

**Klausur**  
**Einführung in die Nachrichtenübertragung**  
**Vorlesung und Rechenübung**

- Prof. Dr.-Ing. Thomas Sikora -

Name: ..... Vorname: .....

Matr.Nr: .....  
 Bachelor     ET             Vorlesung  
 Master         TI             Rechenübung  
 Magister       KW  
 Erasmus       .....

Teilnahme am Bonusprogramm (MC-Test)?     Ja             Nein

Ergebnis im Web mit verkürzter Matr.Nr?     Ja             Nein

Aufgabe	1	2	3	4	R	BP
Max. Punkte	10	10	10	10	10	X
Punkte						

**Hinweise:**

1. Die **Aufgabe zur Rechenübung hat den Zusatz R!**
2. Schreiben Sie die Lösungen jeweils direkt auf den freien Platz unterhalb der Aufgabenstellung.
3. Die **Rückseiten** können bei Bedarf zusätzlich beschrieben werden. Nummerierungen für die zugehörigen Aufgaben 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. **Nicht programmierbare** Taschenrechner sind als Hilfsmittel erlaubt!
6. Es sind **keine Unterlagen** zur Lösung dieser Klausur zugelassen!
7. Die **Nutzung von Mobiltelefonen** oder anderen elektronischen Geräten (mit Ausnahme des nichtprogrammierbaren Taschenrechners und Uhren) ist **verboten**.
8. Bearbeitungszeit: **90 min** für Vorlesung und Rechenübung, **73 min** nur für die Vorlesung
9. Zum Schreiben **keinen Bleistift** und auch **keinen Rotstift** verwenden!

<b>Technische Universität Berlin</b> Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur <b>Einführung in die</b> <b>Nachrichtenübertragung</b> am 19.07.2010	Blatt: 1
---	--	----------

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Statistische Nachrichtentheorie</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Analoge Modulation</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Pulsamplitudenmodulation/Pulsmodemodulation</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Binäre Basisbandübertragung/Modulation</b>	<b>16</b>
<b>R</b>	<b>Rechenübung: Binärübertragung</b>	<b>20</b>

<b>Technische Universität Berlin</b> Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	<b>Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung</b> am 19.07.2010	Blatt: 2
---	--	----------

# 1 Statistische Nachrichtentheorie

10 Punkte

## 1.1 Grundlagen

3 P

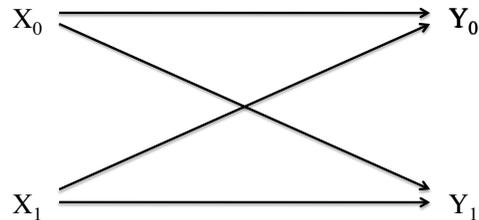
a) Geben Sie die Kolmogoroff-Axiome an und beschreiben Sie kurz jeweils deren Bedeutung! 1,5 P

b) Gegeben sei eine Zufallsvariable  $Z$ , mit einer kontinuierlichen Gleichverteilung zwischen  $-1$  und  $1$ . Berechnen Sie die Varianz von  $Z$ . 1,5 P

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010</p>	<p>Blatt: 3</p>
---	---	-----------------

## 1.2 Symmetrischer binärer Kanal

7 P



Gegeben Sei ein Nachrichtenkanal mit normalverteiltem weißem Rauschen. Das Rauschen sei mittelwertfrei und habe eine Varianz von  $\sigma_{\tilde{X}}^2 = 1$ . Auf diesem Kanal werden binäre Symbole als eine Reihenfolge von Rechtecksignalen übertragen, wobei für jedes  $X_1$  ein Rechteck mit der Amplitude  $3V$  und für jedes  $X_0$  kein Rechteck ( $0V$  Amplitude) gesendet wird.

a) Bitte skizzieren Sie die Amplitudendichteverteilung  $p(Y|X = 0)$  am Empfänger. 1 P

b) Wie kann aus  $p(Y|X = 1)$  und  $p(Y|X = 0)$  die gesamte ADV  $p(Y)$  berechnet werden? Bitte schreiben Sie die Formel dafür. 1 P

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010	Blatt: 4
--	--	----------

- c) Skizzieren Sie die gesamte Amplitudendichteverteilung  $p(Y)$ , wenn die beiden Symbole am Sender gleichverteilt sind. 1 P

- d) Bitte berechnen Sie die Übergangswahrscheinlichkeiten  $P(Y_1|X_0)$  und  $P(Y_0|X_1)$ . Dafür können Sie die folgende Tabelle zur Hilfe ziehen. (Hinweis:  $\text{erf}(x) = \frac{2}{\pi} \int_0^x e^{-t^2} dt$ ) 3 P

x	erf(x)
0	0.00
1.0	0.8427
1.5	0.9661
2.0	0.9953
3.0	0.99998

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010	Blatt: 5
--	--	----------

- e) Wie groß ist die Zuverlässigkeit des Empfängers wenn beim Empfänger  $Y_0$  auftritt? ( $X_0$  und  $X_1$  sind gleich wahrscheinlich) (Hinweis: Verwenden Sie eine Bitfehlerwahrscheinlichkeit von 10%, falls Sie keine Werte von der obigen Aufgabe haben.) 1 P

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010</p>	<p>Blatt: 6</p>
---	---	-----------------

## 2 Analoge Modulation

10 Punkte

### 2.1 AM Modulation

8 P

Gegeben sei eine symmetrische Rechteckfolge mit der Frequenz  $\omega_u$  und der Amplitude 2V. Diese Folge soll mit einer Frequenz von  $\omega_c = 5 \cdot \omega_u$  ZSB-AM moduliert werden.

a) Geben Sie mathematische Beschreibung von dem modulierten Signal sowohl im Zeitbereich als auch im Frequenzbereich an! 2 P

b) Zeichnen Sie bitte das modulierte Signal sowohl im Zeitbereich als auch im Frequenzbereich. Achten Sie auf die Beschriftung der Achsen! 2 P

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010	Blatt: 7
--	--	----------

c) Führen Sie eine synchrone Demodulation graphisch oder mathematisch durch! 1 P

d) Skizzieren Sie das demodulierte Signal im Frequenzbereich! Was fällt auf? Was wäre der richtige Ansatz für die Verbesserung des demodulierten Signals? 3 P

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010</p>	<p>Blatt: 8</p>
---	---	-----------------

2.2 FM Modulation

2 P

- a) Vergleichen Sie das Rauschverhalten von FM zur AM. Behalten Sie Vor- und Nachteile im Auge.

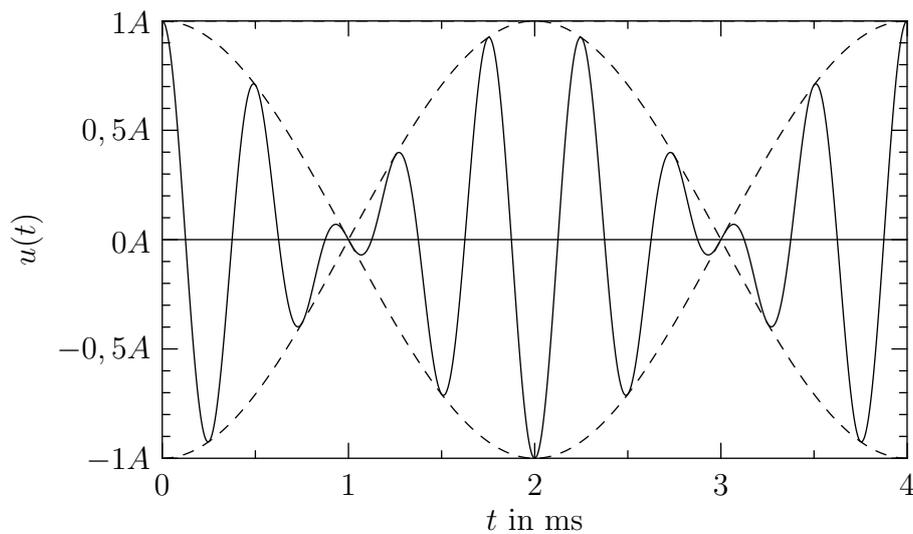
2 P

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010</p>	<p>Blatt: 9</p>
---	---	-----------------

**3 Pulsamplitudenmodulation/Pulscodemodulation 10 Punkte****3.1 Abtastung**

4,5 P

Gegeben Sei das folgende Signal:



- a) Geben Sie die Bandbreite und die minimale Abtastfrequenz für das gegebene Signal an! 0,5 P

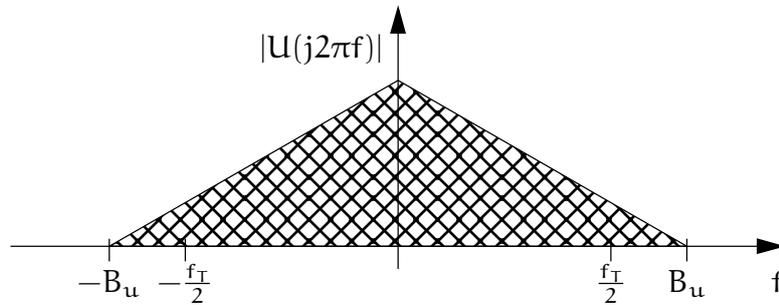
Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010	Blatt: 10
--	--	-----------

b) Das Signal aus 3.1 b) wird mit 10 kHz ideal abgetastet. Zeichnen Sie das Spektrum für das abgetastete Signal! Achten Sie auf die korrekte Bezeichnungen der Achsen! Geben Sie Werte an! 1 P

c) Finden Sie die ideale Rekonstruktion des abgetasteten Signals und zeichnen Sie das Spektrum des rekonstruierten Signals! Zur Rekonstruktion wird ein idealer Tiefpass mit 5 kHz Grenzfrequenz verwendet. 1 P

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010</p>	<p>Blatt: 11</p>
---	---	------------------

- d) Angenommen ein Basisbandsignal hat das folgende Betragsspektrum  $|U(j\omega)|$  und wird mit einer Abtastfrequenz  $f_T$  abgetastet. Wie groß ist die Fehlerenergie für das durch die fehlerhafte Abtastung gestörte Spektrum im Vergleich zum Originalspektrum? Wie groß wäre die Fehlerenergie durch vorherige Tiefpassfilterung?



Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010	Blatt: 12
--	--	-----------

3.2 **Quantisierung**

5,5 P

- a) Wieso lohnt es sich Quantisierungsfehler bei digitalisierten Signalen im Vergleich zu den analogen Signalen in Kauf zu nehmen? Berücksichtigen Sie bei der Erklärung die Entfernung von Sender und Empfänger sowie die benötigte Bandbreite! 1 P
- b) Warum ist besonders bei der Quantisierung von analogen Signalen, bei denen sehr kleine Werte gehäuft auftreten, dem midtread-Quantisierer den Vorzug vor dem midriser-Quantisierer zu geben? 0,5 P
- c) Die Genauigkeit einer Quantisierung soll um 1 Bit erhöht werden. Wie verändert sich das Signal-zu-Rausch-Verhältnis (SNR) in dB (logarithmisch) zwischen dem zu quantisierenden Signal und dem Quantisierungsrauschen? 0,5 P

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010</p>	<p>Blatt: 13</p>
---	---	------------------

d) Ist die Veränderung des SNR aus Aufgabe 3.2 c) abhängig von der Form der Quantisierungskennlinie oder Amplitudendichteverteilung des zu quantisierenden Signals? Antwort begründen! 0,5 P

e) Zeichnen Sie die Quantisierungskennlinie für eine gleichförmige **und** eine ungleichförmige 3 Bit-midtread-Quantisierung! Achten Sie auf die korrekte Beschriftung der Achsen! 2 P

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010	Blatt: 14
--	--	-----------

- f) Durch welches Verfahren kann die ungleichförmige Quantisierung mithilfe eines gleichförmigen Quantisierers realisiert werden? Zeichnen Sie das Blockschaltbild für eine solche D/A-A/D Wandlung und Beschreiben Sie die einzelnen Blöcke! 1 P

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010</p>	<p>Blatt: 15</p>
---	---	------------------

## 4 Binäre Basisbandübertragung/Modulation

10 Punkte

4.1 Skizzieren Sie als Blockdiagramm die Einzelsysteme eines digitalen Kanals, der ohne Modulation eine Übertragung im Basisband realisiert. Beginnen Sie mit einer digitalen Quelle und beenden Sie das Diagramm mit einer digitalen Senke. 1 P

4.2 Nyquistbedingung für Sendesignale 4 P

a) Was stellt die Nyquistbedingung für Sendesignale bei idealem Kanal und synchroner Nachabtastung am Empfänger sicher? 0,5 P

b) Wie ist die Nyquistbedingung im Zeitbereich definiert? 0,5 P

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010	Blatt: 16
--	--	-----------

- c) Angenommen, die Nyquistbedingung ist für ein Sendesignal erfüllt. Wie sieht dann im Frequenzbereich der Amplituden-/Phasengang nach Nachabtastung zu den Zeitpunkten  $kT_{\text{Bit}}$  aus? 1 P
- d) Die Nyquistbedingung kann durch Sendesignale mit cosinusförmigen Flankenverlauf (raised-cosine) eingehalten werden. Wie ist der Roll-Off-Faktor  $r$  hierbei definiert? Skizze und Formel für  $r$  sind verlangt. 1 P
- e) Die Nyquistbedingung ist aufgrund eines nichtidealen Kanals mit der Übertragungsfunktion  $H_{\text{Kanal}}(j\omega)$  nicht mehr einzuhalten. Mit welchem zuzuschaltenden System kann der Nyquistbedingung wieder Gültigkeit verschafft werden? Welche Gesamtübertragungsfunktion (Amplituden-/Phasengang) aller Systeme ergibt sich dann? 1 P

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010</p>	<p>Blatt: 17</p>
---	---	------------------

4.3 Über einen Telefonkanal mit der nutzbaren Bandbreite  $B = 2,4 \text{ kHz}$  soll mittels mehrwertiger Übertragung ein binäres Datensignal mit einer Bitrate von  $R_B = 4800 \text{ Bit/s}$  übertragen werden. Der *roll-off*-Faktor der Sendeimpulse betrage 100 %. Wie groß muss die Wertigkeit  $M$  der Sendesymbole sein? 1 P

4.4 **Binäre Modulation** 3 P

a) Geben Sie die drei prinzipiellen binären Modulationsverfahren mit den zugehörigen modulierten Sendesignalen  $s_m(t)$  an. 1,5 P

b) Welche maximale Kanalausnutzung ergibt sich für binäre Modulationsverfahren? 0,5 P

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010	Blatt: 18
--	--	-----------

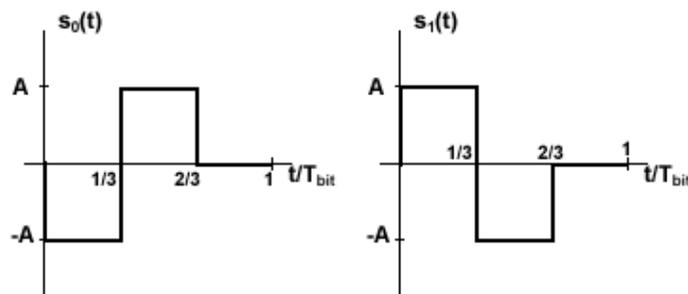
- c) Warum ist die PSK der orthogonalen FSK bei gleichem Entscheider-SNR in Hinsicht auf die erzielbare Bitfehlerwahrscheinlichkeit überlegen? **Begründen** Sie ihre Antwort! 1 P
- d) Muss für den binären Empfänger immer erst das modulierte Signal demoduliert werden oder gibt es Möglichkeiten, das binäre Signal ohne explizite Demodulation zu empfangen. Wenn ja, **beschreiben** Sie kurz die Grundidee eines solchen Empfängers und **skizzieren** Sie ihn als Blockdiagramm. 1 P

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010	Blatt: 19
--	--	-----------

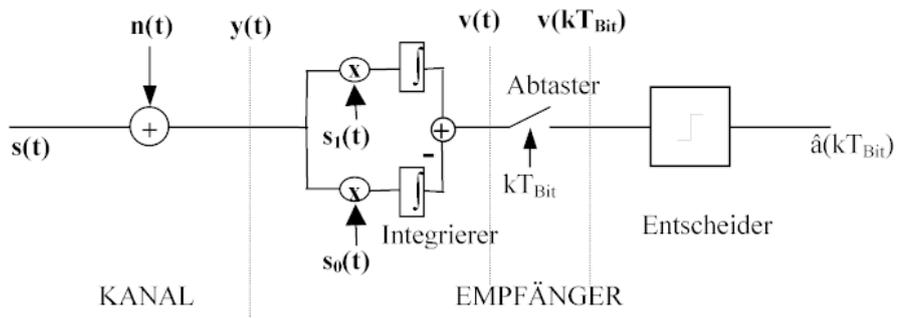
## R Rechenübung: Binärübertragung

10 Punkte

- R.1 Durch Verwendung von Pulsformung und Korrelationsempfänger soll eine Binärübertragungsstrecke vor Übertragungsfehlern durch Kanalrauschen geschützt werden. Der Sender verwendet zur Pulsformung die Impulsantworten  $s_0(t)$  für eine binäre '0' bzw.  $s_1(t)$  für eine binäre '1'. 6 P



Der verwendete Korrelationsempfänger habe die folgende Struktur:



- a) Welche Signalisierung liegt vor und welche mathematische Beziehung haben hier die beiden Impulsantworten? 1 P

<p>Technische Universität Berlin          Fachgebiet Nachrichtenübertragung          Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Einführung in die          Nachrichtenübertragung          am 19.07.2010</p>	<p>Blatt: 20</p>
---	---	------------------

b) Skizzieren Sie das durch Senden der binären Werte '110' nach der Pulsformung entstehende Signal! 1 P

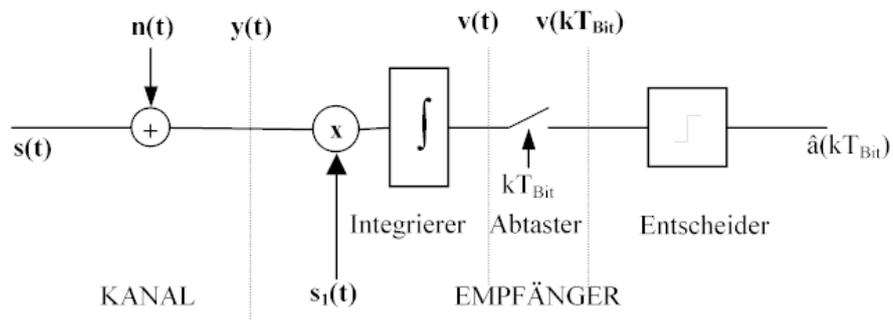
c) Berechnen Sie  $v(kT_{\text{bit}})$  für  $k = 1, 2, 3$  für die gegebenen binären Werte und unter der Annahme, dass kein Rauschen auf dem Kanal hinzukommt ( $n(t) = 0$ )! Geben Sie die maximale Amplitudendifferenz von  $v(kT_{\text{bit}})$  an! 3 P  
Hinweis: Integrierer werden nach jedem Abtastzeitpunkt  $T_{\text{bit}}$  auf Null gesetzt.

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010</p>	<p>Blatt: 21</p>
---	---	------------------

- d) Die Amplitude  $A$  betrage 250 mV,  $T_{\text{bit}}$  sei 3 ms und die Rauschleistungsdichte über der Kanalbandbreite sei konstant mit  $N_0/2 = 25 \cdot 10^{-7} \text{V}^2/\text{s}$ . Bestimmen Sie den Entscheider-SNR.

Hinweis:  $\text{SNR}_E = \frac{4E_{\text{bit}}}{N_0} (1 - \rho_{01})$

**R.2 Mit den Sendeimpulsen aus der vorherigen Aufgabe und der vereinfachten Struktur des Korrelationsempfängers 4 P**



- a) Wie groß ist die maximale Amplitudendifferenz von  $v(kT_{\text{bit}})$  bezogen auf die Amplitudendifferenz aus Aufgabe R.1c bei gleicher binärer Sendefolge '110' und  $n(t) = 0$ . Begründen Sie Ihre Antwort!

Hinweis: Eine Rechnung ist nicht unbedingt notwendig.

<p>Technische Universität Berlin          Fachgebiet Nachrichtenübertragung          Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Einführung in die          Nachrichtenübertragung          am 19.07.2010</p>	<p>Blatt: 22</p>
---	---	------------------

b) Die Amplitude  $A$  betrage 250 mV,  $T_{\text{bit}}$  sei 3 ms und die Rauschleistungsdichte über der Kanalbandbreite sei konstant mit  $N_0/2 = 25 \cdot 10^{-7} \text{V}^2/\text{s}$ . Wie groß ist das Entscheider-SNR bezogen auf das Entscheider-SNR aus Aufgabe R.1 d)? Begründen Sie Ihre Antwort und Ihr Ergebnis! 1 P

c) Additives Rauschen auf dem Kanal, welches gaußverteilt und mittelwertfrei ist, lässt sich mit einem Korrelationsempfänger reduzieren. Warum? Begründen Sie! 1 P

d) Zeichnen Sie eine orthogonale Funktion zu  $s_1(t)$ ! 1 P

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010	Blatt: 23
--	--	-----------