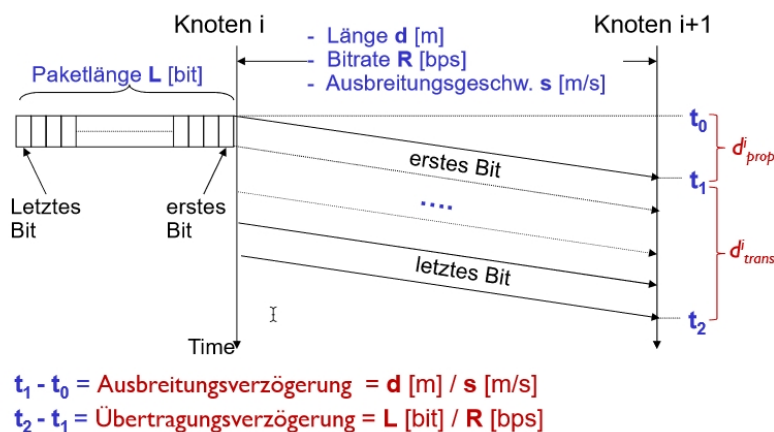
$$d_{end-to-end} = \sum_{i=1}^N d_{nodal}^i$$

- $d_{nodal}^i$  bezeichnet die Verzögerung in einem Knoten  $i$
- Die Knoten-Verzögerung  $d_{nodal}^i$  setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen:

$$d_{nodal}^i = d_{proc}^i + d_{queue}^i + d_{trans}^i + d_{prop}^i$$

- \*  $d_{proc}^i$  = Verarbeitungsverzögerung (processing delay)
- \*  $d_{queue}^i$  = Warteschlangenverzögerung (queuing delay)
- \*  $d_{trans}^i$  = Übertragungsverzögerung (transmission delay)
- \*  $d_{prop}^i$  = Ausbreitungsverzögerung (propagation delay)

- Die Übertragungsverzögerung  $d_{trans}^i$  und die Ausbreitungsverzögerung  $d_{prop}^i$



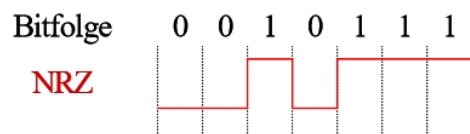
## Grundlegende Übertragungstechniken

- Digitale Eingabe, digitale Übertragung:  
Digitale Leitungscodierung
  - Beispiel: Ethernet
    - Bits werden direkt als digitale Signale auf die Leitung gegeben
    - Einsatz sog. Basisband-Übertragungsverfahren

- Digitale Eingabe, analoge Übertragung:  
Modulationstechniken
  - Beispiel: DSL-Modemstrecken
    - Binäre Daten werden über eine Trägerwelle übertragen
    - Einsatz sog. breitband-Übertragungsverfahren

## Digitale Leitungscodierung

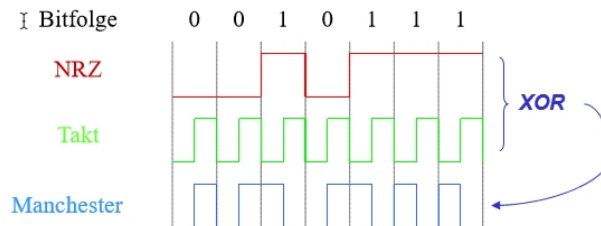
- Direkte Übertragung rechteckförmiger Signale
  - Signal belegt gesamte verfügbare Bandbreite des Übertragungskanal
- Die Zuordnungsvorschrift Datenelement zwischen Signalelement heißt Signal- oder Leitungscodierung
- Die sich ergebende Signaverläufe heißen Signalcodes oder Übertragungscode
- Erwünschte Eigenschaften von Übertragungscode:
  - Bittaktrückgewinnung
  - Codierung mehrerer Bits pro Baud (pro Signalwechsel)
  - Vermeidung von Gleichstromanteilen
  - Erkennung von Signalfehlern auf Signalebene
- Beispiele:
  - **NRZ (Non Return to Zero)-Codes:**
    - *Fester Pegel während eines Bitintervalls, Signalwechsel an Intervallgrenzen*
      - *Max. 1 Signalwechsel pro Bit*
      - *Vorteil: einfach zu implementieren*
      - *Nachteil: Gleichstromanteile und Synchronisationsprobleme bei langen „0“-Folgen*





## ► Manchester-Codierung

- XOR-Verknüpfung von NRZ-Kodierung mit internem Taktsignal
  - Codierungsvorschrift: „1“ ⇒ Übergang high/low in der Intervallmitte  
„0“ ⇒ Übergang low/high in der Intervallmitte
  - Effizienz nur 50%: Verdoppelt Baudrate gegenüber NRZ  
(→ betrachte lange „1“- oder „0“-Folgen...)
  - Jedoch keine Gleichstromanteile; gute Synchronisationseigenschaften
  - Eingesetzt bei Ethernet (10 Mb)



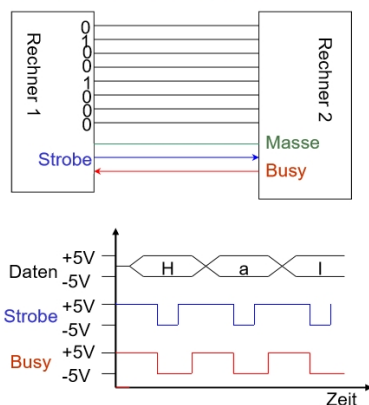
## ► 4B/5B-Kodierung

- Ziel: Ineffizienz der Manchester-Kodierung umgehen, ohne längere Gleichstromanteile zu erzeugen
- Verfahren: Umkodierung der Daten gemäß 4B/5B-Code und Übertragung gemäß NRZI-Signalcode
  - **NRZI-Signalcode** verhindert lange „1“-Level-Folgen:  
1 = Übergang in der Intervallmitte  
0 = kein Übergang
  - **4B/5B-Codierung** vermeidet lange „0“-Folgen:  
nie mehr als eine führende Null,  
nie mehr als zwei nachgestellte Nullen
  - Effizienz 80%
- Eingesetzt z.B. bei FastEthernet über Glasfaser oder FDDI

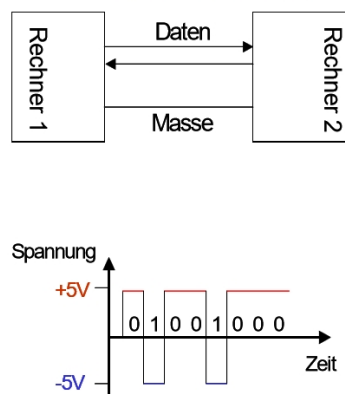
4-Bit Daten	5 Bit Code
0000	11110
0001	01001
0010	10100
0011	10101
0100	01010
0101	01011
0110	01110
0111	01111
1000	10010
1001	10011
1010	10110
1011	10111
1100	11010
1101	11011
1110	11100
1111	11101

## Übertragungsarten

### Parallele Übertragung



### Serielle Übertragung



- Synchronisation bei Bit serieller Übertragung
  - Beispiel "RS-232-C"-Schnittstelle
    - \* Standard-Schnittstelle zur Übertragung alphanum. Zeichen
    - \* Sender und Empfänger sind vor Datenaustausch nicht synchronisiert
      - Sender-/Empfängertakt müssen gleich sein
      - Start/Stop-Verfahren - Signalisierung von Anfang/Ende einer Übertragung
      - Sender-Verhalten:  
Übertragung von Daten beginnt, sobald Daten anliegen, beliebige Wartezeiten
      - Empfänger-Verhalten:  
Ständige Empfangsbereitschaft
    - \* Spezifikationen
      - "1" Signalpegel von -3V bis -15V
      - "0" Signalpegel von +3V bis +15V
      - Start-Bit setzt Leitung auf "0" und startet Taktgeber des Empfängers
      - Stop-Bit setzt Leitung auf "1"
- Modulationstechniken
  - Nutzung elektromag. Wellen zur Datenübertragung
    - \* Träger wird vom Sender moduliert
    - \* Empfänger demoduliert Träger und rekonstruiert Originaldaten
  - Amplitudendarstellung einer Trägerwelle

$$A(t) = A_0 * \sin(2\pi ft - \phi)$$

$A_0$ : Amplitude;  $\phi$ : Phasenverschiebung;  
 $f = 1/T$  = Frequenz;  $T$  = Schwingungsperiode;