

Prof. Dr.-Ing. Erwin Riederer  
Kommunikationstechnik  
Universität der Bundeswehr München  
Institut für Funkkommunikation

Telekommunikation  
Praktikumsversuch F -  
Quantisierungsverzerrungen

Stand 12.03.2021

## INHALT

1. Einführung.....	- 3 -
1.1 Zweck des Versuchs:.....	- 6 -
2. Vorbereitung.....	- 7 -
2.1 Benötigte Grundlagen.....	- 7 -
2.2 Vorbereitungsfragen.....	- 7 -
3. Durchführung.....	- 10 -
3.1 Benötigte Software.....	- 10 -
3.2 Lineare Quantisierung .....	- 10 -
3.2.1 Überprüfung der Vorbereitungsaufgaben .....	- 10 -
3.2.2 Messreihe „lineare Quantisierung“ .....	- 12 -
3.3 Nichtlineare Quantisierung .....	- 13 -
3.3.1 Messreihe „nichtlineare Quantisierung“ .....	- 13 -
4. Auswertung.....	- 14 -
5. ANHANG .....	- 16 -
5.1 Normierter Effektivwert.....	- 16 -
5.2 Hinweise zur Verwendung von labAlive .....	- 17 -

## 1. EINFÜHRUNG

Die Quantisierung ist ein wesentlicher Bestandteil der Puls-Code-Modulation (PCM) sowie jeder digitalen Nachrichtenübertragung. Bei der Quantisierung werden die eingehenden analogen Werte einem diskreten Wert zugeordnet. Hierzu wird das eingehende Signal durch den Quantisierungsbereich begrenzt. Dieser Quantisierungsbereich wird in eine endliche Anzahl von Quantisierungsintervallen eingeteilt. Daraufhin werden die eingehenden Amplitudenwerte einem diskreten Wert zugeordnet.

Sämtliche möglichen Analogwerte innerhalb eines Intervalls werden durch ein und denselben Wert, den Mittelwert des Intervalls, repräsentiert. Die Quantisierungsintervalle sind voneinander durch Entscheidungsschwellen getrennt. Überschreitet ein Analogwert nur geringfügig die untere Schwelle eines Quantisierungsintervalls, so wird ihm der Wert des betreffenden Intervalls zugeordnet. Er nimmt erst den Wert des nächsthöheren Intervalls an, wenn er die Schwelle des betrachteten Intervalls überschreitet.

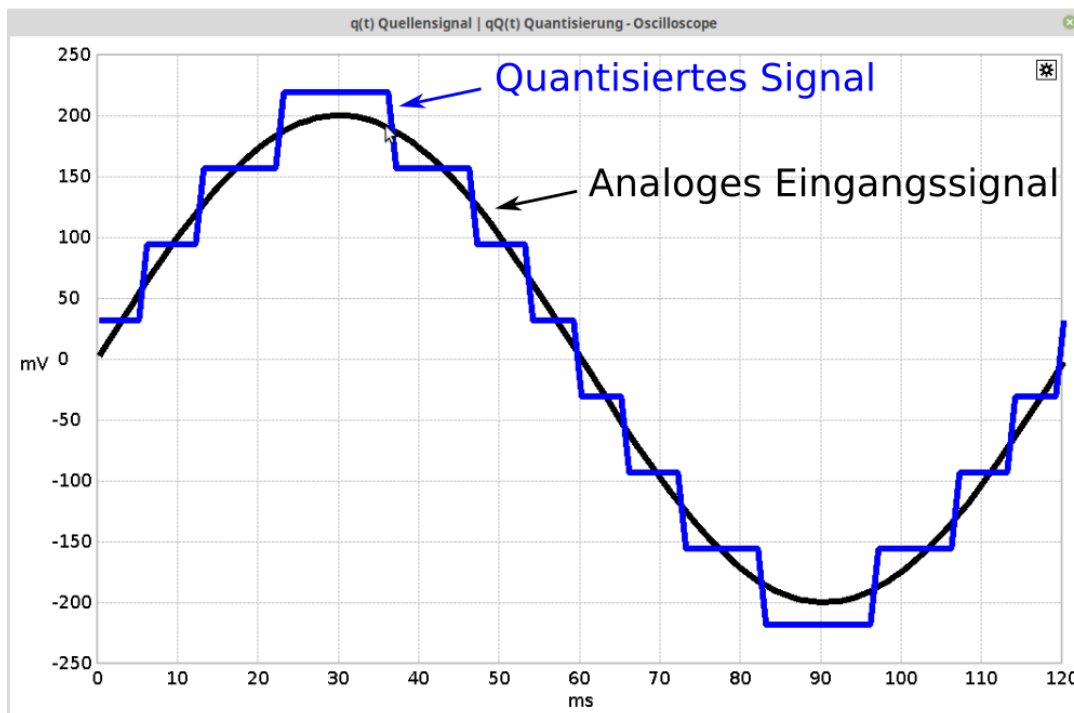
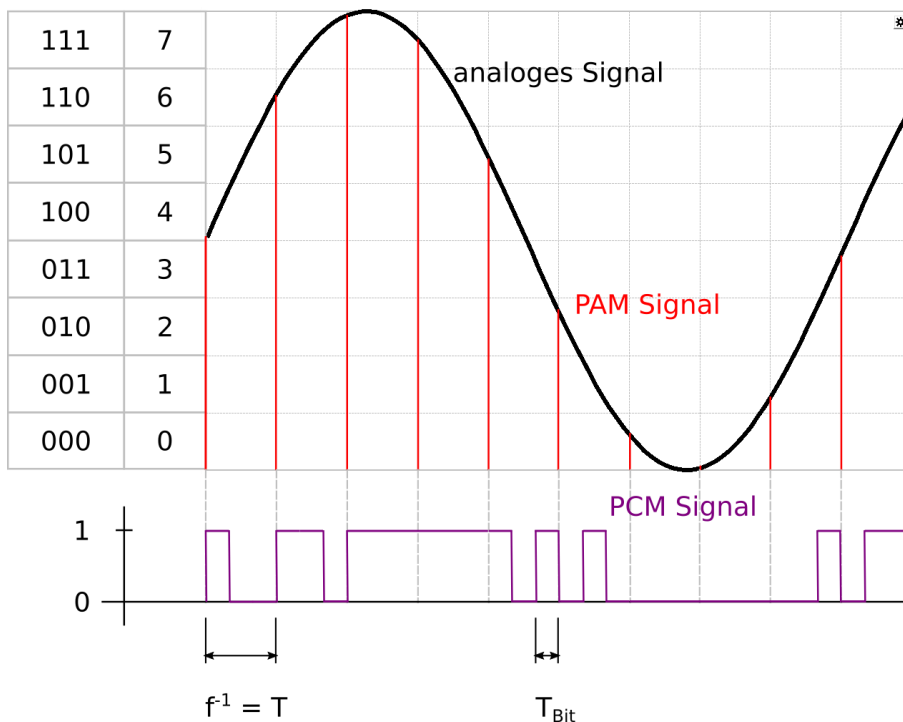


Abbildung 1: Quantisierung eines analogen Signals



Anzahl der Quantisierungsstufen:

Die Zahl der Bits pro Codewort hängt von der Anzahl der Quantisierungsstufen ab. Mit einem n-stelligen (binären) Codewort können  $M_q$  Quantisierungsintervalle dargestellt werden.

$$M_q = 2^n \quad \text{mit n Anzahl der Bits}$$

Quantisierungsverzerrungen:

Da alle in das Quantisierungsintervall fallenden Analogwerte nur einem diskreten Wert zugeordnet werden, entsteht ein Quantisierungsfehler.

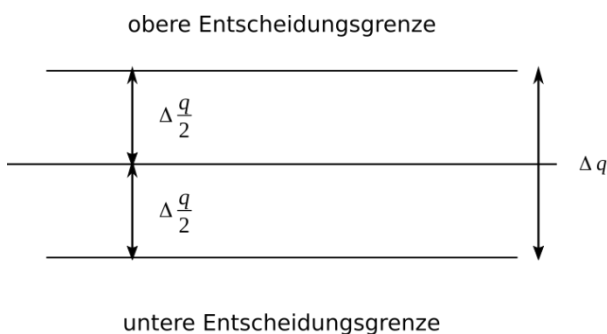


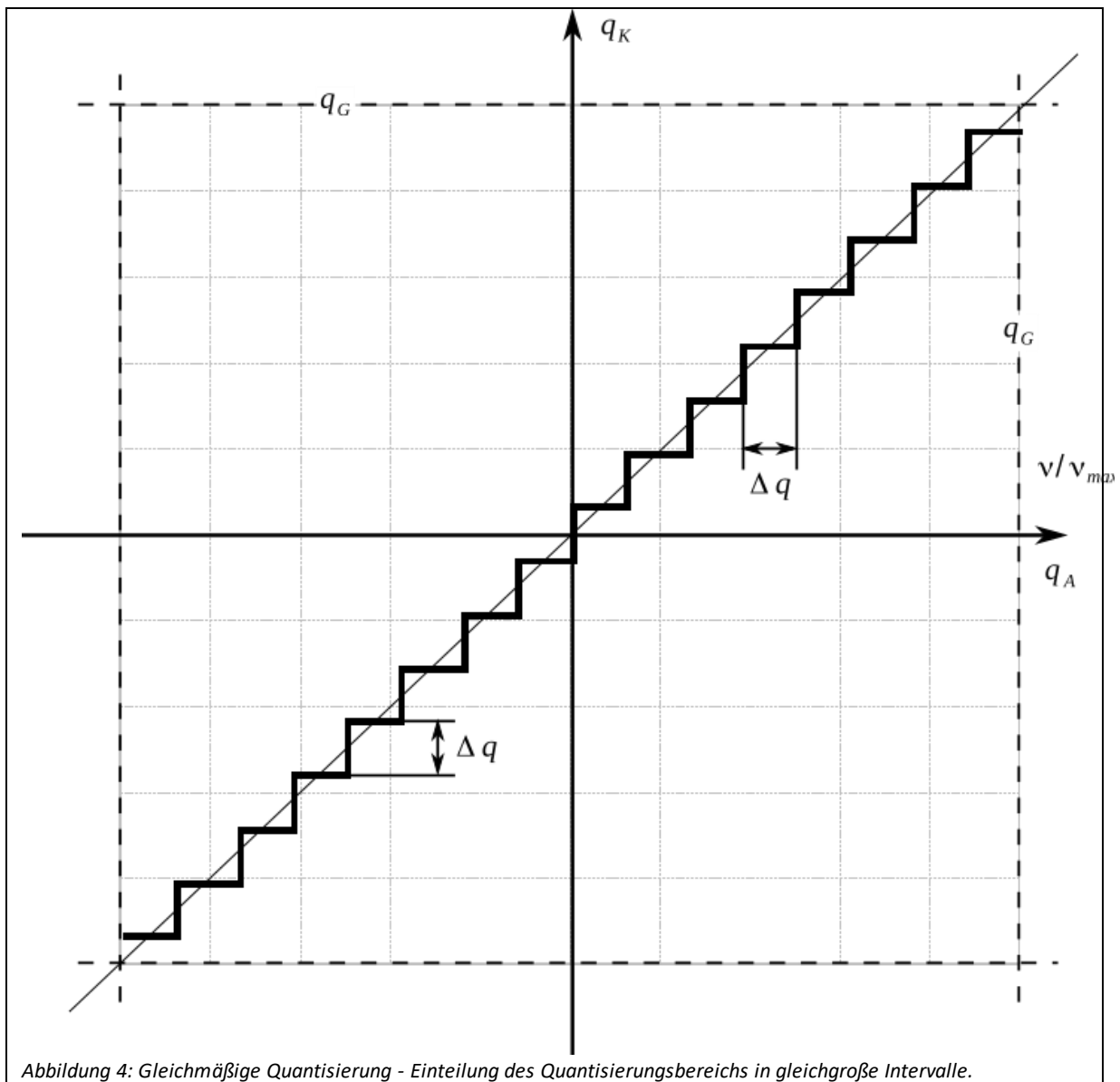
Abbildung 3: Alle Werte, die zwischen  $+\Delta q/2$  und  $-\Delta q/2$  liegen, werden einem einzigen, diskreten Wert zugeordnet.

Die Quantisierungsstörleistung ist abhängig von der Intervallgröße  $\Delta q$  und ergibt sich zu:

$$N_Q = \frac{\Delta q^2}{12}$$

Lineare Quantisierung:

Bei der linearen Quantisierung wird der Quantisierungsbereich in n-gleiche Quantisierungsstufen mit gleicher Breite unterteilt.



Die Intervallgröße  $\Delta q$  lässt sich folgendermaßen berechnen:

$$\Delta q = \frac{2q_G}{M_q}$$

Nichtlineare Quantisierung:

Bei der nichtlinearen Quantisierung besitzen die Quantisierungsstufen eine unterschiedliche Breite. Dies kann dadurch erreicht werden, indem vor der linearen Quantisierung eine Kompression durchgeführt wird. Anschließend wird die Kompression durch eine Expansion am Ausgang wieder rückgängig gemacht. Zur Kompression und Expansion wird hier die 13-Segmentkennlinie verwendet. Mit deren Hilfe soll der Signal-Quantisierungsleistungsabstand bei niedrigen Amplituden verbessert werden.

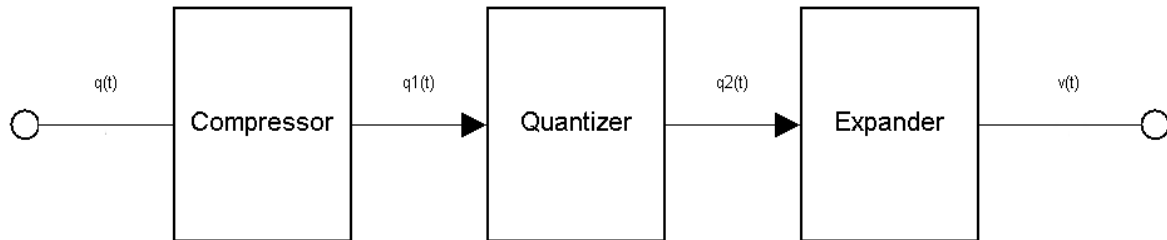


Abbildung 5: Schematische Darstellung einer nichtlinearen Quantisierung

## 1.1 Zweck des Versuchs:

- Untersuchen Sie den Signal – Quantisierungsstörleistungsabstand der linearen Quantisierung in Abhängigkeit der Zahl der Bits pro Codewort.
- Bestimmen Sie die Verbesserung des Signal – Quantisierungsstörleistungsabstands mit Hilfe der 13-Segmentkennlinie.

2. VORBEREITUNG

2.1 Benötigte Grundlagen

- Vorlesung: „Telekommunikation“, Prof. Dr. –Ing. Riederer

2.2 Vorbereitungsfragen

Ein Sinussignal mit einer Eingangsamplitude von  $\hat{q} = 1V$  soll mit Hilfe einer 8-Bit-Quantisierung quantisiert werden. Zusätzlich wird das Signal von einem Amplitudenbegrenzer auf 1V begrenzt.

- Berechnen Sie die Anzahl der Quantisierungsstufen  $M_q$ .
- Wie groß sind die Quantisierungsintervalle  $\Delta q$ ?
- Berechnen Sie die Quantisierungsstörleistung  $N_Q$ .
- Berechnen Sie für die in der nachfolgenden Tabelle angegebenen  $\hat{q}$  die quantisierten Werte sowie die jeweils dabei auftretenden Quantisierungsfehler.

$\hat{q} / V$	Stufen	Stufen auf halbe gerundet	$\hat{q}_{Quant} / V$	Fehler / V
0,2	25,6	25,5	0,19921875	0,00078125
0,3				
0,4				
0,5				
0,6				
0,7				
0,8				
0,9				
1				

e) Es wird nun eine Amplitude von 1.1V eingespeist. Zeichnen Sie den Amplitudenbegrenzungsfehler ein.

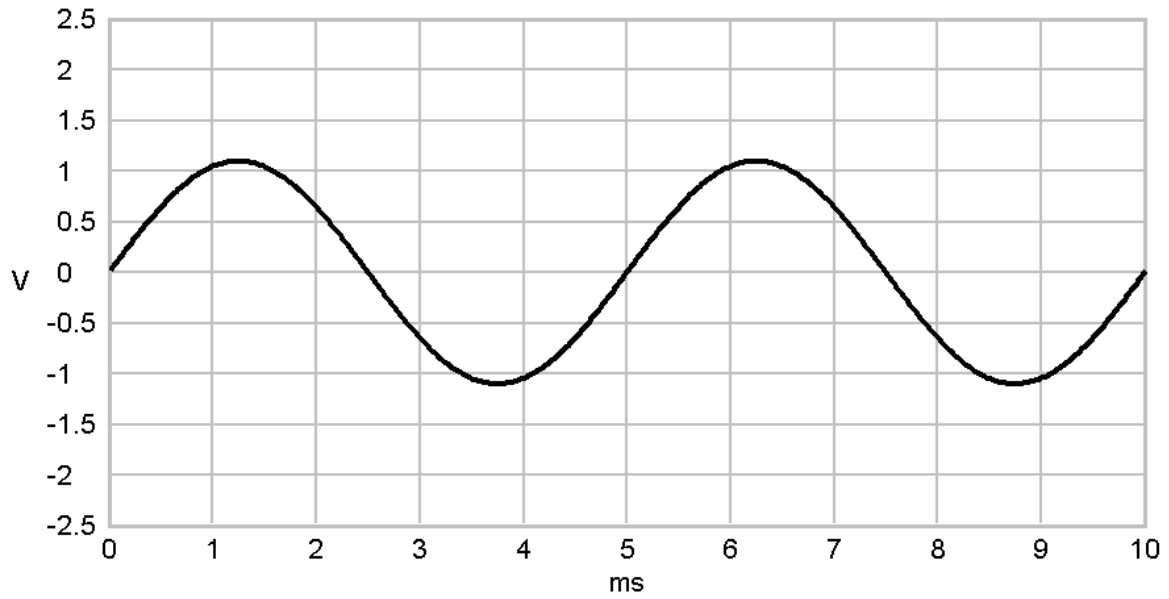


Abbildung 6: Sinusförmiges Eingangssignal mit der Amplitude  $\hat{q} = 1,1V$

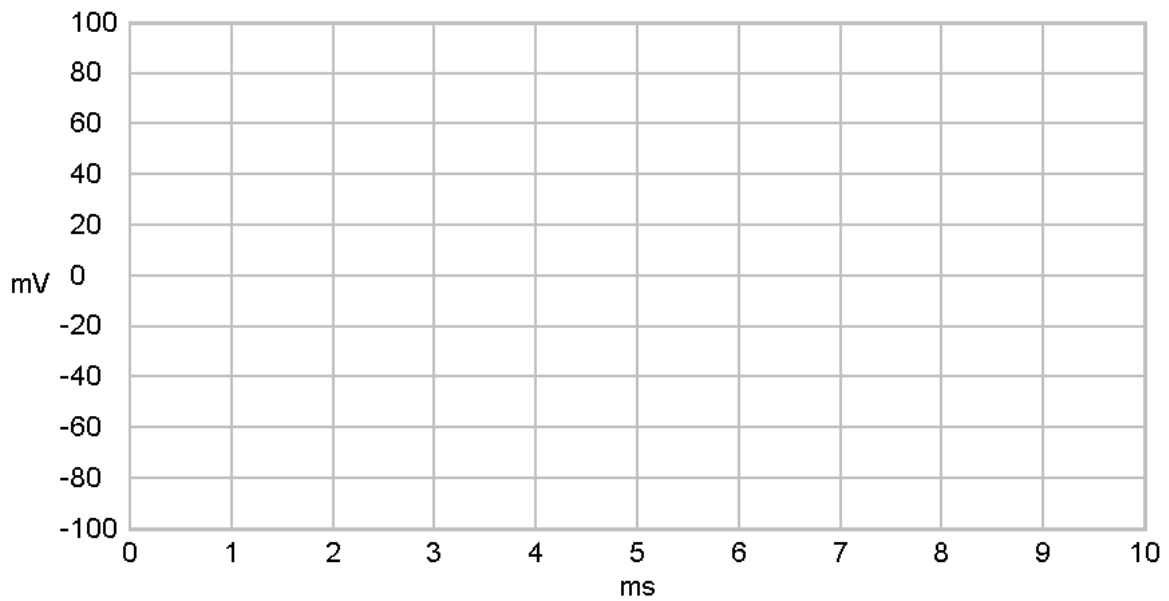


Abbildung 7: Leeres Diagramm zum einzeichnen des Amplitudenbegrenzungsfehlers.



f) Berechnen Sie den Signal – Quantisierungsstörleistungsabstand  $Q_{v,q}$  in Abhängigkeit der Auflösung für folgende Signale:

- 1) Sinus  $\hat{q} = 1V$
- 2) Dreieck  $\hat{q} = 1V$

Der Signal – Quantisierungsstörleistungsabstand für eine optimale Aussteuerung (Signalamplitude und Aussteuerbereich sind gleich) ergibt sich zu:

$$Q_{v,q} = Q_{q_{eff}} + 4,77 \text{ dB} + n \cdot 6 \text{ dB}$$

Zeichnen Sie anschließend die Ergebnisse in das Diagramm ein.

n	4	8	12	16
$Q_{v,q,Sinus} \text{ [dB]}$		49,76		
$Q_{v,q,Dreieck} \text{ [dB]}$				

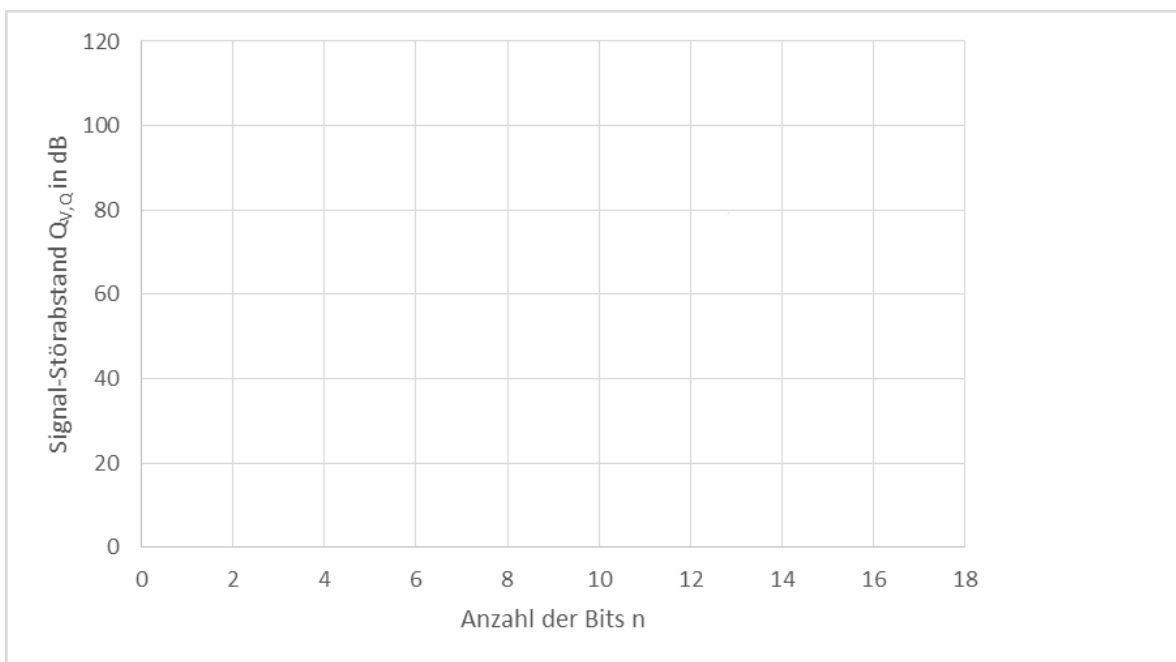


Abbildung 8: Leeres Diagramm zum Eintragen der errechneten Werte.

3. DURCHFÜHRUNG

3.1 Benötigte Software

- Simulationssystem *labAlive*
- Tabellen aus der Datei „TK\_Versuch\_F\_Tabelle\_Quantisierungsverzerrungen.xlsx“

3.2 Lineare Quantisierung

Starten Sie den Versuch [Lineare Quantisierung / Uniform quantization](#).

3.2.1 Überprüfung der Vorbereitungsaufgaben

- a) Messen Sie für die einzelnen Werte die quantisierten Werte sowie die jeweils dabei auftretenden Quantisierungsfehler. Überprüfen Sie die Berechnungen aus der Vorbereitung/Teilaufgabe d).

$\hat{q} / V$	$\hat{q}_{Quant} / V$ (gemessen)	Fehler / V (gemessen)
0,2		
0,3		
0,4		
0,5		
0,6		
0,7		
0,8		
0,9		
1		

- b) Stellen Sie an der Quelle ein Sinussignal mit einer Amplitude von 1,1V ein. Beobachten Sie nun den Amplitudenbegrenzungsfehler. Wie groß ist dieser? Stimmt er mit Ihrer Skizze aus der Vorbereitung/Teilaufgabe e) überein?

c) Stellen Sie an der Quelle ein Sinussignal mit  $\hat{q} = 1V$  ein.

Öffnen Sie das Tabellenblatt 3.2.1 in der Excel-Arbeitsmappe

TK\_Versuch\_F\_Tabelle\_Quantisierungsverzerrungen.xlsx. Tragen Sie dort die Messwerte ein.

Lineare Quantisierung, Aufgabe 3.2.1						
Bit	Sinus $q = 1V$			Dreieck $q = 1V$		
	$S_v / V^2$	$N_v / V^2$	$Q_v = 10 \lg \frac{S_v}{N_v}$ [dB]	$S_v / V^2$	$N_v / V^2$	$Q_v = 10 \lg \frac{S_v}{N_v}$ [dB]
4						
8						
12						
16						

Abbildung 9: Tabelle 3.2.1, benutzen Sie die Excel-Arbeitsmappe

Stellen Sie die Auflösung am Quantisierer in 4er Schritten von 4-16 Bit ein und messen Sie die Leistungen:



Abbildung 10: Leistung  $S_v$  an der Sinke

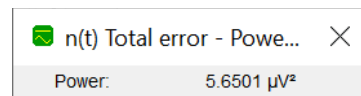


Abbildung 11: Leistung  $N_v$  des Fehlersignals

d) Stellen Sie an der Quelle ein Dreiecksignal mit  $\hat{q} = 1V$  ein und wiederholen Sie die Messreihe. Tragen Sie die Messwerte ebenfalls in das Tabellenblatt 3.2.1 ein.

3.2.2 Messreihe „lineare Quantisierung“

Stellen Sie an der Quelle das Sprachsignal *Speech* sowie 8 Bit Quantisierung ein und messen bzw. berechnen Sie die Werte gemäß dem Tabellenblatt 3.2.2.

**Das Messgerät berechnet die Leistung eines Signals durch Zeitmittelung. Warten Sie bis sich stabile Messwerte eingestellt haben. Wenn Sie Parameter ändern (Scrollbalken oder direkte Eingabe) wird das Messgerät zurückgesetzt und eine neue Messung beginnt. Die Messgeräte können ggf. geschlossen und wieder gestartet werden um sicherzustellen dass die Messung nicht von Werten der vorherigen Einstellungen beeinflusst wird.**

Der jeweilige Signal-Störabstand des quantisierten Signals wird berechnet und im Tabellenblatt „Diagramm“ dargestellt.

Hören Sie sich auch an ein paar Stellen das Audio-Sinkensignal an.

Lineare Quantisierung, Aufgabe 3.2.2					
$S_v / \text{dBV}^2$	$q / V$	$S_v / V^2$	$N_v / V^2$	$\rho_v = \frac{S_v}{N_v}$	$Q_v = 10 \lg \frac{S_v}{N_v} [\text{dB}]$
	0,01				
	0,05				
	0,2				
	0,5				
	1				
	4				
	16				

Abbildung 12: Tabelle 3.2.2, benutzen Sie die Excel-Arbeitsmappe

3.3 Nichtlineare Quantisierung

Starten Sie den Versuch: [Nichtlineare Quantisierung/Non-uniform quantization](#).

3.3.1 Messreihe „nichtlineare Quantisierung“

Stellen Sie an der Quelle das Sprachsignal *Speech* sowie 8Bit Quantisierung ein und messen bzw. berechnen Sie die Werte gemäß dem Tabellenblatt 3.3.1.

Gehen Sie dabei wie in Aufgabe 3.2.2 vor.

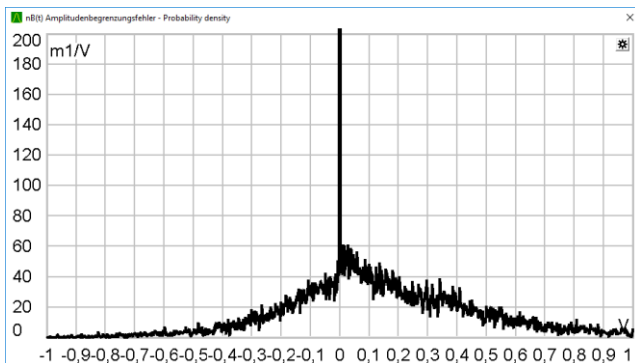
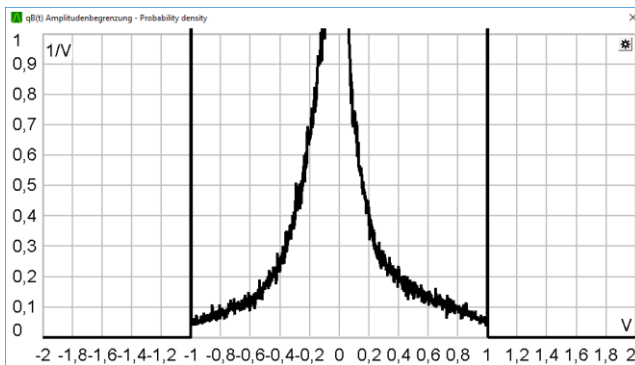
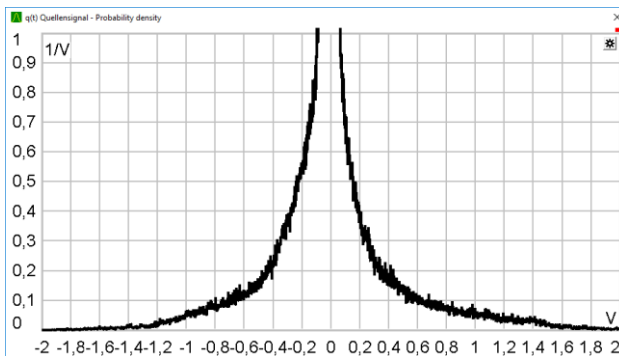
Nichtlineare Quantisierung, Aufgabe 3.3.1					
$S_v / \text{dBV}^2$	$q / \text{V}$	$S_v / \text{V}^2$	$N_v / \text{V}^2$	$\rho_v = \frac{S_v}{N_v}$	$Q_v = 10 \lg \frac{S_v}{N_v}$ [dB]
	0,01				
	0,05				
	0,2				
	0,5				
	1				
	4				
	16				

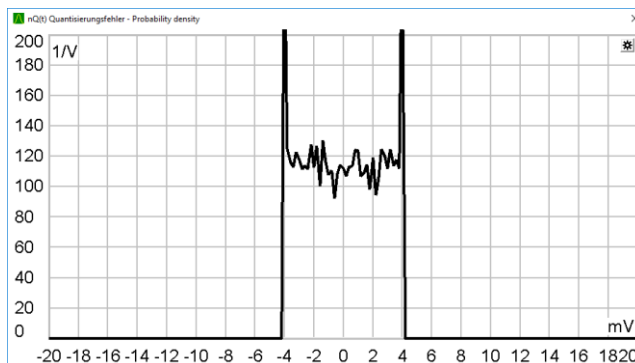
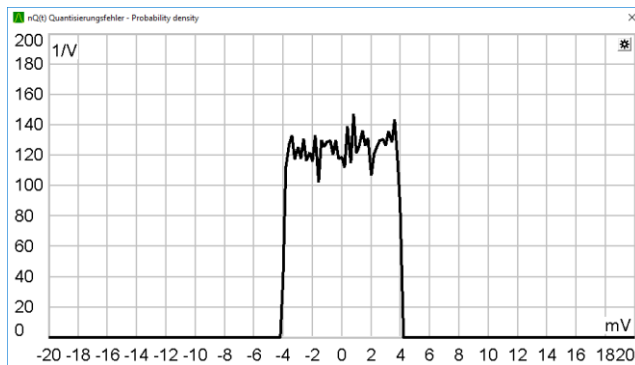
Abbildung 13: Tabelle 3.3.1, benutzen Sie die Excel-Arbeitsmappe

4. AUSWERTUNG

Öffnen Sie das Tabellenblatt „Diagramme“ in Excel.

- a) Betrachten Sie das Diagramm „ $Q_v$  Sinus/Dreieck“. Vergleichen Sie die errechneten Werte aus der Vorbereitung mit den gemessenen Werten. Was stellen Sie fest?
- b) Betrachten Sie das Diagramm „ $Q_v$  lineare/nicht lineare Quantisierung“. Vergleichen Sie lineare- und nichtlineare Quantisierung. Was fällt Ihnen auf?
- c) Kann bei der Quantisierung mit Hilfe der 13-Segmentkennlinie gegenüber der linearen Quantisierung eine Verbesserung festgestellt werden? Begründen Sie.
- d) Um welchen Wert verbessert sich der S/N-Störabstand der nichtlinearen Quantisierung gegenüber der linearen Quantisierung bei -44 dB? Warum ergibt sich dieser Wert?
- e) Interpretieren Sie die Wahrscheinlichkeitsdichten der verschiedenen Signale.

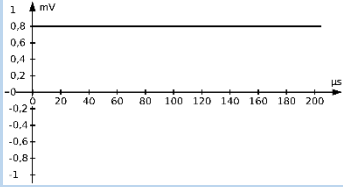
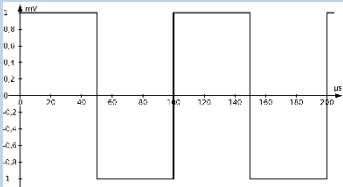
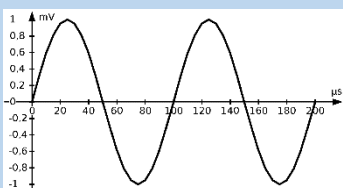
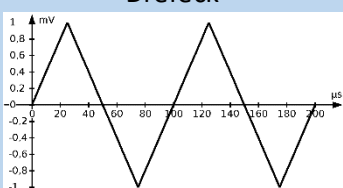
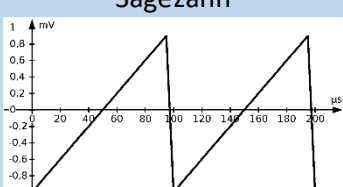
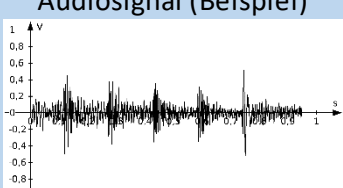


**Checkliste:**

- Haben Sie die Verbesserung der nichtlinearen Quantisierung gegenüber der linearen gehört?
- Wie viele Bit Auflösung sind notwendig, um die Sprache noch zu verstehen?
- Wie hört sich das Quantisierungsfehler-Signal an?
- Welche Verteilung hat das Quantisierungsfehler-Signal?
- Bei gleichmäßiger Quantisierung ist die Quantisierungsstörleistung immer gleich (wie berechnet). Welche Ausnahmen gibt es hier?
- Wie hängen die Amplitude und die Leistung des Sprachsignals zusammen (Umrechnung)?

5. ANHANG

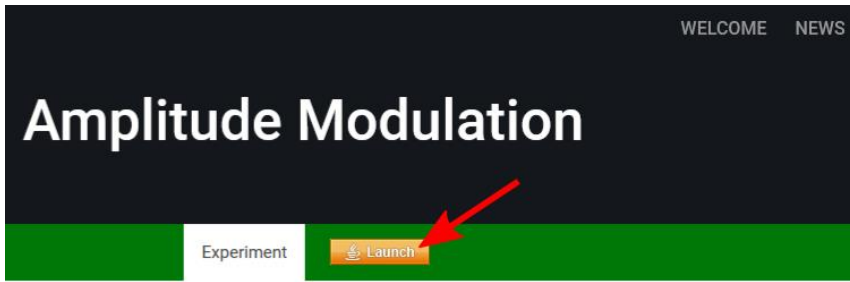
5.1 Normierter Effektivwert

123-Regel				
Signalform	PAPR	$q_{eff}^{\circ 2}$	PAPR[dB]	$Q_{q_{eff}} [dB]$
<p>Gleichspannung</p> 	1	1	0	0
<p>Rechteck</p> 	1	1	0	0
<p>Sinus</p> 	2	$\frac{1}{2}$	3,01	-3,01
<p>Dreieck</p> 	3	$\frac{1}{3}$	4,77	-4,77
<p>Sägezahn</p> 	3	$\frac{1}{3}$	4,77	-4,77
<p>Audiosignal (Beispiel)</p> 	80	$\frac{1}{80}$	19	-19
<p>Normierter Effektivwert</p> $q_{eff}^{\circ} = \frac{q_{eff}}{\hat{q}}$	<p>Crest Faktor</p> $C = \frac{1}{q_{eff}^{\circ}}$	<p>Peak-to-average-power ratio (PAPR)</p> $PAPR = \frac{\hat{q}^2}{q_{eff}^{\circ 2}} = \frac{1}{q_{eff}^{\circ 2}}$		



5.2 Hinweise zur Verwendung von labAlive

Die Simulation lässt sich mit einem Klick auf den „Launch“-Button starten.



In the early 20th century enabled the development of simple radio receivers. The crystals capability to rectify on (AM) to become the prevalent method to send and receive information. The amplitude of a high frequency information signal, which is detected afterwards by rectification. AM requires only a minimum effort of stable for interferences and requires a comparatively high bandwidth.

Abbildung 14: Starten der Simulation

Nach dem Start läuft die Simulation mit einer voreingestellten Geschwindigkeit ab. Diese lässt sich mit der Taste **F3** beschleunigen und mit der Taste **F2** verlangsamen. Die **Leertaste** stoppt den Ablauf der Simulation.

Signalform und Parameter des Eingangssignals können in den Einstellungen geändert werden.

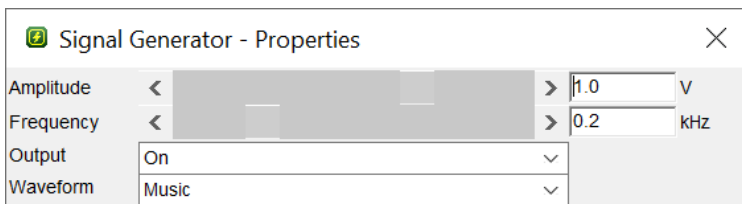


Abbildung 15: Einstellungen des Eingangssignals

Durch einen Rechtsklick auf eine der Leitungen lassen sich verschiedene Messgeräte auswählen, um dessen Signal zu vermessen, darzustellen oder anzuhören.

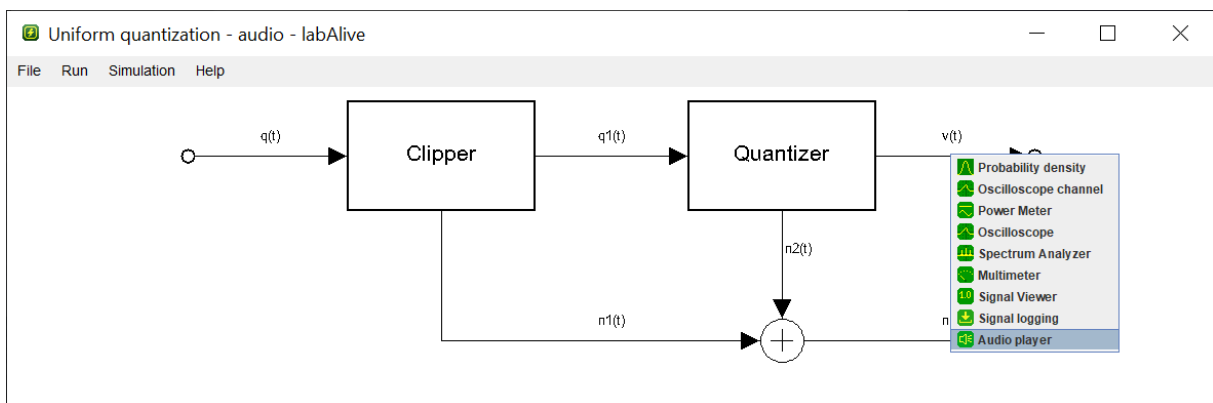


Abbildung 16: Hinzufügen von Messgeräten

Der Einstellungs-Dialog des jeweiligen Messgeräts kann über das Zahnradsymbol oder einen Rechtsklick in das Fenster des Messgeräts aufgerufen werden. Es werden anfangs nur die wichtigsten Einstellungen angezeigt. Durch einen Linksklick auf den Button mit dem nach unten gerichteten Pfeil

lassen sich die restlichen Einstellungen anzeigen. (Hinweis: Oft sind zur Anzeige aller Einstellungen mehrere Klicks notwendig.)

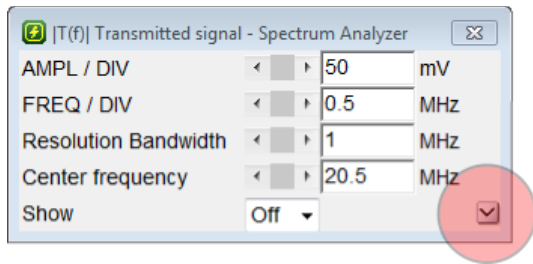


Abbildung 17: Einstellungen für das gewählte Messgerät

Eine detaillierte Hilfe ist online unter folgender Adresse zu finden:

<https://www.etti.unibw.de/labalive/manual/>