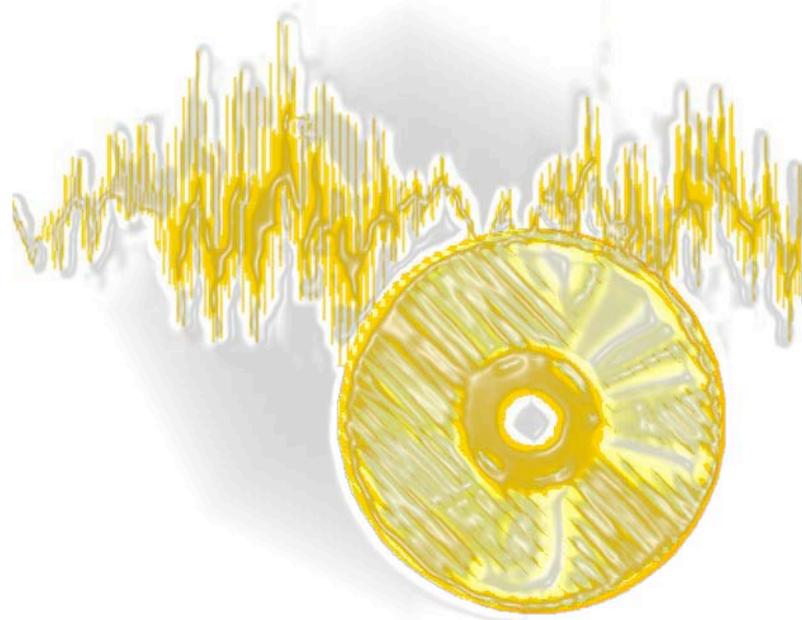


# *Datenrepräsentation und -übertragung*



## Kapitel 4

---

### Leitungscodierung

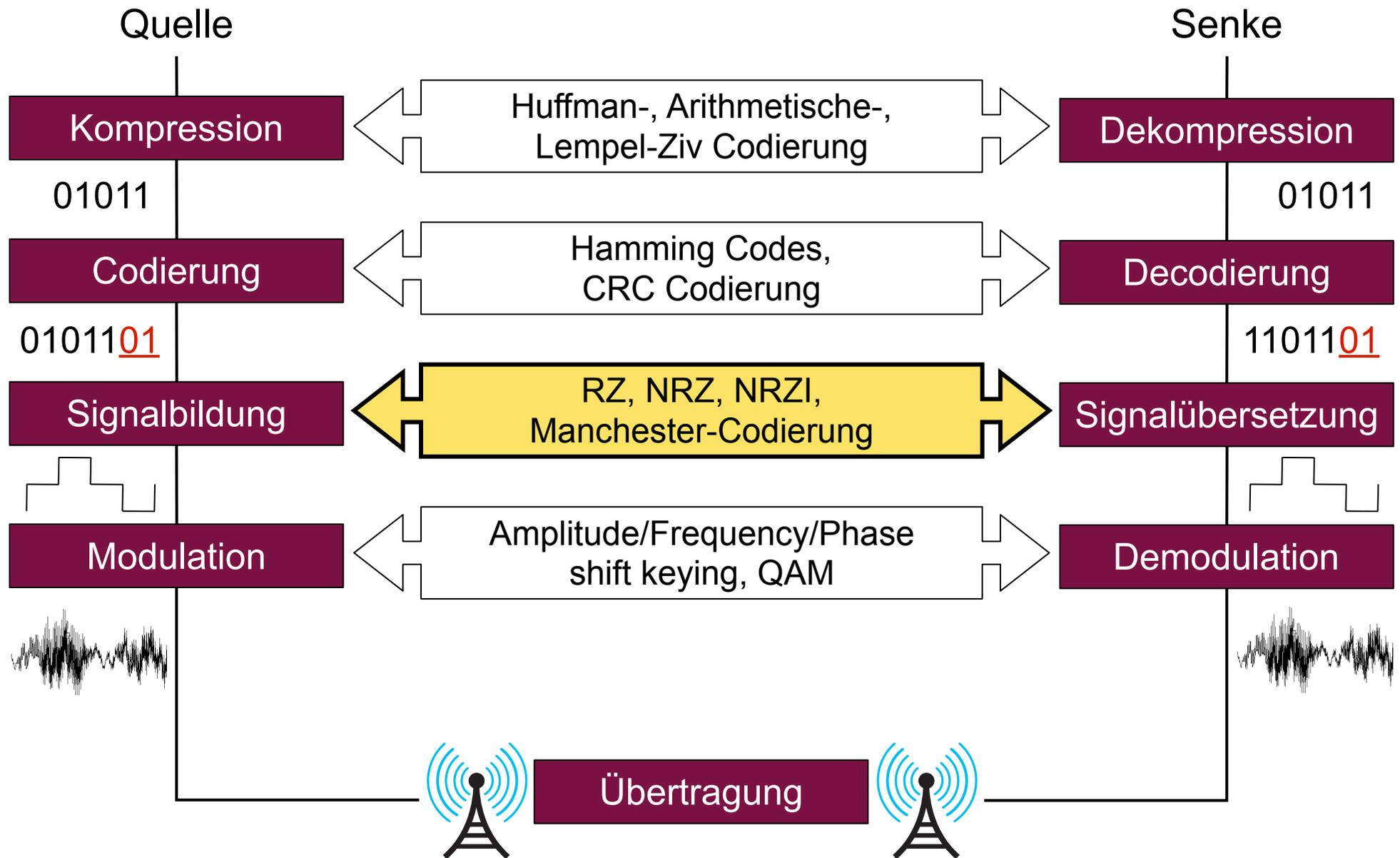
Prof. Dr. Dirk W. Hoffmann

Hochschule Karlsruhe ♦ University of Applied Sciences ♦ Fakultät für Informatik





# Übersicht





# Übertragung Digitaler Signale



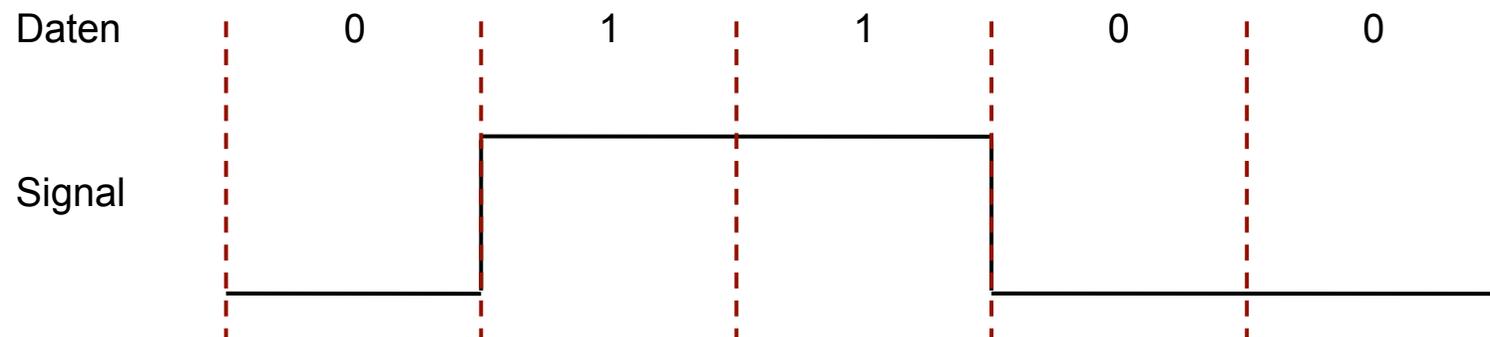
- **Leitungscode**
  - legen fest, wie ein Signal auf der physikalischen Ebene übertragen wird
  - Ergebnis der Codierung ist ein digitaler Kurvenverlauf
  - Anschließend wird der digitale Kurvenverlauf moduliert
- **Wichtige Merkmale von Leitungscode**
  - **Übertragungsrate**
    - Wie viel Redundanz entsteht durch die Codierung?
  - **Selbsttaktung**
    - Kann das Taktsignal aus dem Signalverlauf rekonstruiert werden?
  - **Gleichstromfreiheit**
    - Ist das Integral über die Spannungskurve nach oben und unten beschränkt?
  - **Robustheit**
    - Wie verhält sich der Code bei Bitfehlern?
    - Können lange Nuller- oder Einserketten noch sicher unterschieden werden?



# Übertragung Digitaler Signale



- „Non Return To Zero“ (NRZ)
  - 1:1 Codierung des digitalen Datenstroms

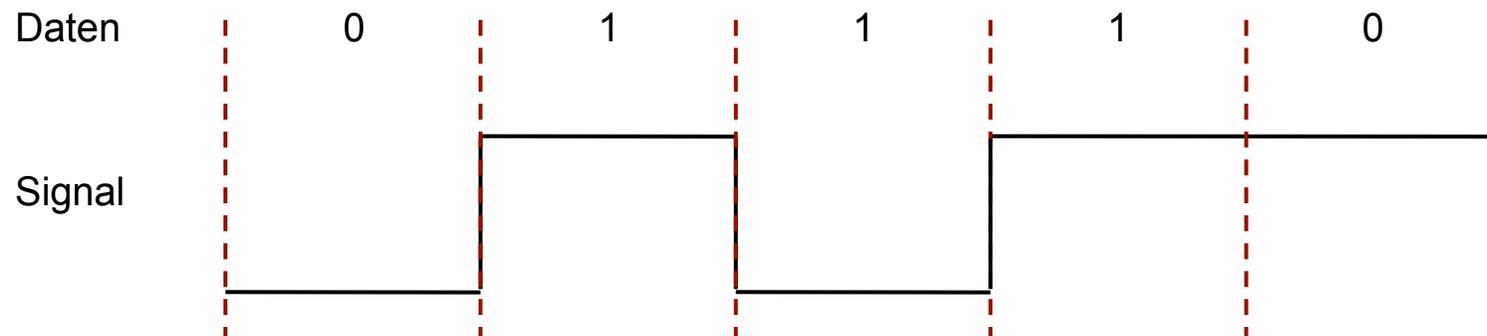




# Übertragung Digitaler Signale



- „Non Return To Zero Inverted“ (NRZI)
  - Der Signalübergang zu jeder Taktflanke ist entscheidend
    - 1 = Flanke, 0 = Keine Flanke

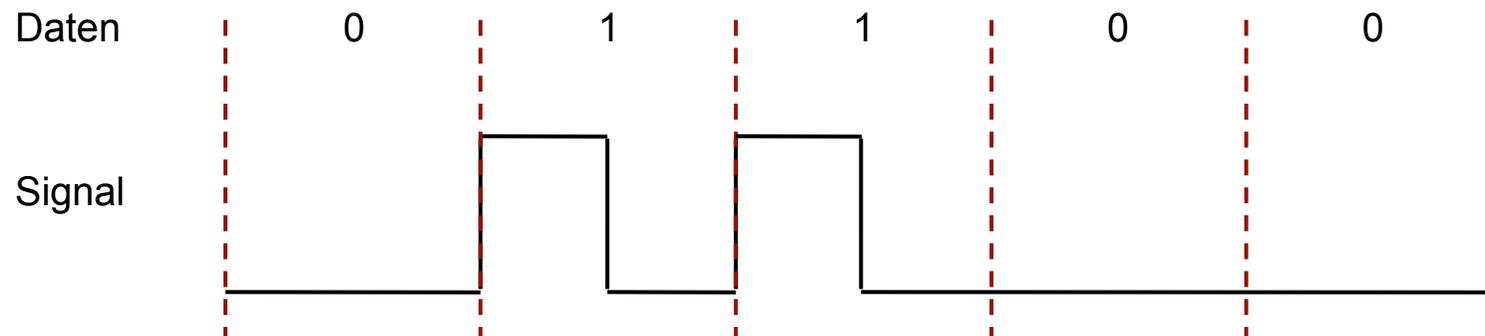




# Übertragung Digitaler Signale



- „Return To Zero“ (RZ)
  - 1 wird durch einen Impuls, 0 dagegen ohne Impuls dargestellt
  - Jeder Impuls wird eine halbe Taktperiode aufrecht erhalten

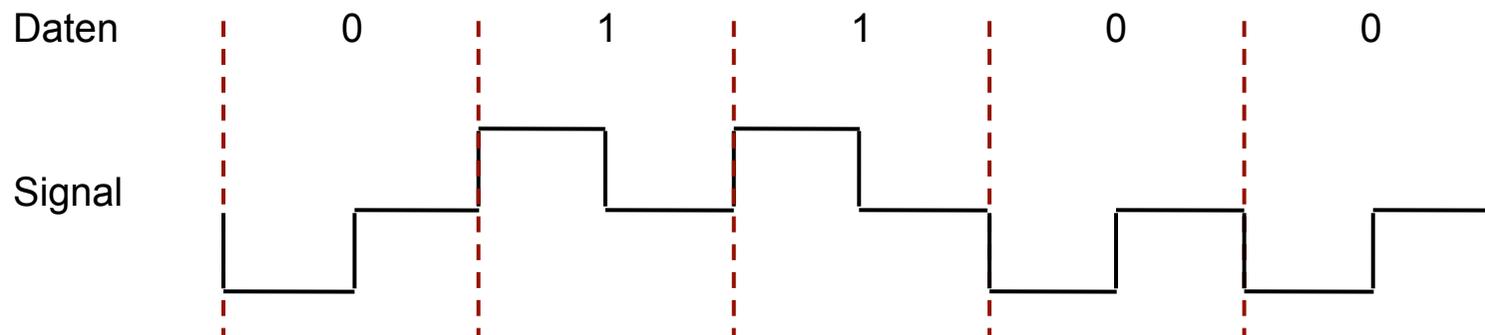




# Übertragung Digitaler Signale



- Das Bipolarverfahren
  - Variation des RZ-Verfahrens
  - Pseudo-ternärer Code
    - 1 wird durch positiven Impuls codiert
    - 0 wird durch negativen Impuls codiert

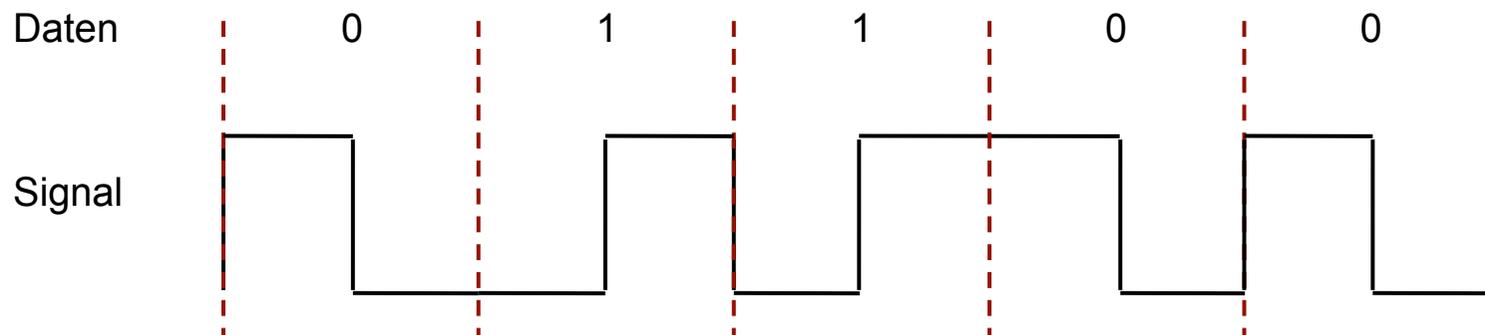




# Übertragung Digitaler Signale



- Manchester Codierung
  - Übergänge in der Mitte des Bit-Intervalls sind relevant
    - Übergang von + nach – bedeutet „Logisch-0“
    - Übergang von – nach + bedeutet „Logisch-1“

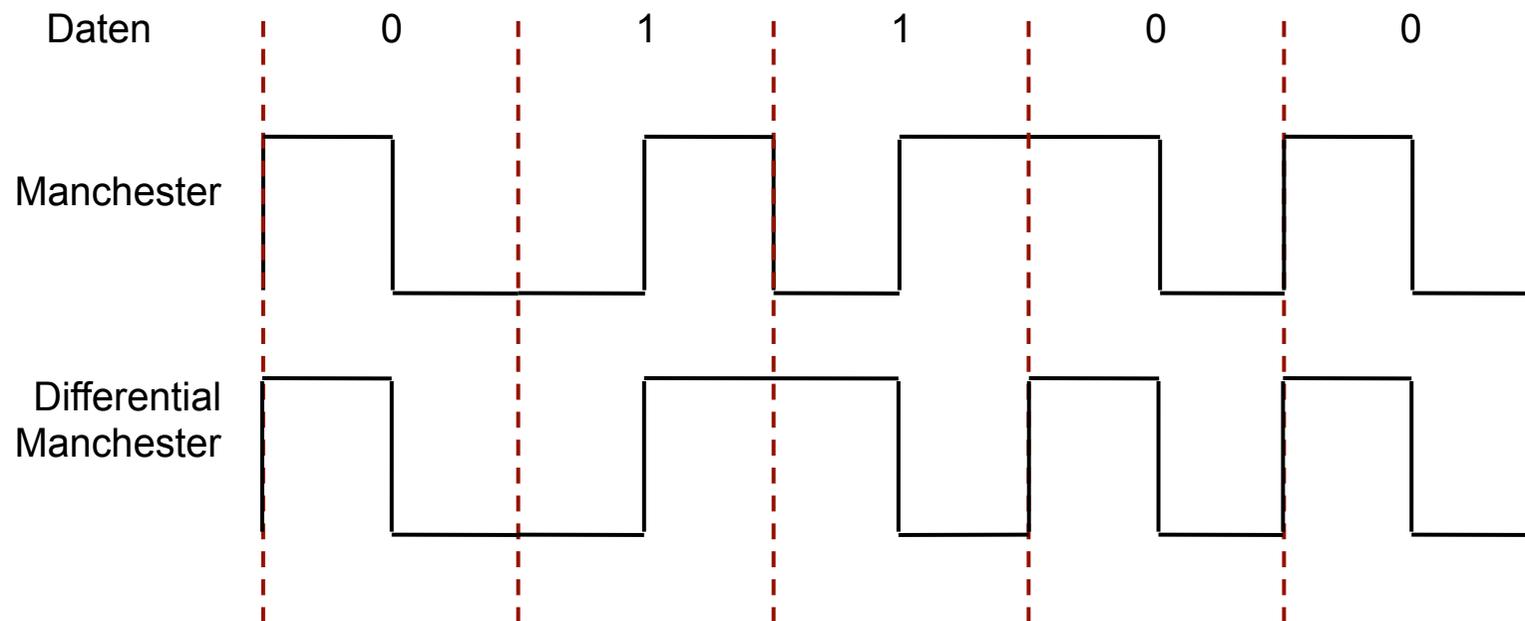




# Übertragung Digitaler Signale



- **Differentielle Manchester-Codierung**
  - Variante des Manchester-Codes
  - Codiertes Bit hängt vom Vorgängerzeichen ab
    - 0 = Gleicher Übergang wie Vorgänger
    - 1 = Übergang komplementär zum Vorgänger





# Übertragung Digitaler Signale



- ***nB/mB-Codes***
  - Je  $n$  Binärzeichen werden auf  $m$  Binärzeichen abgebildet
- ***nB/mT-Codes***
  - Je  $n$  Binärzeichen werden auf  $m$  Ternärzeichen abgebildet
  - 1 Ternärzeichen wird durch 3 Spannungspegel dargestellt (+, 0, -)
  
- **Beispiel: MMS43-Code**
  - Modified Monitored Sum 43 - Code
  - Eingesetzt in der ISDN-Übertragung an der  $U_{K0}$ -Schnittstelle
  - Spezieller 4B/3T-Code
  - Besonderheit: Es existieren 4 Code-Tabellen
    - Das aktuell codierte Bitmuster bestimmt, welche Tabelle für das nächste Bitmuster verwendet wird





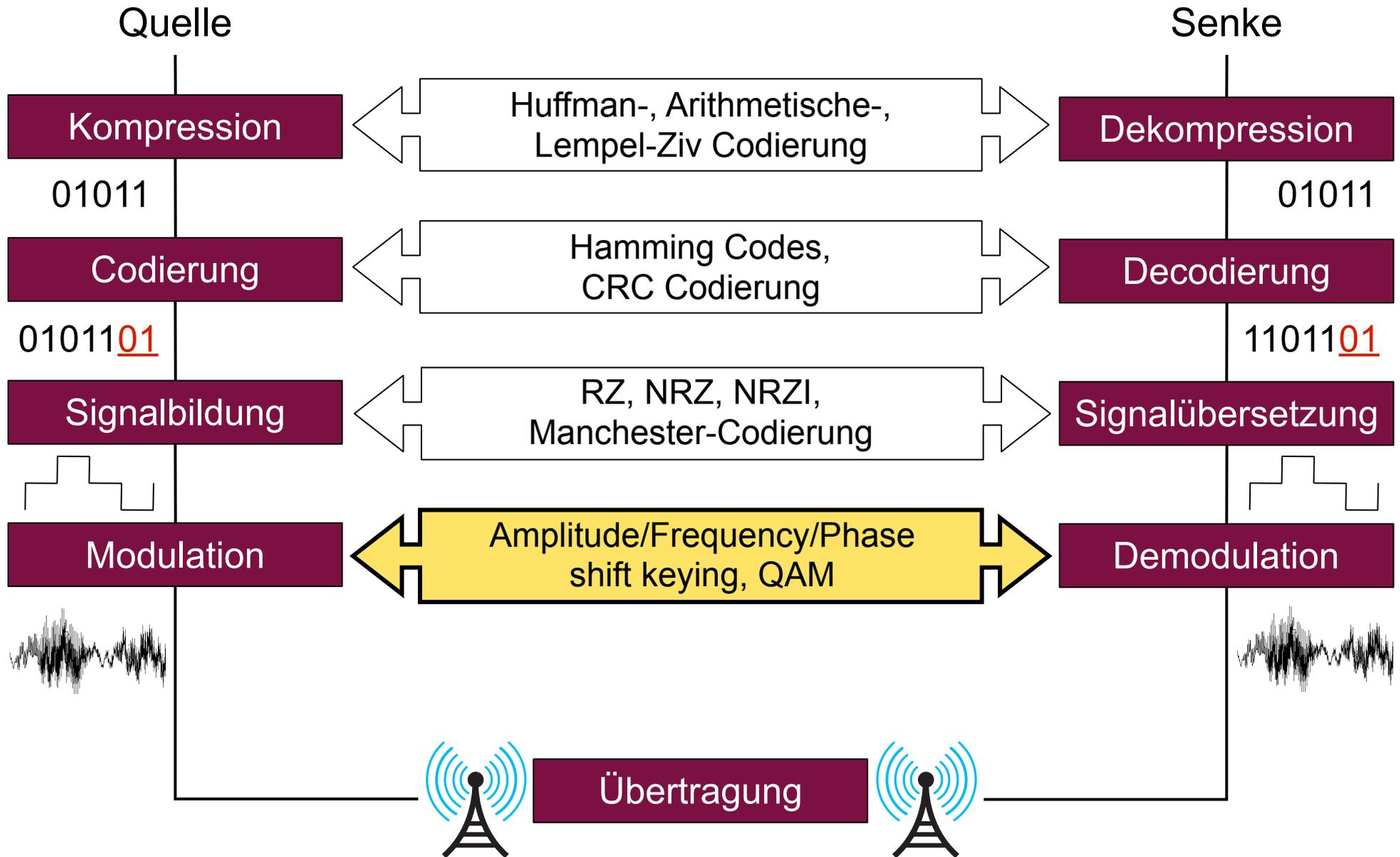
# Code-Tabellen



Binär	Tabelle 1		Tabelle 2		Tabelle 3		Tabelle 4	
	Ternär	Folgetab.	Ternär	Folgetab.	Ternär	Folgetab.	Ternär	Folgetab.
0000	+0+	3	0-0	1	0-0	2	0-0	3
0001	0-+	1	0-+	2	0-+	3	0-+	4
0010	+ -0	1	+ -0	2	+ -0	3	+ -0	4
0011	00+	2	00+	3	00+	4	--0	2
0100	-+0	1	-+0	2	-+0	3	-+0	4
0101	0++	3	-00	1	-00	2	-00	3
0110	-++	2	-++	3	--+	2	--+	3
0111	-0+	1	-0+	2	-0+	3	-0+	4
1000	+00	2	+00	3	+00	4	0--	2
1001	+ -+	2	+ -+	3	+ -+	4	---	1
1010	++-	2	++-	3	+--	2	+--	3
1011	+0-	1	+0-	2	+0-	3	+0-	4
1100	+++	4	-+-	1	-+-	2	-+-	3
1101	0+0	2	0+0	3	0+0	4	-0-	2
1110	0+-	1	0+-	2	0+-	3	0+-	4
1111	++0	3	00-	1	00-	2	00-	3



# Übersicht





# Signalbildung und Modulation



## ■ Modulation

- Das Nutzsignal wird auf ein Trägersignal moduliert
- Nutzsignal ist digital, Trägersignal ist analog

## ■ Allgemeine Form der modulierten Signalschwingung

- $y(t) = a \sin(2\pi f t + \varphi)$
- Modulation geschieht durch die Änderung einer der Parameter  $a$ ,  $f$  oder  $\varphi$

Amplitudenmodulation

Phasenmodulation

$$y(t) = a \sin(2\pi f t + \varphi)$$

Frequenzmodulation

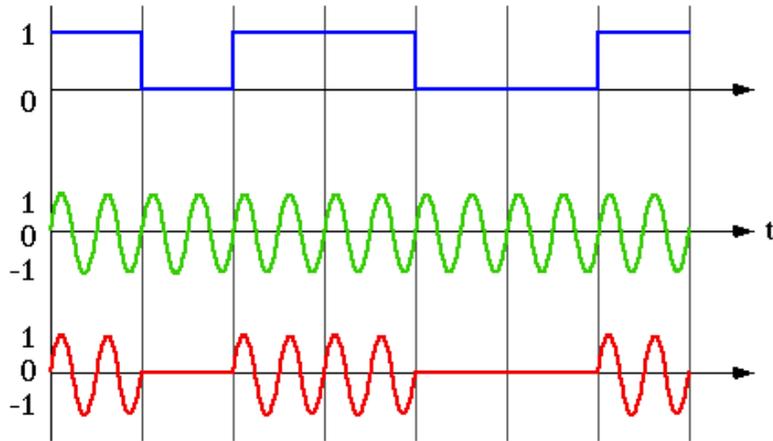
- Kombinationen sind möglich



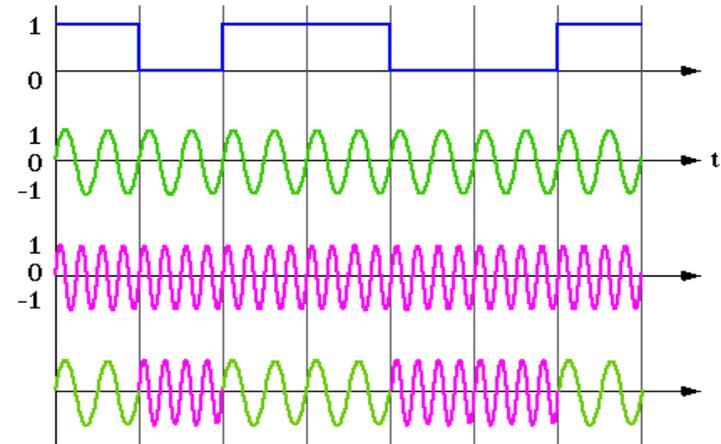
# Signalbildung und Modulation



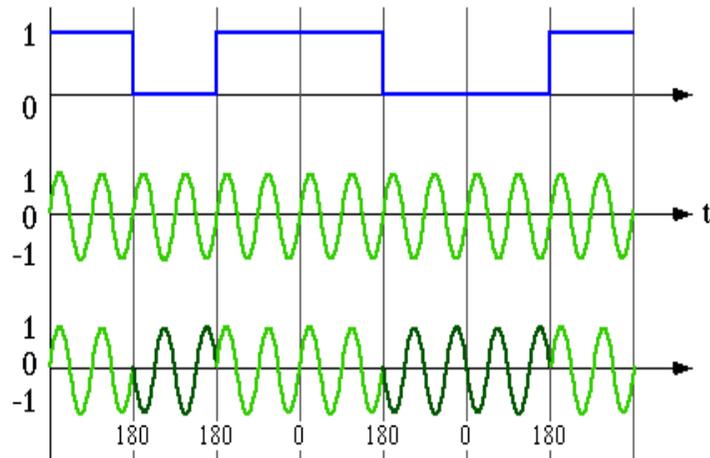
## Amplitudenmodulation



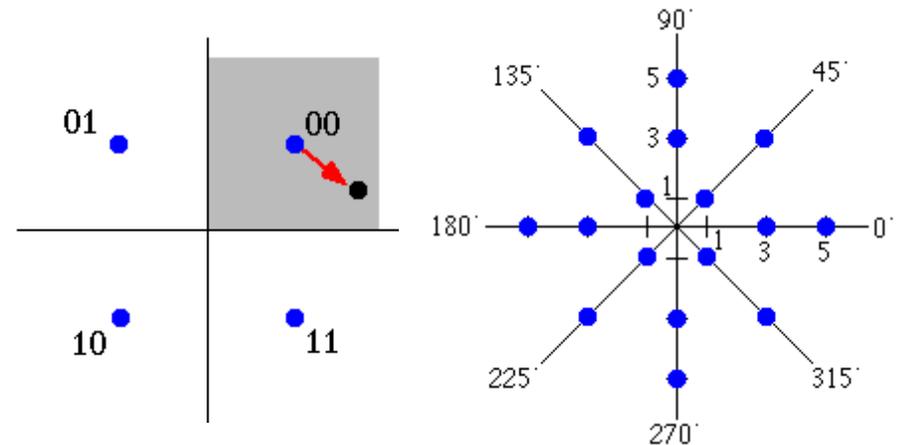
## Frequenzmodulation



## Phasenmodulation



## Quadrature Amplitude Modulation



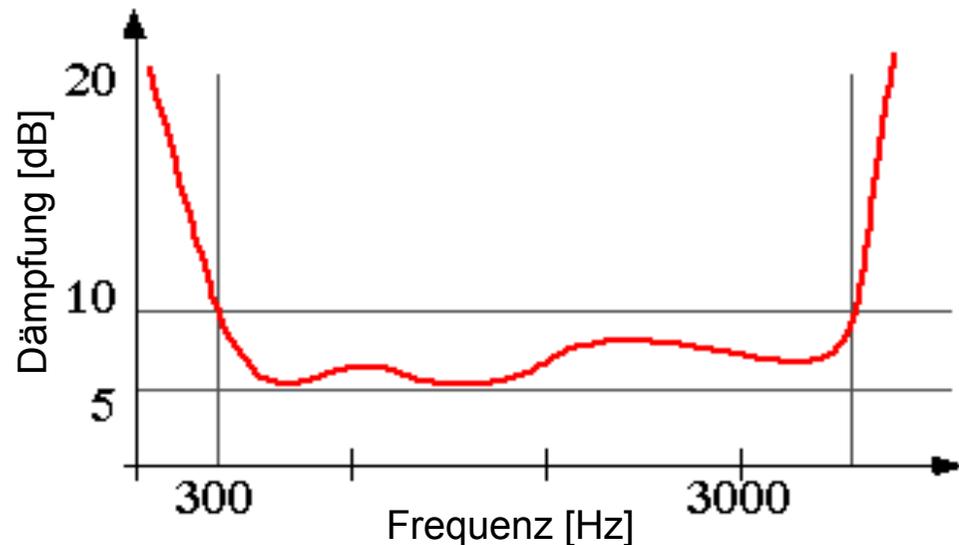


# Grenzen der Übertragungskapazität



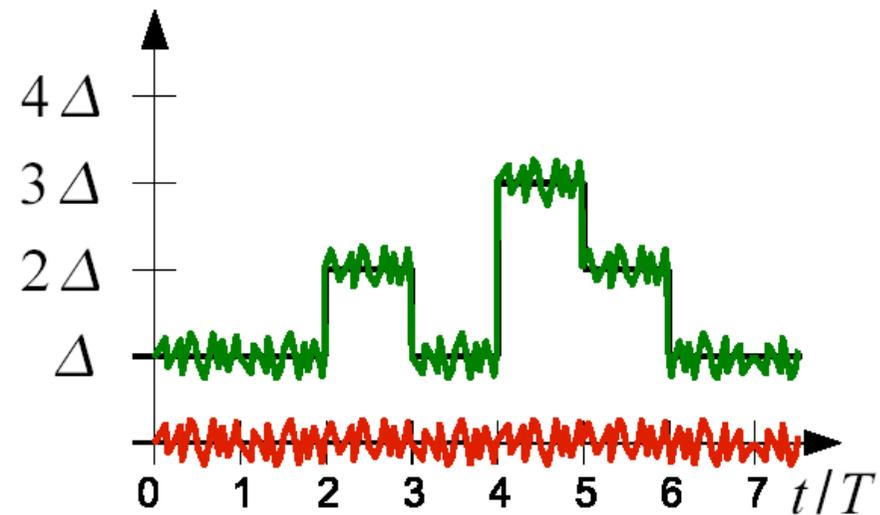
## ▪ Bandbreite

- Dämpfung eines Mediums ist Abhängig von der Frequenz
  - Untere Grenzfrequenz
  - Obere Grenzfrequenz
- Bandbreite ist das Intervall zwischen beiden Frequenzen



## ▪ Signal-Rauschverhältnis

- Jedes übertragene Signal wird durch Rauschen überlagert
- Signal-Noise Ratio  $SNR = S/N$ 
  - $S$  = Signalleistung
  - $N$  = Rauschleistung
- SNR beeinflusst die Anzahl der trennbaren Signalstufen





# Grenzen der Übertragungskapazität



## Nyquist-Theorem

- Nyquist, 1924
- Maximale Datenrate für rauschfreie Kanäle

$$D_{max} = 2 \times B \times \log_2 n$$

- $D_{max}$  : Maximale Datenrate
- $B$  : Bandbreite
- $n$  : Anzahl Signalstufen



## Shannon-Theorem

- Claude Shannon, 1948
- Zusätzliches Limit für Kanäle mit zufälligem Rauschen

$$D_{max} = B \times \log_2 (1 + S / N)$$

- $D_{max}$  : maximale Datenrate
- $B$  : Bandbreite
- $S / N$  : Signal-Noise Ratio





# Grenzen der Übertragungskapazität



- **Berechnung der maximalen Übertragungskapazität**
  - Berechne  $D_{\max}$  nach Nyquist
  - Berechne  $D_{\max}$  nach Shannon
- **Fall 1: Nyquist < Shannon**
  - Kanal könnte eigentlich eine höhere Datenrate übertragen, die Codierung in Signalstufen erlaubt dies jedoch nicht
  - Erhöhung der Datenrate durch Erhöhung der Signalstufen
- **Fall 2: Shannon < Nyquist**
  - Signalstufen können auf Grund des Signal-Rausch-Verhältnisses nicht mehr eindeutig einem Codewort zugeordnet werden
  - Rauschen ist “größer” als die Abstände zwischen den Worten
  - Die Anzahl der Signalstufen muss verringert werden