

**Aufgabe 1:** Freiraumausbreitung.

2 + 2 + 1 = 5 Punkte

Folgendes 2.4 GHz Funkmodul soll zur LAN Datenübertragung zwischen 2 Häusern mit Sichtverbindung genutzt werden:

Antennen mit Gewinn 7 dB beidseitig

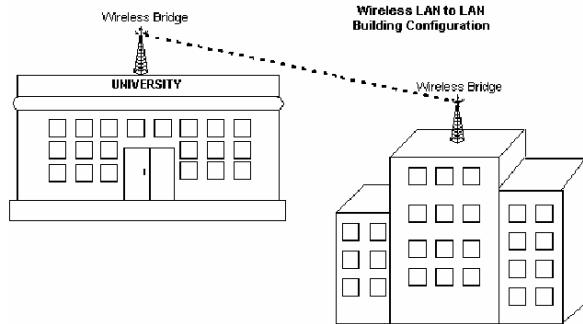
Sendeleistung P = 100 mW

Empfänger: Bandbreite 500 kHz, minimales S/N 12 dB, Rauschzahl 16 dB

a) Berechnen sie die Wellenlänge, die äquivalente Antennenfläche, die Sendeleistung in dBm und die EIRP in dBm

b) Berechnen sie die Empfindlichkeit des Empfängers und die maximal verfügbare Freifelddämpfung der Strecke  $P_{Ls}$  für die zugelassene EIRP von 20 dBm

c) Eine Messung ergibt eine Pfaddämpfung  $PL = 100$  dB. Berechnen sie die erreichbare Distanz unter Annahme Freifeld-Dämpfung



Aufgabe 1

$$P_t = \underline{20 \text{ dBm}}$$

$$\text{EIRP} = \underline{27 \text{ dBm}}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \underline{12,5 \text{ cm}}$$

$$A_e = \frac{\lambda^2 G}{4\pi} = \underline{62 \text{ cm}^2} \quad G_{tia} = 5$$

b)

$$S_r = -174 \text{ dBm} + 12 + 16 + 10 \log 500k = \underline{-89 \text{ dBm}} \quad 57 \text{ dB}$$

$$\begin{array}{c} \text{EIRP } 20 \text{ dBm} \\ \text{---} \\ S_{rx} = 89 \text{ dBm} \end{array} \quad G_r = 7 \text{ dB}$$

$$P_{fs} = 89 + 20 + 7 = \underline{116 \text{ dB}}$$

c)

$$PL = \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = 10^{10} \quad d = \frac{10^5 \cdot \lambda}{4\pi} = \underline{995 \text{ m}}$$

$$\text{oder } \frac{G_r G_t}{4\pi} \times 5 \times 5 = \underline{5 \text{ km}}$$

1. Faule Lösung

$$a) \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{2,4 \cdot 10^9} = \underline{0,125 \text{ m}}$$

$$G' = 7 \text{ dB} \hat{=} G = 10^{\frac{7}{10}} \approx 5$$

$$A_e = \frac{\lambda^2 \cdot G}{4\pi} = \frac{0,125^2 \cdot 5}{4\pi} = 6,21 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \hat{=} \underline{62,1 \text{ cm}^2}$$

$$P = 100 \text{ mW} \hat{=} P' = 20 \text{ dBm}$$

$$\text{EIRP}' = P' + G' = 20 \text{ dBm} + 7 \text{ dB} = \underline{27 \text{ dBm}}$$

$$b) S_r' = -174 \text{ dBm} + \text{SNR}' + N' + B'$$

$$= -174 \text{ dBm} + 12 + 16 + 10 \log (500k)$$

$$= \underline{-89 \text{ dBm}}$$

$$P_{Ls}' = \text{EIRP}' + G_r' - S_r' = \underline{116 \text{ dBm}}$$

$$c) P_L = 100 \text{ dB}$$

$$P_L = 10^{10} = \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$$

$$10^{10} = \frac{4^2 \pi^2 d^2}{\lambda^2}$$

$$\sqrt{\frac{10^{10} \pi^2}{16\pi^2}} = \underline{994,72 \text{ m}}$$

## Aufgabe 2: Modellflug

2 + 2 + 1 = 5 Punkte

An einem Modellflug Meeting möchten sie ihre neue Fernsteuerung im 2.4 GHz Band vorstellen. Ihre 47 MHz-Band Kollegen sind skeptisch ob sie eine genügende Reichweite hinbringen.



$G_s$   $G_r$

Antennen: Gewinn TX 6 dB, RX Gewinn 0 dB

Sendeleistung:  $P_s = 10 \text{ mW}$

Empfänger: Bandbreite 20 kHz, minimales S/N 17 dB, Rauschzahl 10 dB

- Berechnen sie die Wellenlänge, die Sendeleistung in dBm und dBW, sowie die EIRP in mW
- Berechnen sie die Empfindlichkeit des Empfängers und die **maximal verfügbare** Freifelddämpfung der Strecke  $PL_{path}$  für die zugelassene EIRP von 10 dBm
- Eine Messung ergibt eine durchschnittliche Pfadämpfung  $P_{path} = 80 \text{ dB}$ . Berechnen sie die erreichbare Distanz unter Annahme Freifeld-Ausbreitung.

### Aufgabe 2

a)  $\lambda = 12,5 \text{ cm}$   
 $P_t = 10 \log 10 \text{ mW} = 10 \text{ dBm}$        $P_t = 10 \text{ dBm} - 30 \text{ dB} = -20 \text{ dBW}$   
 $EIRP = 16 \text{ dBm}$        $EIRP = 40 \text{ mW}$

b) Receiver:  $-174 \text{ dBm/Hz} + 10 \log 20 \text{ kHz} + SNR + N$   
~~Sensitivity~~  $= -104 \text{ dBm}$

$114 \text{ dB} = PL_{fs} \left( = -10 \log \frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right)$

c)  $80 \text{ dB} = PL_{fs} = -10 \log \left( \frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right)$   
 $d = 99 \text{ m}$

a)  $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{2,4 \cdot 10^9} = 0,125 \text{ m} = 12,5 \text{ cm}$

$P_s = 10 \text{ mW}$

$P_s' = 10 \log (10 \text{ mW}) = 10 \text{ dBm}$

$P_s' = 10 \log (10 \cdot 10^{-3} \text{ W}) = -20 \text{ dBW}$

$EIRP = P_s' + G_s = 16 \text{ dBm}$

$\hat{=} \frac{16}{10} = 39,8 \text{ mW} \approx 40 \text{ mW}$

b)  $B' = 10 \log (20 \cdot 10^3) = 43 \text{ dB}$

$S_r = -174 \text{ dBm} + B' + SNR' + N' = -104 \text{ dBm}$

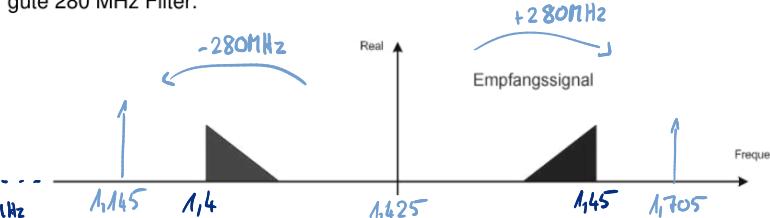
$P_p' = EIRP' + G_r' - S_r' = 114 \text{ dBm}$

c)  $P_p' = 80 \text{ dB} = -10 \log \left( \frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right)$

### Aufgabe 3: Empfänger Design.

2 + 1 + 2 = 5 Punkte

Ein Empfänger für ein Satellitentelefon soll entworfen werden. Der Satellit sendet ein Breitbandsignal im Bereich 1.40 – 1.45 GHz. Als ZF-Filter haben sie von einem Hersteller gute 280 MHz Filter.



- a) Welches sind mögliche LO-Frequenzen? Welche Frequenzen soll das RF Filter bei der Antenne für die Wahl einer der gefundenen LO-Lösungen möglichst gut unterdrücken?
- b) Das ZF-Signal wird direkt ins Basisband konvertiert so, dass die Bandmitte auf DC zu liegen kommt. Wo liegen die Spiegelfrequenzen des Anteils unterhalb der Bandmitte in diesem Fall? Mit welcher Vorrichtung wird der Empfang trotzdem möglich?

$$\text{a)} \quad \text{Lo}_1 = 1,145 \text{ GHz}$$

$$\text{Lo}_2 = 1,705 \text{ GHz}$$

Spiegelfreq:

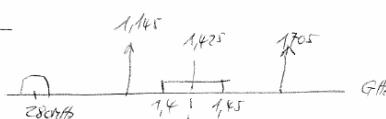
$$\text{Lo}_1 - 2 \cdot 280 \text{ MHz} = 865 \text{ MHz}$$

$$\text{Lo}_2 + 2 \cdot 280 \text{ MHz} = 1985 \text{ MHz}$$

- b) • Oberhalb der Bandmitte ??  
• I/Q-Empfänger

Aufgabe 3

a)



$$\text{Lo1}_{\text{Low}} = 1,145 \text{ GHz}$$

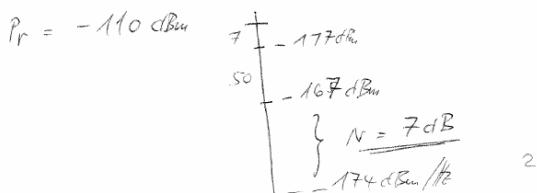
$$\text{Lo2}_{\text{High}} = 1,705 \text{ GHz}$$

Spiegelf.: Wahl Low:  $1145 - 280 \text{ MHz} = 865 \text{ MHz}$   
Hgh:  $1705 + 280 \text{ MHz} = 1985 \text{ MHz}$

b)

(DC-Felder  
I/Q Fehler in Amplitude und Phase)  $\xrightarrow{\text{I}_{\text{max}}}$   
obenhalb der Bandmitte. Kanalsignal selbst startet  $\frac{1}{2}$   
I/Q-Empfänger  $\frac{1}{2}$

c)



### Aufgabe 1: Bit Error Rate für FSK Link

2 + 2 + 1 = 5 Punkte

Ein Funk basierter Alarmmelder verwendet FSK mit einer Datenrate von 40 kBit/s und muss eine Fehlerrate von  $10^{-3}$  einhalten um die Zulassung mit der Angabe der Sensitivität  $S_{\min} = -102 \text{ dBm}$  zu erhalten.

Antennen mit Gewinn 3 dB beidseitig  
Sendeleistung  $P = 10 \text{ mW}$   
Frequenz  $f_0 = 434 \text{ MHz}$

- a) Welches  $E_b/N_0$  benötigt man mindestens für einen FSK Empfänger gemäß Fig. aufgebaut mit Tonfiltern /Enveloppedetektion? (BER Graphik verwenden)  
Welche minimale Bandbreite dürfen die Filter aufweisen, welches S/N stellt sich ein?  
Welche Rauschzahl darf der Empfänger maximal haben?

kohärent... RX bez auf  
Trägersignal in Freq & Phase

$$\frac{E_b}{N_0} = 11 \text{ dB}$$

$$B_p = \frac{1}{T} = 40 \text{ kHz} \quad \dots \text{Symbolrate } \frac{40000}{s}$$

$$\hookrightarrow T \cdot B_p = 1$$

$$N = F \frac{1}{T} B \stackrel{!}{=} N' = F' + (kT)' + B' \\ SNR = \frac{S}{N} \stackrel{!}{=} S' - N' = 11 \text{ dB} \\ N' = S' - 11 \text{ dB}$$

$$F' = S_{\min} - 11 \text{ dB} + (kT)' - B' \\ = -102 \text{ dBm} - 11 \text{ dB} + 174 \text{ dBm} - 46 \text{ dB}$$

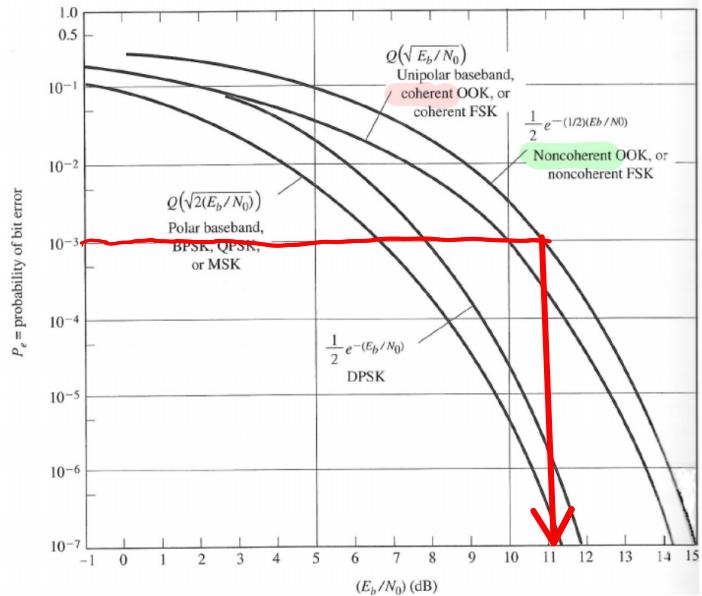
a) nicht kohärent: keine  $10^3 \Rightarrow E_b/N_0 = 11 \text{ dB}$   
 $B_p = R = \frac{1}{T} = 40 \text{ kHz}$  (1)

$$B_p = 40 \text{ kHz} \Rightarrow N = B_p \cdot N_0 \\ S = E_b/T \\ \frac{S}{N} = \frac{E_b}{N_0 T \cdot B_p} = 11 \text{ dB} - 10 \log(T B_p) = 11 \text{ dB}$$

$$-174 \text{ dBm}/4 + T_{dB} + \frac{S}{N} + 10 \log(B_p) = -102 \text{ dBm}$$

$$T_{dB} = 15 \text{ dB}$$

### BER-Graph



**Aufgabe 2: Mobilfunk in der City**

1 + 2 + 2 = 5 Punkte

Eine GSM Basisstation befindet sich auf einem Gebäude der Höhe  $h_1 = 23$  m.  
Die Leistung beträgt 2000 W EIRP. Frequenz 900 MHz.

- a) In 200 m Abstand befindet sich ein Kindergarten. Welche Feldstärke wirkt dort unter Annahme Freifeldausbreitung?

Aufgabe 2

$$\text{a) } R_{fs} = \sqrt{\mu_0 / \epsilon_0} = 377 \quad \begin{matrix} \text{TR: [SWH][7][32]-E} \\ \text{[SWH][7][33]} \end{matrix}$$
$$E^2 = R_{fs} \cdot \frac{\text{EIRP}}{4\pi d^2} = 377 \cdot 2000 \text{W} \cdot \frac{1}{4\pi \cdot 200^2} = 1,5 \text{V}^2/\text{m}^2 \rightarrow E = \underline{\underline{1,23 \text{ V/m}}}$$

a)

$$E^2 = R_{fs} \cdot \frac{\text{EIRP}}{4\pi d^2} = 377 \cdot 2000 \cdot \frac{1}{4\pi \cdot 200^2} = 1,5 \text{V}^2/\text{m}^2 \quad \underline{\underline{E = 1,23 \text{ V/m}}}$$

### Aufgabe 3: PSK Satellitenverbindung

3 + 2 = 5 Punkte

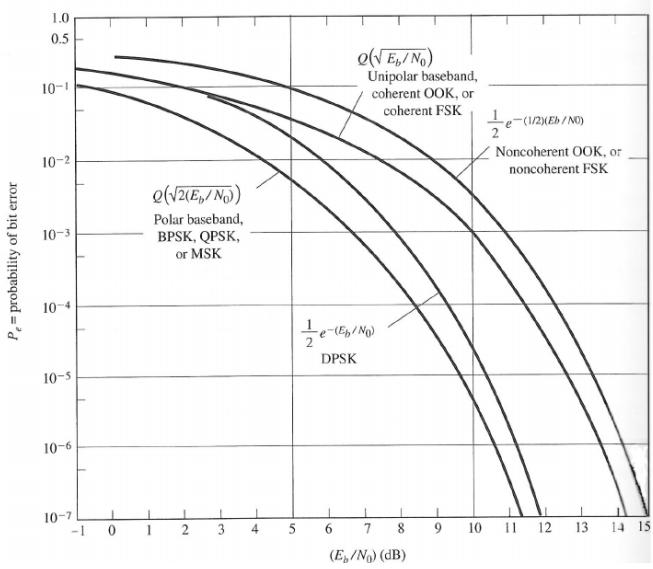
Eine bestehende 10 Mbit/s Verbindung zu einem Satelliten wird von BPSK auf 32-PSK umgerüstet um höhere Datenraten zu übertragen. Die Filter können nicht ausgewechselt werden und damit bleibt die Bandbreite konstant.

- a) Wieviel mal mehr Leistung braucht es für 32 PSK um dieselbe Bitfehlerrate einhalten zu können? Wieviel mehr Leistung pro Bit ergibt sich?

Welche Datenrate und welche Symbolrate ist bei der neuen Verbindung verfügbar?  
Wieviel mehr Bandbreite bräuchte man für dieselbe Datenrate mit BPSK?  
Wieviel mehr Leistung für dieselbe BER wäre nötig?

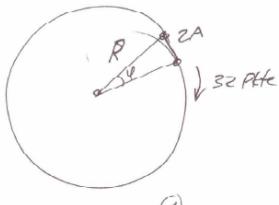
- b) In einer zweiten Modifikation möchten man die Fehlerrate von  $10^{-2}$  auf  $10^{-5}$  verbessern.

Welche Sendeleistung in Watt und dBm wird benötigt, wenn vorher für die 32-PSK 500 W ausreichend waren? (Arbeiten sie mit der BPSK Kurve)



Aufgabe 3

a)



$$BPSK: \frac{A^2}{2} = S_{BPSK}$$

$$\psi = 360 : 32 = 11.25^\circ$$

$$\frac{A}{R} = \sin(11.25^\circ) = 0.1098$$

$$R = 10.2 A$$

$$S_{32} = R^2/2 = (10.2)^2 S_{BPSK}$$

100-fache Leistung

5 Bit  $\rightarrow$  20-fache Leistung pro Bit

(1)

$$\text{Datenrate} = 5 \cdot 10 \text{ Mbit/s} = \underline{\underline{50 \text{ Mbit/s}}}$$

$$\text{Symbolrate} = (5 \text{ Bit Power})^{-1} = \underline{\underline{10 \text{ Mbit/s}}}$$

(2) BPSK ( $50 \text{ Mbit/s}$ )

$$B_2 = R_2 = \frac{1}{T_2} = \underline{\underline{50 \text{ MHz}}} \quad c_{\text{const}}$$

$$S_2 = E_b/T_2 = \underline{\underline{E_b/N_0 = \text{const}}} \quad S_2 = \frac{E_b}{T_2}$$

$$S_2 = 5 \cdot S_{BPSK}$$

BPSK Kurve  
(koherent)

$$(3) \frac{E_b}{N_0} = 4 \text{ dB} \rightarrow 9.5 \text{ dB} \quad \Delta = 5.5 \text{ dB}$$

(4) also auch  $S = 500 \text{ W}$  um 5.5 dB ↑

$$(5) S_{\text{new}} = 3.55 \cdot 500 = \underline{\underline{1774 \text{ W}}}$$

$$(6) \underline{\underline{62.5 \text{ dBm}}}$$

**Aufgabe 5: Direct Sequence Spread Spectrum.**

**1 + 2 + 2 = 5 Punkte**

In einer industriellen Umgebung mit schmalbandigen Störung durch einen Mikrowellenofen bei 2.4 – 2.5 GHz sollen sie eine robuste Funkverbindung erstellen. Ihre Chefin will dazu DSSS einsetzen. Das ETSI erlaubt maximal 100 mW Sendeleistung. Die nutzbare Bandbreite beträgt 40 MHz. Die Modulation ist BPSK, die Datenrate beträgt 100 kbit/s. Die Antennengewinne betragen  $G_t = G_r = 6 \text{ dB}$ .

- a) Wie gross ist die Empfangsleistung in dBm in 40 m Abstand unter Annahme Freifeldausbreitung

Aufgabe 5

$$a) P_r = \frac{P_s G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} = \frac{0,1 \cdot (4) \cdot 9 \cdot 10^{-2}}{(4\pi)^2 \cdot 1600} = 9,4 \cdot 10^{-8} \text{ W}$$

$$\textcircled{1} \rightarrow -70,3 \text{ dBW} \rightarrow \underline{-40,3 \text{ dBm}}$$

oder  $-46 \text{ dBm}$

$$a) f = \frac{2,5 - 2,4}{2} = 2,45 \approx \gamma = \frac{c}{f} = 0,122 \text{ m}$$

$$P_r = \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \cdot P_s \cdot G_s \cdot G_r$$

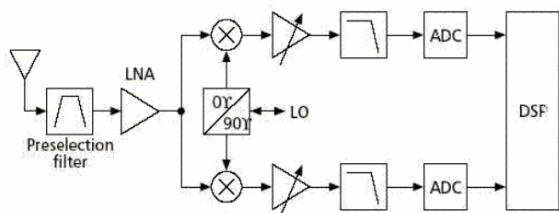
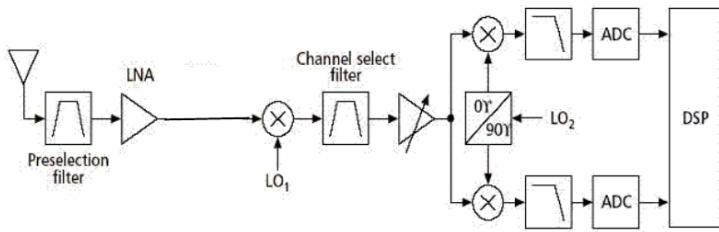
$$= \frac{0,122^2}{16\pi^2 \cdot 40^2} \cdot 100 \cdot 10^{-3} \cdot (10^{\frac{6}{10}})^2$$

$$= 9,4 \cdot 10^{-8} \text{ W} \approx -70,3 \text{ dB} \approx -40,3 \text{ dBm}$$

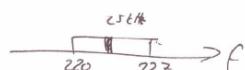
Sie haben die abgebildete Architektur als Chip zur Verfügung, müssen aber die Filter extern selber spezifizieren und zufügen.

- Folgende Design Angaben:
- Empfangsbereich 220 – 227 MHz (Mittenfrequenzen)
  - Kanalbandbreite 25 kHz
  - Signalbandbreite 20 kHz
  - Störsignale bei 200 MHz und bei 250 MHz

- a) Bestimmen sie die möglichen LO Frequenzbereiche und das Frequenzraster des Synthesizers für die Wahl der IF = 10.7 MHz.  
 Bestimmen sie die entsprechenden RF Filter Spezifikationen bezüglich Durchlass- und Sperrbereich-Frequenzen.  
 Bestimmen sie analog die IF Filter Spezifikation für die Wahl IF = 10.7 MHz.
- b) Ziehen sie als Alternative eine billigere Direct Conversion Architektur in Betracht.  
 Bestimmen sie den LO-Bereich und die RF Filter Spezifikation.  
 Wie wird das Problem der Spiegelfrequenz gelöst ?  
 Welche Probleme mit dem LO-Signal treten auf und müssen beachtet werden ?



### Aufgabe 6

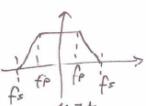


a) ①  $IF = 10.7 \text{ MHz}$       LO höher:  $230.7 - 237.7 \text{ MHz}$   
                                         LO tiefer:  $209.3 - 216.3 \text{ MHz}$

② Synthesizer raster:  $\Delta f = 25 \text{ kHz}$   
 RF-Filt.:  $f_{\text{pass}} = 220 - 227 \text{ MHz}$

③ LO höher:  $f_{\text{stop}} = k_1(f_{\text{spiegel}}) \geq 241.4 \text{ MHz}$  und  $\leq 200 \text{ MHz}$   
 LO tiefer:  $f_{\text{stop}} = k_2(f_{\text{spiegel}}) \leq 205.6 \text{ MHz}$  und  $\geq 250 \text{ MHz}$

④ IF-Filt.:  $f_p: 10.7 \text{ MHz} \pm 10 \text{ kHz}$   
                                          $f_s: 10.7 \text{ MHz} \pm 15 \text{ kHz}$



b) LO-Bereich:  $220 - 227 \text{ MHz}$

⑤ BF Filter:  $f_{\text{pass}} = 220 - 227 \text{ MHz}$   
                                          $f_{\text{stop}} \leq 200 \text{ MHz}$      $\geq 250 \text{ MHz}$

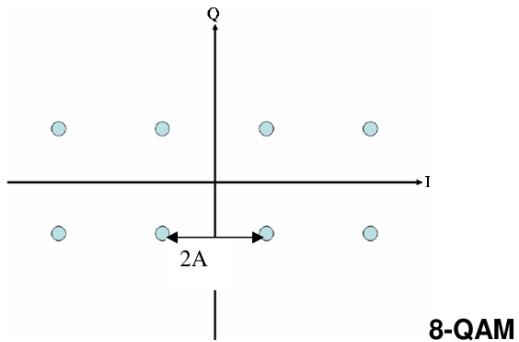
⑥ Spiegelfrequenz ist Empfangsfrequenz selber  $\rightarrow$  I/Q struktur

⑦ Probleme: DC-Fehler durch LO-Leakage.  
                                         LO-Leakage und Abstrahlung über Antenne

### Aufgabe 3: PSK Glasfaser Verbindung

4 + 2 = 6 Punkte

Eine 100 MB/s Verbindung zwischen 2 Filialen einer Bank soll von BPSK auf eine spezielle 8-QAM umgerüstet werden. Die Bandbreite wird nicht verändert, aber die Sendeleistung angepasst.



a) 8-QAM ... 8 Symbole

$\hookrightarrow 2^3=8 \dots 3\text{bit pro Symbol}$

$$3 \cdot 100 \text{ Mbit/s} = 300 \text{ Mbit/s}$$

a) Welche neue Datenrate wird erreicht?

Wieviel mal mehr/weniger mittlere Leistung in dB braucht diese Form von 8-QAM im Vergleich zu 8-PSK?

Wieviel mal mehr/weniger mittlere Leistung pro Bit ergibt sich im Vergleich zu BPSK?

b) In einer zweiten Modifikation möchten man die Fehlerrate der 8-QAM von  $10^{-3}$  auf  $10^{-6}$  verbessern. Welche Spitzen- und welche mittlere Sendeleistung wird benötigt, wenn vorher für die 8-QAM im Mittel 100 mW ausreichend waren? (Arbeiten sie mit der BPSK Kurve bei Aufgabe 3)

Wenn man die Rate für BPSK verdreifachen würde, bräuchte man dann auch mehr Leistung für dieselbe BER? Wenn ja, wie viel?

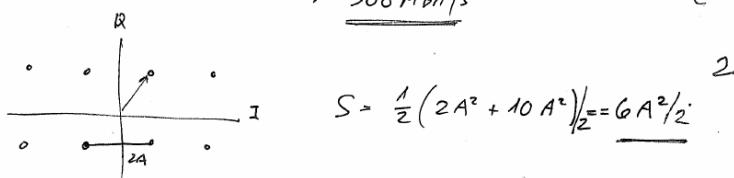
### Aufgabe 3

a) 3 Bit in 1 Symbol

Symbolrate 100 MB/s

$$\rightarrow \underline{\underline{300 \text{ MBit/s}}}$$

$\frac{1}{2}$



8-PSK: (skip!) 6,83 fache Rk Leistung

d.h. braucht  $\underline{\underline{0,56 \text{ dB}}}$  weniger Leistung (mittlere)

$$\text{BPSK} \quad \frac{6}{3} = 2 \quad \rightarrow \underline{\underline{3 \text{ dB}}} \text{ pro Bit} \quad \frac{1}{2}$$

$$\text{b) Verbesserung: } 10^{-3} \rightarrow 10^{-6} \quad 4 \text{ dB mehr } E_b/N_0 \quad \frac{1}{2}$$

$$4 \text{ dB mehr } S \quad \frac{1}{2}$$

$$\text{Mittlere Leistung: } 100 \text{ mW} \cdot 10^{\frac{4}{10}} = \underline{\underline{251 \text{ mW}}} \quad \frac{1}{2}$$

Spitzenleistung:

$$\frac{251 \text{ mW}}{6} \cdot 10 \rightarrow \underline{\underline{0,418 \text{ W}}} \quad \frac{1}{2}$$

3fache PSK Rk  $\rightarrow E_s = E_b$  nur noch  $\frac{1}{3}$ !  
also 3fache Sendeleistung (und 3fach Bandbreite)  $\frac{1}{2}$

## Aufgabe 1: BER – Link Budget

Für eine Messaufgabe mit Sensoren werden UHF Funkmodule mit OOK eingesetzt. Gemäss Pflichtenheft muss eine Bitfehlerrate von  $10^{-3}$  eingehalten werden um den Betrieb aufrecht zu erhalten. Der verwendete Empfänger hat eine Rauschzahl von 17 dB. Die Bitrate R beträgt 19200 Bit/s.

- Welches Eb/N0 benötigt man für OOK (Modul arbeitet mit Enveloppedetektor) ?
- Welches S/N bedeutet dies auf dem Kanal mit der minimalen RF Bandbreite (doppelte Basisband Bandbreite) ?
- Wie gross muss demzufolge die minimale Signalleistung am Empfängereingang sein (also die Sensitivität) ?
- Welche BER kann man bei gleicher Signalleistung erwarten, wenn die Datenrate halbiert wird ?
- Welche BER kann man bei doppelter Signalamplitude erwarten, wenn die Datenrate auf 19600 Bit/s belässt ?
- Eine realistische Bandbreite in einer praktischen Implementation sei  $B_p = 2/T$ . Wie gross wird die Fehlerrate damit mit den ursprünglichen Vorgaben ?

### Aufgabe 1 BER – Link Budget:

Enveloppedetektor heisst, dass es sich mit Sicherheit um einen nichtkohärenten Empfänger handelt.

Grafik Skript Kap. 7 , Seite 8:  $10^{-3} \rightarrow 11 \text{ dB Eb/N0}$

Best mögliches S/N am Eingang ist  $(E_b/T) / (N_0 B_p)$

Bei Einsatz von Matched Filtern beträgt die minimale Bandbreite im RF-Band zweimal die äquivalente Rauschbandbreite des Matched Filters:  $B_p = 1/T$

$S/N = Eb/N0 = 11 \text{ dB}$

$T = 1/R = 1/19600$

$$N = -174 \text{ dBm} + 17 + 10 \log(19600) = -114 \text{ dBm}$$

$$S = N + S/N = -103 \text{ dBm}$$

Halbieren der Bitrate = Verdoppeln der Bitdauer T  $\rightarrow$  Verdoppeln Bit Energie  $E_b$  (und damit auch des S/N).

OOK noncoherent 14 dB Grafik Skript Kap. 7 , Seite 8:  $P_e = 2 \cdot 10^{-6}$

Verdoppeln der Amplitude ergibt 4- fache Leistung und 4- fache Energie.

Damit wird  $E_b/N_0 = 17 \text{ dB}$  das sind linear: Faktor 50

$P_e$  nicht mehr in Grafik, Formel aus Skript Kap. 7, Seite 7:

$$P_e = \frac{1}{2} e^{-[1/(2T B_p)]E_b/N_0} = \frac{1}{2} e^{-0.5E_b/N_0} = 0.5 \cdot e^{-25} = 7 \cdot 10^{-12}$$

Mit  $E_b/N_0 = 11 \text{ dB}$  und  $B_p = 2/T$  wird:

$$P_e = \frac{1}{2} e^{-[1/(2T B_p)]E_b/N_0} = \frac{1}{2} e^{-0.25E_b/N_0} = 0.5 \cdot e^{-3.15} = 2.1 \cdot 10^{-2}$$

Oder durch Überlegung:  $B_p$  Verdoppelung ist dasselbe wie  $E_b$  Halbierung  $\rightarrow$  Grafik

Zürcher Hochschule  
für Angewandte Wissenschaften



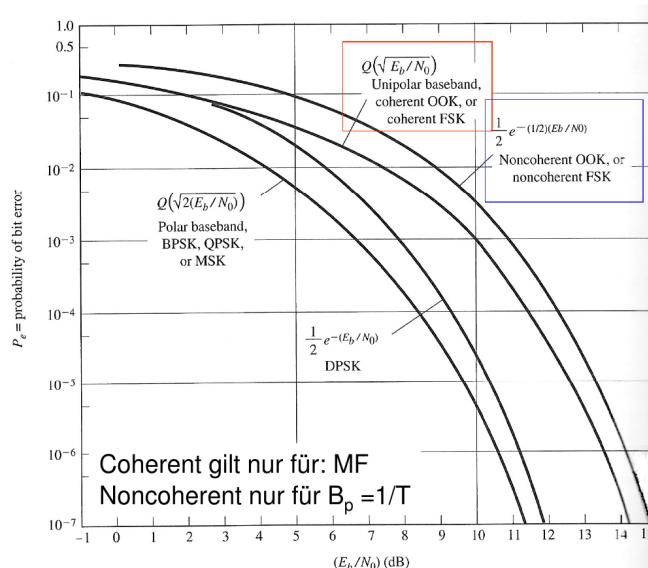
## Demodulatoren FSK

Note:

Kurven gelten für orthogonal FSK

Non-orthogonal FSK ist etwas schlechter, z.B. GFSK 1...2 dB

Think twice !



## Aufgabe 2: Matched Filter.

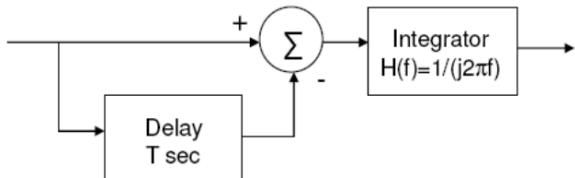
Das abgebildete Matched Filter findet man in einem Blockbild einer Übertragungseinrichtung.

Bestimmen sie die Impulsantwort dieses Optimalfilters.

Bestimmen sie die für dieses System zu wählende Pulsform für einen Übertragungskanal mit additivem weissem Rauschen.

Wie gross wird der maximale Ausgangswert des Matched Filters wenn am Eingang  $\pm 1$  V

Rechteckpulse anliegen und welche Form hat das Ausgangssignal ?



## Aufgabe 2 Matched Filter

Mit Diracstoss  $h(t)$  bestimmen:

$$y(t) = \begin{cases} 1/2 & t = 0 \\ 1 & 0 < t < T \\ 1/2 & t = T \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases}$$

oder weniger mathematisch:  $y(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t \leq T \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases}$

Die Schaltung ersetzt also die Integrate & Dump Schaltung, genauer den Dump Teil.

Die Pulsform sieht genau gleich aus, da das gegebene Filter das Matched Filter zur gesuchten Pulsform ist und  $y(t)$  Amplitudensymmetrie aufweist.

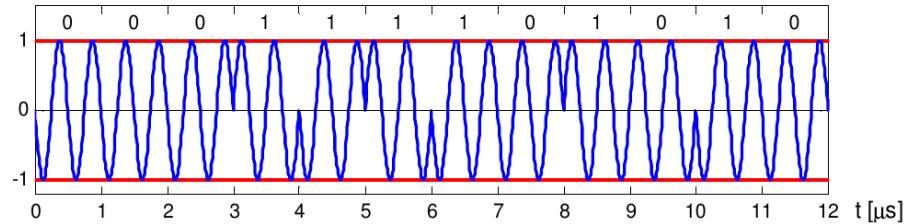
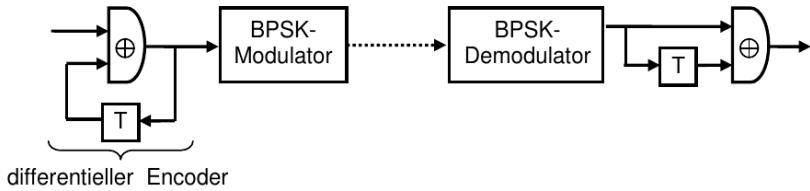
---

Filterstossantwort mit Rechtecksignal falten: Das Ausgangssignal ist ein Sägezahn, Dreieck, Rampe mit maximaler Amplitude von  $\pm 2$  V 8Bei 01010..Folge)

### Aufgabe 3: BPSK

Die Datensequenz „0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1 0“ wird bei einer festen Bitrate von 1 MB/s übertragen.

Charakterisieren Sie das verwendete PSK Verfahren und stellen Sie die Gesetzmässigkeit zwischen Phasensprüngen und Datenstrom fest.



### Aufgabe 3 BPSK

D(B)PSK: Differential (Binary) Phase Shift Keying mit  $M = 2$  (1 Bit/Symbol)

Zum Unterschied BPSK und DPSK:

BPSK:  
1 => Phase gegenüber Träger um  $\pi$  verschoben  
0 => Phase gegenüber Träger nicht verschoben  
Die Phase springt zwischen zwei „1“ NICHT.

DPSK:  
1 => Phase springt um  $\pi$  gegenüber der vorhergehenden Phase  
0 => Phase springt nicht  
Die Phase springt also zwischen zwei „1“.

Am Ausgang des differentiellen Encoders resultiert die Datensequenz 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1 0 0, die BPSK-moduliert das dargestellte Signal ergibt.

#### Aufgabe 4: Matched Filter im Zeit- Frequenzbereich

Für das Matched Filter zum Rechteckpuls der Dauer T ist der Amplitudengang gesucht

Für das Filter mit Rechteck Amplitudengang der Bandbreite B = 1/2T wird die zu verwendende Pulsform gesucht, so dass das Filter ein Matched Filter ist.

#### Aufgabe 4 Matched Filter im Zeit- Frequenzbereich

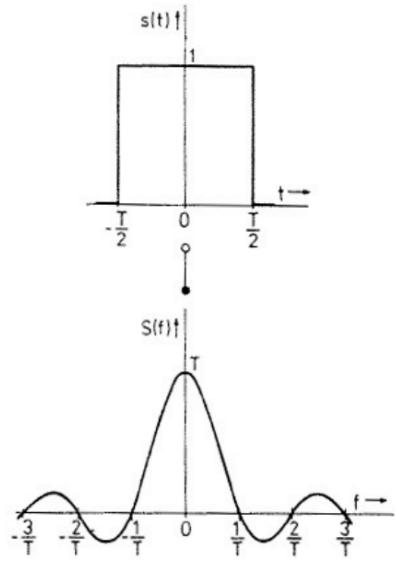


Abb. 2.8. Rechteckimpuls  $s(t) = \text{rect}(t/T)$  und Fourier-Transformierte

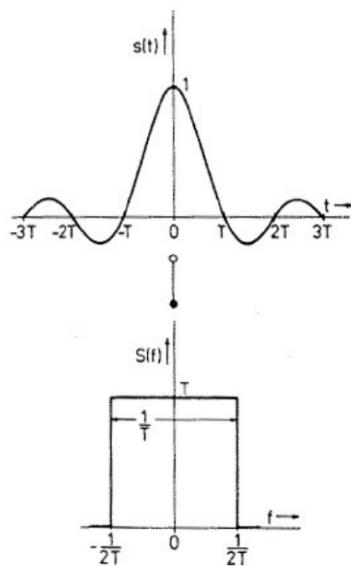


Abb. 2.9. Funktion  $s(t) = \text{sinc}(\pi t/T)$  und ihre Fourier-Transformierte

## Aufgabe 5: FSK mit variabler Datenrate

Eine Datenverbindung mit 100 kBit/s und nichtkohärenter Demodulation soll eine BER von  $10^{-3}$  erreichen.

Welches  $E_b$  wird dazu benötigt wenn die Rauschzahl  $F = 10 \text{ dB}$  beträgt  
(Remember  $N_0 = -174 \text{ dBm/Hz} + F$ )?

Welcher Leistung in dBm entspricht das wenn  $B_p = 1/T_b$  gewählt wird?

Welches S/N erhalten sie?

Welche Leistung benötigt man für 1 Mbit/s und welches S/N für die gleiche Fehlerrate?

Was ergibt sich für eine BER, wenn man bei der neuen Bandbreite für den 1 Mbit/s Fall ohne Änderung der Bandbreite zurück auf 100 kBit/s schaltet und die Leistung beläßt?

## Aufgabe 5: FSK mit variabler Datenrate

$$T_b = 10 \mu\text{s}$$

$$B_p = 1/T_b = 100 \text{ kHz}$$

$$N_0 = -174 \text{ dBm} + F = -164 \text{ dBm/Hz}$$

BER Kurve für FSK nicht kohärent: BER  $10^{-3}$  entspricht dem Wert 11 dB für  $E_b/N_0$   
→  $E_b = -153 \text{ dBm/Hz}$

$$S = E_b / T_b = N_0 * E_b / N_0 * 1 / T_b \rightarrow S [\text{dBm}] = -174 \text{ dBm/Hz} + 10 + 11 \text{ dB} - 10 \log (T_b) = -103 \text{ dBm}$$

$$S/N = -103 \text{ dBm} - (-174 \text{ dBm/Hz} + F + 10 \log (B_p)) = 11 \text{ dB}$$

Es gilt: **Datenrate ↑↓ → Eb ↓↑ → BER ↑↓ → B ↑↓ → S/N ↓↑**

Also muss S erhöht werden wenn die Datenrate zunimmt und man die BER konstant halten will.

Alternative Überlegung: wenn Datenrate erhöht wird braucht man mehr Bandbreite, also ergibt sich mehr Rauschen das durch mehr Leistung kompensiert werden muss

1 Mbit/s und gleiche BER: →  $S = -103 \text{ dBm} + 10 \log (1 \text{ Mbit/s}/100 \text{ kBit/s}) = -93 \text{ dBm}$

Bandbreite nimmt Faktor 10 zu auf 1 MHz, damit auch N und das S/N bleibt gleich.  $E_b$  bleibt ebenfalls gleich, da S zugenommen und  $T_b$  abgenommen haben beide um Faktor 10

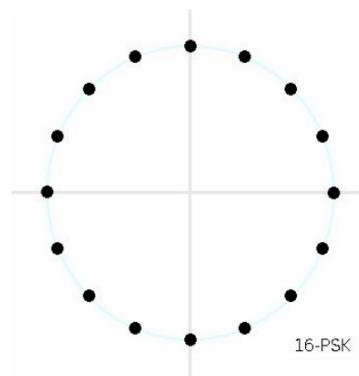
Rückschalten auf 100 kBit/s ohne Filteranpassung:  $B_p$ , N bleiben gleich, S bleibt gleich,  $T_b$ ,  $E_b$  nehmen um Faktor 10 zu.

Mit  $S = E_b T_b$  und  $N = N_0 B_p$  folgt

$$P_e = \frac{1}{2} e^{-[1/(2T_bB_p)]E_b/N_0} = \frac{1}{2} e^{-0.5S/N} \quad \text{Die Fehlerrate bleibt bei } 10^{-3}$$

## Aufgabe 1: 16-PSK

Berechnen sie für eine 16-PSK Übertragung die notwendige Signalleistung im Vergleich zu BPSK unter der Annahme einer vorgegebenen fixen Bandbreite.



Wieviel mehr Leistung muss der Sender abgeben können?

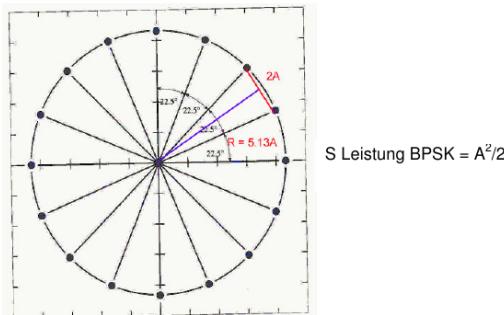
Könnte auch der Empfänger um dieselbe Grösse empfindlicher gebaut werden?

Wieviel mehr Leistung pro Bit benötigt 16-PSK im Vergleich zu BPSK und QPSK?

Wieviel mal mehr Datenbits/s können sie als Gegenleistung übertragen?

Wenn die Übertragung auf einem Breitbandkabel stattfindet, wieviel mehr Bandbreite würde BPSK brauchen? Und wieviel mal mehr bei QPSK?

### Aufgabe 1 16-PSK



$$\frac{A}{R} = \sin(11.25^\circ) \quad R = 5.13 \cdot A \quad S_{16} = R^2 / 2 = 26.3 \cdot A^2 / 2 = 26.3 \cdot S$$

$S_{16} = 26.3 S$  in dB:  $10 \log(26.3) = 14.2$  dB mehr Leistung als BPSK

Ja das ist möglich, jedoch in der Größenordnung schwierig:

$$S(\min) = -174 \text{ dBm} + 10 \log(F) + 10 \log(B) + S_{16}/N$$

Hierin kann einzig F reduziert werden, aber kaum um 14 dB

Pro Bit gerechnet: zu BPSK:  $S'_{16} = 26.3 \cdot \frac{S_{\text{BPSK}}}{4} = 6.58 \cdot S_{\text{BPSK}}$  8.2 dB

Zu QPSK:  $S'_{\text{QPSK}} = \frac{2 \cdot S_{\text{BPSK}}}{2}$

BPSK und QPSK sind pro Bit gerechnet gleich effizient.

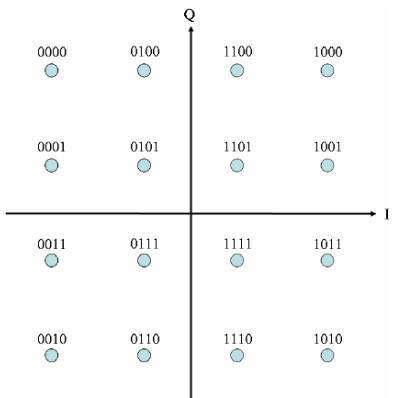
---

16-PSK  $S'_{16} = 26.3 \cdot \frac{2 \cdot S_{\text{BPSK}}}{2} \cdot \frac{1}{4} = 6.58 \cdot S'_{\text{QPSK}}$  8.2dB

BPSK würde die 4-fache Bandbreite benötigen  
QPSK würde 2-fache Bandbreite benötigen

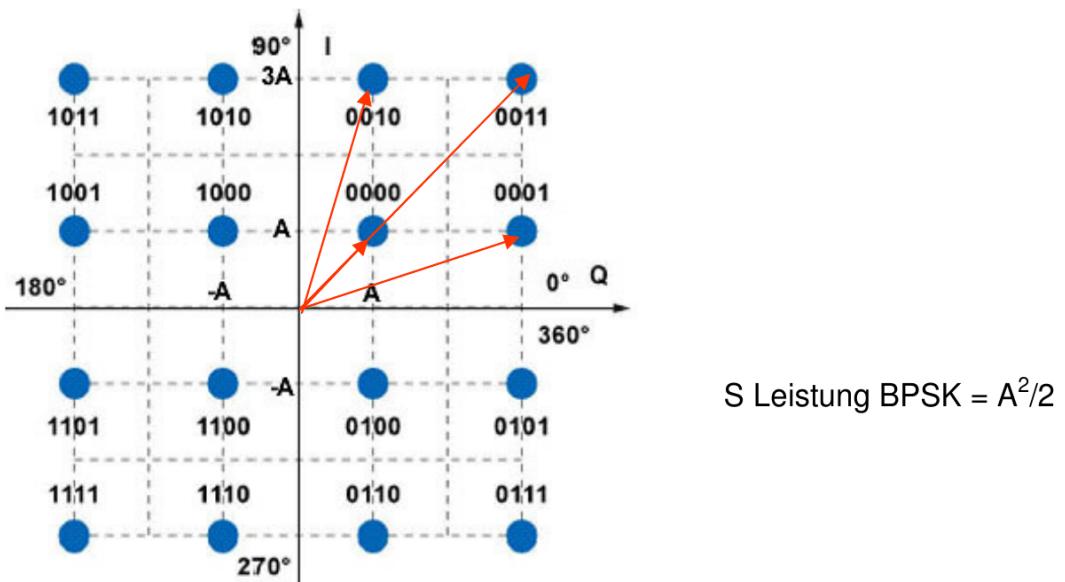
## Aufgabe 2: 16-QAM

- a) Berechnen sie den Leistungszuwachs von 16-QAM im Vergleich zu BPSK bei gleicher Bandbreite und Fehlerrate und vergleichen sie den Gewinn mit dem Resultat von Aufgabe 1 für 16-PSK.



## Aufgabe 2 16-QAM

a)



$$S = 0.25 \cdot (2A^2 + 10A^2 + 10A^2 + 18A^2)/2 = 10 \cdot A^2/2$$

Es wird die 10 fache Leistung, also 10 dB mehr benötigt als für BPSK.

Da 4 Bit pro Symbol übertragen werden, ist liegt der Leistungsvergleich pro Bit bei einem Faktor 2.5, was 4 dB entspricht (Vergleiche dazu in den Folien von Lecture 10 die Graphik zu QAM BER)

Im Vergleich zu Aufgabe 1 wird pro Bit nur 4 dB mehr Sendeleistung benötigt, statt 8.2 dB