

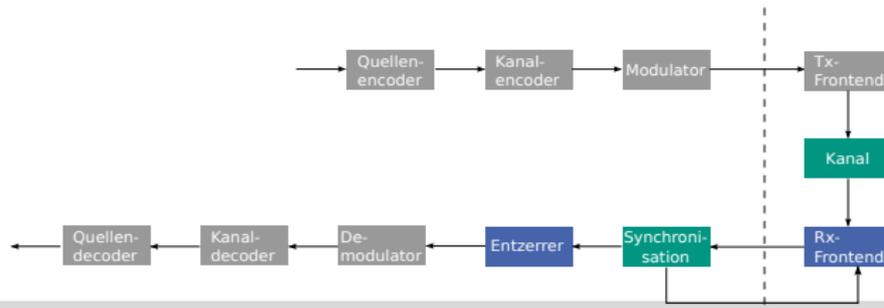


# Übungen zu Nachrichtentechnik 1

Übung 5: Realisierungsgrenzen, Synchronisation, Entzerrung

Marcus Müller | 20. Juni 2018

INSTITUT FÜR NACHRICHTENTECHNIK (CEL)



Mit dem (analogen) Signal  $s(t)$  werden bei rechteckiger Pulsformung Binärdaten  $d_n \in \{-1; 1\}$  übertragen, indem  $s(t)$  mit  $m_s(t) = \cos(2\pi f_c t)$  auf die Trägerfrequenz  $f_c$  gemischt wird.

- a) Welches Problem entsteht, wenn das Signal im Empfänger bei als ideal vorausgesetzter Synchronisation bezüglich des Symboltakts mit  $m_E(t) = 2 \cos(2\pi f_c t + \varphi_0)$  heruntergemischt und nach anschließender Tiefpassfilterung demoduliert wird?  
Die Trägerphase  $\varphi_0$  sei unbekannt. Diskutieren Sie vor dem allgemeinen Fall zunächst die Fälle  $\varphi_0 = \pi$  und  $\varphi_0 = \frac{\pi}{2}$ .

## Aufgabe 38 [Jon11]

Eine Möglichkeit, trotz unbekannter Trägerphase demodulieren zu können, besteht in der Anwendung eines differenziellen Modulationsverfahrens. So wird z.B. bei differenzieller BPSK anstatt  $d_n$  das Symbol  $\tilde{d}_n = d_n \cdot \tilde{d}_{n-1}$  gesendet und im Empfänger vor der Entscheidung über das gesendete Bit das Empfangssymbol  $\tilde{r}_n$  gemäß  $r_n = \tilde{r}_n \cdot \tilde{r}_{n-1}$  verarbeitet.

b) Führen Sie anhand der Symbolfolge

$$\{d_n\}_{n=0}^8 = \{1, 1, 1, 1, -1, -1, 1, 1, 1\}$$

die differenzielle Modulation und Demodulation durch, wenn  $\tilde{d}_{-1} = 1$  gilt.

# Lösung Aufgabe 38 b)

## ■ Differenzielle Modulation

$$\tilde{d}_n = d_n \cdot \tilde{d}_{n-1}$$

$n$	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$d_n$	-	1	1	1	1	-1	-1	1	1	1
$\tilde{d}_n$	1	1	1	1	1	-1	1	1	1	1

# Lösung Aufgabe 38 b)

- Differenzielle Demodulation,  $\varphi_0 = 0$   
(Phase synchronisiert)

$$r_n = \tilde{r}_n \cdot \tilde{r}_{n-1}$$

$n$	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$\tilde{r}_n$	1	1	1	1	1	-1	1	1	1	1
$r_n$	-	1	1	1	1	-1	-1	1	1	1

⇒ wie erwartet wurde alles korrekt empfangen!

# Lösung Aufgabe 38 b)

- Differenzielle Demodulation,  $\varphi_0 = \pi$   
(Phase nicht synchron, hier: Bitinversion)

$$r_n = \tilde{r}_n \cdot \tilde{r}_{n-1}$$

$n$	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$\tilde{r}_n$	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1
$r_n$	-	1	1	1	1	-1	-1	1	1	1

⇒ trotz Phasenoffset wurde alles korrekt empfangen!

# Lösung Aufgabe 38 b)

- Differenzielle Demodulation mit Symbolfehler,  $\varphi_0 = \pi$

$$r_n = \tilde{r}_n \cdot \tilde{r}_{n-1}$$

$n$	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$\tilde{r}_n$	1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1
$r_n$	-	1	1	1	-1	1	-1	1	1	1

⇒ 1 Symbolfehler differenziell führt zu zwei Symbolfehlern nach der differenziellen Demodulation!

# BER Kurven (D-)BPSK, (D-)QPSK

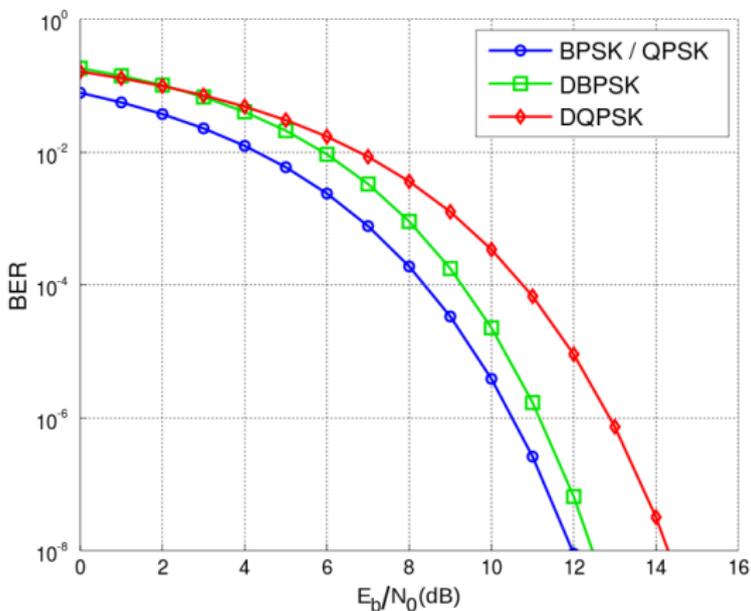
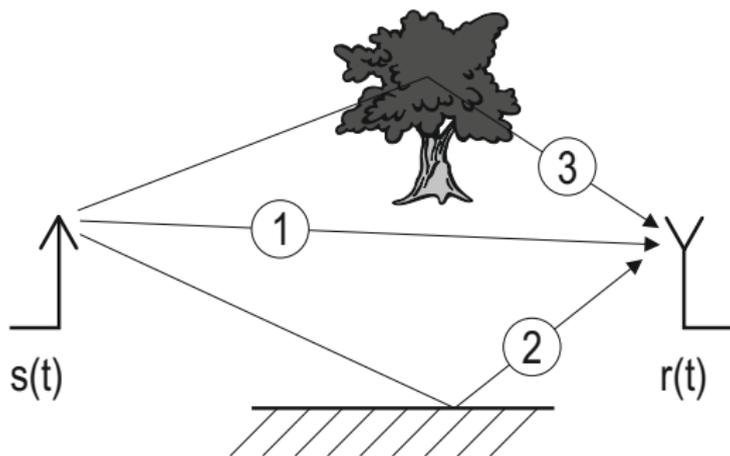


Abbildung: Bitfehlerraten (D-)BPSK, (D-)QPSK

## Aufgabe 39 [F2016]

Gegeben ist der folgende Mobilfunkkanal mit drei verschiedenen Ausbreitungspfaden:



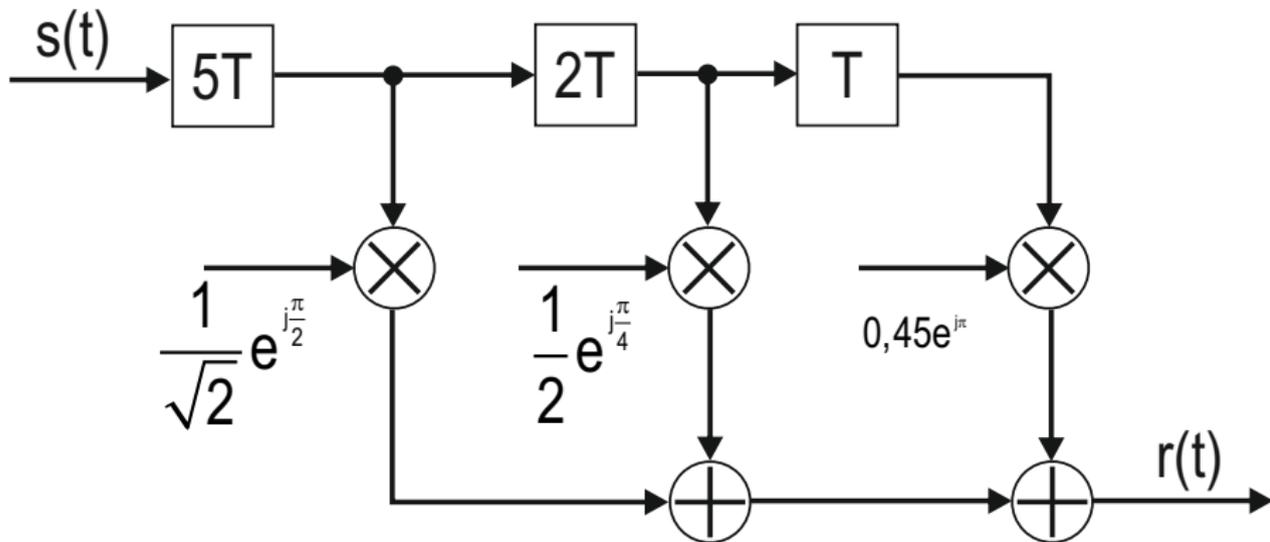
Die Verzögerungen sowie Phasendrehungen und Dämpfungen der Pfade sind der folgenden Tabelle zu entnehmen, wobei  $T$  die Symboldauer ist.

## Aufgabe 39 [F2016]

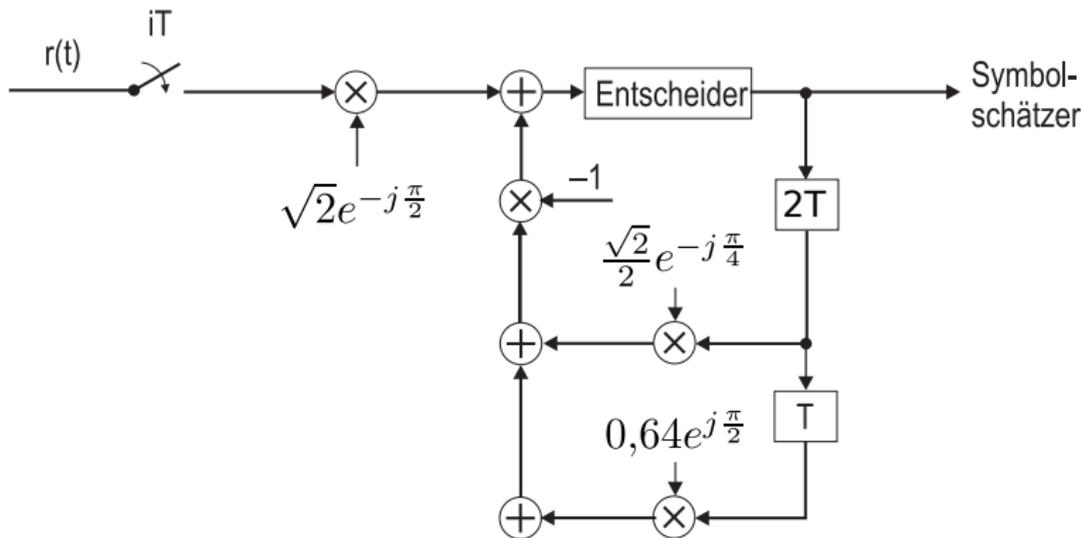
Pfad	Verzögerung	Dämpfung der Signalleistung	Phasendrehung
1	$5T$	3 dB	$90^\circ$
2	$7T$	6 dB	$45^\circ$
3	$8T$	7 dB	$180^\circ$

- Zeichnen Sie das entsprechende FIR-Filter, mit dem der Kanal modelliert werden kann. Beschriften Sie Ihre Zeichnung!
- Mit welcher Art von Störung ist im gegebenen Kanal zu rechnen? Begründung!
- Skizzieren Sie das Blockschaltbild des Kanalentzerrers mit Entscheidungs-rückführung (Decision-Feedback-Equalizer), mit dem der gegebene Kanal entzerrt werden kann und beschriften Sie dieses eindeutig!
- Beschreiben Sie stichwortartig wie die Kanalschätzung für einen nicht-stationären Kanal prinzipiell funktioniert (3 Stichpunkte).

# Lösung: Aufgabe 39 a)



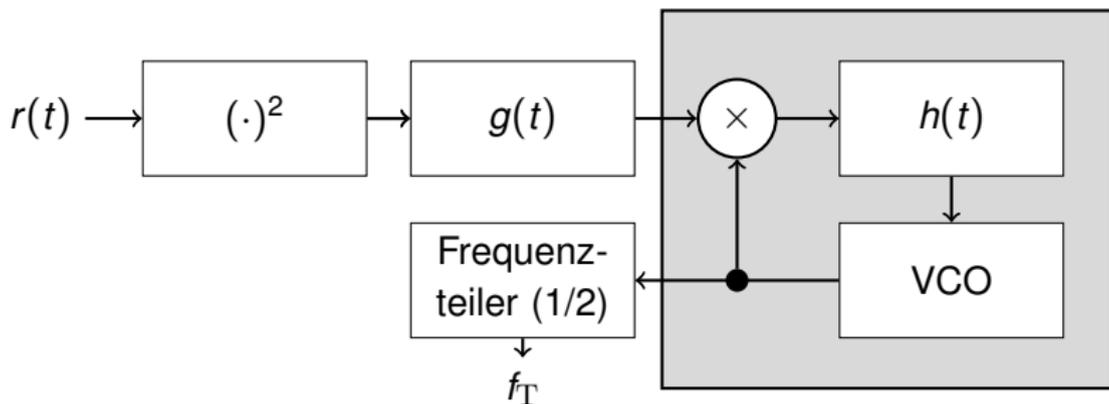
# Lösung: Aufgabe 39 c)



Anmerkung: Der gemeinsame Faktor  $1/\hat{k}_0$  kann auch hinter die Summe unmittelbar vor den Entscheider verschoben werden. Dadurch wird das Blockschaltbild noch kompakter. Übung!

## Aufgabe 40

Gegeben ist die in der folgenden Abbildung dargestellte Schaltung zur Trägerrückgewinnung.



Das Eingangssignal  $r(t)$  sei ein ungestörtes BPSK moduliertes Datensignal mit rechteckiger Pulsformung und der Trägerfrequenz  $f_T$ :

$$r(t) = \cos(2\pi f_T t + X), \text{ mit } X \in \{0, \pi\}$$

- a) Berechnen Sie das Signal  $x(t) = r(t)^2$  und skizzieren Sie dessen Fouriertransformierte.
- b) Welche Filtercharakteristik hat  $g(t)$ . Geben Sie grob die Grenzfrequenzen des Durchlass- und Sperrbereichs an.
- c) Wie nennt man den grau hinterlegten Teil der Schaltung? Welche Aufgabe hat das Filter  $h(t)$ ?
- d) Wie muss die Schaltung geändert werden, damit sie zur Trägerrückgewinnung von beliebigen M-PSK Signalen genutzt werden kann? Begründung!