

Systeme II

8. Die physikalische Schicht (Teil 3)

Thomas Janson[°], Kristof Van Laerhoven*, Christian
Ortolf[°]

Folien: Christian Schindelhauer[°]

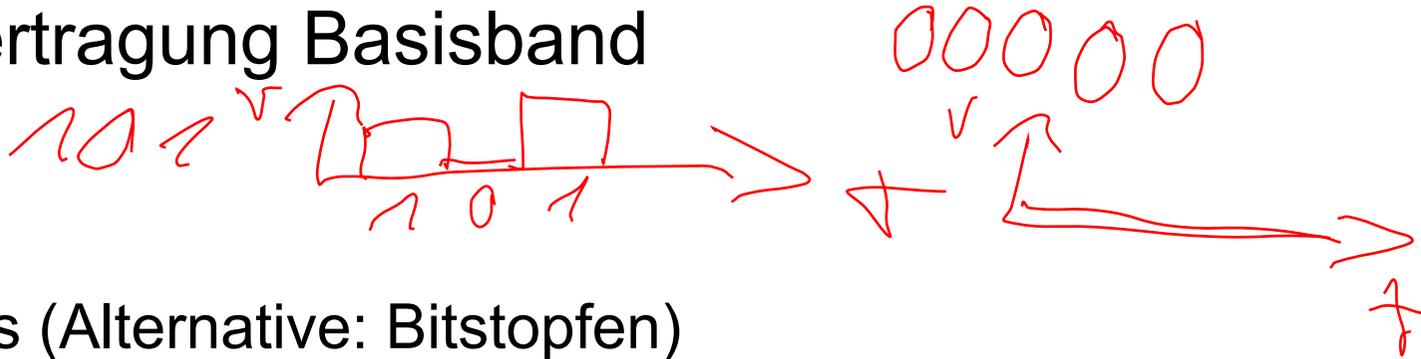
Technische Fakultät

[°]: Rechnernetze und Telematik, *: Eingebettete Systeme

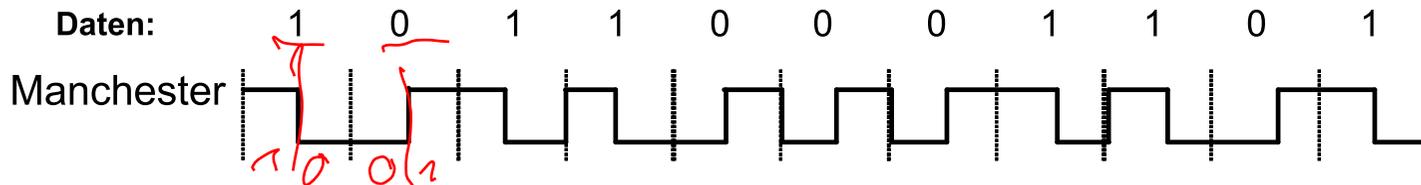
Rückblick: Basisband

- einfachste Bitübertragung Basisband

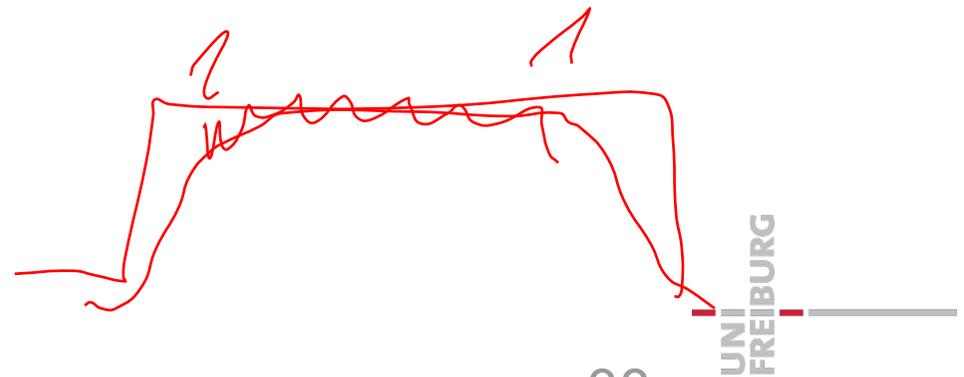
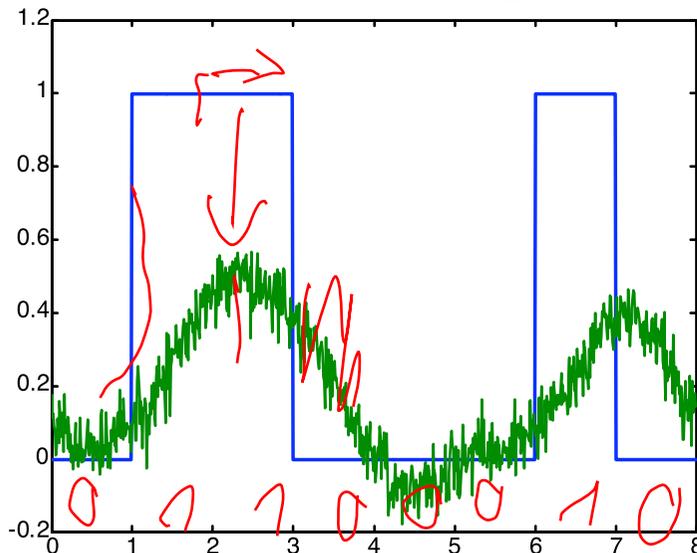
- Bit 1: Strom an
- Bit 0: Strom aus



- selbsttaktende Codes (Alternative: Bitstopfen)



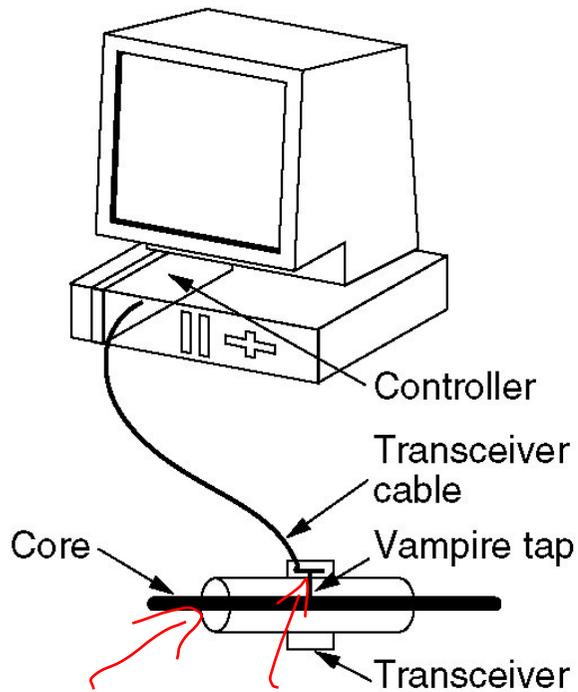
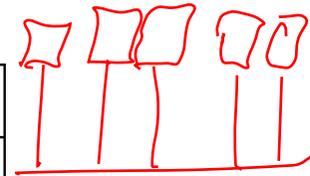
Signalstörungen: Dämpfung, Verzögerung, Rauschen



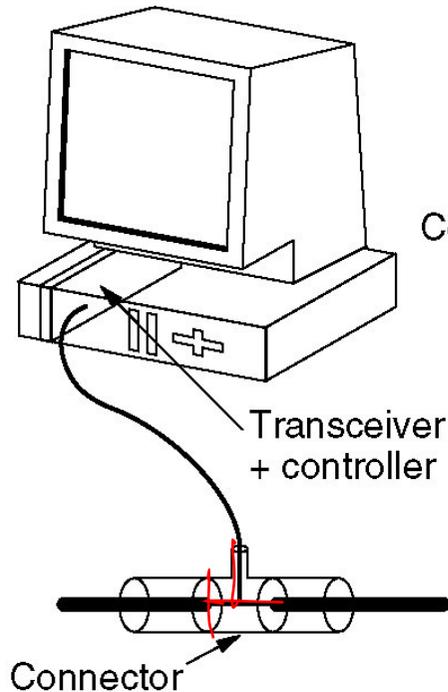
- Beispiel aus der Praxis mit Mediumzugriff:
Ethernet
 - IEEE Standard 802.3
- Punkte im Standard
 - Verkabelung
 - Bitübertragungsschicht
 - Sicherungsschicht mit Mediumzugriff

Ethernet cabling

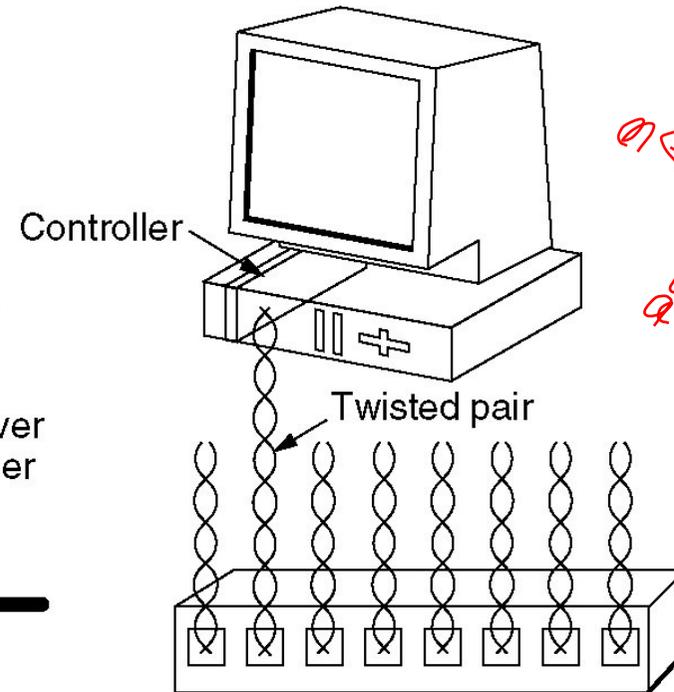
Name	Cable	Max. seg.	Nodes/seg.	Advantages
10Base5	Thick coax	<u>500 m</u>	<u>100</u>	Original cable; now obsolete
10Base2	Thin coax	<u>185 m</u>	<u>30</u>	No hub needed
10Base-T	<u>Twisted pair</u>	<u>100 m</u>	<u>1024</u>	<u>Cheapest system</u>
10Base-F	Fiber optics	2000 m	1024	Best between buildings



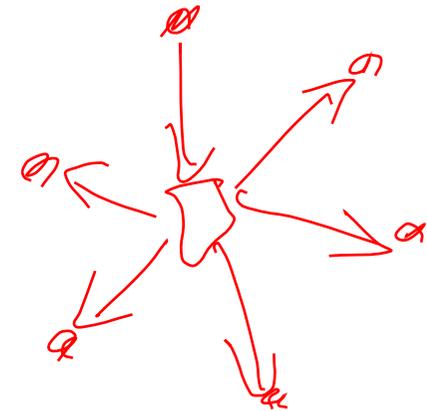
10Base5



10Base2

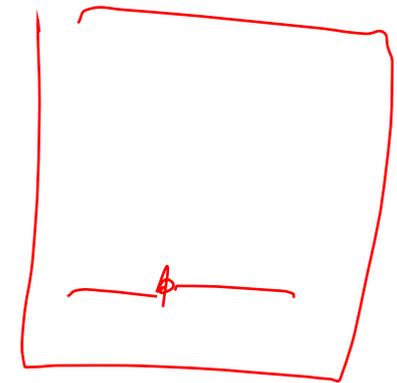
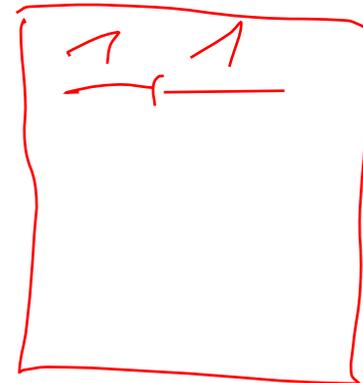
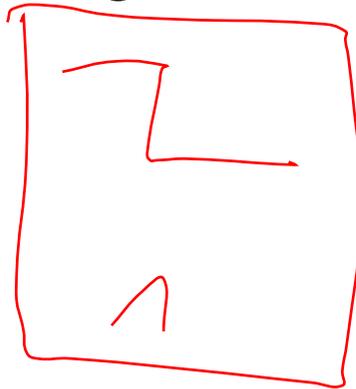
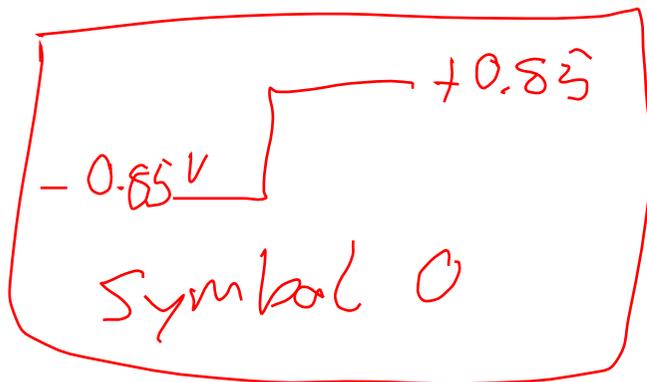


10BaseT



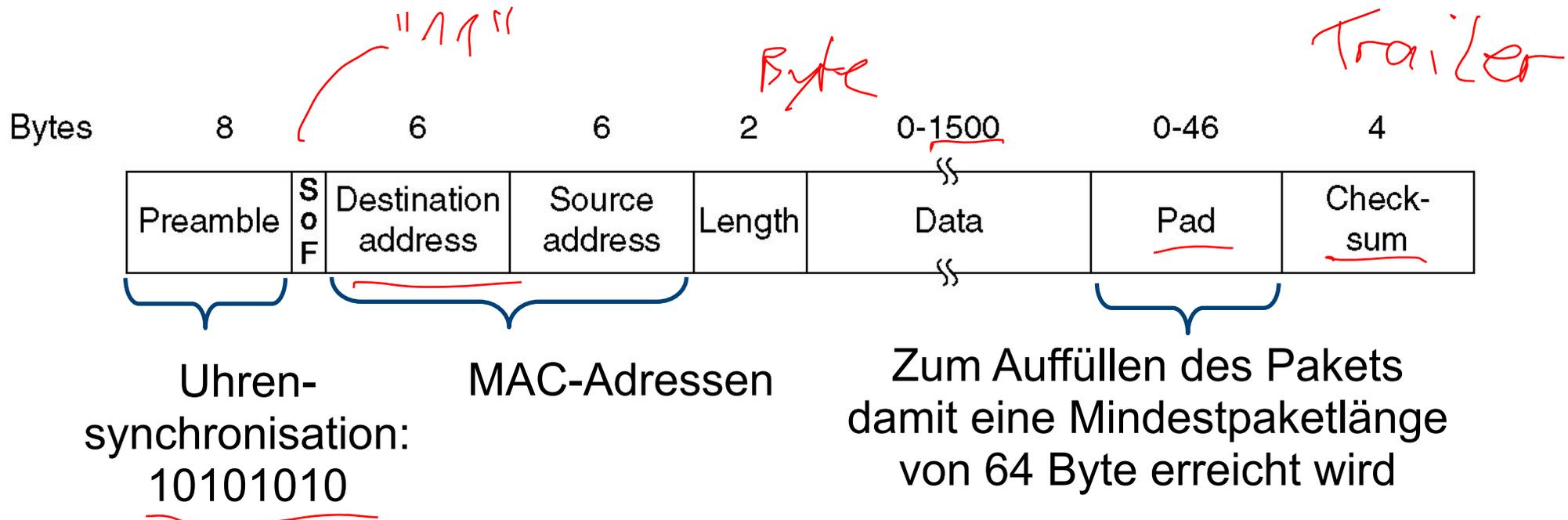
- Mediumabhängig
- Typisch: Manchester encoding
 - mit +/- 0.85 V *2 Zustände*
- Code-Verletzung zeigt Frame-Grenzen auf

selbsttaktend



Sonderzeichen

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



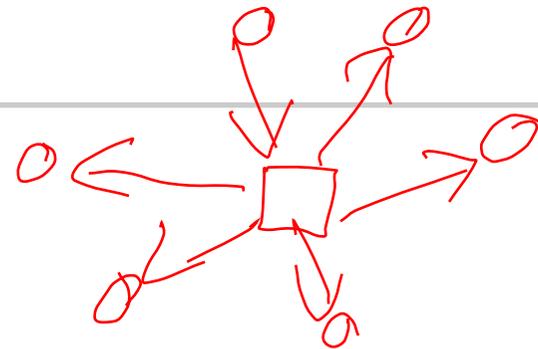
Switch versus Hub

■ Hub

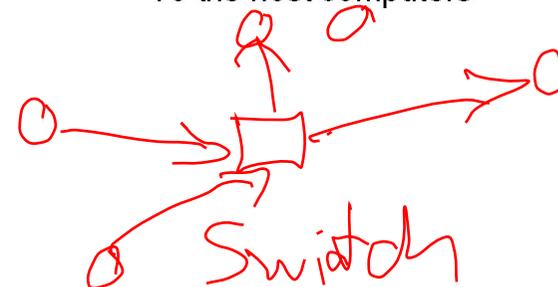
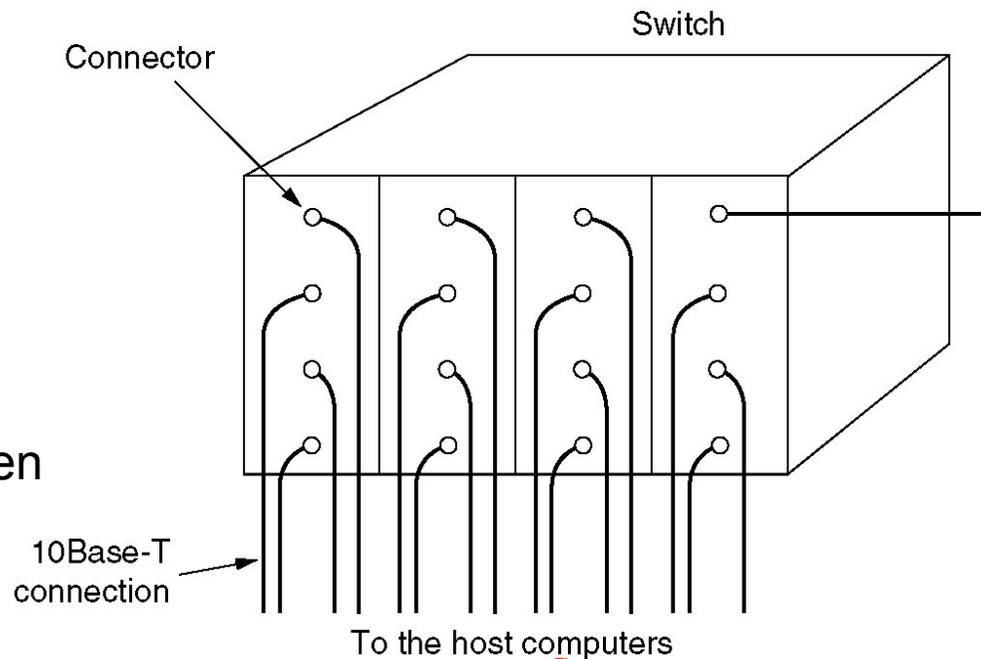
- verknüpft Ethernet-Leitungen nabenförmig
- jede Verbindung hört alles
- Durch CSMA/CD wird die Übertragungsrate reduziert

■ 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



+ 0.85 V ✓
 ↗ 0.7
 - 0.85 V ✓



- 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

$$\frac{1}{100 \cdot 10^{-9} \text{ s}} = 10^7 \text{ Hz} = 10 \text{ MHz}$$

$$\frac{1}{10 \text{ ns}} = 100 \text{ MHz}$$

486 1989 16 MHz

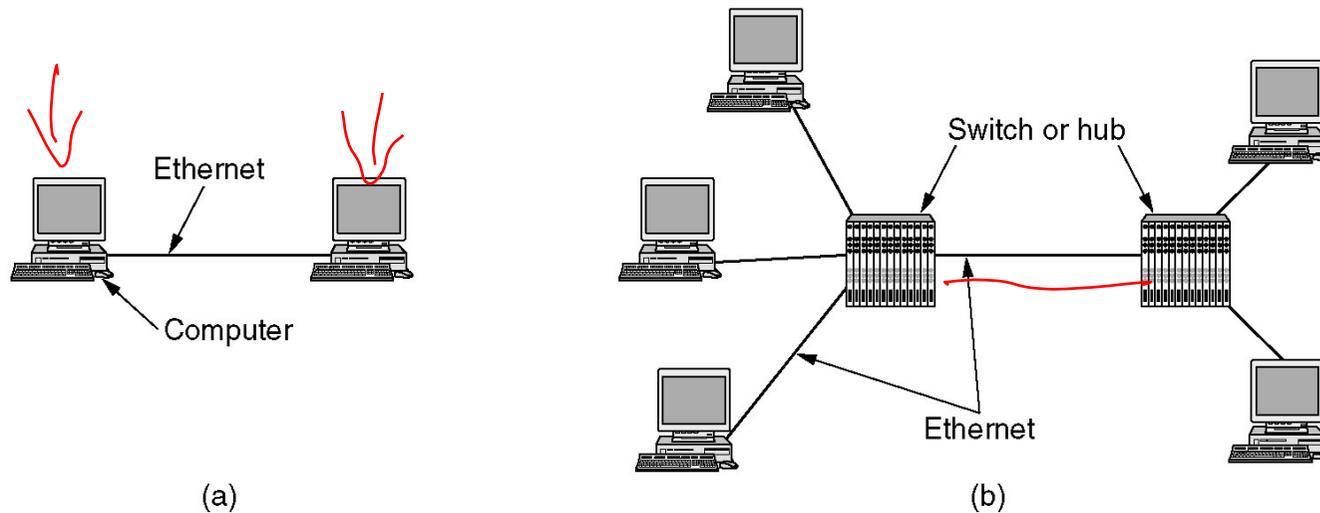
Pentium 1993 60 MHz

- 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

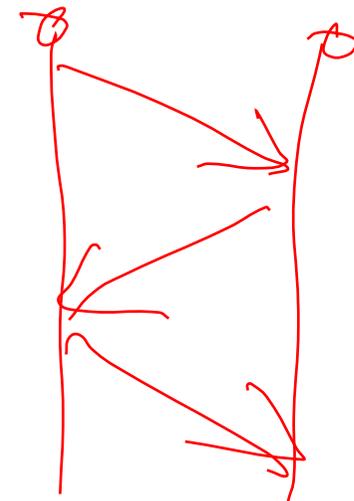
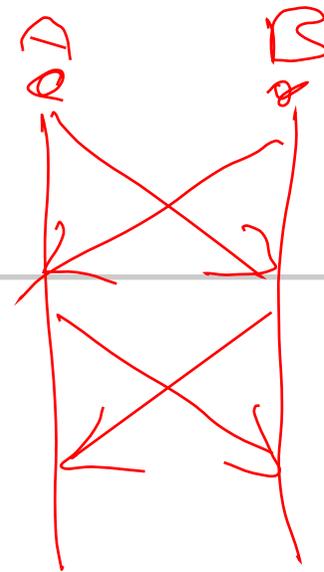
Name	Cable	Max. segment	Advantages
100Base-T4	Twisted pair	100 m	Uses category 3 UTP
100Base-TX	Twisted pair	100 m	Full duplex at 100 Mbps
100Base-FX	Fiber optics	2000 m	Full duplex at 100 Mbps; long runs

- 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

TPP

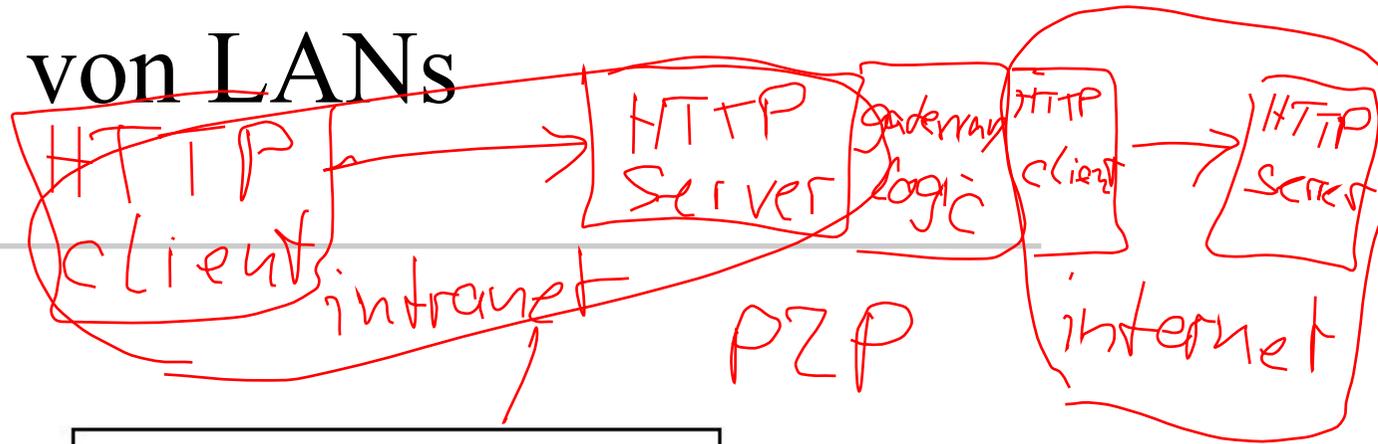


- Mit Switch
 - Keine Kollisionen! CSMA/CD unnötig
 - Erlaubt full-duplex für jeden Link
- Mit Hub
 - Kollisionen, nur Halb-Duplex (d.h. abwechselnd Simplex), CSMA/CD
 - Kabellängen auf 25 m reduziert



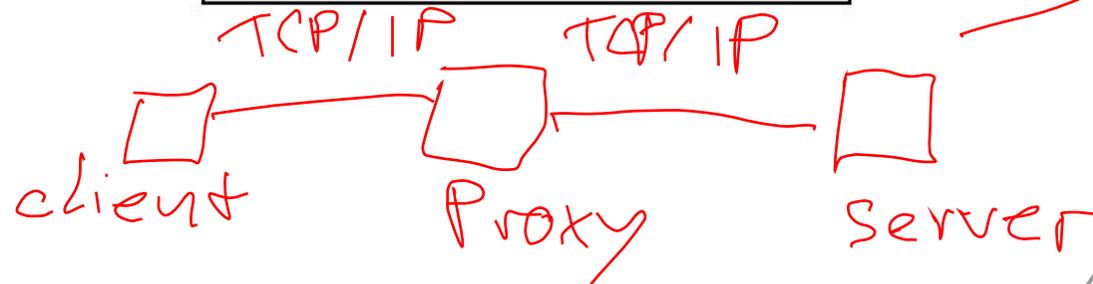
Name	Cable	Max. segment	Advantages
1000Base-SX	Fiber optics	550 m	Multimode fiber (50, 62.5 microns)
1000Base-LX	Fiber optics	5000 m	Single (10 μ) or multimode (50, 62.5 μ)
1000Base-CX	2 Pairs of STP	25 m	Shielded twisted pair
1000Base-T	4 Pairs of UTP	100 m	Standard category 5 UTP

Verbinden von LANs



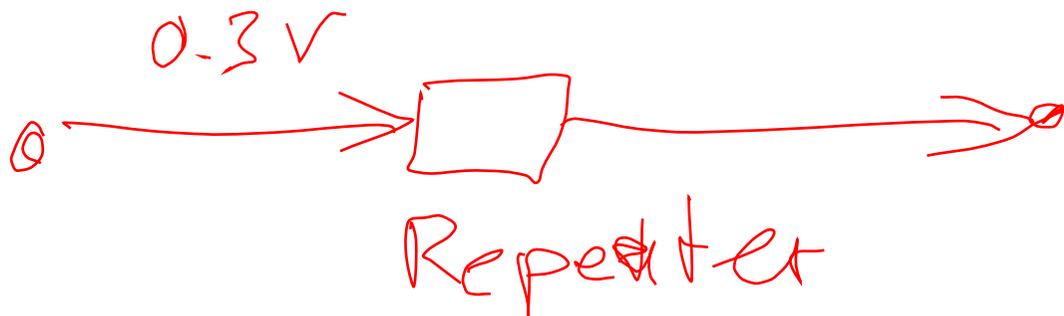
Application layer	Application gateway
Transport layer	<u>Transport gateway</u>
<u>Network layer</u>	Router
<u>Data link layer</u>	Bridge, <u>switch</u>
<u>Physical layer</u>	<u>Repeater</u> , <u>hub</u>

SOCKS gateway
IP
MAC

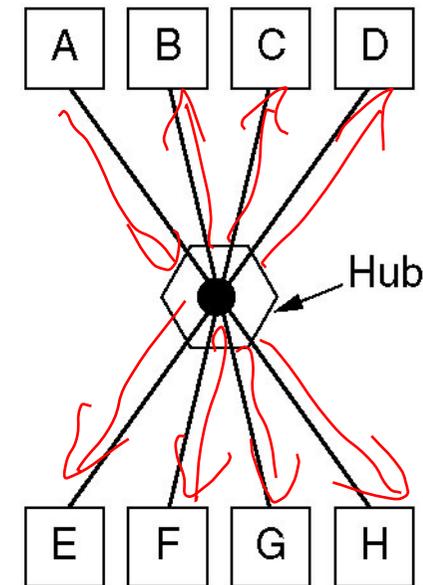


$\uparrow + 0.85 \text{ V}$
 0.6
 $- 0.85 \text{ V}$

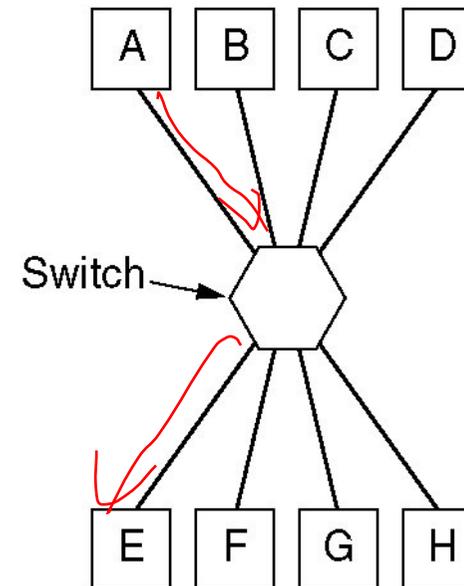
- Signalregenerator
 - Empfängt Signal und bereitet es auf
 - Nur das elektrische und optische Singal wird aufbereitet
 - Information bleibt unbeeinflusst
- Bitübertragungsschicht
- Repeater teilen das Netz in physische Segmente
 - logische Topologien bleiben erhalten



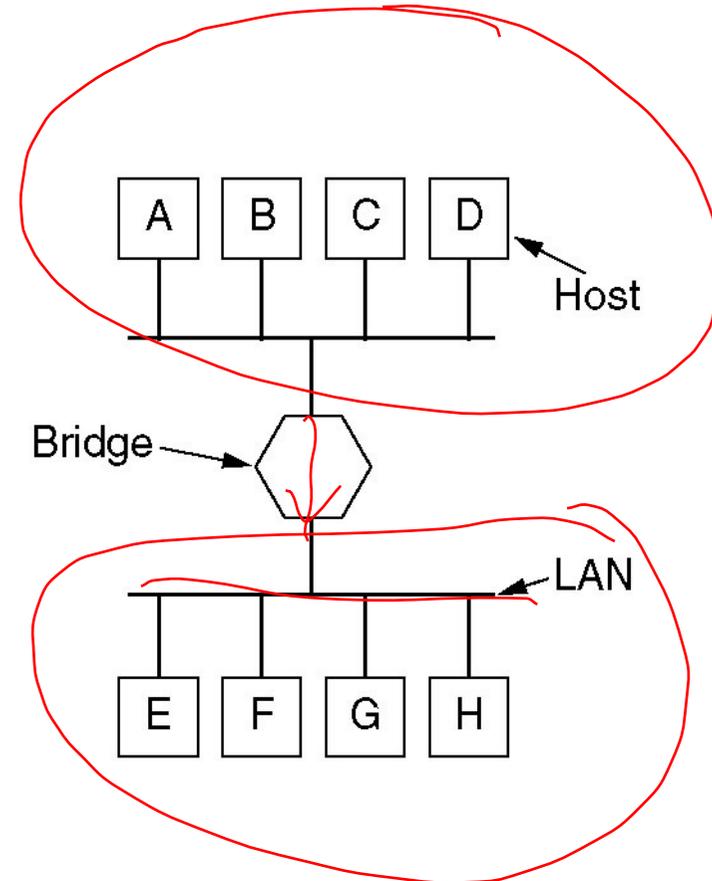
- Verbindet sternförmig Netzsegmente
 - im Prinzip wie ein Repeater
 - Signale werden auf alle angebundenen Leitungen verteilt
- Bitübertragungsschicht
 - Information und Logik der Daten bleibt unberücksichtigt
 - Insbesondere für Kollisionen



- 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

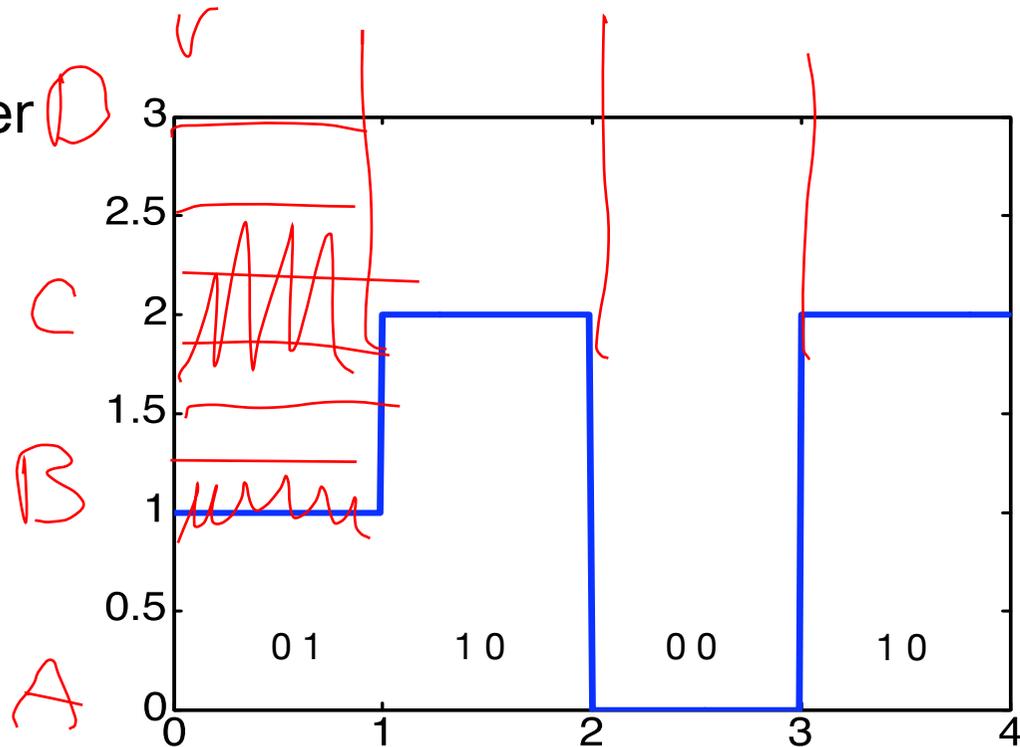


Symbole und Bits

Baudot

+ 0.85 Bit 1
 0 Bit 2
 - 0.85 Bit 0

- 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)



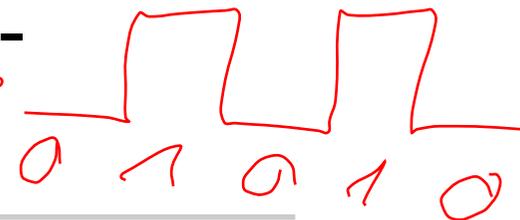
0 1 0 1

Symbole S

Bits = $\log_2 S$

$\log_2 256 = 8 \text{ bit} = 1 \text{ Byte}$

Struktur einer digitalen Breitband-Übertragung

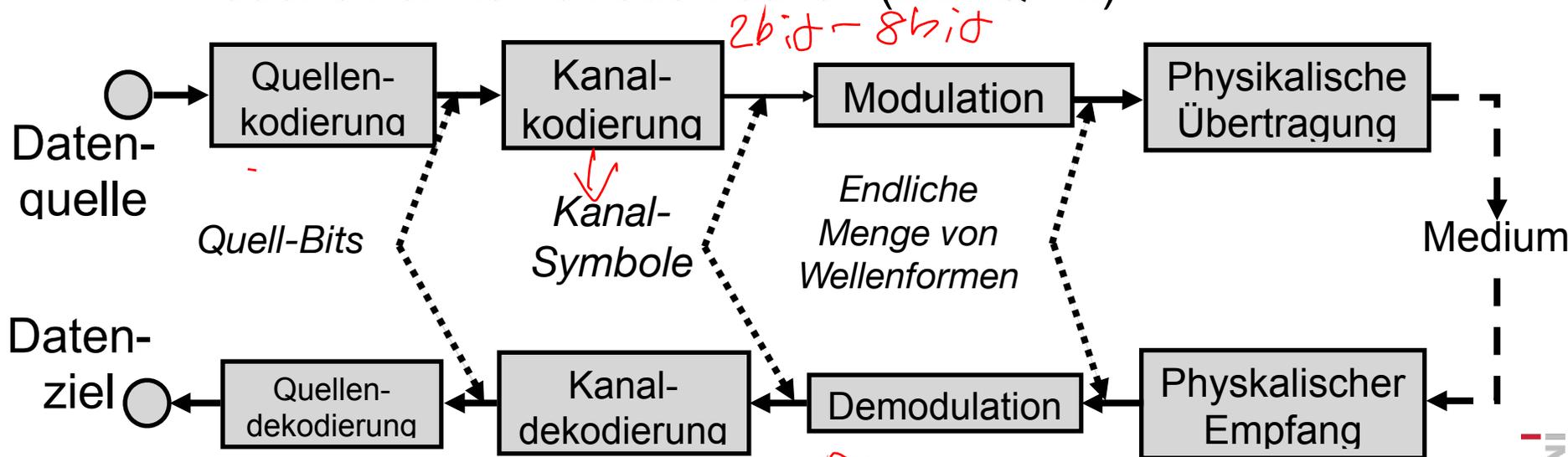
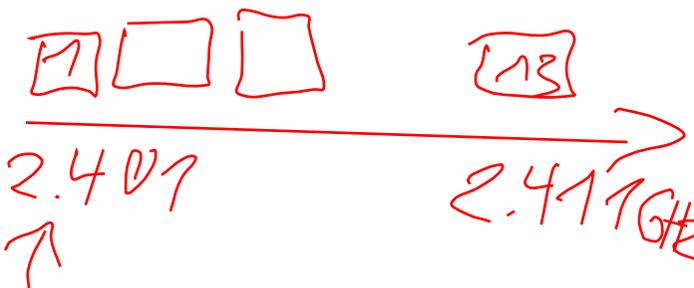


■ MOdulation/DEModulation auf Trägerfrequenz (carrier)

WLAN

- Übersetzung der Kanalsymbole durch

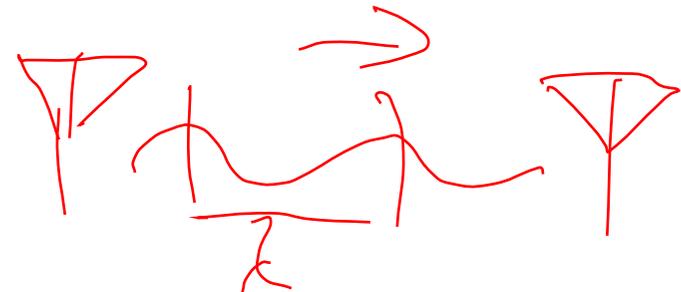
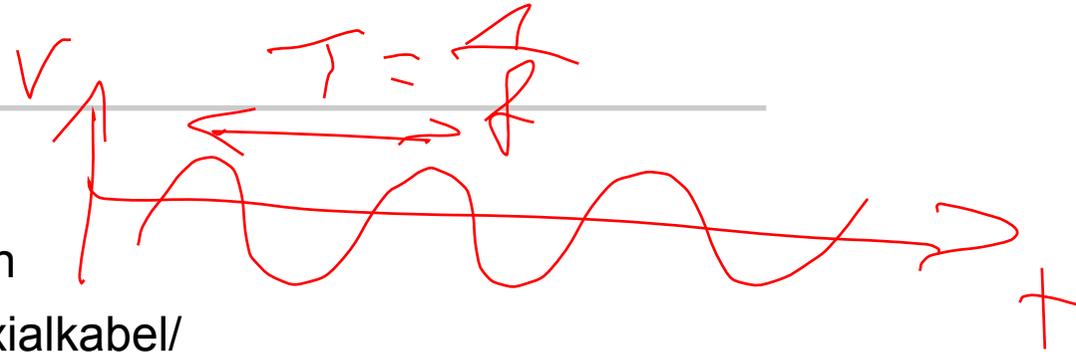
- Amplitudenumtastung (ASK) *shift keying*
- Phasenumtastung (PSK)
- Frequenzumtastung (FSK)
- oder einer Kombination davon (z.B. QAM)



2 bit - 8 bit

bit ← Symbole EM Welle

- Trägerwelle als
 - Strom- und Spannungswelle in Leitungen
 - elektromagnetische Welle bei Funk/Koaxialkabel/
Lichtwellenleiter
 - Antennen erzeugen und empfangen
elektromagnetische Wellen
- Bewegte elektrisch geladene Teilchen
verursachen elektromagnetische Wellen
 - **Frequenz**
 - f : Anzahl der Oszillationen pro Sekunde
 - Maßeinheit: Hertz = $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$
 - **Ausbreitungsgeschwindigkeit**
 - c $\approx 3 \cdot 10^8$ m/s: Lichtgeschwindigkeit
 - **Wellenlänge**
 - λ : Distanz (in Metern) zwischen zwei Wellenmaxima
- Zusammenhang: $\lambda \cdot f = c$



$$v = \frac{c}{f} \Rightarrow \lambda = c \cdot \frac{1}{f}$$

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

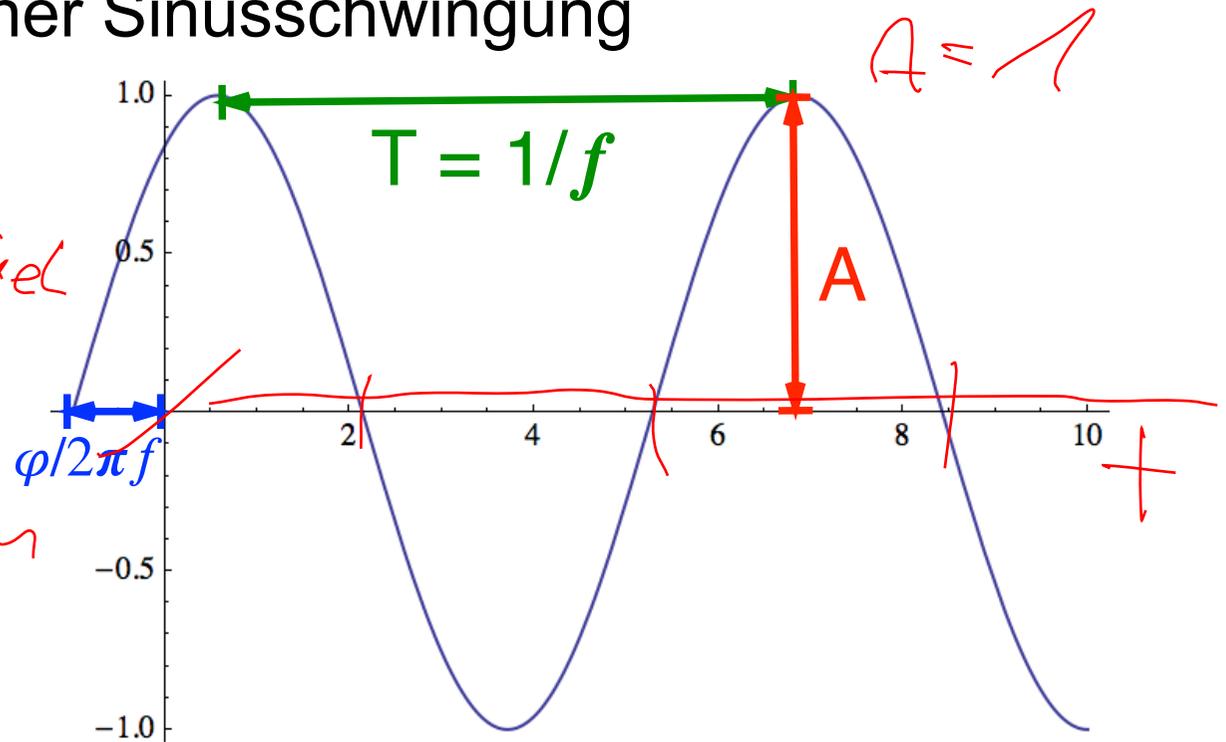
- Fernfeld: Distanz $> 2\lambda$ *Maxwell'sche Gleichung*



Amplitudendarstellung einer Sinusschwingung

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

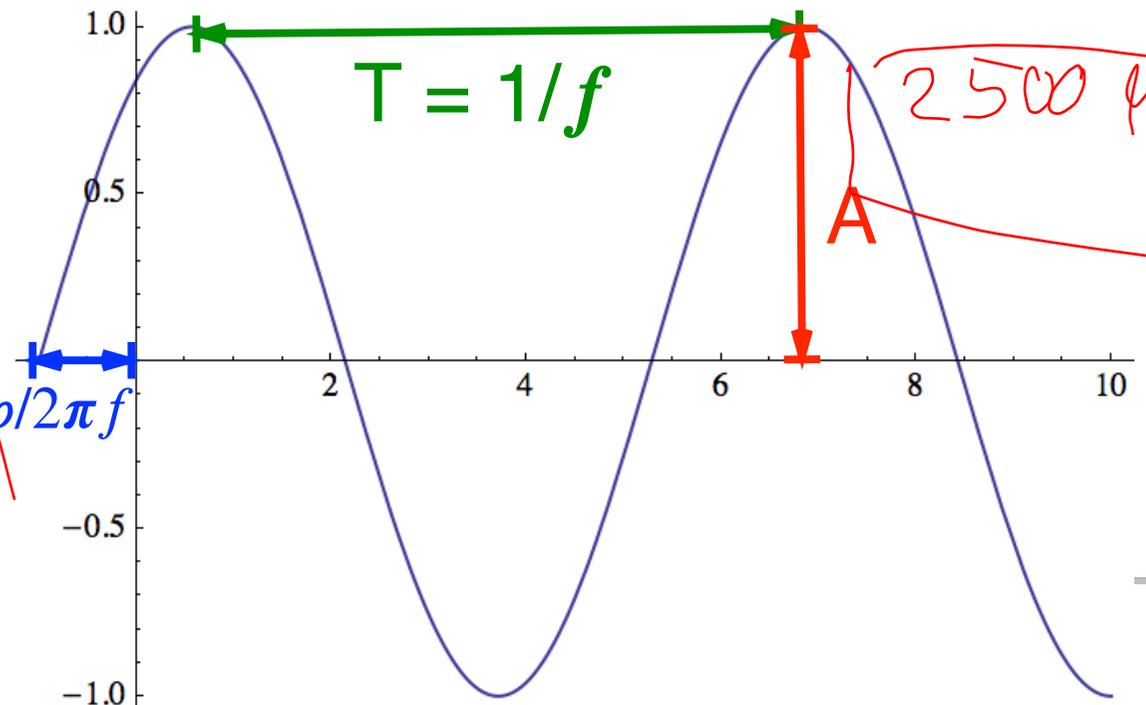
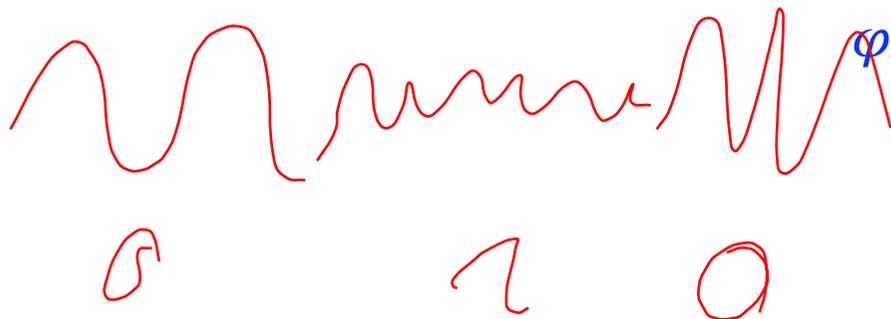
- A: Amplitude *← Volt*
- ϕ : Phasenverschiebung *Winkel*
- f: Frequenz = $1/T$ Hz
- T: Periode *Sekunden*



- Idee:
 - Konzentration auf die idealen Frequenzen des Mediums
 - Benutzung einer Sinuskurve als Trägerwelle der Signale
- Eine Sinuskurve hat keine Information
- Zur Datenübertragung muss die Sinuskurve fortdauernd verändert werden (moduliert)
 - Dadurch Spektralweitung (mehr Frequenzen in der Fourier-Analyse)
- Folgende Parameter können verändert werden:

- Amplitude A
- Frequenz $f=1/T$
- Phase ϕ

$$s(t) = \underline{A} \sin(2\pi ft + \underline{\phi})$$



2.4GHz

2400 MHz
Bandbreite 40 MHz

2380 MHz

2420 MHz

2500 MHz

Amplitudenmodulation (AM)

- Das zeitvariable Signal $s(t)$ wird als Amplitude einer Sinuskurve kodiert:

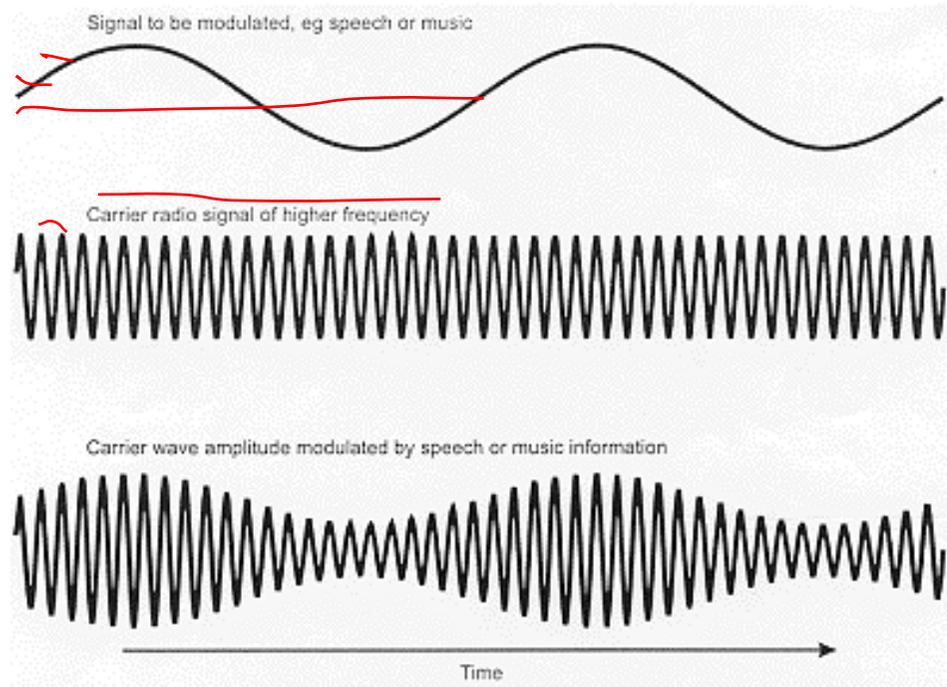
$$f_A(t) = s(t) \sin(2\pi f t + \phi)$$

Analoges Signal

- Amplitude Modulation
- Kontinuierliche Funktion in der Zeit
 - z.B. zweites längeres Wellensignal (Schallwellen)

Digitales Signal

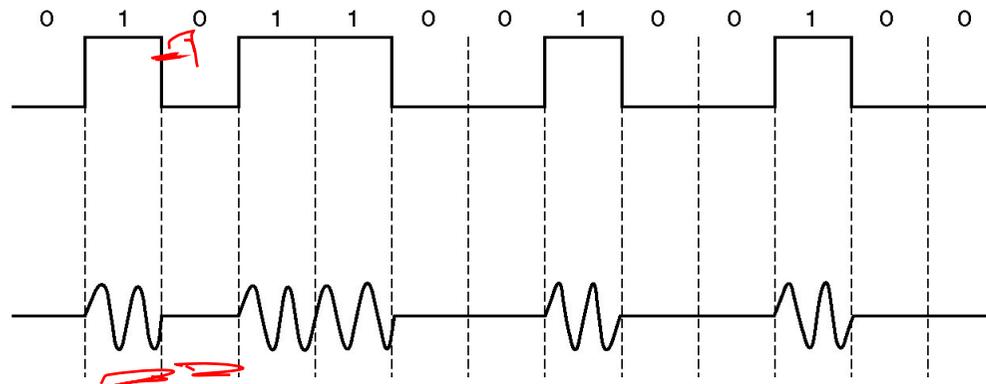
- Amplitude Keying (ASK)
- Z.B. durch Symbole gegeben als Symbolstärken
- Spezialfall: Symbole 0 oder 1
 - on/off keying



$s(t)$

$\sin(\omega t)$

$s(t) \cdot \sin(\omega t)$
Amplitude

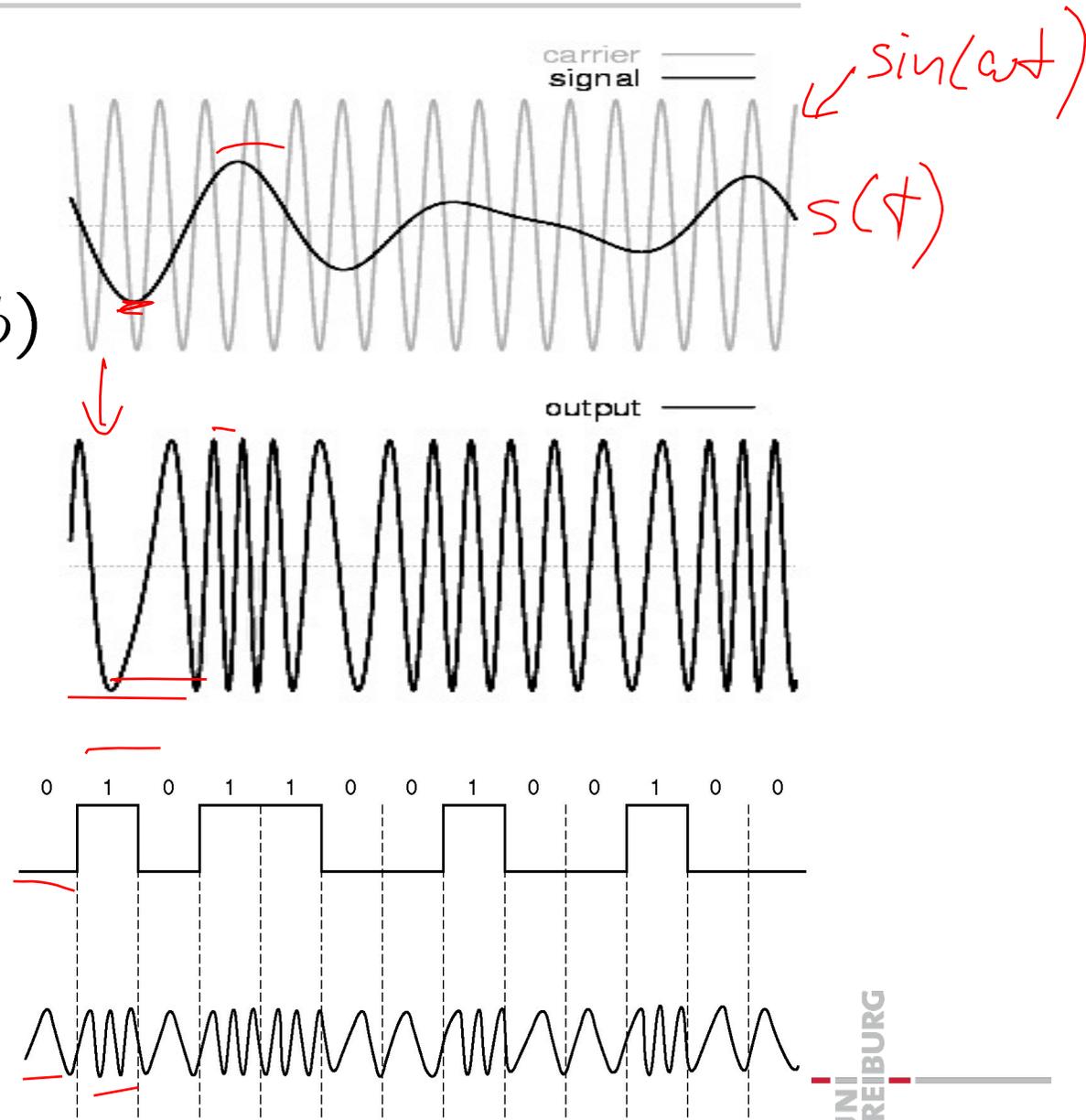


Träger f

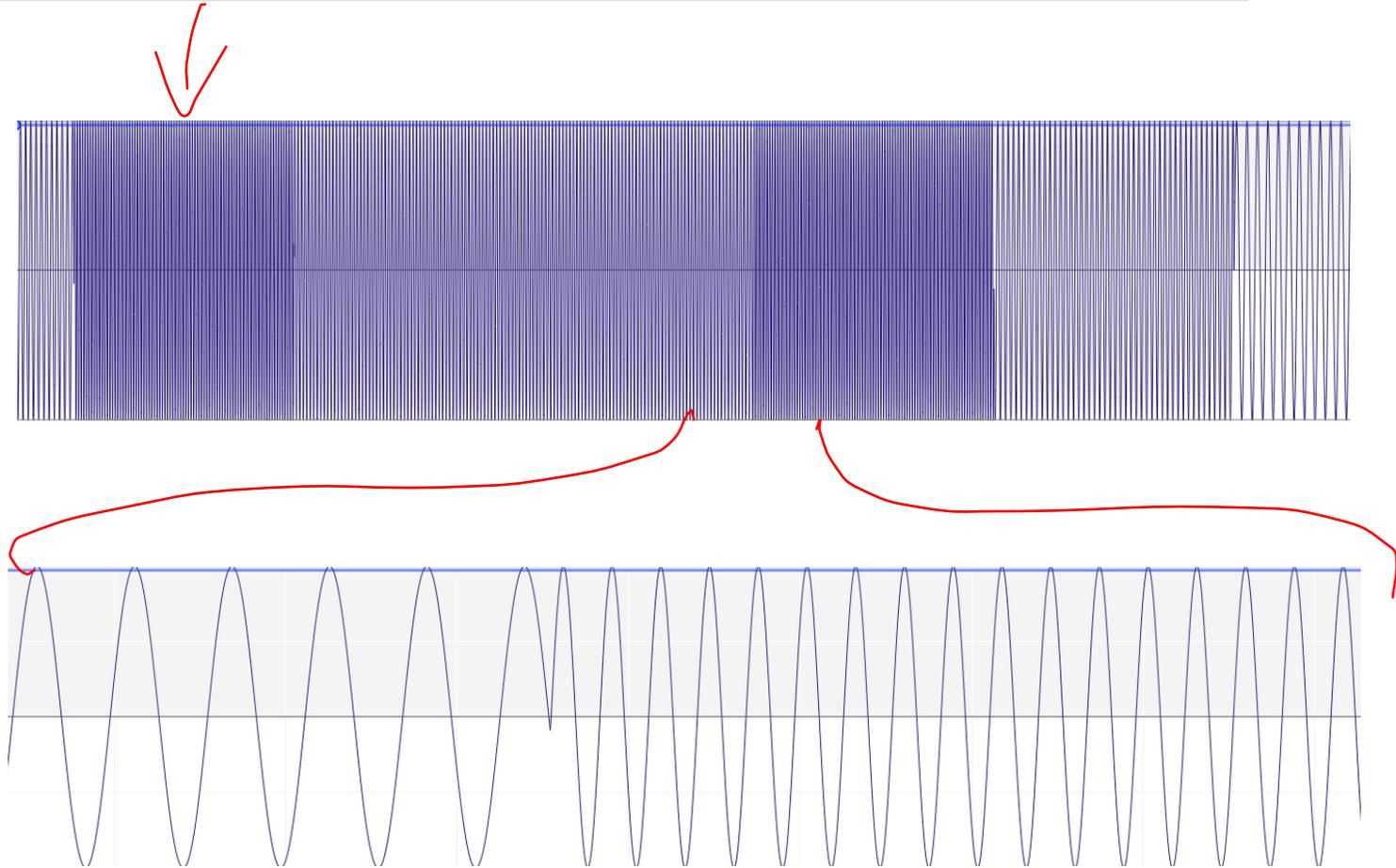
- Das zeitvariable Signal $s(t)$ wird in der Frequenz der Sinuskurve kodiert:

$$f_F(t) = a \sin(2\pi s(t)t + \phi)$$

- Analoges Signal
 - Frequency Modulation (FM)
 - Kontinuierliche Funktion in der Zeit
- Digitales Signal
 - Frequency Shift Keying (FSK)
 - Z.B. durch Symbole gegeben als Frequenzen



- frequenz-
modulierte
Sinuskurve



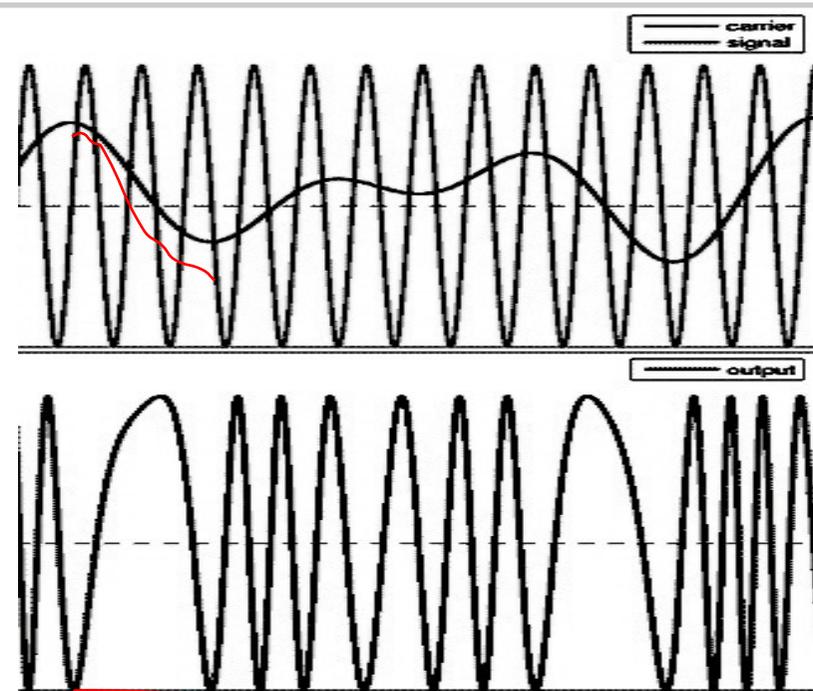
↑
kleine
Freq.

↑
hohe
Freq.

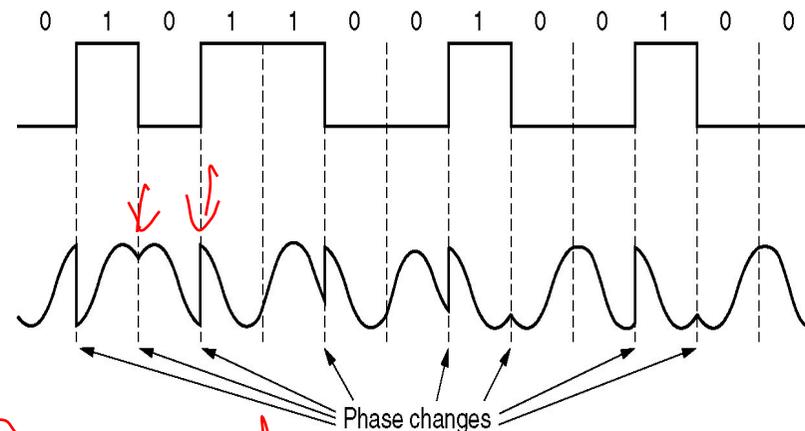
- Das zeitvariable Signal $s(t)$ wird in der Phase der Sinuskurve kodiert:

$$f_P(t) = a \sin(2\pi f t + s(t))$$

- Analoges Signal
 - Phase Modulation (PM)
 - Sehr ungünstige Eigenschaften
 - Wird nicht eingesetzt
- Digitales Signal
 - Phase-Shift Keying (PSK)
 - Z.B. durch Symbole gegeben als Phasen

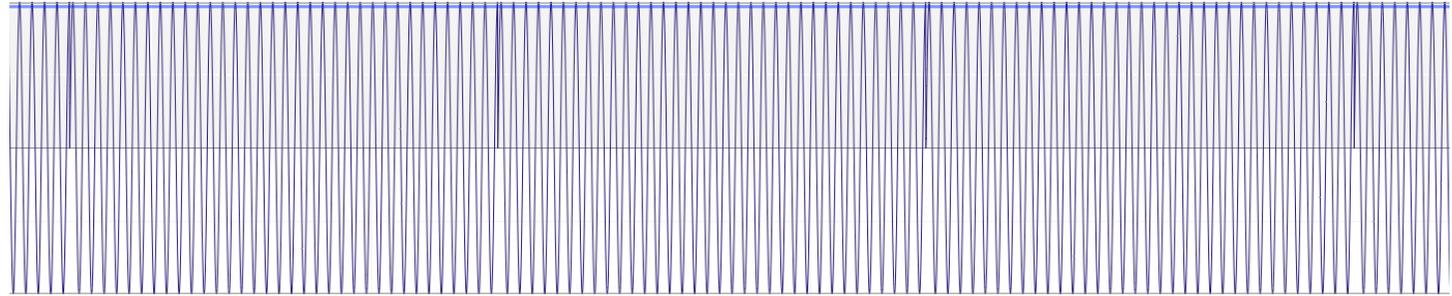


$s(t)$
 $\sin(\omega t)$

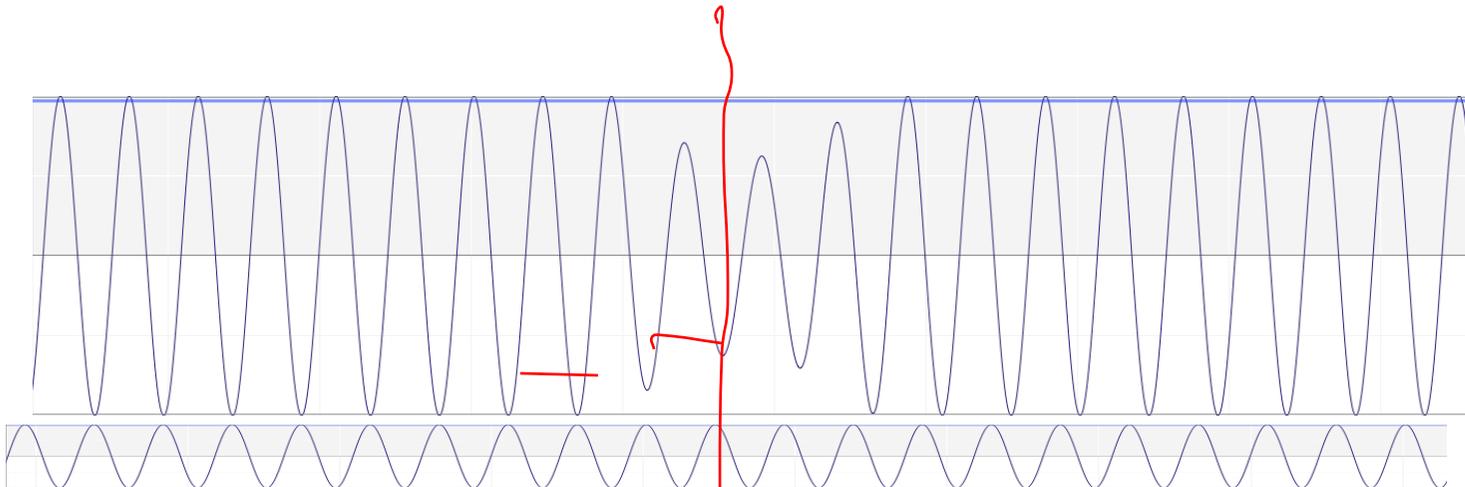
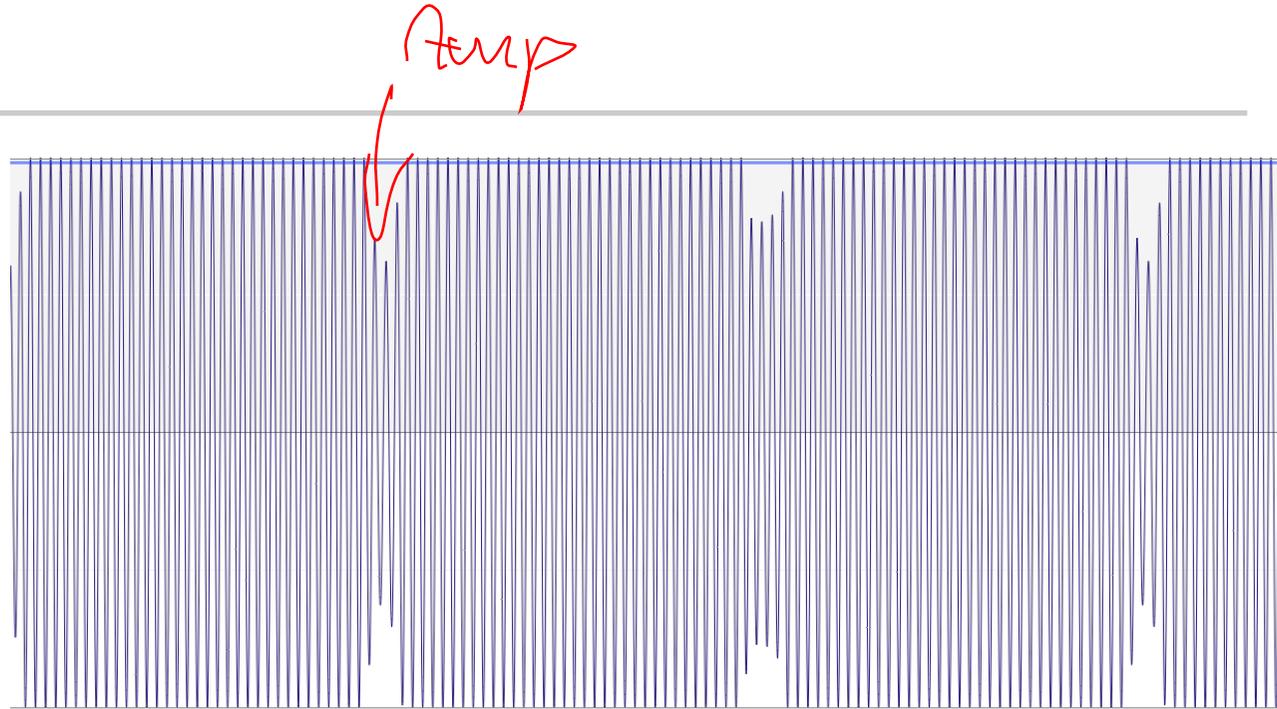


Handwritten red scribbles and a red arrow pointing to the right.

- phasen-
modulierte
Sinuskurve



- phasen-
modulierte
Sinuskurve
- mit glatten
Übergang



zum Vergleich

- Für einen Sender gibt es zwei Optionen
 - Digitale Übertragung
 - Endliche Menge von diskreten Signalen
 - Z.B. endliche Menge von Spannungsgrößen/Stromstärken
 - Analoge Übertragung
 - Unendliche (kontinuierliche) Menge von Signalen
 - Z.B. Signal entspricht Strom oder Spannung im Draht
- Vorteil der digitalen Signale:
 - Es gibt die Möglichkeit Empfangsungenauigkeiten zu reparieren und das ursprüngliche Signal zu rekonstruieren
 - Auftretende Fehler in der analogen Übertragung können sich weiter verstärken

