

# Netzwerke und Datenkommunikation

## B-LS-MI 004

### Physical Layer

rolf.schmutz@fhnw.ch

FHNW

23. September 2020

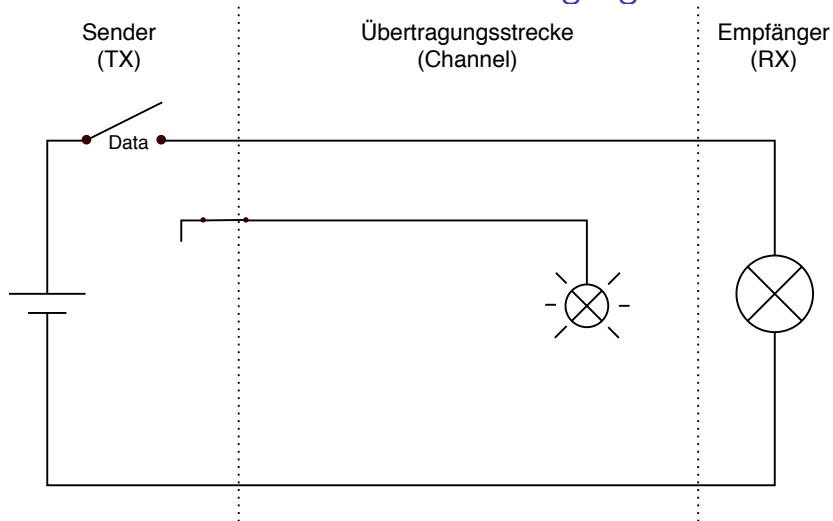
# Ziele

- Repräsentation des Quellsignals auf elektromagnetischer Ebene
- Codierung des Quellsignals (Abgekürzt)
- Verfahren zur Leitungscodierung der Daten aus einem Quellenstrom
- Techniken in Bezug auf Basisband- und Breitband-Kommunikation (Modulation)
- Fehlererkennung und -Korrektur

# Layer 1: Physical Layer

- Der *Physical Layer* ist für die bitweise Übertragung der Daten verantwortlich.
- Es werden Eigenschaften in den folgenden Gebieten definiert:
  - ▶ Mechanische (Pinbelegungen, Stecker)
  - ▶ Übertragungsart (Elektrisch, Optisch, RF, Modulation oder Basisband, Seriell oder Parallel)
  - ▶ Prozedurale und Funktionale Abläufe

# Einfachste Bit-Serielle Datenübertragung



- "Hello World!" soll übertragen werden

# Probleme

- wie wird “Hello World!” als Abfolge von Licht/kein-Licht (0, 1) dargestellt? (Quellcodierung)
- wann beginnt die Nachricht, einzelne Buchstaben, einzelne Bits, wann enden sie?
- wie können einzelne gleiche “bits” getrennt werden? z.B.  
“o”=01101111

# Quellencodierung (source-coding) 1/2

Das ist die Repräsentierung von Informationen in binärer (numerischer) Form, also nicht Programm-Quellcode/sourcecode

- es wird eine Übereinkunft/Tabelle benötigt, die die Information in numerischer Form (Bitmuster) festlegt (code-point)
- es gibt eine Vielzahl von Codierungen für verschiedene Datenformate

Die Codierung muss auf beiden Seiten bekannt sein und ist nicht gleich "Verschlüsselung"

## Quellencodierung (source-coding) 2/2

Für unsere Zwecke benutzen wir die alterwürdige ASCII-Codierungstabelle (ohne Kontrollzeichen):

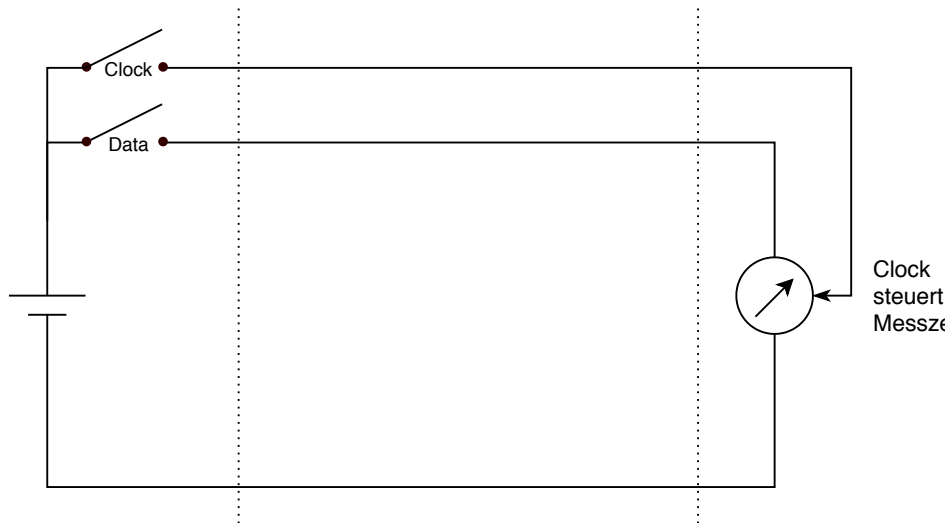
```

      2 3 4 5 6 7 <- Hi-Nibble
      -----
0:   0 @ P ' p
1:   ! 1 A Q a q
2:   " 2 B R b r
3:   # 3 C S c s
4:   $ 4 D T d t
5:   % 5 E U e u
6:   & 6 F V f v
7:   ' 7 G W g w
8:   ( 8 H X h x
9:   ) 9 I Y i y
A:   * : J Z j z
B:   + ; K [ k {
C:   , < L \ l |
D:   - = M ] m }
E:   . > N ^ n ~
F:   / ? 0 _ o DEL

```

z.B. "H":  $48_{16} = 0100'1000_2$

# Bit-Synchronisation: Strobe/Clock/Sampling (1/2)





## Bit-Synchronisation: Strobe/Clock/Sampling (2/2)

- mit der “Clock” Leitung wird dem Empfänger der korrekte Messzeitpunkt signalisiert
- Folgen von “gleichen” Bits (alles 0 oder alles 1) können problemlos getrennt werden

### Synchrone Bitserielle Übertragung

Es werden mindestens drei Leitungen benötigt, dafür sind keine weiteren Massnahmen nötig.

Synchrone Datenübertragung wird vorallem im Nahbereich (im Computer, Embedded Systems *I<sup>2</sup>C/SPI, HDMI, etc*) eingesetzt

- es kann auch zwischen “keine Daten” (Clock=0) und “0” Bits unterschieden werden

## Asynchrone Serielle Übertragung (1/3)

Eine weitere Möglichkeit eine Synchronisierung<sup>1</sup> ist das “Framing” der Übertragung

- eine Startsequenz (Startbit oder Preamble) und eine optionale Endsequenz werden in den Datenstrom eingefügt<sup>2</sup>
- der Empfänger hat damit die Möglichkeit, sich *für die Dauer der Nachricht/Zeichens* mit dem Sender zu synchronisieren
- mit dem Framing kann beim Empfänger auch zwischen Daten/keine-Daten unterschieden werden (ausserhalb des Frames werden Daten ignoriert)

### Asynchrone Bitserielle Übertragung

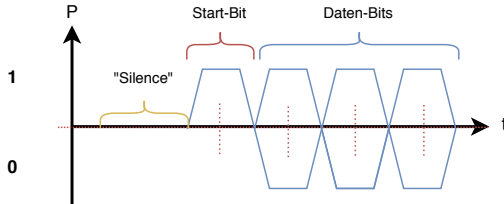
Es werden nur zwei Leitungen/ein Kanal benötigt. Dafür ist die Methode ein wenig aufwendiger zu implementieren.

<sup>1</sup>wenn auch im Titel “Asynchron”

<sup>2</sup>dies sind bereits keine “Nutzdaten” mehr sondern Teil des Protokolls

## Asynchrone Serielle Übertragung (2/3)

Bei einfachen seriellen Schnittstellen<sup>3</sup> wird ein Startbit (optional Stopbit) eingefügt, **jedes Byte/Zeichen wird einzeln synchronisiert**



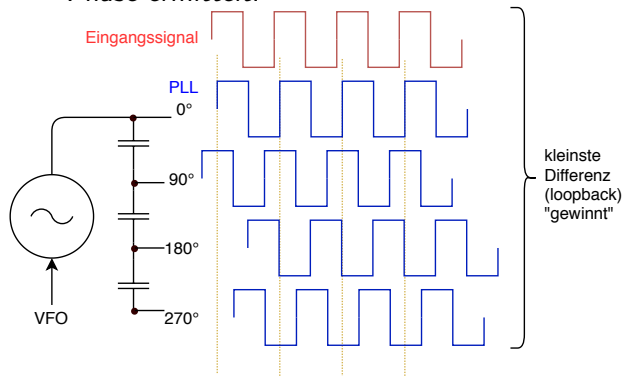
- der Empfänger muss ungefähr die Transferrate/Bitzeit schon kennen und kann das Sampling nach dem Startbit einstellen
- die Möglichkeit einer Startsequenz “10” vereinfacht dies weiter
- moderne Implementationen puffern die Übertragung ein paar bits und können damit “autobaud” – selbständige Adaption an die Datenrate implementieren

<sup>3</sup>RS232 und äquivalent

## Asynchrone Serielle Übertragung (3/3)

Bei "Ethernet" (der Quasi-Standard im Internet/IP-Netzwerken) wird mit einer Präambel gearbeitet

- 7 Bytes  $AA_{16}$  + 1 Byte  $AB_{16}$  (d.h. insgesamt 64 Bit)
- der Empfänger hat eine eigene Clock-Source mit der ungefähren Frequenz aber unbekannter Phase. Über eine PLL wird die korrekte Phase ermittelt:



# Interlude

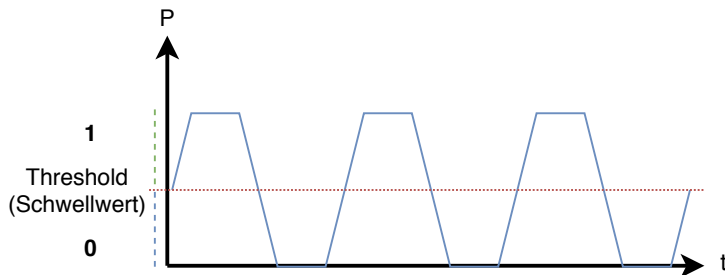
Damit wäre das Problem “Clock” gelöst.

Wenn anstelle einer einfachen Lampe aber ein datenverarbeitendes System der Empfänger ist, stellt sich eine weitere Frage:

Wann ist ein Bit als “1” und wann als “0” zu interpretieren?

# Interpretation von Pegelbasierten Signalen (1/3)

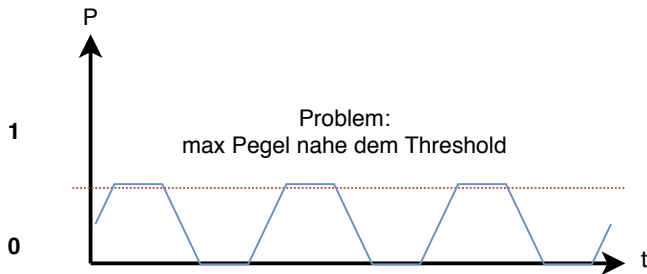
Eine Übereinkunft kann mithilfe eines Schwellwerts (threshold) erreicht werden:



Dies gehört natürlich auch zur Protokolldefinition auf Schicht 1

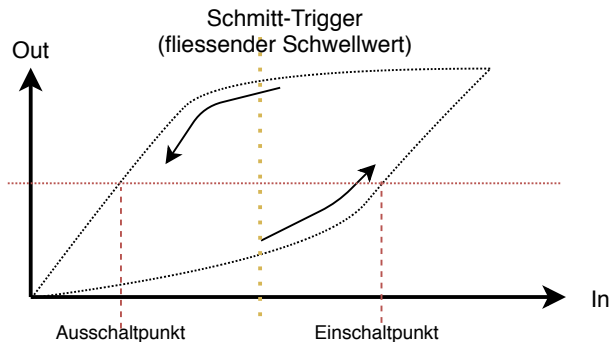
## Interpretation von Pegelbasierten Signalen (2/3)

Das Problem dabei ist eine abschwächung des Signals auf der Leitung (Dämpfung), damit kann ein knappes Signal “flackern” und nicht eindeutig einem Wert zugewiesen werden:



# Interpretation von Pegelbasierten Signalen (3/3)

Abhilfe schafft ein sogenannter Schmitt-Trigger<sup>4</sup>

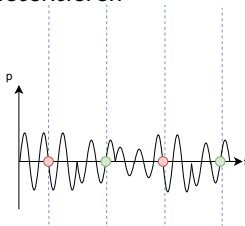
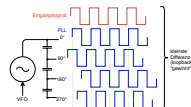


<sup>4</sup>in fast allen Pegelbasierten Systemen so implementiert



# Nicht-Pegelbasierten Signale

- Phasenlage<sup>5</sup>: wird durch Dämpfung nicht beeinflusst
- Nulldurchgänge/Flanken: Richtung der Flanke (up/down) wird ebenfalls nicht durch Dämpfung beeinflusst und ist sehr robust zu detektieren<sup>6</sup>



Diese Techniken werden unter "Multiplexing" vertieft.

<sup>5</sup> relative...

<sup>6</sup> "Manchester"-Code

# Interlude

Damit sind nun die Fragen:

- wann soll gemessen werden?
- wie soll die Messung interpretiert werden?

geklärt.

## Diskriminator

Solche Schaltungen, die ein Signal quantisieren (in zwei oder mehr Werte) werden auch **Diskriminatoren** genannt

# Line-Coding Basisband/Baseband: Blockschaltbild



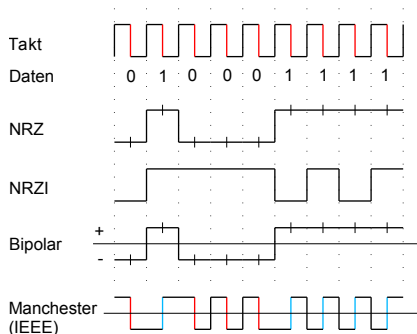
- Source-Data sind die zu übertragenden Daten. Dies kann auch eine “analoge” Quelle sein.
- Source-Encode/Decode: wie wird die Information r presentiert/interpretiert. z.B. ASCII-Table
- Line-Code/Decode: wie wird die numerische/binäre Information als elektromagnetisches Signal r presentiert/interpretiert

Es muss eine Übereinkunft über die verwendeten Codierungen<sup>a</sup> stattfinden. Line-Code gehört zur Schicht 1.

<sup>a</sup>deshalb “nicht-geheim”

# Baseband: Codierungen

- NRZ: Basis-Schema: Gleichstromfalle
- NRZI: Änderungen nur bei einem "1" Bit: Transition und nicht Pegel
- Bipolar: kann auch "keine Daten" signalisieren
- Manchester: Flanken/Nulldurchgang codiert: Taktfrequenz ableitbar, kein Gleichstrom



# Multiplexing/ “Broadband” (1/7)

Bisher wurde angenommen, dass die Übertragung über Leitungen (galvanisch, optisch) “exklusiv” erfolgt.

## Duplex/Multiplex

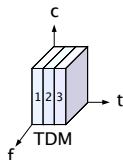
Was nun, wenn über zwei Drähte mehr als ein “Kanal” implementiert werden soll?<sup>a</sup> Oder gar keine gleichstrom-fähige Leitung zur Verfügung steht (Radioband, Modemleitungen)

---

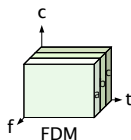
<sup>a</sup>z.B. Radio-/Fernsekanäle Broadcast oder eine Modem-Strecke Duplex senden/empfangen auf der selben Leitung

Dazu muss ein Multiplexing-Verfahren eingerichtet werden. Eine solche Übertragung (FDM) wird als “Broadband” bezeichnet.

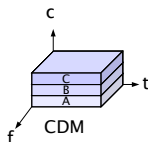
# Multiplexing (2/7)



**TDM:** Time Division Multiplex: Die Kanäle werden zeitlich abwechselnd auf der selben Leitung übertragen



**FDM:** Frequency Division Multiplex: Die Kanäle werden auf verschiedenen Frequenzen auf der selben Leitung übertragen



**CDM:** Code Division Multiplex: Die Kanäle werden gleichzeitig mit verschiedenen Codes übertragen

## Multiplexing: TDM (3/7)

Time-Division<sup>7</sup> Multiplexing weist zeitlich getrennt (‘‘Zeitschlitz‘‘) einen Übertragungskanal<sup>8</sup> verschiedenen Quellen zu.

Dabei kommen verschiedene Techniken zum Einsatz:

- statisches Multiplexing: eine gewisse Anzahl Sender/Empfänger ist fest eingestellt und es wird ein ‘‘Schalter‘‘ für die jeweilige Paarung synchron auf Mux/Demux rotiert
- dynamisches Multiplexing: gleiche Voraussetzungen aber mit adaptivem Verhalten – nicht genutzte Kanäle werden übersprungen
- kooperatives Multiplexing: z.B. CSMA/CD von Ethernet: ein Sender darf nur nach einer gewissen ‘‘Ruhephase‘‘ des Mediums zu senden beginnen. Das ausgesendete Signal wird dabei vom Sender auf Störungen (ein anderer Sender) überwacht und bei Störung abgebrochen<sup>9</sup>

---

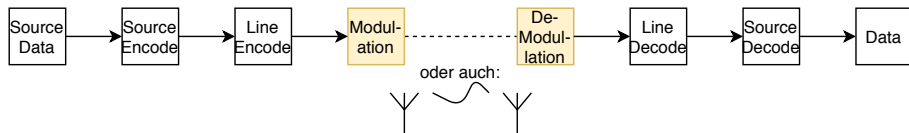
<sup>7</sup>oder ‘‘Domain’’

<sup>8</sup>normalerweise im Basisband, aber auch über FDM-Kanäle üblich: WLAN, Funkamateure, etc

<sup>9</sup>das führt zu keiner deterministischen Datenbandbreite funktioniert aber im Normalfall effizienter

## Multiplexing: FDM (4/7)

Es werden mehrere exklusive Kanäle auf dem geteilten Medium eingerichtet. Dazu wird das Nutzsignal zusätzlich auf eine Trägerwelle *aufmoduliert*<sup>10</sup>

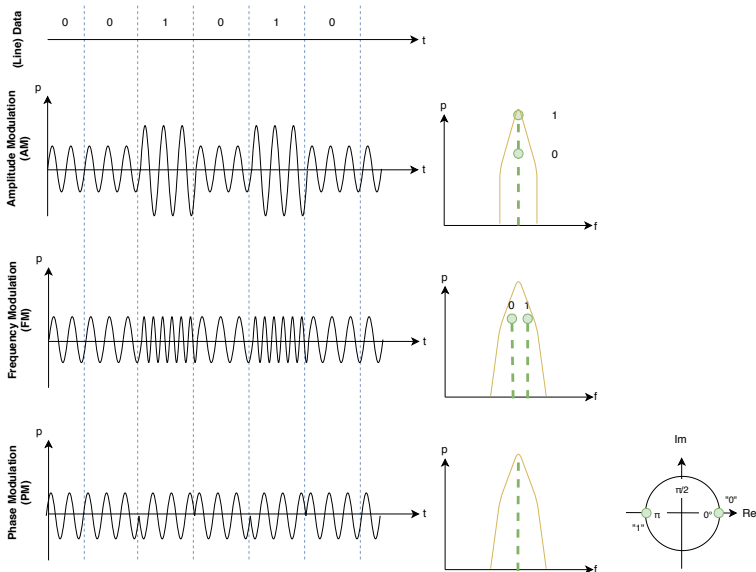


Die Modulation kann kontinuierlich (analog) oder in Schritten (quantisiert) erfolgen. Bei der digitalen Datenübermittlung wird als “{Amplitude,Frequency,Phase}-Shift-Keying” bezeichnet.

<sup>10</sup> z.B. Radio-/Fernsehskanäle, WLAN



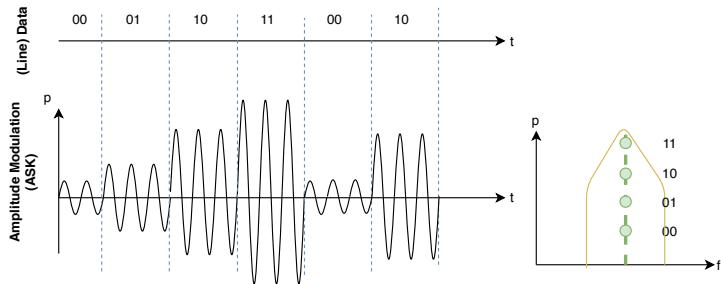
# Multiplexing: FDM (5/7)



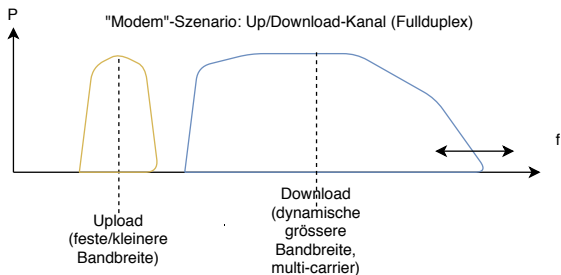
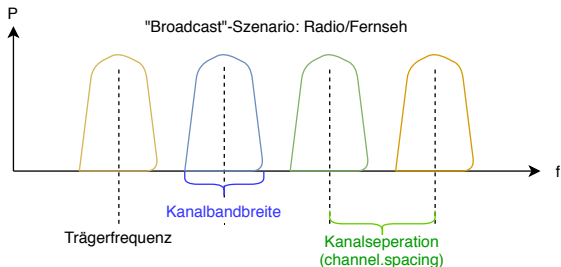
## Multiplexing: FDM (5/7)

Bei allen Übertragungsarten sind auch “Multi-Level”-Codierungen möglich:

- es kann mehr als ein Bit pro Sampling-Point übertragen werden
- durch die vielen Übergänge beim Signalverlauf entsteht ein “breiteres” Spektrum
- $\{-, A, Q\}$ -PSK und FSK sind aber “robust”<sup>11</sup> gegenüber Verzerrungen durch Bandbreitenbeschränkung



# Multiplexing: FDM (6/7)



# Interlude

<http://websdr.ewi.utwente.nl:8901>

Mit einem Multiplex-Verfahren kann ein Physikalischer Kanal<sup>12</sup> in virtuelle “Sub-Kanäle” unterteilt werden.

silly analogy ahead...

- TDM: Fernseh-/Radioprogramm: jede Sendung hat den Kanal exklusiv während einer bestimmten Zeitdauer
- FDM: Fernseh-/Radioprogramm: alle Sender können gleichzeitig auf “ihrem” Kanal<sup>13</sup> senden

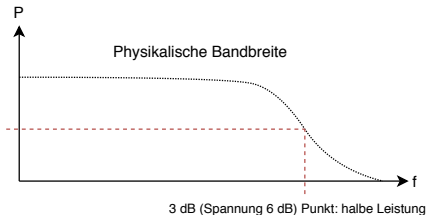
<sup>12</sup> galvanisch, galvanisch-entkoppelt, Radiofrequenzen, optischer Link

<sup>13</sup> “virtuell” aufmoduliert auf eine bestimmten Trägerfrequenz, mit bestimmter Bandbreite

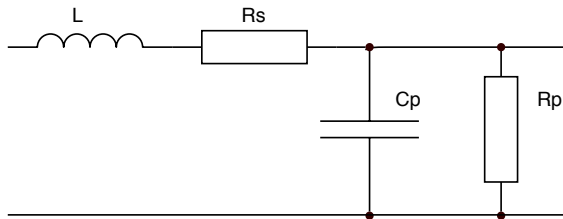
# Limitation Elektromagnetischer Übertragung (1/2)

**Jede** physikalische Übertragungsstrecke unterliegt folgenden Limitationen:

- verfügbare physikalische Bandbreite<sup>14</sup>

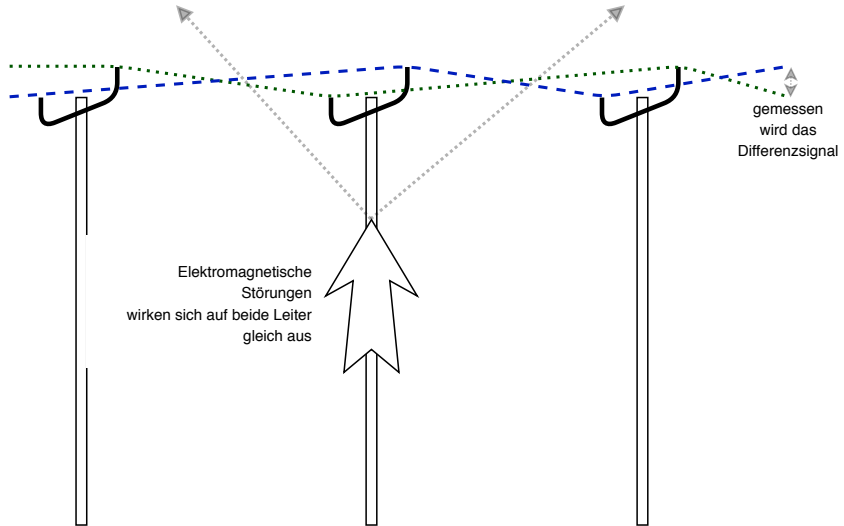


- Dämpfung des Signals (auch Frequenzabhängig)



<sup>14</sup> eigentlich aus dem Ersatzschaltbild ersichtlich

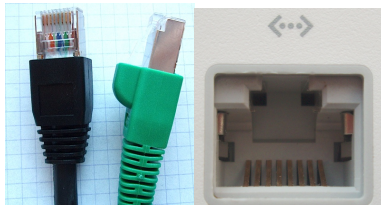
# “Twisted-Pair”: Telegraphenleitung



# Twisted-Pair: TP-Leitungen

Kabel / RJ-45 Stecker

- UTP** Unshielded Twisted Pair: günstig, physikalisch stabil, bis ca. 50m Die meisten Netzkabel mit RJ-45 Stecker für Ethernet enthalten 8 isolierte Leiter in vier Paaren verdreht. Bis 100MBit/s werden nur zwei Paare benötigt. Bei Patchkabeln sind alle Adern der Stecker 1:1 verbunden, bei Crossover-Kabeln sind sie ausgekreuzt.
- STP** Shielded Twisted Pair: Die einzelnen Aderpaare (FTP: Folied Twisted Pair) sind bzw. auch noch das ganze Kabel (S/FTP: Screened Foiled Twisted Pair) sind zusätzlich zur Verdrehung abgeschirmt), teurer als UTP, längere Leitungslängen möglich (bis ca. 100m), bessere EMV.
- CAT5** Kabelklasse, welche bis 100 MBit/s verwendet wird.



# Weitere Übertragungsmedien

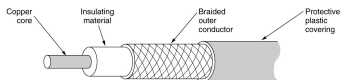


Fig: 2-04<sup>1</sup>, Koaxial-Kabel

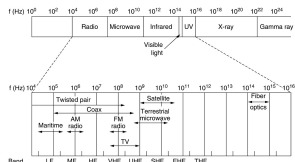


Fig: 2-11<sup>1</sup>, Frequenzspektrum

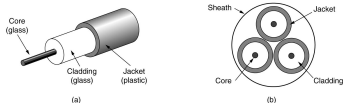


Fig: 2-07<sup>1</sup>, LWL

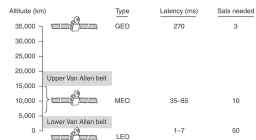


Fig: 2-15<sup>1</sup>, Satelliten

<sup>1</sup>A. Tanenbaum, "Computer Networks", <http://authors.phptr.com/tanenbaumcn4/>



# L1: Übertragungsmedien 3/4

## Verluste/Dämpfung

Beim Einsatz von Kupferkabeln muss bei der Übertragung immer mit Verlusten gerechnet werden. Verluste entsprechen einer **Dämpfung** und werden in **dB** angegeben. Dabei gilt für das Verhältnis zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung:

$$a = 20 \log \left( \frac{V_2}{V_1} \right)$$

*a: Dämpfung in dB, V<sub>2</sub>: Ausgangsspannung, V<sub>1</sub> Eingangsspannung*

Zusätzlich ist es bei Kabeln interessant, wie stark die einzelnen Leitungspaare einander beeinflussen, dies wird z.B. mit dem **NEXT** (Near End Crosstalk) Wert angegeben (+Weitere Parameter).

Kaufatgeber	Vergleich der Spezifikationen von Twis		
	Cat5	Cat5e	Cat6
Frequenz	100 MHz	100 MHz	250 MHz
Dämpfung (min. bei 100 MHz)	22 dB	22 dB	19,8 dB
Charakteristische Impedanz	100 ohms ± 15%	100 ohms ± 15%	100 ohms ± 15%
NEXT (min. bei 100 MHz)	32,3 dB	35,3 dB	44,3 dB
DE NEXT (min. bei 100 MHz)	32,3 dB	35,3 dB	44,3 dB

## TECHNISCHE DATEN

Dämpfung (Maximum) — 22 dB/100 m bei 100 MHz  
 Frequenz (Maximum) — 100 MHz  
 Impedanz — 100 ± 15 Ohm  
 NEXT (Minimum) —

Siehe auch: <http://www.netzmafia.de/skripten/netze/netz6.html#6.1>

# L1: Übertragungsmedien 4/4

Lichtwellenleiter / Glasfaser

- LWL's sind viel störungsunempfindlicher als Cu-Kabel, es kann praktisch keine Fremdeinkopplung von Störsignalen stattfinden.
- Die Leitungsdämpfung ist praktisch frequenzunabhängig und wesentlich tiefer als bei Cu-Kabeln.
- Die Übertragungskapazität in LWL's ist grösser als die von Cu-Kabeln (bis in den GBit/s Bereich). Es können unterschiedliche Wellenlängen parallel verwendet werden.

Bei LWL's werden verschiedene Typen unterschieden:

- Monomode** Sehr dünne Faser, welche das Licht nur bei einer bestimmten Wellenlänge gut leiten, es findet praktisch keine Reflexion am Cladding statt, es sind grosse Geschwindigkeiten und lange Leitungslängen möglich.
- Multimode** Leiten das Licht auf verschiedenen Wellenlängen, die Ausbreitung findet durch Reflexion am Cladding statt, daher ist die Dämpfung etwas grösser als bei Monomode-Fasern.

Siehe auch: <http://www.netzmafia.de/skripten/netze/netz5.html#5.6>