

# 1. TUTORIUM

DATENKOMMUNIKATION UND SICHERHEIT

TUTORIUMSGRUPPE 18

MATTHIS FRANZGROTE

COMSYS

RWTH AACHEN

28.04.2021

- 1 Aufgabe 2.1: Selbsttaktende Codes
- 2 Aufgabe 2.2: Modulation und Leitungscodes
- 3 Aufgabe 2.3: Quadrature Amplitude Modulation
- 4 Aufgabe 2.4: Signalübertragung - Nyquist & Shannon

## **AUFGABE 2.1: SELBSTTAKTENDE CODES**

## AUFGABE 2.1 A)

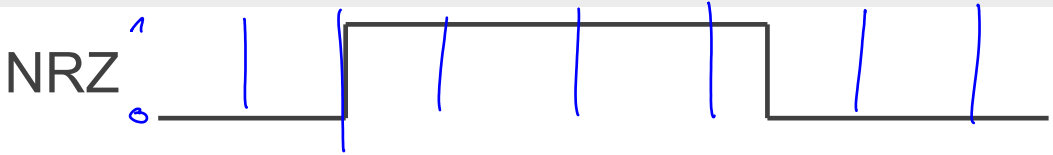
### Aufgabe

*Erklären Sie knapp die Bedeutung des Begriffs Selbsttaktung.*

## AUFGABE 2.1 A)

### Aufgabe

Erklären Sie *knapp* die Bedeutung des Begriffs *Selbsttaktung*.



## AUFGABE 2.1 A)

### Aufgabe

*Erklären Sie knapp die Bedeutung des Begriffs Selbsttaktung.*

NRZ



⇒ Synchronisation ist wichtig um die Übertragung richtig zu interpretieren

### Aufgabe

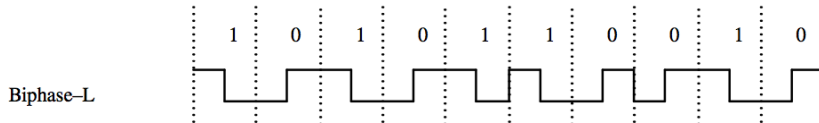
*Erklären Sie knapp die Bedeutung des Begriffs Selbsttaktung.*

- Synchronisation zwischen Sender und Empfänger kann ohne weitere Hilfsmittel sichergestellt werden
- Taktinformation in die Signalfolge eingebettet
- (Empfänger kann die Länge eines Bits ausmessen)

### Aufgabe

Geben Sie an, ob die folgenden Codes selbsttaktend sind: *Manchester*, *NRZ*.  
Begründen Sie jeweils knapp, warum der Code selbsttaktend ist bzw. warum nicht.

#### Manchester (Biphase-L):





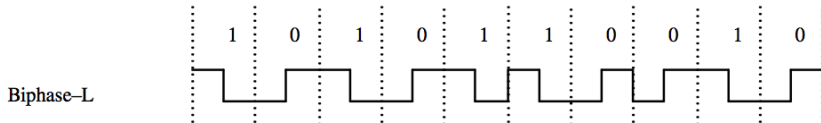
## AUFGABE 2.1 B)

### Aufgabe

Geben Sie an, ob die folgenden Codes selbsttaktend sind: *Manchester*, *NRZ*.  
Begründen Sie jeweils knapp, warum der Code selbsttaktend ist bzw. warum nicht.

#### **Manchester (Biphase-L):**

Selbsttaktend, jedes Bit für zwei Schritte mit garantiertem Pegelwechsel übertragen



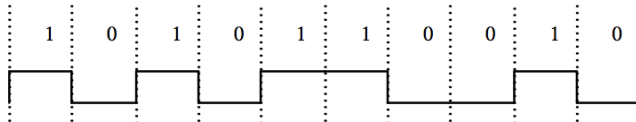
## AUFGABE 2.1 B)

### Aufgabe

Geben Sie an, ob die folgenden Codes selbsttaktend sind: *Manchester*, *NRZ*.  
Begründen Sie jeweils knapp, warum der Code selbsttaktend ist bzw. warum nicht.

**NRZ:**

NRZ-L



## AUFGABE 2.1 B)

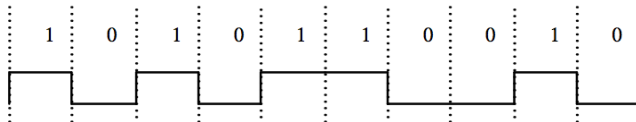
### Aufgabe

Geben Sie an, ob die folgenden Codes selbsttaktend sind: *Manchester*, *NRZ*.  
Begründen Sie jeweils knapp, warum der Code selbsttaktend ist bzw. warum nicht.

#### **NRZ:**

Nicht selbsttaktend, jedes Bit mit festgelegtem Pegel für einen Schritt übertragen, also ggf. der gleiche Pegel in mehreren Takten hintereinander

NRZ-L



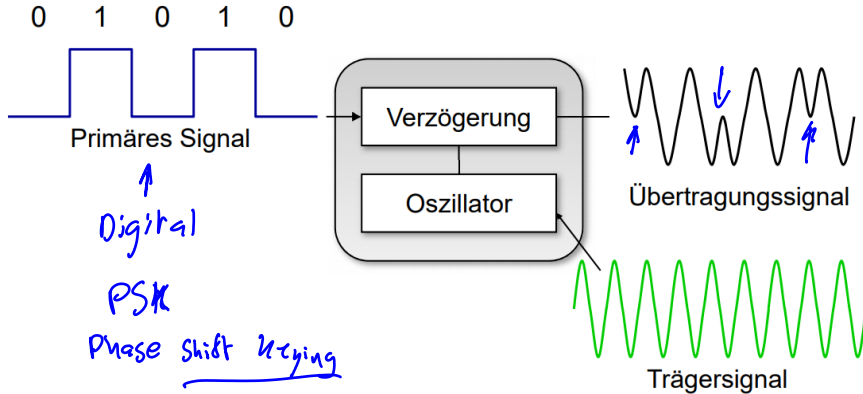
# **AUFGABE 2.2: MODULATION UND LEITUNGS- CODES**

### Aufgabe

Ein Rechner hat die Bitsquenz 101000001111 zu übertragen. Skizzieren Sie im nachfolgenden Diagramm die Übertragung der Bitsequenz mittels *Phasenmodulation* und *Biphase-S*.

# PHASENMODULATION

Primäres Signal mittels Phasensprünge des Trägersignals moduliert



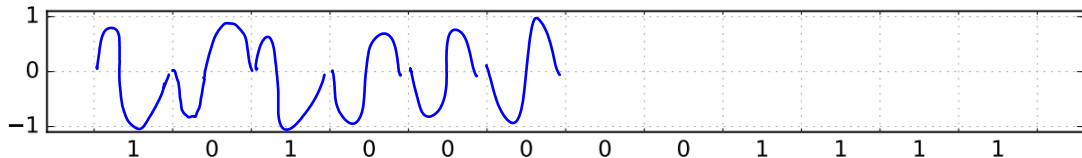
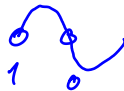
## AUFGABE 2.2

### Aufgabe

Ein Rechner hat die Bitsquenz 101000001111 zu übertragen. Skizzieren Sie im nachfolgenden Diagramm die Übertragung der Bitsequenz mittels **Phasenmodulation** und *Biphase-S*.

Hier:

- 0 → 180° Phasenverschiebung
- 1 → Keine Phasenverschiebung



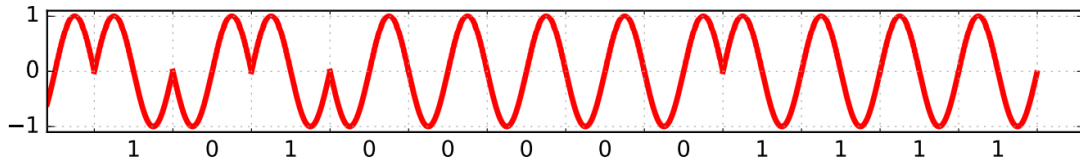
## AUFGABE 2.2

### Aufgabe

Ein Rechner hat die Bitsquenz 101000001111 zu übertragen. Skizzieren Sie im nachfolgenden Diagramm die Übertragung der Bitsequenz mittels **Phasenmodulation** und *Biphase-S*.

Hier:

- 0 → 180° Phasenverschiebung
- 1 → Keine Phasenverschiebung





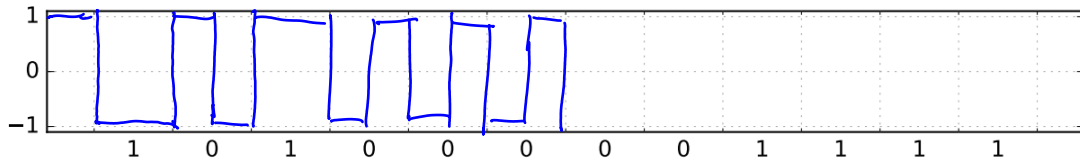
## AUFGABE 2.2

### Aufgabe

Ein Rechner hat die Bitssequenz 101000001111 zu übertragen. Skizzieren Sie im nachfolgenden Diagramm die Übertragung der Bitsequenz mittels *Phasenmodulation* und **Biphase-S**.

Biphase-S (Diff. Manchester):

- 0 → 2 Pegelwechsel
- 1 → 1 Pegelwechsel (nur am Anfang des Taktes)



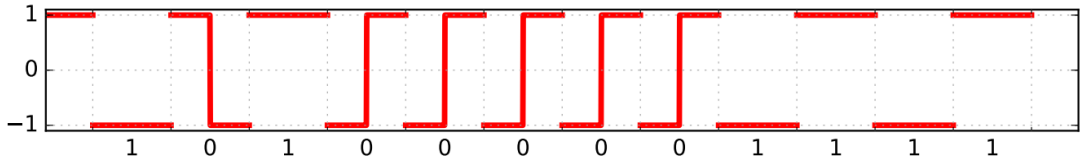
## AUFGABE 2.2

### Aufgabe

Ein Rechner hat die Bitssequenz 101000001111 zu übertragen. Skizzieren Sie im nachfolgenden Diagramm die Übertragung der Bitsequenz mittels *Phasenmodulation* und **Biphase-S**.

Biphase-S (Diff. Manchester):

- 0 → 2 Pegelwechsel
- 1 → 1 Pegelwechsel (nur am Anfang des Taktes)

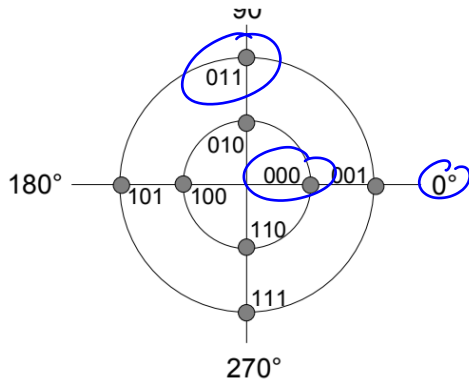


## **AUFGABE 2.3: QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION**

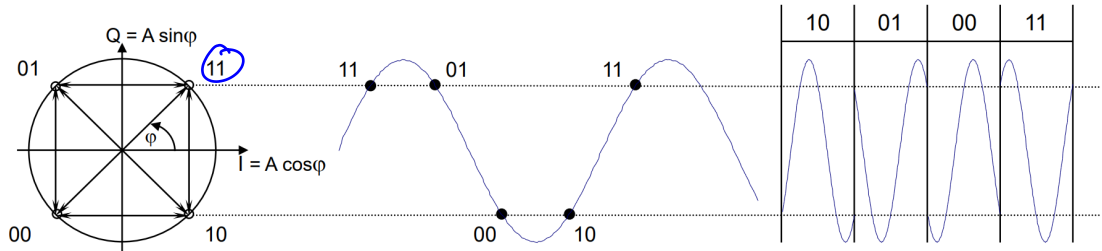
## AUFGABE 2.3

Es soll mit einer vereinfachten Variation der 8-QAM übertragen werden, die im Folgenden dargestellt ist:

Bitwert	Amplitude	Phasenverschiebung
000	1	0°
001	2	0°
010	1	90°
011	2	90°
100	1	180°
101	2	180°
110	1	270°
111	2	270°



- Kombination aus Amplituden- und Phasenmodulation
- <sup>Bit</sup>  $n$  Symbole in einem Taktschritt
- $2^n$  diskrete Signalwerte
- 16-QAM: 16 Signalwerte repräsentieren 4 Bit

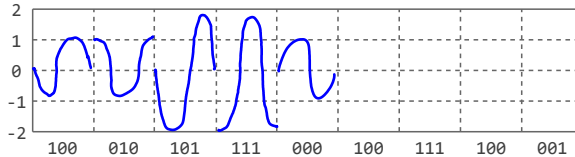
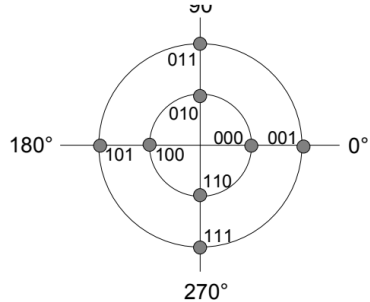


### Aufgabe

Die Bitfolge 100010101111000100111100001 soll gesendet werden. *Zeichnen Sie die Signalfolge*, die dazu übertragen wird. Gehen Sie davon aus, dass ein Schritt genau einer Oszillation der Trägerschwingung entspricht, Sie also jedes Signal mit genau einer Schwingung darstellen können.

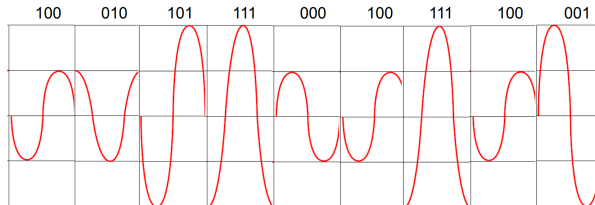
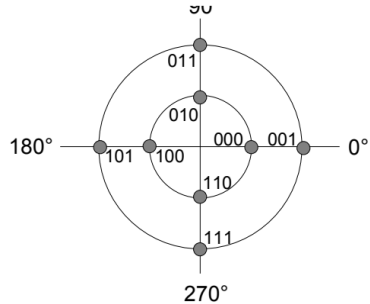
# AUFGABE 2.3 A)

Bitwert	Amplitude	Phasenverschiebung
000	1	0°
001	2	0°
010	1	90°
011	2	90°
100	1	180°
101	2	180°
110	1	270°
111	2	270°



# AUFGABE 2.3 A)

Bitwert	Amplitude	Phasenverschiebung
000	1	0°
001	2	0°
010	1	90°
011	2	90°
100	1	180°
101	2	180°
110	1	270°
111	2	270°





### Aufgabe

In der Praxis wird z.B. bei LTE eine QAM mit 256 Zuständen verwendet. Welche *Datenrate* lässt sich damit auf einem rauschfreien Kanal mit einer Bandbreite von 20 MHz erreichen? Welchen Einfluss hätte ein *Rauschen* auf dem Kanal?

## AUFGABE 2.3 B)

### Aufgabe

In der Praxis wird z.B. bei LTE eine QAM mit 256 Zuständen verwendet. Welche *Datenrate* lässt sich damit auf einem rauschfreien Kanal mit einer Bandbreite von 20 MHz erreichen? Welchen Einfluss hätte ein *Rauschen* auf dem Kanal?

**Rauschfreier** Kanal  $\Rightarrow$  Nyquist Theorem (siehe II-42)

### Nyquist Theorem

$B$  : Bandbreite des Kanals,  $n$  : Anzahl diskreter Signalstufen

$$\text{Max. Datenrate [Bit/s]} = 2 \cdot B \cdot \lg(n)$$

$$\lg(256) = 8$$

$$2 \cdot 20 \cdot 8 = 320 \text{ Mbit/s}$$

## AUFGABE 2.3 B)

### Aufgabe

In der Praxis wird z.B. bei LTE eine QAM mit 256 Zuständen verwendet. Welche *Datenrate* lässt sich damit auf einem rauschfreien Kanal mit einer Bandbreite von 20 MHz erreichen? Welchen Einfluss hätte ein *Rauschen* auf dem Kanal?

**Rauschfreier** Kanal  $\Rightarrow$  Nyquist Theorem (siehe II-42)

### Nyquist Theorem

$B$  : Bandbreite des Kanals,  $n$  : Anzahl diskreter Signalstufen

$$\text{Max. Datenrate [Bit/s]} = 2 \cdot B \cdot \lg(n)$$

$$2 \cdot 20 \text{ MHz} \cdot 8 \text{ Bit} = 320 \text{ Mbit/s}$$

## AUFGABE 2.3 B)

### Aufgabe

In der Praxis wird z.B. bei LTE eine QAM mit 256 Zuständen verwendet. Welche *Datenrate* lässt sich damit auf einem rauschfreien Kanal mit einer Bandbreite von 20 MHz erreichen? Welchen Einfluss hätte ein *Rauschen* auf dem Kanal?

Shannon

$$B \cdot \log_2(1 + S/N)$$

↑

SNR [dB]

### Aufgabe

In der Praxis wird z.B. bei LTE eine QAM mit 256 Zuständen verwendet. Welche *Datenrate* lässt sich damit auf einem rauschfreien Kanal mit einer Bandbreite von 20 MHz erreichen? Welchen Einfluss hätte ein *Rauschen* auf dem Kanal?

**Mit Rauschen**  $\Rightarrow$  Shannons Theorem

Liefert dieses einen geringeren Wert als Nyquist, können nicht alle Signalstufen so verwendet werden.

$\Rightarrow$  Modulation mit weniger Zuständen auswählen.

# **AUFGABE 2.4: SIGNALÜBERTRAGUNG - NYQUIST & SHANNON**

## AUFGABE 2.4 A)

### Aufgabe

Betrachten Sie einen Übertragungskanal mit einer Bandbreite von 3200 kHz. In einem Schritt werden auf diesem Kanal 6 Bits codiert.

Wie viele *Signalstufen* müssen bei der Übertragung verwendet werden?

$$2^6 = 64$$

## AUFGABE 2.4 A)

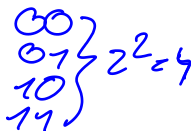
### Aufgabe

Betrachten Sie einen Übertragungskanal mit einer Bandbreite von 3200 kHz. In einem Schritt werden auf diesem Kanal 6 Bits codiert.

Wie viele *Signalstufen* müssen bei der Übertragung verwendet werden?

6 Bit/Schritt  $\Rightarrow 2^6 = 64$  Signalstufen

2 Bits / Schritt :



00  
01  
10  
11

}  $2^2 = 4$



## AUFGABE 2.4 B)

### Aufgabe

Betrachten Sie einen Übertragungskanal mit einer Bandbreite von 3200 kHz. In einem Schritt werden auf diesem Kanal 6 Bits codiert.

Wie hoch ist die *maximale Datenrate*, die erzielt werden kann, wenn ein *rauschfreier Kanal* angenommen wird?

$$\rightarrow \text{Nyquist} \quad 2 \cdot B \cdot \log_2(n) = 2 \cdot 3200 \text{ kHz} \cdot \log_2(6) =$$

### Aufgabe

Betrachten Sie einen Übertragungskanal mit einer Bandbreite von 3200 kHz. In einem Schritt werden auf diesem Kanal 6 Bits codiert.

Wie hoch ist die *maximale Datenrate*, die erzielt werden kann, wenn ein *rauschfreier Kanal* angenommen wird?

**Rauschfreier** Kanal  $\Rightarrow$  Nyquist Theorem

$$\begin{aligned} R_{max}^{Ny} &= 2 \cdot B \cdot \log_2(n) \\ &= 2 \cdot 3200 \text{ kHz} \cdot 6 \\ &= 38\,400 \text{ kBit/s} = 38,4 \text{ Mbit/s} \end{aligned}$$

## AUFGABE 2.4 C)

### Aufgabe

Betrachten Sie einen Übertragungskanal mit einer Bandbreite von 3200 kHz. In einem Schritt werden auf diesem Kanal 6 Bits codiert.

Nun sollen Störeinflüsse berücksichtigt werden. Berechnen Sie nun die *maximale Datenrate* des Kanals für die *Signal-Rausch-Abstände* 25 dB und 40 dB.

↑  
SNR

## AUFGABE 2.4 C)

### Aufgabe

Betrachten Sie einen Übertragungskanal mit einer Bandbreite von 3200 kHz. In einem Schritt werden auf diesem Kanal 6 Bits codiert.

Nun sollen Störeinflüsse berücksichtigt werden. Berechnen Sie nun die *maximale Datenrate* des Kanals für die *Signal-Rausch-Abstände* 25 dB und 40 dB.

**Rauschen**  $\Rightarrow$  Shannons Theorem

$$R_{max}^{Sh} = B \cdot \log(1 + S/N)$$

$\uparrow$  10 dB

$\updownarrow$

10x

## AUFGABE 2.4 C)

### Aufgabe

Betrachten Sie einen Übertragungskanal mit einer Bandbreite von 3200 kHz. In einem Schritt werden auf diesem Kanal 6 Bits codiert.

Nun sollen Störeinflüsse berücksichtigt werden. Berechnen Sie nun die *maximale Datenrate* des Kanals für die *Signal-Rausch-Abstände* 25 dB und 40 dB.

$$R_{max}^{Sh} = B \cdot \lg(1 + S/N)$$

$$SNR_{dB} = 10 \cdot \log_{10}(S/N) \Leftrightarrow S/N = 10^{\frac{SNR_{dB}}{10}}$$

$$10^{\frac{25}{10}} \approx 316$$

$$10^{\frac{40}{10}} = 10000$$

## AUFGABE 2.4 C)

### Aufgabe

Betrachten Sie einen Übertragungskanal mit einer Bandbreite von 3200 kHz. In einem Schritt werden auf diesem Kanal 6 Bits codiert.

Nun sollen Störeinflüsse berücksichtigt werden. Berechnen Sie nun die *maximale Datenrate* des Kanals für die *Signal-Rausch-Abstände* 25 dB und 40 dB.

$$R_{max}^{Sh} = B \cdot \lg(1 + S/N)$$

*Handwritten:*  $= 3200 \text{ kHz} \cdot \lg(1 + 316)$

$$SNR_{dB} = 10 \cdot \log_{10}(S/N) \Leftrightarrow S/N = 10^{\frac{SNR_{dB}}{10}}$$

25 dB  $\approx$  316

$$40 \text{ dB} = 10000$$

*Handwritten:*  $\uparrow$   $\uparrow$   
S/N S/N

## AUFGABE 2.4 C)

### Aufgabe

Betrachten Sie einen Übertragungskanal mit einer Bandbreite von 3200 kHz. In einem Schritt werden auf diesem Kanal 6 Bits codiert.

Nun sollen Störeinflüsse berücksichtigt werden. Berechnen Sie nun die *maximale Datenrate* des Kanals für die *Signal-Rausch-Abstände* 25 dB und 40 dB.

$$R_{max}^{Sh} = B \cdot \lg(1 + S/N)$$

$$\begin{aligned} R_{max}^{Sh} &= 3200 \text{ kHz} \cdot \lg(1 + 316) \\ &\approx 26,59 \text{ Mbit/s} \end{aligned}$$

$$3200 \text{ kHz} \cdot \lg(10001)$$

$$SNR_{dB} = 10 \cdot \log_{10}(S/N) \Leftrightarrow S/N = 10^{\frac{SNR_{dB}}{10}}$$

$$25 \text{ dB} \approx 316$$

$$40 \text{ dB} = 10000$$

## AUFGABE 2.4 C)

### Aufgabe

Betrachten Sie einen Übertragungskanal mit einer Bandbreite von 3200 kHz. In einem Schritt werden auf diesem Kanal 6 Bits codiert.

Nun sollen Störeinflüsse berücksichtigt werden. Berechnen Sie nun die *maximale Datenrate* des Kanals für die *Signal-Rausch-Abstände* 25 dB und 40 dB.

$$R_{max}^{Sh} = B \cdot \lg(1 + S/N)$$

$$\begin{aligned} R_{max}^{Sh} &= 3200 \text{ kHz} \cdot \lg(1 + 316) \\ &\approx 26,59 \text{ Mbit/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{max}^{Sh} &= 3200 \text{ kHz} \cdot \lg(1 + 10000) \\ &\approx 42,52 \text{ Mbit/s} \end{aligned}$$

$$SNR_{dB} = 10 \cdot \log_{10}(S/N) \Leftrightarrow S/N = 10^{\frac{SNR_{dB}}{10}}$$

$$25 \text{ dB} \approx 316$$

$$40 \text{ dB} = 10000$$



### Aufgabe

Betrachten Sie einen Übertragungskanal mit einer Bandbreite von 3200 kHz. In einem Schritt werden auf diesem Kanal 6 Bits codiert.

Nun sollen Störeinflüsse berücksichtigt werden. Berechnen Sie nun die *maximale Datenrate* des Kanals für die *Signal-Rausch-Abstände* 25 dB und 40 dB.

### Aufgabe

Betrachten Sie einen Übertragungskanal mit einer Bandbreite von 3200 kHz. In einem Schritt werden auf diesem Kanal 6 Bits codiert.

Nun sollen Störeinflüsse berücksichtigt werden. Berechnen Sie nun die *maximale Datenrate* des Kanals für die *Signal-Rausch-Abstände* 25 dB und 40 dB.

25 dB

■  $R_{max}^{Ny} = 38,4 \text{ Mbit/s}$

■  $R_{max}^{Sh} = 26,59 \text{ Mbit/s}$

$R^{Sh} \approx R^{Ny}$

### Aufgabe

Betrachten Sie einen Übertragungskanal mit einer Bandbreite von 3200 kHz. In einem Schritt werden auf diesem Kanal 6 Bits codiert.

Nun sollen Störeinflüsse berücksichtigt werden. Berechnen Sie nun die *maximale Datenrate* des Kanals für die *Signal-Rausch-Abstände* 25 dB und 40 dB.

25 dB

$$\blacksquare R_{max}^{Ny} = 38,4 \text{ Mbit/s}$$

$$\blacksquare R_{max}^{Sh} = 26,59 \text{ Mbit/s}$$

$$\Rightarrow R_{max}^{Sh} < R_{max}^{Ny}$$

Die 64 Signalstufen können aufgrund des Rauschens nicht mehr detektiert werden

### Aufgabe

Betrachten Sie einen Übertragungskanal mit einer Bandbreite von 3200 kHz. In einem Schritt werden auf diesem Kanal 6 Bits codiert.

Nun sollen Störeinflüsse berücksichtigt werden. Berechnen Sie nun die *maximale Datenrate* des Kanals für die *Signal-Rausch-Abstände* 25 dB und 40 dB.

25 dB

$$\blacksquare R_{max}^{Ny} = 38,4 \text{ Mbit/s}$$

$$\blacksquare R_{max}^{Sh} = 26,59 \text{ Mbit/s}$$

$$\Rightarrow R_{max}^{Sh} < R_{max}^{Ny}$$

Die 64 Signalstufen können aufgrund des Rauschens nicht mehr detektiert werden

40 dB

$$\blacksquare R_{max}^{Ny} = 38,4 \text{ Mbit/s}$$

$$\blacksquare R_{max}^{Sh} = 42,52 \text{ Mbit/s}$$

## AUFGABE 2.4 C)

### Aufgabe

Betrachten Sie einen Übertragungskanal mit einer Bandbreite von 3200 kHz. In einem Schritt werden auf diesem Kanal 6 Bits codiert.

Nun sollen Störeinflüsse berücksichtigt werden. Berechnen Sie nun die *maximale Datenrate* des Kanals für die *Signal-Rausch-Abstände* 25 dB und 40 dB.

25 dB

$$\blacksquare R_{max}^{Ny} = 38,4 \text{ Mbit/s}$$

$$\blacksquare R_{max}^{Sh} = 26,59 \text{ Mbit/s}$$

$$\Rightarrow R_{max}^{Sh} < R_{max}^{Ny}$$

Die 64 Signalstufen können aufgrund des Rauschens nicht mehr detektiert werden

40 dB

$$\blacksquare R_{max}^{Ny} = \underline{38,4} \text{ Mbit/s}$$

$$\blacksquare R_{max}^{Sh} = 42,52 \text{ Mbit/s}$$

$$\Rightarrow R_{max}^{Sh} > R_{max}^{Ny}$$

Alle Signalstufen können detektiert werden, aber Datenrate durch Bit/Signal beschränkt

### Aufgabe

Welche *Beschränkungen* führen zu den *maximal erreichbaren Datenraten* nach Nyquist- bzw. nach Shannon-Theorem? Woran liegt es, dass jeweils nur der *kleinere der beiden Werte* die tatsächlich maximal erreichbare Datenrate angibt? Was bedeutet es, wenn die durch das Shannon-Theorem angegebene Grenze oberhalb der des Nyquist-Theorems liegt? Was im umgekehrten Fall?

### Aufgabe

Welche *Beschränkungen* führen zu den *maximal erreichbaren Datenraten* nach Nyquist- bzw. nach Shannon-Theorem? Woran liegt es, dass jeweils nur der *kleinere der beiden Werte* die tatsächlich maximal erreichbare Datenrate angibt? Was bedeutet es, wenn die durch das Shannon-Theorem angegebene Grenze oberhalb der des Nyquist-Theorems liegt? Was im umgekehrten Fall?

- Beide Theoreme betrachten verschiedene Aspekte
- Nyquist: rauschfreier Kanal, **feste Anzahl Signalstufen**
- Shannon: **rauschbelasteter Kanal**, Anzahl Signalstufen nicht beachtet
- Beide relevant  $\Rightarrow$  Minimum der beiden stellt tatsächliche obere Schranke dar

### Aufgabe

Welche *Beschränkungen* führen zu den *maximal erreichbaren Datenraten* nach Nyquist- bzw. nach Shannon-Theorem? Woran liegt es, dass jeweils nur der *kleinere der beiden Werte* die tatsächlich maximal erreichbare Datenrate angibt? Was bedeutet es, wenn die durch das Shannon-Theorem angegebene Grenze oberhalb der des Nyquist-Theorems liegt? Was im umgekehrten Fall?

- Minimum der beiden stellt tatsächliche obere Schranke dar
- $R_{max}^{Sh} > R_{max}^{Ny}$ : Signale unterscheidbar, Datenrate noch erhöhbar
- $R_{max}^{Sh} < R_{max}^{Ny}$ : Signale nicht mehr unterscheidbar, Anzahl Signale <sup>Sh</sup> muss <sub>geringer</sub> gemindert werden

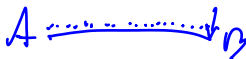


## AUFGABE 2.4 E)

### Aufgabe

Gegeben seien zwei Stationen, die durch ein 256 m langes Koaxialkabel miteinander verbunden sind. Wie viele Bits befinden sich maximal auf dem Übertragungskanal, wenn eine Ausbreitungsgeschwindigkeit von  $2 \cdot 10^8$  m/s auf dem Medium vorliegt?

Latenz



$$\frac{256 \text{ m}}{2 \cdot 10^8 \text{ m/s}} =$$

## AUFGABE 2.4 E)

### Aufgabe

Gegeben seien zwei Stationen, die durch ein 256 m langes Koaxialkabel miteinander verbunden sind. Wie viele Bits befinden sich maximal auf dem Übertragungskanal, wenn eine Ausbreitungsgeschwindigkeit von  $2 \cdot 10^8$  m/s auf dem Medium vorliegt?

Signallaufzeit:

$$\frac{256 \text{ m}}{2 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 1,28 \mu\text{s}$$

A  $\longrightarrow$  B

## AUFGABE 2.4 E)

### Aufgabe

Gegeben seien zwei Stationen, die durch ein 256 m langes Koaxialkabel miteinander verbunden sind. Wie viele Bits befinden sich maximal auf dem Übertragungskanal, wenn eine Ausbreitungsgeschwindigkeit von  $2 \cdot 10^8$  m/s auf dem Medium vorliegt?

Signallaufzeit:

*Latenz*

*2 · Latenz = RTT*

$$\frac{256 \text{ m}}{2 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 1,28 \mu\text{s}$$

Speicherkapazität:

$$38,4 \text{ Mbit/s} \cdot 1,28 \mu\text{s} \approx 49 \text{ Bit}$$

*A — 49 Bit —> B*



ÜBUNGSBLATT 2 ABGABEFRIST:  
17.05.2021 18:00

NÄCHSTES TUTORIUM:  
MITTWOCH 19.05.2021 12:30