

**Bewertungsverfahren**

Es werden insgesamt **100** Punkte vergeben, die wie folgt auf folgende Beurteilungsschwerpunkte verteilt sind:

**Teil 1 – Fachliche Aufgaben**

- Aufgabe 1	6 Punkte
- Aufgabe 2	5 Punkte
- Aufgabe 3.1	4 Punkte
- Aufgabe 3.2	7 Punkte
- Aufgabe 3.3	4 Punkte
- Aufgabe 4	6 Punkte
- Aufgabe 5.1	2 Punkte
- Aufgabe 5.2	7 Punkte
- Aufgabe 6.1	14 Punkte
- Aufgabe 6.2 (Teil 1)	9 Punkte
- Aufgabe 6.2 (Teil 2)	4 Punkte

**Teil 2 – Soft Skills**

- Teamarbeit und Präsentation	32 Punkte
-------------------------------	-----------

---

**100 Punkte**

**Präsentationen**

Bitte tragen Sie während dessen die erzielten Punkte in die dafür vorgesehenen Felder direkt unter der Aufgabe ein und übertragen diese im Abschluss in die Übersicht.

Für die Präsentation hat jedes Team 15 Minuten Zeit. Bei Zeitüberzug wird nicht abgebroschen. Pro überzogene Minute werden im Teil 2, 0,5 Punkte abgezogen.

Die Präsentation kann in PowerPoint oder auf Flipchart/Pinnwand erfolgen. Dafür steht ausreichend Material den Gruppen zur Verfügung (u. a. Papier, Moderationskoffer).

**Teil1 – Fachliche Aufgaben**

**Aufgabe 1**

---

**Max. Funkfelddämpfung  $L_p$  :**

$L_p$  = Sendeleistung – Empfindlichkeit – Reserve – 2 x Kabeldämpfung + 2 x Antennengewinn [\(2 Punkte\)](#)

- | Boden: Sendeleistung 30 W entspricht +45 dBm | Luft: Sendeleistung 10 W entspricht +40 dBm
- | Empfindlichkeit -103 dBm (am Boden und in der Luft)
- | Reserve = 7 dB
- | Kabeldämpfung = 2 x 1 dB (je 1 dB am Boden und in der Luft)
- | Antennengewinn = 0 dB am Boden | -3 dB in der Luft, d.h. für beide Antennen insgesamt -3 dB

Berechnung Boden → Luft:  $L_p = 45 \text{ dBm} - (-103 \text{ dBm}) - 7 \text{ dB} - 2 \text{ dB} - 3 \text{ dB} = 136 \text{ dB}$  [\(1 Punkt\)](#)

Berechnung Luft → Boden:  $L_p = 40 \text{ dBm} - (-103 \text{ dBm}) - 7 \text{ dB} - 2 \text{ dB} - 3 \text{ dB} = 131 \text{ dB}$  [\(1 Punkt\)](#)

**Reichweite:**

Freiraumdämpfung:  $L_p \text{ [dB]} = 28,15 + 20\log f[\text{MHz}] + 20\log d$

Frequenz  $f = 130 \text{ MHz}$ :

Für  $L_p = 136 \text{ dB}$  gilt:  $d = 1905 \text{ km}$  [\(1 Punkt\)](#)

Für  $L_p = 131 \text{ dB}$  gilt:  $d = 1070 \text{ km}$  [\(1 Punkt\)](#)

Aufgabe 1					
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4	Team 5
6					

Musterlösung Vorrunde Fallstudienwettbewerb 2009

**Aufgabe 2**

---

**Freiraumdämpfung  $L_p$  zwischen zwei  $\lambda/2$ -Dipolen bei 130 MHz und 400 km Entfernung:**

Freiraumdämpfung:  $L_p = 28,15 + 20\log f[\text{MHz}] + 20\log d[\text{dB}] \rightarrow L_p = 122,5 \text{ dB}$  (1 Punkt)

**Maximal zu erwartende Signalstärke  $S$  am Empfänger am Boden:**

$S = \text{Sendeleistung} - L_p - \text{Reserve} - \text{Kabelämpfung (Flugzeug)} + \text{Antennengewinn (Flugzeug)}$  (1 Punkt)

- I Sendeleistung 10 W entspricht +40 dBm (Luft)
- I Reserve = 7 dB
- I Kabelämpfung = 1 dB
- I Antennengewinn = -3 dB im Luftfahrzeug

Signalstärke am Boden: -93,5 dBm (1 Punkt)

**Mindestens nötige Sendeleistung  $P$  am Boden:**

$P = \text{Empfindlichkeit} + L_p + \text{Reserve} + \text{Kabelämpfung (Flugzeug)} - \text{Antennengewinn (Flugzeug)}$  (1 Punkt)

- I Empfindlichkeit = -103 dBm für (S+N)/N von 10 dB
- I Reserve = 7 dB
- I Kabelämpfung = 1 dB
- I Antennengewinn = -3 dB im Luftfahrzeug

Benötigte Sendeleistung am Boden: 30,5 dBm (ca. 1 W) (1 Punkt)

Aufgabe 2					
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4	Team 5
5					

**Aufgabe 3**

---

**Aufgabenteil 3.1**

Reflexionsfaktor bei VSWR 2:1:  $R = (V-1) / (V+1) = (2-1)/(2+1) = 1/3$  (1 Punkt) in dB: 9,5 dB (1 Punkt)

- Entkopplung rechnet sich zu:
- 1. Hinlauf durch den Koppler:  $S_{5n} = 0,5$
  - 2. Reflexion an der Antenne:  $1/3$
  - 3. Rücklauf durch den Koppler:  $S_{5n} = 0,5$

Für diese drei Zusammenhänge insgesamt (1 Punkt)

Entkopplung ist das Produkt aller Anteile  $0,083$  bzw. 21,6 dB (1 Punkt)

Aufgabe 3.1					
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4	Team 5
4					

## Musterlösung Vorrunde Fallstudienwettbewerb 2009

### Aufgabenteil 3.2

**Vorlaufleistung pro Kanal:**

Eingangsleistung (30 W) reduziert um Durchgangsdämpfung (1 Punkt)

Dämpfung ist 0,5 bzw. -6 dB,  $30 \text{ W} = 45 \text{ dBm}$ , d.h. es kommen 39 dBm pro Funklinie am Ausgang an. (1 Punkt)

**Spitzenleistung pro Kanal:**

$m = 100 \%$ , d.h. doppelte Spannung bzw. 4-fache Trägerleistung als PEP, (1 Punkt)

d.h. es kommen  $39 \text{ dBm} + 6 \text{ dB} = 45 \text{ dBm}$  Spitzenleistung heraus. (1 Punkt)

**Verlustleistung im Koppler:**

Da die Durchgangsdämpfung 6 dB beträgt, bleiben 75 % der eingespeisten Leistung im Koppler. (1 Punkt)

Effektivleistung eines Eingangssignals: Bei AM 100 % ist die Effektivleistung.

1,5 mal der Trägerleistung, d.h. 45 W. (1 Punkt)

Im Koppler bleiben pro Funksignal 33.75 W (75 %) im Koppler. Bei 4 Signalen bleiben damit 135 W im Koppler. (1 Punkt)

Aufgabe 3.2					
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4	Team 5
7					

### Aufgabenteil 3.3

**Spitzenspannung:**

Pro Funksignal kommen am Ausgang 45 dBm PEP an (30 W). An  $50 \Omega$  entspricht dies 38,7 V Spitzenspannung. (1 Punkt)

Da es sich um 4 Signale unterschiedlicher Frequenz handelt, überlagern sich die 4 Spannungen zu insgesamt 155 V. (1 Punkt)

Pro Funksignal kommen am Ausgang 45 dBm PEP an (30 W). An 50 Ohm entspricht dies 0,77 A Spitzenstrom. (1 Punkt)

Da es sich um 4 Signale unterschiedlicher Frequenz handelt, überlagern sich die 4 Spannungen zu insgesamt 3,1 A Spitzenstrom. (1 Punkt)

Aufgabe 3.3					
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4	Team 5
4					

## Musterlösung Vorrunde Fallstudienwettbewerb 2009

### Aufgabe 4

---

Sendeleistung  $30\text{ W} = 45\text{ dBm}$ , Rauschabstand relativ  $155\text{ dBc/Hz}$ , d.h. absolute Rauschleistung am Antennenausgang des Senders:  $45 - 155 = -110\text{ dBm/Hz}$  (1 Punkt)

Ein Rauschmaß von  $12\text{ dB}$  bedeutet, dass der äquivalente Eigenrauschsockel am RX-Eingang  $-174 + 12 = -162\text{ dBm/Hz}$  beträgt. (1 Punkt)

Eine Verschlechterung um  $3\text{ dB}$  bedeutet, dass das vom Sender kommende Rauschen genauso hoch sein darf wie das RX-Eigenrauschen, also  $-162\text{ dBm/Hz}$ . (1 Punkt)

Die benötigte Entkopplung ist die Differenz der Rauschleistungsdichte direkt am Senderausgang und der erlaubten Rauschleistungsdichte am RX-Eingang, also  $-162 - (-110) = 52\text{ dB}$  (1 Punkt)

Welche Maßnahmen sind zu ergreifen?

Verbesserung des Senderausgangs ist das Thema:

- Das erfordert Filter im Sendezug, entweder im Gerät oder nach dem Sender. (1 Punkt)
- Zu beachten: Filter nach dem Sender müssen natürlich entsprechend belastbar sein. (1 Punkt)

Aufgabe 4					
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4	Team 5
6					

### Aufgabe 5

---

#### Aufgabenteil 5.1

Ausgangsgrößen:  $FADC = 12\text{ dB}$ ,  $SNRADC = 68\text{ dB}$ ,  $f_{nyq} = 200\text{ MHz}$

$$S_{max,ADC} = FADC + SNRADC - 174\text{ dBm} + 10 \log(f_{nyq})$$

$$S_{max,ADC} = 12\text{ dB} + 68\text{ dB} - 174\text{ dBm} + 83\text{ dB} = -11\text{ dBm} \quad (1\text{ Punkt})$$

Der Empfänger kann nicht ohne Vorfilter betrieben werden, da er maximal  $0\text{ dBm}$  am Eingang als Störpegel verkraften kann. (1 Punkt)

Aufgabe 5.1					
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4	Team 5
2					

## Musterlösung Vorrunde Fallstudienwettbewerb 2009

### Aufgabenteil 5.2

Da der RX selbst nur -11 dBm kann und nun ein Störpegel von +10 dBm gefordert ist, muss das Vorfilter zusätzliche 21 dB Dämpfung bringen. [\(1 Punkt\)](#)

Nein, da es nach dem Wandler kommt und damit die Übersteuerung des Wandlers nicht mehr ausgleichen kann. [\(1 Punkt\)](#)

DDC: Es sollten die üblichen „Schlagwörter“ aus dem Umfeld DDC zu hören sein wie z.B.

- | Sample-Raten-Reduktion, auch in Bruchteilen
- | Vorverarbeitung, z.B. Filterungen
- | Überwachung der Aussteuerung des ADC
- | Empfängerregelung (AGC)
- | Formatwandlung z.B. von kartesischen Koordinaten in Polarkoordinaten [\(5 Punkte\)](#)

Kommentar zur Bewertung DDC: Jeder Begriff und eine grobe Erklärung, was sich dahinter verbirgt, ergibt einen Punkt [\(bis maximal 5 Punkte zu vergeben\)](#). Es soll nur abgeprüft werden, ob das Themengebiet prinzipiell ein Begriff ist.

Aufgabe 5.2					
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4	Team 5
7					

## Aufgabe 6

---

### Aufgabenteil 6.1

#### Filter im System

- Filter im Sendezug: Verbesserung der Nebenaussendungen z.B. auch Rauschen (1 Punkt)  
 Eventuell Reduzierung der Sendeleistung (1 Punkt)  
 Eventuell Reduzierung der Reichweite (1 Punkt)
- Filter im Empfangszug: Verbesserung der Störfestigkeit durch Herausfiltern (1 Punkt)  
 Eventuell Reduzierung der Empfindlichkeit (1 Punkt)  
 Eventuell Reduktion der Reichweite (1 Punkt)

#### Verbesserte Antennenentkopplung

- Senderichtung: Nebenaussendungen werden reduziert wirken sich an einem RX nicht mehr so stark aus. (1 Punkt)
- Empfangsrichtung: Störsignale, die vom Sender kommen, wirken sich nicht mehr so stark aus. (1 Punkt)

#### Dämpfungsglieder im System

- Senderichtung: Reduktion der Sendeleistung (1 Punkt)  
 Reduktion der Nebenaussendungen (1 Punkt)  
 Reduktion der Reichweite. (1 Punkt)
- Empfangsrichtung: Reduktion der Empfindlichkeit (1 Punkt)  
 Erhöhung der Störfestigkeit (1 Punkt)  
 Reduktion der Reichweite. (1 Punkt)

Aufgabe 6.1					
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4	Team 5
14					

### Aufgabenteil 6.2 – Teil 1

#### 1. Zuerst prüfen, welche Reserven vorhanden sind, die man im Ansatz nutzen kann.

Die gewünschten Systemdaten lassen noch viel Reserve zu den Gerätedaten übrig:

- Der Sender hat 30 W, benötigt werden aber nur 5 W (1 Punkt)
- d.h. in Senderichtung sind bis zu 7,8 dB Dämpfung erlaubt. (1 Punkt)
- Der Empfänger hat -110 dBm Empfindlichkeit, benötigt werden -100 dBm (1 Punkt)
- d.h. in RX-Richtung wären bis zu 10 dB Dämpfung erlaubt. (1 Punkt)

#### 2. Welche Mindestentkopplung wird benötigt?

Senderichtung:

Durch den gegebenen Rauschabstand von  $-160$  dBc/Hz und 30 W (45 dBm) Sendeleistung stehen  $-115$  dBm/Hz am Senderausgang an. (1 Punkt)

Am RX-Eingang dürfen bis zu  $-162$  dBm/Hz anstehen (1 Punkt). Damit ist eine Antennenentkopplung von mindestens 47 dB erforderlich. (1 Punkt)

## Musterlösung Vorrunde Fallstudienwettbewerb 2009

Empfangsrichtung:

Das Limit wird durch die Höhe des erlaubten Störsignals bestimmt (-10 dBm). [\(1 Punkt\)](#)

Bei der gegebenen Sendeleistung von 30 W (45 dBm) wird also eine Entkopplung von mindestens 55 dB benötigt. [\(1 Punkt\)](#)

Aufgabe 6.2 – Teil 1					
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4	Team 5
9					

### Aufgabenteil 6.2 – Teil 2

Zusammenfassung der Eckwerte aus Teil 1:

Maximal erlaubte Dämpfung im Sendezug:	7,8 dB
Maximal erlaubte Dämpfung im Empfangszug:	10 dB
Mindestentkopplung eines Senders zum Empfänger:	47 dB
Mindestentkopplung eines Empfängers zum Sender:	55 dB

Fazit: Man muss mindestens 55 dB Entkopplung erreichen und darf dabei nicht mehr als 7,8 dB Dämpfung in einem Zweig verbauen.

Startpunkt ist der Antennenstandort „Standard 40 dB“; jetzt fehlen noch 15 dB Entkopplung. Mit Dämpfungsgliedern alleine kommt man gerade nicht hin, da aufgrund der Transceiver-Konfiguration auf beiden Seiten die gleichen Dämpfungen verwendet werden müssen. Man dürfte maximal (15/2) dB verbauen, was aber nicht verfügbar ist.

Lösung: Auf jeder Seite ein Standardfilter einbauen, was in der jeweiligen Richtung 10 dB bringt. [\(1 Punkt\)](#)

Die fehlenden 5 dB durch ein 6 dB Dämpfungsglied einbringen. [\(1 Punkt\)](#)

Kosten: Standardantennenabstand (40 dB) (20 T€) + 2 x Standardfilter (4 T€) + 2 x 6-dB-DGL (2 T€) = 26 T€ in Summe [\(2 Punkte\)](#)

Aufgabe 6.2 – Teil 2					
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4	Team 5
4					