

# Netztechnik I

T2INF4201.1

## Bitübertragungsschicht (The Physical Layer)

Markus Götzl  
Dipl.-Inform. (FH)  
[mail@markusgoetzl.de](mailto:mail@markusgoetzl.de)

## Bitübertragungsschicht (The Physical Layer)

- ▶ Übertragungsmedien
- ▶ Bandbreiten begrenzte Signale
- ▶ Das Shannon-Hartley-Gesetz (Maximale Datenübertragungsrate)
  - Nyquist-Shannon-Abtasttheorem/Sampling-Theorem
- ▶ Digitale Modulation und Multiplexing
  - CDMA (Code Division Multiple Access)
  - Digitale Modulation: Leitungscodes
  - Digitale Modulationsverfahren mit einem Träger

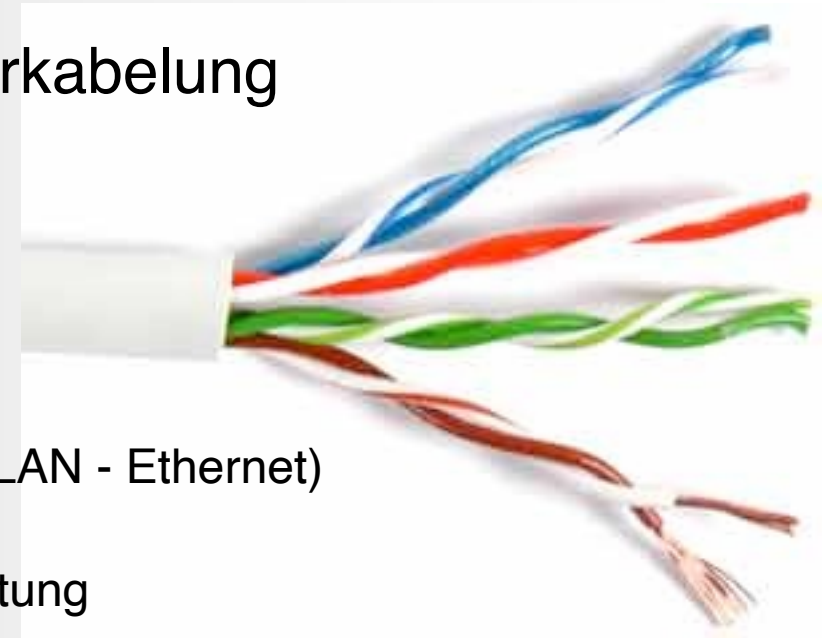
- ▶ Einteilung von Übertragungsmedien:
  - Leitergebundene Übertragungsmedien
  - Leiterungebundene Übertragungsmedien (Drahtlose Übertragung)

- ▶ Einteilung von leitergebundenen Übertragungsmedien:
  - Magnetisch
    - Twisted-Pair-Kabel oder Kabel mit verdrehten Adernpaaren
    - Koaxialkabel
    - Stromkabel (Power Line)
  - Lichtwellenleiter

- ▶ Einteilung von leiterungebundenen Übertragungsmedien:
  - Elektromagnetisch (Schmalband/Mikrowellen)
  - Infrarot
  - Lichtübertragung (Laser)

## Twisted Pair Kabel:

- ▶ Twisted Pair ist die am häufigsten verwendete Verkabelung
- ▶ Varianten:
  - Ein verdrehtes Adernpaar (Telefon)
  - Vier verdrehte Adernpaare mit und ohne eigene Abschirmung (LAN - Ethernet)
    - 100 MBit/s Ethernet verwendet 2 Adernpaare in jede Richtung
    - 1GBit/s Ethernet verwendet alle 4 Adernpaare in beide Richtungen, dabei muss der Empfänger entscheiden welches Signal für in relevant ist.
- ▶ Aktuelle Entwicklungen sind für Signale bis zu 500 MHz ausgelegt und bieten Datenübertragungsraten von bis zu 10 GBit/s
- ▶ Zukünftige Entwicklungen werden Datenraten von 40 - 100 GBit/s bieten



## Koaxialkabel:

### ► Aufbau:

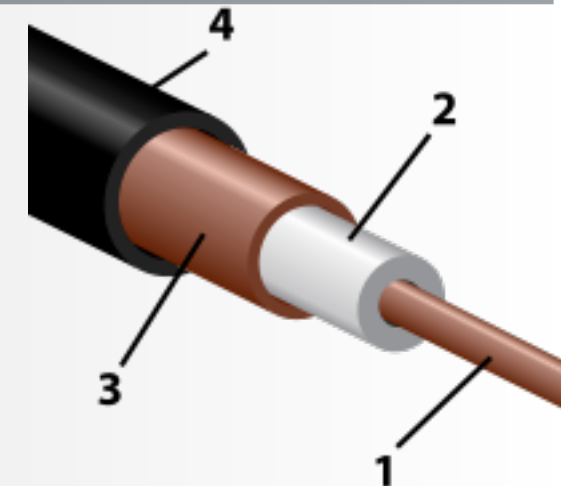
- (1) Seele oder Innenleiter, (2) Isolation oder Dielektrikum zwischen Innenleiter und Kabelschirm, (3) Außenleiter und Abschirmung, (4) Schutzmantel

### ► Varianten:

- 75Ω Koaxialkabel: Analogübertragungen und Kabelfernsehen, jetzt auch für Internetzugänge und digitales TV
- 50Ω Koaxialkabel: Digitalübertragungen bis in die 90'er Jahre (10MBit/s Ethernet)

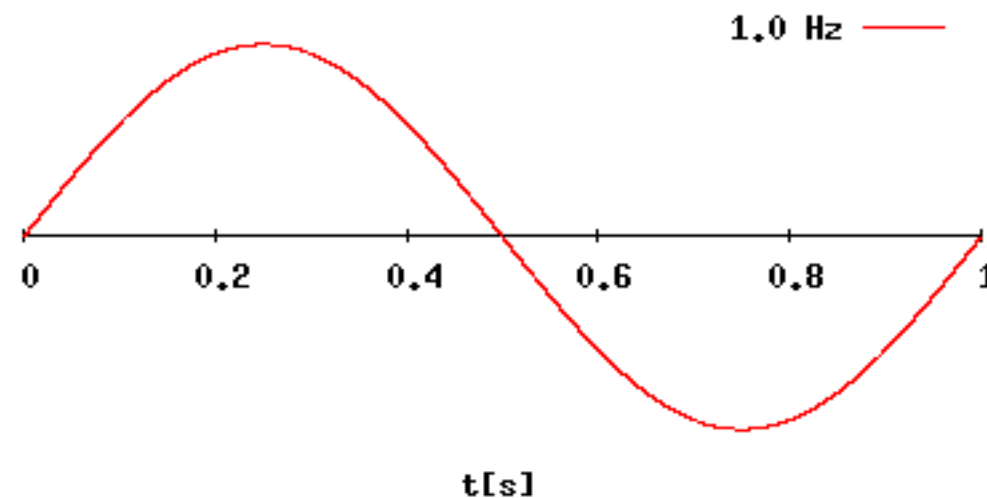
### ► Verwendung:

- Lange Zeit wurden Koaxialkabel im Festnetz Weitbereich eingesetzt, allerdings werden diese immer mehr durch LWL ersetzt.



## Begriff: Bandbreite

- ▶ Bandbreite (I): Die Bandbreite ist eine Kenngröße, die die Breite des Intervalls in einem Frequenzspektrum festlegt, in dem ein Signal ohne nennenswerte Verfremdungen/Deformationen übertragen werden kann. Diese Kenngröße wird in Hz (1/s) gemessen und ist abhängig von Übertragungsmedium (Material, Breite oder Länge)



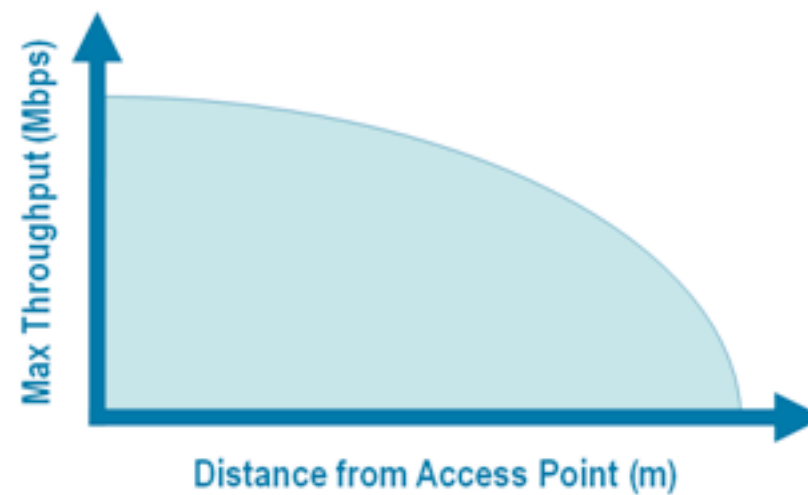


## Bandbreite Beispiel:

- ▶ Unter Bandbreite versteht man den Frequenzbereich, in dem ein Signal übertragen wird, also die Differenz zwischen größter (obere Grenzfrequenz) und kleinster (untere Grenzfrequenz) Frequenz.
  - ▶ Telefon(Festnetz):
    - ▶ obere Grenzfrequenz = 3400 Hz
    - ▶ untere Grenzfrequenz = 300 Hz
    - ▶ Bandbreite = 3100 hz

## Bandbreiten begrenzte Signale

- Bandbreite (II): Die Bandbreite ist die maximale Datenübertragungsrate auf einen Datenkanal, gemessen in Bit/s.



## Zusammenhang der beiden Bandbreiten Begriffe:

- ▶ Das theoretische Maximum der Datenrate auf einem Übertragungskanal in Abhängigkeit von **Bandbreite (Elektrotechnik) und Signal-zu-Rausch-Verhältnis** lässt sich durch das **Shannon-Hartley-Gesetz** bestimmen.
- ▶ Die tatsächliche Datenübertragungsrate ( $<$  Shannon Limit) hängt maßgeblich von der Verwendeten Kanalcodierung (zusätzliche Redundanz gegen Übertragungsfehler - Sicherungsschicht/Data Link Layer) ab.

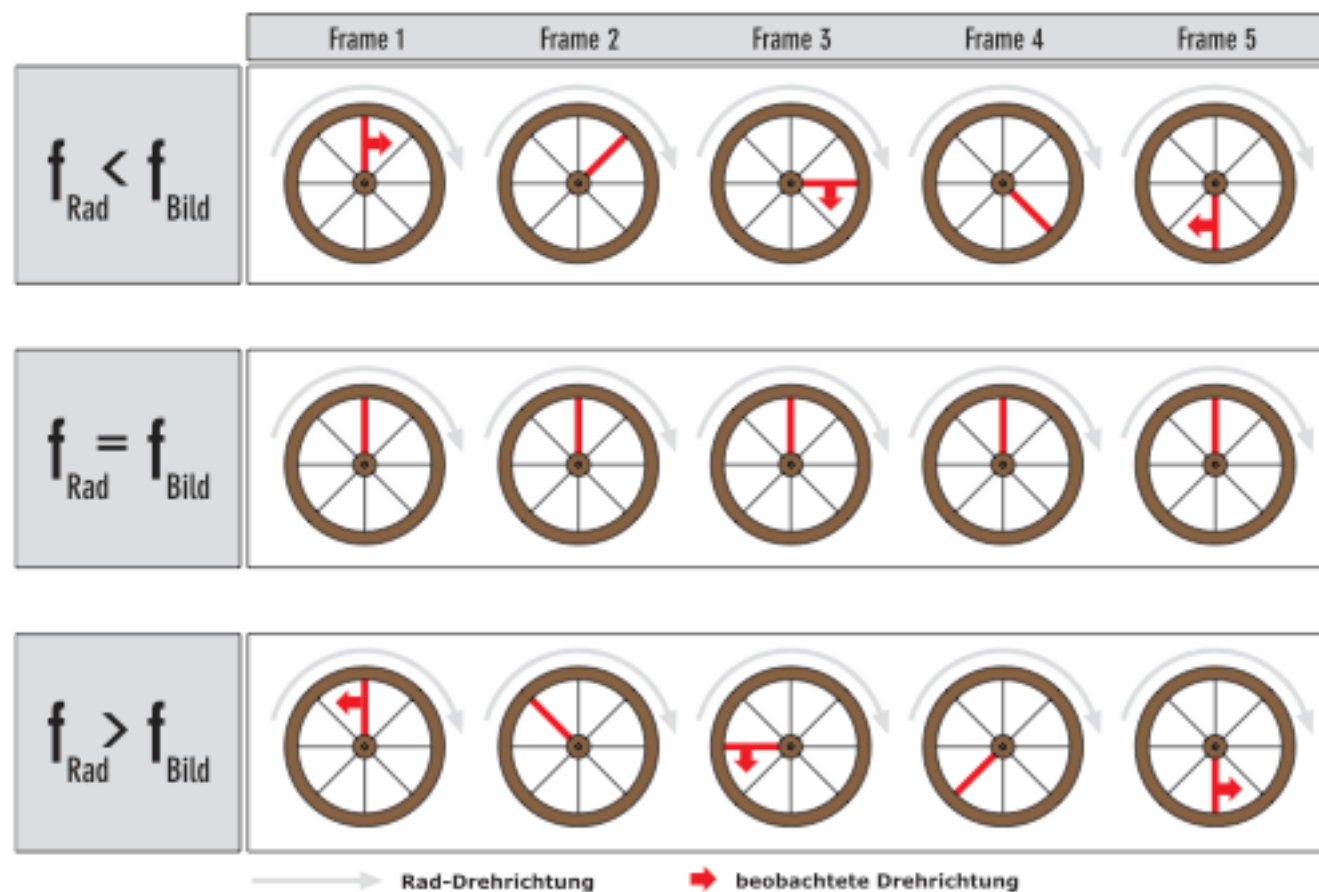
## Maximale Datenübertragungsrate bei einem rauschfreien Kanal:

- ▶ Die maximale Datenübertragungsrate  $C_N$  bei einem störungsfreien Kanal und einer Bandbreite  $B$  ist gegeben durch

$$C_N = 2 \cdot B$$

- ▶ Dieser Zusammenhang ist durch das Nyquist-Shannon-Abtasttheorem/Sampling-Theorem beschrieben.

## Nyquist-Shannon-Abtasttheorem/Sampling-Theorem



Anschaulich lässt sich das Nyquist/Shannon-Abtasttheorem mit einem sich drehenden Rad, welches zum Beispiel von einer Kamera gefilmt wird, darstellen.

Die erste Reihe der waagerecht angeordneten Radbilder demonstriert eine höhere Bildfrequenz der Kamera in Bezug zur Umdrehungszahl des Rades pro gleicher Zeiteinheit. **Die Bildfrequenz ist also höher als die Radfrequenz.**

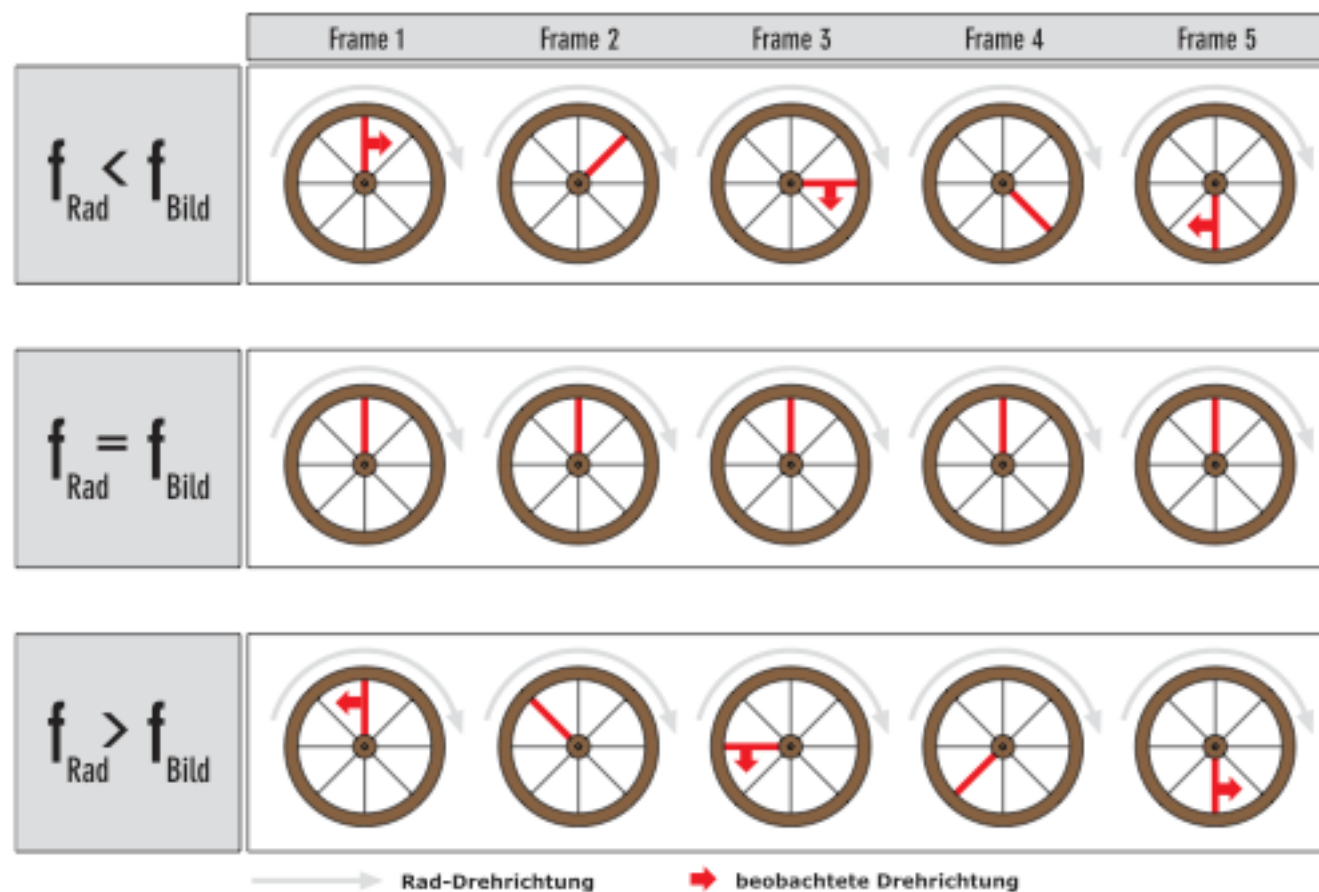
Nur unter dieser Bedingung lässt sich scheinbar die natürliche Vorwärtsbewegung des Wagenrates beobachten.

**Bemerkung: Die Abbildung zeigt eine 8 mal höhere Bildfrequenz.**

Erhöht sich die Radfrequenz und überschreitet diese die Hälfte der Bildfrequenz ( $f_{\text{Rad}} = 1/2 f_{\text{Bild}}$ ) führt das zur optischen Täuschung, die den Zuschauer glauben lässt, das Rad drehe sich langsamer.

**Bemerkung: Ab diesem Punkt wird das Nyquist/Shannon-Abtasttheorem verletzt.**

## Nyquist-Shannon-Abtasttheorem/Sampling-Theorem



In der zweiten Reihe nähert sich nun die Radfrequenz der vollen Bildfrequenz reduziert sich die beobachtbare Veränderung der Speichenposition. **Es kommt zum visuellen Stillstand, wenn Rad- und Bildfrequenz identisch sind ( $f_{\text{Rad}} = f_{\text{Bild}}$ ).**

In der dritten Reihe **überschreitet die Geschwindigkeit des Rades die Bildgeschwindigkeit ( $f_{\text{Rad}} > f_{\text{Bild}}$ )** und das Phänomen des rückläufigen Rades tritt auf

## Nyquist-Shannon-Abtasttheorem/Sampling-Theorem

**... für  $f_{\text{Rad}}=B$  (Bandfrequenz) und  $C_N=f_{\text{Bild}}$  (Abtastung)**

$$C_N = 2 \cdot B$$

## Maximale Datenübertragungsrate bei einem Kanal mit Rauschen:

- ▶ Das Shannon-Hartley-Gesetz berücksichtigt zusätzlich *den SNR (Signal-Rausch-Verhältnis)* und nimmt folgende Form an:

$$C_s = B \cdot \lg\left(1 + \frac{S}{N}\right)$$

- ▶ Binäres Symbolalphabet mit nur zwei Zeichen
- ▶  $S$  : Signalleistung
- ▶  $N$  : Rauschleistung
- ▶  $S/N$  : Signal-Rausch-Verhältnis (SNR)



## SNR - Signal-Rausch-Verhältnis

- ▶ Das Signal-Rausch-Verhältnis dient als Bewertungszahl zur Beurteilung der Qualität eines (analogen) Kommunikationspfades. Um die Information sicher aus dem Signal extrahieren zu können, muss sich das Nutzsignal deutlich vom Hintergrundrauschen abheben, das SNR muss also ausreichend groß sein. Fällt das SNR, steigt bei Digitalübertragungen die Fehlerrate. Das Signal-Rausch-Verhältnis ist definiert als das Verhältnis der vorhandenen mittleren Signalleistung  $P_S$  zur vorhandenen mittleren Rauschleistung  $P_R$

$$SNR = \frac{P_S}{P_R}$$

## SNR - Signal-Rausch-Verhältnis

- ▶ Bei vielen technischen Anwendungen ist die Signalleistung um viele Größenordnungen größer als die Rauschleistung, daher wird das Signal-Rausch-Verhältnis oft im logarithmischen Maßstab dargestellt. Man benutzt dazu die Pseudoeinheit Dezibel (dB):

$$SNR = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{P_S}{P_R}\right)dB$$

## Shannon-Hartley-Gesetz Beispiel:

- ▶ Telefonleitung (Festnetz):
  - ▶ obere Grenzfrequenz = 3400 Hz
  - ▶ untere Grenzfrequenz = 300 Hz
  - ▶ Bandbreite = 3100 Hz
  - ▶ SNR = 20 dB

## Shannon-Hartley-Gesetz Beispiel:

1.) Umwandlung SNR in S/N:  $SNR = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{S}{N}\right) \rightarrow 20dB = 10 \cdot \log_{10}(x)$

$$\Leftrightarrow 2db = \log_{10}(x) \Leftrightarrow 10^2 = x = 100 \rightarrow \frac{S}{N} = 100$$

Bemerkung: 10 db = 10  
20 db = 100  
30 db = 1000 usw.

## 2.) maximale Datenübertragungsrate:

$$C_s = B \cdot \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right) = 3100Hz \cdot \frac{\ln(1 + 100)}{\ln(2)} \text{bit} \approx 20640 \text{bit/s}$$

$$\log_a(b) = \frac{\ln(b)}{\ln(a)} \quad , \quad Hz = \frac{1}{s}$$

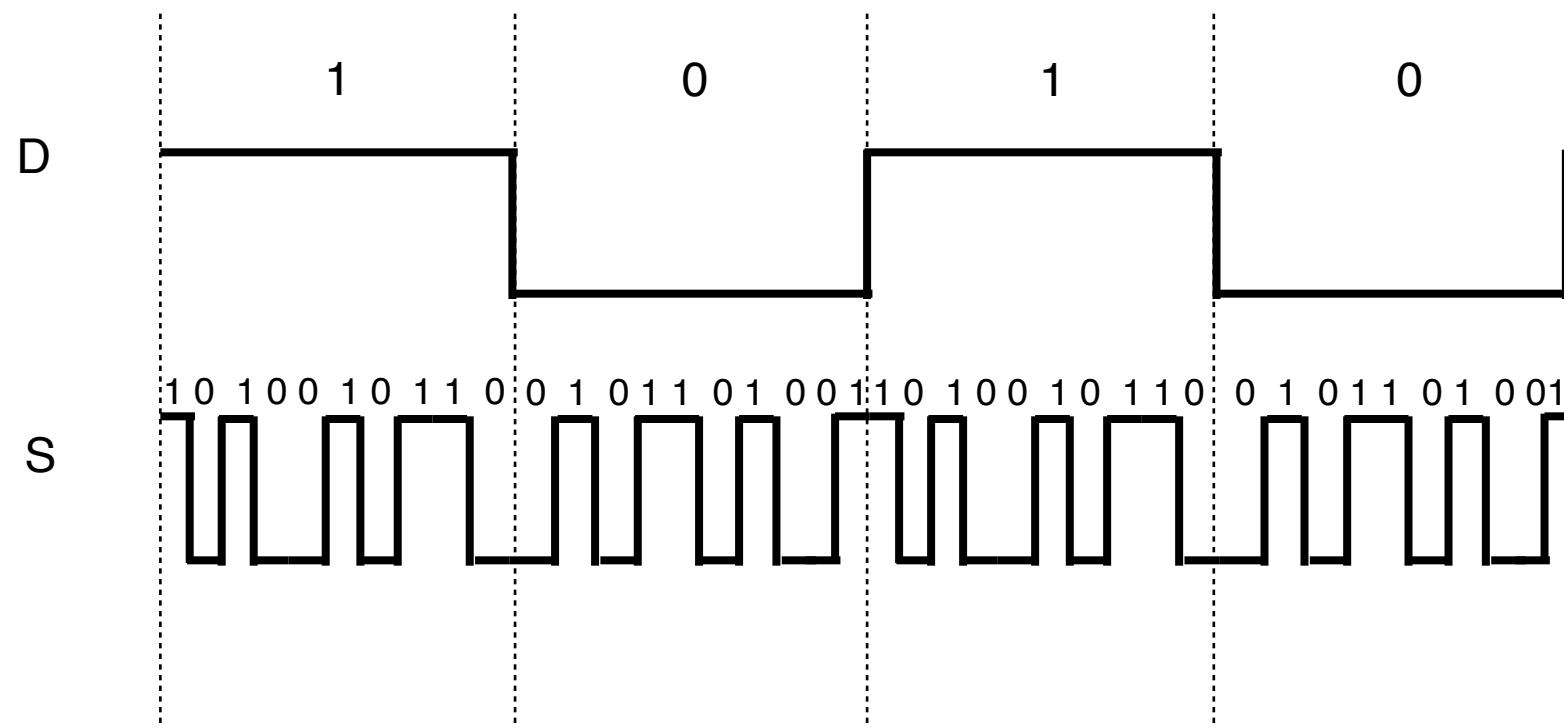
## Shannon-Hartley-Gesetz Übungsaufgabe:

**Maximale Datenübertragungsrate**

## **Multiplextechnik:**

- ▶ Die Multiplextechnik beschäftigt sich damit, mehrere Nutzsignale parallel und idealerweise ohne gegenseitige Beeinflussung über einen gemeinsam genutzten Kanal, zum Beispiel ein Kabel oder einen Funkfrequenzbereich, zu übertragen. Die praktische Umsetzung der verschiedenen Multiplextechniken wie Zeitmultiplex, Frequenzmultiplex oder Codemultiplex erfolgt durch Einsatz geeigneter Modulationsverfahren.

## Multiplexing Bsp.: CDMA (Code Division Multiple Access)



Bei CDMA steht die Trennung und Unterscheidung unterschiedlicher und parallel übertragener Datenströme über ein gemeinsames und dezidiert genutztes Frequenzband im Vordergrund. Zur Unterscheidung werden die **Datenströme mit speziellen Spreizcodes codiert**, wobei diese Codefolgen zusätzlich bestimmte Eigenschaften wie Orthogonalität aufweisen.

Jeder Station wird eine Codierung (Spreizcode) zugewiesen (Beispiel "1010010110").

- Um eine "1" zu senden sendet sie ihren Code ("1010010110")
- Um eine "0" zu senden sendet sie die Negation ihres Code ("0101101001")

D: Datensignal, S: Übertragenes Signal  
Spreizcode Länge = 10: Bandspreizung um Faktor 10

## Multiplexing Bsp.: CDMA (Code Division Multiple Access)

- ▶ Für das Codemultiplexverfahren muss für jeden Teilnehmer eine eigene **Codefolge** vorliegen, welche sich von allen anderen Codefolgen durch eine **möglichst minimale Kreuzkorrelation unterscheidet**. Solche Codefolgen werden auch als **orthogonal** bezeichnet. Ein Beispiel sind die **streng orthogonalen Walsh-Codes**.
- ▶ Damit lassen sich auf einem Frequenzband mehrere Signale übertragen und macht das Verfahren sehr robust gegen Interferenzen.



## Bsp.: CDMA - Walsch Codes

Mathematisch wird die Orthogonalität wie folgt ausgedrückt (Skalarprodukt):

$$S \bullet T \equiv \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_i = 0$$

Spreizcodes sind orthogonal wenn das Skalarprodukt aller beliebigen, von einander verschiedenen, Spreizcodes **S** und **T** (Darstellung: **S•T**) gleich **0** ist.

## Bsp.: CDMA - Walsch Codes

Weitere Forderungen:

1.)  $S \bullet T = 0 \Leftrightarrow S \bullet \bar{T} = 0$

2.)  $S \bullet S = 1$

1.) Wenn das Skalarprodukt von S und T gleich 0 ist, dann ist auch das Skalarprodukt von S und der Negation von T gleich 0.

2.) Das Skalarprodukt von S mit sich selbst ist 1:

$$S \bullet S = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i S_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i^2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\pm 1)^2 = 1$$

## **Bsp.: CDMA - Walsch Codes**

Mit den Walsch Codes lassen sich für  $2^n$  Stationen,  $2^n$  orthogonale Spreizcodes mit einer Länge von  $2^n$  erzeugen.

Das CDMA Modulation wird also durch die Bandbreite und die Anzahl verfügbarer orthogonaler Spreizcodes begrenzt.

## Bsp.: CDMA - Synchrones - Asynchrones CDMA

- ▶ Eine weitere Limitierung der Bandspreizung ist, dass nicht bei jeder Anwendung, die eingesetzten Codes zeitlich exakt ausgerichtet werden können.
- ▶ Bei asynchronen CDMA besteht keine Möglichkeit, die Codephasenverschiebung zwischen den Teilnehmern zu steuern. In diesem Fall ist nicht mehr die Kreuzkorrelation zwischen den einzelnen Codefolgen bestimmend, sondern die ungerade Kreuzkorrelation, welche beliebige Verschiebungen zwischen den Codefolgen erlaubt.
  - Bei asynchronen CDMA werden Pseudozufallsdatenfolgen mit wesentlich längerer Periodenlänge als ein Symbolintervall zur Bandspreizung eingesetzt.
  - Da nur näherungsweise orthogonale Codefolgen vorliegen, müssen die durch Übersprechen entstehenden Fehler durch eine geeignete Kanalcodierung (zusätzliche Redundanz gegen Übertragungsfehler - Sicherungsschicht/Data Link Layer) korrigiert werden

## Synchrones CDMA - Walsch Codes Beispiel

Zwei Stationen und deren Code sind gegeben mit :

$$A = (-1, -1, -1, +1, +1, -1, +1, +1)$$

$$B = (-1, -1, +1, -1, +1, +1, +1, -1) \quad \bar{B} = (+1, +1, -1, +1, -1, -1, -1, +1)$$

Station A sendet eine 1 (Code A) und Station B sendet eine 0 (Negation von Code B):

$$S = A + \bar{B} = (0, 0, -2, +2, 0, -2, 0, +2)$$

Was A bzw. B gesendet hat wenn S Empfangen wurde lässt sich aus dem Skalarprodukt von S und dem Code der jeweiligen Station berechnen (Voraussetzung ist die orthogonalität der Codes A und B):

$$S \bullet A = \frac{(0 + 0 + 2 + 2 + 0 + 2 + 0 + 2)}{8} = +1$$

$$S \bullet B = \frac{(0 + 0 - 2 - 2 + 0 - 2 + 0 - 2)}{8} = -1$$

## Synchrones CDMA - Walsch Codes Beispiel

Eine weitere Station C sei gegeben:

$$C = (-1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, -1)$$

Station A sendet eine 1 (Code A) und Station B sendet eine 0 (Negation von Code B):

$$S = A + \bar{B} = (0, 0, -2, +2, 0, -2, 0, +2)$$

Das Skalarprodukt von S und C ergibt:

$$S \bullet C = \frac{(0 + 0 + 2 + 2 + 0 - 2 + 0 - 2)}{8} = 0$$

Die Station C war bei der Nachrichtenübermittlung nicht beteiligt!

## **Synchrones CDMA - Übungsaufgabe**

## Digitale Modulation:

- ▶ Digitale Modulationsverfahren übertragen Symbole, die für Sender und Empfänger jeweils eindeutig definiert sind.
  - Leitungscodes (Basisband Übertragung)
    - Non-Return-to-Zero (NRZ)
    - Return-to-Zero (RZ)
    - Manchester Code
  - Digitale Modulationsverfahren mit einem Träger



## Digitale Modulation: Bandbreiteneffizienz

- ▶ Um Informationen zu übertragen kann ein Signal z.B. zwischen einer negativen und einer positiven Ladung pendeln. (Beispiel -8V : logische 1, +8V logische 0)
- ▶ Um Information mit einer bestimmten Bitrate  $C$  zu übertragen und wiederzugewinnen wird eine minimal Bandbreite  $\frac{C}{2}$  benötigt.
  - Vergleiche Nyquist-Shannon-Abtasttheorem/Sampling-Theorem:

$$C = 2 \cdot B \Leftrightarrow B = \frac{C}{2}$$

- ▶ Die Bandbreite ist, auch bei Leitergebunden Übertragungsmedien, begrenzt.

## Digitale Modulation: Bandbreiteneffizienz

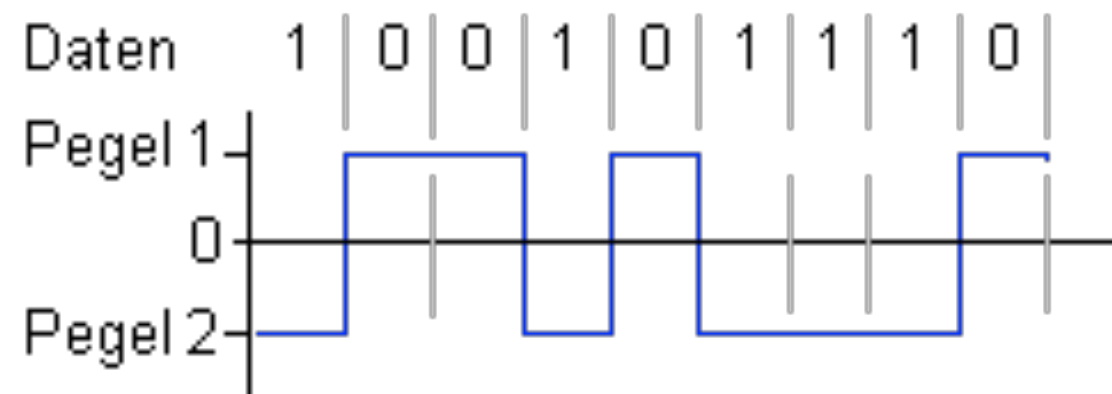
- ▶ Eine Möglichkeit, die limitierte Bandbreite besser zu nutzen ist, mehr als zwei Signalstufen (Symbole) bei der Übertragung zu nutzen (z.B. -8V, 0V, +8V)
- ▶ Die Bitrate stellt sich, unter Berücksichtigung mehrerer Signalstufen, folgendermaßen dar:

$$C = 2 \cdot B \cdot \lg(S)$$

Mit  $S$  = Anzahl der Signalstufen (Symbole)

**Bemerkung:** Der Zusammenhang mit dem **Shannon-Hartley-Gesetz** stellt sich dahingehend, dass der SNR ein Kriterium ist für die Anzahl der unterscheidbaren Symbole auf einem Kanal mit Rauschen ist.

## Digitale Modulation: NRZ-Codierung



NRZ-Leitungscode

Die **Non-Return-to-Zero oder NRZ-Codierung** ist der einfachste digitale Leitungscode. Ein binäres Signal entspricht einem NRZ-Code.

Es gibt **zwei unterschiedliche Signalpegel, die beide als Informationsträger dienen**, wobei einer der Spannungspegel auch den Wert 0 Volt haben kann. **Eine längere Folge gleicher High oder Low Bit-Zustände ergibt auf der Leitung keine Pegeländerungen.** Damit der Empfänger den Datenstrom richtig auslesen kann, **muss parallel ein Taktsignal mitgesendet werden.**

Die NRZ-Codierung ist im zeitlichen Mittel nicht gleichspannungsfrei.

## Digitale Modulation: Probleme der Umsetzung von Leitungscodes

### ► Bandbreitenbedarf

- Die Schrittgeschwindigkeit ist ein wichtiger Parameter. Sie steht für die Anzahl der Signalwechsel pro Sekunde und wird in Baud [Bd] angegeben. Da die Schrittgeschwindigkeit auch größer als die Datenübertragungsrate sein kann, bestimmt sie den Bandbreitenbedarf.
  - Ein Leitungscode sollte also versuchen eine möglichst geringe Schrittgeschwindigkeit zu erzeugen.

### ► Übermittlung des Sendetakts

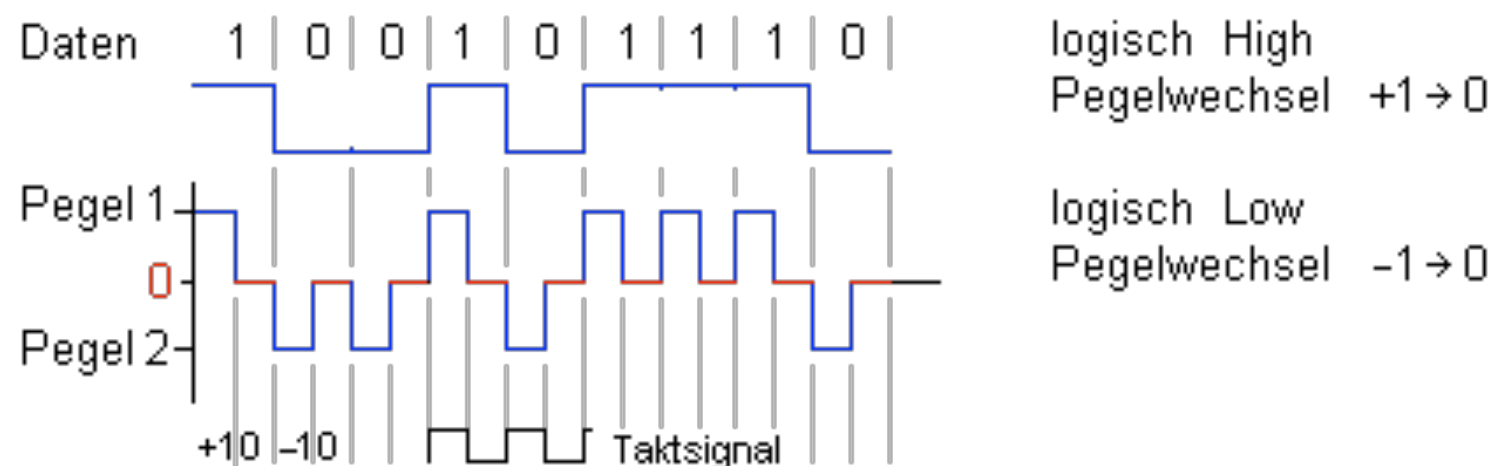
- Die Übermittlung des Sendetakts ist eine wichtige Aufgabe der Leitungscodes. Der Datenempfänger muss sich auf den Sender synchronisieren können, um die Daten korrekt auszuwerten. Der Empfänger kann aus einem seriellen binären Datenstrom mit einer längeren Folge von High- oder Low-Pegelzuständen keine Taktinformation gewinnen.
  - Der Sendetakt muss dazu auf einer parallelen Leitung, besser aber mit den Daten selber übertragen werden.

## Digitale Modulation: Probleme der Umsetzung von Leitungscodes

### ► Gleichspannungsfreiheit

- Durch ein Ungleichgewicht an High- und Low-Zuständen entstehen auf der Leitung im zeitlichen Mittel DC-Pegel (Gleichspannungsanteile). Gleichspannung verhindert den Einsatz von Transformatoren und lässt sich damit nicht über weite Strecken transportieren. Auch der Einsatz von Repeatern (Versorgung des Kabels mit Energie - Gleichspannung) ist dann nicht mehr möglich.
  - Ein Leitungscode sollte also versuchen im zeitlichen Mittel ein gleichspannungsfreies Signal zu erzeugen.

## Digitale Modulation: RZ-Codierung



Return-to-Zero-Leitungscode

Der **Return-to-Zero oder RZ-Code** führt das Signal nach einem **halben Bittakt vom High- oder Low-Pegel in den neutralen Nullzustand** zurück.

Es gibt **drei Sendesymbole**, die allgemein mit +1, 0 und -1 bezeichnet werden, wobei ein **Datenbit durch zwei Symbole** gekennzeichnet ist.

Entspricht der **High-Pegel als logische Eins einer +1, 0 Folge**, dann hat die **logische Null als Low-Pegel eine -1, 0 Folge**.

Die Symbolrate wird durch die RZ-Codierung verdoppelt.

Jedes gesendete Bit erzeugt eine Pegeländerung, auf die sich der Empfänger synchronisieren kann. **Der RZ-Leitungscode enthält das Taktsignal.**

Die Schrittdauer der Binärdaten ist hierbei gleich der Periodendauer des Taktsignals. Die **Bitrate oder Bitfolgefrequenz ist nur halb so groß wie Taktfrequenz**. Das ist ein Nachteil der Return-to-Zero-Codierung, da das Sendesignal eine größere Bandbreite benötigt oder ohne Signalregeneration nur über eine kürzere Strecke sicher übertragen werden kann.

**Im zeitlichen Mittel ist der RZ-Code nicht gleichspannungsfrei.**

IrDA-Schnittstelle im Übertragungsmodus SIR

## Digitale Modulation: RZ-Codierung Beispiel

D	RZ
1	+1
	0
0	-1
	0
0	-1
	0
1	+1
	0
0	-1
	0
1	+1
	0
1	+1
	0
1	+1
	0

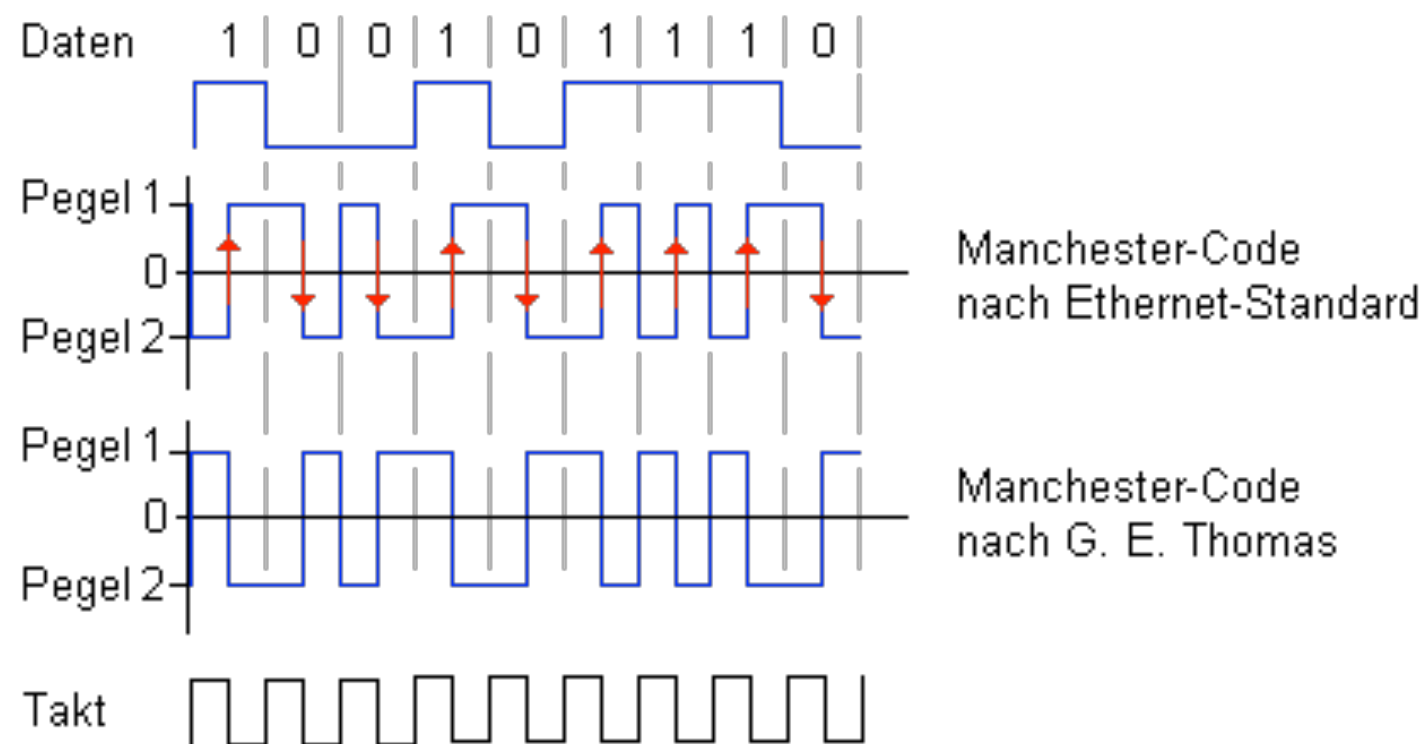
D: Daten (Dezimal: 151)

RZ: RZ Code

logisch 1 -> +1,0 Sequenz

logisch 0 -> -1,0 Sequenz

## Digitale Modulation: Manchester-Kodierung



Die **einfache Bit-Manchester-Codierung** teilt ebenfalls jedes Datenbit in zwei Hälften, wodurch **der Leitungscode das Taktsignal erhält**.

Nach dem **Ethernet-Standard** codiert die **ansteigende Flanke im Manchestercode die logische 1** als High-Zustand im Datenstrom. Die **fallende Flanke im Manchestercode, bezogen auf die zeitliche Abfolge des Datenstroms steht für die logische 0**, dem Low-Zustand des Datenstroms.

Die Information ist an die Signalfanken gebunden, die Codierung entspricht damit einem digitalen Phase-Shift-Keying-Verfahren.

In der **ursprünglichen Definition des Manchester-Codes, nach G. E. Thomas**, bezeichnete **der fallende Flankenwechsel ein High-Bit** und **der ansteigenden Wechsel das Low-Bit**. So entsprach der zuerst gesendete Wert im Leitungscode direkt dem Datenwert.

Vergleicht man den Leitungscode beider Verfahren, so sind sie **zueinander invertiert**. Ist das Verfahren nicht grundsätzlich bekannt, dann wird vor dem Datenstrom ein definiertes Bitmuster, die Präambel gesendet.

**Die Manchester-Kodierung erzeugt einen gleichspannungsfreien Leitungscode.**

Von Nachteil ist der **doppelte Bandbreitenbedarf** aufgrund des Pegelwechsels innerhalb jedes Datenbits.

Der Leitungscode weist maximal nur zwei gleiche Zustände in Folge auf, die dann aber zur Hälfte zwei unterschiedlichen Datenbits zugeordnet sind.

10-MBit/s-Ethernet nach der Norm IEEE 802.3 und Token-Ring



## Digitale Modulation: Manchester-Kodierung Beispiel

D	T	M
0	1	1
	0	0
1	1	0
	0	1
1	1	0
	0	1
1	1	0
	0	1
0	1	1
	0	0
0	1	1
	0	0
1	1	0
	0	1

D: Daten (Dezimal: 113)

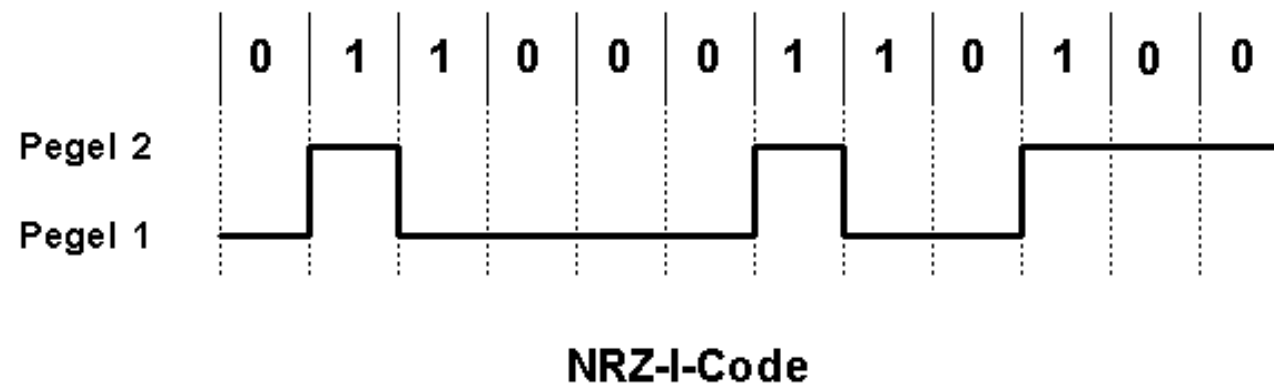
T: Takt

M: Manchester Code

XOR ( $\underline{\vee}$ )		
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A</i> $\underline{\vee}$ <i>B</i>
Ja	Ja	Nein
Ja	Nein	Ja
Nein	Ja	Ja
Nein	Nein	Nein

## Digitale Modulation: Weitere Leitungscodes

- ▶ Non-Return-to-Zero Invert (NRZI)
  - Die NRZI-Kodierung ordnet einem der beiden Bit-Werte den bereits anliegenden Leitungszustand zu, dem anderen Bit-Wert einen Zustandswechsel (Invert)



- Im zeitlichen Mittel ist der NRZI-Code nicht gleichspannungsfrei.
  - Eine längere Folge gleicher High oder Low Bit-Zustände ergibt auf der Leitung keine Pegeländerungen.

USB, Ethernet über Glasfaser (100-Base-FX)

## Digitale Modulation: Weitere Leitungscodes - Block-Kodierungen

- ▶ Block-Kodierungen gibt es in unterschiedlichen Varianten (4B5B, 5B6B, 8B10B)
- ▶ 4B5B-Kodierung
  - Vier Nutzdatenbits werden auf fünf Codebits abgebildet
  - Wegen des zusätzlichen Bits zur Kodierung wird die kodierte Bitrate um den Faktor 5/4 gegenüber der Nutzdatenbitrate gesteigert.
  - Mit 5 Bits sind 32 Kodierungen möglich
    - Nur 16 Kodierungen werden für Daten verwendet (0-9 und A-F)
    - Die Übrigen 16 Kodierungen werden teilweise für Steuerzwecke verwendet
  - Übertragung der Bits erfolgt mittels NRZI-Kodierung

Bezeichnung	4B	5B	Funktion
0	0000	11110	0 Hexadezimal (Nutzdaten)
1	0001	01001	1 Hexadezimal (Nutzdaten)
2	0010	10100	2 Hexadezimal (Nutzdaten)
3	0011	10101	3 Hexadezimal (Nutzdaten)
4	0100	01010	4 Hexadezimal (Nutzdaten)
5	0101	01011	5 Hexadezimal (Nutzdaten)
6	0110	01110	6 Hexadezimal (Nutzdaten)
7	0111	01111	7 Hexadezimal (Nutzdaten)
8	1000	10010	8 Hexadezimal (Nutzdaten)
9	1001	10011	9 Hexadezimal (Nutzdaten)
A	1010	10110	A Hexadezimal (Nutzdaten)
B	1011	10111	B Hexadezimal (Nutzdaten)
C	1100	11010	C Hexadezimal (Nutzdaten)
D	1101	11011	D Hexadezimal (Nutzdaten)
E	1110	11100	E Hexadezimal (Nutzdaten)
F	1111	11101	F Hexadezimal (Nutzdaten)
Q	—	00000	Quiet (Leitung ist tot) $\Rightarrow$ Signalverlust
I	—	11111	Idle (Leitung ist untätig) $\Rightarrow$ Pause
J	—	11000	Start (Teil 1)
K	—	10001	Start (Teil 2)
T	—	01101	Ende (Teil 1)
R	—	00111	Ende (Teil 2) $\Rightarrow$ Reset
S	—	11001	Set
H	—	00100	Halt (Übertragungsfehler)

100 Mbit/s Ethernet

## **Digitale Modulation: Weitere Leitungscodes - AMI Kodierung (Alternate Mark Inversion)**

- ▶ Arbeitet mit drei Pegeln bzw. Spannungsniveaus (+, 0 und -)
  - Logische Null wird dabei als Pegel 0 übertragen
  - Logische Einsen werden abwechselnd als + oder - Übertragen
- ▶ Beim Übertragen einer längeren Serie von Nullen erfolgt kein Pegelwechsel.
  - Gleichspannungsfrei.
  - Taktwiederherstellung ist für den Empfänger schwierig.

## **Digitale Modulation: Leitungscodes - Übungsaufgabe**

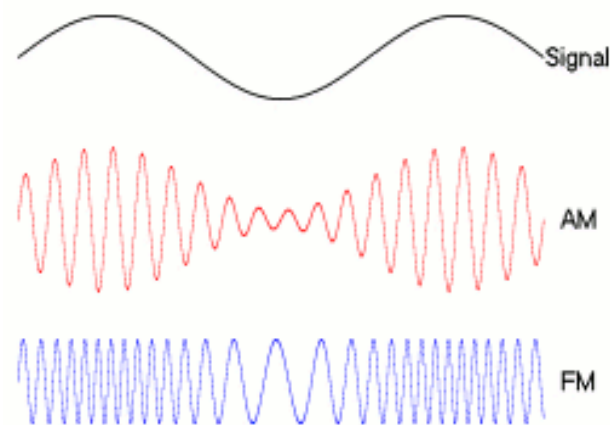
Folgende Daten sollen per RZ Kodierung und per Manchester Code übertragen werden: 46, 70, 113

Geben Sie jeweils die Kodierung (RZ und Manchester) sowie die Signalverläufe (Daten, RZ und Manchester) an.

Die verwendeten Pegel sind: -8V, 0V und +8V

## Digitale Modulation: Digitale Modulationsverfahren mit einem Träger

- ▶ Bei vielen Anwendungen muss eine hochfrequente Übertragung für die Übertragung eines niederfrequenten Nutzsignals verwendet werden.
  - Zum Beispiel beim Frequenzmultiplex (Frequenzen der zugeteilten Frequenzbänder muss benutzt werden)
  - Bei Leiterungebunden Medien (z.B. Funk, Radio) werden bei niederfrequent Übertragungen sehr große Antennen benötigt.



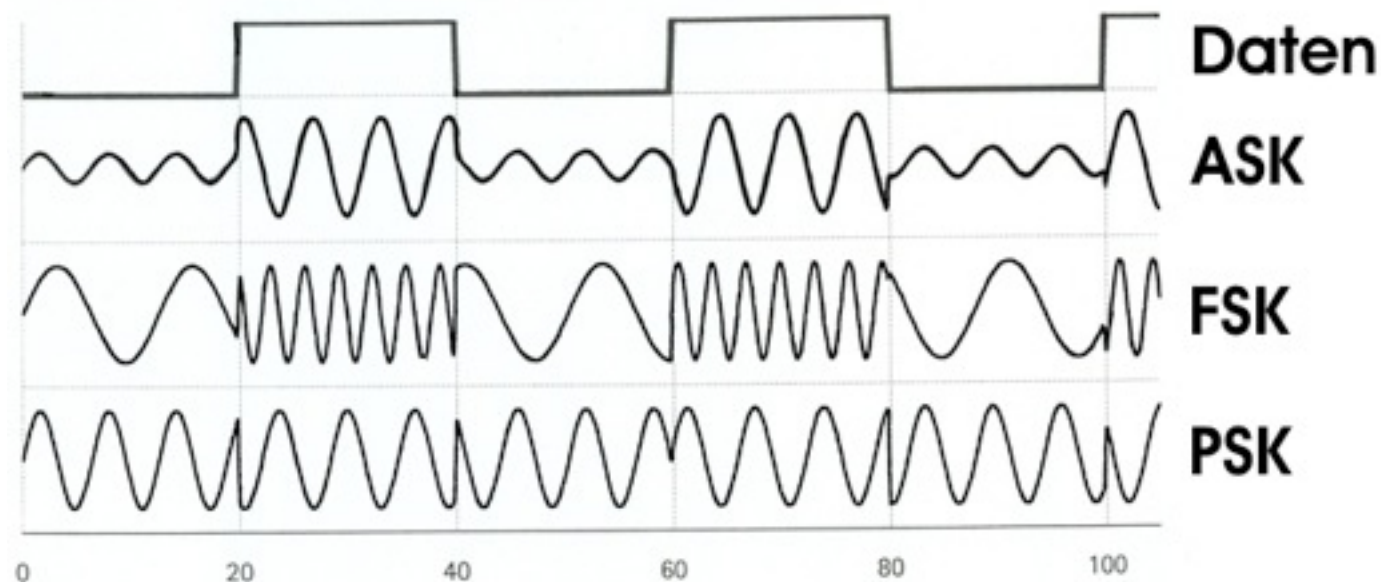
## Digitale Modulation: Digitale Modulationsverfahren mit einem Träger

- ▶ Nutzsingnale sind niederfrequent, da sehr schnelle Elektronik benötigt wird um die Signale abzutasten (Vgl. Nyquist-Shannon-Abtasttheorem)

$$C_N = 2 \cdot B$$

- Es wird minimal die doppelte Frequenz bei der abtastenden Elektronik verlangt als die Frequenz des Nutzsingnals.

## Digitale Modulation: Digitale Modulationsverfahren mit einem Träger - Anwendungen



### Amplitudenumtastung (Amplitude-Shift Keying - ASK)

Dabei wird die Amplitude der Träger verändert, um verschiedene Werte zu übertragen.

### Frequenzumtastung (Frequency Shift Keying - FSK)

Dabei wird die Trägerfrequenz zwischen einem Satz unterschiedlicher Frequenzen verändert, welche die einzelnen Sendesymbole darstellen.

### Phasenumtastung (Phase-Shift Keying - PSK)

Dabei wird die Phase der Trägerfrequenz verschoben, um verschiedene Werte zu übertragen.

Bei der Quadraturphasenumtastung oder Vierphasen-Modulation (Quaternary Phase-Shift Keying- QPSK) können pro Symbol zwei Bits (01, 10, 00, 11) übertragen werden. Dadurch verdoppelt sich die Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Bandbreite