

4.1 Prinzip der Leitungscodierung und Modulation

4.2 Übertragung im Basisband

4.2.1 Grundlegende Verfahren

4.2.2 Ethernet

4.2.3 Bandbegrenzte Signale

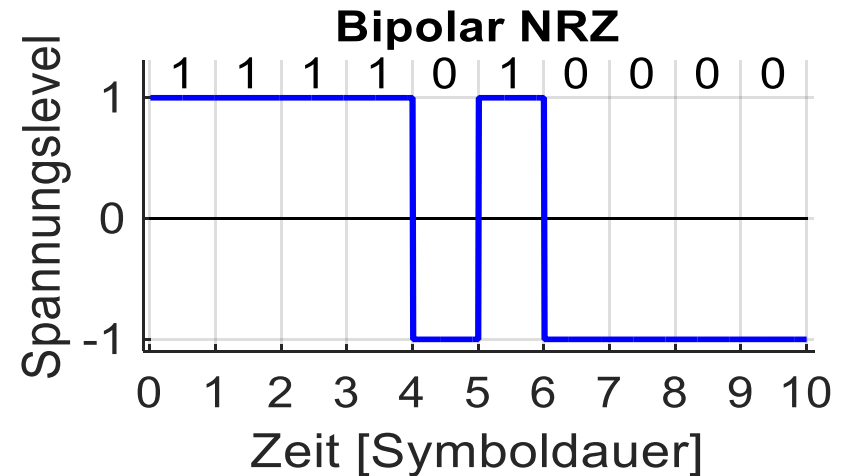
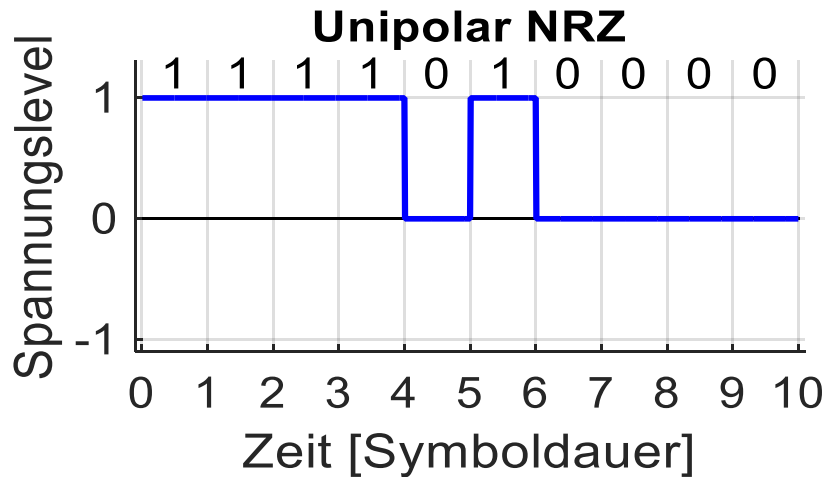
4.2.4 Signalverfälschung einer drahtgebundenen Übertragung

4.3 Übertragung auf einer Trägerfrequenz

Ziele der Leitungscodierung

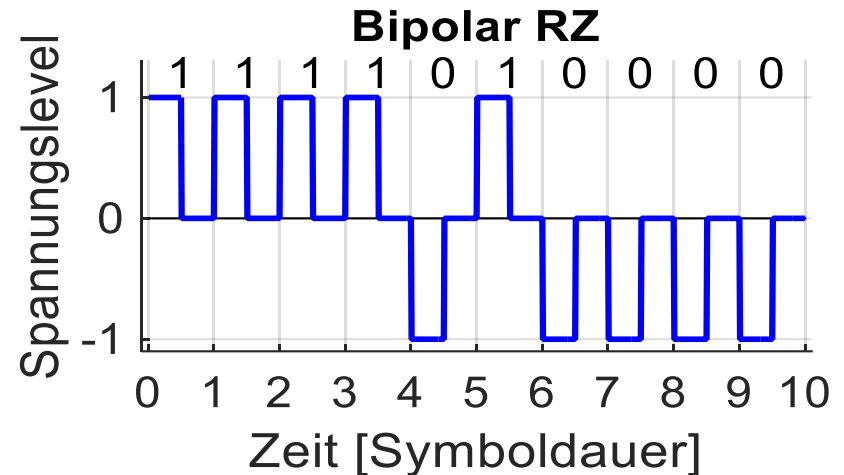
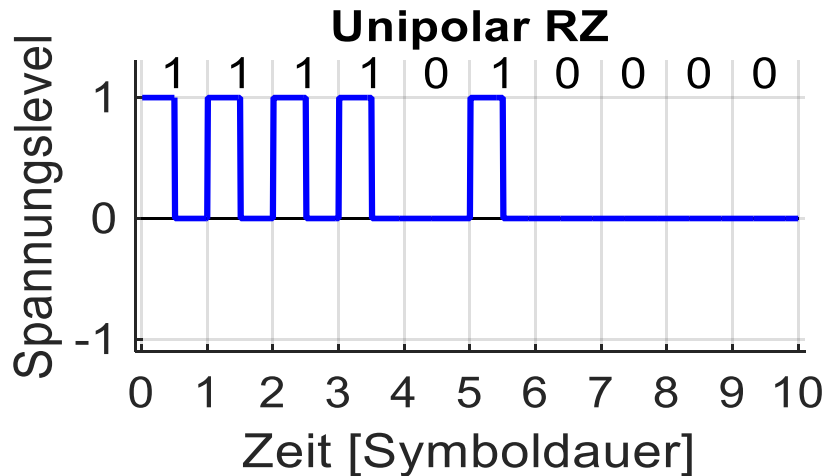
- **Leitungscodes** definieren die Abfolge von einer bestimmten Art von Grundimpulsen, welche Bits oder Gruppen von Bits repräsentieren.
- Grundlegende Eigenschaften:
 - Anzahl Signalstufen
 - Anzahl Bits pro Symbol
 - Schrittgeschwindigkeit (**Symbolrate**, Baudrate)
- Gewünschte Eigenschaften von Leitungscodes:
 - **Gleichstromfreiheit:**
 - Mathematisch: Keine Spektralanteile um die Frequenz Null.
 - Praktisch: Unabhängig vom Nachrichteninhalt ist der **Mittelwert des Signals gleich null**.
 - Essentiell bei längeren Übertragungsstrecken sowie beim Einsatz von Repeatern (Stromversorgung über Gleichspannung) oder Transformatoren.
 - **Taktrückgewinnung:**
 - Unabhängig vom gesendeten Signal gibt es regelmäßige Signalübergänge (Signalflanken), die der Empfänger zur Re-Synchronisierung nutzen kann.
 - **Geringe Bandbreite:**
 - je geringer die Bandbreite ist, die ein Signal belegt, desto größer ist
 - die maximale Entfernung zwischen Sender und Empfänger bei gleicher Datenrate
 - die maximale Datenrate bei gleicher Entfernung zwischen Sender und Empfänger

NRZ: Non-Return-to-Zero



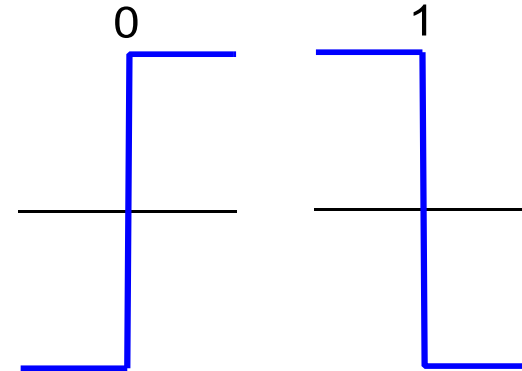
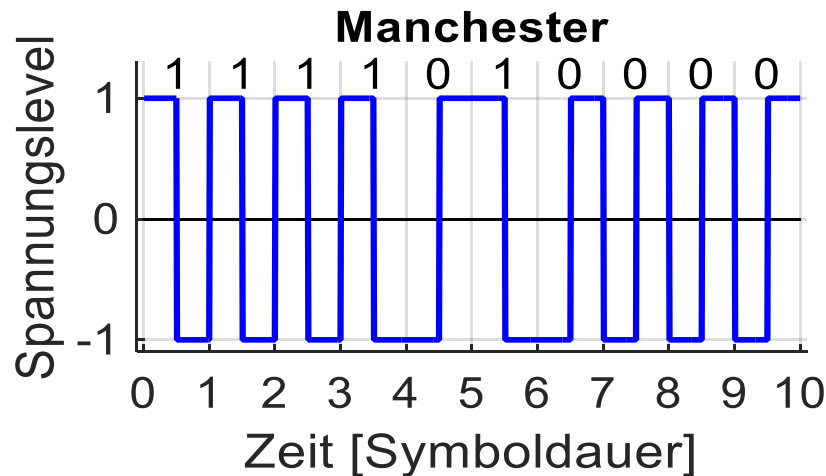
- Non-Return-to-Zero:
 - gleicher Spannungsniveau für gesamte Symboldauer
 - Spannungsniveau bleibt für lange „1“- oder „0“-Folgen unverändert
 - Keine Taktrückgewinnung
- Zwei Signalstufen, 1 Bit pro Takt
- Unipolar: nur ein Spannungsniveau (für „1“) ungleich 0V
 - keine Gleichstromfreiheit
- Bipolar: positiver und negativer Spannungsniveau für „0“ und „1“
 - Gleichstromfreiheit bei Balance zwischen Nullen und Einsen

RZ: Return-to-Zero



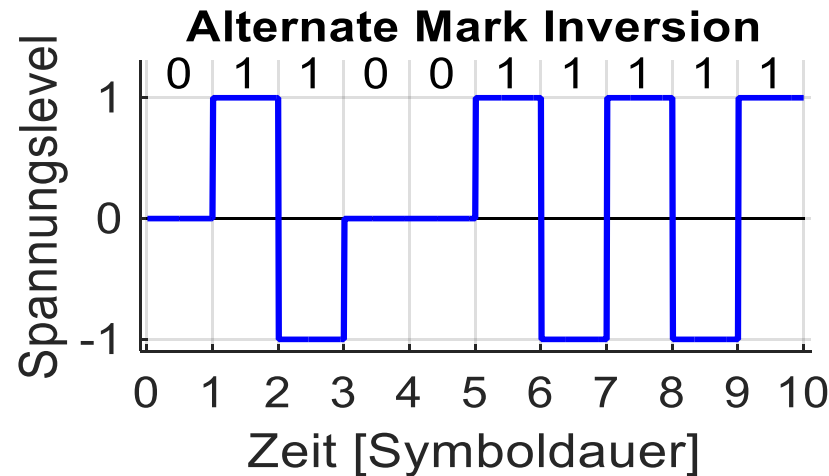
- Return-to-Zero:
 - zwei Takte pro Bit
 - Codierung des Symbolwerts über Spannungslevel während des ersten Takts des Symbols
 - Rückkehr zu Spannungslevel 0V während zweiter Hälfte des Taktes
- Unipolar: nur ein Spannungslevel (für „1“) ungleich 0V
 - keine Gleichstromfreiheit
 - keine Taktrückgewinnung während „0“-Folgen
- Bipolar: positiver und negativer Spannungslevel für „0“ und „1“
 - Gleichstromfreiheit bei Balance zwischen Nullen und Einsen
 - einfache Taktrückgewinnung durch regelmäßige Signalflanken

Manchester Codierung



- Manchester Codierung:
 - Unterschiedliche bipolare Spannungslevel im ersten und zweiten Takt des Symbols
 - Codierung:
 - „1“: Wechsel von „1“ auf „-1“ (positiven auf negativen Spannungslevel)
 - „0“: Wechsel von „-1“ auf „+1“ (negativen auf positiven Spannungslevel)
 - Gleichstromfreiheit innerhalb jedes Symbols d.h. unabhängig von der übertragenen Bitfolge
 - einfache Taktrückgewinnung durch Signalflanke in jedem Symbol
 - zwei Takte pro Bit

Alternate Mark Inversion (AMI)



- AMI:
 - „0“ wird durch Spannungslevel 0V codiert
 - „1“ wird abwechselnd durch positiven oder negativen Spannungslevel codiert
- Allgemeines Prinzip:
 - Codierung von Symbolen (hier: „1“) durch unterschiedliche Signale, die zusammen Gleichstromfreiheit gewährleisten
 - Reduziert die Bandbreite, da das „1“-Signal eine Sinus-Schwingung nachbildet
- keine Taktinformation während langer „0“-Folgen

4.1 Prinzip der Leitungscodierung und Modulation

4.2 Übertragung im Basisband

4.2.1 Grundlegende Verfahren

4.2.2 Ethernet

4.2.3 Bandbegrenzte Signale

4.2.4 Signalverfälschung einer drahtgebundenen Übertragung

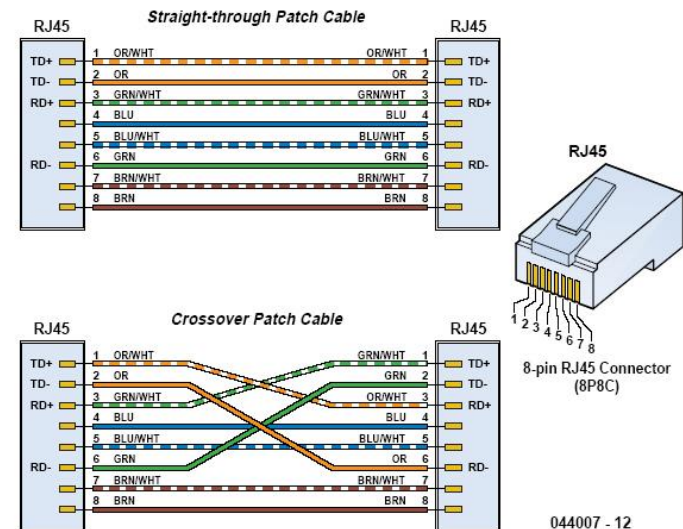
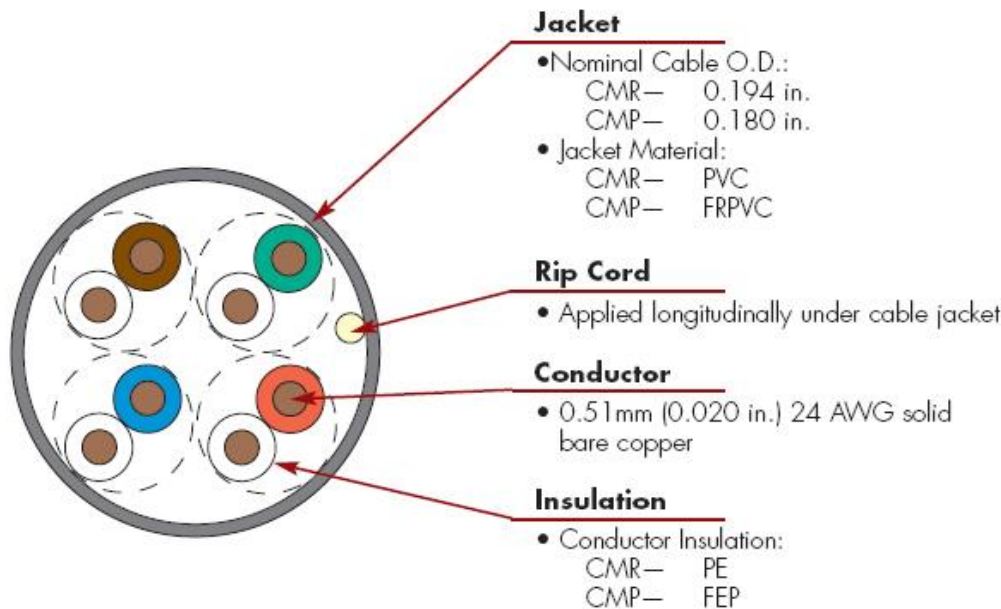
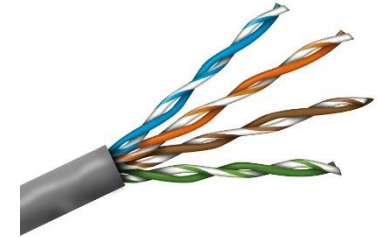
4.3 Übertragung auf einer Trägerfrequenz

- Ethernet wird von der IEEE als IEEE 802.3 standardisiert
- Es gibt mittlerweile eine ganze Reihe von Ethernet-Standards für Übertragungsrate von 10Mb/s bis zu 100Gb/s
 - zu jeder Übertragungsrate gibt es wieder eine Reihe von Sub-Standards mit unterschiedlichen Übertragungstechniken (inklusive unterschiedlicher Leitungskodierung)
 - diese sind für unterschiedliche Kabelkategorien geeignet
- Verschiedene IEEE 802.3 Arbeitsgruppen spezifizieren Ethernet für bis zu 400Gb/s
- Terabit Ethernet wird von der Ethernet Alliance nach 2020 erwartet

- Ethernet (10BASE-T): Manchester Coding
- Fast Ethernet
 - 100BASE-T: Twisted-Pair Kabel (Kupfer)
 - hauptsächlich 100BASE-TX (2 CAT5 Kabelpaare)
 - 100BASE-X: Glasfaserkabel
- Gigabit Ethernet
 - 1000BASE-T: 2 CAT 5 Kupferkabel, maximale Länge von 100m
 - 1000BASE-LX10: auf Glasfaserkabel bis zu 10km
- 10Gb/s-Ethernet (10GE) mit 10 Sub-Standards
 - 10GBASE-T: bis zu 100m auf CAT6a/7 Twisted-Pair-Kabeln
 - Vernetzung im LAN/im Data-Center
 - 10GBASE-SR (Short Range) für MultiMode-Fiber
 - bis zu 300m (Nutzung im Data-Center)
 - 10GBASE-LR (Long Range) für SingleMode-Fiber
 - bis zu 10km (Vernetzung von Data-Centern)

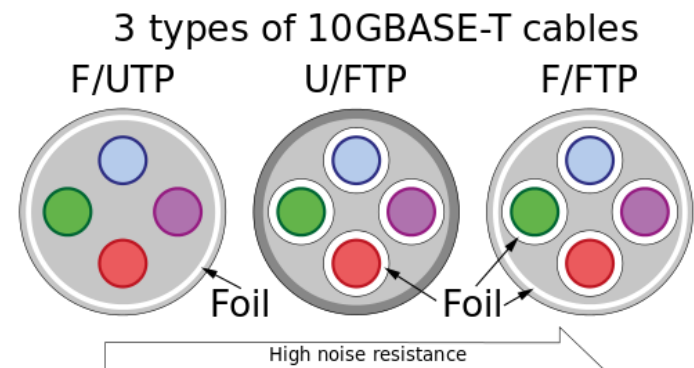
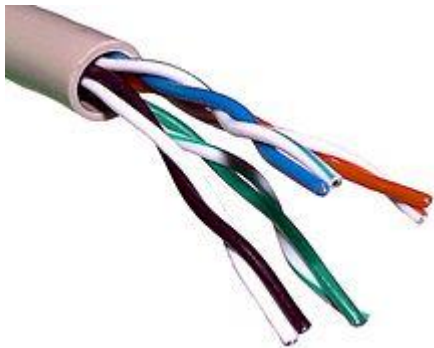
Twisted-Pair Cable

- Kabel enthält 4 Paare verdrellter Drähte (TP, Twisted Pair)
 - Fast Ethernet: nutzt 2 TPs zur Full-Duplex Übertragung von 100Mbps Übertragung
 - Full Duplex: gleichzeitige Übertragung in beide Richtungen
 - je eine TP pro Richtung
 - Gigabit Ethernet: nutzt 4 TPs zur Full-Duplex Übertragung von 1Gbps
 - Full Duplex: gleichzeitige Übertragung in beide Richtungen auf allen 4 TPs



Twisted Pair Kabel Kategorien

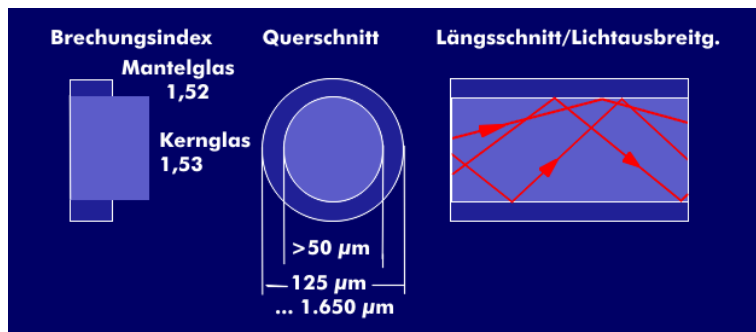
Category	Type	Spectral B/W	Length	LAN Applications	Notes
Cat3	UTP	16 MHz	100m	10Base-T, 4Mbps	Now mainly for telephone cables
Cat4	UTP	20 MHz	100m	16Mbps	Rarely seen
Cat5	UTP	100MHz	100m	100Base-Tx,ATM	Common for current LANs
Cat5e	UTP	100MHz	100m	1000Base-T	
Cat6	UTP	250MHz	100m	10GBASE-T Ethernet	Datacenter LANs
Cat7	ScTP	600MHz	100m	10GBASE-T Ethernet	



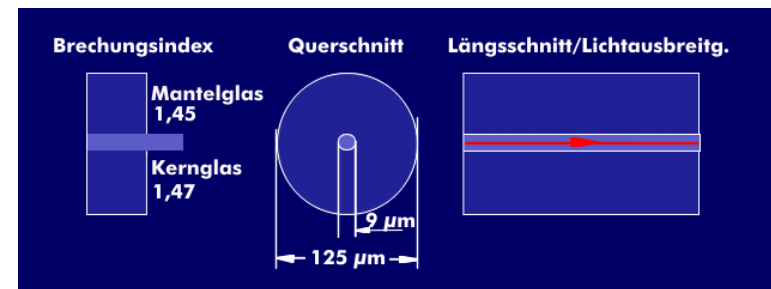
Glasfaserkabel (Optical Fiber)

- Glasfaserkabel bestehen aus Fasern aus Quarzglas oder Kunststoff
- Die Datenübertragung erfolgt über Lichtimpulse, die bis 622 Mbps von einer LED und für höhere Datenraten von einer Laserdiode erzeugt werden.
- Unterschieden werden **Multimodefasern** und **Monomodefasern**
 - Multimodefasern:
 - Aufteilung des Signales in mehrere Komponenten durch **Reflexion**
 - unterschiedliche Signallaufzeiten der Komponenten verursachen Verbreiterung eines Lichtpulses (**Dispersion**)

Multimodefaser



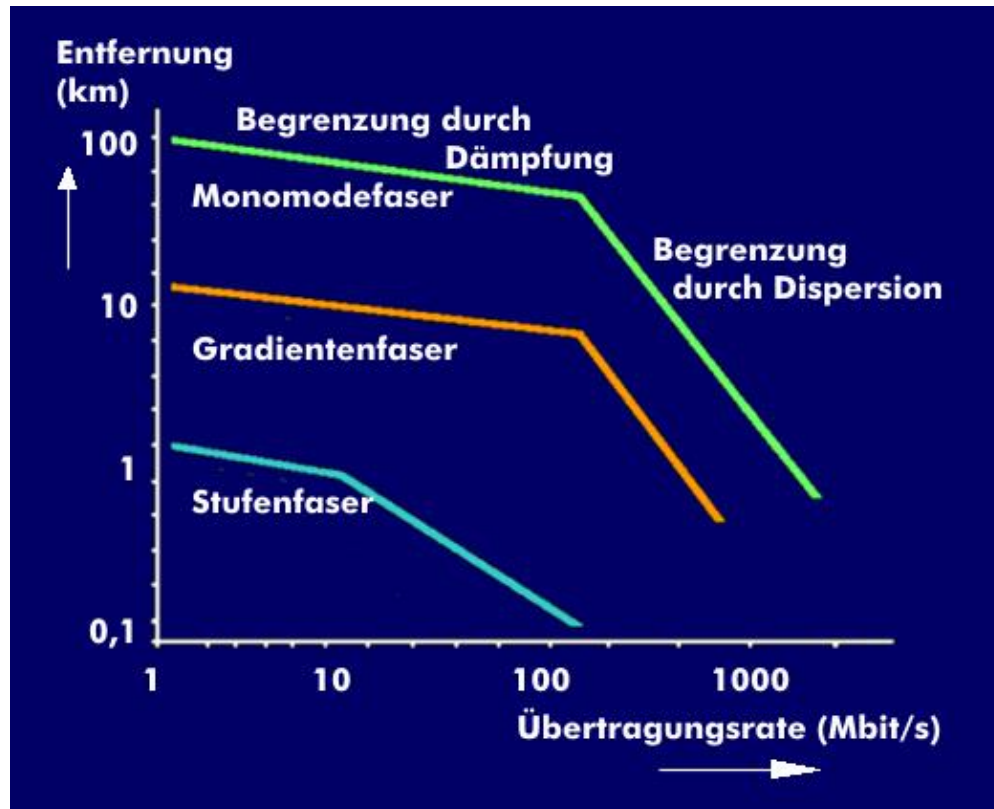
Monomodefaser



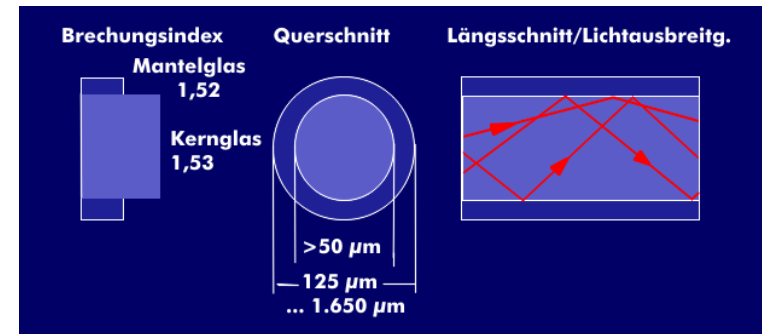
Quelle: www.itwissen.info

Signalverfälschung im Kabel

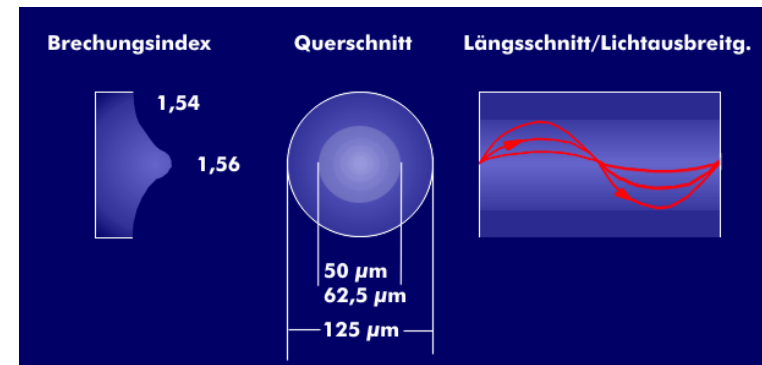
- **Dämpfung:** Abschwächung des Signals im Kabel
- **Dispersion:** Verbreiterung eines Pulses am Empfänger durch Laufzeitunterschiede der einzelnen Signalkomponenten (Moden)



Stufenfaser



Gradientenfaser

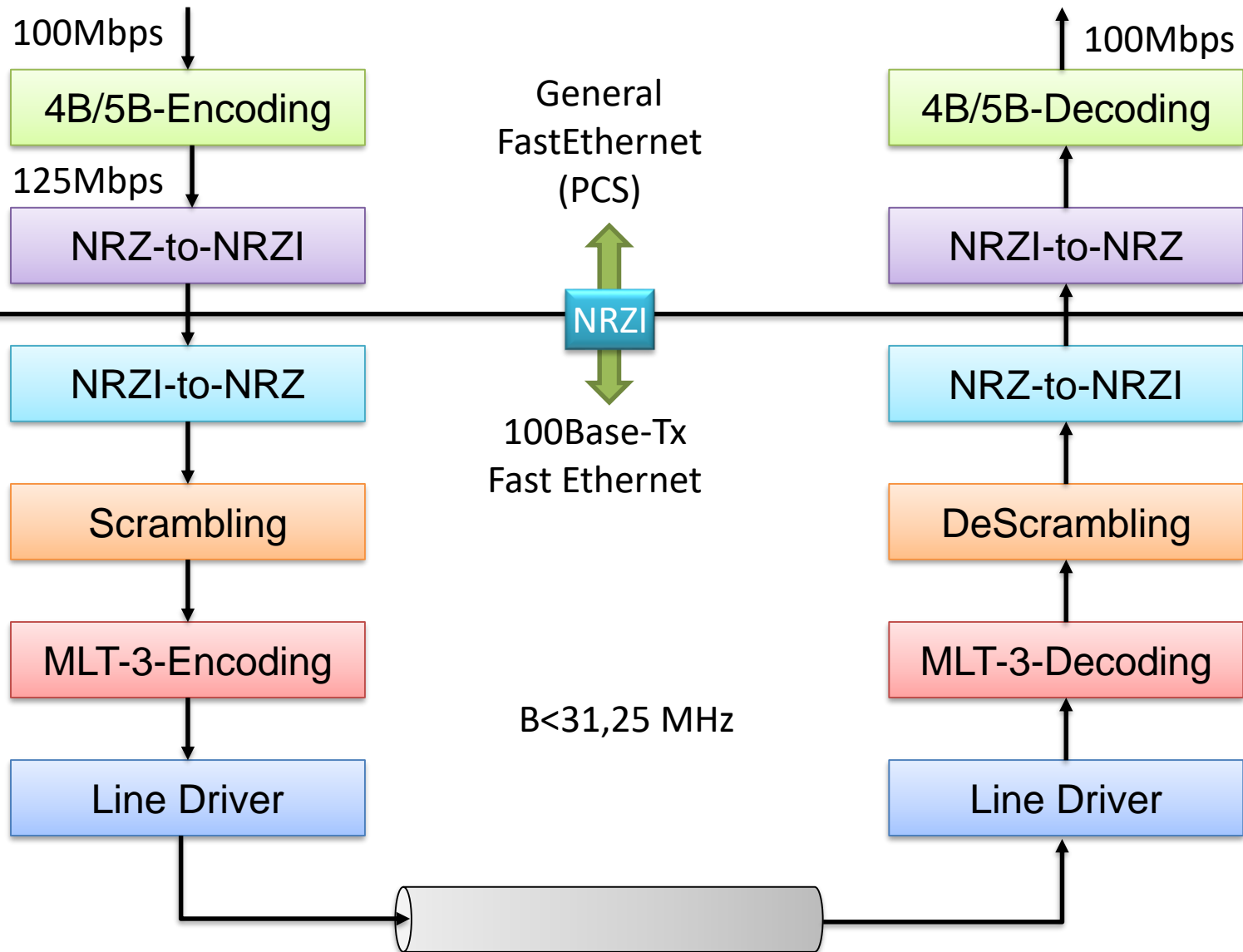


Übersicht Ethernet-Glasfaserkabel

			Multimode				Monomode
Ethernet			OM1	OM2	OM3	OM4	OS1/OS2
100 Mbit/s	100BASE-SX	850 nm	300 m	300 m	300 m	n.a.	
	100BASE-FX	1310 nm	2000 m	2000 m	2000 m	2000 m	10.000 m
1 Gbit/s	1000BASE-SX	850 nm	300 m	500 m	1000 m	1000 m	
	1000BASE-LX10	1310 nm	550 m	550 m	550 m	550 m	10.000 m
	1000BASE-EX	1310 nm					40.000 m
	1000BASE-ZX	1550 nm					80.000 m
	1000BASE-EZX	1550 nm					120.000 m
10 Gbit/s	10GBASE-SR	850 nm	30 m	80 m	300 m	500 m	
	10GBASE-LR	1310 nm					10.000 m
	10GBASE-LRM	1310 nm	220 m	220 m	220 m	220 m	
	10GBASE-ER	1550 nm					40.000 m
	10GBASE-ZR	1550 nm					80.000 m
40 Gbit/s	40GBASE-SR4	850 nm	n.a.	n.a.	100 m	125 m	
	40GBASE-FR	1550 nm					2.000 m
	40GBASE-LR4	1310 nm					10.000 m
	40GBASE-ER4	1550 nm					40.000 m

- PCS (Physical Coding Sublayer):
 - 4B/5B Block-Codes
 - NRZI-Codierung
 - dieser Teil des FastEthernet-Standards gilt für alle Übertragungstechniken (PMD, Physical Medium Dependent Sublayer)
- PMD (Physical Medium Dependent Sublayer):
 - 100BASE-TX (TP):
 - MLT-3 (Multi Level Transmission – 3 Levels)
 - 100BASE-FX (OF), 100BASE-T4 (TP):
 - NRZI (Non-Return-to-Zero-Inverted)

100BASE-TX



Block-Codes: 4B/5B-Coding

- Bisher: Direkte Codierung von einem Bit in einem Signal
- Block-Codes: Codierung mehrerer Bits in mehrere aufeinanderfolgende Signale
 - einfache Fehlererkennung
 - Möglichkeit zum Einfügen von Steuersignalen
 - Gewährleistung von Taktrückgewinnung durch Verwendung von Blöcken mit Signalflanken für Datensignale.
- 4B/5B Coding:
 - Jeweils 4 Eingangsbit werden in einen Block von 5 Ausgangsbits codiert.
 - Dadurch sind 16 der 32 möglichen 5-Bit-Blöcke belegt.
 - Die übrigen Blöcke können für Steuersignale verwendet werden.
 - Der Empfang unbenutzter 5-Bit-Blöcke wird als Übertragungsfehler erkannt.
 - Alle benutzten 5-Bit-Blöcke weisen mindestens 2 Einsen auf. In der verwendeten MLT3-Codierung bedeutet eine Eins immer einen Wechsel des Signalpegels, so dass eine zuverlässige Taktrückgewinnung möglich ist.

4B5B - Blockcode

Codierung von Datenbits

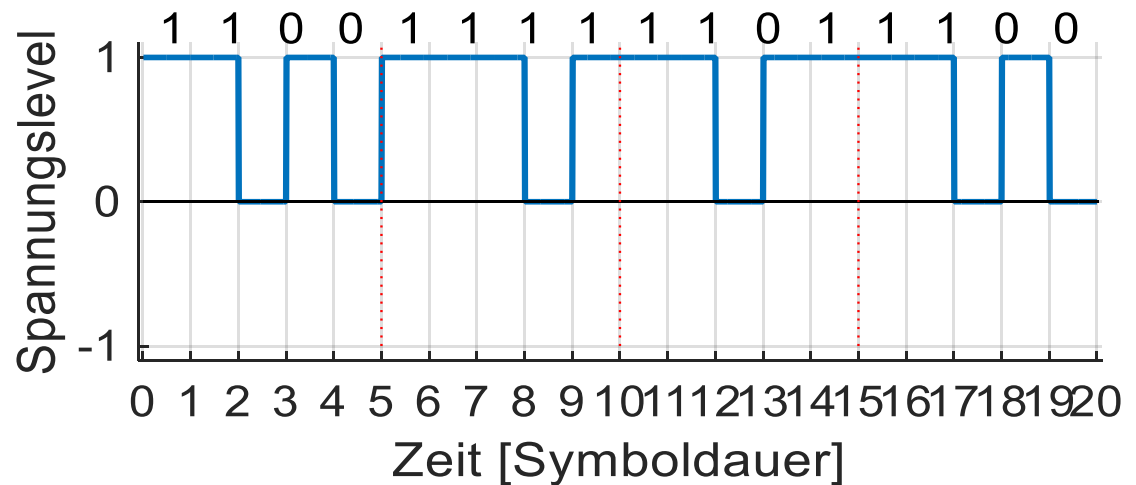
	4B	5B	Funktion
0	0000	11110	Hex data 0
1	0001	01001	Hex data 1
2	0010	10100	Hex data 2
3	0011	10101	Hex data 3
4	0100	01010	Hex data 4
5	0101	01011	Hex data 5
6	0110	01110	Hex data 6
7	0111	01111	Hex data 7
8	1000	10010	Hex data 8
9	1001	10011	Hex data 9
A	1010	10110	Hex data A
B	1011	10111	Hex data B
C	1100	11010	Hex data C
D	1101	11011	Hex data D
E	1110	11100	Hex data E
F	1111	11101	Hex data F

Codierung von Steuersignalen

	4B	5B	Funktion
S	-NONE-	11001	Set
H	-NONE-	00100	Halt
Q	-NONE-	00000	Quiet (Signalverlust)
I	-NONE-	11111	Idle (Pause)
J	-NONE-	11000	Start #1
K	-NONE-	10001	Start #2
T	-NONE-	01101	End
R	-NONE-	00111	Reset

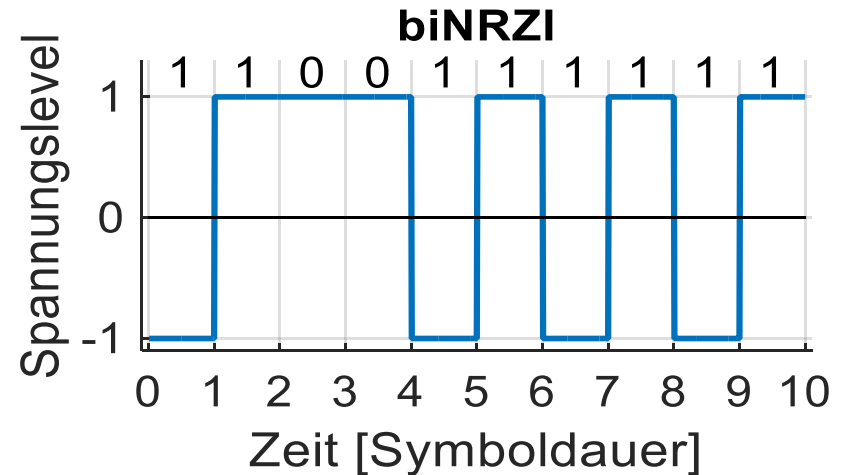
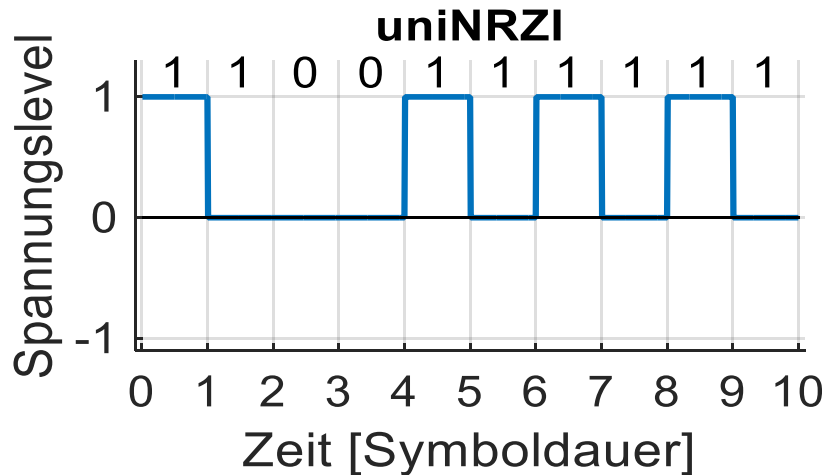
Beispiel: 4B5B-Code

	4B	5B
0	0000	11110
1	0001	01001
2	0010	10100
3	0011	10101
4	0100	01010
5	0101	01011
6	0110	01110
7	0111	01111
8	1000	10010
9	1001	10011
A	1010	10110
B	1011	10111
C	1100	11010
D	1101	11011
E	1110	11100
F	1111	11101



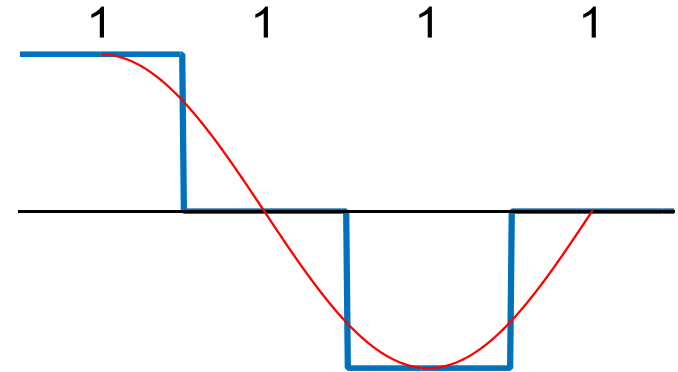
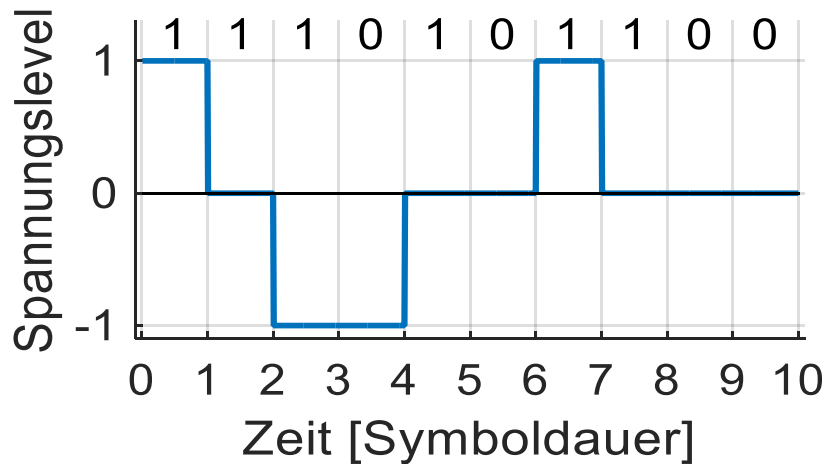
- obere Zeile: Input Bits
- Signal: Output Bits

NRZI – Non-Return-to-Zero-Inverted



- NRZI:
 - „0“: keine Änderung des Signalpegels
 - „1“: Änderung des nächsten Signalpegels
 - unipolar: zwischen 0 und 1
 - bipolar: zwischen -1 und 1
- Keine Gleichstromfreiheit und keine Taktinformation während langer „0“-folgen
- Vorteil:
 - engeres Spektrum (Hälfte des Spektrums von Manchester-Codierung)
 - „1“-Folge bildet Sinus-Schwingung nach

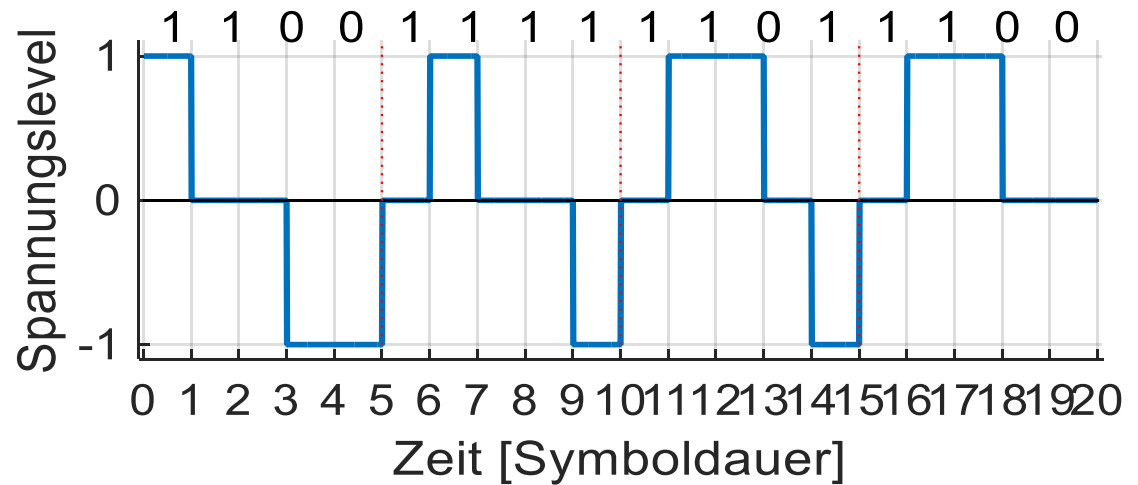
MLT-3 (Multiple Level Transition – 3 Levels)



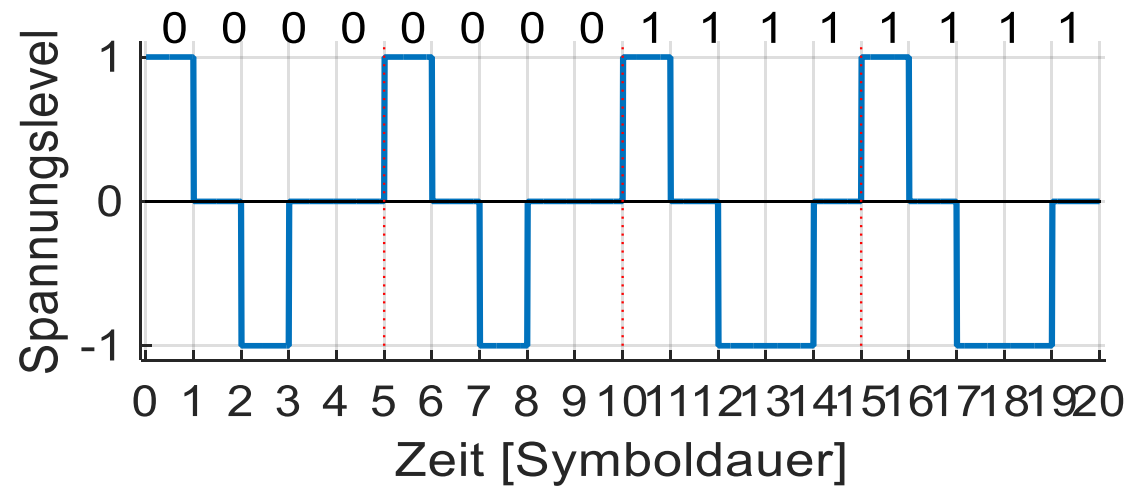
- MLT-3:
 - „0“: keine Änderung des Signalpegels
 - „1“: Änderung zum nächsten Signalpegel in der Folge [1 0 -1 0]
- Keine Gleichstromfreiheit und keine Taktinformation während langer „0“-folgen
 - 4B5B-Codierung vermeidet lange „0“-Folgen
- Vorteil:
 - enges Spektrum (ein Viertel des Spektrums von Manchester-Codierung)
 - „1“-Folge hat die größte Frequenz und bildet Sinus-Schwingung nach
 - bei 100BaseTx: Bandbreite von 31,25MHz nur ein Viertel der Bit-Rate von 125 Mbps

Beispiel: 4B5B + MLT-3

Zufällige Sequenz:



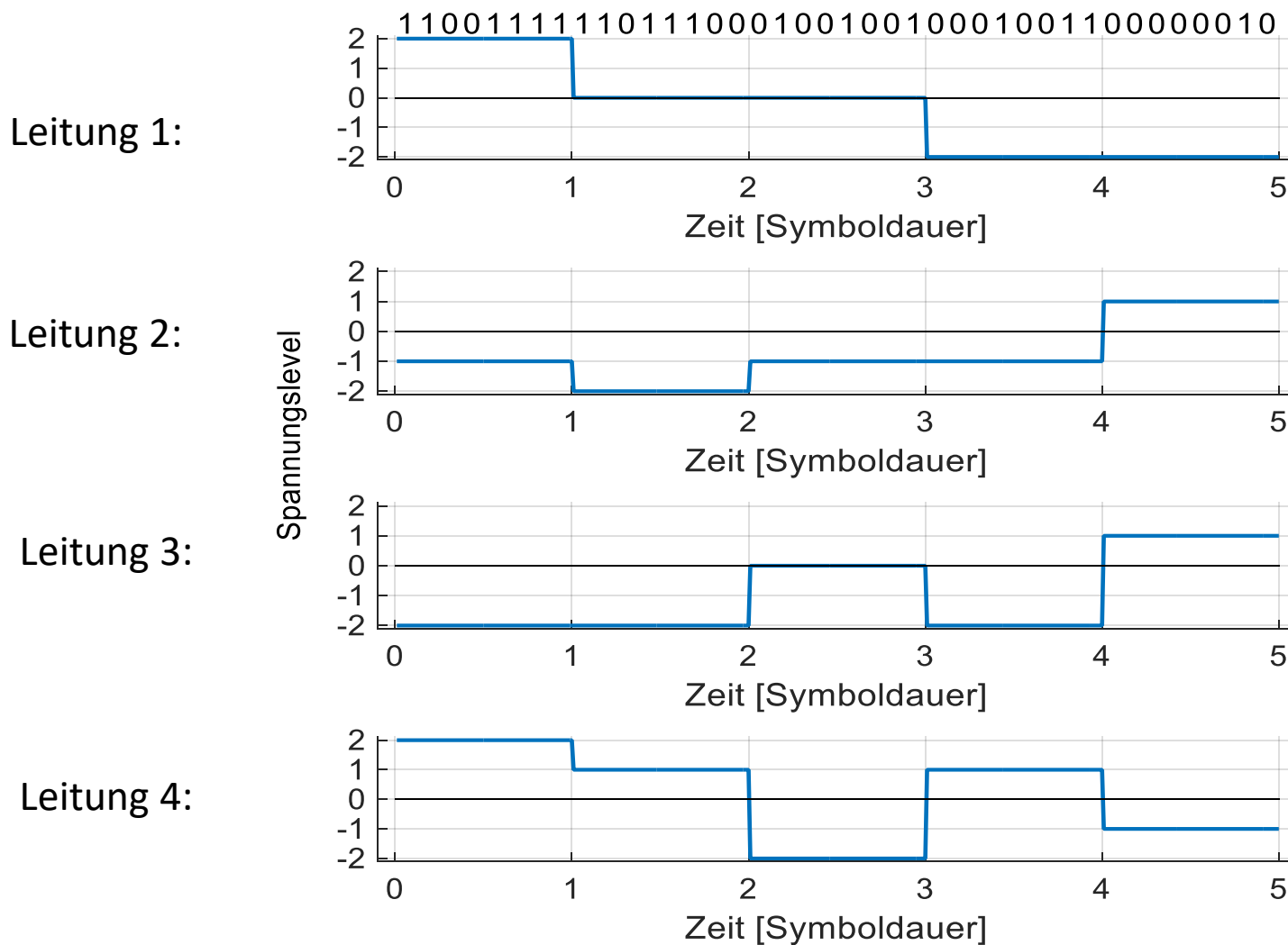
„0“-Folgen und „1“-Folgen:



Gigabit Ethernet (1000BASE-T)

- nutzt 4 Leitungspaare der CAT5-Kabel im Full-Duplex-Verfahren
 - überträgt auf jedem Leitungspaar mit einer Symbolrate von 125Mhz
 - die Symboldauer ist 8ns
- verwendet 4D/5-PAM als Leitungscodierung
 - 4-dimensional PAM-5 (Pulse Amplitude Modulation – 5 Levels)
 - PAM-5 bedeutet, dass Signale mit 5 verschiedenen Spannungsleveln übertragen werden z.B. -2V, -1V, 0V, 1V, 2V
 - 4 Spannungslevel würden ausreichen, um 2 Bits zu übertragen
 - 4D steht für die 4 Dimensionen der 4 Leitungspaare
- mit 5 Spannungsleveln über 4 Leitungen können $5^4=625$ Bitkonstellationen übertragen werden
 - damit könnte man 9 Bits pro 8ns also 1,125 Gb/s übertragen
 - tatsächliche werden aber nur 8 bits pro 8ns (1Gb/s) übertragen, so dass von den Bitkonstellationen nur $2^8 = 256$ benötigt werden
 - die übrigen werden als Redundanz zur Fehlerkorrektur/-erkennung und für Steuersignale genutzt, ähnlich wie bei der 4B/5B Codierung

4DPAM – 4-Dimensional Pulse Amplitude Modulation



- ```

Datensignal ... 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 ...
XOR
Scramblingfolge ... 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 0 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 ...
=
Leitungssignal ... 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 0 1 0 ...
XOR
Scramblingfolge ... 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 0 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 ...
=
Datensignal ... 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 ...

```

## 4.1 Prinzip der Leitungscodierung und Modulation

## **4.2 Übertragung im Basisband**

4.2.1 Grundlegende Verfahren

4.2.2 Ethernet

### **4.2.3 Bandbegrenzte Signale**

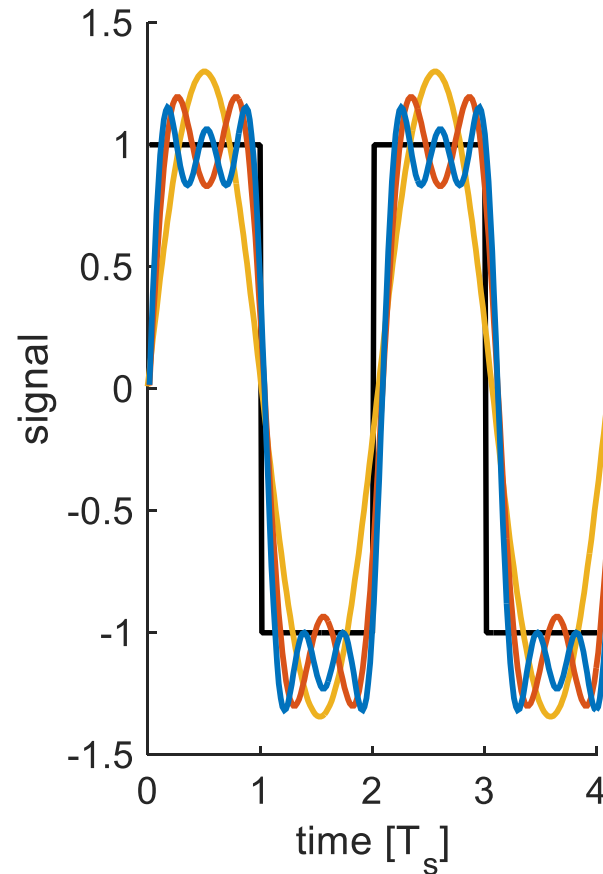
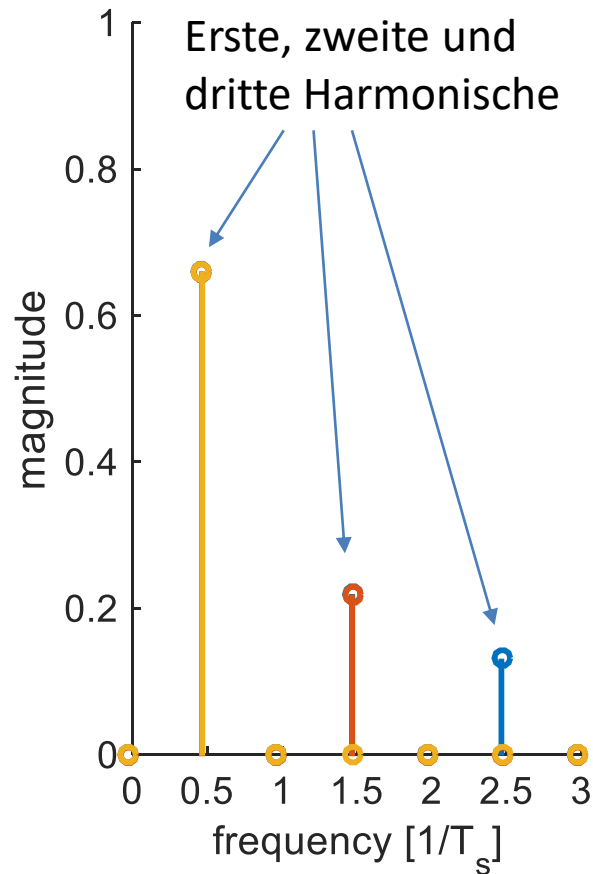
4.2.4 Signalverfälschung einer drahtgebundenen Übertragung

## 4.3 Übertragung auf einer Trägerfrequenz

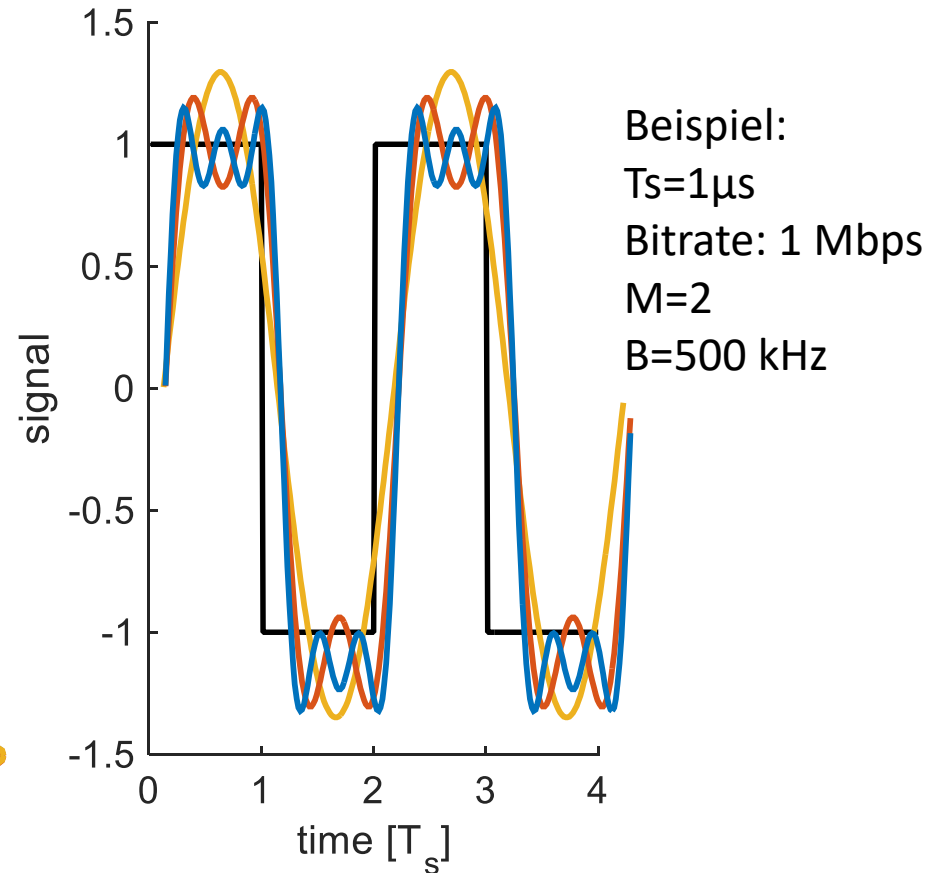
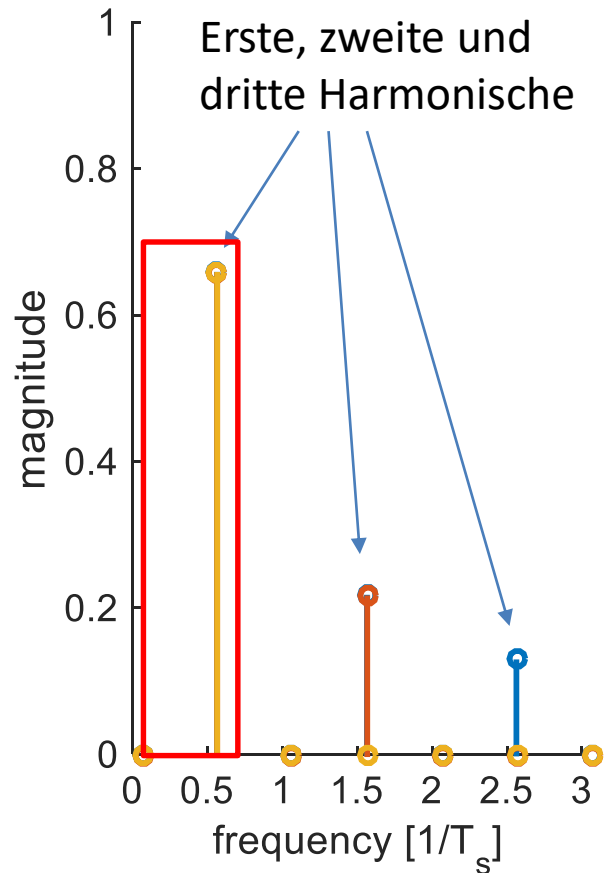
- Signale belegen immer ein bestimmtes Spektrum, die **Bandbreite** eines Signals ist definiert als die Differenz aus der maximalen und der minimalen Frequenz, die im Spektrum des Signals vorkommen
  - periodische Signale haben ein endliches Spektrum
  - nicht-periodische Signale haben ein **unendliches Spektrum**
    - in der Signalübertragung kommen nur nicht-periodische Signale vor
- Die **harmonische Analyse** mit Fourier-Analyse bzw. Fourier-Transformation stellt ein Zeitsignal als **Summe von periodischen Funktionen (Signalen)** dar

# Beispiel: Fourier Analyse

- Darstellung eines periodischen Rechtecksignals durch periodische Signale



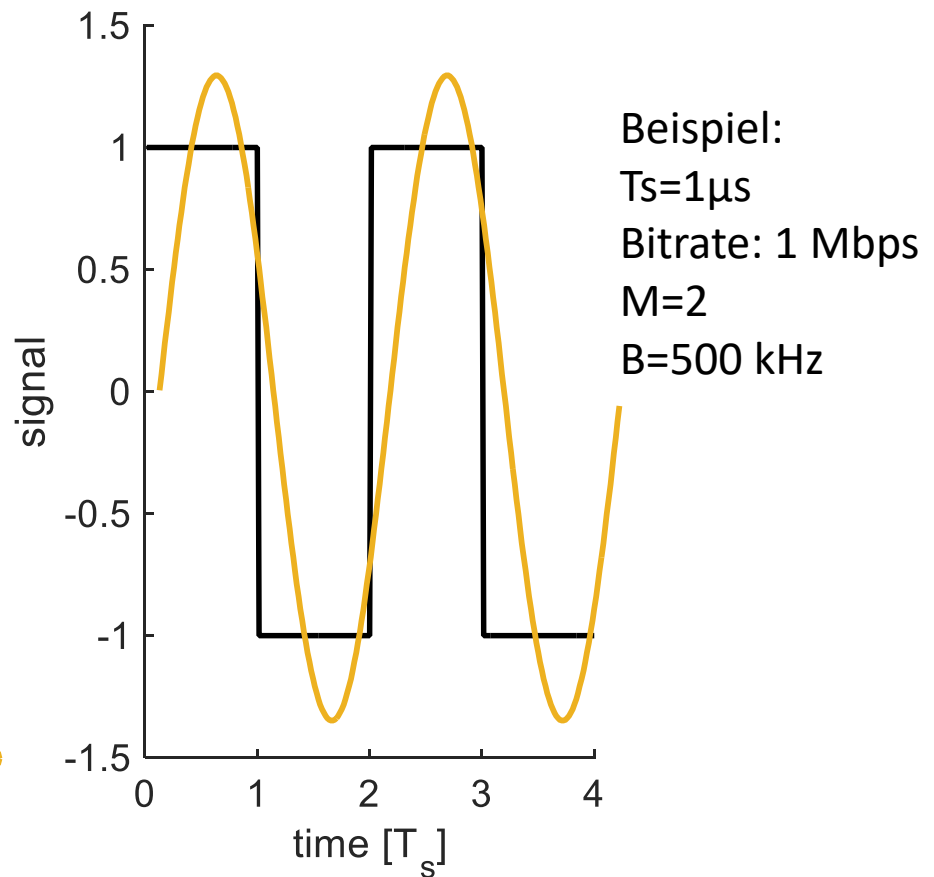
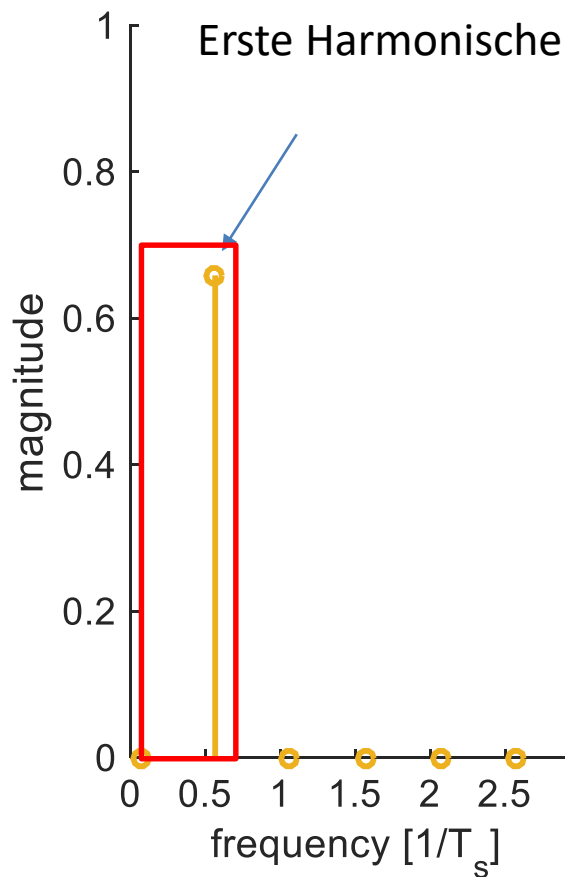
# Beispiel: Fourier Analyse



## Nyquist-Rate:

- bei gegebener Bandbreite  $B$  und  $M$  Signalstufen ist die maximale Bitrate  $2 \cdot B \cdot \log_2 M$

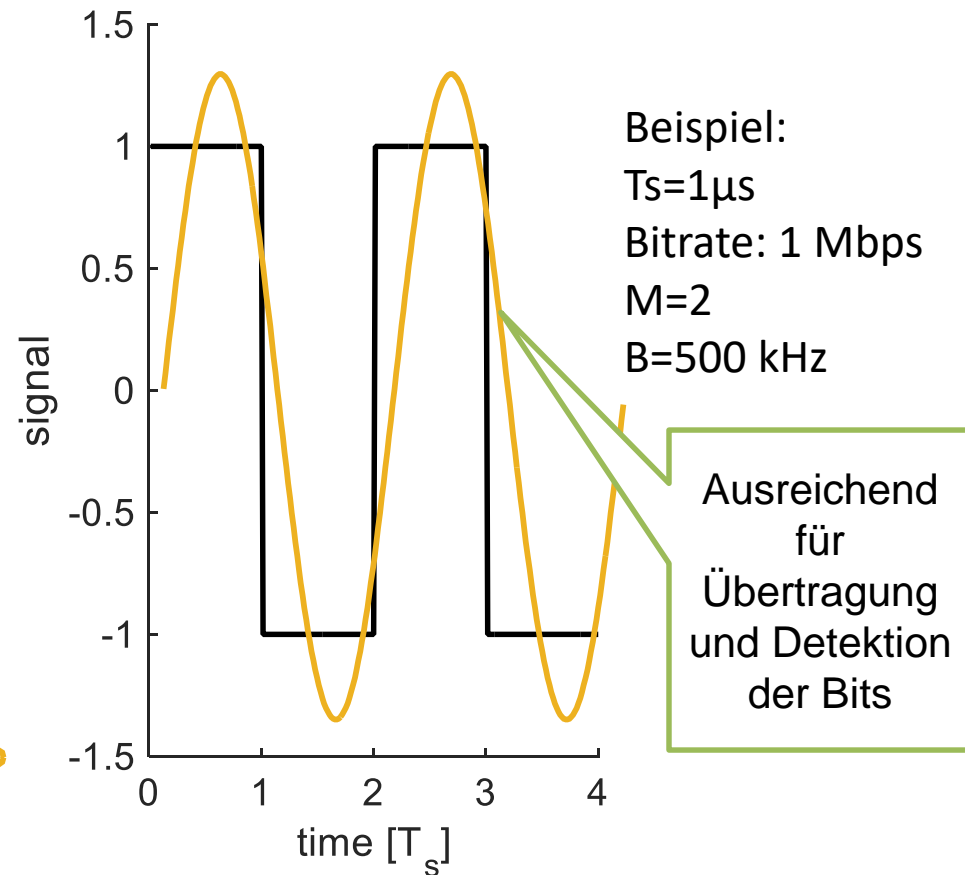
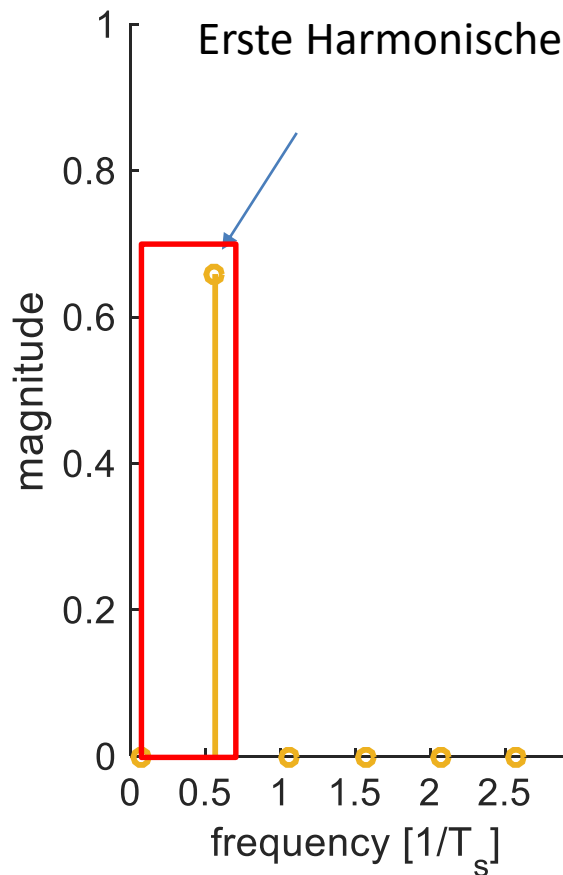
# Nyquist-Rate



## Nyquist-Rate:

- bei gegebener Bandbreite  $B$  und  $M$  Signalstufen ist die maximale Bitrate  $2 \cdot B \cdot \log_2 M$

# Benötigte Signalbandbreite



## Nyquist-Rate:

- bei gegebener Bandbreite  $B$  und  $M$  Signalstufen ist die maximale Bitrate  $2 \cdot B \cdot \log_2 M$
- nur die erste Harmonische muss übertragen werden, um ein Signal regenerieren zu können

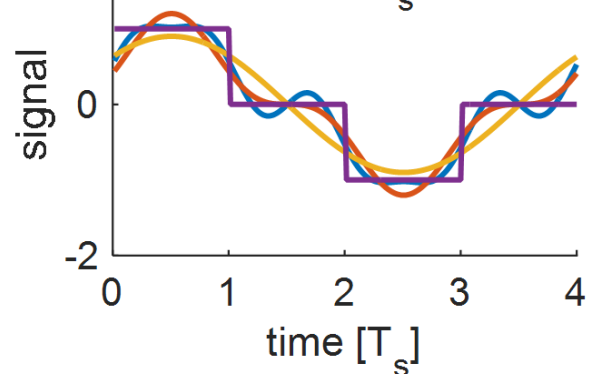
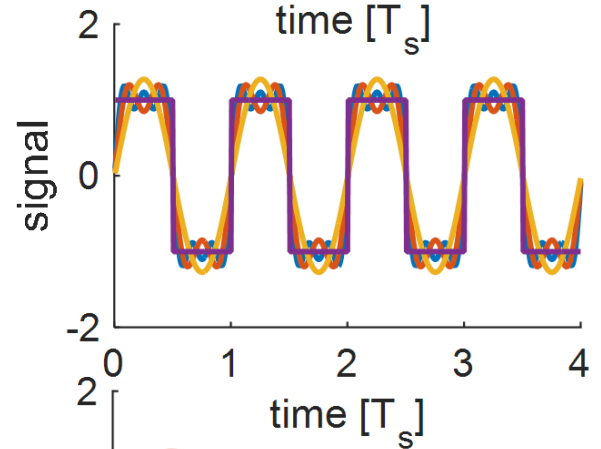
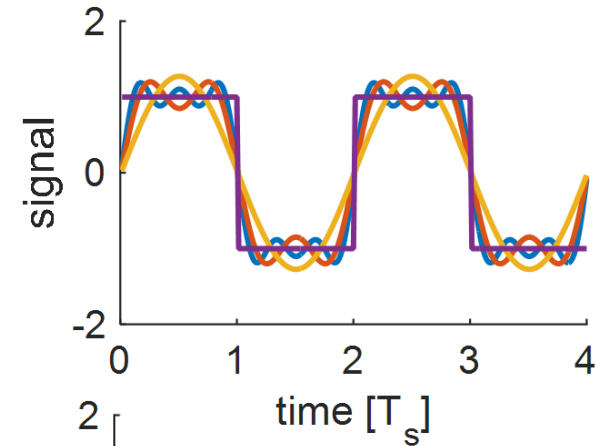
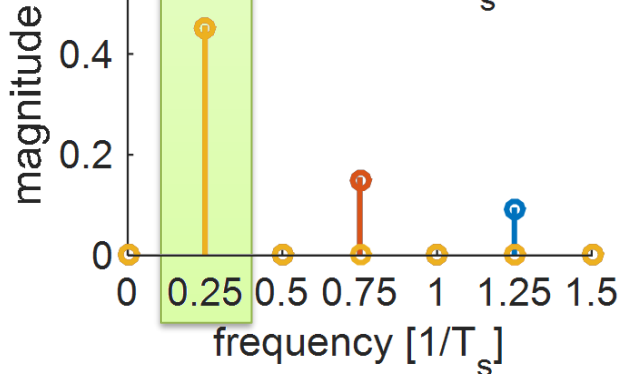
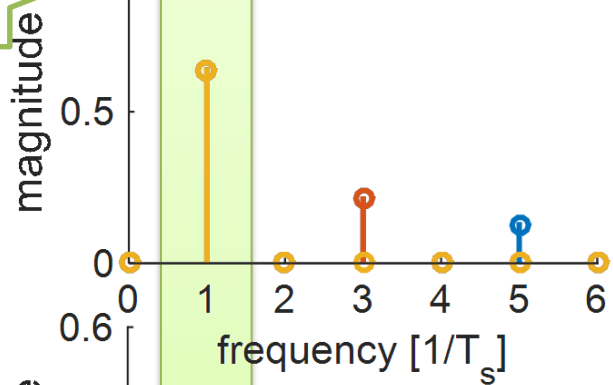
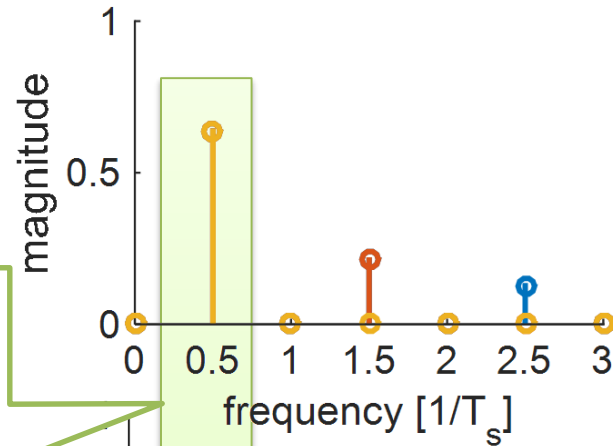
# Beispiele

- Bipolar NRZ

Intelligente Codierung  
reduziert Frequenz der  
1. Harmonischen

- Manchester

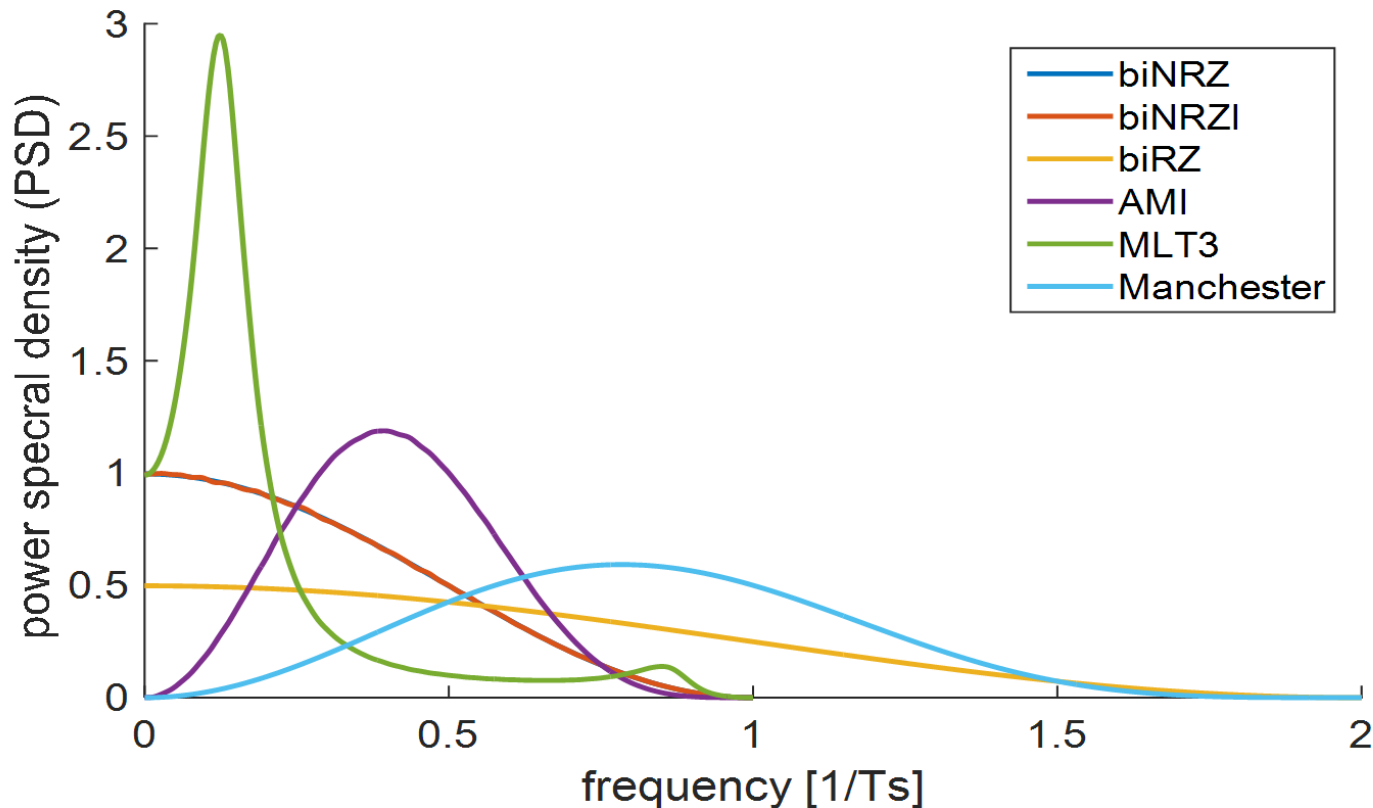
- MLT3



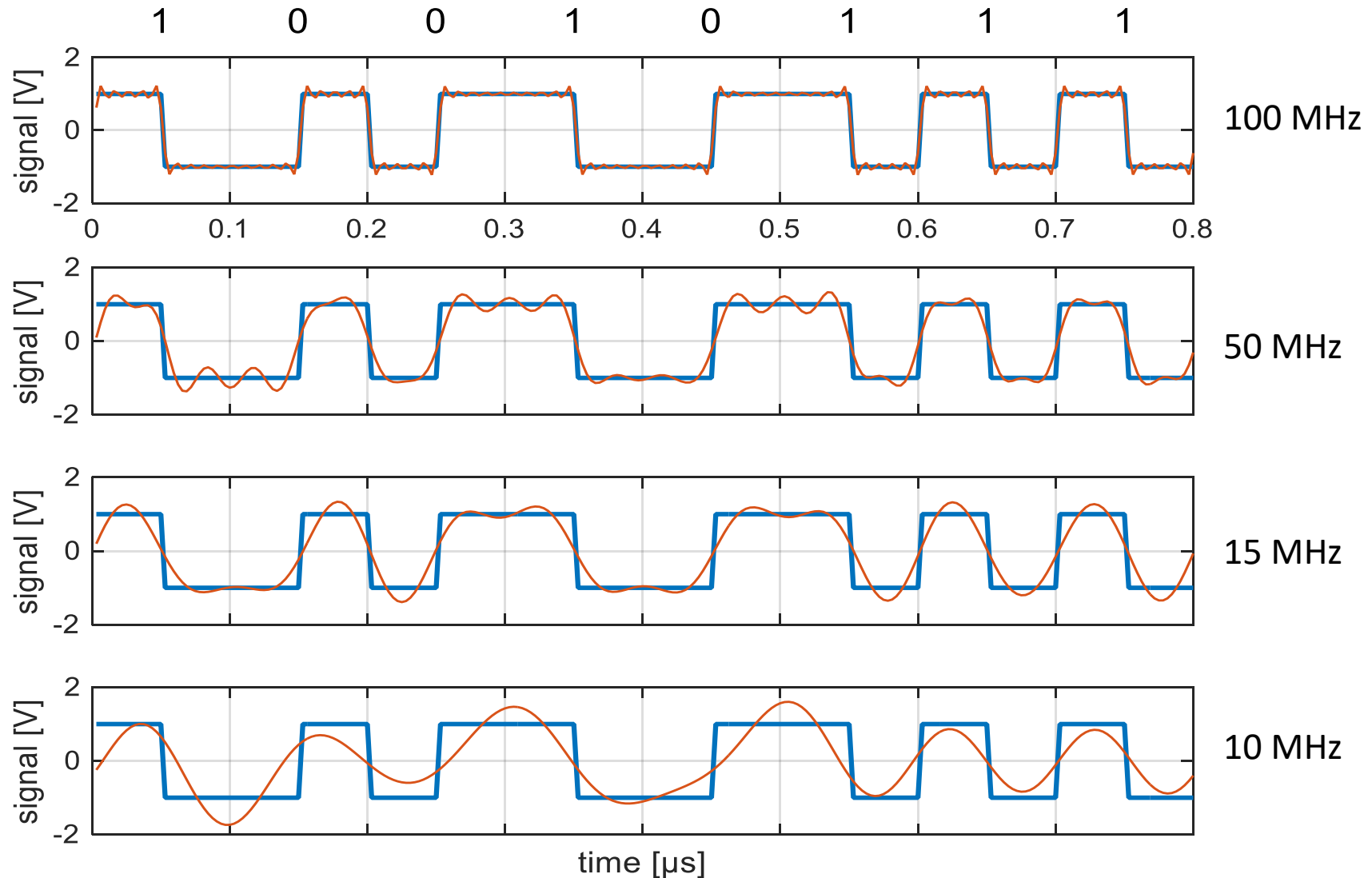


# Bandbreite von Leitungscode

- Das Leistungsdichtespektrum (Power Spectral Density) eines Leitungscode zeigt, in welchem Teil des Spektrums die wesentlichen Anteile des Signals liegen.
- Ziel der Leitungscode ist ein möglichst enges Spektrum, da der Kanal bandbegrenzt sein kann, z.B. aufgrund von frequenzabhängigen Komponenten wie Dämpfung oder Cross-Talk.

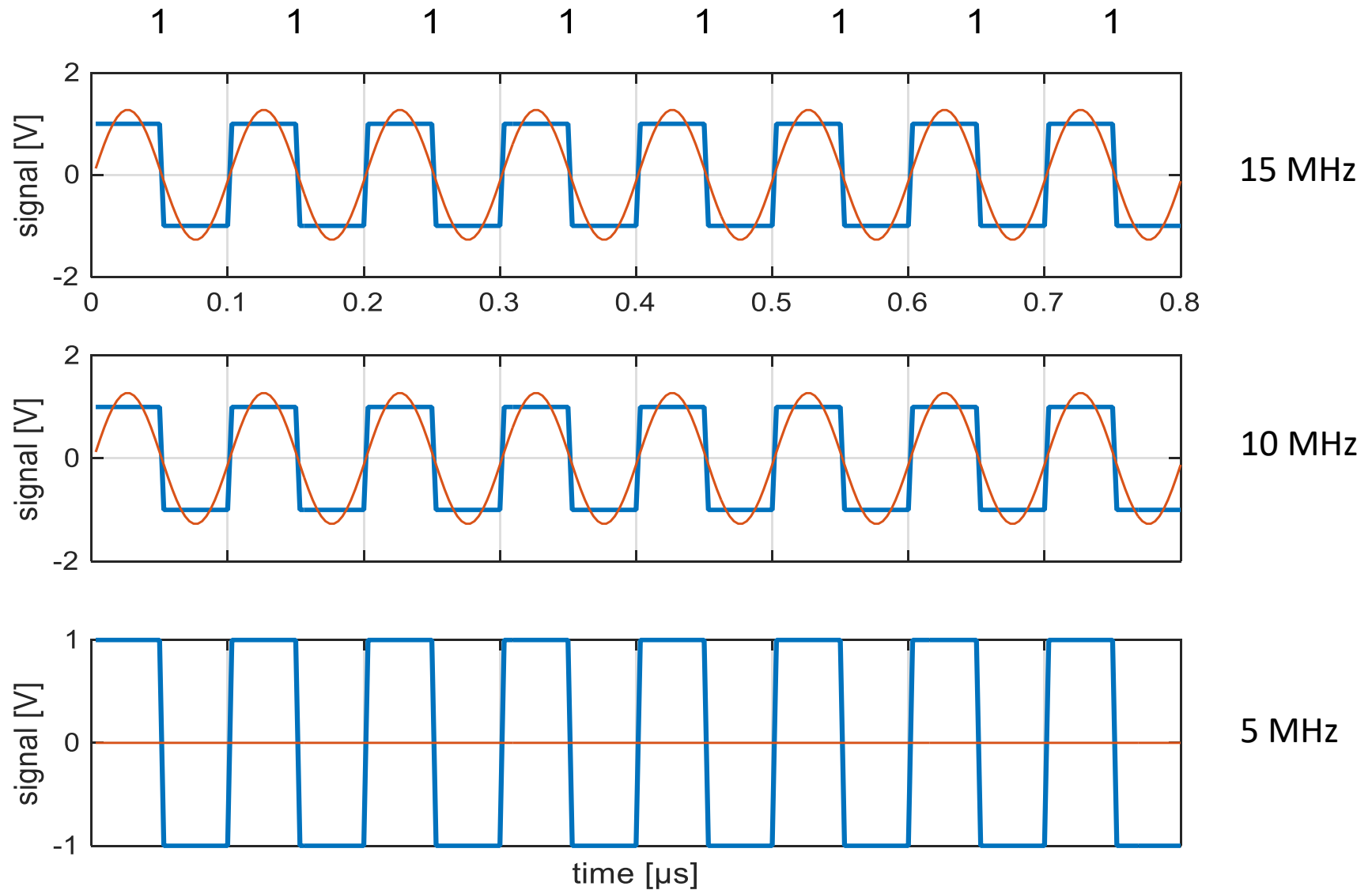


# 10BaseT (Manchester) – Signal mit Tiefpass

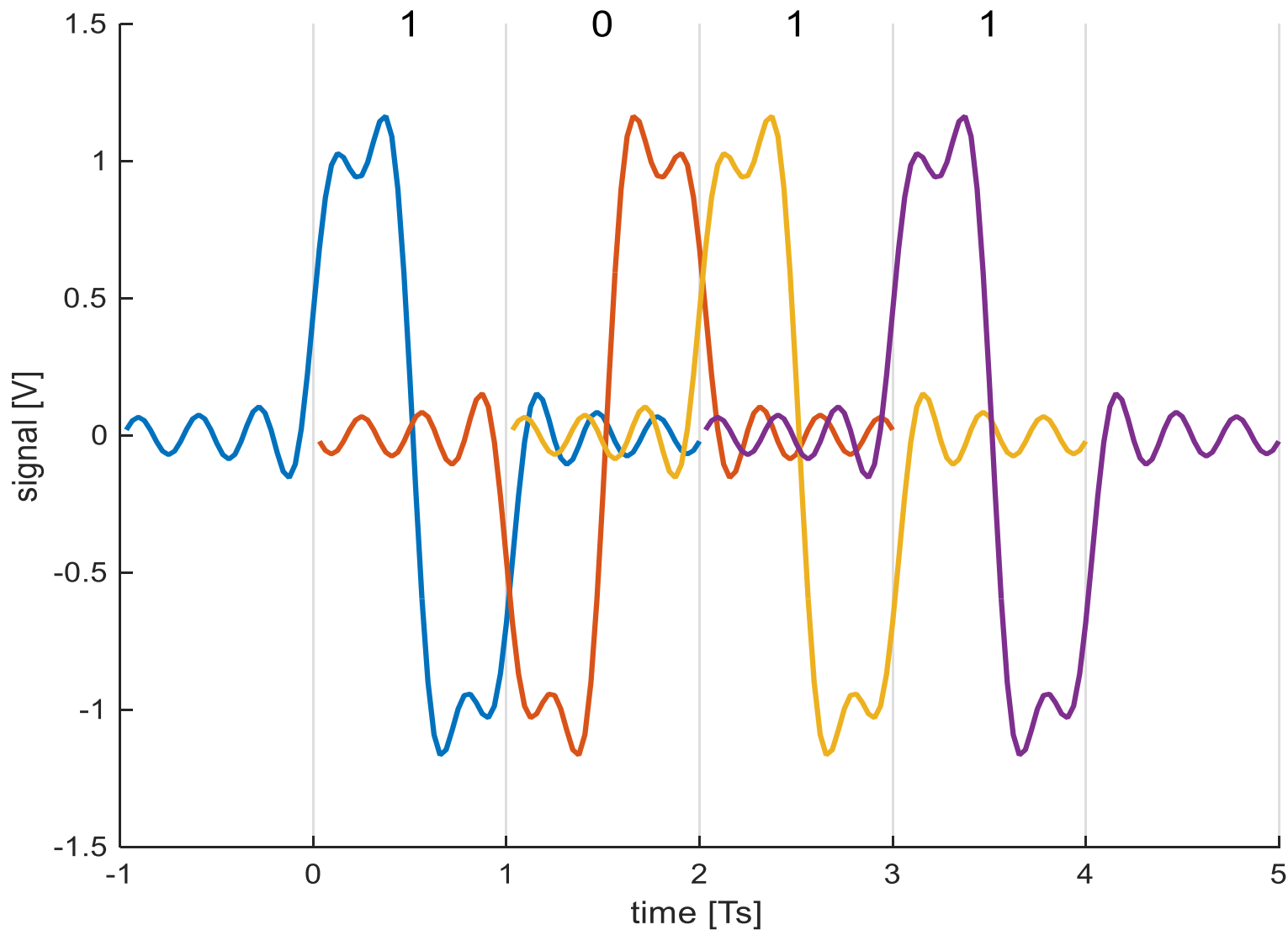


Tiefpass: alle Frequenzen oberhalb der Grenzfrequenz werden abgeschnitten

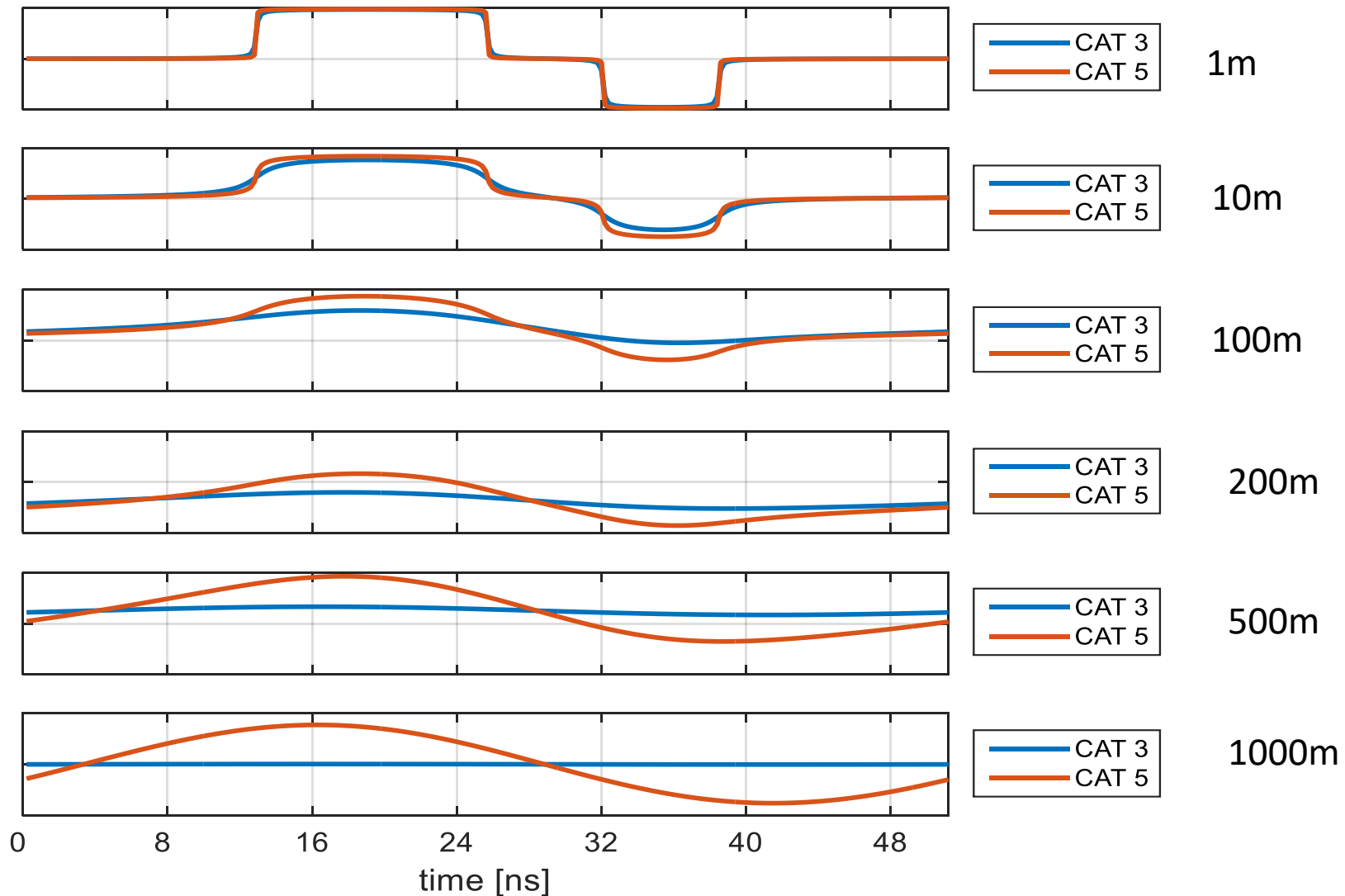
# Einfluss Tiefpass bei „1“-Signal



# Zeitliche Verzerrung durch Tiefpass (15MHz)



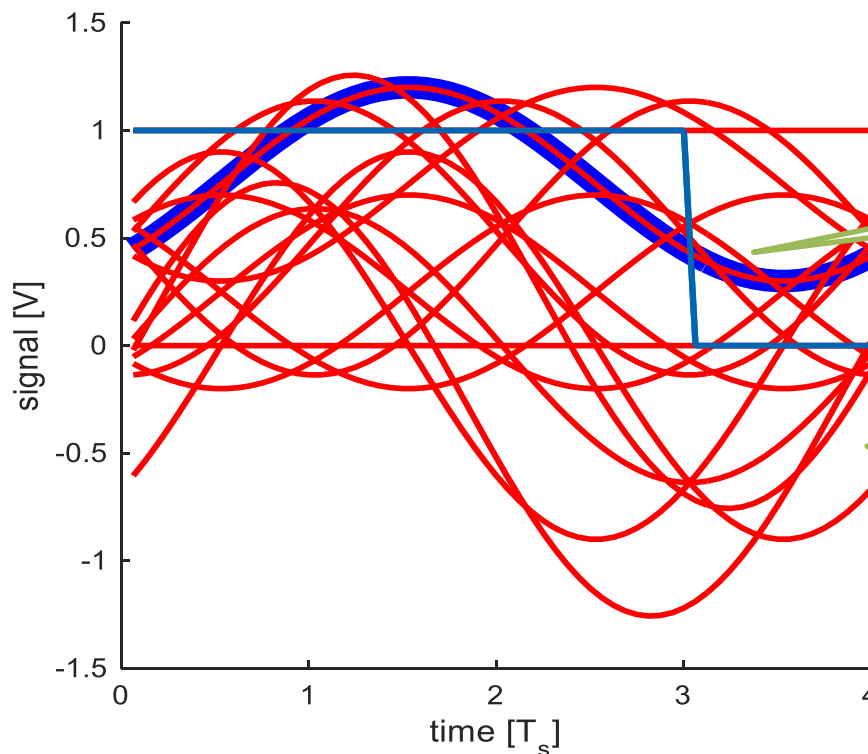
# 10BaseT: Auswirkung der Kabeldämpfung (kein Tiefpass)



- Die Dekodierung eines Signals ist in der Praxis oft nicht trivial, insbesondere wenn an die Grenzen des Übertragungsmediums gegangen wird
- Ein Tiefpass am Empfänger verringert die Rauschleistung
  - Abtasten mit Rate  $F_s$  bedeutet einen Tiefpass mit maximaler Frequenz  $F_{max} = F_s/2$  (Nyquist-Shannon-Abtasttheorem)
- Ein (adaptiver) Equalizer behebt Störungen durch Intersymbolinterferenz (ISI), die durch frequenz-abhängige Veränderungen durch den Übertragungskanal entstanden sind. Wenn die Veränderungen durch den Übertragungskanal bekannt sind oder geschätzt werden können, so können diese rückgängig gemacht werden. ein adaptive Equalizer wird benötigt, wenn sich die Veränderungen durch den Übertragungskanal zeitlich verändern. Dies ist insbesondere bei Funkübertragungen aber auch bei leitungsgebundener Übertragung notwendig. Bei Fast Ethernet wird beispielsweise ein adaptive Equalizer eingesetzt, da die Dämpfungen stark frequenzabhängig sind.
- Ein Tiefpass sorgt immer für eine Verfälschung eines Rechtecksimpulses, insbesondere wird ein Rechtecksimpuls „länger“ und überlappt mit anderen Rechtecksimpulsen. Die Dekodierung einer Folge von Symbolen kann durch Rekonstruktion des empfangenen Signals aus den bandbegrenzten Symbolen erzielt werden.

# Beispiel: MLT-3 Kodierung

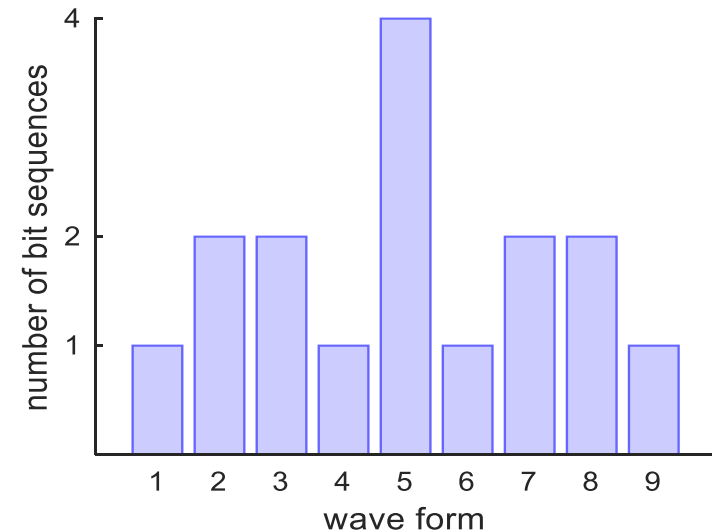
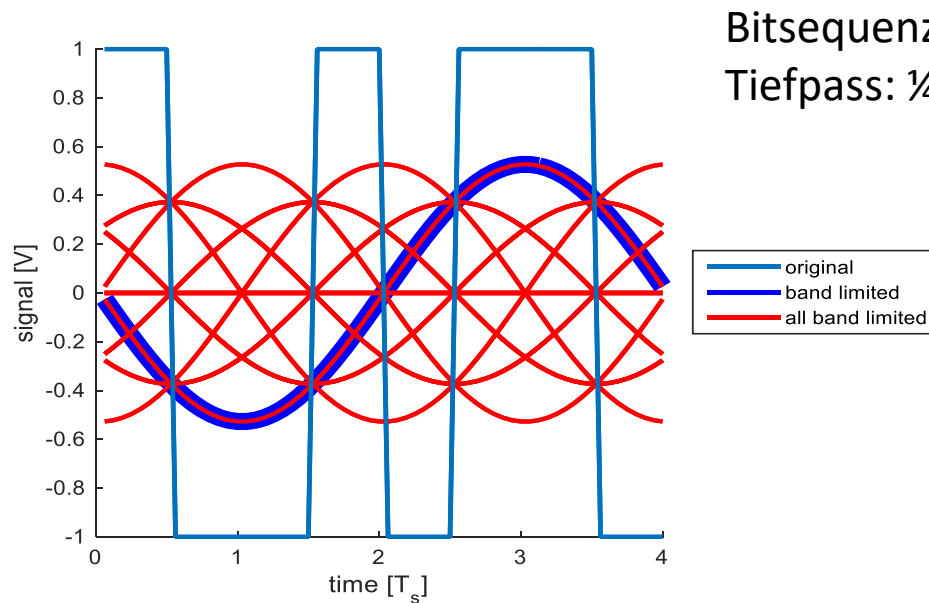
- Bitsequenz: 1 0 0 1
- MLT-3: 1 1 1 0
- Grafik zeigt die auf  $\frac{1}{4}$  Hz bandbegrenzten Signale aller 16 möglichen MLT-3 codierten Sequenzen aus 4 Bits. Das bandbegrenzte Signal der Bitsequenz „1001“ ist eindeutig von allen anderen 16 Signalformen zu unterscheiden. Das Signal kann dekodiert werden, falls es nicht zu stark verrauscht ist. Mit der MLT-3 Codierung können 4 Bits in 4 Symbolperioden übertragen werden. Die Bitrate kann das 4-fache der benötigten Bandbreite betragen.



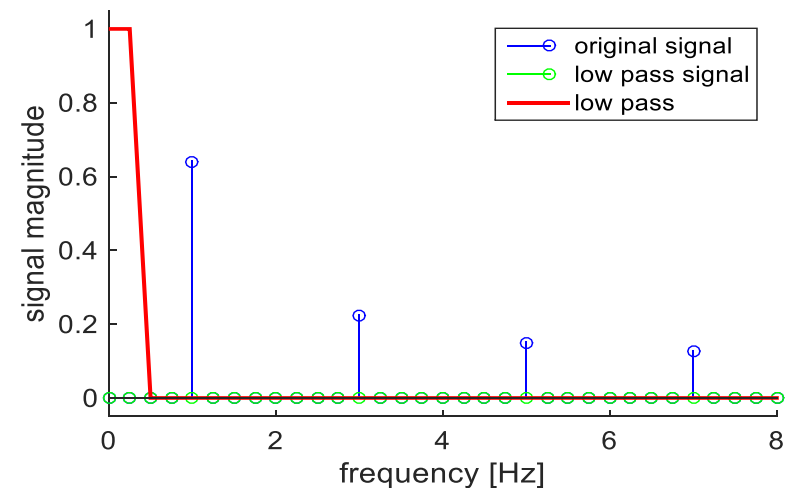
Das Signal für die Bitsequenz „1 0 0 1“ ist eindeutig und kann dekodiert werden.

Mit MLT-3 Kodierung weisen alle 16 möglichen Bit-Sequenzen bei einer Bandbreite von 0,25Hz unterschiedliche Signale auf.

# Beispiel: Manchester Kodierung

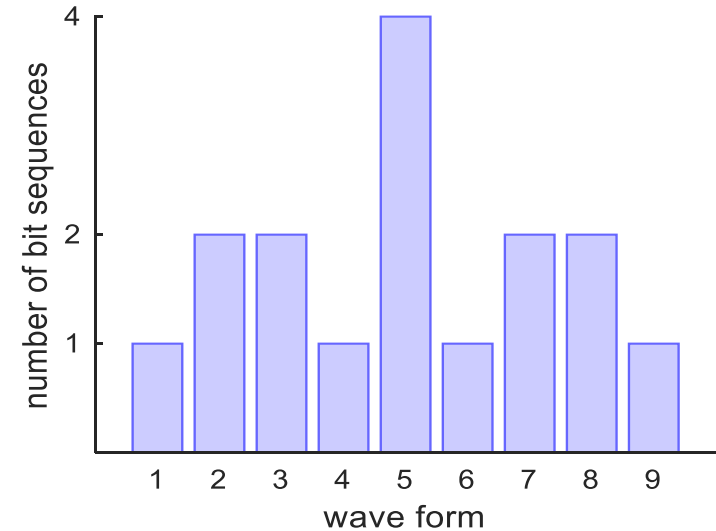
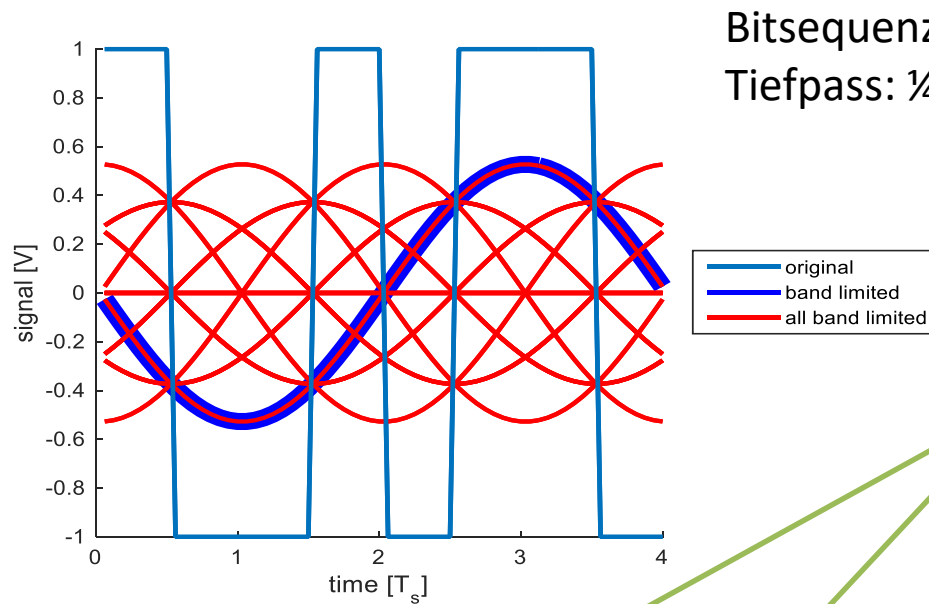


Mit der Manchester-Codierung sind nur 9 Signalformen unterscheidbar und damit ist nicht jedes bandbegrenzte Signal eindeutig einer Bitsequenz zuzuordnen. Eine Bandbreite von  $\frac{1}{4}$  Hz reicht nicht, um 4 bps zu übertragen.

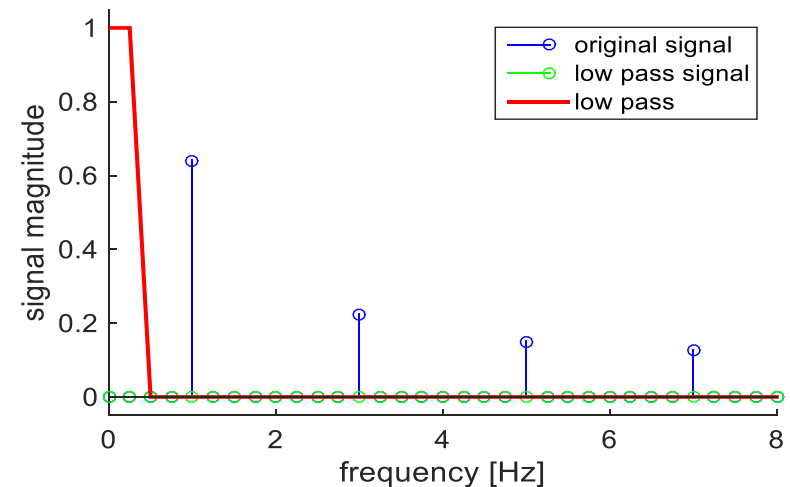




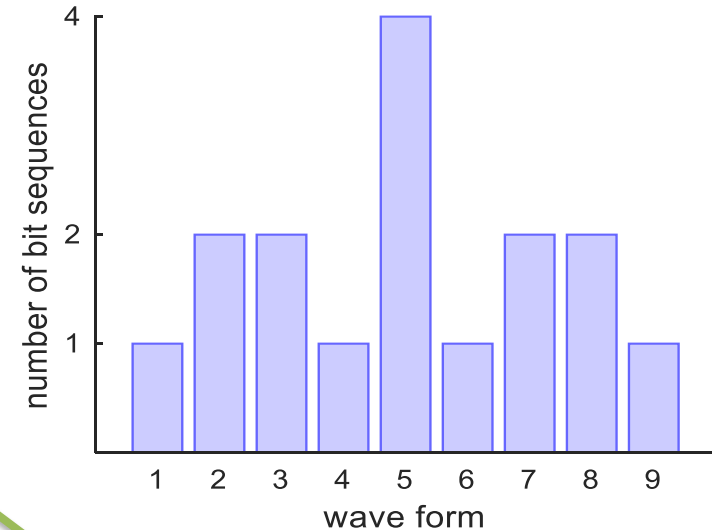
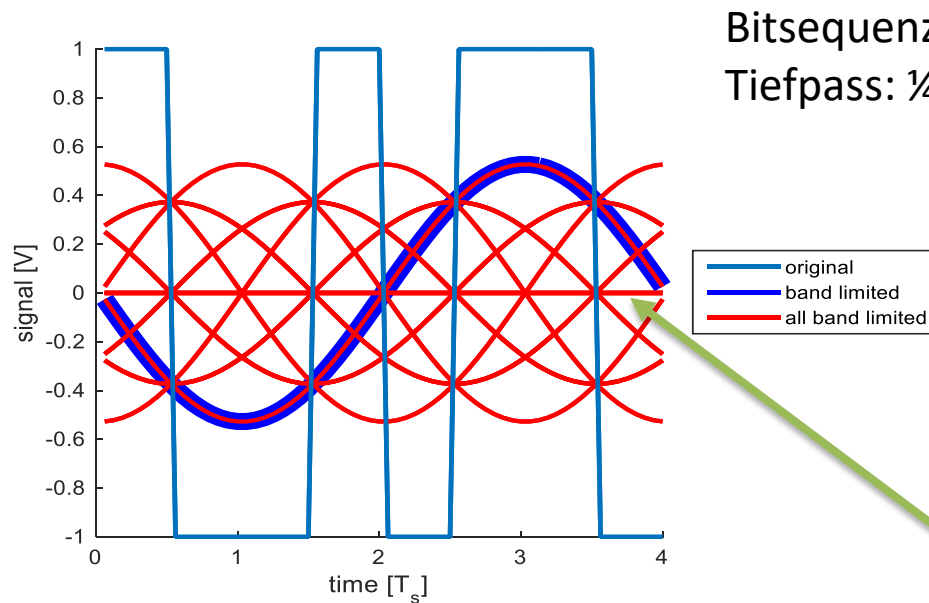
# Beispiel: Manchester Kodierung



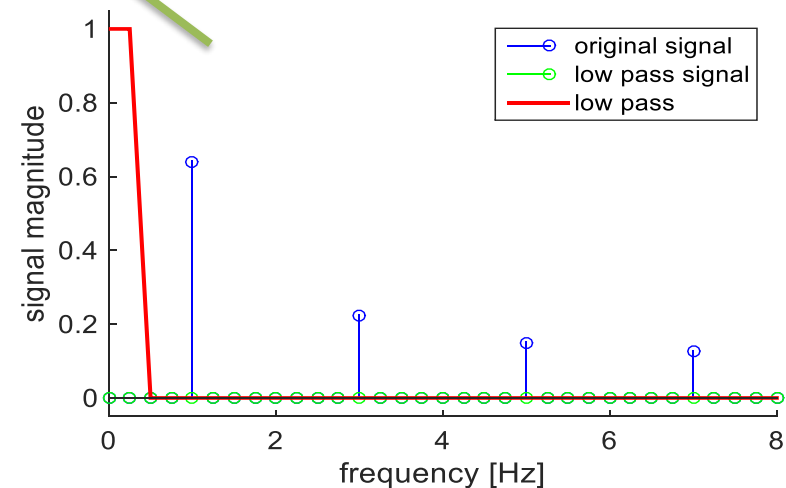
Das Histogramm zeigt die Anzahl der Bitsequenzen, die auf ein Signalfom abgebildet werden. Nur drei Signalfomen sind eindeutig einer Bitsequenz zuzuordnen. Vier Signalfomen könnten von zwei verschiedenen Bitsequenzen erzeugt werden und eine Signalfom sogar von fünf verschiedenen Bitsequenzen. Eine Dekodierung ist nicht möglich.



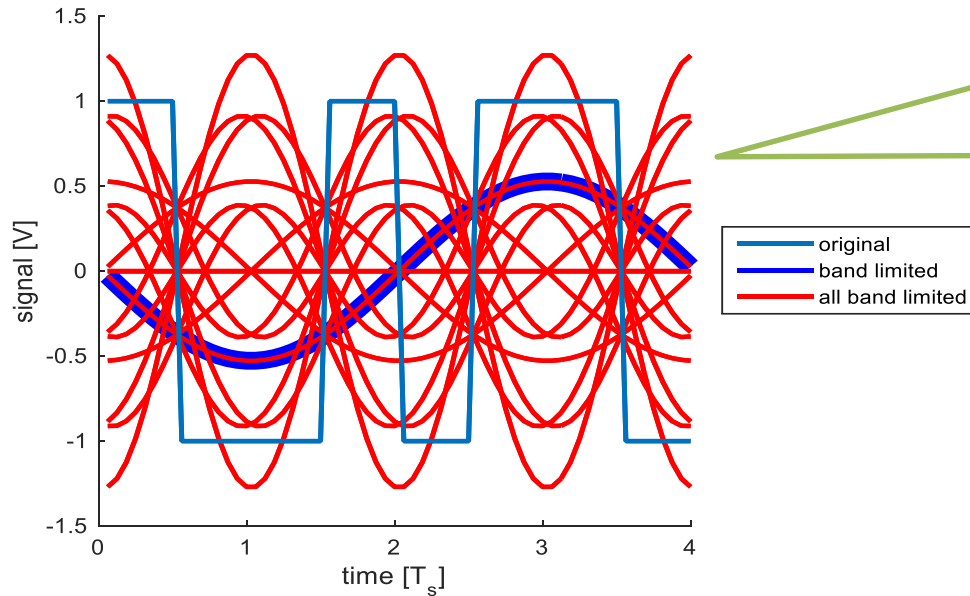
# Beispiel: Manchester Kodierung



Das Signal, das der „1“-Folge entspricht, wird vom Tiefpass vollständig gefiltert. Die 1. Harmonische liegt bei 1 Hz und daher werden alle Harmonischen durch den Tiefpass bei 0,25 Hz vollständig gefiltert. Das Signal wird verschwindet.



# Beispiel: Manchester Coding

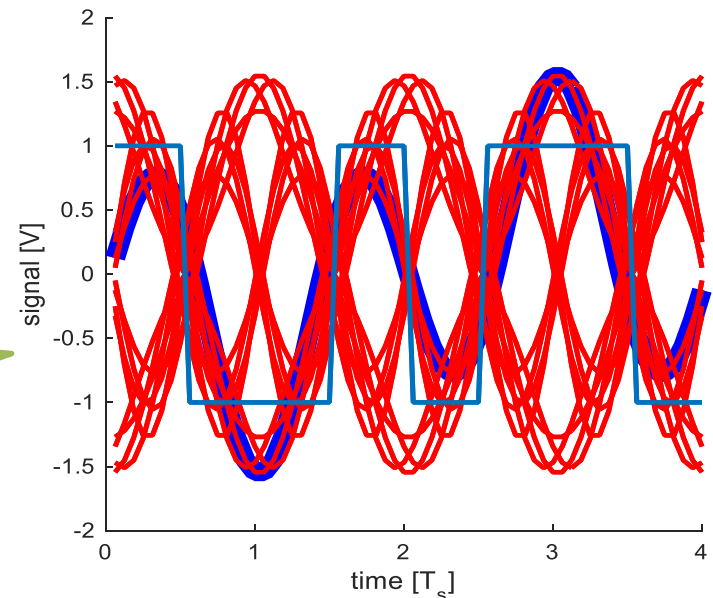


Bei einer Bandbreite von 0,5 Hz sind mehr Signalformen unterscheidbar. Das Signal einer „1“-Folge verschwindet aber immer noch.

0.5 Hz: 15 Signalformen unterscheidbar

Erst ab einer Bandbreite von 1 Hz sind alle 16 Signalformen unterscheidbar. Das Signal der „1“-Folge ist jetzt auch vorhanden und entspricht einer Sinus-Schwingung.

1 Hz: 16 Signalformen unterscheidbar



## 4.1 Prinzip der Leitungscodierung und Modulation

## **4.2 Übertragung im Basisband**

4.2.1 Grundlegende Verfahren

4.2.2 Ethernet

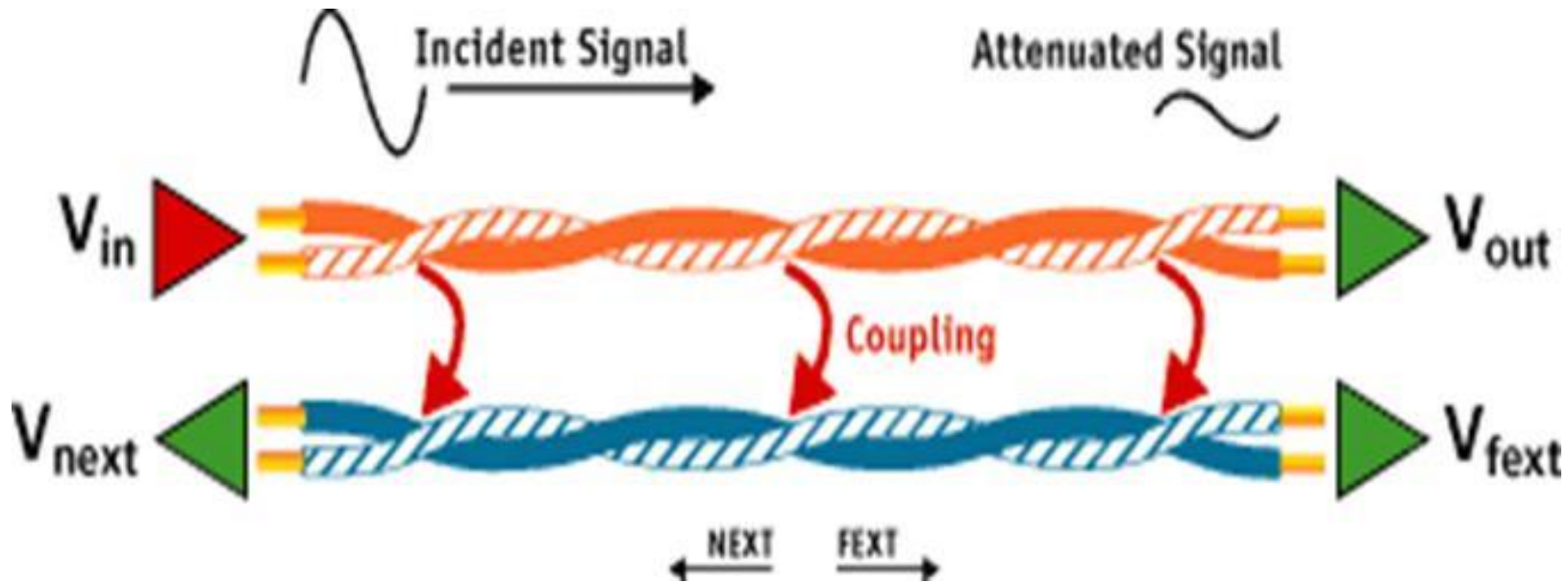
4.2.3 Bandbegrenzte Signale

**4.2.4 Signalverfälschung einer drahtgebundenen Übertragung**

## 4.3 Übertragung auf einer Trägerfrequenz

- Übertragung im Kabel:
  - Additives Rauschen (Additive White Gaussian Noise) am Empfänger
  - Dämpfung (Signalabschwächung, Attenuation, Insertion Loss)
  - Bandbegrenzung durch Tiefpass (Lowpass)
  - Nebensprechen (Cross-Talk)
    - NEXT: Near-End Cross-Talk
    - FEXT: Far-End Cross-Talk
- Funkübertragung:
  - Additives Rauschen (Additive White Gaussian Noise) am Empfänger
  - Ausbreitungsverlust (Propagation Loss)
    - Dämpfung (Signalabschwächung, Attenuation)
      - aufgrund von Entfernung und Hindernissen (Shadowing)
    - Überlagerung von Signalkomponenten durch Mehrwegeausbreitung (Fast Fading)
  - Interferenz (Überlagerung durch Fremdsignale)

# Dämpfung und Cross-Talk



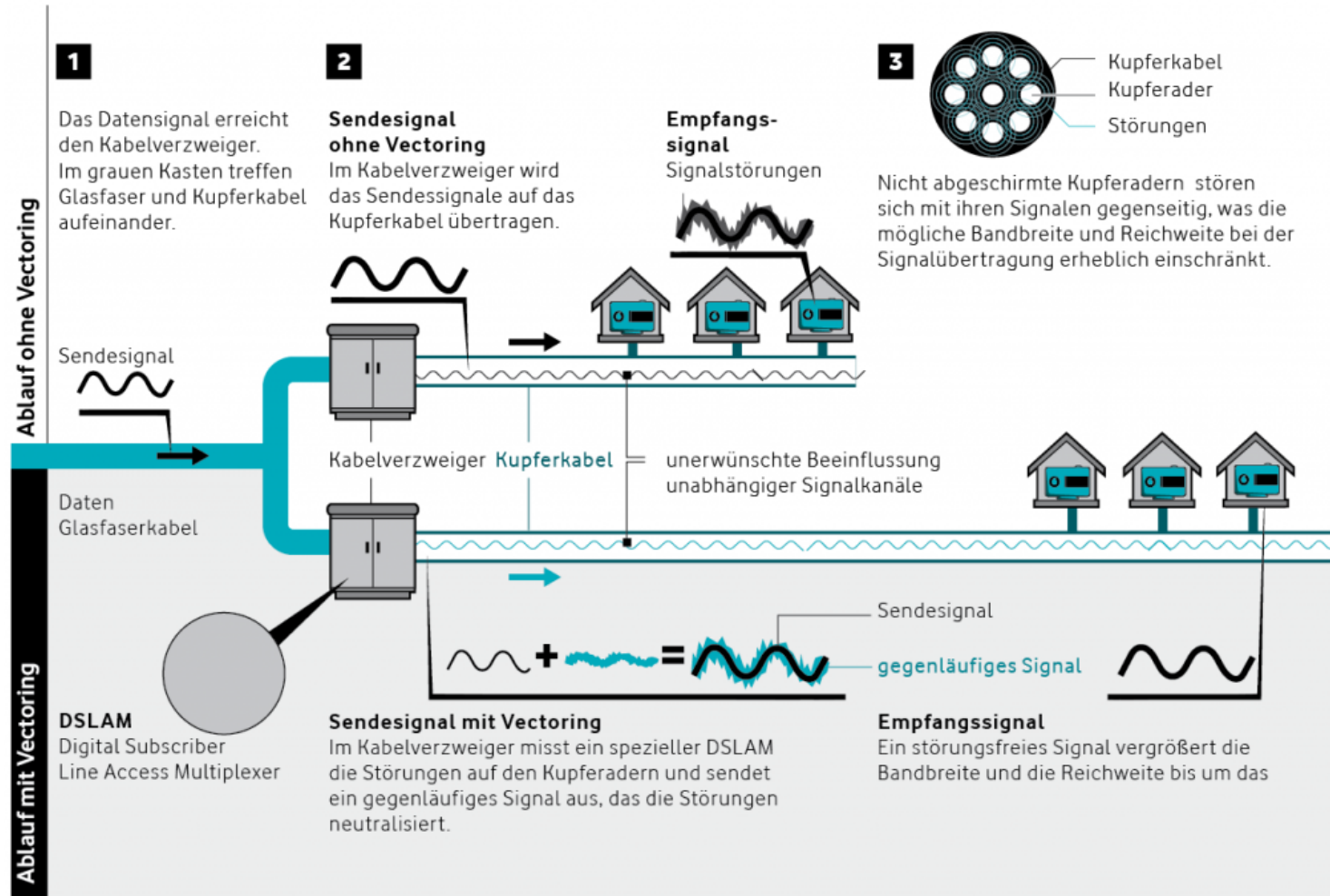
NEXT: Abschwächung des Cross-Talks zwischen TPs

- abhängig von Frequenz
- unabhängig von Kabellänge

Dämpfung (Attenuation): Abschwächung der Signalleistung während der Ausbreitung durch das Kabel

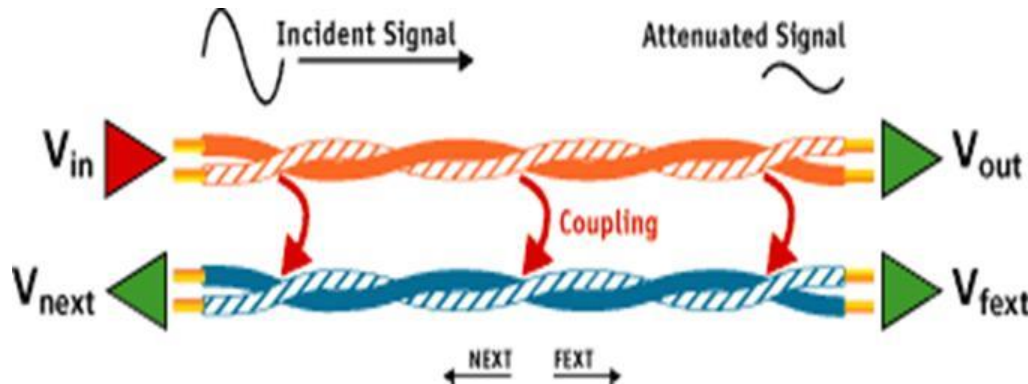
- abhängig von Frequenz
- abhängig von Kabellänge

# Vectoring (VDSL 2)



Vectoring vermeidet FEXT (Far-End-Cross-Talk), indem die gegenseitige Störung der Kabel eines DSLAMs gemessen und beim Senden herausgerechnet wird.

# Dämpfung und Cross-Talk



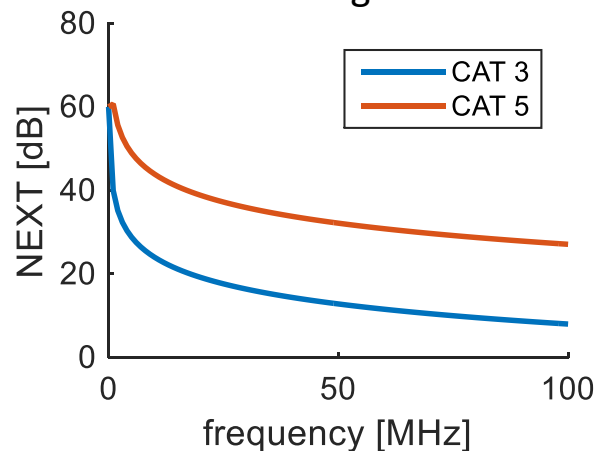
Dezibel: logarithmische Einheit für Verhältnisse

$$x = \frac{a}{b} \longrightarrow x[dB] = 10 \cdot \log_{10}(x)$$

|       |     |   |   |   |    |
|-------|-----|---|---|---|----|
| x     | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 |
| x[dB] | -3  | 0 | 3 | 7 | 10 |

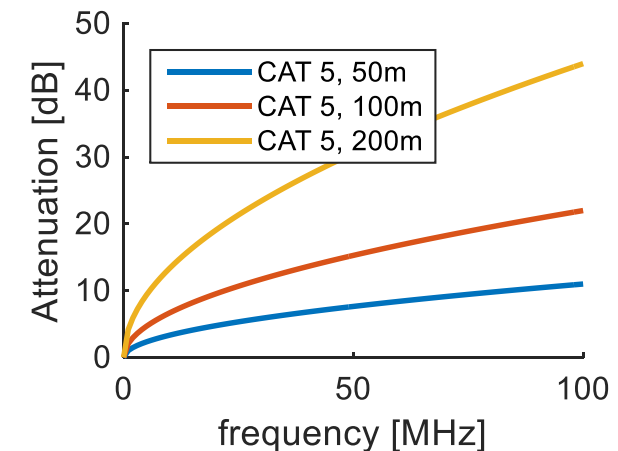
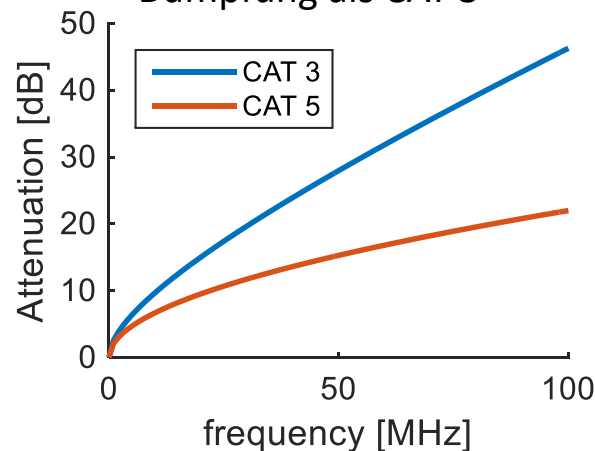
NEXT: Abschwächung des Cross-Talks zwischen TP's

- abhängig von Frequenz
- unabhängig von Kabellänge
- CAT 5 hat ca. 20dB bessere Abschirmung



Dämpfung (Attenuation): Abschwächung der Signalleistung während der Ausbreitung durch das Kabel

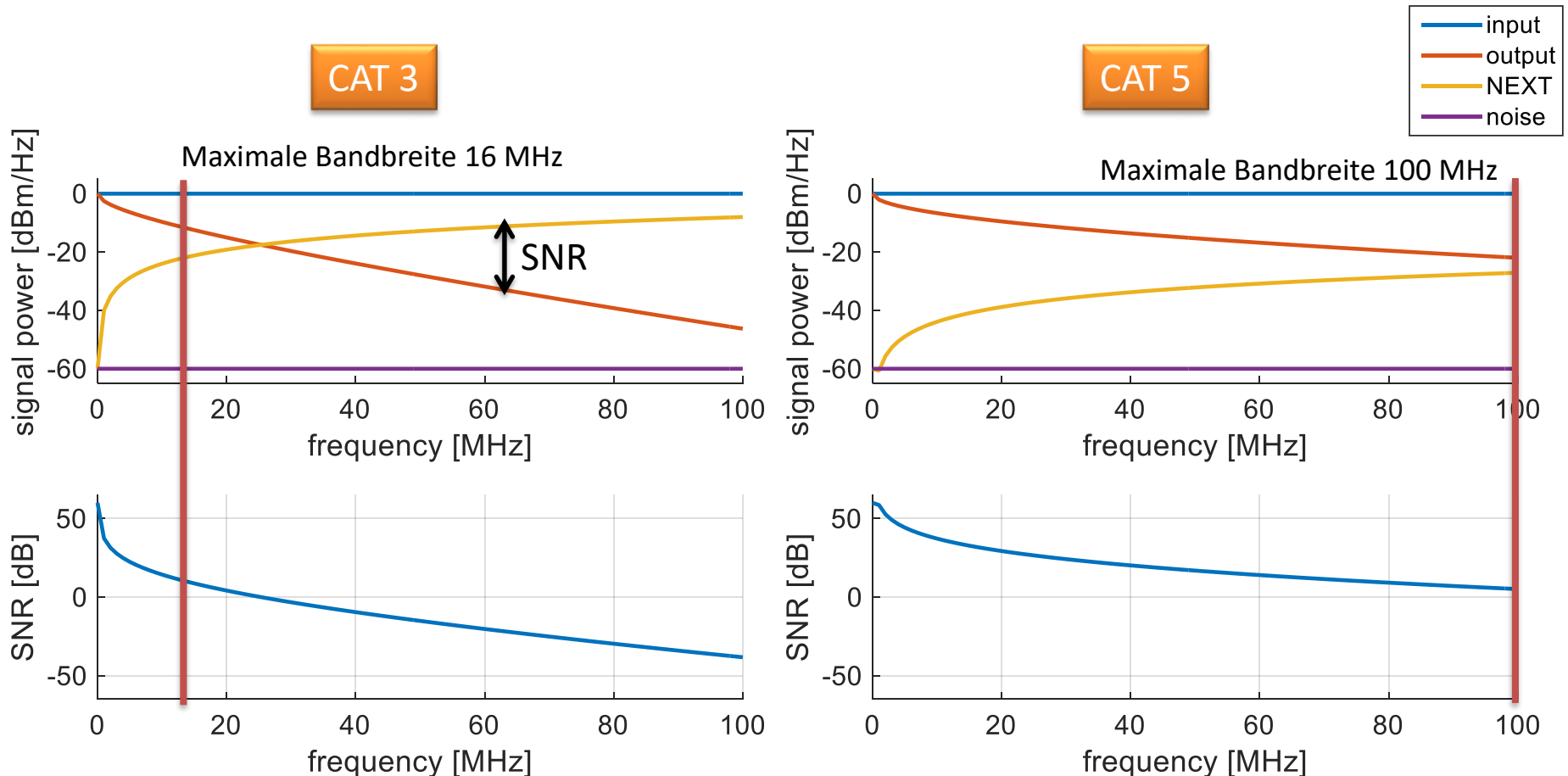
- abhängig von Frequenz
- abhängig von Kabellänge
- CAT 5 hat bei 100 MHz um ca. 25dB (Faktor 256) schwächere Dämpfung als CAT 3





# Vergleich „CAT 3“ und „CAT 5“ Kabel

- CAT 5 Kabel hat bessere Eigenschaften als CAT 3 Kabel
  - geringere Dämpfung, weniger Nebensprechen
  - CAT 5 Kabel kann bis zu 100 MHz betrieben werden, CAT 3 bis 16 MHz



- Methoden der digitalen Datenübertragung
  - unmittelbare Übertragung im Basisband durch Kodierung von Bits über Spannungspegel
  - Übertragung auf einer Trägerfrequenz durch Modulation eines Trägersignals
- Leitungscodierung
  - Darstellung von einzelnen Bits oder Gruppen von Bits als Folge von elektrischen Signalen bzw. Spannungspegeln
  - Ziele der Leitungscodierung sind hohe Bandbreite und Robustheit, die realisiert werden durch
    - Gleichstromfreiheit
    - häufige Flankenwechsel zur Taktrückgewinnung
    - niedrige Signalbandbreite
      - hier besteht ein Trade-Off zwischen Buslänge und möglicher Bandbreite