

# Nachrichtentechnik

## Übung 3



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

---

### Puls-Amplituden-Modulation / Pulse-Code-Modulation

---

#### 1 Kurzfragen

---

##### Quantisierung und Rauschen

Beim Quantisieren eines beliebigen rauschfreien Signals gilt folgende Aussage:

- ☐ Es entsteht zusätzliches Rauschen alleine durch die Verwendung von nicht-idealen Bauelementen.
- ☐ Es entsteht keinerlei zusätzliches Rauschen.
- ☐ Es entsteht zusätzliches Rauschen durch den Unterschied von abgetasteten und quantisierten Werten und durch die Verwendung nicht-idealer Bauelemente.
- ☐ Das Quantisierungsrauschen ist nicht von der Auflösung der Quantisierung abhängig.
- ☐ Es entsteht zusätzliches Rauschen durch den Unterschied von quantisierten und codierten Werten.

##### Abtastrate

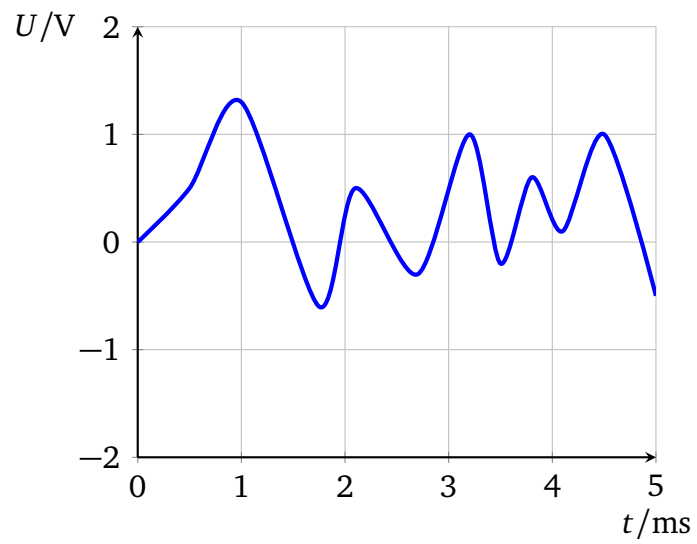
Für vollständige Rekonstruierbarkeit muss die die Abtastrate eines Signals

- ☐ mindestens doppelt so groß sein wie der höchste im Signal vorkommende Frequenzanteil im Basisband.
- ☐ mindestens so groß sein wie die Bandbreite des Signals.
- ☐ mindestens doppelt so groß sein wie die Bandbreite des Signals.
- ☐ die doppelte Frequenz des höchsten im Signal vorkommenden Frequenzanteils nicht überschreiten.
- ☐ mindestens so groß sein wie der höchste im Signal vorkommende Frequenzanteil.

##### Quantisierung

Um das zeit- und wertkontinuierliche Signal in Abbildung 1.1 verlustfrei zu quantisieren

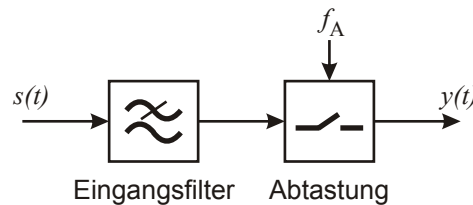
- ☐ ist eine Auflösung von mindestens 8 bit nötig.
- ☐ ist eine Auflösung von mindestens 16,5 bit nötig.
- ☐ sind unendlich viele Quantisierungsstufen nötig.
- ☐ muss ein passender Komprimierungsalgorithmus gefunden werden, um mit 32 Bit auszukommen.



**Abbildung 1.1:** Signal im Zeitbereich

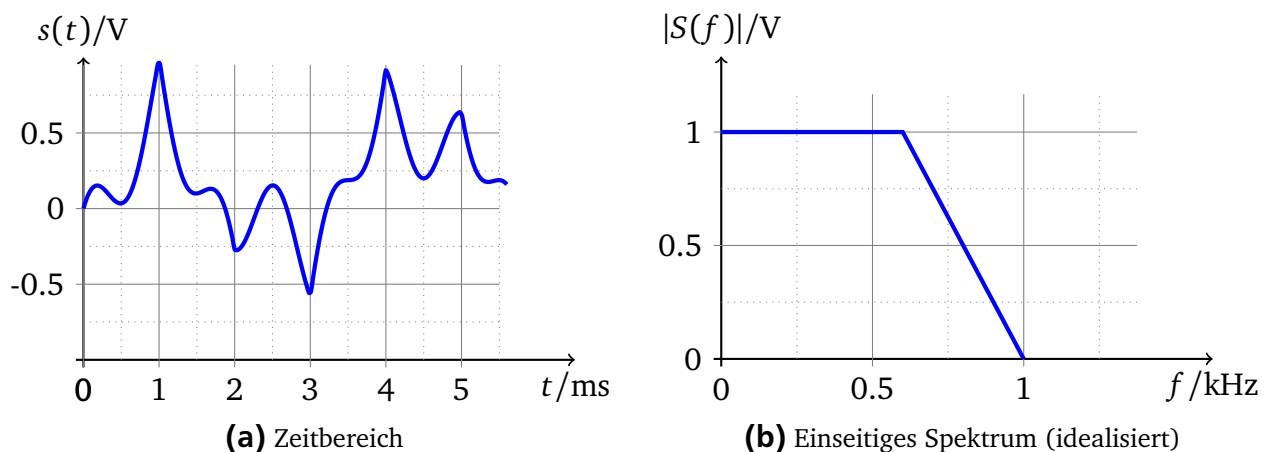
## 2 Abtastung / PAM-System

Bei der Pulsamplitudenmodulation (PAM) wird ein Signal  $s$  durch eine Folge von Rechteckimpulsen übertragen, deren Amplitude proportional zum Abtastwert des modulierenden Signals ist. Das Blockschaltbild eines PAM-Modulators ist in Abbildung 2.1 dargestellt.



**Abbildung 2.1:** Blockschaltbild PAM-Modulator

Das Signal aus Abbildung 2.2 soll mit Hilfe der PAM übertragen werden.



**Abbildung 2.2:** Signal  $s(t)$  im Zeitbereich und im Frequenzbereich. Hinweis: Die Signalförm im Frequenzbereich entspricht nicht dem links dargestellten Signalausschnitt, sondern repräsentiert die idealisierten Eigenschaften des Signals für einen größeren Zeitraum.

- Welche Abtastrate  $f_A$  muss mindestens gewählt werden, damit das Signal später wieder rekonstruiert werden kann?
- Welche Grenzfrequenz  $B_{TP}$  sollte der Tiefpass haben?
- Zeichnen Sie das abgetastete Signal  $s_A(t)$  im Zeitbereich, wenn Sie mit der kleinstmöglichen Abtastrate abtasten.
- Zeichnen Sie das pulsamplitudenmodulierte Signal  $s_{PAM}(t)$  im Zeitbereich, wenn Sie mit der kleinstmöglichen Abtastrate abtasten.
- Zeichnen Sie das abgetastete Signal im Frequenzbereich (Spektrum) mit der kleinstmöglichen Abtastrate, sowie bei der doppelten und 75% der kleinstmöglichen Abtastrate. Zeichnen Sie ebenfalls das Filter zur Rekonstruktion des ursprünglichen Signals aus dem PAM-Signal ein und bewerten Sie das Ergebnis.

### 3 PCM-System

Das in Abbildung 3.1 dargestellte Signal soll mit Hilfe der PCM übertragen werden. Dazu wird das Signal mit einer Abtastrate von 2 kHz abgetastet.

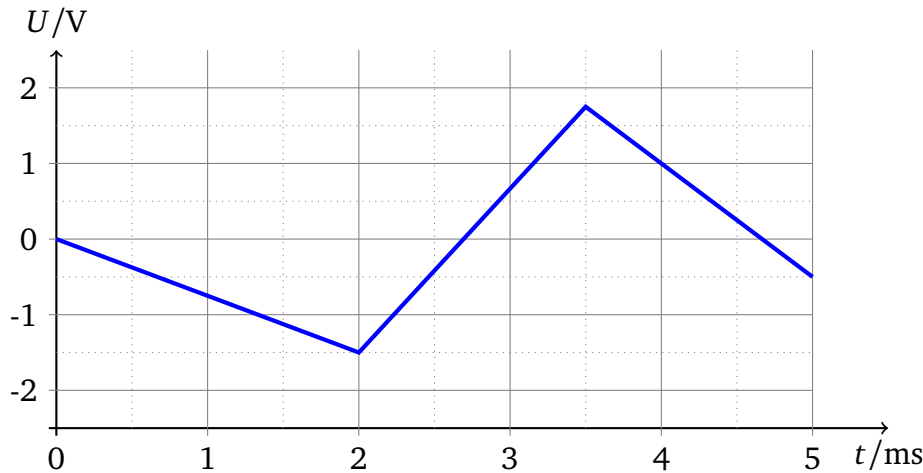


Abbildung 3.1: Signal im Zeitbereich

- a) Zeichnen Sie das Blockschaltbild eines PCM-Modulators
- b) Wie unterscheidet sich das Blockschaltbild von einem PAM-Modulator? Worin unterscheiden sich PAM und PCM?
- c) Zeichnen Sie das abgetastete Signal im Zeitbereich.

Das abgetastete Signal soll in acht gleichmäßige Intervalle von  $-2\text{ V}$  bis  $2\text{ V}$  quantisiert werden, wobei jeweils der Mittelwert eines jeden Quantisierungsintervalles ausgegeben werden soll.

- d) Zeichnen Sie die Quantisierungskennlinie.
- e) Wie viele Bits sind zur binären Codierung der quantisierten Zustände nötig? Weisen Sie jedem Intervall einen binären Code zu.
- f) Zeichnen Sie das abgetastete und quantisierte Signal.
- g) Zeichnen Sie die Bitfolge nach der Codierung als unipolares und als bipolares Non-Return-Zero (NRZ) Signal mit einer Amplitude von  $1\text{ V}$ .
- h) Welche Bitrate ergibt sich für die Übertragung des NRZ-Signals? Welche Bandbreite wird benötigt?
- i) Wie groß ist das Signal-zu-Quantisierungsrauschverhältnis? Gehen Sie bei der Berechnung von einem voll ausgesteuertem sinusförmigen Signal aus.
- j) Wie groß ist das Signal-zu-Quantisierungsrauschverhältnis, wenn 16 statt 8 Quantisierungsintervalle verwendet werden? Wie groß wird dann die benötigte Bandbreite?

---

## 4 Digitales Telefonsystem

---

Ein Sprachsignal soll mit Hilfe der PCM über ein digitales Telefonnetz übertragen werden. Das Sprachsignal hat eine Signalbandbreite von  $B_S = 3,4\text{ kHz}$  ( $f = 0\text{ kHz bis } 3,4\text{ kHz}$ ) und eine maximale Amplitude  $U_{\max} = \pm 1\text{ V}$ .

- a) Zeichnen Sie das Blockschaltbild eines PCM-Modulators.
- b) Welche Bandbreite muss das Eingangsfilter mindestens haben, damit das Signal unverfälscht übertragen werden kann?
- c) Das Signal wird mit  $f_A = 8\text{ kHz}$  abgetastet. Wie groß ist der zeitliche Abstand  $T_A$  zwischen zwei Abtastzeitpunkten? Wie groß darf die Bandbreite des Eingangsfilters maximal sein, ohne dass Aliasing auftritt?<sup>1</sup>
- d) Das Signal soll mit einem linearen Quantisierer bei einer Auflösung von 8 bit quantisiert werden. Welche Spannungsauflösung wird dabei erreicht? Wie groß ist das Signal-zu-Quantisierungsrauschverhältnis?
- e) Leiten Sie die bekannte Schätzformel für das Signal-zu-Quantisierungsrauschverhältnis her. Geben Sie Einschränkungen, die durch die Näherung entstehen, an.
- f) Wie kann das Signal-zu-Quantisierungsrauschverhältnis verbessert werden? Nennen Sie Vor- und Nachteile der Verfahren.
- g) Wie groß ist die Bitrate des zu übertragenden Signals? Welche Bandbreite wird zur Übertragung des digitalen Signals mindestens benötigt?
- h) Vergleichen Sie die benötigten Bandbreiten des digitalen Signals sowie des analogen Sprachsignals. Warum werden digitale Telefonnetze eingesetzt?

Im sogenannten PCM30/32-System werden 30 Sprach- und 2 Steuerkanäle (Bitrate je 64 kbit/s) zu einem Rahmen zusammengefasst und auf einer Leitung übertragen.

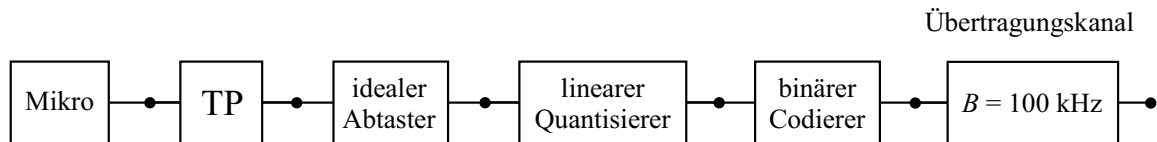
- i) Welche Bitrate ist zur Übertragung des Rahmens erforderlich?
- j) Welche Bandbreite muss zur Übertragung des Rahmens mindestens vorgesehen werden?
- k) Hat die Übertragung mehrerer Telefonsignale über einen PCM30/32 Kanal (also ein gemeinsames Kabel) Auswirkungen auf die Qualität der einzelnen Telefonsignale?

---

<sup>1</sup> Das Eingangsfilter (der erste Block, Tiefpass im PCM-System) darf auch eine höhere Grenzfrequenz und damit Bandbreite haben, als das Eingangssignal, sofern die Nyquist-Bedingung weiterhin erfüllt ist.

## 5 PCM Audioübertragungssystem

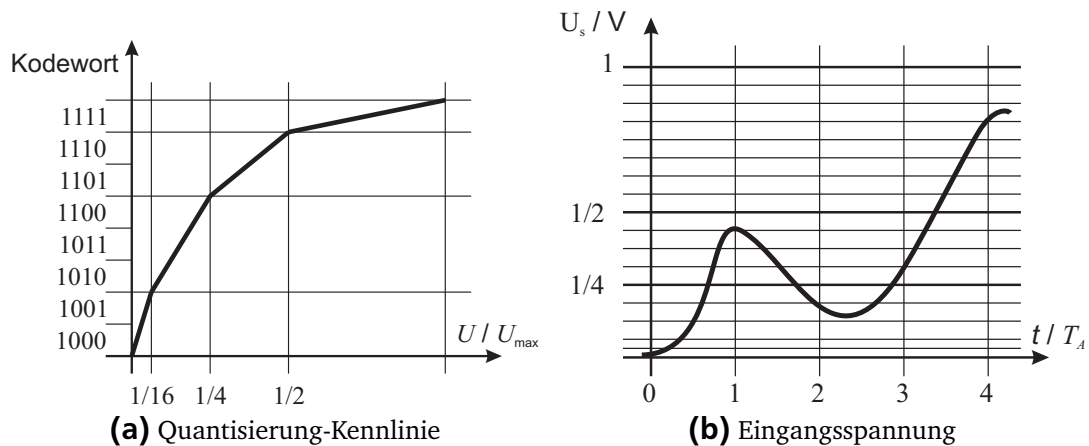
Betrachtet wird ein PCM-System zur Übertragung von Audiosignalen (siehe Abb. 5.1). Für die Quantisierung wird ein linearer Quantisierer mit dem Eingangsbereich  $\pm 1\text{ V}$  verwendet. Wird der Quantisierer mit einem sinusförmigen Testsignal der Amplitude  $U_0 = 1\text{ V}$  voll angesteuert, so soll der Signal-zu-Quantisierungsrauschabstand  $\text{SNR}_Q$  mindestens 20 dB betragen.



**Abbildung 5.1:** PCM System zur Übertragung von Audiosignalen

- Welche Auflösung  $\Delta s$  ist für den gegebenen Signal-zu-Quantisierungsrauschabstand notwendig?
- Welche Bitanzahl  $n$  ist für die Codierung der Abtastwerte nötig?
- Welche Auflösung  $\Delta s_2$  kann mit der berechneten Bitanzahl tatsächlich erreicht werden? Wie groß ist dann der Signal-zu-Quantisierungsrauschabstand?
- Berechnen Sie den Dynamikbereich.
- Welche maximale Abtastfrequenz  $f_p$  ist möglich, wenn eine Übertragungsbandbreite von  $B = 100\text{ kHz}$  für das digitale Signal zur Verfügung steht?
- Welche maximale Grenzfrequenz  $f_b$  darf demnach der Tiefpass TP besitzen, damit eine unverzerrte Übertragung des Audiosignals möglich ist?

Ein Signal mit der maximalen Amplitude  $U_{\max} = \pm 1 \text{ V}$  soll digitalisiert werden und mit Hilfe einer Puls-Code-Modulation übertragen werden. Die Bandbreite  $B_S$  des Signals beträgt 1 MHz ( $f = 0 \text{ MHz bis } 1 \text{ MHz}$ ).



**Abbildung 6.1:** Puls-Code-Modulation

- Zeichnen Sie das Blockschaltbild eines Puls-Code-Modulators.
- Welche Bandbreite  $B_F$  muss das Eingangsfilter mindestens haben, damit das Signal unverfälscht übertragen werden kann.
- Mit welcher Frequenz  $f_A$  muss das Signal mindestens abgetastet werden, um es eindeutig rekonstruieren zu können? Wie groß ist dabei der zeitliche Abstand  $T_A$  in ms zwischen den Abtastzeitpunkten?
- Welche Bitrate  $R_b$  ergibt sich bei einer Quantisierung mit 4 bit? Wie viele Amplitudenstufen können damit abgebildet werden?

Im folgenden wird eine ungleichförmige Quantisierung verwendet. Abbildung 6.1a zeigt den positiven Ast der Kennlinie.

- Wann hat die Verwendung einer ungleichförmigen Quantisierung Vorteile gegenüber einer linearen? Benennen Sie kurz mindestens zwei Vorteile.
- Zeichnen Sie die vollständige Quantisierungskennlinie (mit negativem Ast), so dass der gesamte Aussteuerbereich von  $-U_{\max}$  bis  $+U_{\max}$  dargestellt ist.
- Wie viele Segmente umfasst die Quantisierungs-Kennlinie für den gesamten Aussteuerbereich?
- Bestimmen Sie für den in Abbildung 6.1b dargestellten Spannungsverlauf die entstehende Bitfolge für die Zeitpunkte  $t = [0 \cdots 4] \cdot T_A$ .
- Nehmen Sie an, es werde nun den gesamten Aussteuerbereich gleichförmig mit einer Auflösung von 6 bit quantisiert. Wie groß ist dabei der Signal-zu-Quantisierungsrausch-Abstand?