

Nachrichtentechniklabor

Wintersemester 2014

Übung D: Messung des Störverhaltens in nachrichtentechnischen Systemen

Übungsdatum: 10.12.2014

Gruppe: 05

Protokollführer: Martin Winter

Laborteilnehmer:

1. Daniel Freßl 1230028
2. Thomas Neff 1230319
3. Thomas Pichler 1230320
4. Martin Winter 1130688

Laborleiter: Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerhard Graber

Betreuer: Stud.Ass. Vincent Ederle

Wildon, am 16. Dezember 2014

Inhaltsverzeichnis

1	Simulation mit MATLAB	2
1.1	Aliasing	2
1.1.1	Aufgabenstellung	2
1.1.2	Tabellen	2
1.1.3	Formeln	2
1.1.4	Berechnungsbeispiele	2
1.1.5	Diagramme	3
1.1.6	Diskussion	5
1.2	Quantisierungsfehler, Leistungsdichtespektrum	6
1.2.1	Aufgabenstellung	6
1.2.2	Tabellen	6
1.2.3	Formeln	6
1.2.4	Berechnungsbeispiele	6
1.2.5	Diagramme	7
1.2.6	Diskussion	14
1.3	Granularrauschen und Dither	15
1.4	Geräteliste	15
2	Messungen mit Audio Precision (System Two Cascade)	16
2.1	Messung des Quantisierungsrauschens	16
2.1.1	Aufgabenstellung	16
2.1.2	Messaufbau	16
2.1.3	Formeln	16
2.1.4	Berechnungsbeispiele	16
2.1.5	Tabellen	16
2.1.6	Diagramme	18
2.1.7	Diskussion	18
2.2	Messung mit Jitter	19
2.2.1	Aufgabenstellung	19
2.2.2	Messaufbau	19
2.2.3	Formeln	19
2.2.4	Berechnungsbeispiele	19
2.2.5	Diagramme	19
2.2.6	Diskussion	25
2.3	Klirrfaktor	25
2.3.1	Aufgabenstellung	25
2.3.2	Messaufbau	25
2.3.3	Formeln	25
2.3.4	Berechnungsbeispiele	25
2.3.5	Diagramme	25
2.3.6	Diskussion	28
2.4	Geräteliste	28

1 Simulation mit MATLAB

1.1 Aliasing

1.1.1 Aufgabenstellung

1. Wählen sie Frequenz und Abtastfrequenz so, dass eine Aliasingfrequenz von 440Hz auftritt. Überprüfen sie das Resultat graphisch und akustisch (Klavier).
2. Erzeugen Sie einen Frequenzsweep, bei dessen Abtastung Aliasing auftritt. Wählen Sie als Anfangsfrequenz eine Frequenz im Hörfrequenzbereich, und als Endfrequenz eine Frequenz um $3 \cdot f_C$.
Überprüfen Sie das Resultat graphisch (sowohl im Zeitbereich als auch im Frequenzbereich) und akustisch.
3. Wählen Sie die Datei “Flöte” aus. Durch Eingabe einer neuen Samplingfrequenz ($44100/L$, wobei L ganzzahlig sein muss), kann das eingelesene Audiosignal ohne Bandbegrenzung unterabgetastet werden. Schätzen Sie die Auswirkungen ab. Überprüfen sie akustisch die Auswirkungen des Downsamplings ohne Einhaltung des Abtasttheorems. Ab welcher Frequenz werden Aliasing Effekte hörbar? Wodurch ergibt sich diese Frequenz?

1.1.2 Tabellen

Es wurden keine Tabellen benötigt.

1.1.3 Formeln

Berechnung der Signalfrequenz f_S in Abhängigkeit von der Abtastfrequenz und der gewollten Aliasingfrequenz:

$$f_S = |f_C - f_a| \quad (1)$$

1.1.4 Berechnungsbeispiele

Berechnung der Signalfrequenz f_S bei einer Abtastfrequenz $f_C = 44100Hz$ und einer auftretenden Aliasingfrequenz von $f_a = 440Hz$:

$$f_S = |f_C - f_a| = |44100Hz - 440Hz| = 43660Hz \quad (2)$$

1.1.5 Diagramme

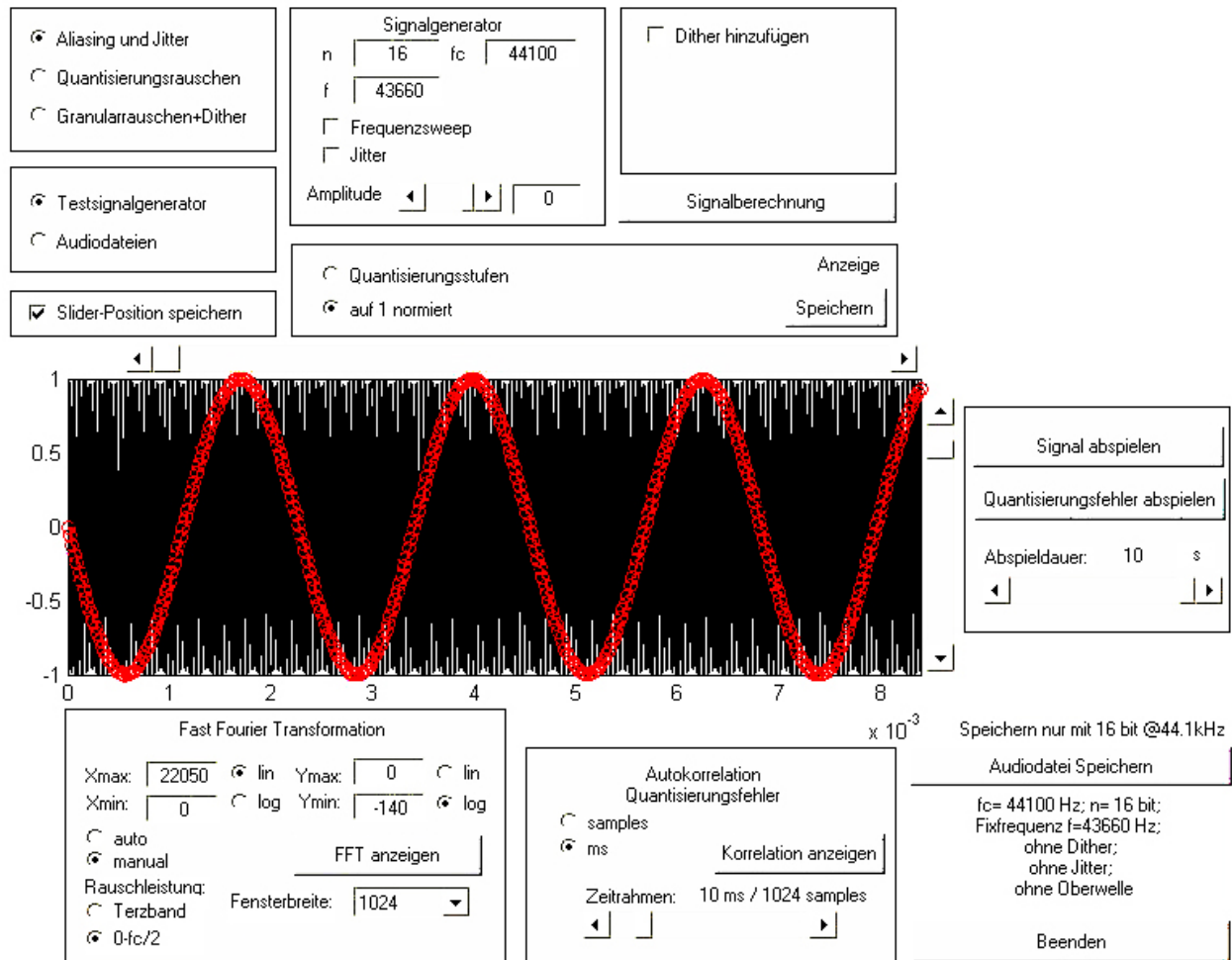


Abbildung 1: Grafische Darstellung der Aliasingfrequenz f_a im Simulationsprogramm "Störverhalten".

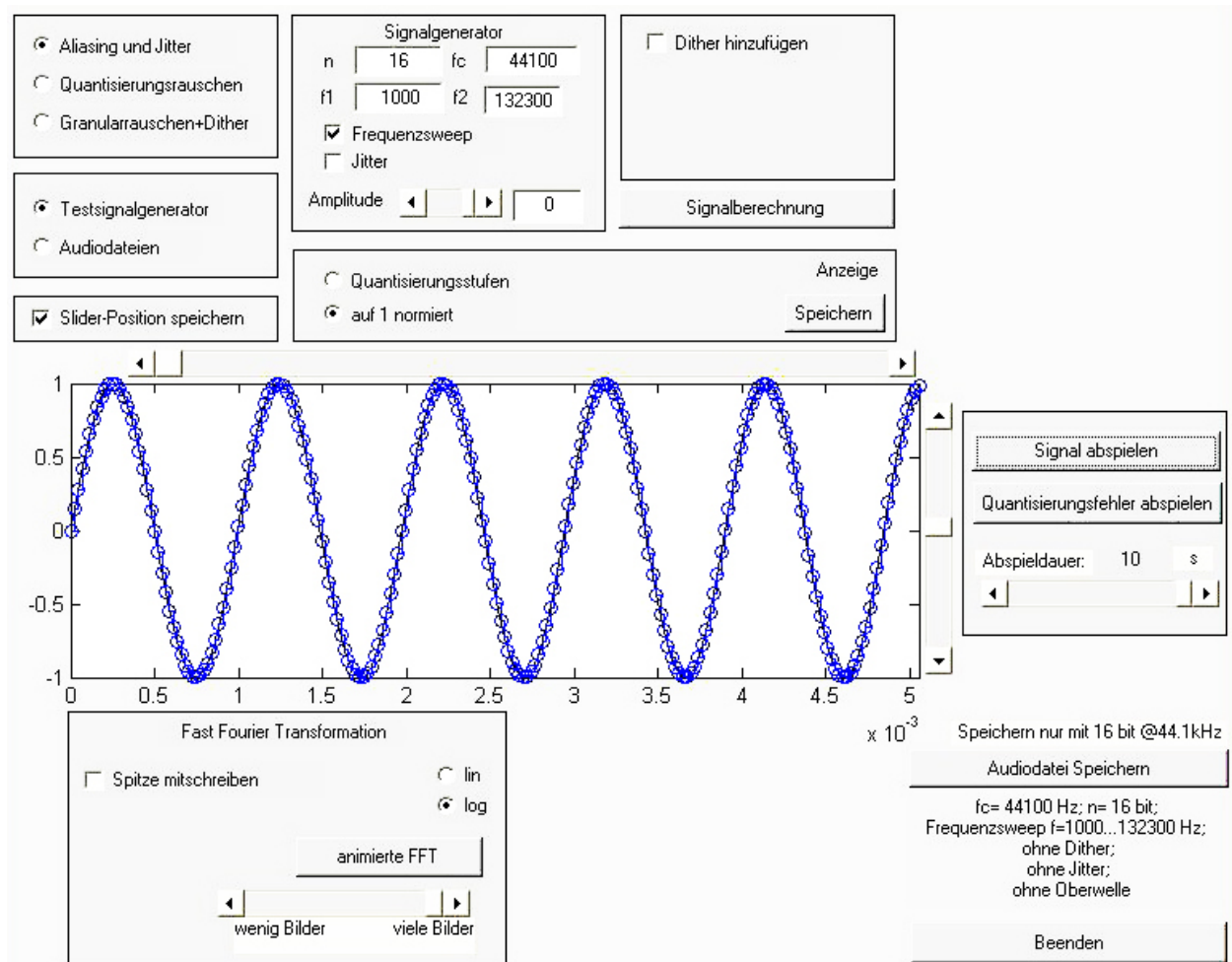


Abbildung 2: Darstellung eines Teiles (ohne Aliasing) des Frequenzsweep von 1000Hz bis $3 \cdot f_C = 132300\text{Hz}$ im Simulationsprogramm "Störverhalten".

1.1.6 Diskussion

Um, wie in Aufgabe 1 gefordert, eine Frequenz von $f_a = 440\text{Hz}$ mittels Aliasing zu erzeugen, muss eine Signalfrequenz f_s mit einem Abstand von f_a zur Abtastfrequenz f_C verwendet werden. Dieser Zusammenhang wird von der Formel (1) beschrieben und führte mit den gegebenen Werten zu $f_s = 43660\text{Hz}$. Tastet man dieses Signal nun mit f_C ab, wird das Signal um jedes Vielfache von f_C gespiegelt. Deswegen tritt auch bei 440Hz eine Spiegelung des ursprünglichen Signals auf. Dieses Aliasingsignal wurde abgespielt und entsprach der Note a^1 auf dem Klavier.

In Aufgabe 2 wurde die Anfangsfrequenz des Frequenzsweep mit 1000Hz gewählt. Die Endfrequenz ergab sich mit der Angabe $3 \cdot f_C$ zu 132300Hz . Dieser Frequenzsweep wurde über Lautsprecher abgespielt.

Zu hören war ein Ton der sich drei Mal hintereinander von tief bis hoch und wieder bis tief veränderte. Dieses Verhalten lässt sich mittels Aliasing erklären. Die abgespielte Frequenz beginnt bei 1kHz im Hörbereich und steigt bis $\frac{f_C}{2}$ an. Steigt nun die Signalfrequenz über $\frac{f_C}{2}$ bis f_C an wird diese in den Hörbereich gespiegelt (Aliasing). Diese gespiegelte Frequenz wandert nun von $\frac{f_C}{2}$ bis 0Hz . Dieses Verhalten wiederholt sich weitere zwei Mal während die Signalfrequenz zwischen f_C und $2 \cdot f_C$ bzw. $2 \cdot f_C$ und $3 \cdot f_C$ ansteigt.

Bei der letzten Teilaufgabe war unser Gehör gefragt. Es wurde die Audiodatei "Flöte" mit einer Samplingfrequenz von $44100/L$ berechnet und abgespielt, wobei der Teiler L geändert wurde. Hierbei war ab einem Teiler von $L = 4$ (Samplingfrequenz von 11025Hz) eine Verschlechterung des Audiosignals hörbar. Diese Verschlechterungen treten durch Spiegelungen von Obertönen ins hörbare Spektrum auf, welche nun in nicht-harmonischem Zusammenhang mit den Grundtönen stehen und somit einen blechernen Klang erzeugen.

1.2 Quantisierungsfehler, Leistungsdichtespektrum

1.2.1 Aufgabenstellung

1. Wie sieht der Quantisierungsfehler bei Vollaussteuerung und 8 Bit Wortbreite aus? In welchem Bereich liegt die Amplitude des Quantisierungsfehlers? Sind die Voraussetzungen für $SNR = 6.02 \cdot k$ erfüllt? Welche Charakteristik hat das Fehlersignal? Verwenden Sie das Simulationsprogramm zum Anzeigen des Quantisierungsfehlers in auf 1 normierten Spannungswerten und Quantisierungsstufen.
2. Berechnen Sie den erwarteten Signal-Rauschabstand (SNR) und die Quantisierungsrauschleistungsdichte für die gewählte Auflösung. Welchen Einfluss hat die FFT-Fensterbreite auf das Amplitudenspektrum bzw. die Leistungsdichteverteilung des Quantisierungsrauschens? Überprüfen Sie den berechneten SNR und Quantisierungsrauschleistungsdichteverteilung bei verschiedenen FFT-Fensterbreiten mit dem Simulationsprogramm.
3. Berechnen Sie die Rauschleistung in einem Terzband und überprüfen Sie das Ergebnis mit dem Simulationsprogramm (empfohlene Wahl: $f_C = 48kHz$, $f_S = 890.625Hz$).

1.2.2 Tabellen

In dieser Unterübung waren keine Tabellen aufzunehmen.

1.2.3 Formeln

Der Signal-Rauschabstand (SNR) aufgrund der Wortbreite k lässt sich berechnen durch

$$SNR = 20 \log(2^k) = 20 \cdot k \cdot \log(2) = 6.02 \cdot k \quad (3)$$

Die Quantisierungsrauschleistungsdichte G_K berechnet sich durch

$$G_K[\text{dB}] = -SNR[\text{dB}] - 10 \log \frac{f_c}{2} \quad (4)$$

Die Rauschleistung in einem Terzband errechnet sich zu

$$P_Q = G_K[\text{dB}] + 10 \log \left(f_m \cdot \left(\sqrt[6]{2} - \frac{1}{\sqrt[6]{2}} \right) \right) \quad (5)$$

1.2.4 Berechnungsbeispiele

Bei einer Wortbreite von $k = 8$ Bit ergibt sich das SNR zu

$$SNR = 20 \log(2^8) = 20 \cdot 8 \cdot \log(2) = 6.02 \cdot 8 = 48.16\text{dB} \quad (6)$$

Die Quantisierungsrauschleistungsdichte G_K berechnet sich zu

$$G_K[\text{dB}] = -48.16[\text{dB}] - 10 \log \frac{44100}{2} = -91.59 \text{ dB} \quad (7)$$

Die Rauschleistung im Terzband berechnet sich mit der Rauschleistungsdichte $G_K = -140.12 \text{ dB}$ und einer Mittenfrequenz $f_m = 890.625 \text{ Hz}$ zu

$$P_Q = -140.12[\text{dB}] + 10 \log \left(890.625 \cdot \left(\sqrt[6]{2} - \frac{1}{\sqrt[6]{2}} \right) \right) = -116.98 \text{ dB} \quad (8)$$

1.2.5 Diagramme

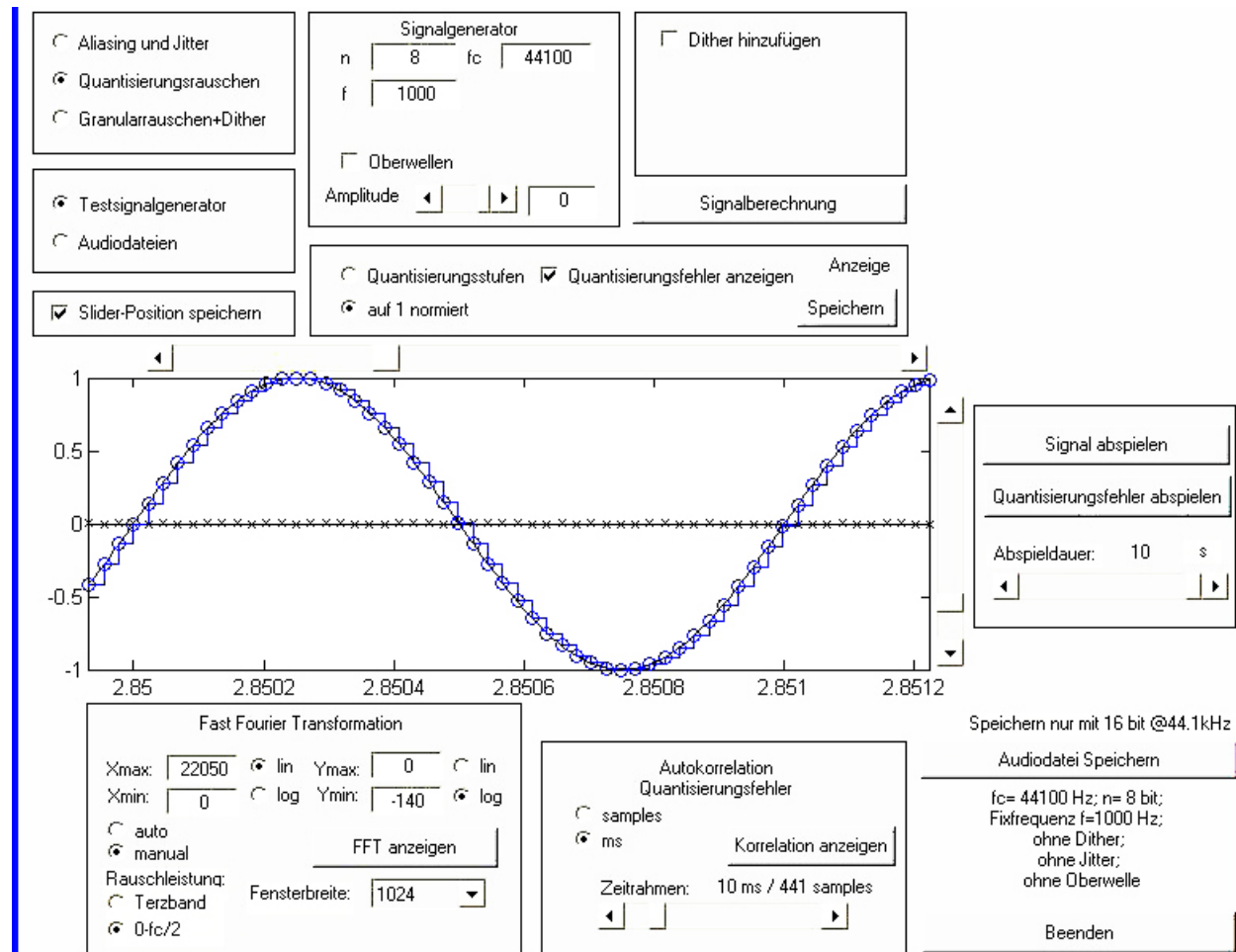


Abbildung 3: Darstellung eines Signales mit $f_S = 1000\text{Hz}$ und des Quantisierungsfehlers (schwarze Kreuze) bei 8 Bit Wortbreite und Vollaussteuerung.

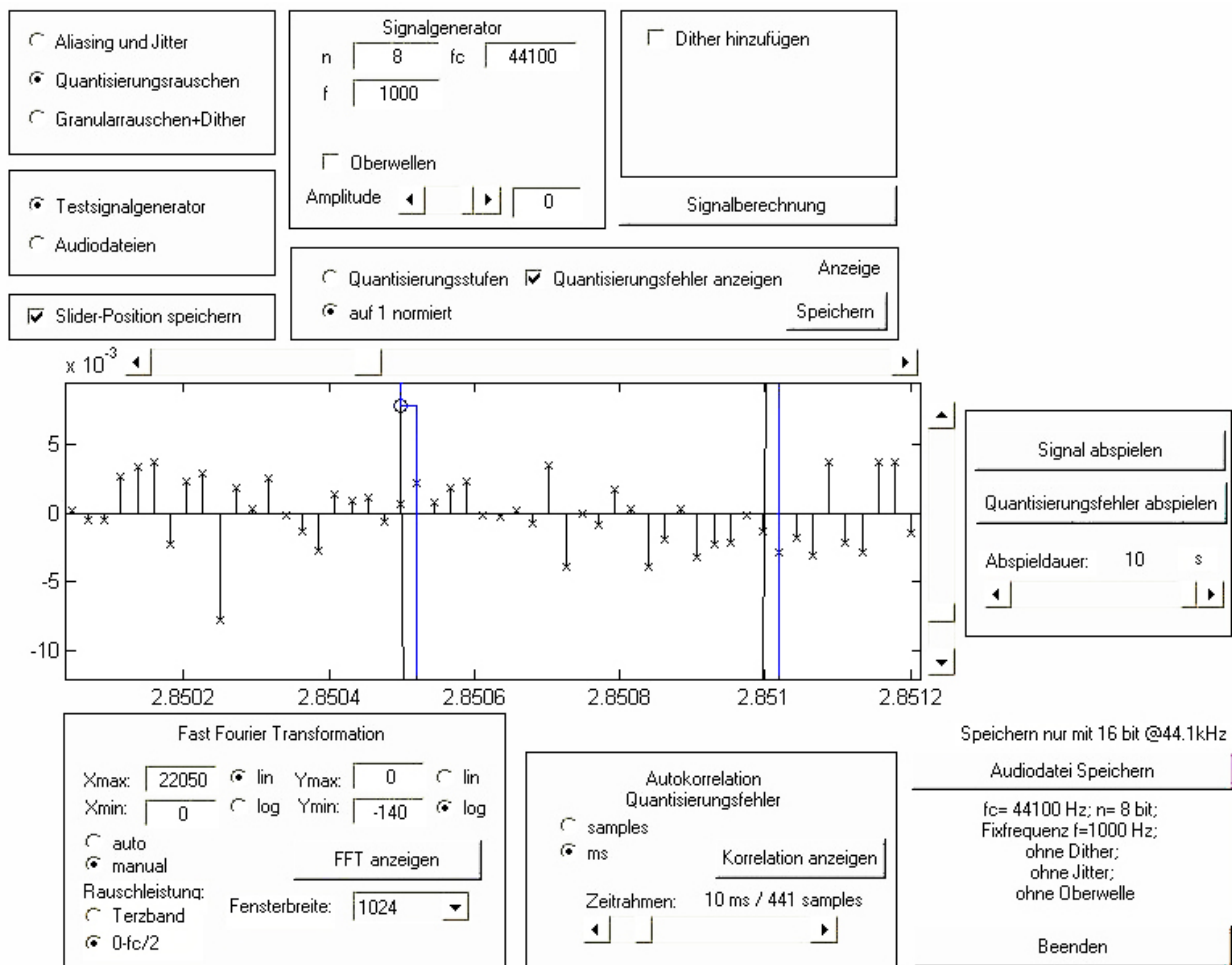


Abbildung 4: Darstellung des Quantisierungsfehlers und dessen Größenordnung.

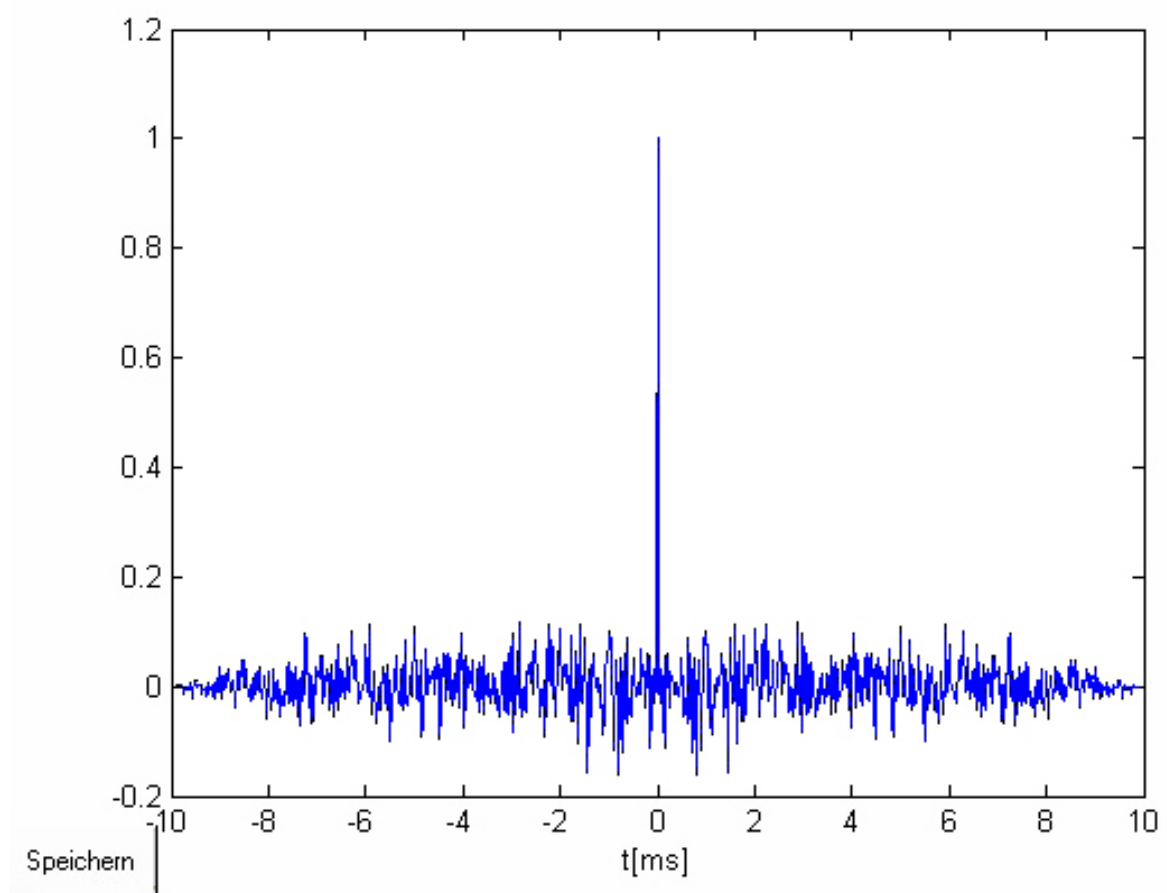


Abbildung 5: Korrelation des Quantisierungsfehlers mit dem Signal.

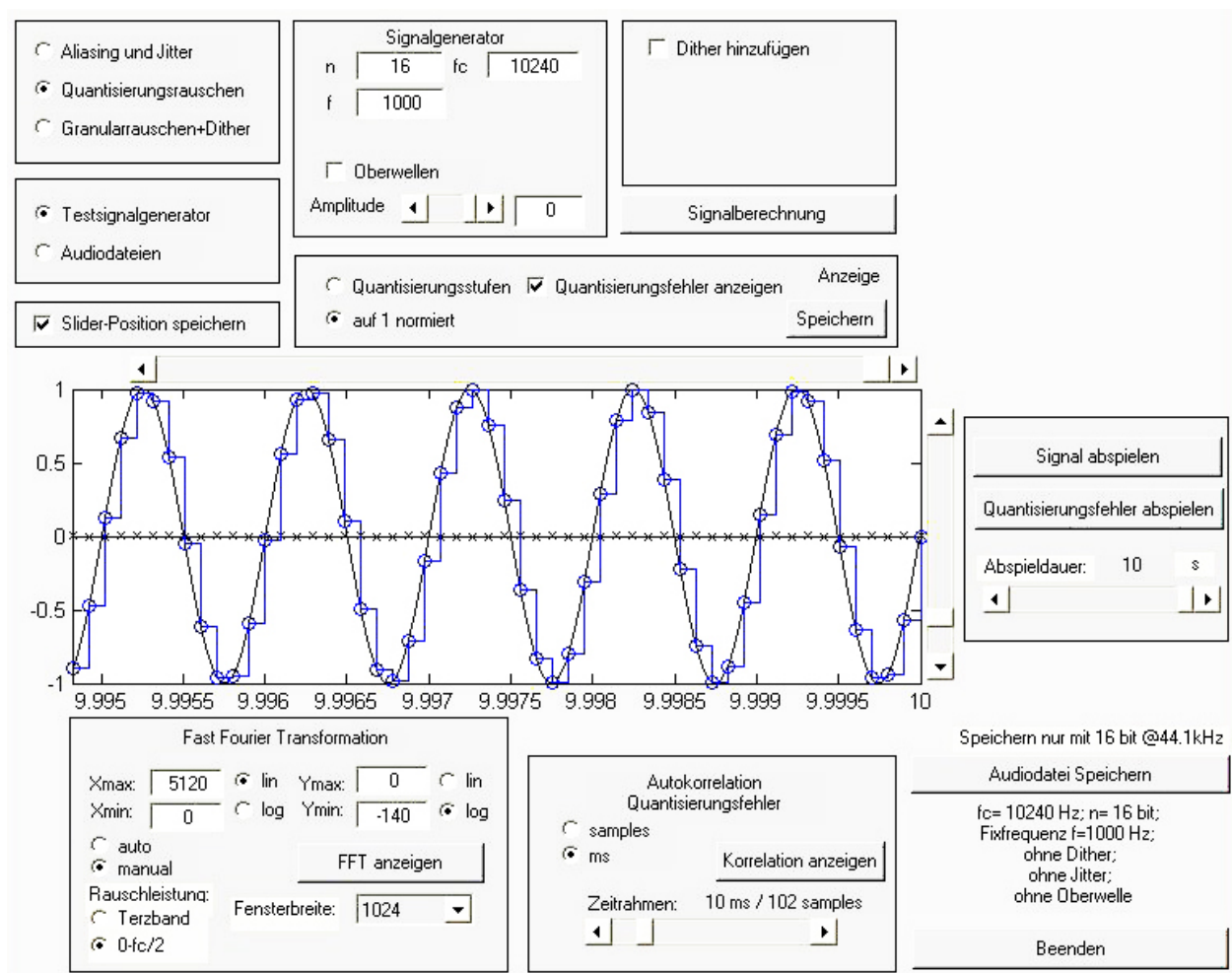


Abbildung 6: Darstellung der Einstellungen und des Signals im Zeitbereich für eine FFT mit passender Fensterbreite.

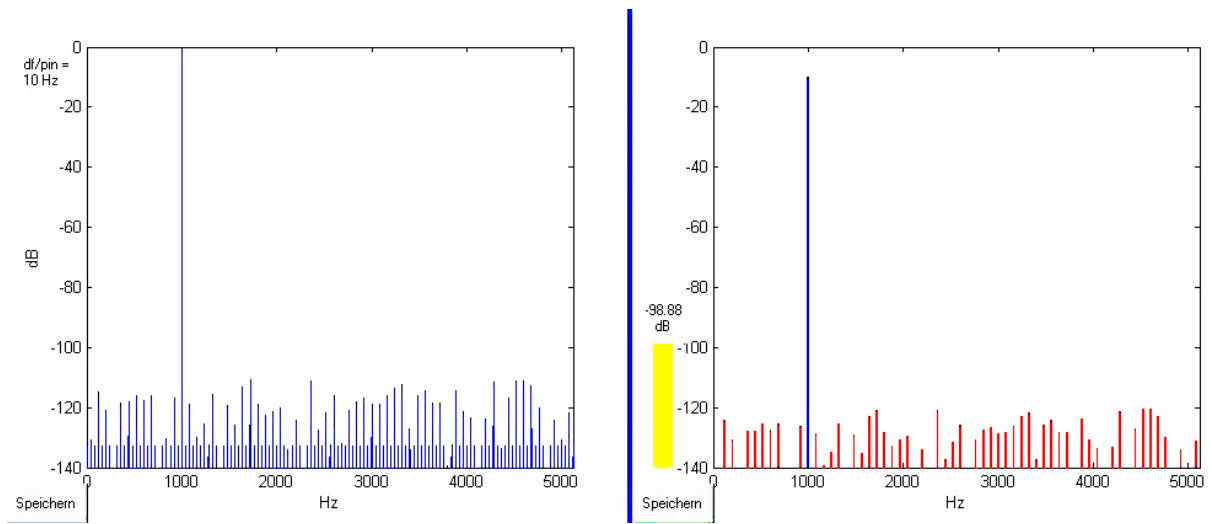


Abbildung 7: Amplitudenspektrum bzw. Leistungsdichteverteilung des Signals mit Quantisierungsrauschen. Berechnet mittels FFT, einer Fensterbreite von $N = 1024$ und einer Signalfrequenz eines ganzen Vielfachem von $\frac{f_C}{N}$ ($f_S = 100 \cdot \frac{f_C}{N} = 100 \cdot \frac{10240}{1024} = 1000 \text{ Hz}$)

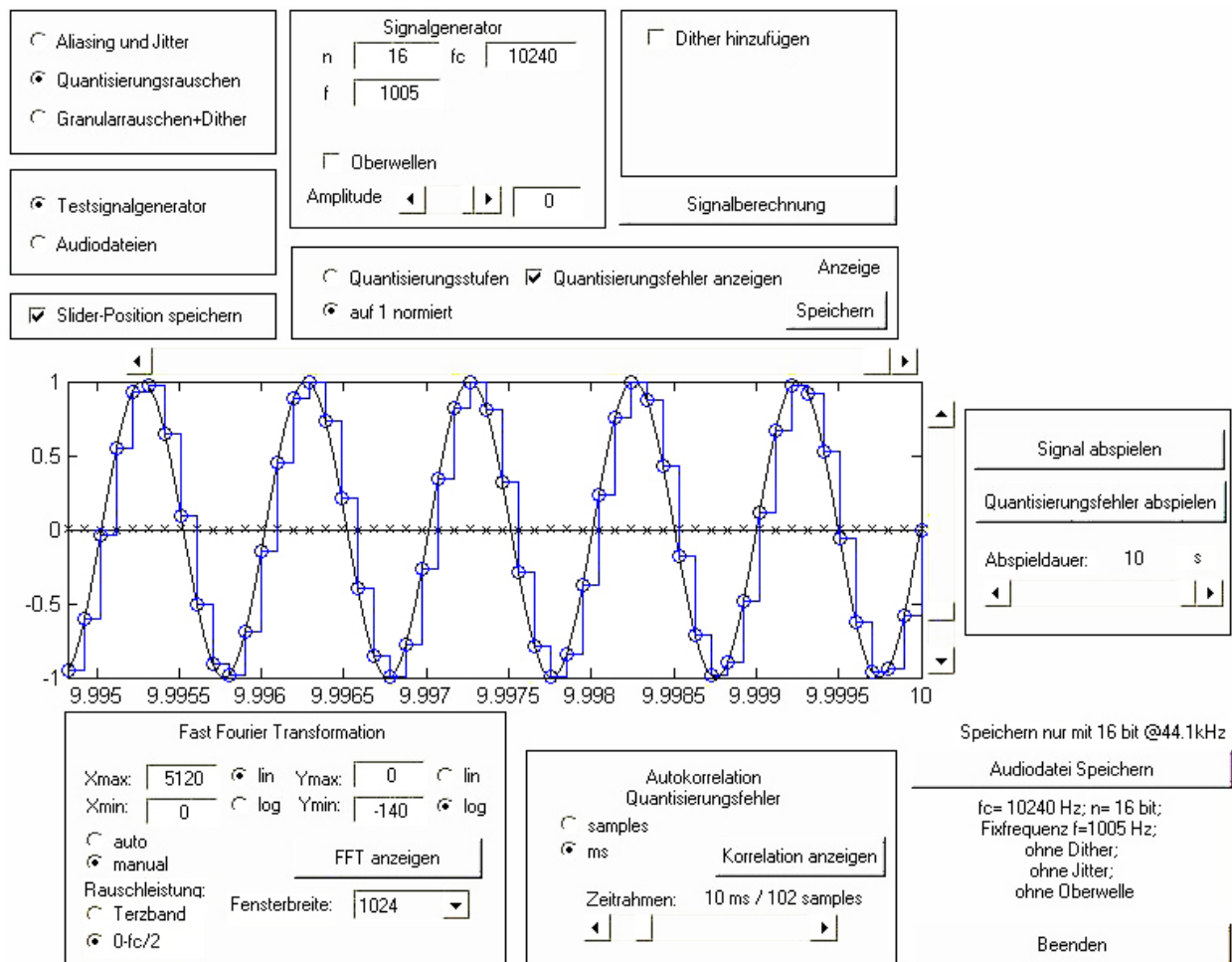


Abbildung 8: Einstellungen und Signal im Zeitbereich für eine FFT mit möglichst starkem Lattenzauneffekt.

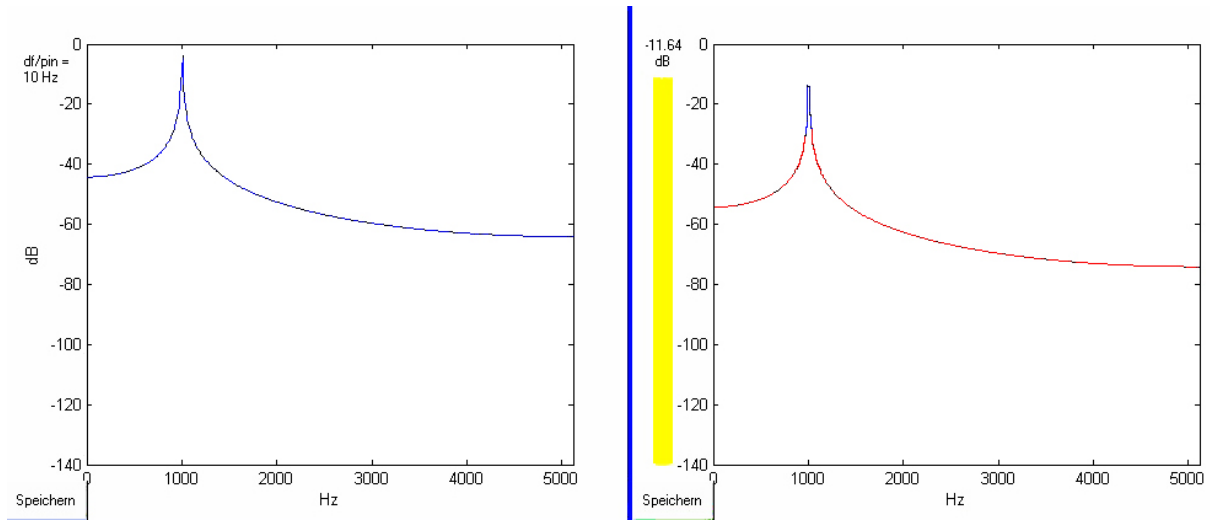


Abbildung 9: Amplitudenspektrum bzw. Leistungsdichteverteilung des Signals mit Quantisierungsrauschen. Berechnet mittels FFT, einer Fensterbreite von $N = 1024$ und einer Signalfrequenz für möglichst starkem Lattenzauneffekt $f_S = 100.5 \cdot \frac{f_C}{N} = 100.5 \cdot \frac{10240}{1024} = 1005 \text{ Hz}$

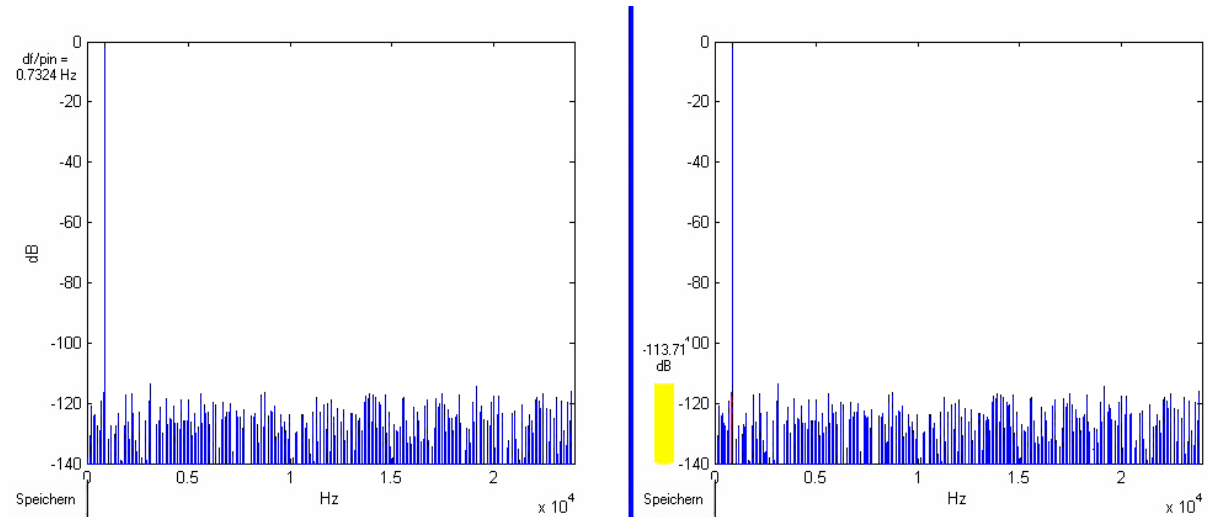


Abbildung 10: Amplitudenspektrum bzw. Leistungsdichteverteilung und Rauschleistung eines Signals mit Quantisierungsrauschen ($f_C = 48000 \text{ Hz}$, $f_S = 890.625 \text{ Hz}$).

1.2.6 Diskussion

Bei Unteraufgabe 1 war gefragt, wie sich der Quantisierungsfehler bei Vollaussteuerung und 8 Bit Wortbreite verhält, dieser ist unkorreliert und die Amplitude hat eine Größenordnung von 10^{-3} (siehe Abbildung 4). Die Voraussetzungen sind erfüllt, da wir Vollaussteuerung hatten und das Signal und der Quantisierungsfehler nicht korrelierten (siehe Abbildung 5). Das SNR ergab sich zu 48.16 dB (siehe Berechnungsbeispiel 6). Die Charakteristik des Fehlersignals entsprach dem des weißen Rauschens.

Bei der zweiten Teilaufgabe war der erwartete Signal-Rauschabstand und die Quantisierungsrauschleistungsdichte G_K zu berechnen. Das SNR ergibt sich zu 96.32 dB (siehe Formel 3) und G_K zu -133.4 dB (siehe Formel 4). Bei falscher Wahl der FFT-Fensterbreite erhält man durch den Lattenzauneffekt eine Aufteilung der Signalamplitude auf die benachbarten Frequenzen, ersichtlich in Abbildung 9. Gewählt wurde die Fensterbreite der FFT mit $N = 1024$ und die Abtastfrequenz mit $f_C = 10240\text{Hz}$. Aus zeitlichen Gründen wurden nur zwei wohl gewählte Werte aufgenommen, einen bei einem ganzzahligen Vielfachen ($k = 100$, $f_S = 1000\text{Hz}$) der kleinsten, auflösbaren Frequenz ($f_0 = \frac{f_C}{N}$) und den andere genau zwischen zwei ganzzahligen Vielfachen ($k = 100.5$, $f_S = 1005\text{Hz}$). Bei einer guten Wahl von k ergibt sich das SNR zu 98.88 dB (siehe Abbildung 7), bei einer schlechten Wahl erhielten wir ein SNR von 11.64 dB (siehe Abbildung 9). Bei sehr schlechter Wahl der Fensterbreite überwiegt der Lattenzauneffekt das Rauschen und das SNR wird sehr gering.

In der letzten Teilaufgabe war die Rauschleistung in einem Terzband ($f_C = 48000\text{ Hz}$, $f_S = 890.625\text{ Hz}$) zu berechnen. Diese ergibt sich zu -116.98 dB . Dieser Wert korrespondiert mit dem gemessenen Wert von -113.71 dB (siehe Abbildung 10).

1.3 Granularrauschen und Dither

Diese Unterübung wurde aus Zeitgründen nur mündlich mit dem Laborbetreuer erarbeitet.

1.4 Geräteliste

- Computer
- Lautsprecher

2 Messungen mit Audio Precision (System Two Cascade)

2.1 Messung des Quantisierungsrauschens

2.1.1 Aufgabenstellung

Messung des Quantisierungsrauschens (SNR) am Mischpult D/A Umsetzer (Line Ausgang des Lawo MC²66) mit 14 – 20Bit Auflösung, Schrittweite 1 Bit. Vergleichen Sie mit den erwarteten Werten. Was kann aus den Messergebnissen gefolgert werden?

2.1.2 Messaufbau

Der Messaufbau dieser Übung bestand aus einem PC, der mit einer Audio Precision SYS-2722 kommunizierte und die Messsignale generierte. Am digitalen Ausgang des SYS-2722 wurde die Digital-zu-Analogkonverterkarte 941/83 des Lawo MC²66 Mischpultes angeschlossen. Das analoge Signal wurde wieder in das SYS-2722 eingespeist und dort mit Hilfe der Audio Precision AP2700 Software weiterverarbeitet.

2.1.3 Formeln

Der Signal-Rauschabstand (SNR) aufgrund der Wortbreite k lässt sich berechnen durch

$$SNR = 20 \log(2^k) = 20 \cdot k \cdot \log(2) = 6.02 k \quad (9)$$

2.1.4 Berechnungsbeispiele

Bei einer Wortbreite von $k = 14$ Bit (1. Zeile der Tabelle 1) ergibt sich das SNR zu

$$SNR = 20 \log(2^{14}) = 20 \cdot 14 \cdot \log(2) = 6.02 \cdot 14 = 84.28\text{dB} \quad (10)$$

2.1.5 Tabellen

Wortbreite	THD+N	SNR _{<i>berechnet</i>}
Bit	dBr A	dB
14	90	84.24
15	95.44	90.3
16	101.09	96.32
17	105.15	102.34
18	107.52	108.36
19	108.35	114.38
20	108.48	120.4
21	108.86	126.42
22	108.93	132.44
23	108.94	138.5
24	108.95	144.5

Tabelle 1: Ergebnisse der Messung des THD+N und des dazugehörigen berechneten SNR.

2.1.6 Diagramme

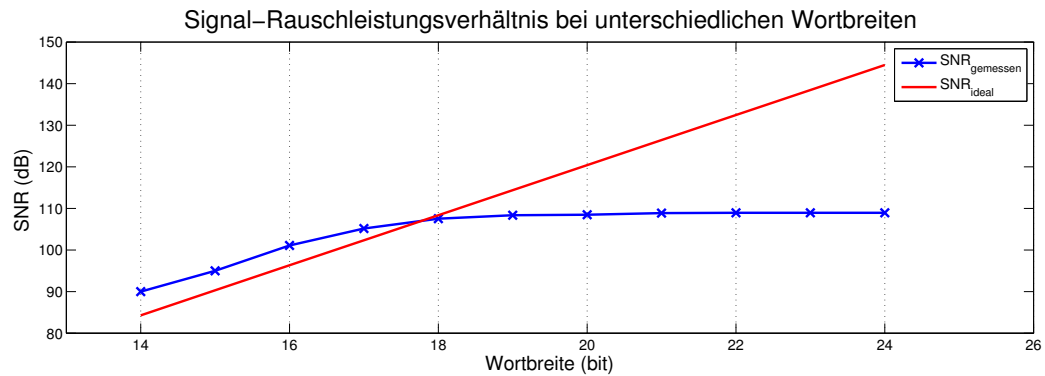


Abbildung 11: Vergleich des gemessenen SNR mit dem idealen SNR, bei verschiedenen Wortbreiten.

2.1.7 Diskussion

Bei dieser Teilübung wurde das SNR für verschiedene Wortbreiten aufgenommen. In Abbildung 11 wird die reale der idealen Kennlinie gegenübergestellt. Wie daraus zu erkennen ist, ist im realen System die Auflösung mit 18 Bit begrenzt, da der analoge Teil der Messschaltung (Verstärker, Anpassungsnetzwerk, Aliasingfilter) für eine Limitierung sorgen.

2.2 Messung mit Jitter

2.2.1 Aufgabenstellung

1. Messung der FFT-Spektren verjitterter Signale. Untersuchung für verschiedene Jitterfrequenzen.
2. Vergrößerung der Jitteramplitude, bis die Übertragung zusammenbricht.
3. Aufzeichnung der THD+N - Kennlinie bei den Jitterfrequenzen 500Hz, 5kHz und 10kHz.

2.2.2 Messaufbau

Der Messaufbau der ersten Übung wurde modifiziert. Da das MC²66 zu gut ist, wurde es durch das Fireface UFX ersetzt.

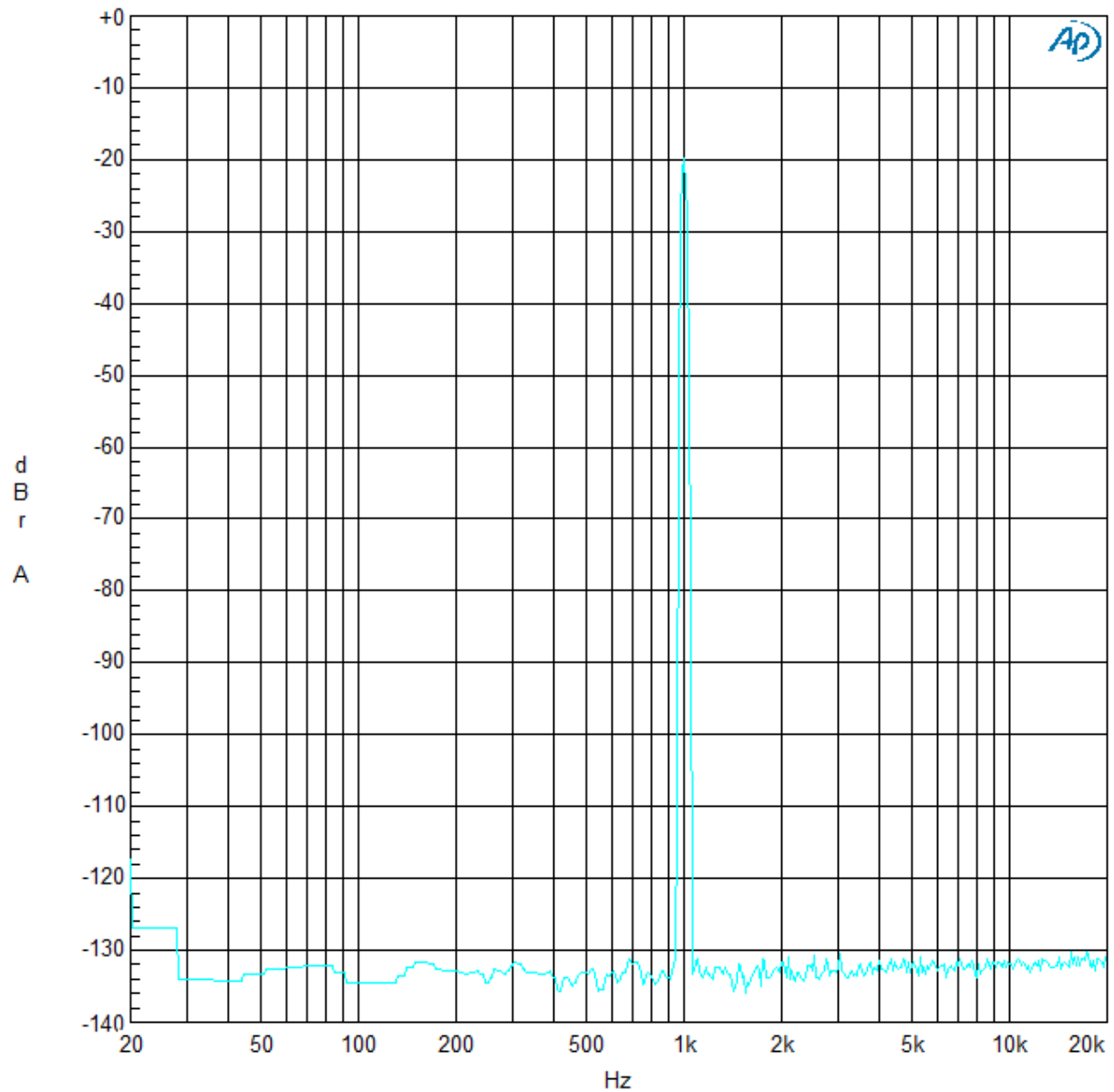
2.2.3 Formeln

Bei dieser Teilübung war nichts zu berechnen.

2.2.4 Berechnungsbeispiele

Es wurden keine Berechnungen durchgeführt.

2.2.5 Diagramme



Sweep	Trace	Color	Line Style	Thick	Data	Axis	Comment
1	1	Cyan	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left	off

2_ab_Jitter.at2c

Abbildung 12: THD+N Kennlinie über die Frequenz bei einem Sinus von 1 kHz.

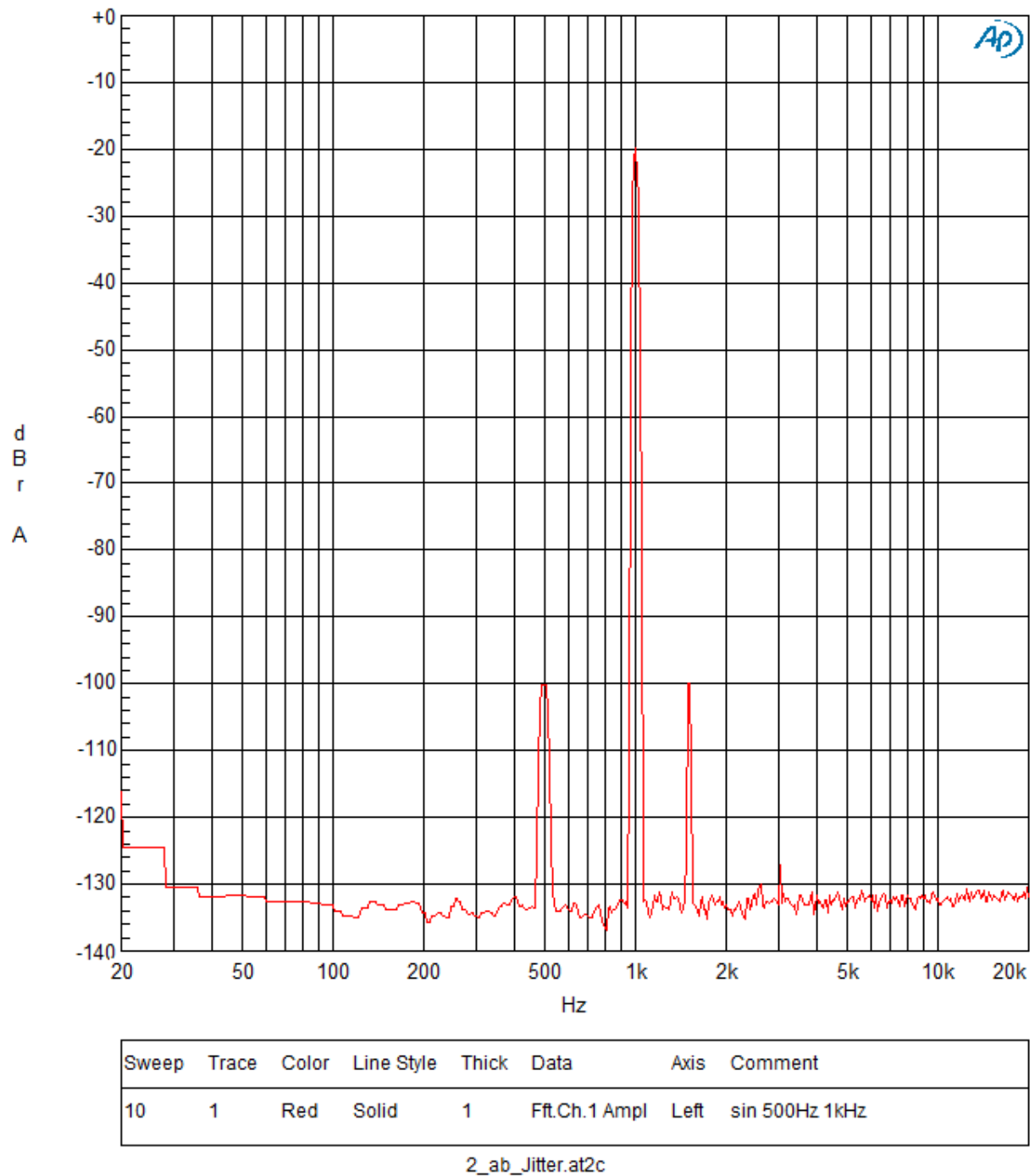


Abbildung 13: THD+N Kennlinie über die Frequenz bei einem Sinus von 1 kHz und einer sinusförmigen Jitterfrequenz von 500 Hz.

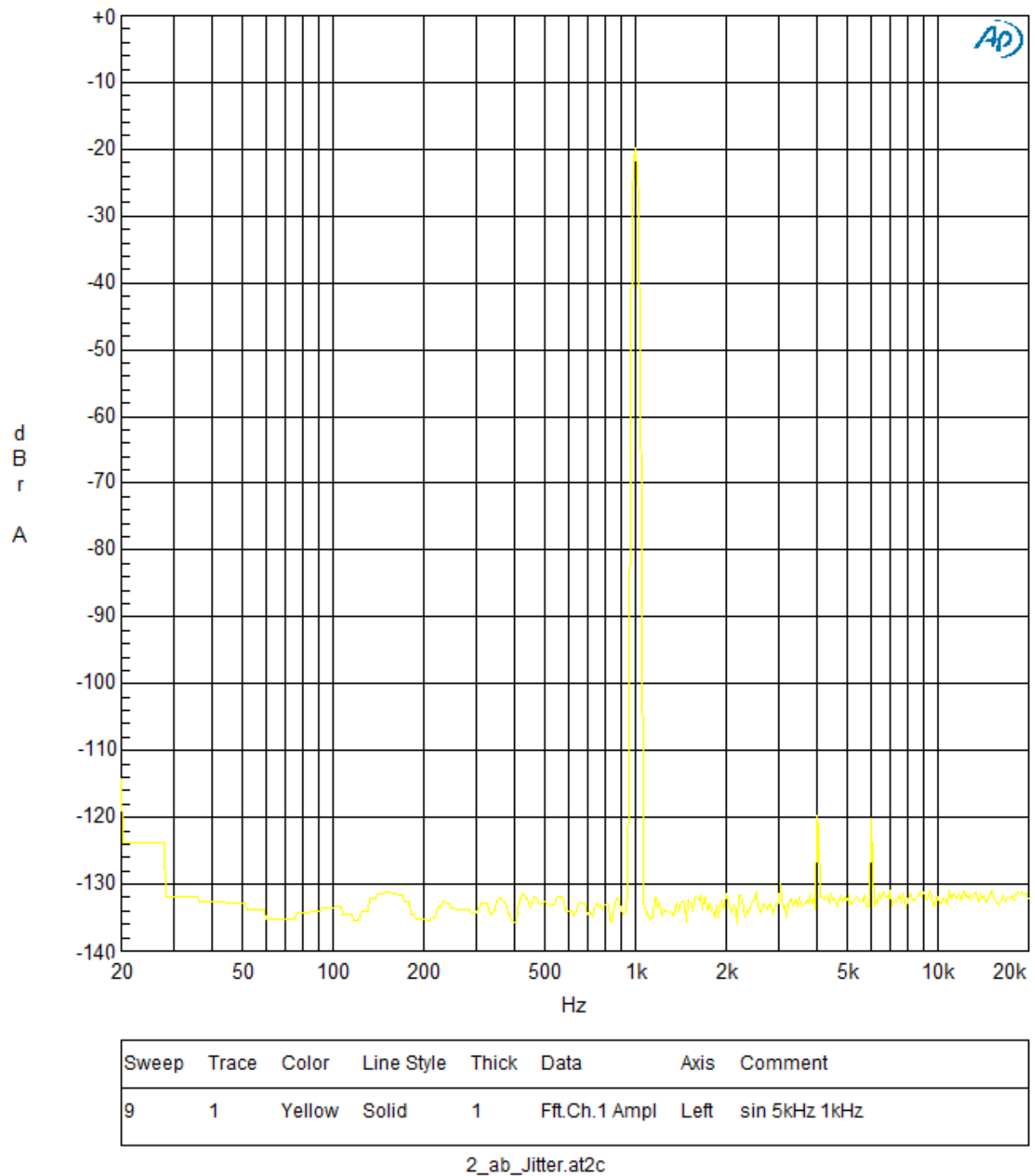


Abbildung 14: THD+N Kennlinie über die Frequenz bei einem Sinus von 1 kHz und einer sinusförmigen Jitterfrequenz von 5000 Hz.

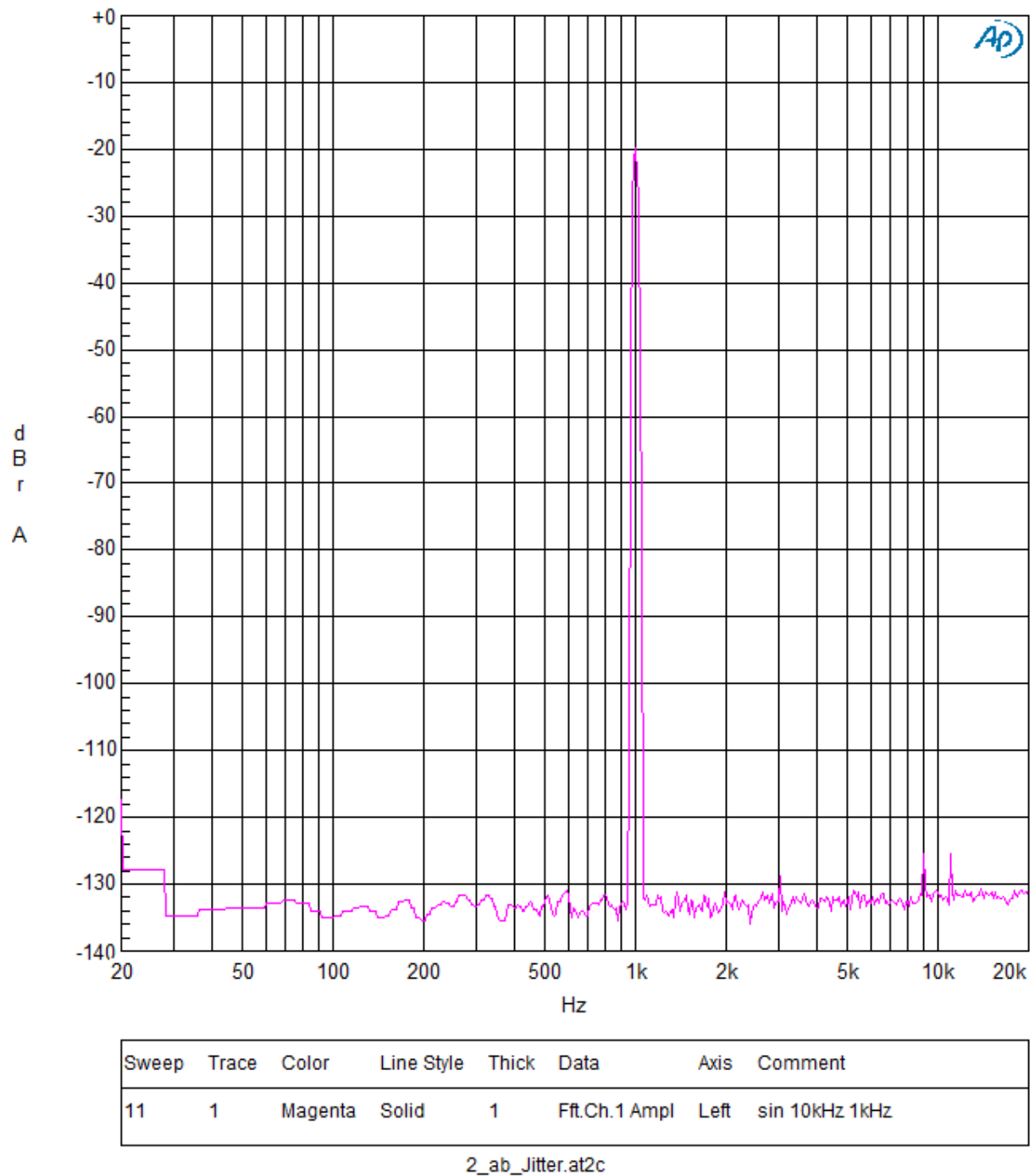


Abbildung 15: THD+N Kennlinie über die Frequenz bei einem Sinus von 1 kHz und einer sinusförmigen Jitterfrequenz von 10000 Hz.

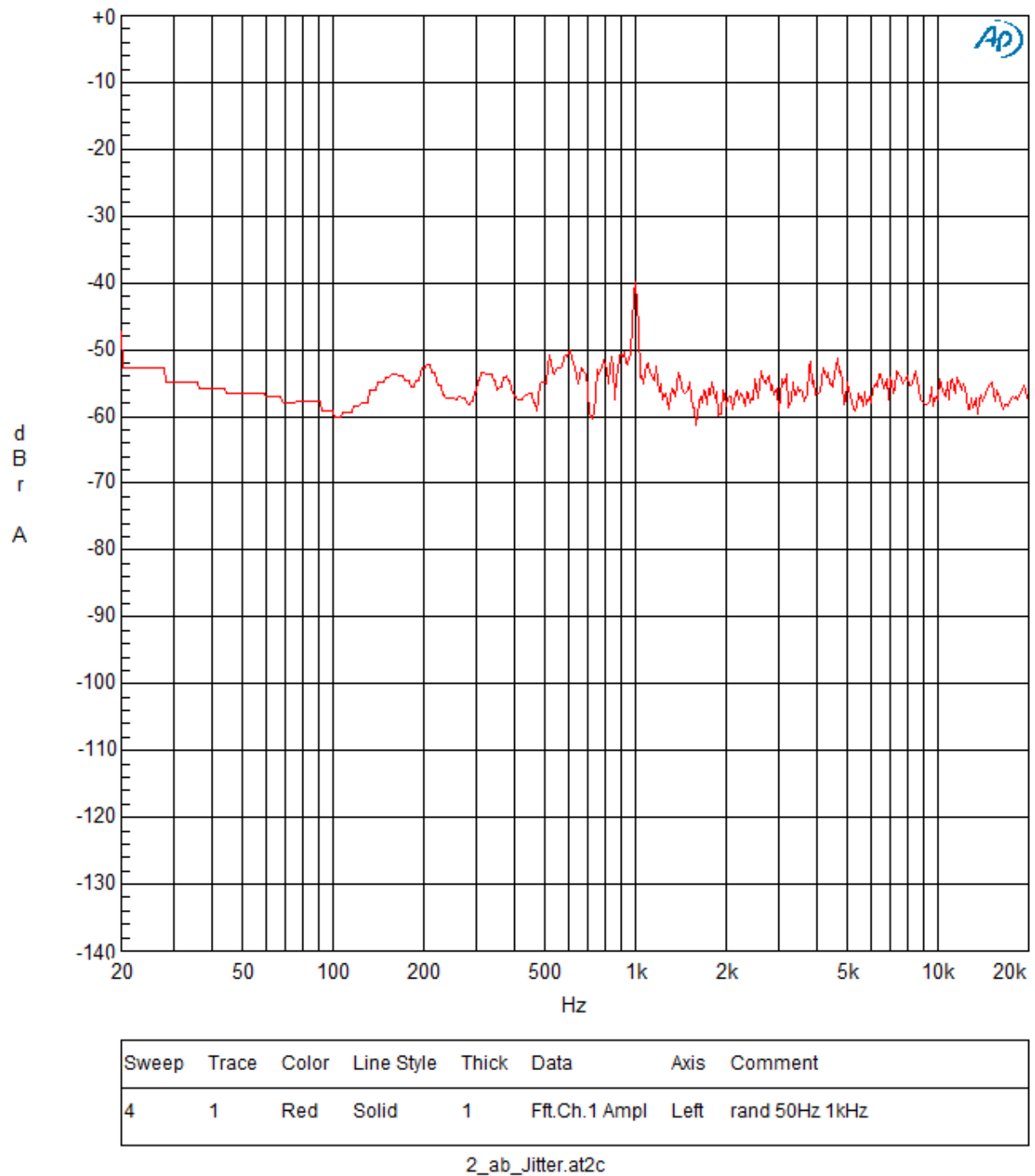


Abbildung 16: THD+N Kennlinie über die Frequenz bei einem Sinus von 1 kHz und einer randomisierten Jitterfrequenz von 50 Hz.

2.2.6 Diskussion

Zunächst wurden mit Hilfe des Aufbaues die Abbildungen (12 bis 15) aufgenommen. Hierbei wurde ein sinusförmiger Jitter und ein 16 faches Average eingestellt. Bei Abbildung 13 erkennt man, dass sich Seitenbänder um 500 Hz, links und rechts um die Grundfrequenz ausbilden. Dies tritt auf, da ein sinusförmiger Jitter mit 500 Hz verwendet wird und das Spektrum sich wie das einer Frequenzmodulation verhält. Bei Abbildung 14 wurde ein sinusförmiger Jitter mit 5000 Hz verwendet. Bei 6000 Hz tritt wie zu erwarten ein Seitenband auf ($5 \text{ kHz} + 1 \text{ kHz}$). Der Peak bei 4 kHz ist mit der Spiegelung des zweiten Seitenbandes von -4 kHz ($1 \text{ kHz} - 5 \text{ kHz}$) zu erklären. Bei Abbildung 15 tritt das selbe Phänomen auf (sinusförmiger Jitter mit 10 kHz).

Danach wurde der Jitter auf randomisiert gestellt. Trotz größtmöglicher Jitteramplitude und randomisierten Jitter ist der Peak bei 1 kHz gut zu erkennen. Dies geht aus Abbildung 16 hervor. Somit war es nicht möglich die Übertragung zu verhindern.

2.3 Klirrfaktor

2.3.1 Aufgabenstellung

1. Messen einer THD+N-Kennlinie über den Dynamikbereich mit und ohne Dither
2. Messen einer THD+N-Kennlinie über der Frequenz mit und ohne Dither

2.3.2 Messaufbau

Der Messaufbau ist der vorigen Übung zu entnehmen.

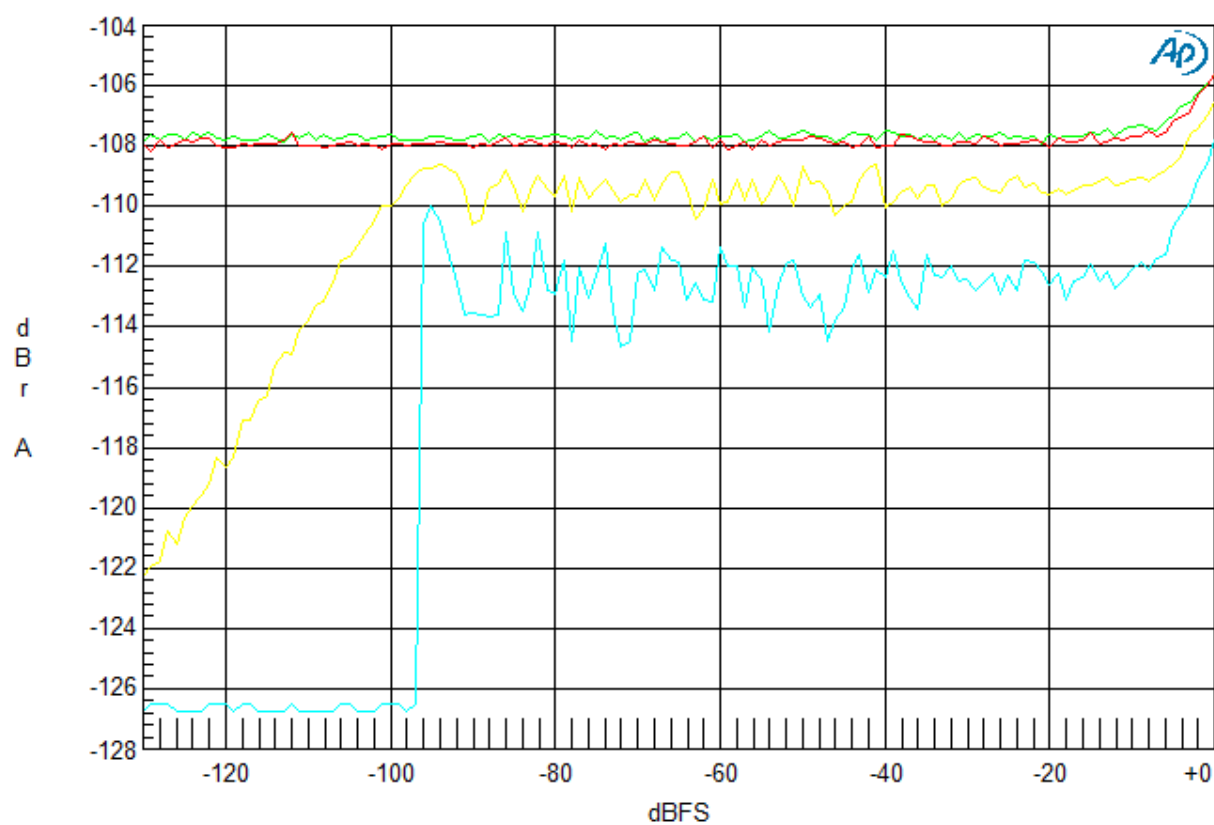
2.3.3 Formeln

Bei dieser Teilübung war nichts zu berechnen.

2.3.4 Berechnungsbeispiele

Es wurden keine Berechnungen durchgeführt.

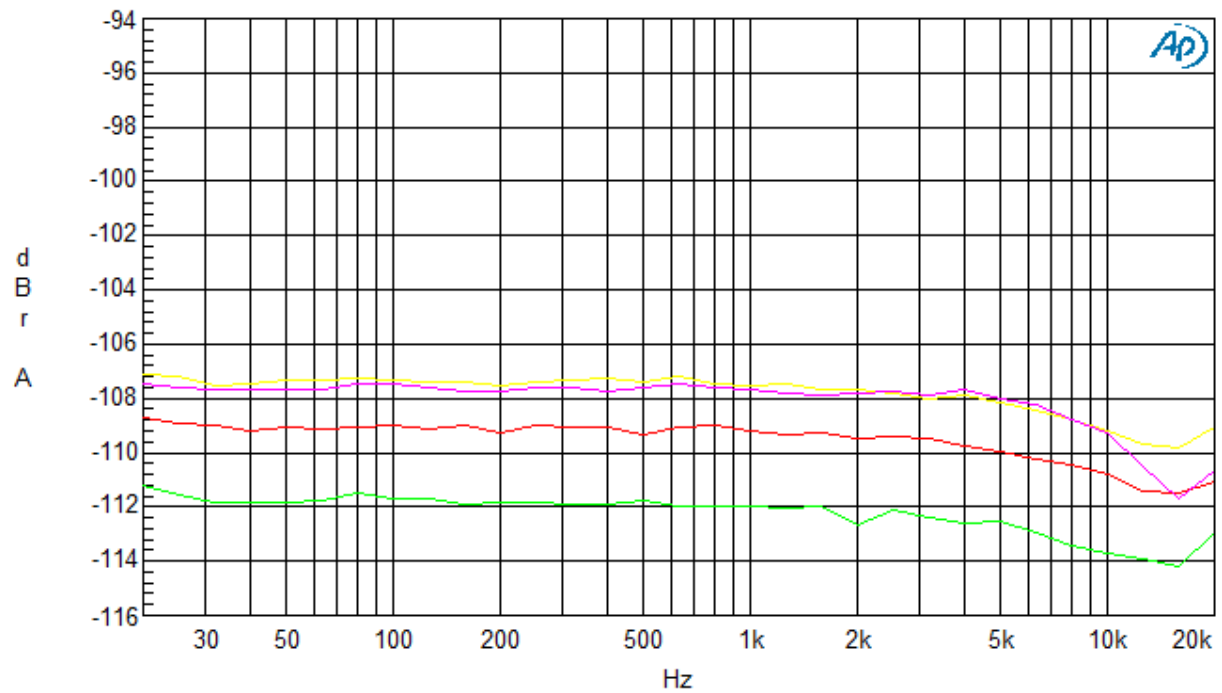
2.3.5 Diagramme



Sweep	Trace	Color	Line Style	Thick	Data	Axis	Comment
1	1	Cyan	Solid	1	Anlr.THd+N Ampl	Left	dither off
2	1	Green	Solid	1	Anlr.THd+N Ampl	Left	dither triangle
3	1	Yellow	Solid	1	Anlr.THd+N Ampl	Left	dither rectangle
4	1	Red	Solid	1	Anlr.THd+N Ampl	Left	dither shaped

3_a_Klirr.at2c

Abbildung 17: Kennlinie des THD+N über den gesamten Dynamikbereich, bei verschiedenen Dithereinstellungen



Sweep	Trace	Color	Line Style	Thick	Data	Axis	Comment
2	1	Green	Solid	1	Anlr.THd+N Ampl	Left	dither off
3	1	Yellow	Solid	1	Anlr.THd+N Ampl	Left	dither triangle
4	1	Red	Solid	1	Anlr.THd+N Ampl	Left	dither rectangle
5	1	Magenta	Solid	1	Anlr.THd+N Ampl	Left	dither shaped

3_b_Klirr.at2c

Abbildung 18: Kennlinie des THD+N über das Frequenzspektrum, bei verschiedenen Dither-einstellungen

2.3.6 Diskussion

Mit Hilfe der Computersoftware und einem Preset, wurde die THD+N Kennlinie über den Dynamikbereich und der Frequenz aufgenommen. Siehe Abbildungen 17 und 18. Aus dem Diagramm für den Dynamikbereich kann man erkennen, dass die Dynamikschwankungen mit Dither geringer werden. Weiters ist zu entnehmen, dass ohne Dither ein Einbruch auftritt, wenn die Amplitude kleiner als das LSB wird. Der Frequenzbereich zeigt wie zur erwarten, dass ein Signal ohne Granularrauschen mit Dither ein schlechteres SNR besitzt.

2.4 Geräteliste

- PC mit Audio Precision AP2700 Software
- Audio Precision SYS-2722
- A/D-Wandlerkarte 941/83 des Lawo MC²66
- Fireface UFX