

# Nachrichtenübertragung

## Vorlesung I und Rechenübung I

- Prof. Dr.-Ing. Thomas Sikora -

Name:.....

Vorname: .....

Matr.Nr:.....

- Bachelor     ET     VL I
- Master     TI     RÜ I
- Diplom     KW     VL II
- Magister     ...     RÜ II
- Erasmus

Teilnahme am Bonusprogramm (MC-Test)?     Ja     Nein

Ergebnis im Web mit verkürzter Matr.Nr?     Ja     Nein

Aufgabe	I-1	I-2	I-3	I-4	BP VL	I-R	BP RÜ
Max. Punkte	10	10	10	10	X	10	X
Punkte							

### Hinweise:

1. Die Fragen zur Rechenübung sind **fettgedruckt** und mit dem Zusatz R versehen!
2. Schreiben Sie die Lösungen jeweils direkt auf den freien Platz unterhalb der Aufgabenstellung.
3. Die **Rückseiten** können bei Bedarf zusätzlich beschrieben werden. Nummerierungen in diesem Fall nicht vergessen.
4. Sollte auch der Platz auf der Rückseite nicht ausreichen, ist dennoch **kein eigenes Papier zu verwenden**. Die Klausuraufsicht teilt auf Anfrage **zusätzlich leere Blätter** aus.
5. Taschenrechner sind als Hilfsmittel **n i c h t** erlaubt!
6. Es sind **keine Unterlagen** zur Lösung dieser Klausur zugelassen!
7. Bearbeitungszeit: **75 min** für VL I, **18,5 min** für RÜ I und **93,5 min** für VL I & RÜ I.
8. Zum Schreiben **keinen Bleistift** und auch **keinen Rotstift** verwenden!

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Nachrichtenübertragung <b>Vorlesung &amp; Rechenübung I</b> am 22.07.2009	Blatt: 1
--	---	----------

## Inhaltsverzeichnis

<b>I-1</b>	<b>Nachrichtenkanäle</b>	<b>3</b>
<b>I-2</b>	<b>Analoge Modulation</b>	<b>6</b>
<b>I-3</b>	<b>Abtastung</b>	<b>9</b>
<b>I-R</b>	<b>Rechenübung: Kanalcodierung</b>	<b>11</b>

<b>Technische Universität Berlin</b> Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Nachrichtenübertragung <b>Vorlesung &amp; Rechenübung I</b> am 22.07.2009	Blatt: 2
---	---	----------

**I-1 Nachrichtenkanäle****12 Punkte**

I-1.1 Idealer Tiefpass 2 P

a) Geben Sie die Gleichung für die Übertragungsfunktion eines idealen Tiefpasses der Bandbreite  $B_{TP}$  in allgemeiner Form an und skizzieren Sie sowohl den Amplitudengang als auch den Phasengang! 1 P

b) Berechnen und zeichnen Sie die Impulsantwort des Tiefpasses aus Aufgabe 1.1! 1 P  
(Hinweis:  $\frac{1}{T} \text{si} \left( \frac{\omega T}{2} t \right) \circ \rightarrow \bullet \Pi_{\omega T}(\omega)$ )

I-1.2  $\cos^2$ -Amplitudengang 5 P

a) Der oben beschriebene ideale Tiefpass wird durch einen Tiefpass mit  $\cos^2$ -förmigem Amplitudengang gleicher Bandbreite ersetzt. Nennen Sie jeweils einen Vor- und Nachteil dieser Massnahme! 1 P

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Nachrichtenübertragung Vorlesung & Rechenübung I am 22.07.2009	Blatt: 3
--	--	----------



Der zweite Impuls kommt nach einer absoluten Laufzeit von 0,8 s Sekunden beim Empfänger an. In dieser Zeit hat er bei einer Geschwindigkeit von  $c_m = 100 \text{ km/s}$  eine Strecke von  $d_2 = 80 \text{ km}$  zurückgelegt. Somit wird das Echosignal mit  $\alpha_2 = 40 \text{ dB}$  gedämpft. Mit

$$\alpha = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{U_{\text{aus}}}{U_{\text{ein}}} \right) \Rightarrow \frac{U_{\text{ein}}}{U_{\text{aus}}} = 10^{-\frac{\alpha}{20}}$$

folgt für die Skalierung der Echokomponente

$$v_2 = 10^{-\frac{40}{20}} = 10^{-2}.$$

Für die Impulsantwort folgt somit

$$h(t) = 0,1 \cdot \delta(t - 0,4 \text{ s}) + 0,01 \cdot \delta(t - 0,8 \text{ s}).$$

b) Die Impulsantwort sei gegeben als

3 P

$$h(t) = 0,5 \cdot \delta(t - 0,4 \text{ s}) + 0,5 \cdot \delta(t - 0,5 \text{ s}).$$

Berechnen Sie den Amplitudenfrequenzgang dieses Kanals! Welche Frequenzen sind bei der Übertragung zu vermeiden?

Aus

$$h(t) = 0,5 \cdot \delta(t - 0,5 \text{ s}) * [\delta(t + 0,1 \text{ s}) + \delta(t - 0,1 \text{ s})]$$

folgt

$$H(j\omega) = e^{-j\omega \cdot 0,5 \text{ s}} \cdot \cos(0,1 \text{ s} \cdot \omega)$$

und damit der Amplitudenfrequenzgang

$$A(\omega) = |\cos(0,1 \text{ s} \cdot \omega)| \quad (1 \text{ Punkt}).$$

Die Nullstellen des Amplitudenfrequenzgangs liegen bei

$$\begin{aligned} 0,1 \text{ s} \cdot 2\pi \cdot f_0 &= (2n + 1) \cdot \frac{\pi}{2} \\ \Rightarrow f_0 &= (2n + 1) \cdot 2,5 \text{ Hz}. \end{aligned}$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Nachrichtenübertragung Vorlesung &amp; Rechenübung I am 22.07.2009</p>	<p>Blatt: 5</p>
---	---	-----------------

**I-2 Analoge Modulation****15 Punkte**

I-2.1 AM ohne Träger 2 P

- a) Geben Sie die allgemeine Gleichung für die Zweiseitenband AM (ZSB-AM) im Zeit- und Frequenzbereich an. 1 P

$$u_m(t) = u(t) \cdot \cos(\omega_c t)$$

$$U_m(j\omega) = \frac{1}{2}[U_j(\omega - \omega_c) + U_j(\omega + \omega_c)]$$

- b) Wie groß ist der Bandbreitebedarf bei der ZSB-AM im Vergleich zu einer Basisbandübertragung? 1 P

$$B_{K_m, BB} = B_Q$$

$$B_{K_m, ZSB} = 2 \cdot B_Q$$

*Der Bandbreitebedarf ist demnach doppelt so groß.*

I-2.2 Einseitenband (ESB-AM) Modulation 3 P

- a) Zeichnen Sie ein Blockschaltbild für ESB-AM 1 P

*ZSB modulation mit einem TP hinten dran.*

- b) Nennen Sie jeweils zwei Vor- und Nachteile von ESB im Vergleich zu ZSB-AM ohne Träger 2 P

*vorteile: weniger BW, weniger leistung, nachteile: bedarf an sehr genaues trägersignal, sehr komplizierte filter benötigt für die Implementation.*

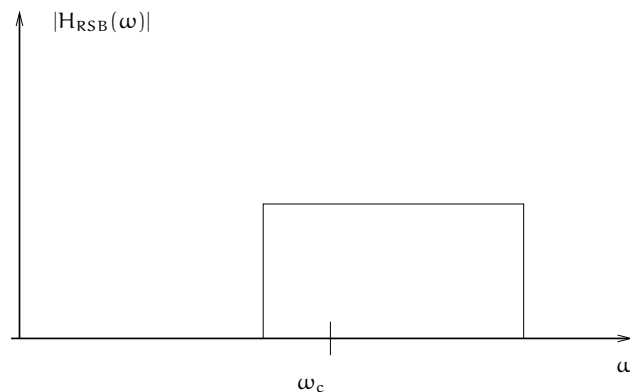
I-2.3 Restseitenband (RSB-AM) Modulation 7 P

<p><b>Technische Universität Berlin</b>          Fachgebiet Nachrichtenübertragung          Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Nachrichtenübertragung  <b>Vorlesung &amp; Rechenübung I</b>          am 22.07.2009</p>	<p>Blatt: 6</p>
--	--	-----------------

- a) Welche Bedingungen müssen bei RSB Modulation erfüllt sein, damit das Nachrichtensignal fehlerfrei demoduliert werden kann? 2 P

$\Delta H$  punktsymmetrisch um  $\omega_c$

- b) Ist ein Filter mit dem folgenden Amplitudengang für RSB Modulation geeignet? Warum? 2 P



nein, weil kein  $\Delta H$  gefunden werden kann, die punktsymmetrisch um  $\omega_c$  ist

- c) Zeigen Sie wie ESB-AM als ein Sonderfall von RSB-AM realisiert werden kann. 1 P

$\Delta H = 0$

- d) Zeigen Sie wie ZSB-AM als ein Sonderfall von RSB-AM realisiert werden kann. 2 P

#### I-2.4 Phasen- und Frequenzmodulation 3 P

- a) Was ist der Zusammenhang zwischen PM und FM? 1 P

- b) Zeigen Sie entweder mathematisch oder durch ein Blockschaltbild, wie ein FM-Modulator mit einem PM-Modulator realisiert werden kann! 2 P

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Nachrichtenübertragung Vorlesung &amp; Rechenübung I am 22.07.2009</p>	<p>Blatt: 7</p>
---	---	-----------------

<p><b>Technische Universität Berlin</b> Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Nachrichtenübertragung <b>Vorlesung &amp; Rechenübung I</b> am 22.07.2009</p>	<p>Blatt: 8</p>
--	--	-----------------

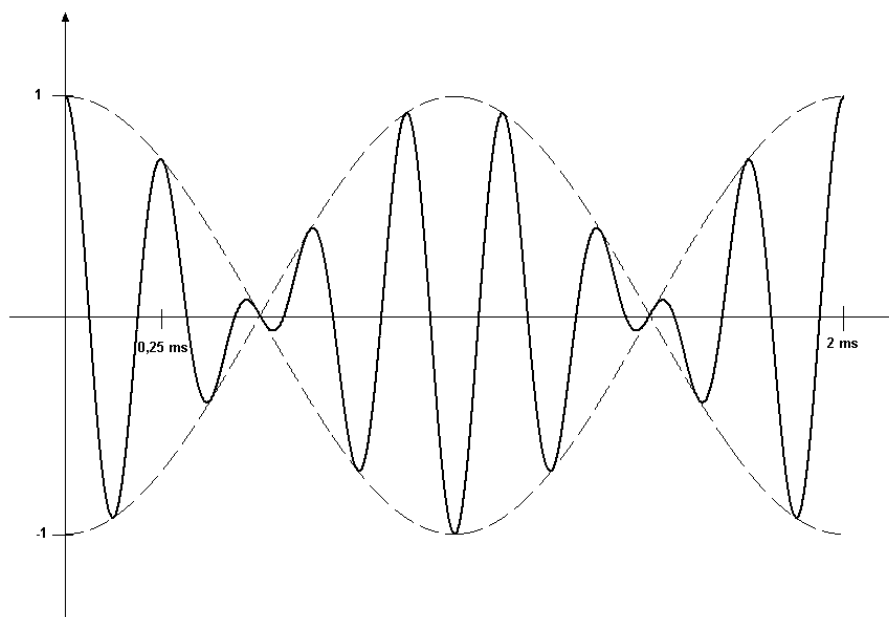


**I-3 Abtastung****13 Punkte**

- I-3.1 Welche Bedingungen müssen bei der Abtastung erfüllt werden, damit das abgetastete Signal fehlerfrei rekonstruiert werden kann? 2 P

*Die Nyquistbedingungen*

- I-3.2 Gegeben Sei das folgende Signal: 11 P



- a) Wie lautet die Formel für das Signal  $u(t)$  im Bild? 3 P

(Hinweis:  $\cos(\alpha)\cos(\beta) = \frac{1}{2}(\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta))$ )

$$u(t) = \frac{1}{2}(\cos(2\pi 4500t) + \cos(2\pi 3500t))$$

- b) Finden Sie die Bandbreite und die Nyquistfrequenz für dieses Signal. 2 P

$$BW = 4500 \text{ Hz}, \text{ Nyquist} = 2 * BW$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Nachrichtenübertragung Vorlesung &amp; Rechenübung I am 22.07.2009</p>	<p>Blatt: 9</p>
---	---	-----------------

Hinweis: Wenn Sie die Formel für das Signal nicht haben, nehmen Sie für die folgenden Aufgaben  $u(t) = \cos(8000\pi t)$  als das ursprüngliche Signal an.

- c) Dieses Signal wird mit 8500Hz ideal abgetastet. Zeichnen Sie das Spektrum für das abgetasteten Signal. Achten Sie auf die Bezeichnungen der Achsen. 1 P  
*aliasing. neue frequenzen bei 3500, 4000, 4500 und 5000Hz*
- d) Finden Sie die ideale Rekonstruktion von dem Abgetasteten Signal, zeichnen Sie das Spektrum des rekonstruktieren Signal. 2 P  
*TP bei  $8500/2=4250\text{Hz}$ . Nur 3500 und 4000Hz überleben.*
- e) Skizzieren Sie das rekonstruktire Signal im Zeitbereich. 1 P  
*ein 3750Hz cosinus mit 250Hz Amplituden beat.*
- f) Fallen denn Besonderheiten im Vergleich zu dem ursprünglichen Signal auf? Erläutern Sie. 2 P  
*aliasing. ein vollkommen neues signal erscheint nach der rekonstruktion.*

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Nachrichtenübertragung Vorlesung & Rechenübung I am 22.07.2009	Blatt: 10
--	--	-----------

**I-R Rechenübung: Kanalcodierung****10 Punkte**

- I-R.1 Hammingcode und algebraische Decodierung: Ein Kanalcodewort  $a' = [0101010]$  wird empfangen. Es wurde mit dem (7,4,3)-Hammingcode codiert. Die zugehörige Paritätsmatrix hat die Form:** **4 P**

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- a) Wie viele Fehler können in einem Codewort erkannt und korrigiert werden? Geben Sie allgemein die Formel in Abhängigkeit vom Hammingabstand an und bestimmen Sie die Werte für den hier gegebenen Code! **1 P**

*Erkennbare Fehler:*

$$s \leq d_{\min} - 1 = 2$$

*Korrigierbare Fehler:*

$$t \leq \left\lfloor \frac{d_{\min} - 1}{2} \right\rfloor = 1$$

*s und t können nur natürliche Zahlen annehmen.*

- b) Geben Sie die Paritätsprüfmatrix  $\mathbf{H}$  an! **1 P**

*Paritätsprüfmatrix  $\mathbf{H}$ :*

$$\mathbf{H} = \left[ -\mathbf{P}^T : \mathbf{I} \right] = \left[ \begin{array}{cccc|ccc} 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Nachrichtenübertragung Vorlesung &amp; Rechenübung I am 22.07.2009</p>	<p>Blatt: 11</p>
---	---	------------------

- c) Berechnen Sie das Syndrom  $s$  und bestimmen Sie mit Hilfe der Syndrom-Fehlervektor-Tabelle gegebenenfalls das korrekte Codewort  $a$ ! 2 P

Syndrom $s$	Fehlervektor $e$
0 0 1	0 0 0 0 0 0 1
0 1 0	0 0 0 0 0 1 0
1 0 0	0 0 0 0 1 0 0
1 0 1	0 0 0 1 0 0 0
1 1 1	0 0 1 0 0 0 0
0 1 1	0 1 0 0 0 0 0
1 1 0	1 0 0 0 0 0 0

$$s = a' \cdot H^T = [0101010] \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = [100]$$

$$e = [0000100]$$

$$a = a' \oplus e = [0101110]$$

- I-R.2 Zyklische Redundanz-Prüfcodes: Ein CRC-Code habe das Generatorpolynom  $g(D) = 1 \oplus D^1 \oplus D^3$ . Es soll der Informationsvektor  $[0101101]$  übertragen werden. 2,5 P

*Hinweis: Aus  $[i_0 i_1]$  wird in der Polynomdarstellung zu  $i(D) = i_0 \oplus i_1 \cdot D$ .*

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Nachrichtenübertragung Vorlesung & Rechenübung I am 22.07.2009	Blatt: 12
--	--	-----------

- a) Erklären Sie, wie Sie die Anzahl der Bits des Kanalvektors nach erfolgter CRC-Codierung bestimmen können und geben Sie diese Anzahl an! 0,5 P

Die Bitanzahl des Prüfcodes entspricht der Ordnung des Generatorpolynoms (3. Ordnung). Mit 7 Informationsbits ergibt sich ein Kanalvektor mit 10 Bits.

- b) Bestimmen Sie den Kanalvektor für gegebenen Informationsvektor und Generatorpolynom! 2 P

$$\begin{array}{r}
 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ : 1\ 1\ 0\ 1 \\
 0\ 0\ 0\ 0 \\
 \hline
 1\ 0\ 1\ 1 \\
 1\ 1\ 0\ 1 \\
 \hline
 1\ 1\ 0\ 0 \\
 1\ 1\ 0\ 1 \\
 \hline
 0\ 0\ 1\ 1 \\
 0\ 0\ 0\ 0 \\
 \hline
 0\ 1\ 1\ 0 \\
 0\ 0\ 0\ 0 \\
 \hline
 1\ 1\ 0\ 0 \\
 1\ 1\ 0\ 1 \\
 \hline
 0\ 0\ 1\ 0 \\
 0\ 0\ 0\ 0 \\
 \hline
 0\ 1\ 0
 \end{array}$$

$a = [0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0]$

- I-R.3 Faltungscodierung: Es ist ein Faltungscodierer gegeben, bei dem in jedem Takt nur ein einzelnes Bit zugeführt wird ( $p = 1$ ). Er hat die Impulsantworten  $h_0(n) = (101)$  und  $h_1(n) = (111)$ . 3,5 P

<p>Technische Universität Berlin          Fachgebiet Nachrichtenübertragung          Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Nachrichtenübertragung          Vorlesung &amp; Rechenübung I          am 22.07.2009</p>	<p>Blatt: 13</p>
---	---	------------------

- a) Welche Coderate hat ein solcher Faltungscodierer? Begründen Sie kurz ihre Antwort! 0,5 P

Die zwei Impulsantworten des Faltungscodierers führen zu zwei Ausgangsbits je Zeitschritt und Eingangsbit. Daher beträgt die Coderate  $r = 1/2$ .

- b) Berechnen Sie den Kanalvektor  $\mathbf{a}$  für das Informationspolynom  $i(D) = 1 \oplus D \oplus D^3 \oplus D^5$  (Ordnung 5)! 3 P

$$i(D) = 1 \oplus D \oplus D^3 \oplus D^5$$

$$\begin{aligned} \alpha_0(D) &= i(D) \cdot h_0(D) = (1 \oplus D \oplus D^3 \oplus D^5) \cdot (1 \oplus D^2) \\ &= 1 \oplus D \oplus D^3 \oplus D^5 \oplus D^2 \oplus D^3 \oplus D^5 \oplus D^7 \\ &= 1 \oplus D \oplus D^2 \oplus D^7 \end{aligned}$$

$$\mathbf{a}_0 = [11100001]$$

$$\begin{aligned} \alpha_1(D) &= i(D) \cdot h_1(D) = (1 \oplus D \oplus D^3 \oplus D^5) \cdot (1 \oplus D \oplus D^2) \\ &= 1 \oplus D \oplus D^3 \oplus D^5 \oplus D \oplus D^2 \oplus D^4 \oplus D^6 \oplus D^2 \oplus D^3 \oplus D^5 \oplus D^7 \\ &= 1 \oplus D^4 \oplus D^6 \oplus D^7 \end{aligned}$$

$$\mathbf{a}_1 = [10001011]$$

$$\mathbf{a} = [11\ 10\ 10\ 00\ 01\ 00\ 01\ 11]$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Nachrichtenübertragung Vorlesung &amp; Rechenübung I am 22.07.2009</p>	<p>Blatt: 14</p>
---	---	------------------