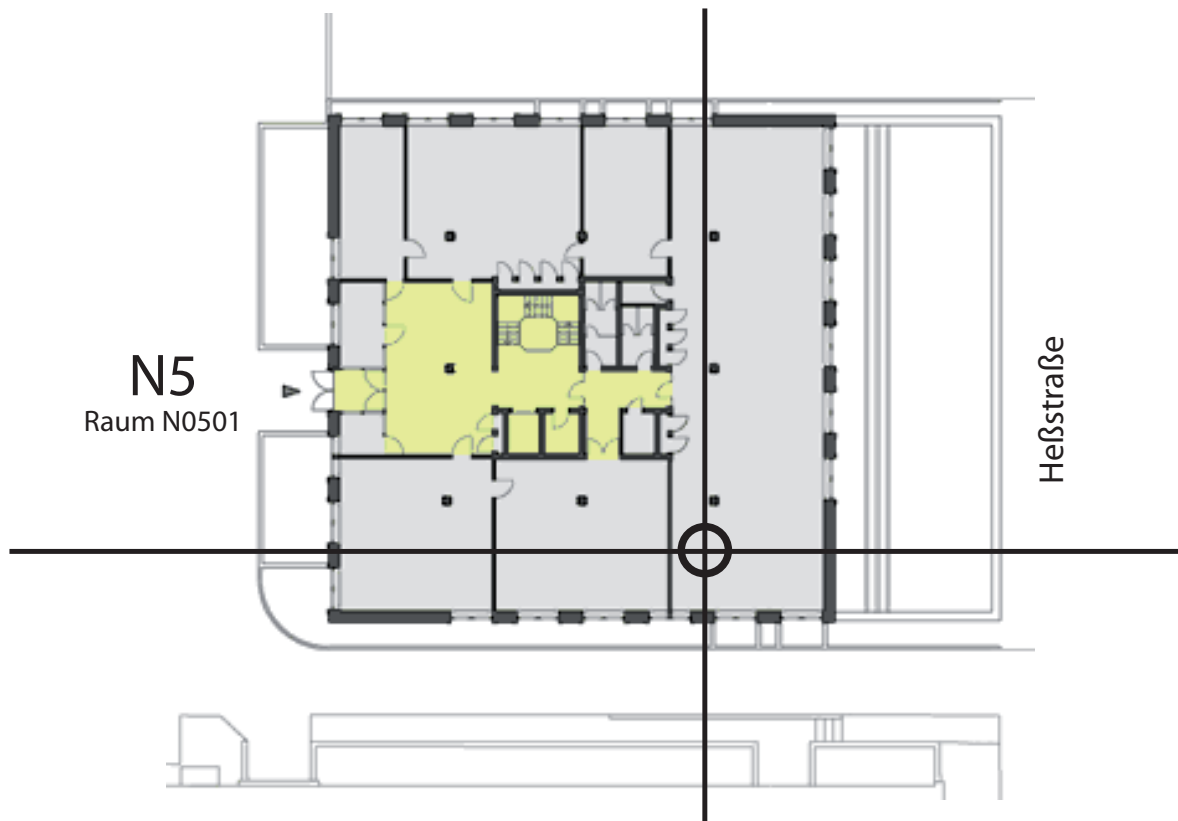


Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation
Technische Universität München

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Rigoll

Praktikum System- und Schaltungstechnik **Signalerfassung und -analyse**



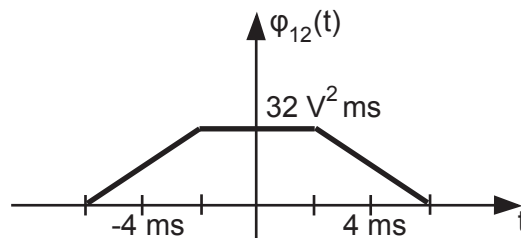
Inhaltsverzeichnis

1	Vorbereitungsfragen	3
2	Versuchsdurchführung	7
2.1	Korrelation	7
2.2	Diskrete Fourier - Transformation	9
2.3	Abtastung und Quantisierung	11

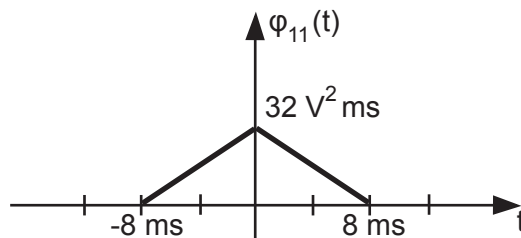
1

Vorbereitungsfragen

1. (a) Trapez von -6 ms bis +6 ms, Amplitude $32V^2 \text{ ms}$



- (b) Dreieck von -8 ms bis +8 ms, Amplitude $32V^2 \text{ ms}$



2. In 100 ms liegen $100\text{ms} \cdot 40,96\text{kHz} = 4096$ Abtastwerte. Die nötigen Multiplikationen zur Berechnung von $\phi_{xx}[n]$ sind bei

$n = 0$: **4096 Multiplikationen**

$n = 1$: **4095 Multiplikationen**

\vdots

$n = 4096$: **0 Multiplikationen**

Da die Autokorrelationsfunktion immer achsensymmetrisch ist ($\phi_{xx}[n] = \phi_{xx}[-n]$), muss nur die Hälfte der Multiplikationen berechnet werden, d.h. negative n können weggelassen werden.

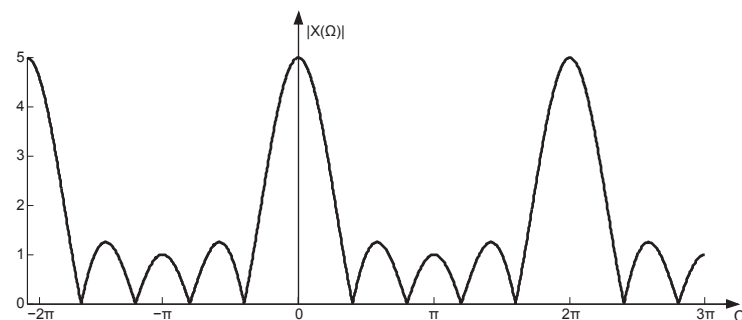
1. Vorbereitungsfragen

Es werden also $0 + 1 + 2 + \dots + 4096$ Multiplikationen benötigt. Dies kann effizient mit der Gauß'schen Summenformel berechnet werden zu $N = \frac{n \cdot (n+1)}{2} \approx 8,4 \cdot 10^6$.

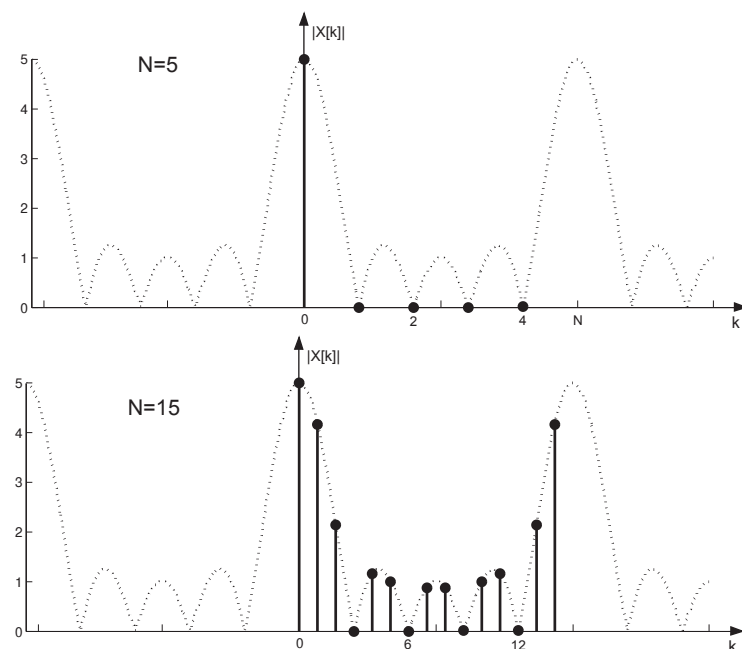
3. (a)

$$|X(\Omega)| = \left| \frac{\sin\left(\frac{5}{2}\Omega\right)}{\sin\left(\frac{1}{2}\Omega\right)} \right|$$

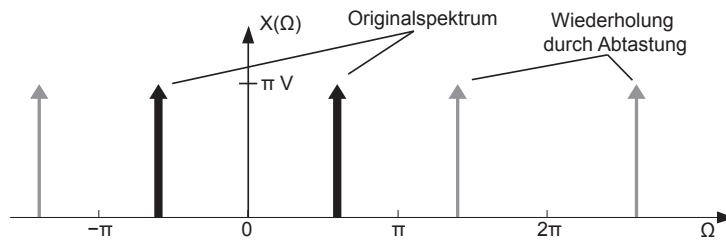
Die Funktion hat innerhalb der Periode 2π ihr Maximum bei 0 und Nullstellen bei $\frac{2\pi}{5}$, $\frac{4\pi}{5}$, $\frac{6\pi}{5}$ und $\frac{8\pi}{5}$.



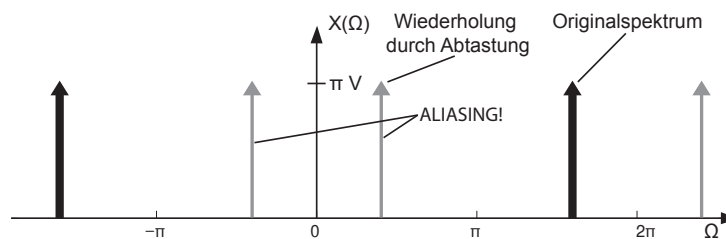
(b) Der Übergang von ZDFT zu DFT geschieht nun dadurch, dass die Periode mit $N=5$ bzw. $N=15$ Abtaststützstellen versehen wird. Während sich für $N=15$ Stützstellen der Verlauf der si-Funktion erahnen lässt, ergibt sich für $N=5$ ein δ -Impuls: außer der ersten fallen alle Stützstellen auf die Nullstellen des Spektrums. Dies ist auch im Zeitbereich einsichtig: Für $N=5$ ist $x(n)$ konstant 1, während $x(n)$ für $N=15$ einen Rechteckimpuls darstellt.



4. Die Originalspektren sind durch dicke schwarze Pfeile dargestellt, die durch Abtastung wiederholten Spektren durch graue Pfeile. Da in Aufgabe 4b das Originalspektrum außerhalb von π liegt, tritt hier Aliasing auf.



(a)



(b)

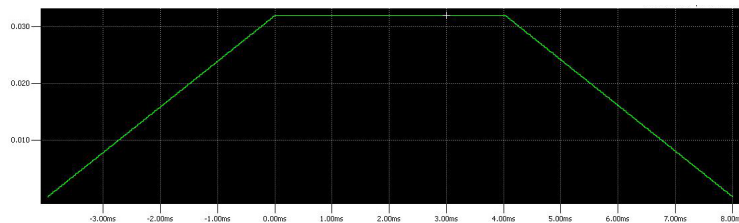
Die Abtastfrequenz beträgt $f_a = 1/T_a = 1/100\mu s = 10kHz$. Daraus ist ersichtlich, dass nur für den 1. Fall das Abtasttheorem erfüllt ist, für den 2. Fall tritt somit Aliasing auf: die Frequenz von 8kHz wird auf 2kHz „heruntergespiegelt“.

2

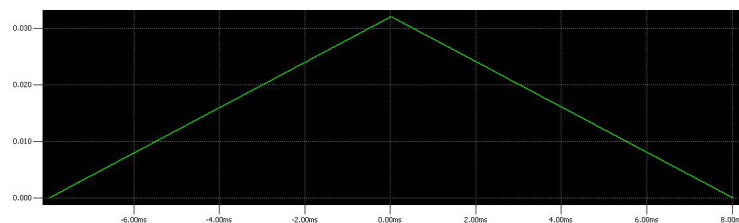
Versuchsdurchführung

2.1 Korrelation

- (a) Signalerzeugung Parameter: Frequenz 0 Hz, Phase 90° , Amplitude 2V bzw. 4V, Dauer laut Angabe
- (b) KKF: Amplitude stimmt überein, jedoch ist das Ergebnis nicht um 0 zentriert, da die Eingangssignale nicht um 0 zentriert sind.



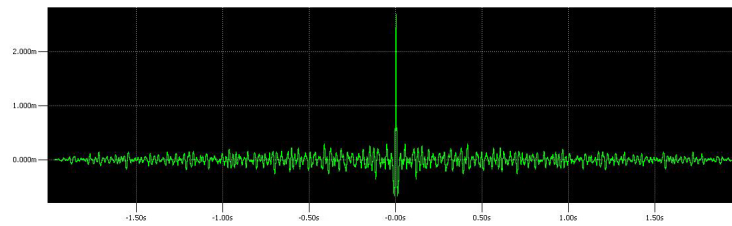
- (c) AKF: Amplitude stimmt überein, wie zuvor ist die Position auf der Zeitachse verschoben.



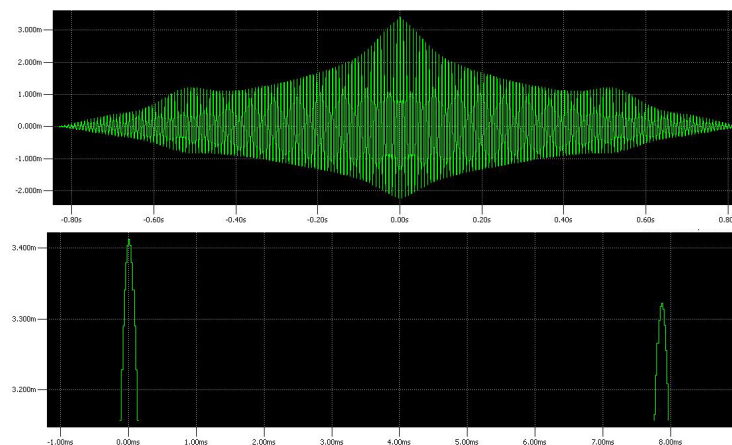
2. Sprachanalyse

- (a) Aufnahme: Vorgehensweise laut Beschreibung des Versuchsaufbaus, auf Übersteuerung achten!
- (b) Das Signal ist nicht periodisch, da es nur einen Peak bei $\tau = 0$ besitzt. Weißes Rauschen hat eine ähnliche AKF.

2. Versuchsdurchführung

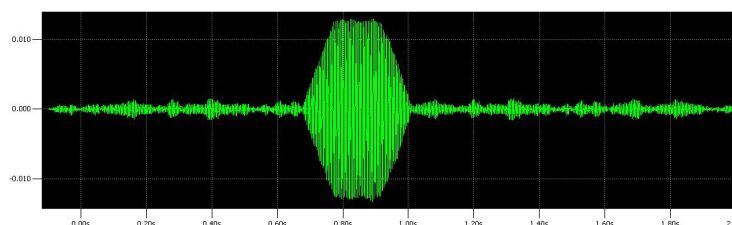


- (c) Der /a/ - Laut ist periodisch. Der zeitliche Abstand der einzelnen Peaks ist die Zeitkonstante der Grundfrequenz der Sprecherstimme. In Abb. ?? unten ist z.B. eine Zeitkonstante von ca. 8 ms ablesbar, was einer Grundfrequenz von 125 Hz entspricht.



3. Kreuzkorrelation Rauschsignal

- (a) Optisch ist der Sinuston im Plot nicht zu erkennen, bei genauem Hinhören kann er jedoch identifiziert werden.
- (b) Zunächst muss ein Testsignal mit 200 Hz generiert werden, mit dem dann kreuzkorreliert wird. Es lässt sich in der KKF deutlich das Vorhandensein des Sinussignals erkennen. Der Sinuston ist von ca. 0,7s - 0,9s hörbar. Abzulesen ist dies mit dem Einsetzen der Steigerung bzw. der Endpunkt mit dem Einsetzen der Abnahme der Korrelationsfunktion.



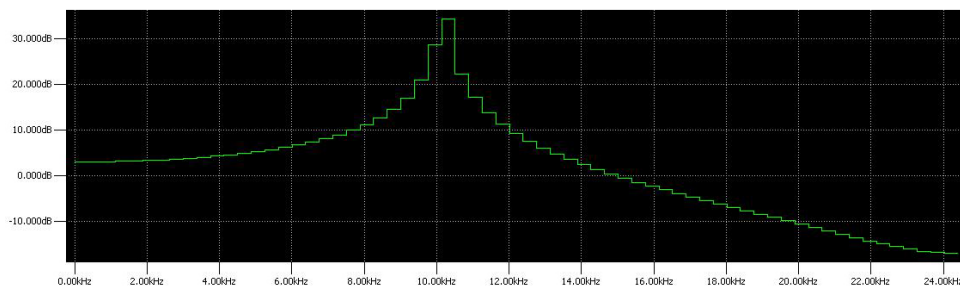
Je weniger Perioden vom Testsignal benutzt werden, desto weniger deutlich wird der Übergang am Anfang und Ende des Sinuszeitbereichs, weil

das Rauschen über kürzere Zeit gemittelt wird. Wählt man einen breiteren Testsignalausschnitt, tritt eine deutliche Amplitudenüberhöhung auf, jedoch verschleifen die Übergänge wesentlich stärker und die Zeitpunkte lassen sich schlechter ablesen.

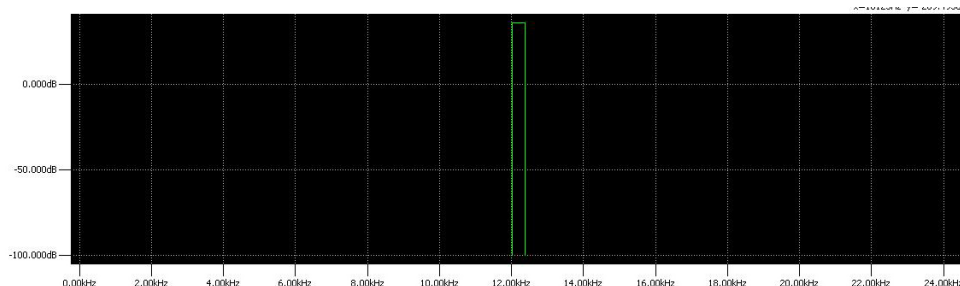
2.2 Diskrete Fourier - Transformation

1. Kurzzeitspektren und „günstige“ Abtastungen

(a) Erwartetes Betragsspektrum, wenn δ - Impuls mit si - Funktion gefaltet wird



(b) Abtastung erfolgt hier genau an den Null- und Extremwertstellen der si - Funktion, dadurch kann das Signal ohne Veränderung über das Fensterintervall periodisch fortgesetzt werden, als Betragsspektrum ergibt sich ein δ - Impuls.



Bei $N_w = 128$ wird das Spektrum $X(\Omega)$ an 128 Stellen innerhalb $\Omega \in [0; 2\pi[$ abgetastet, was bei der nicht-normierten Frequenz einem Abstand von $48 \text{ kHz} / 128 = 375 \text{ Hz}$ entspricht. Da $12 \text{ kHz} / 375 \text{ Hz} = 32$ gilt, also die enthaltene Frequenz genau auf eine Stützstelle trifft, kann das Signal perfekt abgetastet werden. Dies ist bei 10 kHz nicht möglich, da diese Frequenz nicht die Stützstellen trifft.

2. Analyse Rechteckimpuls

(a) Mit der Anzahl der Abtastpunkte N im Zeitbereich erhöht sich auch die Anzahl der Abtastpunkte im Frequenzbereich und somit die Auflösung im Spektrum. Hier sind die Werte nun so geschickt gewählt, dass für den 1. Fall die Abtastwerte des Spektrums genau in die Nullstellen der sich ergebenden si-ähnlichen

2. Versuchsdurchführung

Funktion fallen. Auch im Zeitbereich ergibt sich eine Interpretationsmöglichkeit: Bei $N = 128$ Abtastwerten erhält man als Eingangsgröße eine Konstante, deren Spektrum einen δ - Impuls im Ursprung darstellt.

- (b) Das Spektrum mit $N = 2048$ Werten ist dem des Rechteckimpulses am ähnlichsten, da einerseits ein längerer Signalausschnitt betrachtet und andererseits das Spektrum feiner abgetastet wird.

3. Vergleich der Fensterfunktionen

Die Nebenkeulendämpfung ΔL_a kann direkt abgelesen werden.

Fensterart	ΔL_a
Rechteck	13 dB
Bartlett	26 dB
von-Hann	31 dB
Hamming	43 dB
Blackman	58 dB

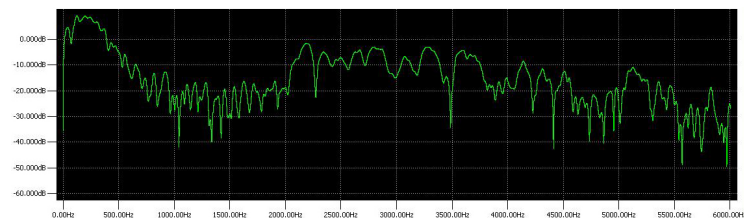
4. Auflösungsvermögen der einzelnen Fensterfunktionen

Rechteck: $N_w \geq 256$

Blackman: $N_w \geq 512$, geringe Keulenbreite günstig

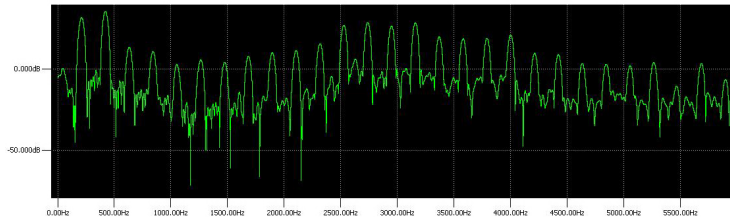
5. Sprachanalyse

- (a) Die Grundfrequenz liegt bei ca. 80 Hz.



- (b) Der erste Formant F_1 liegt bei ca. 250 Hz, der zweite F_2 bei ca. 2,2 kHz. Auf der Formantkarte liegt die Aufnahme im Bereich zwischen /i/ und /e/.
- (c) Eine größere Fensterlänge ist zwar günstig, da sie eine DFT mit entsprechend mehr Abtastpunkten erzeugt und damit ein detaillierteres Spektrum, jedoch ist die Obergrenze der Fensterlänge durch die nur sehr kurze Dauer, die ein Sprachsignal als stationär angesehen werden kann bestimmt.
- (d) Grundfrequenz der weiblichen Musteraufnahme liegt bei ca. $\omega_0 \approx 2\pi 220\text{Hz}$, $F_1 \approx 420\text{Hz}$, $F_2 \approx 2,7\text{kHz}$. Durch die hohe Grundfrequenz zeichnen sich Maxima im Spektrum schlechter ab bzw. können nur ungenau bestimmt werden.

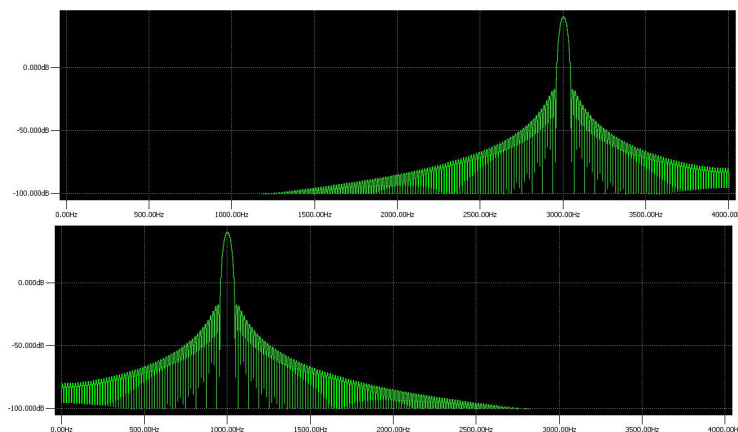
- kleine Fensterbreite \Rightarrow schlechte Auflösung im Frequenzbereich, insbesondere ist die Grundfrequenz dann vielleicht nicht mehr erkennbar
- große Fensterbreite \Rightarrow Sprachsignal ist nur bis etwa 20 ms Zeitdauer als stationär anzusehen, deshalb ist nur eine Kurzzeitanalyse erlaubt.



2.3 Abtastung und Quantisierung

1. Unterabtastung:

- (a) kein Kommentar.
- (b) Das Signal $x_2(t)$ klingt wider Erwarten tiefer (wie ein Ton mit 1 kHz), da er oberhalb der Nyquist - Frequenz von 4 kHz liegt. Die hörbaren Tonhöhen der beiden Signale sind also „vertauscht“.
- (c) In den beiden Spektren sind die oben genannten Effekte ebenfalls zu erkennen. Der Plot wird nur bis zur Nyquist - Frequenz der gewählten Abtastrate angezeigt, da für größere Frequenzen keine sinnvollen Daten vorliegen würden.



- (d) Die Ergebnisse decken sich mit den Vorbereitungsfragen.

2. Quantisierungsrauschen:

2. Versuchsdurchführung

- (a) Mit sinkender Quantisierungsstufenzahl steigt das Quantisierungsrauschen an, der Signal-Rausch-Abstand wird geringer (siehe Versuchsanleitung). Erstaunlicherweise ist selbst bei sehr niedrigen Wortbreiten ($q \leq 4\text{Bit}$) immer noch gut das Originalsignal zu hören, selbst bei 1 Bit Wortbreite kann das Originalsignal erahnt werden.