



TU Berlin Fakultät IV  
Institut für Telekommunikationssysteme  
Fachgebiet Nachrichtenübertragung  
Praktikum Nachrichtenübertragung

# **Praktikum 06**

## **Digitale Übertragungstechnik: Digitale Empfänger**

Özgü Dogan (326 048)  
Boris Henckell (325 779)

6. Juli 2012

Gruppe: D03

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Motivation</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Theorie</b>	<b>1</b>
<b>4</b>	<b>Vorbereitungsaufgabe</b>	<b>2</b>
<b>5</b>	<b>Labordurchführung</b>	<b>4</b>
5.1	Aufgabe 2.1 - Aufbau des Versuches . . . . .	4
5.2	Aufgabe 2.2 - Bitfehlermessung . . . . .	6
<b>6</b>	<b>Auswertung</b>	<b>6</b>
6.1	Vorbereitungsaufgabe . . . . .	6
6.2	Aufgabe 2.1 - Aufbau des Versuches . . . . .	6
6.3	Aufgabe 2.2 - Bitfehlermessung . . . . .	8
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>8</b>

## 1 Einleitung

In diesem Termin beschäftigen wir uns mit einem Signalangepasstem Empfangsfilter. Wir werden eine zufällige Bitfolge mittels eines Formfilters in unterschiedliche Signalformen umwandeln, an der empfängerseite wieder decodieren und abschließend die Bitfehlerrate überprüfen. Abschließend werden wir kontrollieren welchen Einfluss die Wahl der Sendeform auf die Bitfehlerrate hat.

## 2 Motivation

Rauschen kann ein übertragenes Signal beeinflussen und dadurch verfälschen. Bei Binärer Übertragung können daraus Bitfehler resultieren, die natürlich unerwünscht sind und vermieden werden sollten. Um daher den Effekt des Rauschens und dadurch auch die Bitfehlerrate zu minimieren wird auf der Seite des Empfängers nach der Übertragung durch den Kanal ein Signalangepasstes Empfangsfilter verwendet.

Außerdem lässt sich die Bitfehlerrate durch eine geschickte Wahl der Sendeformen weiter minimieren.

Beides werden wir im folgenden umsetzen und durchmessen.

## 3 Theorie

Zur Übertragung einer Bitfolge über einen Kanal werden die einzelnen Bits in zu definierenden Sendeformen umgewandelt und in dieser Form über den Kanal übertragen. Diese Sendeform kann selbstverständlich während der Übertragung durch Rauschen verfälscht werden, was zur Folge hat, dass der Empfänger Schwierigkeiten hat zu entscheiden, ob das Übertragene Bit ursprünglich eine binäre 1 oder eine binäre 0 dargestellt hat. Das verwendete Sende-Empfangssystem sollte darauf ausgelegt sein, den Empfänger diese Entscheidung so leicht wie möglich zu machen.

Als Aussage über die Qualität eines Sende-Empfangssystems dient der "Signal-To-Noise-Ratio" ( $SNR$ ) sowie die Bitfehlerrate ( $P_{Bit}$ ). Ist nämlich das SNR, sprich das Verhältnis zwischen Sendeleistung zu Rauschleistung, am Empfänger möglichst groß fällt es dem Entscheider leichter eine Richtige Entscheidung zu treffen. Die Bitfehlerrate sinkt bei großem SNR, da sie die Fehlerrate pro Bit darstellt. Fällt der Entscheider zunehmend richtige Entscheidungen sinkt daher die Bitfehlerrate.

Das SNR am Entscheider lässt sich folgendermaßen berechnen:

$$SNR_E = \frac{|f(t_a)|^2}{\sigma_r^2}$$

$|f(t_a)|^2$  stellt in diesem Fall die Amplitude des Nutzsignals zum gegebenen Abtastzeitpunkt und  $\sigma_r^2$  die Leistung des Rauschens dar.

Für die weitere Betrachtung ist es notwendig zwischen Unipolarer und Bipolarer Übertragung zu unterscheiden. Die Unipolare Übertragung hat den Vorteil, dass sie mit weniger Aufwand umgesetzt werden kann, da nur eine Sendeform für eine der beiden Zustände notwendig ist. Der andere Zustand wird dann durch eine 0 übertragen. Dem entgegen nutzt die Bipolare Übertragung für jeden Zustand eine eigene Sendeform. Logischerweise ist diese Implementierung aufwendiger. Jedoch zahlt sich dieser Aufwand aus, da der Entscheider SNR für Bipolare Übertragung verbessert.

Um diese Verbesserung mathematisch zu erfassen betrachten wir die Bitenergie ( $E_b$ ), die

Leistungsdichte von Weißem Rauschen ( $\frac{N_0}{2}$ ) sowie den Kreuzkorrelationskoeffizienten ( $\rho$ ) ein. Die Bitenergie  $E_b$  ist die Energie eines Sendeimpulses und errechnet sich mit: [1]

$$E_b = \int_{-\infty}^{\infty} |s(t)|^2 dt$$

Der Kreuzkorrelationskoeffizient  $\rho$  stellt die normierte Kreuzkorrelation zwischen den zwei Sendeimpulsen dar. [2]

$$\rho = \frac{1}{E_b} \int_0^{T_{Bit}} s_0(t) \cdot s_1(t) dt$$

Abhängig von den Formen der Sendeimpulse kann dieser Koeffizient Werte von 1, beiden Signalformen stimmen überein, bis  $-1$ , die beiden Signalformen sind genau invertiert zueinander, annehmen.

Nun lässt sich mit einigen Umformungen lässt sich die oben aufgeführte Formel für das Entscheider  $SNR$  umformen.  
Für Unipolare Übertragung ergibt sich dann:

$$\max\{SNR_E\} = \frac{2E_b}{N_0}$$

Im Gegensatz dazu ergibt sich für die Bipolare Übertragung:

$$SNR = \frac{4E_b}{N_0} (1 - \rho)$$

Werden die Sendeformen entgegengesetzt zueinander und mit der selben Bitenergie wie bei der Unipolaren Übertragung gewählt steigt das  $SNR_{E_{Bi}}$  auf den vierfachen Wert von dem der Unipolaren Übertragung.

## 4 Vorbereitungsaufgabe

Zunächst sollten wir uns als Vorbereitung für den Praktikumstermin mit dem Inhalt des Kapitels zu optimalen Empfängerstrukturen aus dem Skript vertraut machen und nachvollziehen können.

Als nächstes sollte mit Hilfe einer Matlab Datei bipolare Sendeimpulse für eine bipolare Übertragung definiert werden. Diese Sendeimpulse sollten als Vektoren SF0 und SF1 mit  $-1$  und  $1$  ein Kreuzkorrelationsergebnis von  $\rho = 0, -\frac{1}{3}$  oder  $-1$  liefern, wobei die Vektoren für  $\rho = -1$  und  $\rho = -\frac{1}{3}$  drei Werte und für  $\rho = 0$  vier Werte besitzen müssen.

Als Kontrolle dafür, sollte in der Matlab-Datei tatsächlich die Kreuzkorrelation durchgeführt und das Ergebnis untersucht werden. Außerdem wird die Bitenergie  $E_B$  der Sendeimpulse berechnet, wobei die Vektoren als zeitkontinuierliche Spannungsverläufe der Dauer  $T_B$  angenommen wird, bei denen Die Spannungsamplituden nur  $+1 V$  oder  $-1 V$  betragen können. Es sollte beachtet werden, dass  $T_{SF} = 20\mu s$  konstant bleiben und sich somit das  $T_B$  mit  $T_B = 2 \cdot N \cdot T_{SF}$  mit  $N$  Werten in SF0 bzw. SF1 berechnen lässt. Als Bedingung sollte noch

gelten, dass die Bitenergien für SF0 und SF1 als Paar für ein  $\rho$  gleich sein sollten.

Wir haben uns für die folgenden Signalformpaare entschieden:

Für  $\rho = -1$ :

$$SF_0 = [-1, 1, -1]$$

$$SF_1 = [1, -1, 1]$$

Für  $\rho = -\frac{1}{3}$ :

$$SF_0 = [-1, -1, 1]$$

$$SF_1 = [1, -1, -1]$$

Für  $\rho = 0$ :

$$SF_0 = [-1, 1, -1, 1]$$

$$SF_1 = [1, 1, -1, -1]$$

Als Vorbereitung für den praktischen Teil des Versuchs, sollte eine Funktion SAF implementiert werden, welche einen SAF-Empfänger in Matlab realisieren soll. Der Input besteht aus DataSamples, ClkSamples und SFSamples, welche gegeben sind. Der Output dagegen soll dabei der Vektor Values sein, in der die Werte nach dem signalangepasstem Filter eingetragen sein sollen.

Um das umzusetzen haben wir zunächst das Clk-Signal auf 0V angehoben, auf 1V normiert, mit einem Entscheider in Binäre Informationene umgewandelt und so versetzt, dass wir immer den Anfang eines neuen Bits markiert haben. Anschließend haben wir die beiden verwendeten Sendeformen invertiert, jeweils das Signal mit der invertierten Sendeform gefaltet und die Faltung voneinander abgezogen. Zum Schluss haben wir dieses Resultierende Signal an den Zeitpunkten abgetastet an dem das überarbeitete Clocksignal eine eins besitzt.

Auf diese Weise haben wir das Signalangepasste Filter realisiert.

Nach der Implementierung der SAF-Funktion sollten wir uns mit dem Versuchsaufbau und der Durchführung vertraut machen und ein Blockschaltbild dazu entwerfen. Die genaue Vorgehensweise ist in dem Abschnitt Durchführung detailliert erläutert. Hier ist das entworfene Blockschaltbild zu dem Versuch:

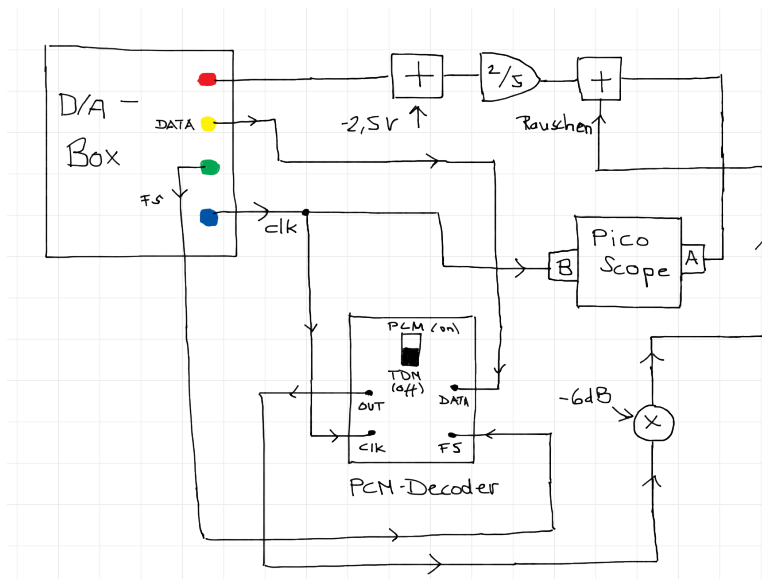


Abb. 1: Blockschaltbild des Versuchsaufbau

Um die implementierte Funktion SAF zu überprüfen, führten wir mithilfe der vorgegebenen `ENue_SAF_Messumgebung.m` durch, welche das Hauptprogramm der Messung darstellt. Mit dem Parameter `Simulation` (für die Vorbereitung bleibt dieser bei 1) kann man entscheiden, ob die Ausgabe und Einstellungen des Steckbretts simuliert werden, oder ob die Daten über die D/A-Box ausgegeben und per PicoScope eingelesen werden. Mit dem Parameter `SAF` kann man einstellen, ob mit dem `DataSignal` eine Sendeformung und dem Empfangssignal eine signalangepasste Filterung durchgeführt wird. Weiterhin sollten wir für die Vorbereitung die Kanal- und Filtereinstellungen nicht verändern, wohingegen der `NoiseFaktor`, welcher den Faktor des Rauschens einstellt, variiert werden durfte um die Leistung AWGN (additive white Gaussain noise) des Kanals zu beeinflussen.

Mit der Funktion `Channel` führt man die Übertragung entweder als `Simulation` oder auf dem ETT aus, wobei die Einstellungen der `Simulation` denen des wirklichen Aufbaus entsprechen. Es wird ein Rückgabewektor `Y` ausgegeben, welcher die Werte nach der Abtastung des Kanals enthält. Wenn `SAF` deaktiviert ist, wird eine einfache Nachabtastung mit einem Schwellwert von `0V` durchgeführt.

Außerdem entspricht der Rückgabewert `Noise` einer Rauschmessung des Kanals, wozu eine 0-Bit-Folge gesendet und das Empfangssignal ohne `SAF` oder Nachabtastung als `PuciScope-Sample-Signal` zurückgegeben wird. Dieses Signal enthält ungefähr 10000 Samples.

Zuletzt sollte beantwortet werden, wie der Multiplikationsfaktor für das Rauschen variiert werden müsste, damit die Wasserfallkurve ausreichend ermittelt werden kann. Im Versuch beträgt das Rauschen dabei  $-6dB$ .

## 5 Labordurchführung

### 5.1 Aufgabe 2.1 - Aufbau des Versuches

Die erste Aufgabe des Praktikums beschäftigt sich fast ausschließlich mit dem Aufbau des Versuches, um den Signalverlauf mit der Matlab Funktion `ParallelOUT([0101010], 100)` zu untersuchen. Dazu wird die D/A-Box, welcher an den Computer angeschlossen und somit über die Matlab Dateien steuerbar ist, als Quelle für jegliche verwendete Signale verwendet. Die D/A-Box besitzt vier

Ausgänge, die mit unterschiedlichen Farben gekennzeichnet sind. Der rote Ausgang gibt das DataSignal aus. Dieser kann eine Amplitude von  $0V$  oder  $5V$  besitzen. Um ihn auf den von uns erwünschte Spannungsbereich von  $\pm 1V$  zu bringen, wird dieses Signal zunächst mit einer Gleichspannung von  $-2.5V$  aus der variablen Spannungsquelle des Steckbretts addiert und danach mit einem Faktor von  $\frac{2}{5}$  gedämpft. Damit erreichen wir den nötigen Spannungsbereich, welcher auf dem A Kanal des PicoScopes kontrolliert wird.

Der blaue Ausgang der D/A-Box gibt das Clock-Signal wieder. Dieser wird auf den B Kanal des PicoScope geführt und ebenfalls kontrolliert.

Als nächstes wird der PCM Decoder mit der D/A-Box verbunden, indem das Clock-Signal auch auf den Clock-Eingang des Decoder geführt wird. Weiterhin wird das Signal aus dem grünen Ausgang der Box, welcher das Frame-Signal (FS) wiedergibt, mit dem FS-Eingang des Decoders und die PCM-codierten Datenworte, die aus dem gelben Ausgang der Box entnommen werden können, mit dem PCM Data-Eingang des Decoders kontaktiert. Wichtig ist auch, dass der Schalter auf dem Decoder Modul auf PCM geschaltet ist und nicht auf TDM.

Somit ist der PCM Decoder mit allen Signalen beliefert, die er zum decodieren braucht. Daher kann man nun das Output Signal verwenden, welcher eine Spannung des Faktors wiedergibt, die für die Verstärkung oder Dämpfung des Rauschens dient. Diese Spannung wird an einem Multiplikator mit dem  $-6dB$  Rauschen multipliziert und an dem Addierer mit Multiplikatoren mit dem DataSignal, welcher bereits auf den korrekten Spannungsbereich eingestellt wurde, addiert. Das Ergebniss dieser Addition wird weiterhin auf den A Kanal des PicoScopes geführt und ausgewertet.

Zuletzt wird das verrauschte Signal überprüft, indem mit der Funktion `PCM.Decod(192)` ein Verstärkungsfaktor für das Rauschen gesetzt wird. Das verrauschte Signal wird mithilfe der PicoScope-Software und der Matlab-Funktion `ParallelOUT([0101010], 100)` dargestellt und auch mit den Werten 0, 128 und 255 untersucht.

Der gesamte Versuchsaufbau sah folgendermaßen aus:

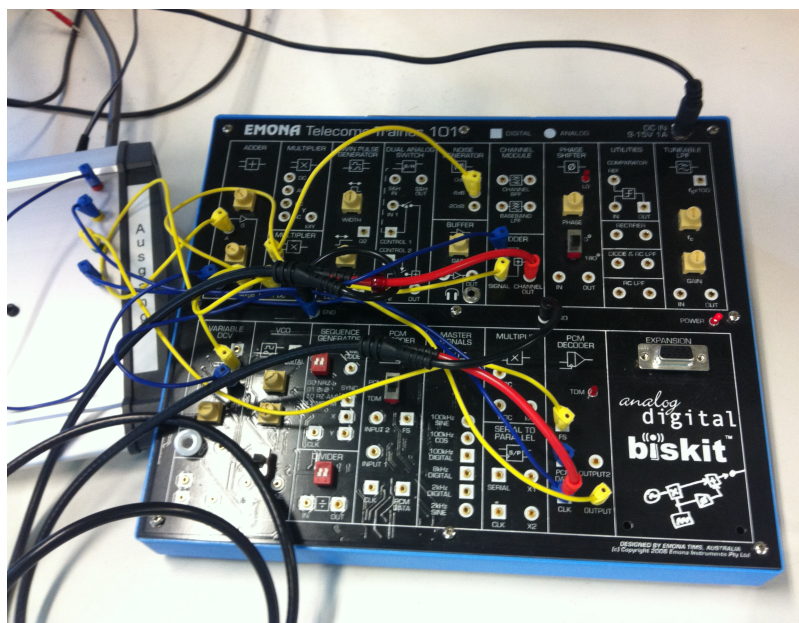


Abb. 2: Versuchsaufbau

## 5.2 Aufgabe 2.2 - Bitfehlermessung

Das Ergebnis der Bitfehlermessung sollte die Darstellung von unterschiedlichen Wasserfallkurven sein. Dafür wurden am Ende die Wasserfallkurven für die drei unterschiedlichen untersucht, welche wir bereits in der Vorbereitung untersucht hatten. Es wurden die BER-Messungen aller drei -Werte mit 15 verschiedenen, sinnvollen Verstärkungsfaktoren für das Rauschen durchgeführt. Dabei sollten wir beachten, dass für größere SNR-Werte die Steigung stärker und eine BER von 0 für ein vorhandenes Rauschen nicht aussagekräftig ist, wenn die Messung des BER eine minimale Auflösung von  $10^{-4}$  besitzt. Danach wurden die Bitfehlerraten der übertragenen Informationsbits für den optimalen Abtastzeitpunkt  $T_B$  gemessen und in ein Diagramm zusammengefasst. Dieses Diagramm enthält nun die Wasserfallkurven von  $-1$ , von  $-\frac{1}{3}$  und von  $0$  mit 15 Messwerten. Die Ergebnisse wurden geplottet und in der Auswertung diskutiert.

## 6 Auswertung

### 6.1 Vorbereitungsaufgabe

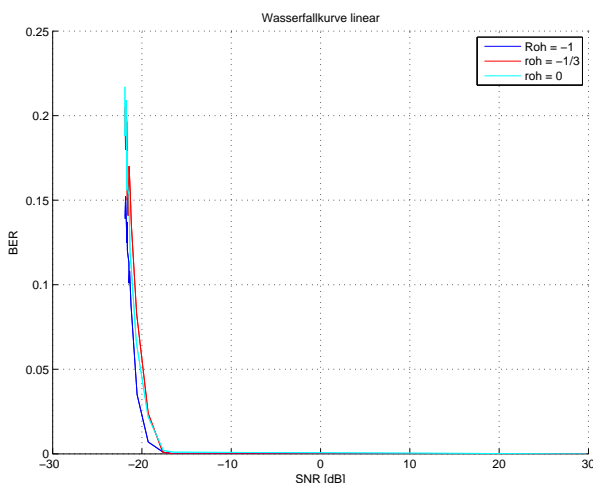


Abb. 3: Wasserfallkurve linear simuliert

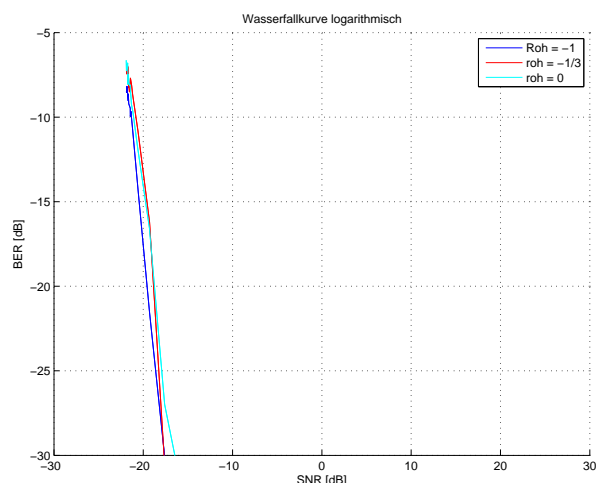


Abb. 4: Wasserfallkurve logarithmisch simuliert

### 6.2 Aufgabe 2.1 - Aufbau des Versuches

Da diese Aufgabe nur zum korrekten Aufbau des versuchs gedient hat, gibt es hier keine Ergebnisse, worüber inhaltlich diskutiert werden müsste. Daher stellen wir nur die verrauschten Signale dar, die während der Messung mit der Funktion `ParallelOut([0101010], 100)` aufgenommen wurden.

Hier das Signal mit additivem Rauschen mit dem Verstärkungsfaktor 0:



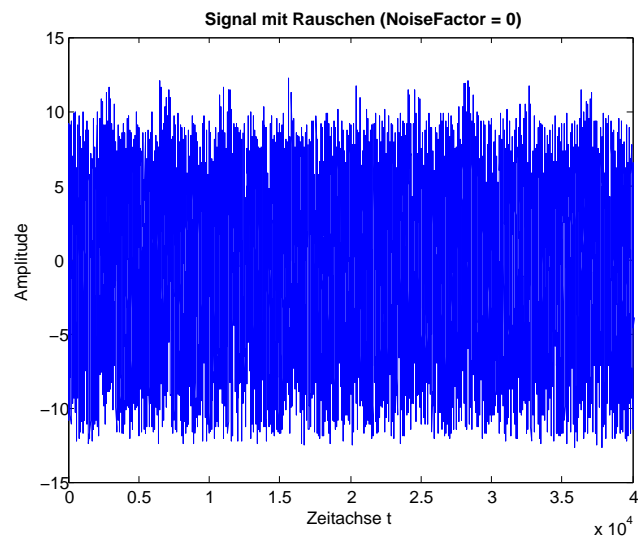


Abb. 5: Signal + Rauschen (NoiseFactor = 0)

Hier das entstandene Signal mit Rauschen bei einem Verstärkungsfaktor von 128:

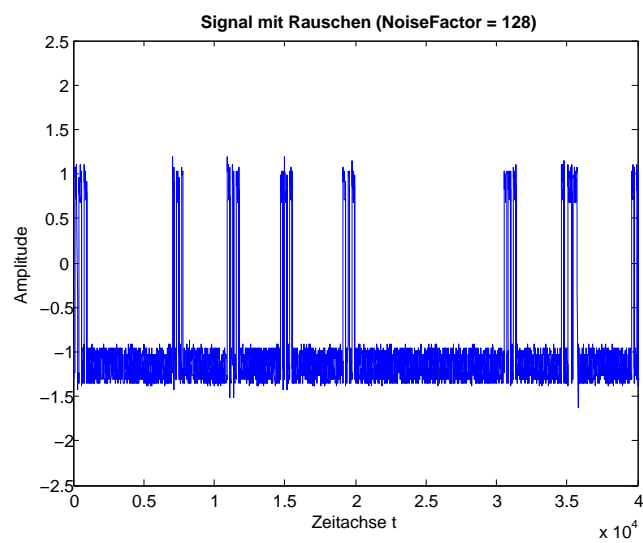


Abb. 6: Signal + Rauschen (NoiseFactor = 128)

Und zuletzt das Signal mit Rauschen bei einem Verstärkungsfaktor mit 255:

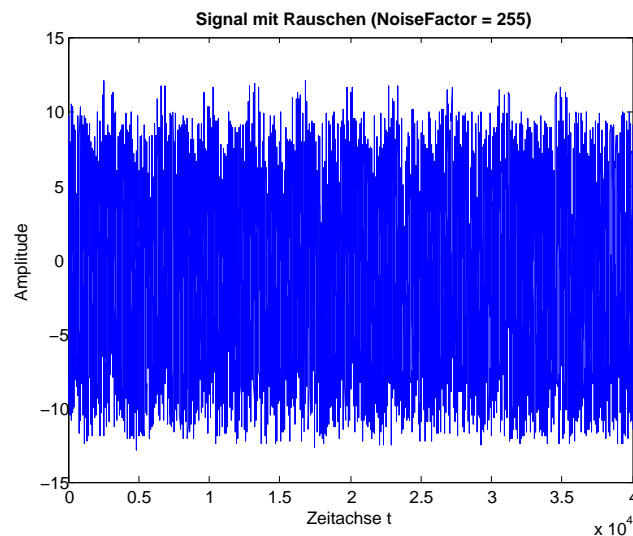


Abb. 7: Signal + Rauschen (NoiseFactor = 255)

Es fällt auf, dass die mit relativ großem Rauschen überlagerten Signale bei den Verstärkungsfaktoren 0 und 255 ungefähr gleich groß in der Amplitude sind. Diese Beobachtung bestätigt sich mit der Spannungsmessung, welche wir am Output des PCM-Decoders durchgeführt haben. Die Verstärkungsspannung, die ausgegeben wurde, betrug bei dem Faktor 0 genau  $2V$  und bei dem Faktor 255 genau  $-2V$ . Damit erklärt sich die große Ähnlichkeit der entstehenden Rauschsignale. Bei einem Verstärkungsfaktor von 128 dagegen tritt so gut wie gar kein Rauschen auf und wir erhalten das ursprünglich rauschfreie Signal im Spannungsbereich von  $-1$  bis  $1V$ . Das liegt daran, dass bei 128 eine Output-Spannung von fast  $0V$  aus dem PCM-Decoder ausgegeben werden, wodurch das additive Rauschen ebenfalls zu fast null wird.

Da die Verstärkungsfaktoren 0 und 255 jeweils die invertierten Verstärkungsspannungen produzieren, beschlossen wir, die Bitfehlermessung in der zweiten Aufgabe mit nur einem wachsendem Rauschfaktor von 0 bis 128 durch zu führen, da dieser Bereich für eine sinnvolle Auswertung der Wasserfallkurven ausreicht.

### 6.3 Aufgabe 2.2 - Bitfehlermessung

TODO:

Aufgabe 2.2

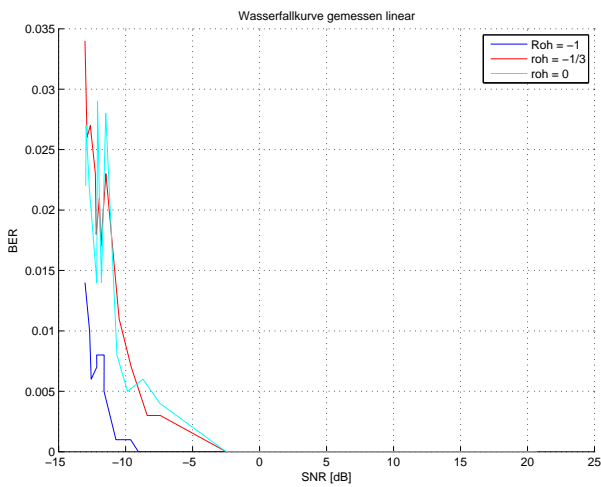


Abb. 8: Wasserfallkurve linear gemessen

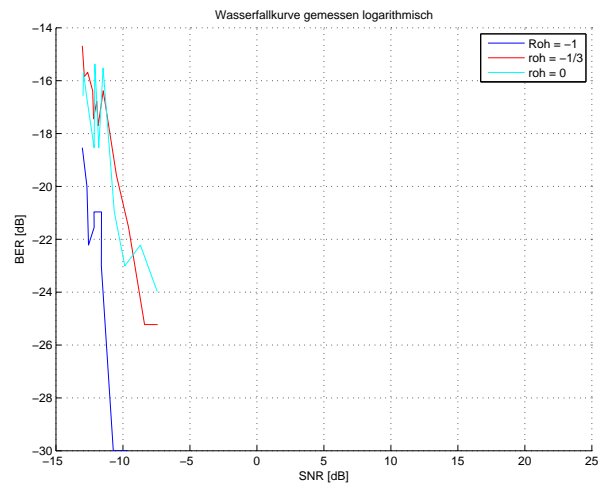


Abb. 9: Wasserfallkurve logarithmisch gemessen

## 7 Zusammenfassung

TODO:

Zusammenfassung schreiben

## Literatur

- [1] Prof. Dr.-Ing. Sikora, Thomas; Prof. Dr.-Ing. Noll, Peter: Einführung in die Nachrichtenübertragung, S.356
- [2] Prof. Dr.-Ing. Sikora, Thomas; Prof. Dr.-Ing. Noll, Peter: Einführung in die Nachrichtenübertragung, S.363