GRNVS Tutorium 04 - SS21

Fabian Sauter

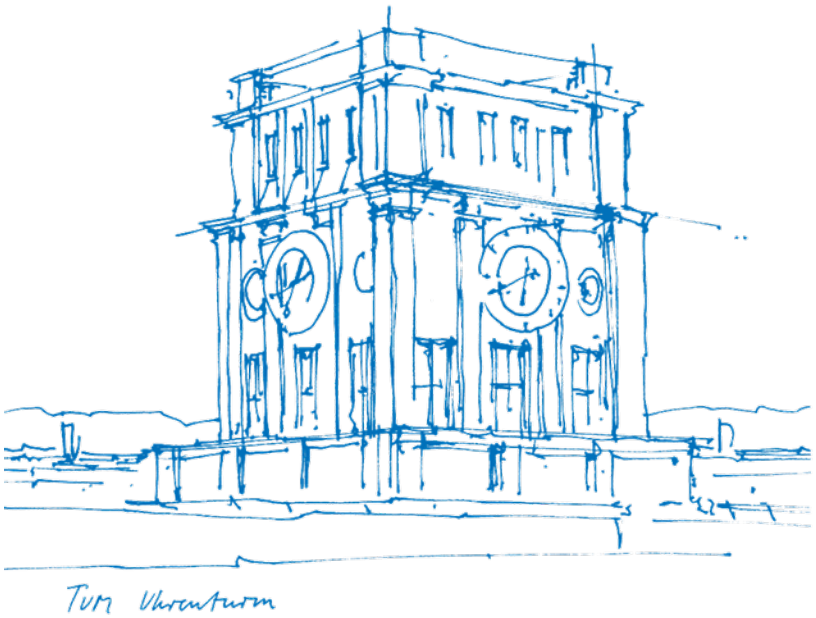
Technische Universität München

Grundlagen: Rechnernetze und Verteilte Systeme (IN0010)

Lehrstuhl für Netzarchitekturen und Netzdienste

Garching, 10.05.2021

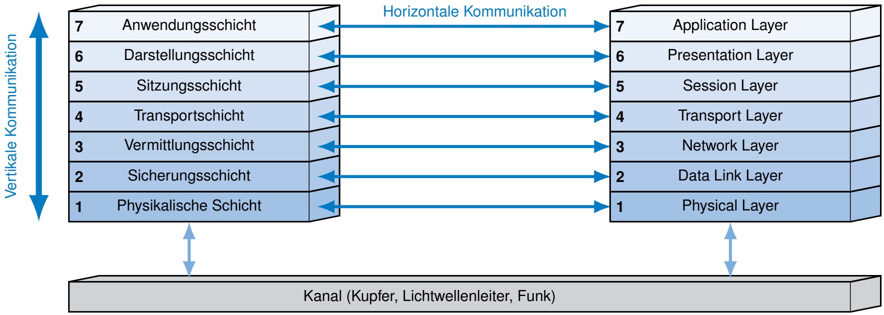
Slides & Notes: `http://grnvs.uwpx.org`



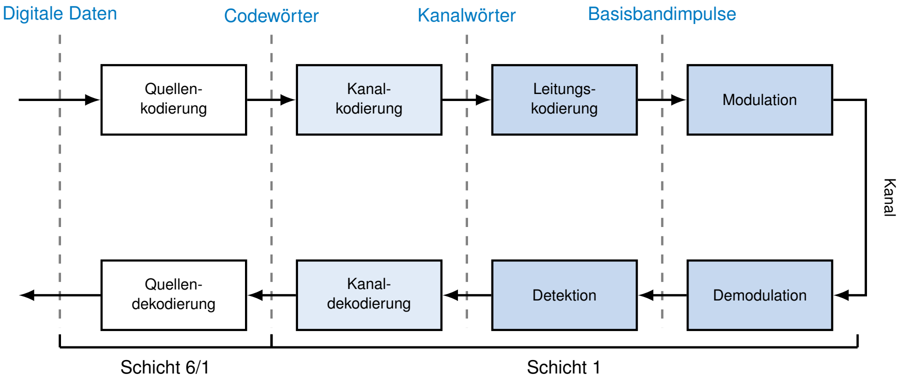
Wiederholung

Das ISO/OSI-Modell

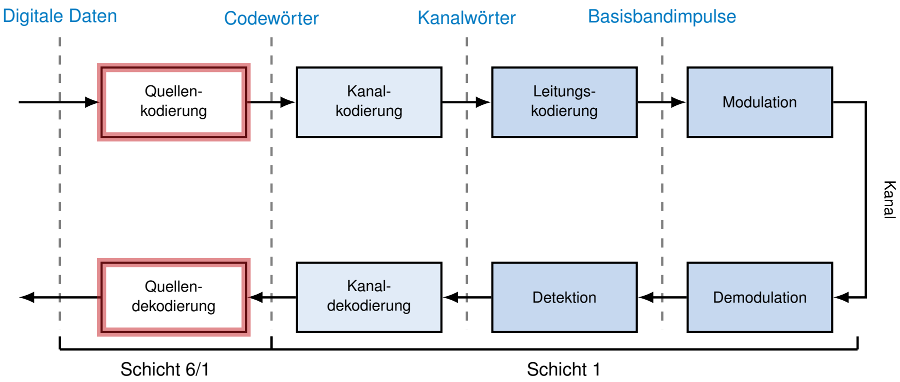
Schematische Darstellung des OSI-Modells



Nachrichtenübertragung



Quellenkodierung [4]



Quellenkodierung (Source Coding)
Ziel der Quellenkodierung ist es, druch Abbildung von Bitsequenzen auf Codewörter Redundanz aus den zu übertragenden Daten zu entfernen. Die entspricht einer verlustlosen Datenkompression.

Die Quellenkodierung kann in unterschiedlichen Schichten des ISO/OSI-Modell vorkommen:

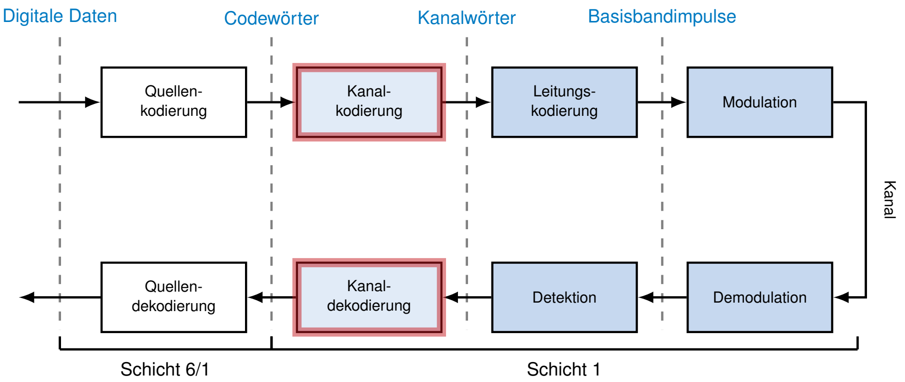
- Datenkompression kann auf der Darstellungsschicht (Schicht 6) stattfinden
- Daten können bereits in komprimierter Form vorliegen (verlustlos komprimierte Dateiformate, z. B. ZIP, PNG)
- Im Mobilfunkbereich (digitale Sprachübertragung) kann die Quellenkodierung einer niedrigen Schicht zugeordnet werden
- In lokalen Netzwerken (Ethernet, WLAN) findet i. d. R. keine Quellenkodierung statt

Beispiele:

- Huffman-Code
- Lempel-Ziv / Lempel-Ziv-Welch (LZW)
- Run-Length-Enconding (RLE)

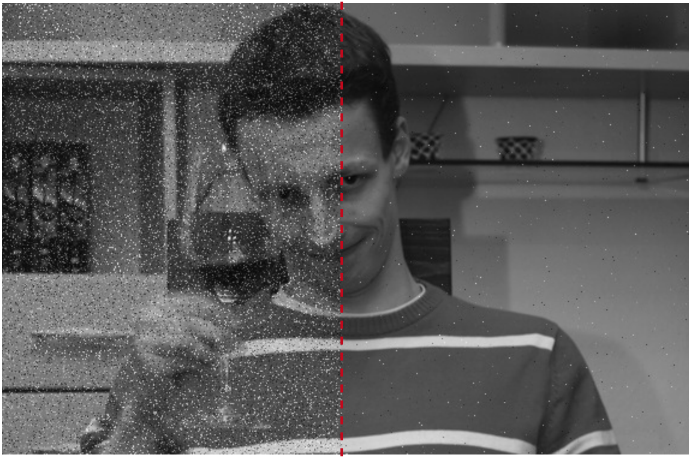
$\rightarrow$ In Kapitel 5 gehen wir auf den Huffman-Code ein

Kanalkodierung [4]



Kanalkodierung [4]

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



ohne Kanalkodierung | mit Kanalkodierung

Kanalkodierung [4]

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.

$$x \xrightarrow{k} \boxed{C} \xrightarrow{n} x'$$

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

Beispiel: Repetition Code

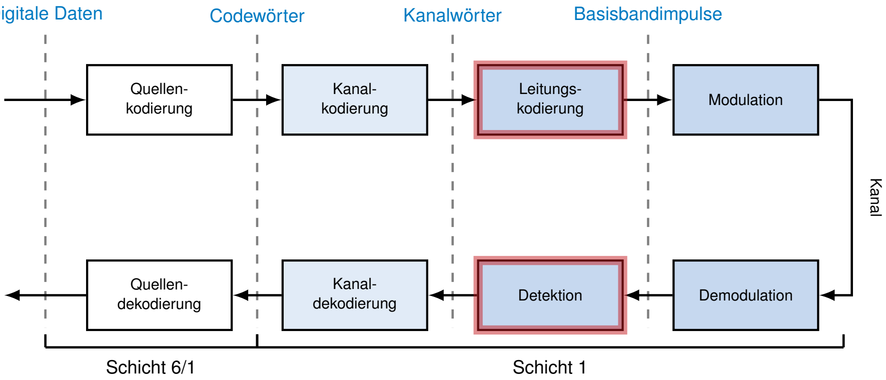
- $k = 1$, $n = 3$, Abbildung: $0 \mapsto 000$, $1 \mapsto 111$
- Dekodierfehler, wenn mind. 2 bit pro Block verfälscht wurden:

$$\Pr[\text{„Dekodierfehler“}] = \binom{3}{2} p_e^2 (1 - p_e) + \binom{3}{3} p_e^3 \approx \Big|_{p_e = 10^{-4}} 3 \cdot 10^{-8}$$

- Neues Problem:
  - Die zu sendende Anzahl an Bits wird verdreifacht
  - Im fehlerfreien Fall würde die erzielbare Datenrate also auf $1/3$ sinken

⇒ Kosten-/Nutzenverhältnis zwischen Fehlerwahrscheinlichkeit und Redundanz abhängig von der momentanen Bitfehlerrate

Leitungskodierung



Definition: Leitungscode
Leitungscodes (nicht zu verwechseln mit Kanalcodes) definieren die Abfolge von einer bestimmten Art von Grundimpulsen, welche Bits oder Gruppen von Bits repräsentieren. Eine solche Abfolge von Grundimpulsen wird Sendeimpuls genannt.

Im Kontext von Leitungscodes verstehen wir unter einem Symbol eine phys. messbare Veränderung des Zeitsignals.

Wichtige Eigenschaften von Leitungscodes:

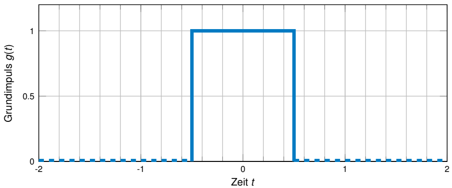
- Anzahl der Signalstufen (binär, ternär, ...)
- Anzahl kodierter Bits pro Symbol
- Schrittgeschwindigkeit (Symbolrate / Baudrate), Einheit bd

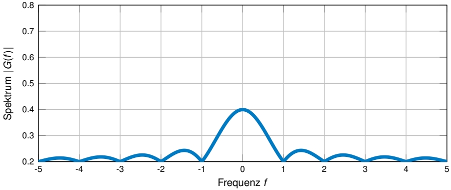
Optionale Eigenschaften von Leitungscodes:

- Taktrückgewinnung
- Gleichstromfreiheit
- Bereitstellung von Steuerzeichen (4B5B-Kodierung $\rightarrow$ später)

Je nach Art der verwendeten Grundimpulse und deren Abfolge haben Leitungscodes Einfluss auf die benötigte Kanalbandbreite. Als Daumenregel gilt: Je mehr abrupte Signalwechsel stattfinden, desto breiter ist das benötigte Spektrum. (s. Beispiele)

Grundimpulse: Rechteckimpuls





$$g(t) = \begin{cases} 1 & -\frac{1}{2} \leq t < \frac{1}{2} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad \circ\!\!-\!\!\bullet \quad G(f) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\sin(\pi f)}{\pi f}$$

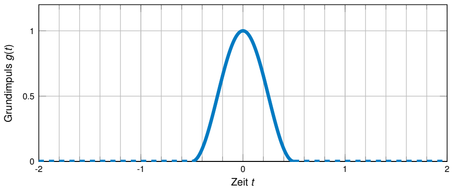
Vorteile

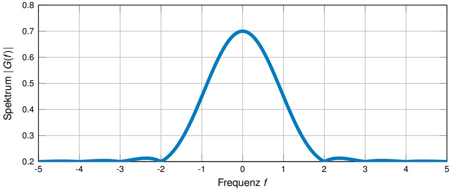
- Einfachste Darstellung im Zeitbereich
- Grundlage für verschiedene Sendeimpulse ($\rightarrow$ später)

Nachteile

- Abrupte Signalwechsel praktisch schwer umsetzbar
- Langsam abklingendes Spektrum $\Rightarrow$ hohe Frequenzanteile

Grundimpulse: $\cos^2$-Impuls





$$g(t) = \begin{cases} (\cos(2\pi t))^2 & -\frac{1}{2} \leq t < \frac{1}{2} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad \circ\!\!-\!\!\bullet \quad G(f) = \frac{1}{4\pi}\left(\frac{\sin(\pi(f-1))}{f-1} + \frac{2\sin(\pi f)}{f} + \frac{\sin(\pi(f+1))}{f+1}\right)$$

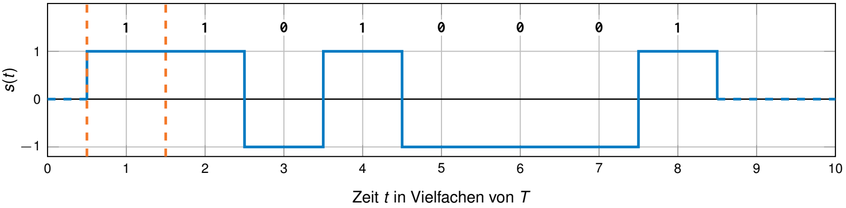
Vorteile

- Einfache praktische Umsetzung
- Schnell abklingendes Spektrum, da wenig hohe Frequenzanteile

Nachteile

- Die maximale Signalamplitude $g(t) = 1$ wird nur zum Zeitpunkt $t = 0$ erreicht
- Dadurch erschwerte Abtastung wenn Sender und Empfänger nicht taktsynchron sind

Leitungscodes: Non-Return-To-Zero (NRZ)



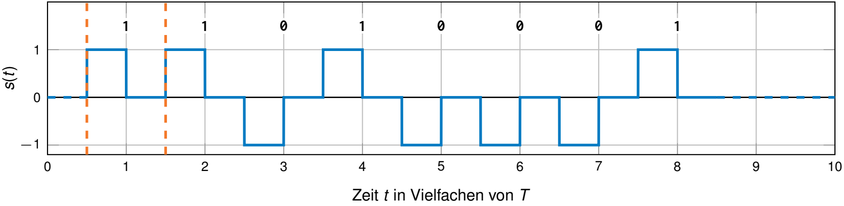
Kodiervorschrift:

- Sendeimpuls $g(t) = \text{rect}\left(t/T\right)$ mit Periodendauer T
- Mögliche Zuweisung der Gewichte $d_n = \begin{cases} 1 & b_n = 1 \\ -1 & b_n = 0 \end{cases}$
- Sendesignal ist definiert als $s(t) = \sum_{n=0}^{\infty} d_n g(t - nT)$

Eigenschaften:

- Binärer Code (lediglich zwei Signalstufen)
- Effizienz 1 Symbol/bit
- Keine Taktrückgewinnung (lange Null- oder Einsfolgen)
- Keine Gleichstromfreiheit
- Relativ breites Spektrum

Leitungscode: Return-To-Zero (RZ)



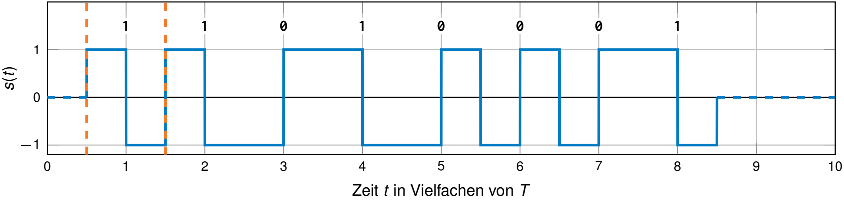
Kodiervorschrift:

- Sendeimpuls $g(t) = \text{rect}\left(\frac{2t+1/2}{T}\right)$ mit Periodendauer T
- Mögliche Zuweisung der Gewichte $d_n = \begin{cases} 1 & b_n = 1 \\ -1 & b_n = 0 \end{cases}$
- Sendesignal ist definiert als $s(t) = \sum_{n=0}^{\infty} d_n g(t - nT)$

Eigenschaften:

- Binärer Code (lediglich zwei Signalstufen)
- Effizienz 2 Symbole/bit
- Taktrückgewinnung durch erzwungene Pegelwechsel einfach
- Keine Gleichstromfreiheit
- Breiteres Spektrum als NRZ

Leitungscode: Manchester-Code



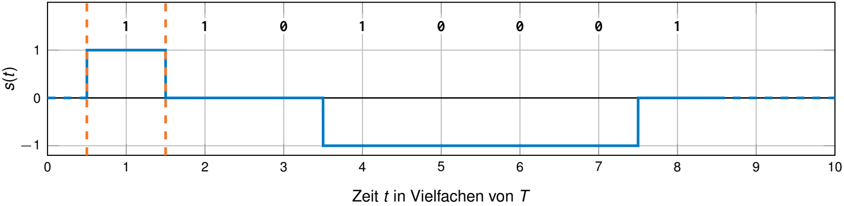
Kodiervorschrift:

- Grundimpuls $g(t) = \text{rect}\left(\frac{2t+1/2}{T}\right) - \text{rect}\left(\frac{2t-1/2}{T}\right)$ mit Periodendauer T
- Mögliche Zuweisung der Gewichte $d_n = \begin{cases} 1 & b_n = 1 \\ -1 & b_n = 0 \end{cases}$
- Sendesignal ist definiert als $s(t) = \sum_{n=0}^{\infty} d_n \cdot g(t - nT)$

Eigenschaften:

- Binärer Code (lediglich zwei Signalstufen)
- Effizienz 2 Symbole/bit
- Taktrückgewinnung durch erzwungene Pegelwechsel einfach
- Gleichstromfreiheit gewährleistet, da jeder Grundimpuls für sich gleichstromfrei ist
- Sehr breites und langsam abklingendes Spektrum

Leitungscode: Multi-Level-Transmit 3 (MLT3)



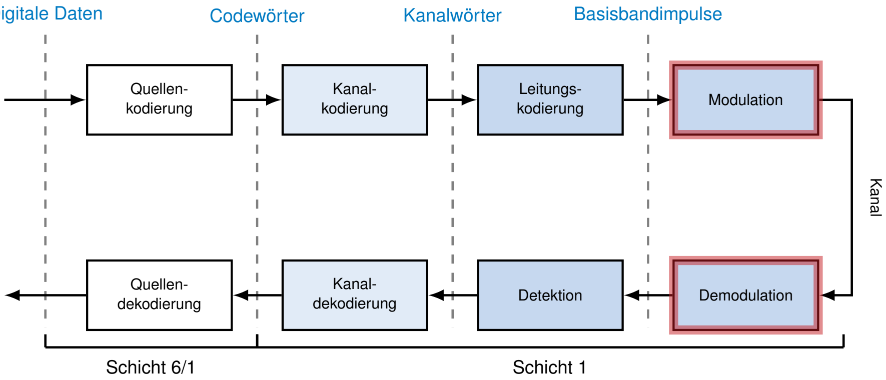
Kodiervorschrift:

- Grundimpuls $g(t) = \mathrm{rect}(t/T)$ (Rechteckimpuls) mit mit Periodendauer T
- Gewichte $d_n = \sin\left(\frac{\pi}{2}\sum_{k=0}^{n} b_k\right)$ ($\rightarrow$ abhängig von der Anzahl der bislang beobachteten 1-Bits)
- Sendesignal ist definiert als $s(t) = \sum_{n=0}^{\infty} d_n g(t - nT)$

Eigenschaften:

- Tenerär Code (drei Signalstufen)
- Effizienz 1 bit/Symbol
- Keine Taktrückgewinnung (lange Folge gleicher Bits)
- Keine Gleichstromfreiheit
- Schmales Spektrum, da die Grundperiode durch den periodischen Signalverlauf reduziert wird

Modulation [6]



Bislang haben wir nur Basisbandsignale betrachtet:

- Zeitlich verschobene Sendeimpulse werden gewichtet.
- Zeitlich begrenzte Sendeimpulse (wir haben nur solche kennengelernt) besitzen ein unendlich ausgedehntes Spektrum.
- Sofern der Übertragungskanal exklusiv für die Basisbandübertragung zur Verfügung steht, ist das zunächst kein Problem.

Was ist, wenn der Kanal von mehreren Übertragungen zeitgleich verwendet wird?

- Das Basisbandsignal (bzw. dessen Grundimpulse) wird tiefpass-gefiltert, was eine Begrenzung des Spektrums (und damit einer leichten Verfälschung des Zeitsignals) entspricht.
- Anschließend kann das gefilterte Basisbandsignal auf ein Trägersignal moduliert werden.
- Dies entspricht einer Verschiebung des Spektrums (Multiplikation im Zeitbereich entspricht einer Verschiebung im Frequenzbereich).
- Teilen sich mehrere Übertragungen auf diese Art einen Kanal, so sprechen wir von Frequency Division Multiplex (FDM).

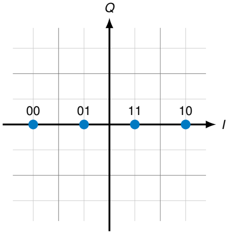
Modulation [6]

4-ASK (Amplitude Shift Keying)

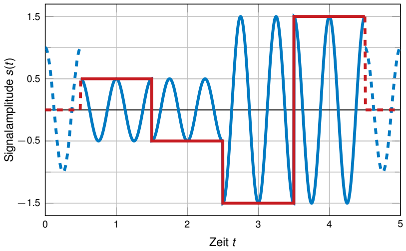
- Es werden 4 Signalstufen unterschieden $\Rightarrow$ 2 bit/Symbol
- Es wird nur die Amplitude des Trägersignals moduliert

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

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



(a) Signalraumzuordnung

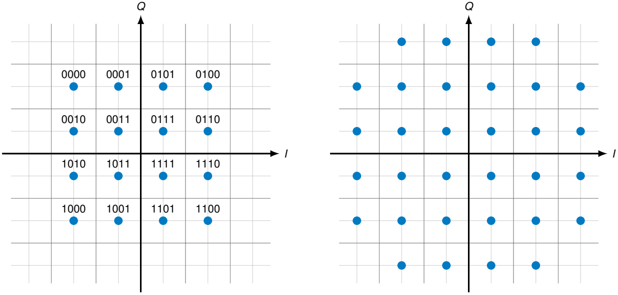


(b) Sendesignal $s(t)$ (blau), Modulationssignal $s_T(t)$ (rot)

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

QAM 16 Beispiel:

- Wikipedia: 16 QAM Demonstration

Ablauf:

- Aufgabe 1
- Aufgabe 2
- Aufgabe 3

Studenten zählen

(Nur als Erinnerung für mich.)