

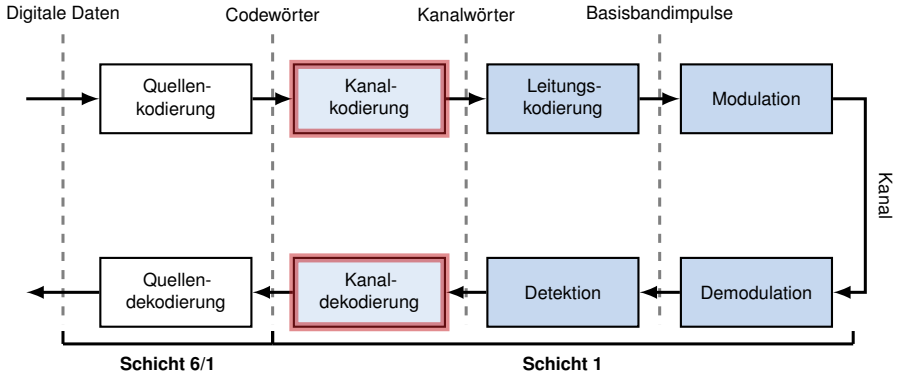
Gruppen Di-T14 / Mi-T25

Tutorübung zu Grundlagen: Rechnernetze und Verteilte Systeme (SS 16)

Michael Schwarz

Institut für Informatik
Technische Universität München

03.05 / 04.05.2016



Jeder realisierbare Übertragungskanal ist unzuverlässig. Ein Maßstab dafür ist die **Bitfehlerwahrscheinlichkeit** p_e :

- Bei Ethernet über Kupferkabel charakteristisch: $p_e \approx 10^{-8}$
- Bei WLAN charakteristisch: $p_e \approx 10^{-6}$ oder mehr
- Bei ungesicherter Funkübertragung charakteristisch: $p_e \approx 10^{-4}$ oder mehr

Gedankenspiel:

- Ungesicherte Funkverbindung mit $p_e = 10^{-4}$, Fehler unabhängig und gleichverteilt
- Paketlänge $L = 1500 \text{ B} = 12\,000 \text{ bit}$
- $\Pr[\text{„Kein Bitfehler im Paket“}] = (1 - 10^{-4})^{12000} \approx 30 \%$

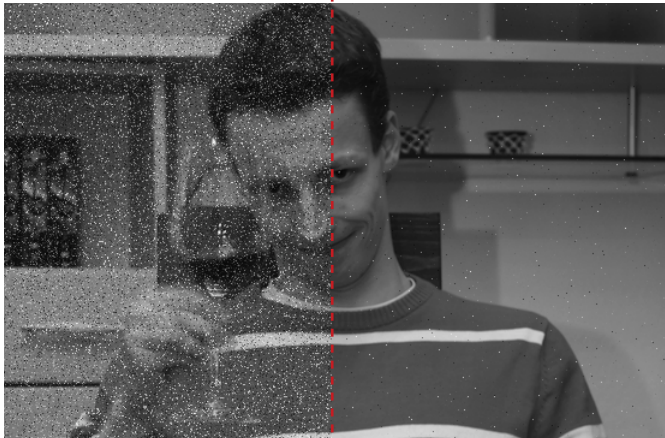
⇒ 70 % der übertragenen Datenpakete würden mind. einen Bitfehler enthalten.

Kanalkodierung (Channel Coding)

Ziel der Kanalkodierung ist es, den zu übertragenden Daten **gezielt Redundanz** hinzuzufügen, so dass eine möglichst große Anzahl an

- Bitfehlern erkannt und
- korrigiert werden kann.

Beispiel: Unkomprimiertes Bild (Bitmap) über einen verlustbehafteten Kanal versendet



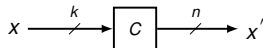
ohne Kanalkodierung

mit Kanalkodierung

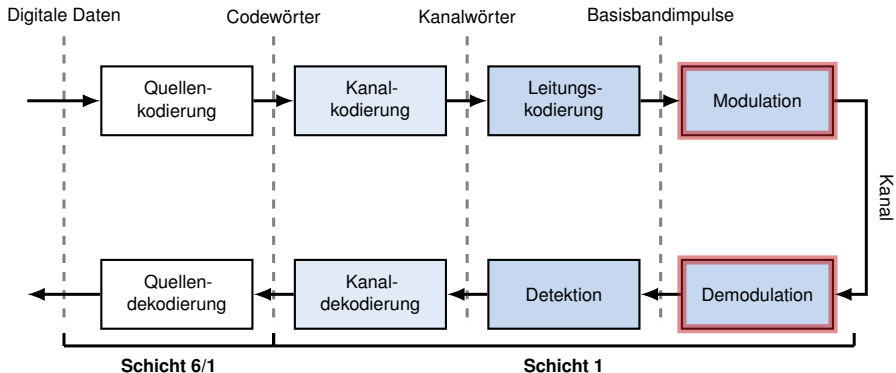
Blockcodes

Blockcodes unterteilen den Datenstrom

- in Blöcke der Länge k und
- übersetzen diese in Kanalwörter der Länge $n > k$ wobei
- die zusätzlichen $n - k$ bit für Fehlererkennung und Rekonstruktion verwendet werden.



Das Verhältnis $R = \frac{k}{n}$ wird als **Coderate** bezeichnet.

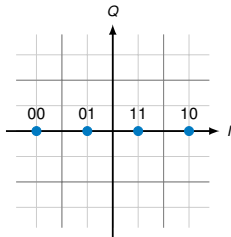


4-ASK (Amplitude Shift Keying)

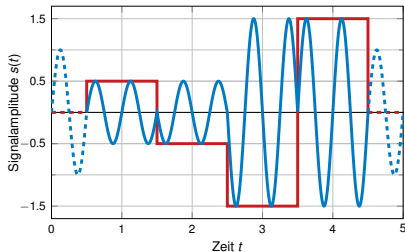
- Es werden 4 Signalstufen unterschieden \Rightarrow 2 bit/Symbol
- Es wird nur die Amplitude des Trägersignals moduliert

Beispiel: Signalraum $S = \left\{ -\frac{3}{2}, -\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{3}{2} \right\}$

- Je zwei aufeinanderfolgende Bits des Datenstroms werden auf ein Symbol $d \in S$ abgebildet, z. B. $00 \mapsto -\frac{3}{2}$, $01 \mapsto -\frac{1}{2}$, ...
- Die Symbolsequenz d_n verändert die Amplitude eines Grundimpulses (z. B. Rechteckimpuls)
- Das so entstehende Basisbandsignal wird mit einem Trägersignal multipliziert (Modulation)



(a) Signalraumzuordnung

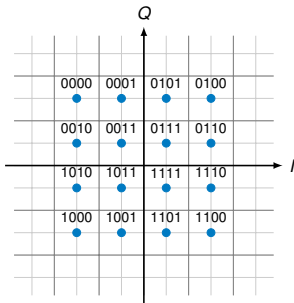


(b) Sendesignal $s(t)$ (blau), Modulationssignal $s_T(t)$ (rot)

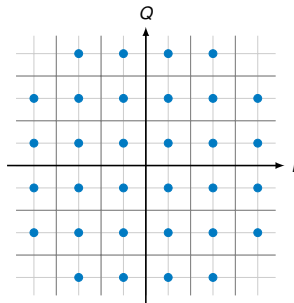
Quadratur-Amplituden-Modulation (QAM)

- Man kann kosinus- und sinus-förmige Trägersignale mischen
- Trennung durch Orthogonalität von Sinus und Kosinus möglich
- Der Kosinus wird als **Inphase-Anteil**, der Sinus als **Quadratur-Anteil** bezeichnet
- Die Datenrate lässt sich auf diese Weise verdoppeln

$$s(t) = \left(\sum_{n=0}^{\infty} d_{In} \cdot g_T(t - nT) \right) \cos(2\pi f_0 t) - \left(\sum_{n=0}^{\infty} d_{Qn} \cdot g_T(t - nT) \right) \sin(2\pi f_0 t)$$



(c) 16-QAM



(d) 32-QAM