



# Systeme II

## 2. Die physikalische Schicht

Christian Schindelhauer

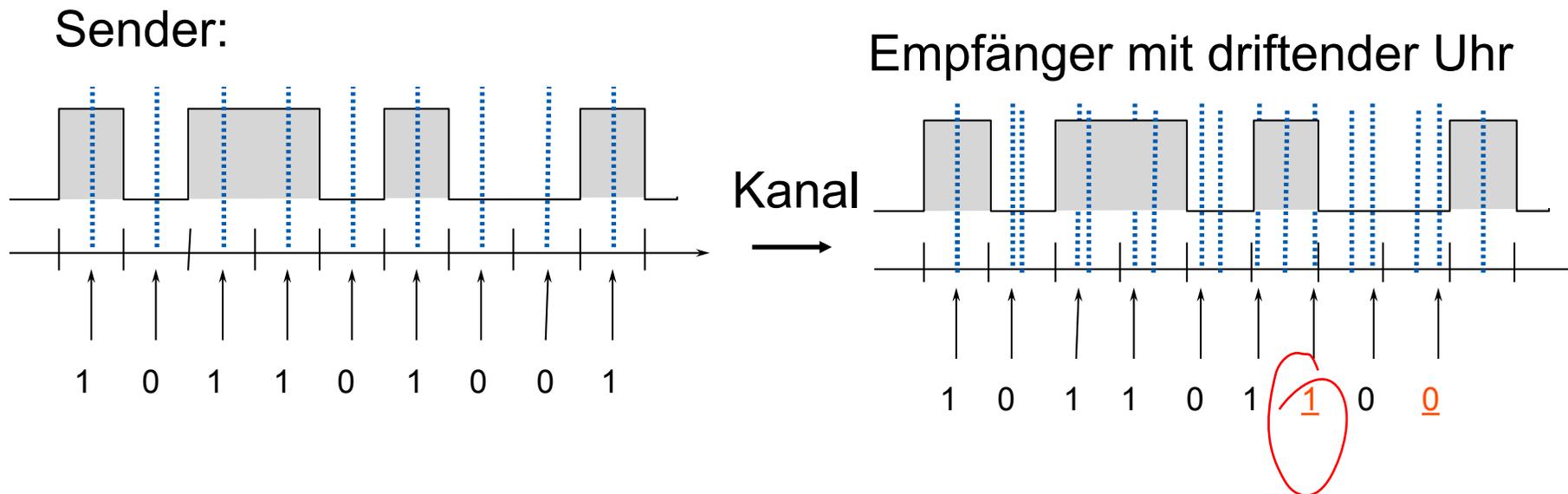
Technische Fakultät

Rechnernetze und Telematik

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

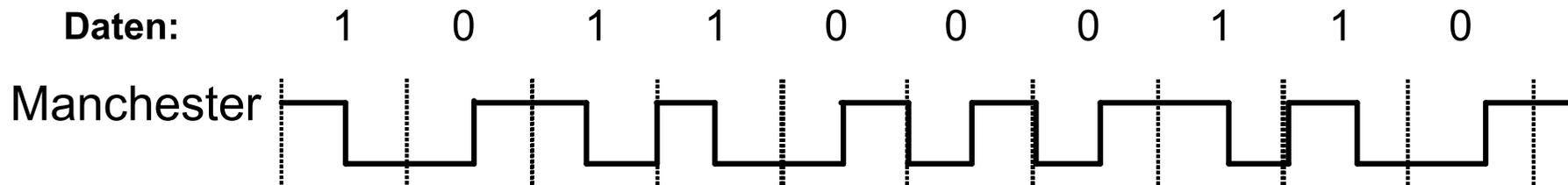
Version 06.05.2014

- Was passiert wenn man einfach Uhren benutzt
- Problem
  - Die Uhren driften auseinander
  - Keine zwei (bezahlbare Uhren) bleiben perfekt synchron
- Fehler by Synchronisationsverlust (NRZ):



- Ohne Kontrolle keine Synchronisation
- Lösung: explizites Uhrensinal
  - Benötigt parallele Übertragung über Extra-Kanal
  - Muss mit den Daten synchronisiert sein
  - Nur für kurze Übertragungen sinnvoll
- Synchronisation an kritischen Zeitpunkten
  - z.B. Start eines Symbols oder eines Blocks
  - Sonst läuft die Uhr völlig frei
  - Vertraut der kurzzeitig funktionierenden Synchronität der Uhren
- Uhrensinal aus der Zeichenkodierung

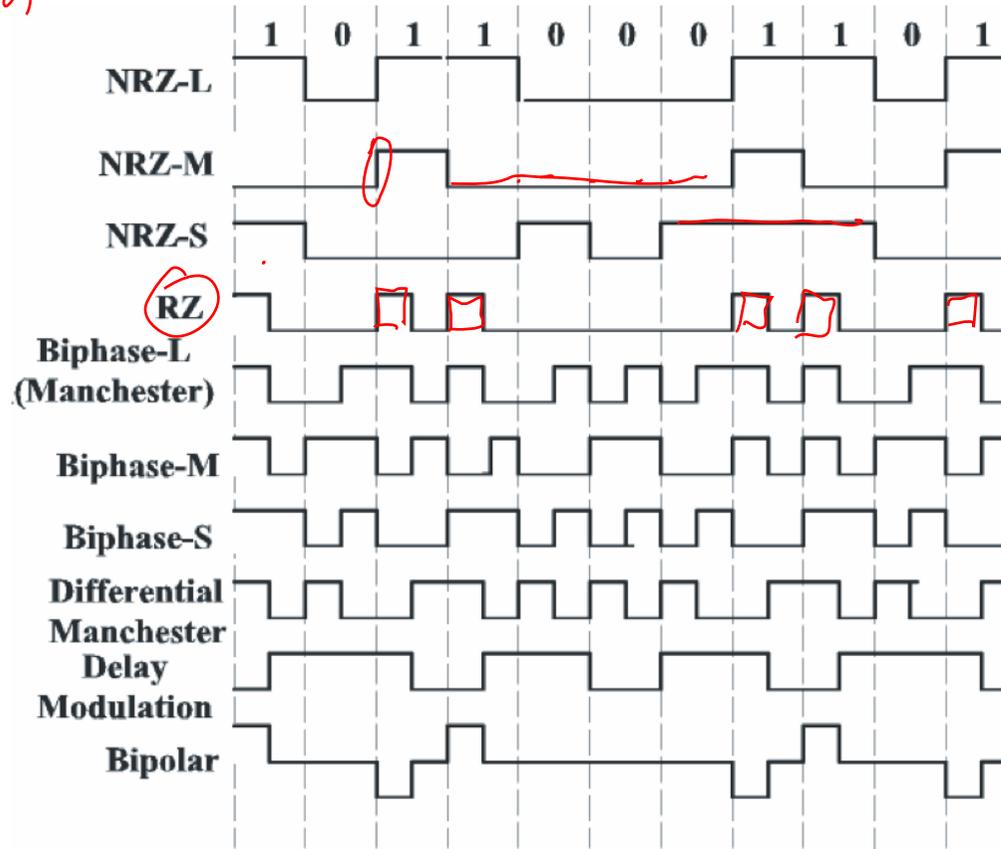
- z.B. Manchester Code (Biphase Level)
  - 1 = Wechsel von hoch zu niedrig in der Intervallmitte
  - 0 = Umgekehrter Wechsel



- Das Signal beinhaltet die notwendige Information zur Synchronisation

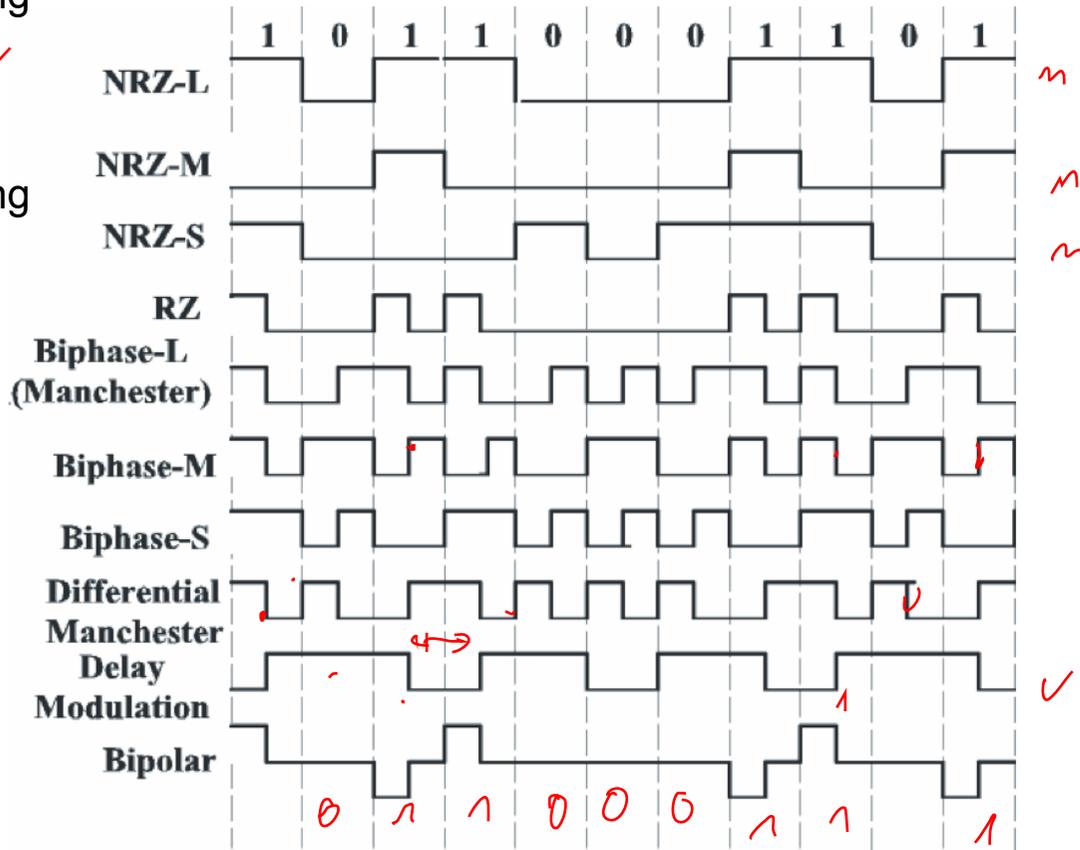
000

- Non-Return to Zero-Level (NRZ-L) ✓ m
  - 1 = hohe Spannung, 0 = niedrig
- 0 ▪ Non-Return to Zero-Mark (NRZ-M) m
  - 1 = Wechsel am Anfang des Intervalls
  - 0 = Kein Wechsel
- Non-Return to Zero-Space (NRZ-S) m
  - 0 = Wechsel am Intervallanfang
  - 1 = Kein Wechsel
- Return to Zero (RZ) m
  - 1 = Rechteckpuls am Intervallanfang
  - 0 = Kein Impuls
- Manchester Code (Biphase Level)
  - 1 = Wechsel von hoch zu niedrig in der Intervallmitte
  - 0 = Umgekehrter Wechsel



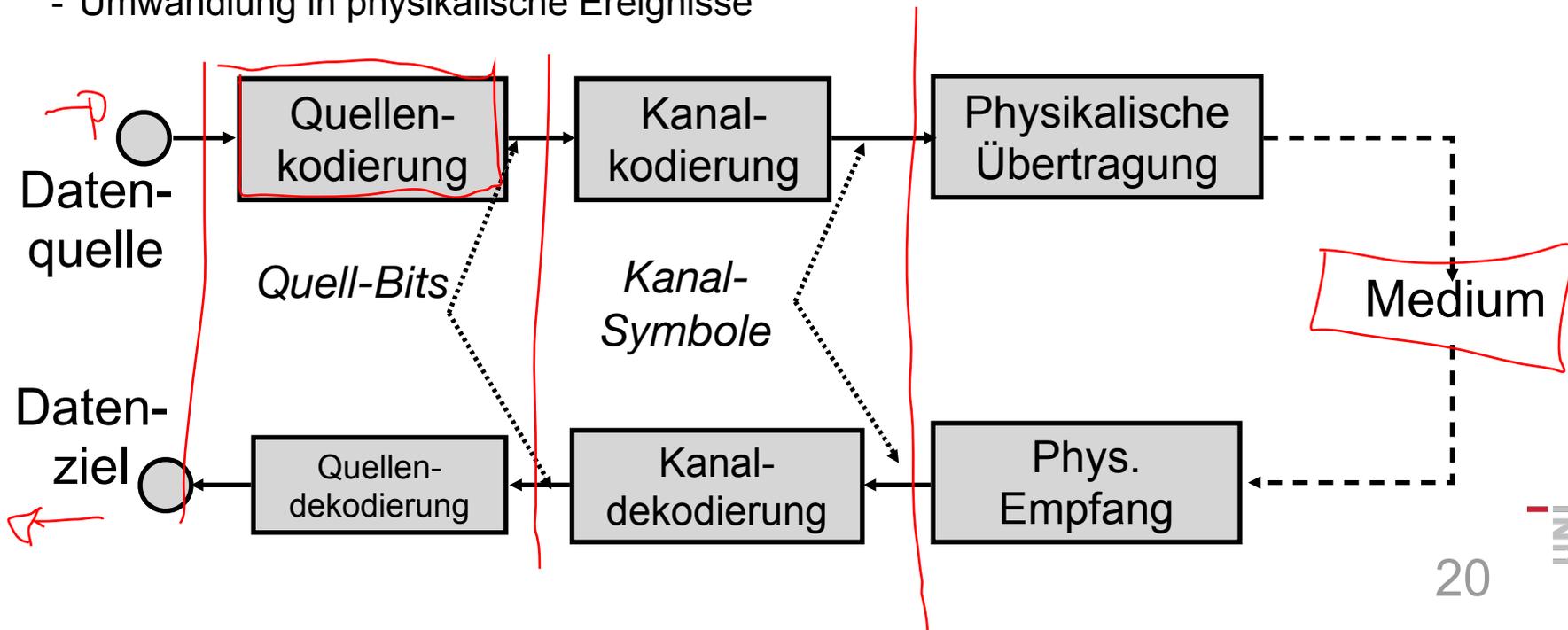


- Biphase-Mark
  - Immer: Übergang am Intervallanfang
  - 1 = zweiter Übergang in der Mitte ✓
  - 0 = kein zweiter Übergang
- Biphase-Space
  - Immer: Übergang am Intervallanfang
  - 1/0 umgekehrt wie Biphase-Mark
- Differential Manchester-Code
  - Immer: Übergang in Intervallmitte
  - 1 = Kein Übergang am Intervallanfang
  - 0 = Zusätzlicher Übergang am Intervallanfang
- ⊖ Delay Modulation (Miller)
  - Übergang am Ende, falls 0 folgt
  - 1 = Übergang in der Mitte des Intervalls
  - 0 = Kein Übergang falls 1 folgt
- ⊖ Bipolar
  - 1 = Rechteckpuls in der ersten Hälfte, Richtung alterniert (wechselt)
  - 0 = Kein Rechteckpuls



- Basisband (baseband)
  - Das digitale Signal wird direkt in Strom- oder Spannungsveränderungen umgesetzt
  - Das Signal wird mit allen Frequenzen übertragen
    - z.B. Durch NRZ (Spannung hoch = 1, Spannung niedrig = 0)
  - Problem: Übertragungseinschränkungen
- Breitband (broadband)
  - Die Daten werden durch einen weiten Frequenzbereich übertragen
  - Weiter Bereich an Möglichkeiten:
    - Die Daten können auf eine Trägerwelle aufgesetzt werden (Amplitudenmodulation)
    - Die Trägerwelle kann verändert (moduliert) werden (Frequenz/Phasenmodulation)
    - Verschiedene Trägerwellen können gleichzeitig verwendet werden

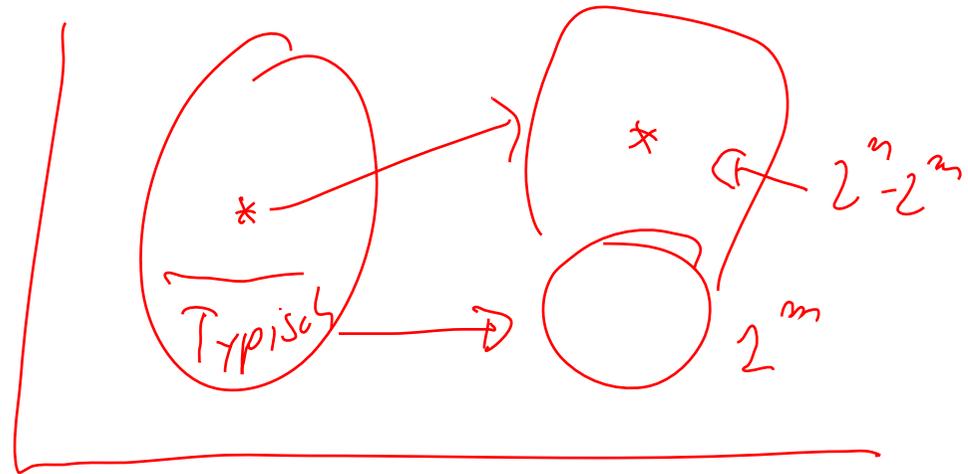
- Quellkodierung
  - Entfernen redundanter oder irrelevanter Information
  - Z.B. mit verlustbehafteter Komprimierung (MP3, MPEG 4)
  - oder mit verlustloser Komprimierung (Huffman-Code)
- Kanalkodierung
  - Abbildung der Quellbits auf Kanal-Symbole
  - Möglicherweise Hinzufügen von Redundanz angepasst auf die Kanaleigenschaften
- Physikalische Übertragung
  - Umwandlung in physikalische Ereignisse



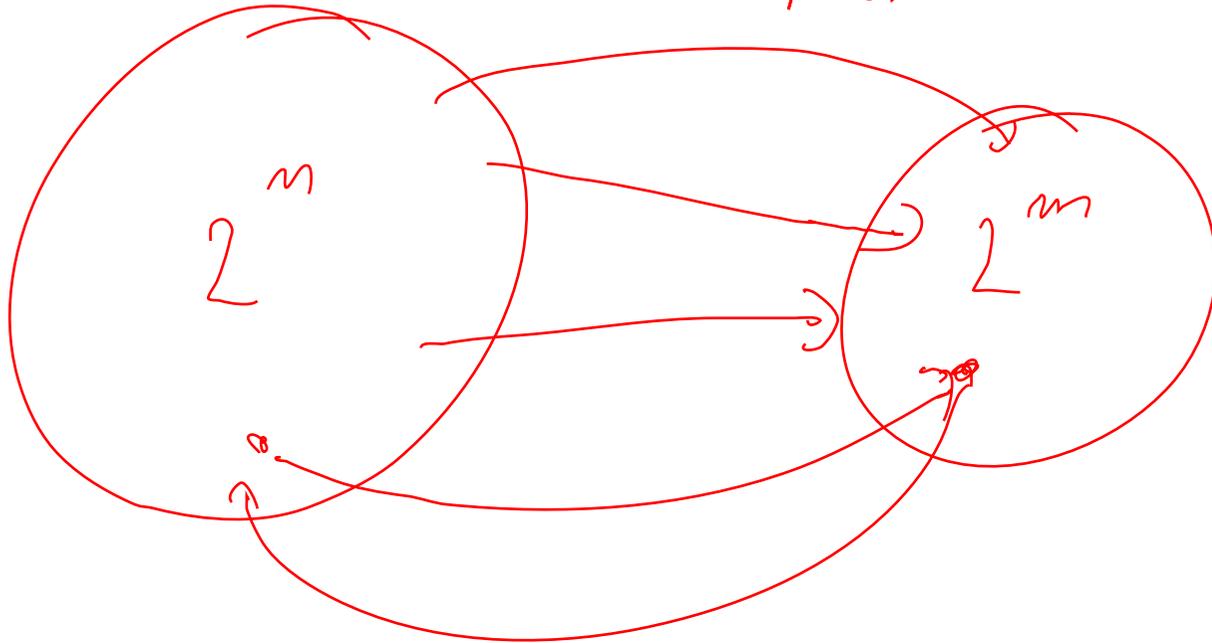
~~1000~~  $10^{50}$

0000 00 000000

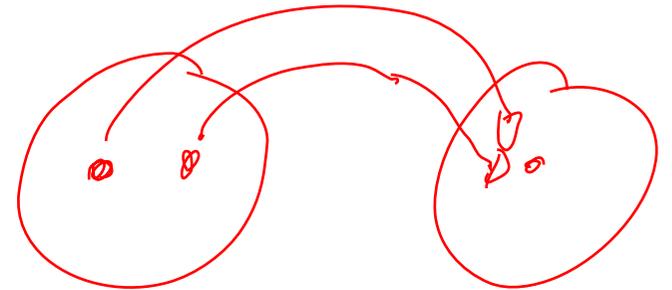
"das sind  $10^{50}$  Nullen"



Komprssi-

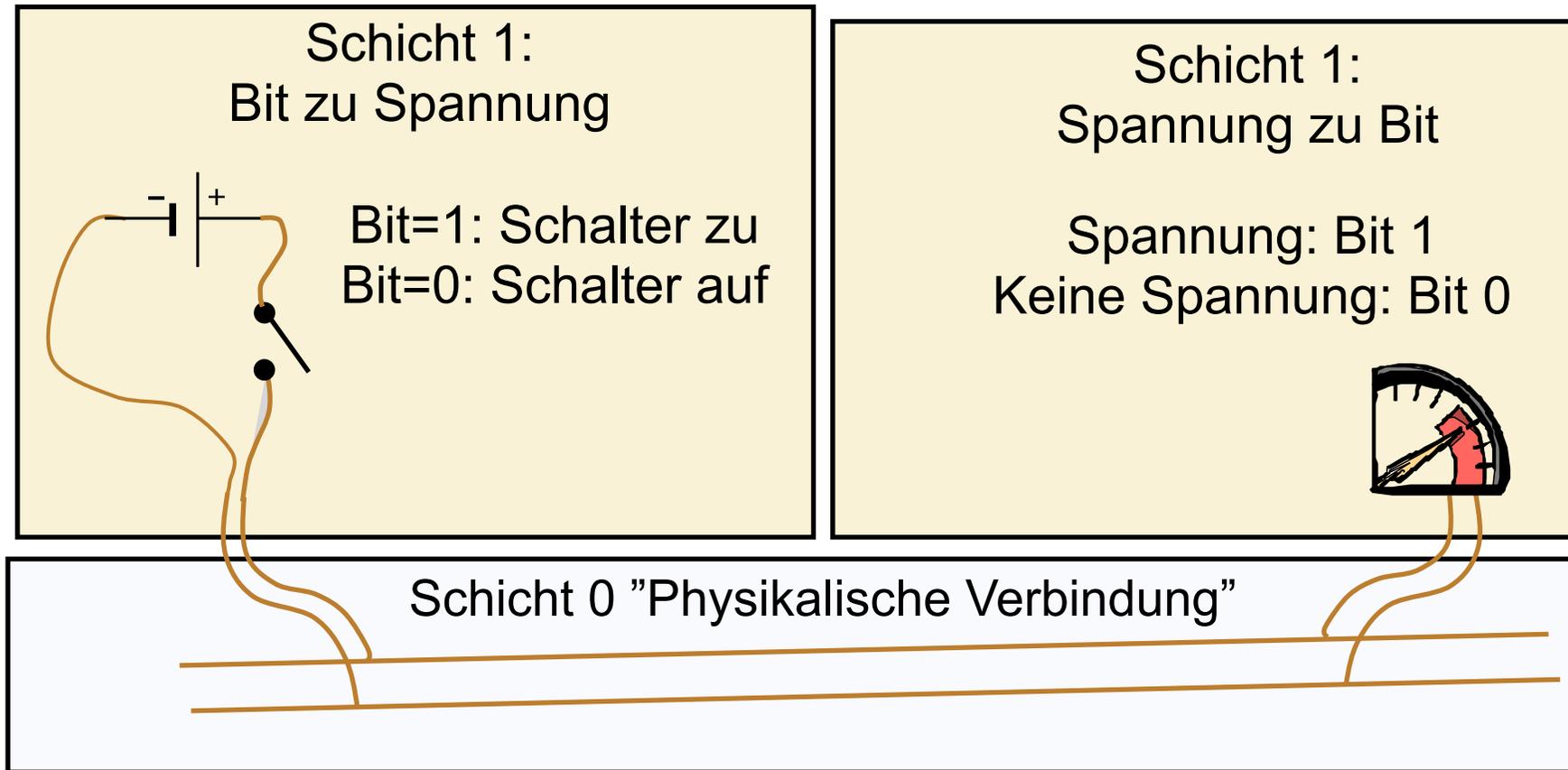


$m \subset m$



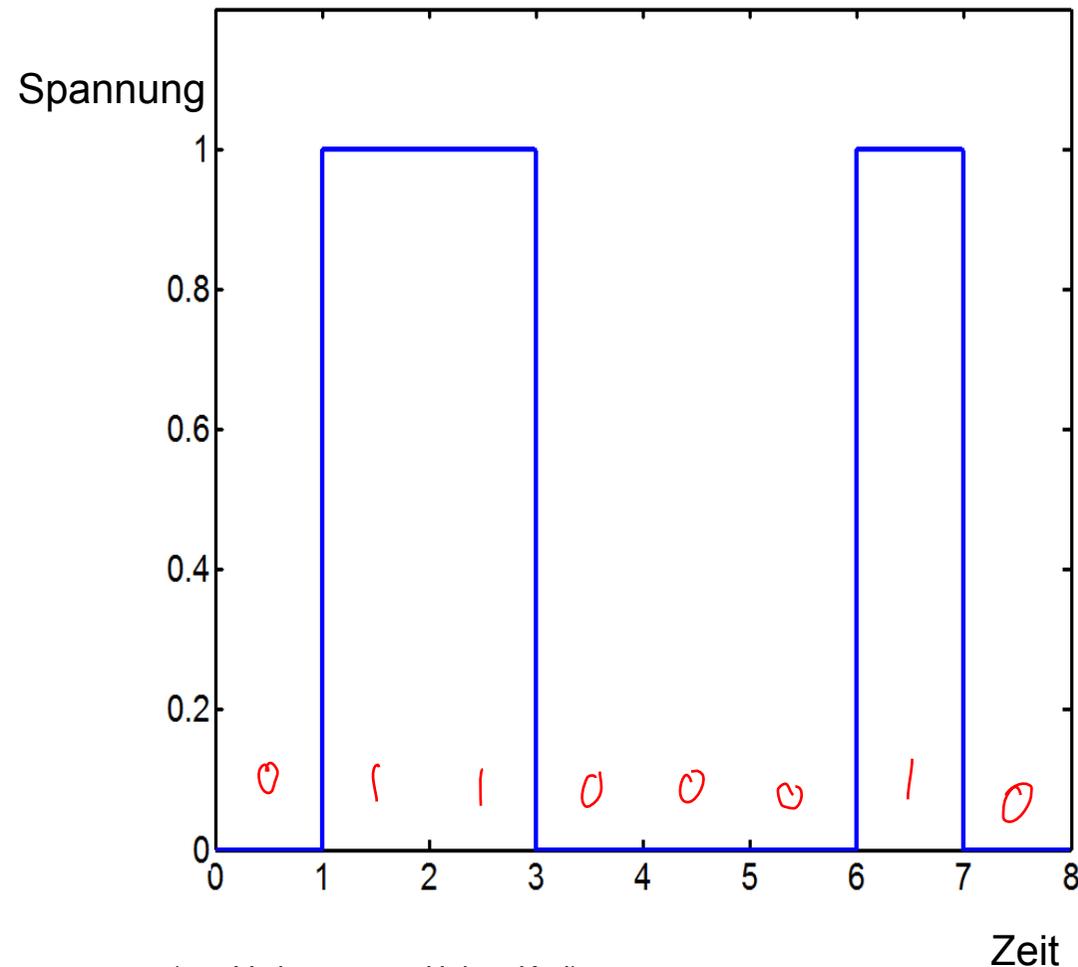
# Die einfachste Bitübertragung

- Bit 1: Strom an
- Bit 0: Strom aus



(aus Vorlesung von Holger Karl)

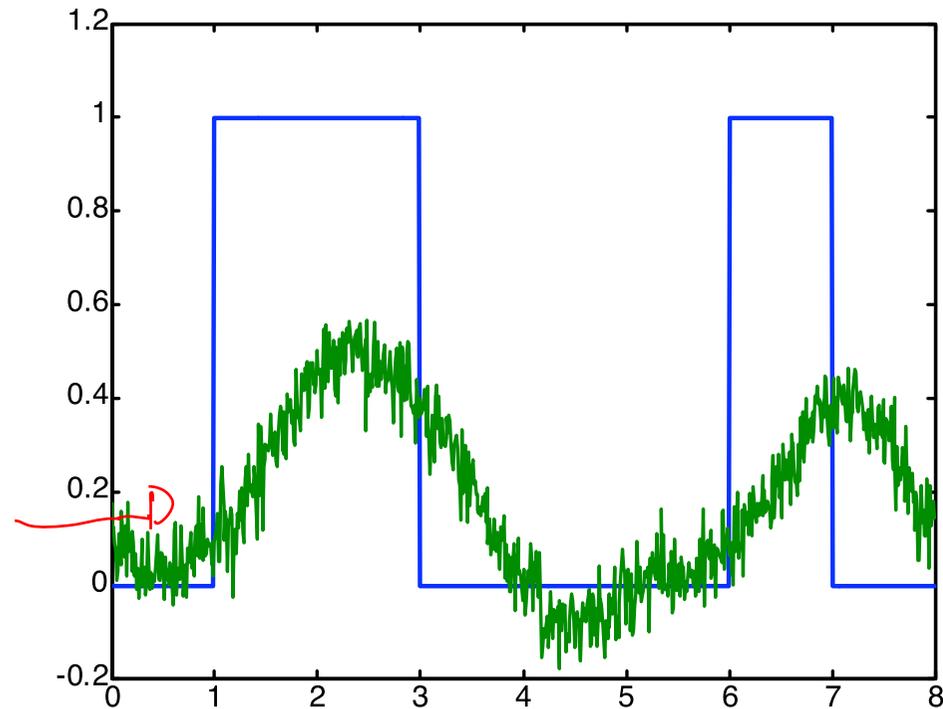
- Zeichen “b” benötigt mehrere Bits
  - z.B. ASCII code of “b” als Binärzahl  
01100010
- Spannungsverlauf:



(aus Vorlesung von Holger Karl)

# Was kommt an?

- Übertrieben schlechter Empfang
- Was passiert hier?



1. Allgemeine Dämpfung
2. Frequenzverlust
3. Frequenzabhängige Dämpfung
4. Störung und Verzerrung
5. Rauschen

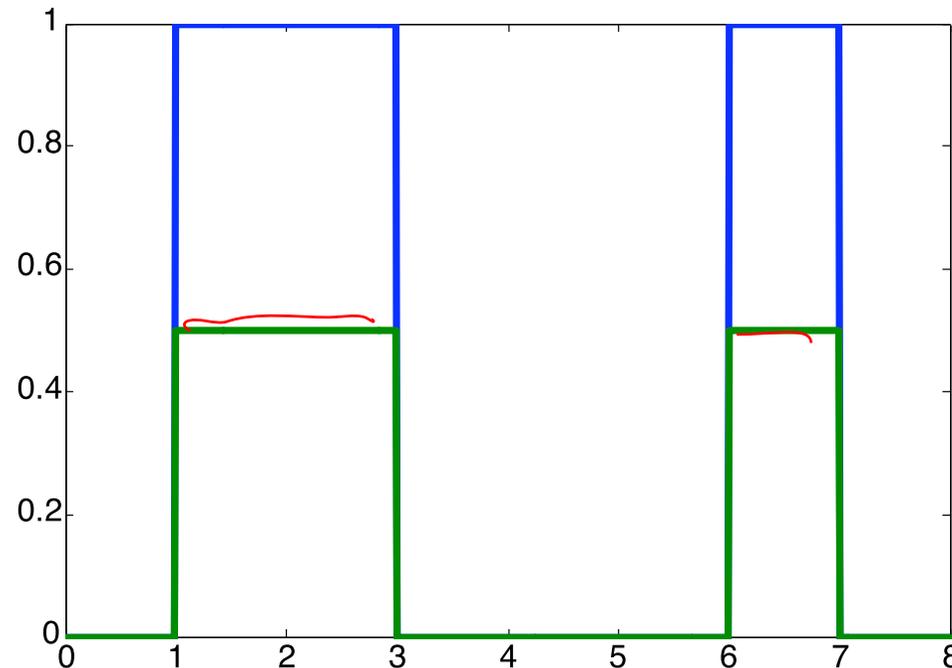
# 1. Signale werden gedämpft

- Dämpfung  $\alpha$  (attenuation)
  - Verhältnis von Sendeenergie  $P_1$  zu Empfangsenergie  $P_0$
  - Bei starker Dämpfung erreicht wenig Energie dem Empfänger
- Dämpfung hängt ab von
  - der Art des Mediums
  - Abstand zwischen Sender und Empfänger
  - ... anderen Faktoren
- Angegeben in deziBel

$$\log_{10} \frac{P_1}{P_0} \quad (\text{in Bel})$$

$$= 10 \log_{10} \frac{P_1}{P_0} \quad (\text{in deziBel [dB]})$$

$$\alpha = \frac{P_1}{P_0}$$



( ( ( A ) ) )

4

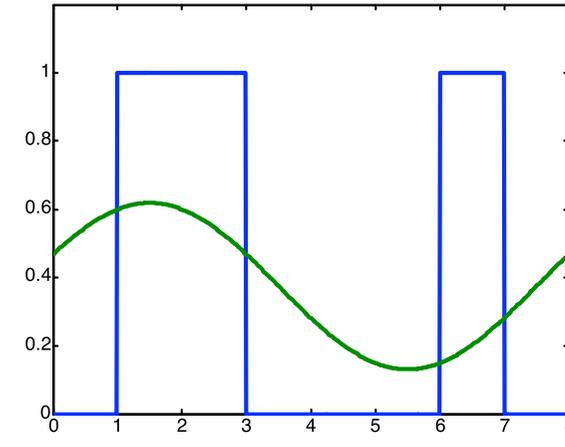
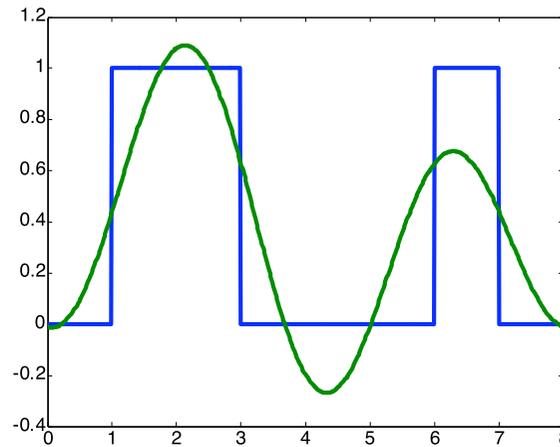
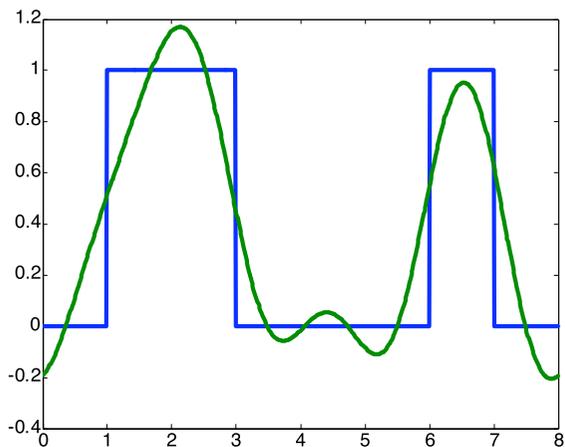
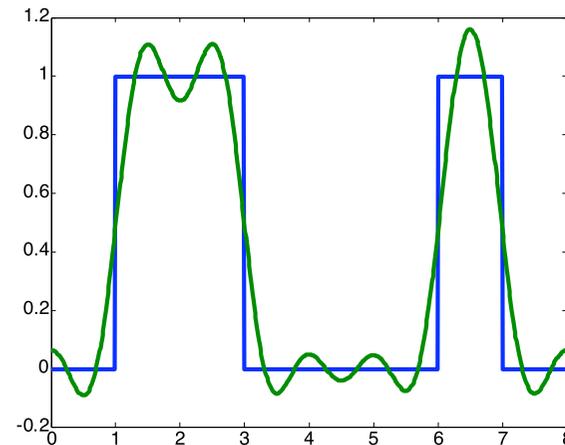
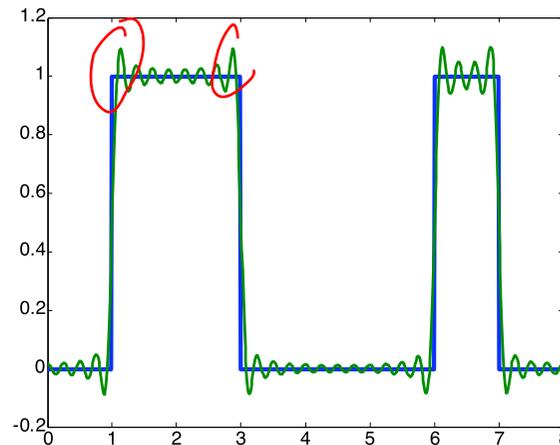
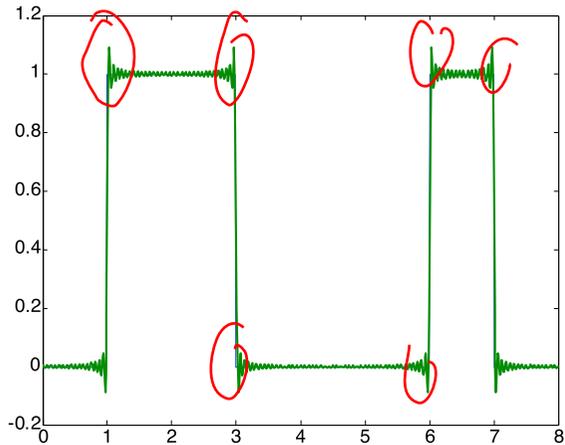


A



## 2. Nicht alle Frequenzen passieren das Medium

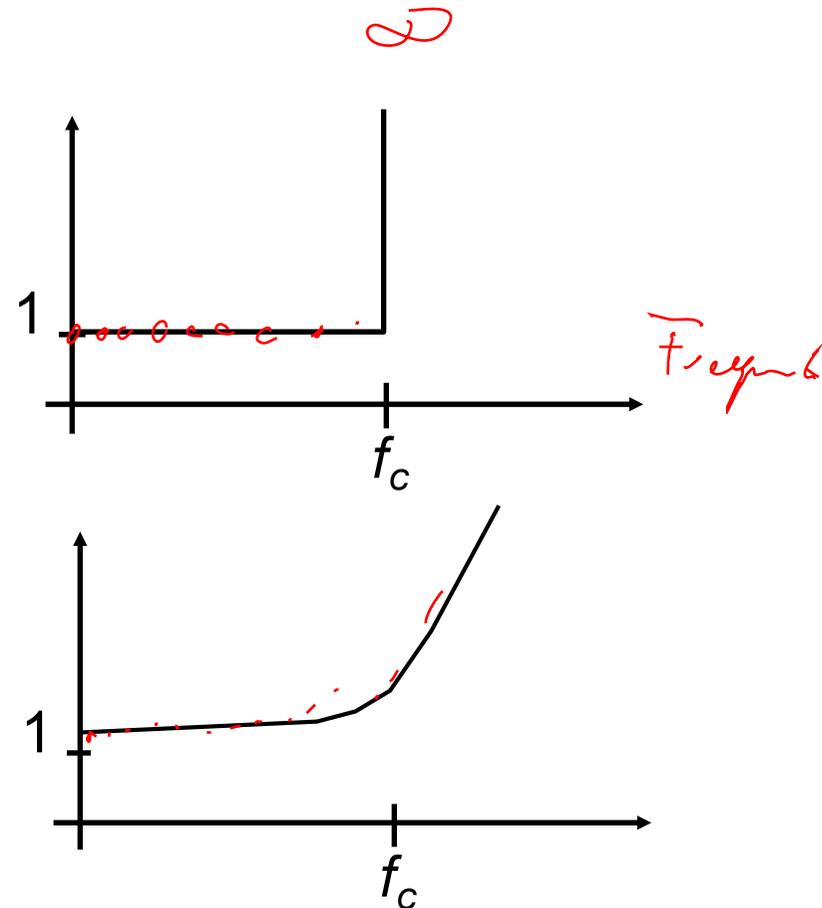
- Das Signal beim Verlust der hohen Frequenzen





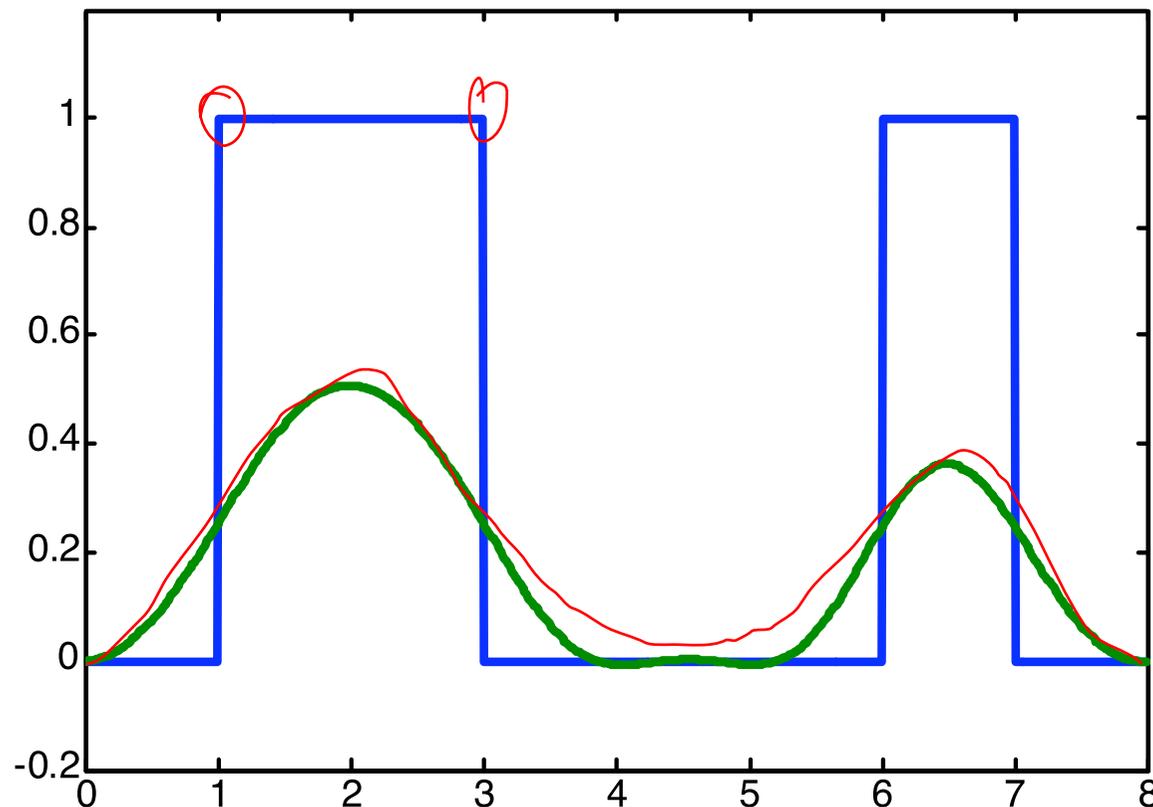
# 3. Frequenzabhängige Dämpfung

- Vorherige Seite: Cutoff
  - Zuerst ist die Dämpfung 1
  - und dann Unendlich
- Realistischer:
  - Dämpfung steigt kontinuierlich von 1 zu höheren Frequenzen
- Beides:
  - Bandweiten-begrenzter Kanal

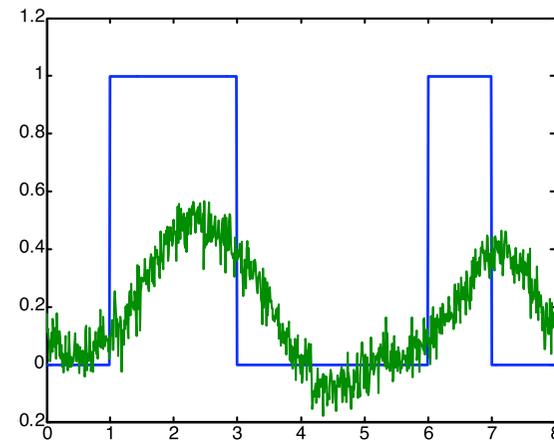


# Beispiel mit realistischerer Dämpfung

- Beispiel: Dämpfung ist 2; 2,5, 3,333... , 5, 10,  $\infty$  für den ersten, zweiten, ... Fourier-koeffizienten



Warum passiert das?

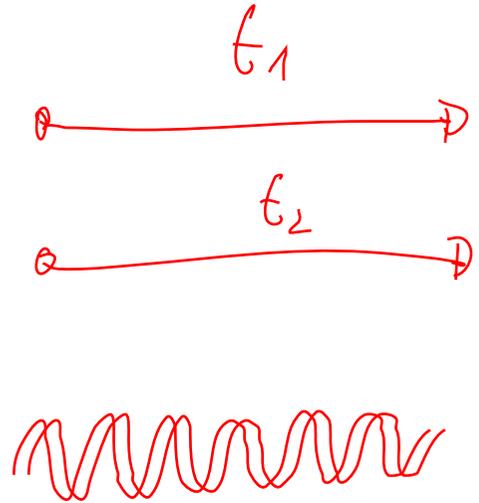


# 4. Das Medium stört und verzerrt

- In jedem Medium (außer dem Vakuum) haben verschiedene Frequenzen verschiedene Ausbreitungsgeschwindigkeit
  - Resultiert in Phasenverschiebung
  - Die zugrunde liegende Sinuskurve ist bestimmt durch Amplitude  $a$ , Frequenz  $f$ , and Phase  $\phi$

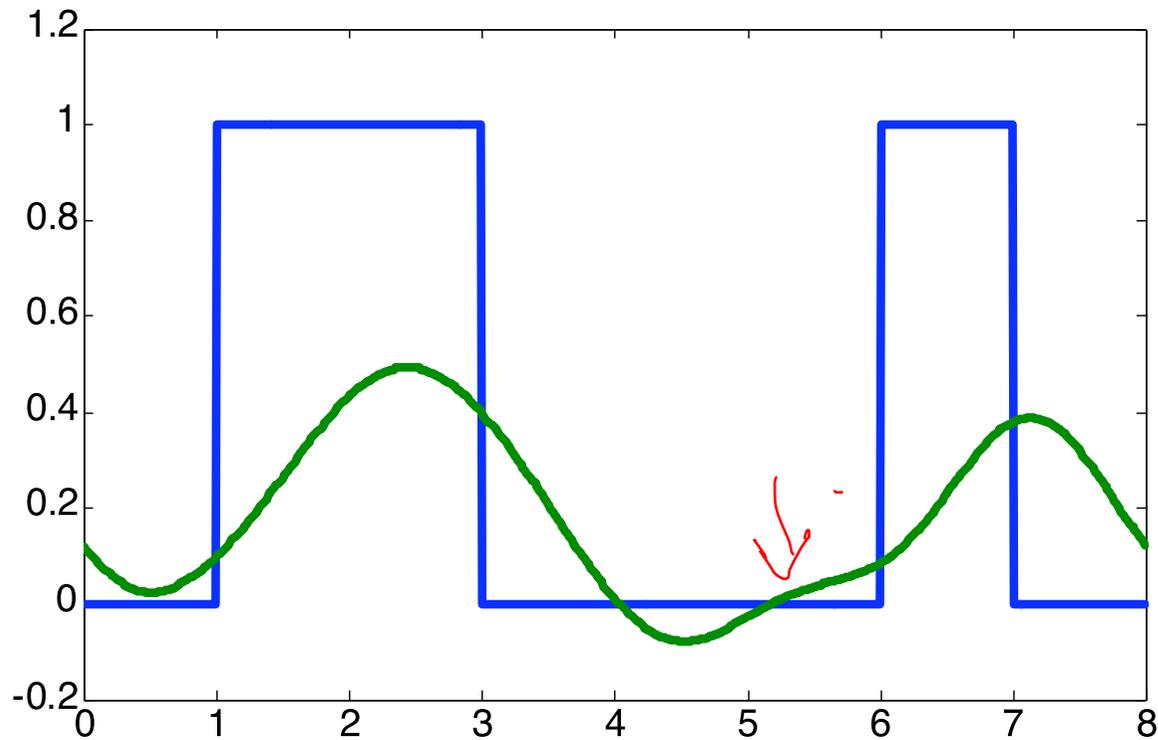
$$a \sin(2\pi ft + \phi)$$

(The symbol  $\phi$  is circled in red with an arrow pointing to it.)

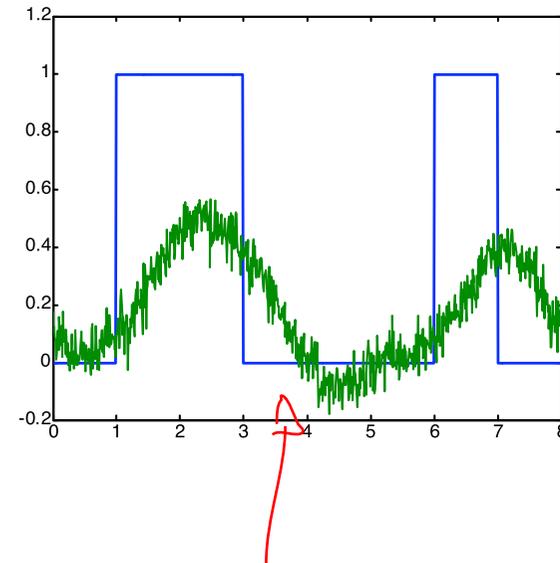


- Die Größe dieser Phasenverschiebung hängt von der Frequenz ab
  - Dieser Effekt heißt Verzerrung (distortion)

5



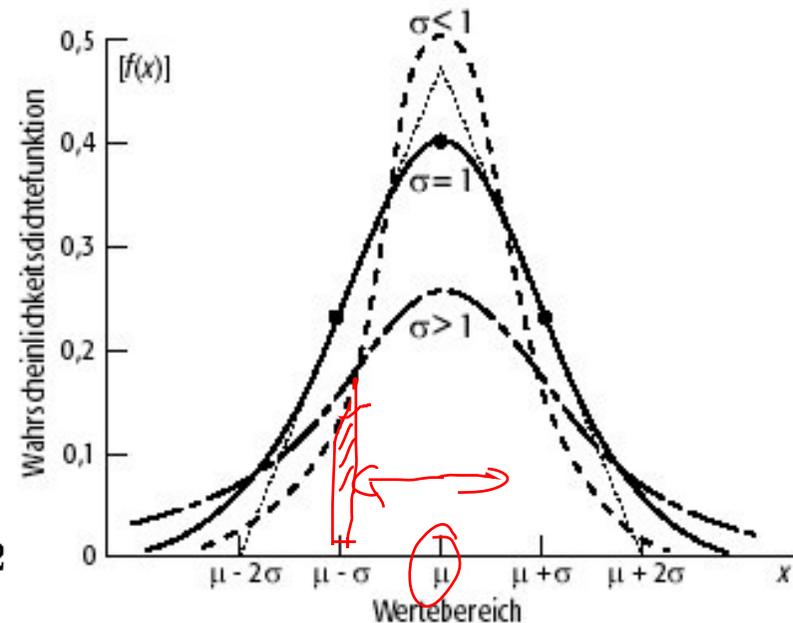
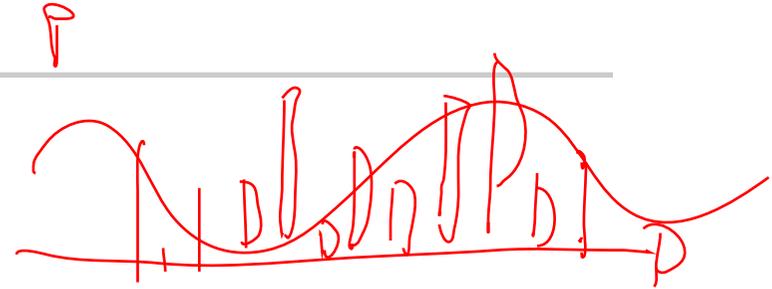
Warum passiert das:



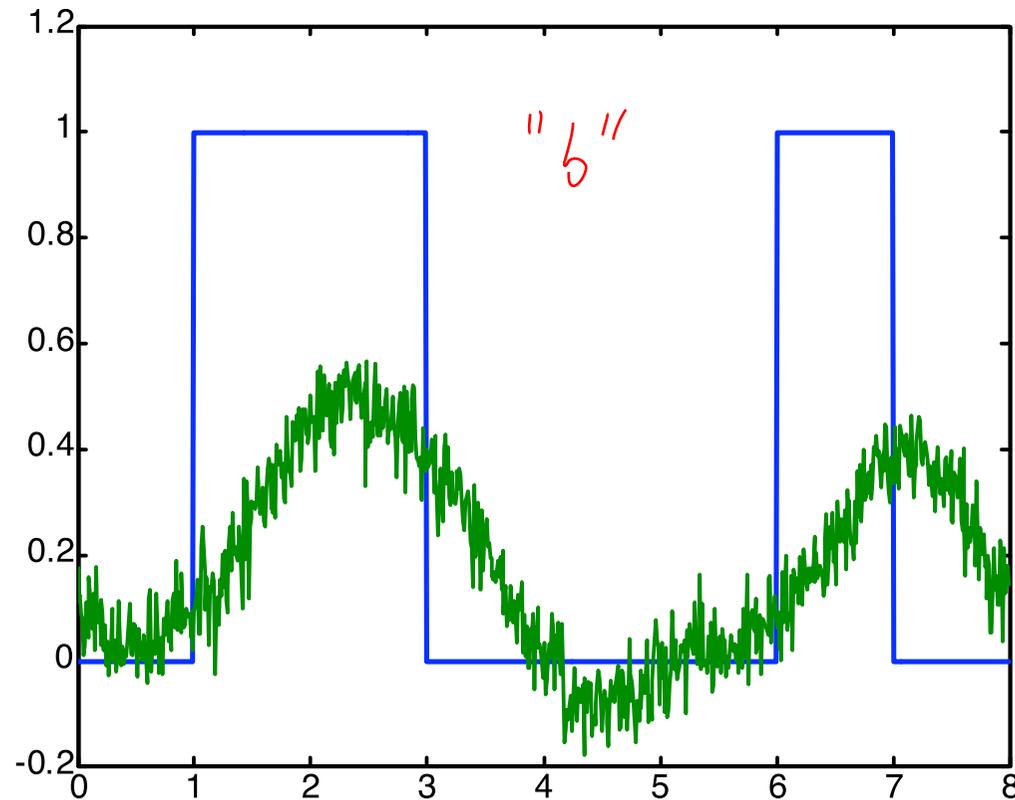
# 5. Echte Medien rauschen

- Jedes Medium und jeder Sender und Empfänger produzieren Rauschen
  - Verursacht durch Wärme, Störungen anderer Geräte, Signale, Wellen, etc.
- Wird beschrieben durch zufällige Fluktuationen des (störungsfreien) Signals
  - Typische Modellierung: Gauß'sche Normalverteilung

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x - \mu}{\sigma} \right)^2}$$



- Dies alles kann das Eingangssignal erklären.

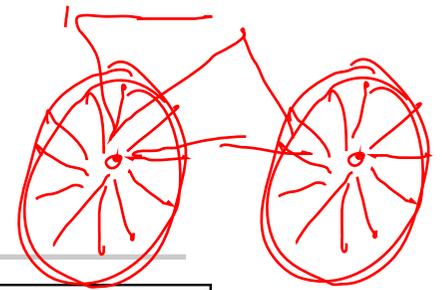


(aus Vorlesung von Holger Karl)

- Beispiel aus der Praxis mit Mediumzugriff:  
Ethernet
  - IEEE Standard 802.3
- Punkte im Standard
  - ⊖ Verkabelung
  - ⊕ Bitübertragungsschicht
  - - Sicherungsschicht mit Mediumzugriff

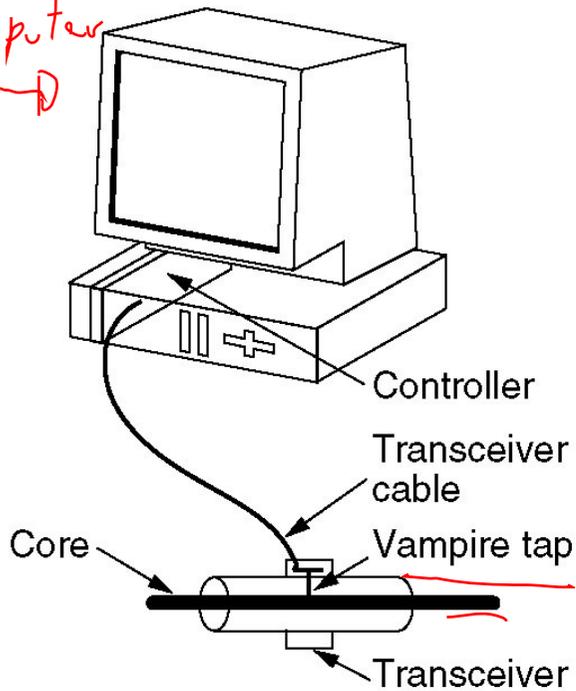
# Ethernet cabling

Hub = Nabe

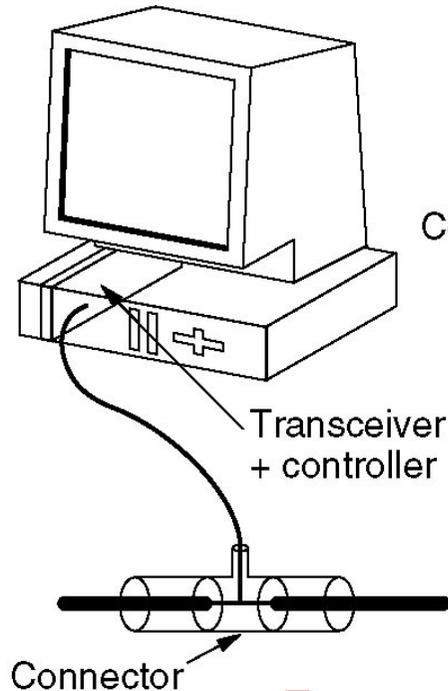


Name	Cable	Max. seg.	Nodes/seg.	Advantages
10Base5	Thick coax	500 m	100	Original cable; now obsolete
10Base2	Thin coax	185 m	30	No hub needed
10Base-T	Twisted pair	100 m	1024	Cheapest system
10Base-F	Fiber optics	2000 m	1024	Best between buildings

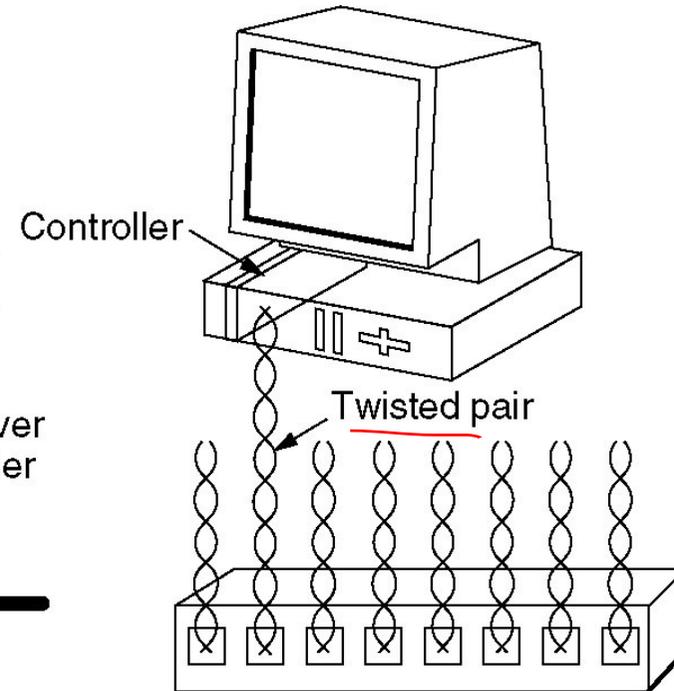
Computer  
→



10Base5

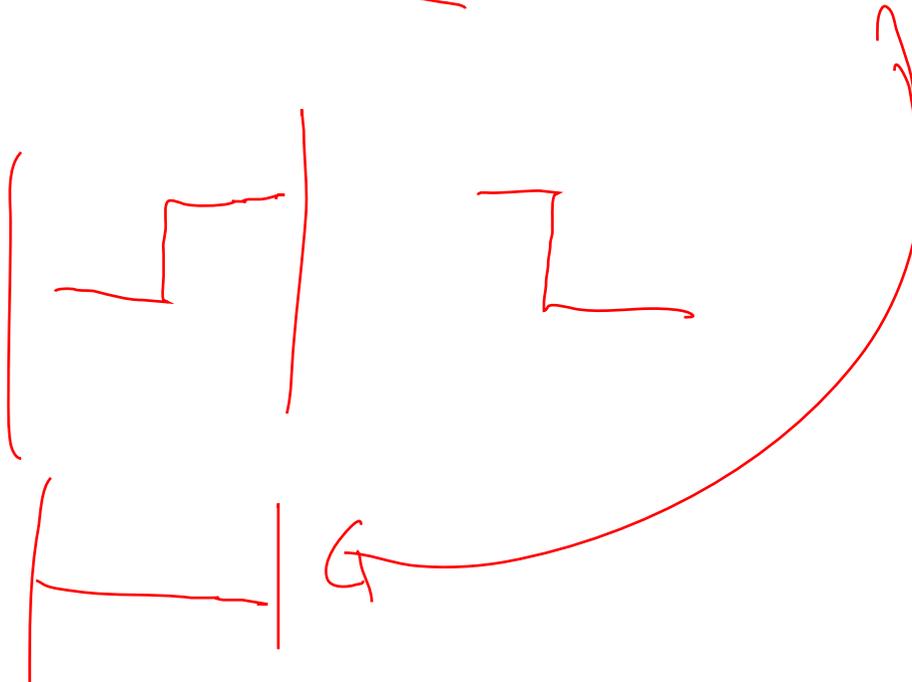


10Base2

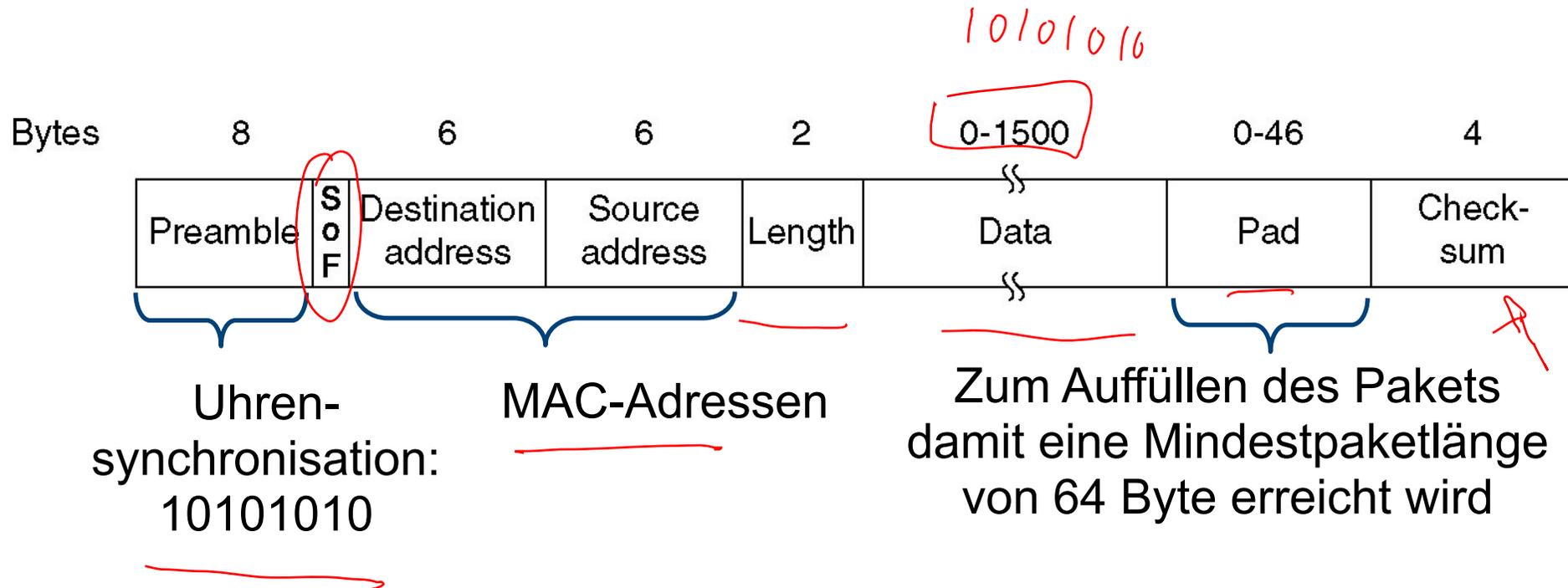


10BaseT

- Mediumabhängig
- Typisch: Manchester encoding
  - mit +/- 0.85 V
- Code-Verletzung zeigt Frame-Grenzen auf



- Im wesentlichen: CSMA/CD mit binary exponential backoff
- Frame-Format



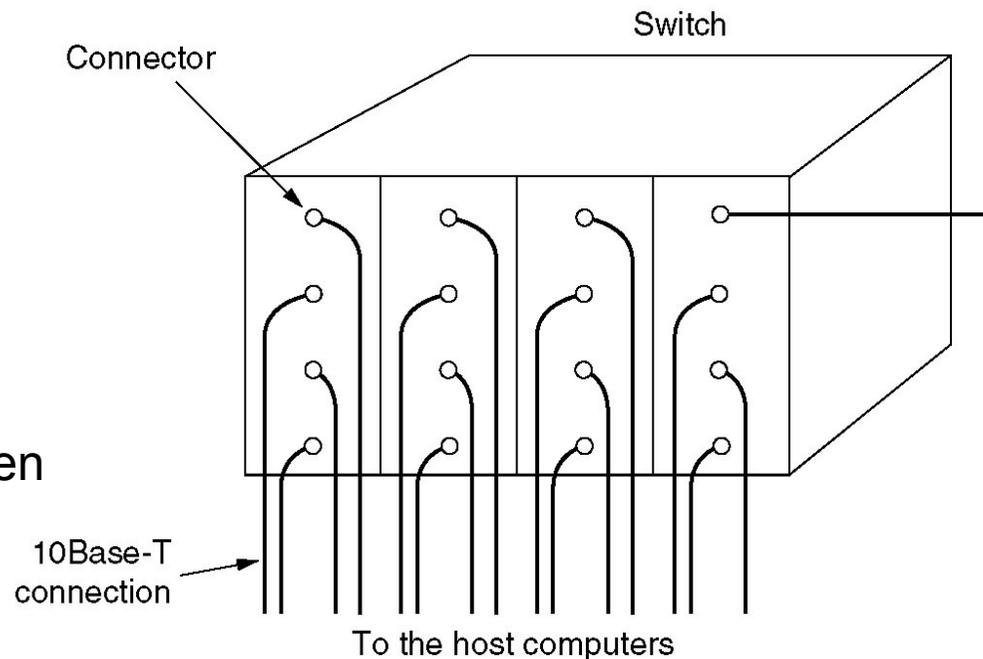
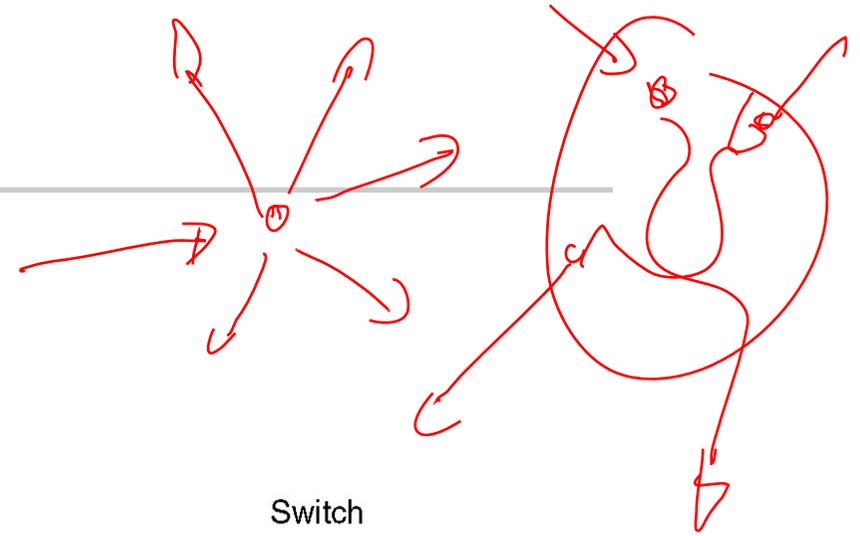
# Switch versus Hub

## Hub

- verknüpft Ethernet-Leitungen nabenförmig
- jede Verbindung hört alles
- Durch CSMA/CD wird die Übertragungsrate reduziert

## Switch

- unterteilt die eingehenden Verbindungen in kleinere Kollisionsteilmengen
- die Prüfsumme eines eingehenden Pakets wird überprüft
- Kollisionen werden nicht weiter gegeben
- interpretiert die Zieladresse und leitet das Paket nur in diese Richtung weiter

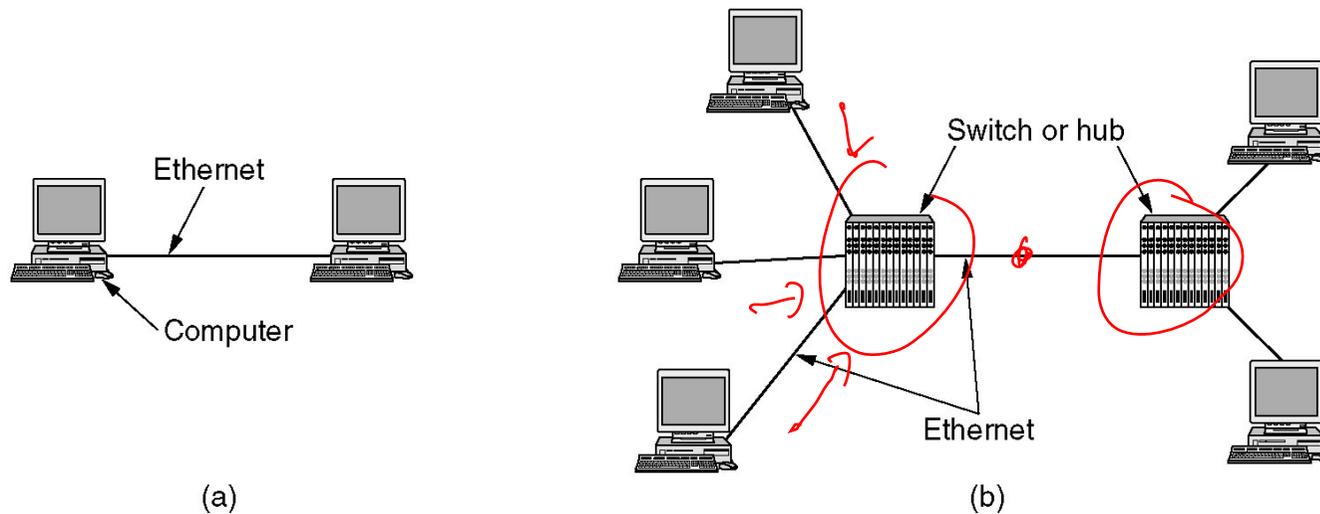


- Ursprünglich erreichte Ethernet 10 MBit/s
- 1992: Fast Ethernet
  - Ziele: Rückwärtskompatibilität
  - Resultat: 802.3u
- Fast Ethernet
  - Frame-Format ist gleichgeblieben
  - Bit-Zeit wurde von 100 ns auf 10 ns reduziert
  - Dadurch verkürzt sich die maximale Kabellänge (und die minimale Paket-Größe steigt).
    - Unvermeidbare Kollisionen CSMA

- Standard Cat-3 twisted pair unterstützt nicht 200 MBaud über 100 m
  - Lösung: Verwendung von 2 Kabelpaaren bei reduzierter Baudrate
- Wechseln von Manchester auf 4B/5B-Kodierung auf Cat-5-Kabeln

Name	Cable	Max. segment	Advantages
100Base-T4	Twisted pair	100 m	Uses category 3 UTP
100Base-TX	Twisted pair	100 m	Full duplex at 100 Mbps
100Base-FX	Fiber optics	2000 m	Full duplex at 100 Mbps; long runs

- Gigabit-Ethernet: 1995
  - Ziel: Weitgehende Übernahme des Ethernet-Standards
- Ziel wurde erreicht durch Einschränkung auf Punkt-zu-Punkt-Verbindungen
  - In Gigabit-Ethernet sind an jedem Kabel genau zwei Maschinen
    - oder zumindestens ein Switch oder Hub



- Mit Switch
  - Keine Kollisionen → CSMA/CD unnötig
  - Erlaubt full-duplex für jeden Link
- Mit Hub
  - Kollisionen, nur Halb-Duplex (d.h. abwechselnd Simplex), CSMA/CD
  - Kabellängen auf 25 m reduziert



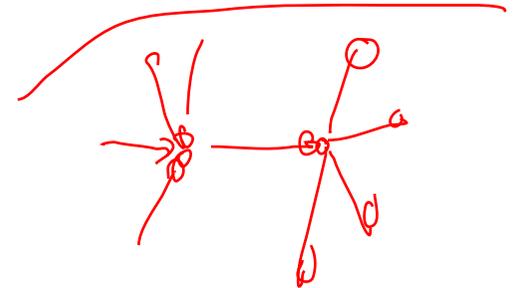
<b>Name</b>	<b>Cable</b>	<b>Max. segment</b>	<b>Advantages</b>
1000Base-SX	Fiber optics	550 m	Multimode fiber (50, 62.5 microns)
1000Base-LX	Fiber optics	5000 m	Single (10 $\mu$ ) or multimode (50, 62.5 $\mu$ )
1000Base-CX	2 Pairs of STP	25 m	Shielded twisted pair
1000Base-T	4 Pairs of UTP	100 m	Standard category 5 UTP

# Verbinden von LANs

Application layer	Application gateway
Transport layer	Transport gateway
Network layer	<u>IP</u> Router
Data link layer	<u>MAC</u> Bridge, switch
Physical layer	Repeater, hub

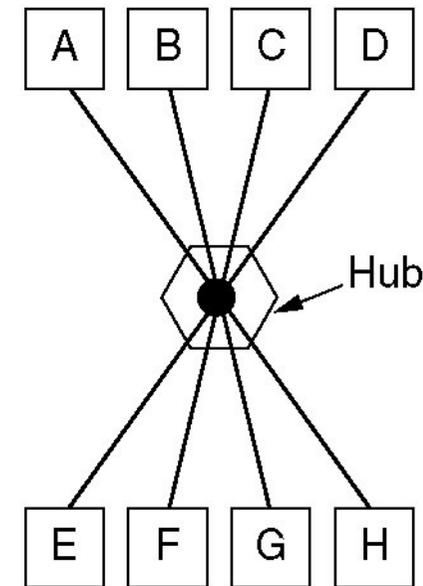
P2P

Overlay Network

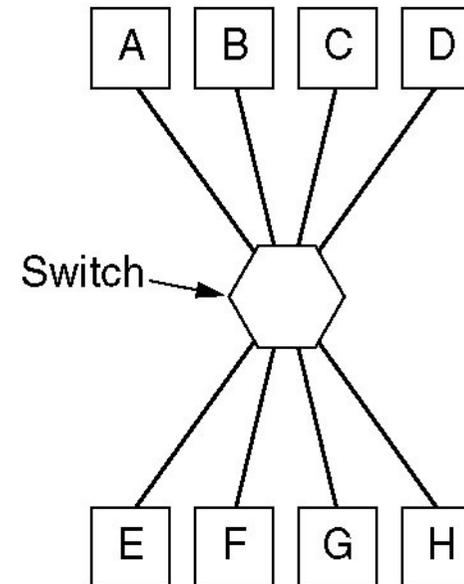


- Signalregenerator
  - Empfängt Signal und bereitet es auf
  - Nur das elektrische und optische Singal wird aufbereitet
  - Information bleibt unbeeinflusst
- Bitübertragungsschicht
- Repeater teilen das Netz in physische Segmente
  - logische Topologien bleiben erhalten

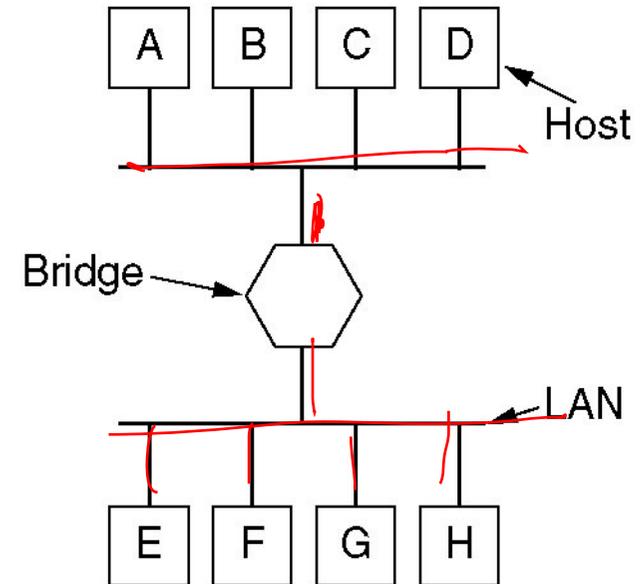
- Verbindet sternförmig Netzsegmente
  - im Prinzip wie ein Repeater
  - Signale werden auf alle angebundenen Leitungen verteilt
- Bitübertragungsschicht
  - Information und Logik der Daten bleibt unberücksichtigt
  - Insbesondere für Kollisionen



- Verbindet sternförmig Netzsegmente
  - Leitet die Daten nur in die betreffende Verbindung weiter
  - Gibt keine Kollisionen weiter
- Sicherungsschicht
  - Signale werden neu erzeugt
  - Kollisionen abgeschirmt und reduziert
  - Frames aber nicht verwendet
  - Rudimentäre Routingtabelle durch Beobachtung, wo Nachrichten herkommen

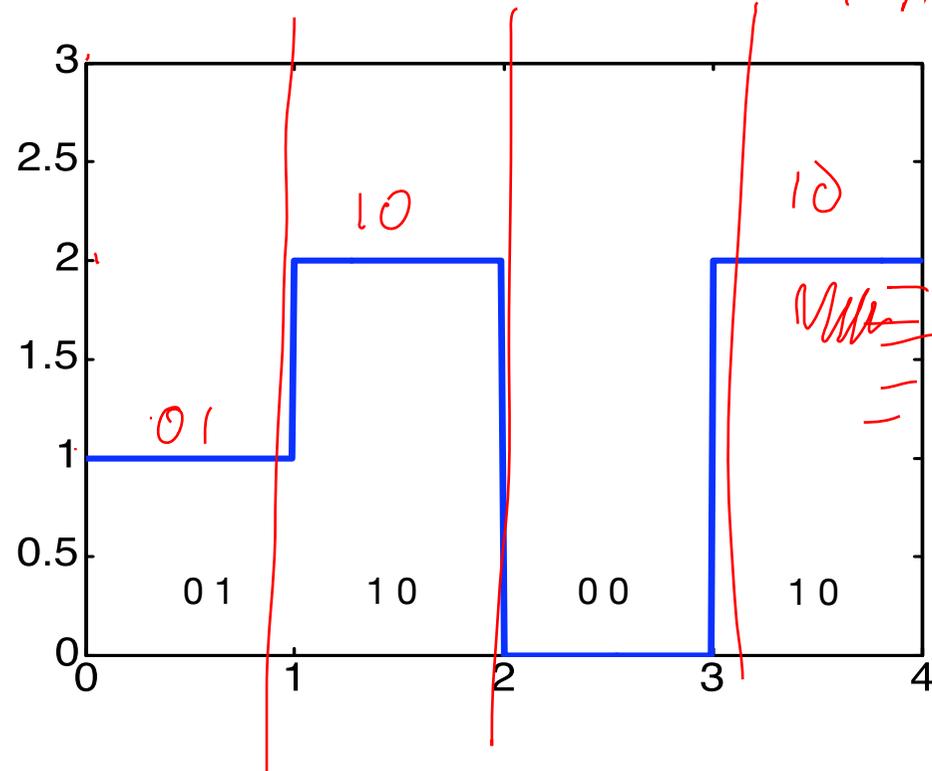


- Verbindet zwei lokale Netzwerke
  - im Gegensatz zum Switch (dort nur Terminals)
  - trennt Kollisionen
- Sicherungsschicht
  - Weitergabe an die andere Seite, falls die Ziel-Adresse aus dem anderen Netzwerk bekannt ist oder auf beiden Seiten noch nicht gehört wurde
  - Nur korrekte Frames werden weitergereicht
  - Übergang zwischen Bridge und Switch ist fließend



2<sup>+</sup>

- Für die Datenübertragung können statt Bits auch Symbole verwendet werden
- Z.B. 4 Symbole: A,B,C,D mit
  - A=00, B=01, C=10, D=11
- Symbole
  - Gemessen in Baud
  - Anzahl der Symbole pro Sekunde
- Datenrate
  - Gemessen in Bits pro Sekunde (bit/s)
  - Anzahl der Bits pro Sekunde
- Beispiel
  - 2400 bit/s Modem hat 600 Baud (verwendet 16 Symbole)



$$m \text{ Baud} = \underline{m \cdot \log_2 \text{ Bits/s}}$$

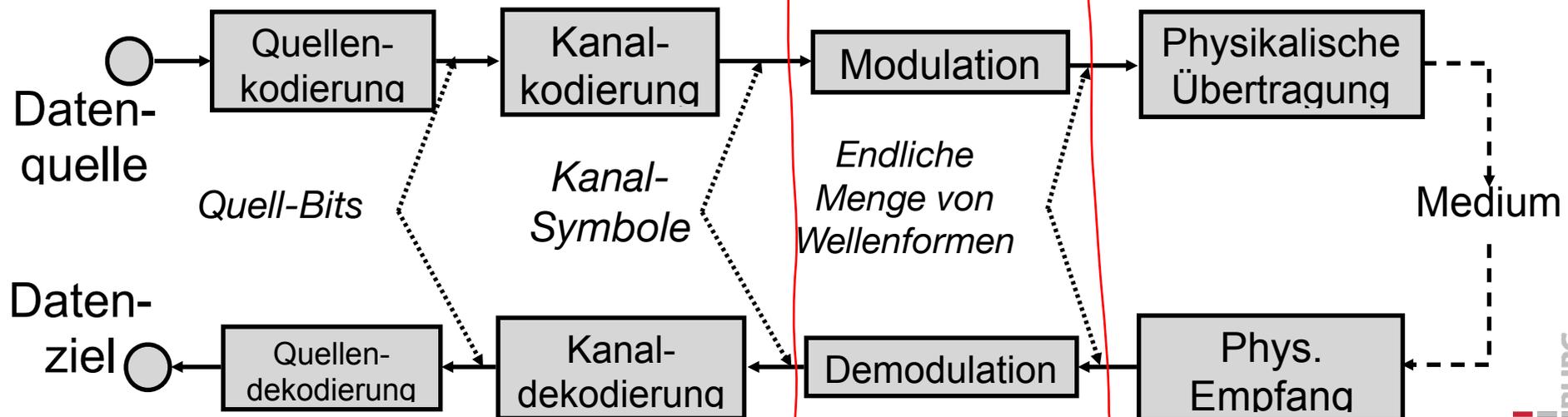
$$S = \# \text{ Symbole}$$

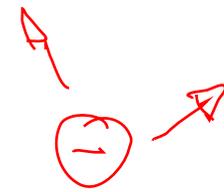
## ■ MOdulation/DEModulation

- Übersetzung der Kanalsymbole durch

- Amplitudenmodulation
- Phasenmodulation
- Frequenzmodulation
- oder einer Kombination davon

ABC →   
 010





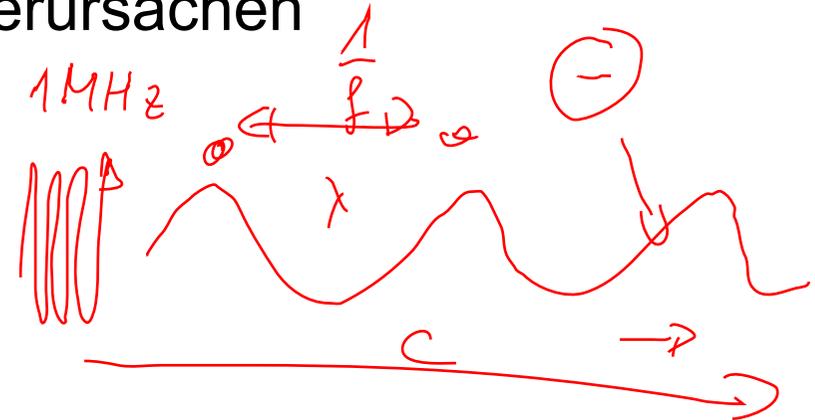
- Bewegte elektrisch geladene Teilchen verursachen elektromagnetische Wellen

## - Frequenz

- $f$ : Anzahl der Oszillationen pro Sekunde  
- Maßeinheit: Hertz

## - Wellenlänge

- $\lambda$ : Distanz (in Metern) zwischen zwei Wellenmaxima
- Durch Antennen können elektro-magnetische Wellen erzeugt und empfangen werden
- Die Ausbreitungsgeschwindigkeit von elektro-magnetischen Wellen im Vakuum ist konstant:
  - **Lichtgeschwindigkeit**  $c \approx 3 \cdot 10^8$  m/s



$$\frac{\lambda}{\frac{1}{f}} = c$$

$$\lambda \cdot f = c$$

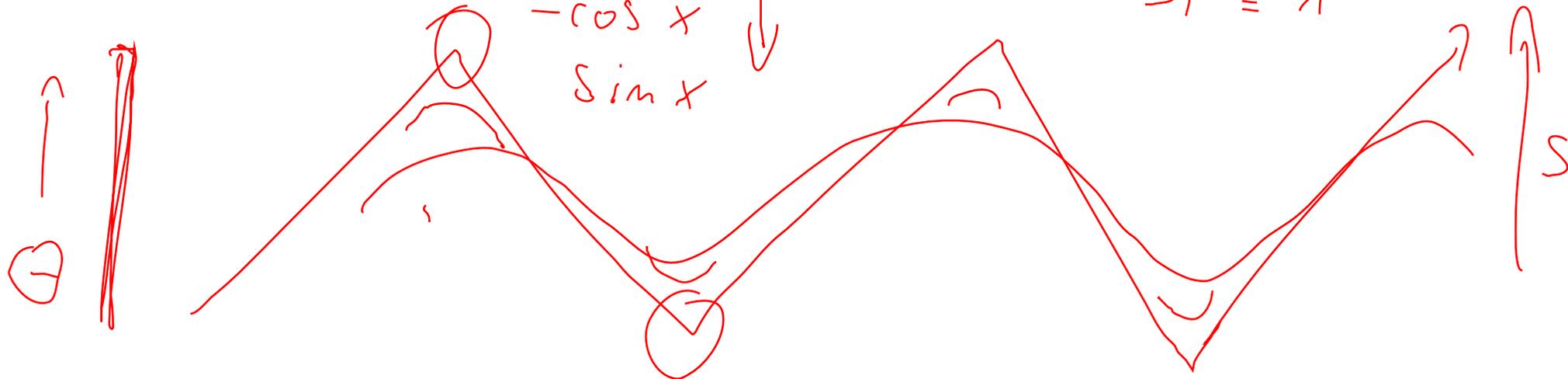
- Zusammenhang:

$$\lambda \cdot f = c$$

$$\operatorname{Im}(e^{ix}) = \begin{cases} \sin x \\ \cos x \\ -\sin x \\ -\cos x \\ \sin x \end{cases} \quad \operatorname{Im}(e^{ix})$$

$$i^2 = -1$$

$$-i^2 = 1$$



$$e^x \quad e^{-x} \quad | \quad -e^{-x} \quad | \quad e^{-x} \quad | \quad e^{ix} \quad e^{ix}$$

$$e^{ix}$$

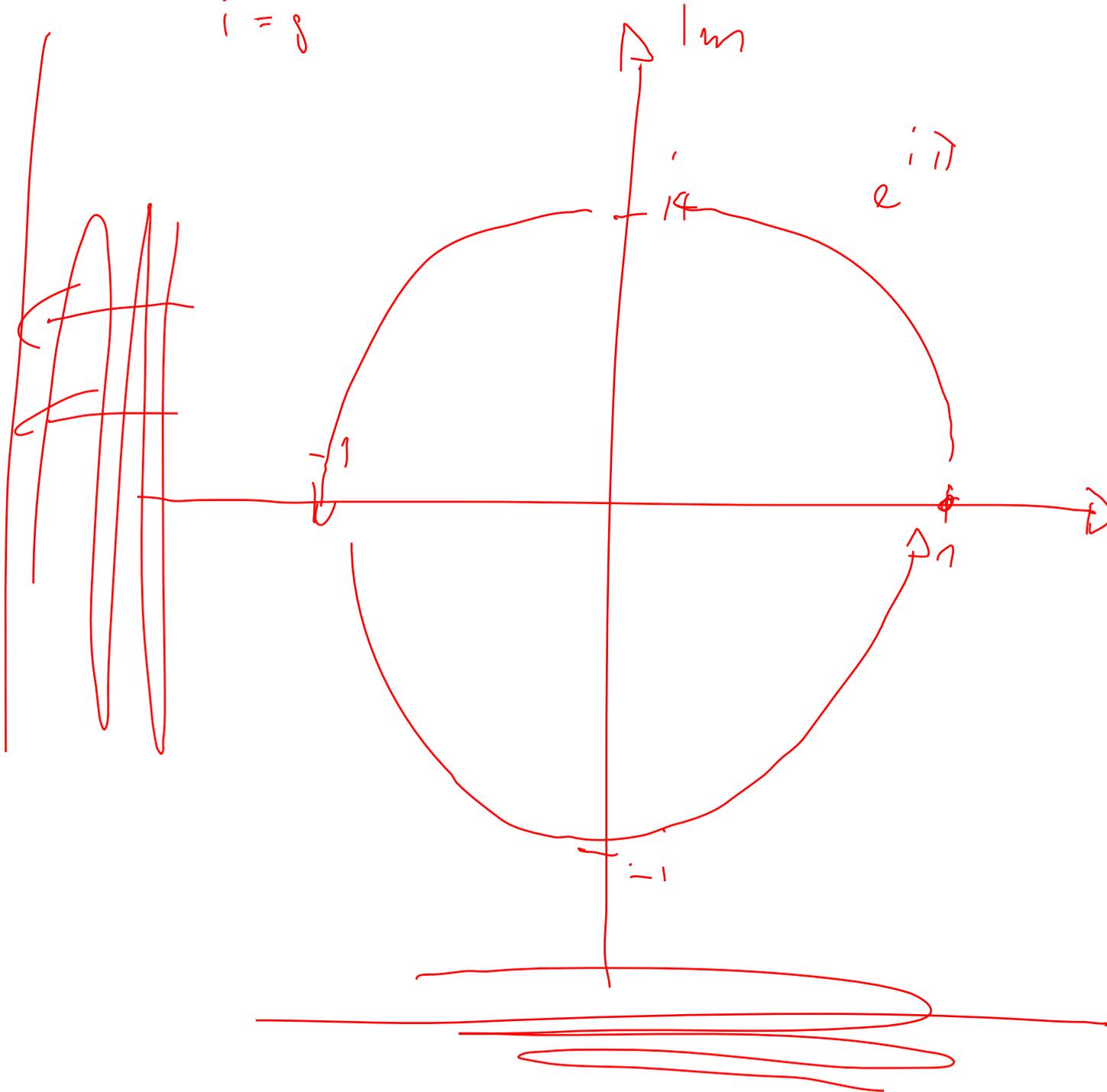
$$+ie^{ix}$$

$$-e^{ix}$$

$$+ie^{ix}$$

$$e^{ix}$$

$$i = j$$



$$e^{i0} = 1$$

$$e^{i\pi/2} = i$$

Re

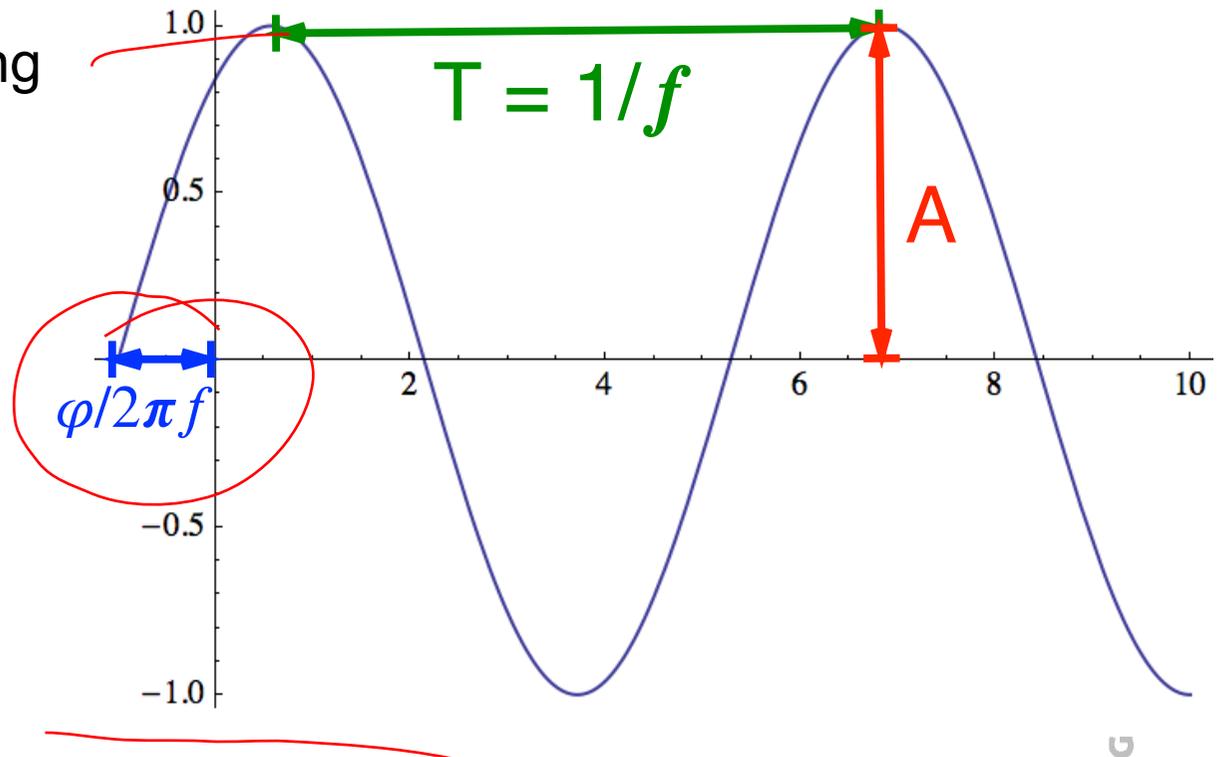
$$e^{i\pi} = -1$$

0

- Amplitudendarstellung einer Sinusschwingung

$$s(t) = A \sin(2\pi f t + \phi)$$

- A: Amplitude
- $\phi$ : Phasenverschiebung
- f: Frequenz =  $1/T$
- T: Periode



# Systeme II

## 2. Die physikalische Schicht

Christian Schindelhauer

Technische Fakultät

Rechnernetze und Telematik

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Version 29.04.2014