



TU Berlin Fakultät IV  
Institut für Telekommunikationssysteme  
Fachgebiet Nachrichtenübertragung  
Praktikum Nachrichtenübertragung

# **Praktikum 06**

## **Digitale Übertragungstechnik: Digitale Empfänger**

Dirk Babendererde (321 836)  
Thomas Kapa (325 219)

14. November 2012

Gruppe:

Betreuer: Lieven Lange

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorbereitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Labordurchführung</b>	<b>2</b>
2.1	Encoderkennlinie . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Auswertung &amp; Theorie</b>	<b>4</b>
3.1	Wasserfallkurve . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>5</b>

## 1 Vorbereitung

In diesem Praktikum wird die sogenannte Wasserfallkurve betrachtet. Dabei wird die Bitfehlerwahrscheinlichkeit über dem SNR geplottet. Bei der Übertragung von Signalen über einen nicht idealen Kanal wird das Signal mit Rauschen überlagert. Diese Tatsache kann auf der Empfängerseite zu dem Problem führen, dass der Entscheider sich statt einer 0 für eine 1, oder umgekehrt, entscheidet. Um die Wasserfallkurve zu ermitteln, wird die Intensität des Rauschens variiert und die Bitfehlerwahrscheinlichkeit gemessen. Da das SNR mit Hilfe des Logarithmus berechnet wird, wird ein Ansteigen hin zu den negativen SNR Werten (also da wo die Rauschenleistung größer ist als die Signalleistung, Faktor kleiner null und damit Logarithmus negativ) erwartet.

$$\rho_{01} = \frac{1}{E_b} \int_0^{T_{Bit}} s_0(t) \cdot s_1(t) dt^1 \quad (1)$$

$$SNR_E = \frac{4E_b}{N_0} (1 - \rho_{01})^2 \quad (2)$$

Theoretisch würde man also wegen des Faktors  $(1 - \rho_{01})$  für  $\rho_{01} = 0$  in Formel 1 das kleinste SNR und damit den höchsten Bitfehler erwarten. Für  $\rho = -1$  erhält man den damit den minimalen Bitfehler. Dies ist in Abb. 1 aber kaum zu sehen.  $\rho_{01} = 0$  und  $\rho_{01} = -1/3$  liegen nahezu aufeinander. Dies erklärt sich durch die höhere Bitenergie. Da für die Sendeform bei  $\rho_{01} = 0$  4 Baud nötig sind (4 Baud heißt in diesem Fall ein Bit besteht aus vier Zeichen, entweder -1 oder 1), ergibt sich nach Formel 1 ein  $E_b$  von 4 statt von 3 für  $\rho_{01} = -1/3$  und  $\rho_{01} = -1$ . Das  $E_b$  verbessert wiederum das SNR in Formel 1 und damit verringert es auch die Bitfehlerwahrscheinlichkeit. Das würde bedeuten, je mehr Baud für ein Bit verwendet werden, desto geringer ist die Bitfehlerwahrscheinlichkeit. Allerdings ist dies, wie die meisten scheinbar offensichtlichen Verbesserungen mit einem Trade off zu bezahlen, da sich somit die Länge eines Bit verlängert und somit die Bandbreite der Übertragung sinkt. Gut wäre damit eine auch eine Verringerung der Baudzahl pro Bit auf z.B. zwei (Manchestercode), wobei in diesem Fall die Bitenergie dann wieder sinken würde.

$$E_b = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)^2 dt^3 \quad (3)$$

$$p_{Bit} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{2N_0(1 - \rho_{01})}}^4 \quad (4)$$

An Formel 1 kann man zusätzlich erkennen, dass die Signalform bei der Übertragung mit SAF, also ob z. B. Rechteck, Dreieck, oder Cosinus keinen Einfluss auf die Bitfehlerwahrscheinlichkeit hat.

---

<sup>1</sup> Prof. Dr.-Ing. Sikora, Thomas, Foliensatz 10 Binäre Basisbandübertragung, Einführung in die Nachrichtenübertragung, S.159  
<sup>2</sup> Prof. Dr.-Ing. Sikora, Thomas, Foliensatz 10 Binäre Basisbandübertragung, Einführung in die Nachrichtenübertragung, S.160  
<sup>3</sup> Prof. Dr.-Ing. Sikora, Thomas, Foliensatz 10 Binäre Basisbandübertragung, Einführung in die Nachrichtenübertragung, S.129  
<sup>4</sup> Prof. Dr.-Ing. Sikora, Thomas, Foliensatz 10 Binäre Basisbandübertragung, Einführung in die Nachrichtenübertragung, S.161

Um einen SAF zu simulieren, wird das Blockschaltbild 2 in Matlab umgesetzt. Zunächst wurden 3 unterschiedliche Sendeformen erstellt: Für  $\rho_{01} = -1/3$  die Sendeformen  $[-1 \ -11]$  für eine 0 und die Sendeform  $[1 \ -1 \ -1]$  für eine 1, für  $\rho_{01} = -1$  die Sendeformen  $[-11 \ -1]$  für eine 0 und die Sendeform  $[1 \ -11]$  für eine 1 und da es für drei Bit keine Möglichkeit gibt einen Kreuzkorrelationskoeffizienten von null zu erzeugen für  $\rho_{01} = 0$  die Sendeformen  $[-11 \ -11]$  für eine 0 und die Sendeform  $[11 \ -1 \ -1]$  für eine 1.

Der optimale Abtastzeitpunkt bei der Übertragung mit einem SAF liegt immer am Ende eines zu übertragenden Bits und wiederholt sich somit alle  $kT_{Bit}$ . Daher wird das Signal CLKSamples so bearbeitet, dass ein Vektor resultiert, der bei der steigenden Flanke des Clocksignals eine 1 ausgibt und ansonsten null ist.

Anschließend werden die beiden Sendeformen gespiegelt, mit dem Datensignal gefaltet und voneinander abgezogen. Das Ergebnis wird dann zu den ermittelten Zeitpunkten  $kT_{Bit}$  abgetastet und mit Hilfe eines Entscheiders die Signale 0 und 1 zurückgewonnen.

Die Ergebnisse der Simulation der Wasserfallkurven ist in Abb. 1 zu sehen.

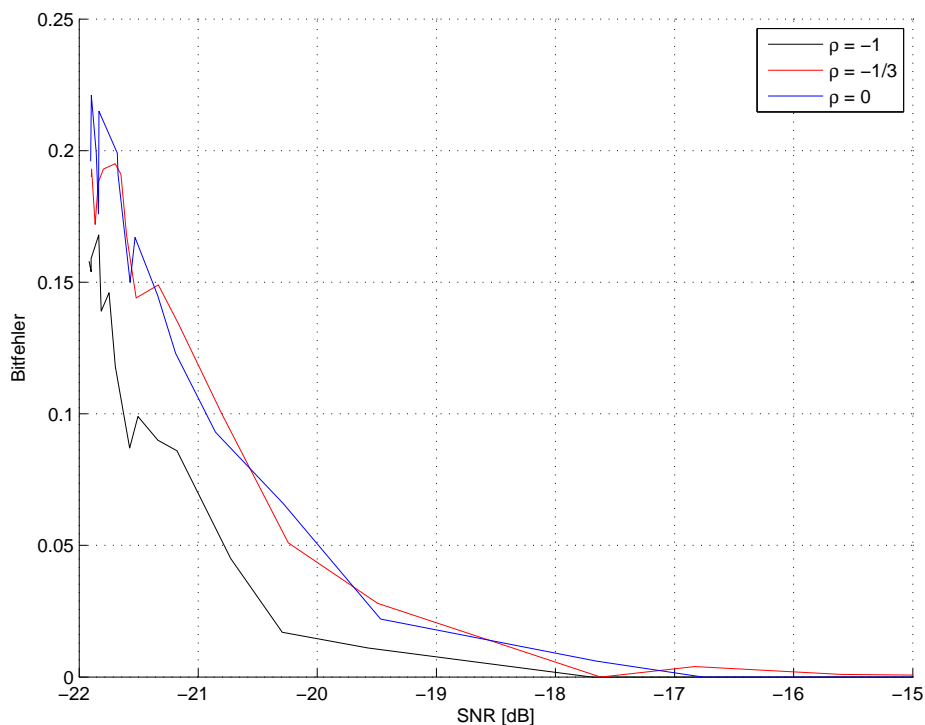


Abb. 1: simulierte Wasserfallkurven

## 2 Labordurchführung

### 2.1 Encoderkennlinie

Um die Bitfehlerrate messen zu können, werden die D/A-Box, das PCM-DECODER-Modul, die ADDER-Module, das Picoscope und der NOISE GENERATOR benötigt. Der oberste Ausgang (rot) der D/A-Box, der das Datensignal enthält, wird auf das erste ADDER-Modul gegeben, dass keine Verstärkungsmöglichkeit enthält und mit

einem Offset aus dem VARIABLE DC-Modul addiert. Anschließend wird das Ergebnis auf das zweite ADDER-Modul geführt, wo es mit dem Verstärkungsregler auf eine Amplitude von -1..1 gedämpft wird.

Der 3. Ausgang von unten der D/A-Box (gelb) enthält die PCM codierten Datenworte. Diese werden auf den Eingang PCM DATA des PCM DECODER-Moduls gegeben.

Der 2. Ausgang von unten enthält das Rahmensignal, welches mit dem Gegenstück des PCM-DECODER-Moduls verbunden wird.

Der unterste Ausgang (blau) gibt das Clock Signal aus. Dieses wird mit einem T-Stück zum einen an den Eingang B des Picoscope und zum anderen an den CLK Eingang des PCM DECODER-Moduls des Picoscope geschlossen.

Zuletzt wird der OUTPUT des PCM-Decoder Moduls (Spannung des Faktors zur Verstärkung bzw. Dämpfung des Rauschens) auf einen Multiplizierer gegeben und mit -6 dB multipliziert. Der Ausgang des Multiplizierers wird auf den zweiten Eingang des zweiten ADDER-Moduls gegeben.

Der Ausgang dieses ADDER-Moduls wird auf den A Eingang des Picoscopes gegeben. Der Kanal und die Empfängerseite sind im Blockschaltbild 2 zu sehen.

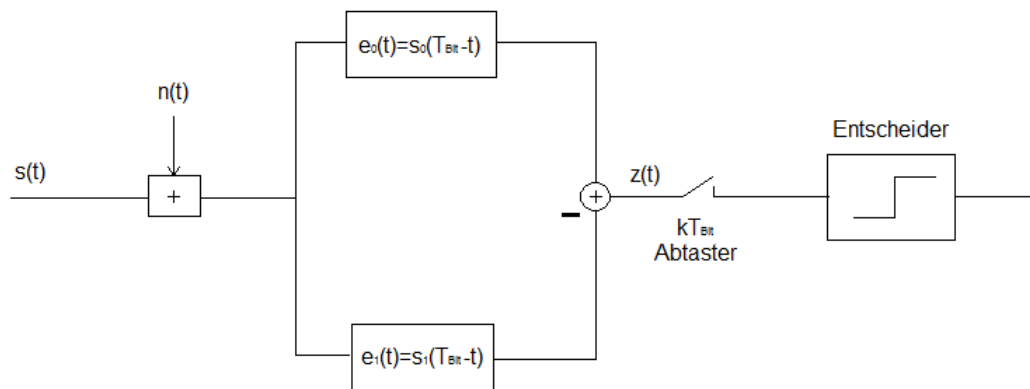


Abb. 2: Kanal plus SAF

### 3 Auswertung & Theorie

#### 3.1 Wasserfallkurve

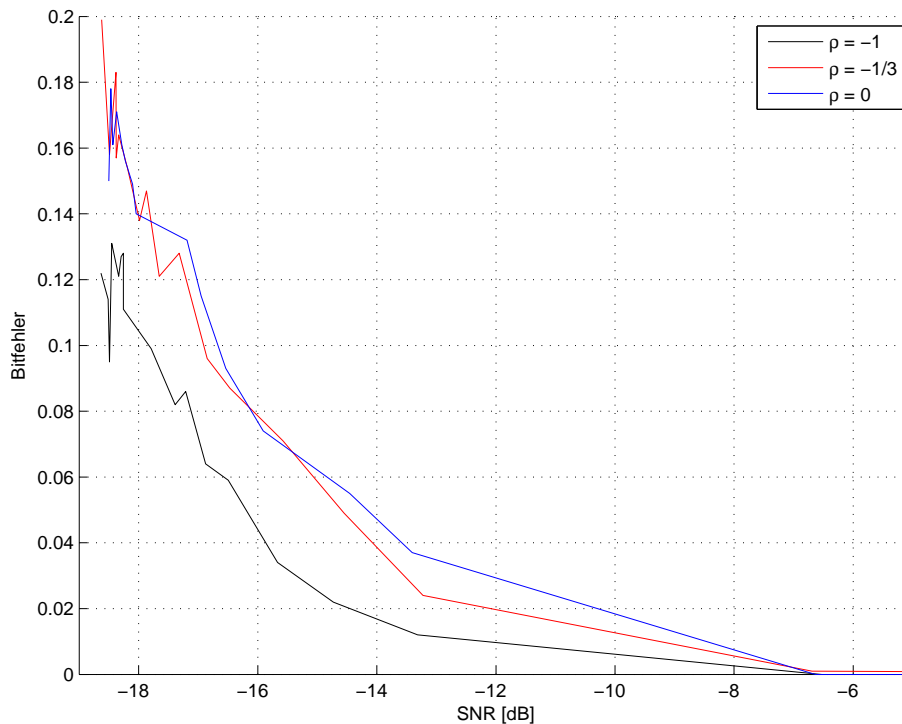


Abb. 3: gemessene Wasserfallkurven

Die gemessenen Wasserfallkurven sind mit den simulierten nahezu identisch. Der selbe Effekt für  $\rho_{01} = 0$ , der schon in den Vorbereitungsaufgaben erklärt wurde, tritt hier wieder auf.

In beiden Fällen treten Bitfehler größer null erst für ein SNR kleiner null auf, das heißt wenn die Rauschleistung größer als die Signalleistung wird. Auffällig ist allerdings, dass der Anstieg der durchschnittlichen Bitfehler in der Simulation erst deutlich später beginnt, als bei den gemessenen Werten. **TODO:**

**Der Kanal in der Simulation ist also weniger störanfällig.**

Der Bitfehler zeigt für kleiner werdendes SNR einen exponentiellen Anstieg, muss Theoretisch aber bei 1 sein Maximum erreicht haben, wenn alle Bits fehlerhaft übertragen wurden.

Für  $\rho_{01} = -1$  ergibt sich wie erwartet der minimale durchschnittliche Bitfehler. Dies ist damit zu begründen, dass bei diesem Kreuzkorrelationskoeffizienten alle Baud von der Sendeform für eine 0 invertiert zu den Baud der Sendeform für eine 1 sind. Das bedeutet, dass die Faltung bei Gleichheit nach Formel 3.1 eine Amplitude von  $E_b$  und bei Ungleichheit  $-E_b$  ausgibt. Da die beiden Faltungen zwischen der gespiegelten Sendeform für die null und die eins von einander abgezogen werden, erhält man damit eine Amplitude von  $2 E_b$ . Somit erklärt sich auch die geringe

Fehleranfälligkeit.

Außerdem würde es im Prinzip für  $\rho_{01} = -1$  reichen nur eine invertierte Sendeform mit dem Datensignal zu falten. Nullen und Einsen müssten trotzdem zurückgewinnbar sein. Bei den anderen beiden Kreuzkorrelationskoeffizienten, bei denen die Baud nicht alle invertiert sind ergibt sich damit ein geringerer Wert bei der Faltung mit dem Datensignal und deshalb sind sie auch fehleranfälliger.

$$\int_0^{T_{Bit}} s_0(t) \cdot s_1(t) dt == E_b \cdot \rho_{01}^5 \quad (5)$$

## 4 Zusammenfassung

Es hat sich in diesem Versuch gezeigt, dass die Bitfehlerwahrscheinlichkeit bei der Übertragung mit Hilfe eines SAF deutlich von der Sendeform abhängt. Dabei ist eine Sendeform mit einer normierten Kreuzkorrelation zwischen den Sendepulsen von -1 zu bevorzugen. Interessant ist hingegen, dass bei der Übertragung mit Sendeformenpaaren für ein festes  $\rho_{01}$  die Signalform für die einzelnen Baud auf die Bitfehlerwahrscheinlichkeit keinen Einfluss hat. Mit Hilfe von Wasserfallkurven lassen sich also Übertragungskanäle in Bezug auf ihre Fehleranfälligkeit charakterisieren.

---

<sup>5</sup> Prof. Dr.-Ing. Sikora, Thomas, Foliensatz 10 Binäre Basisbandübertragung, Einführung in die Nachrichtenübertragung, S.159

## **Literatur**

- [1] Prof. Dr.-Ing. Sikora, Thomas; Prof. Dr.-Ing. Noll, Peter: Einführung in die Nachrichtenübertragung, 2010
- [2] Dipl.-Ing. Tok, Michael/Esche,Marko, M.Sc./Dr.-Ing. Krutz, Andreas: Unterlagen zum Praktikum Nachrichtenübertragung (SS 2012), Termin 6