

Fallstudienwettbewerb 2009

Ready for take off!

Die Zukunft der Flugsicherung liegt in Ihrer Hand!

Aufgaben der Vorrunde

 75 Years of
Driving
Innovation



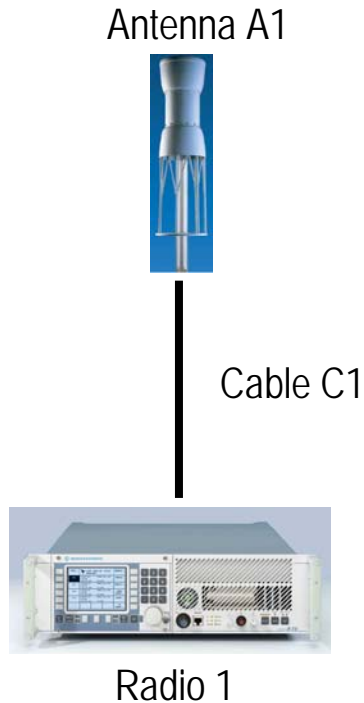
ROHDE & SCHWARZ

Das Szenario

- I Sie sind Designer von funktechnischen Systemen für die zivile Flugsicherung.
- I Sie gehören zu einem Team, das ein bestehendes Funksystem analysiert und Vorschläge zur Erweiterung erarbeitet.
- I Sie unterbreiten Ihren Erweiterungsvorschlag dem Kunden im Rahmen einer Angebotspräsentation.

Ein typisches Kleinsystem für Flugsicherung

Eine typische Einzelfunklinie besteht aus folgenden Komponenten:



Antenna A1:	Gain 0 dB (referred to $\lambda/2$ dipole)
Cable C1:	50 Ω , loss 1 dB
Radio 1:	
Receiver:	Sensitivity: (S+N)/N = 10 dB: -103 dBm for AM, m = 0.3 Input IP3: +10 dBm @ 100 kHz offset Audio bandwidth: 300 Hz to 3400 Hz
Transmitter:	Output power 30 W AM carrier Noise floor: -160 dBc/Hz @ 10 MHz offset

Hinweis zur Rechnung mit Leistungen: In der Hochfrequenztechnik wird fast immer in dBm gerechnet.

0 dBm entspricht 0 dB bezogen auf 1 Milliwatt.

Die hier angegebene Leistung von 30 Watt entspricht also 30.000 Milliwatt und somit 45 dBm. Damit geht einiges viel leichter!

Eine typische Funkausstattung in Flugzeugen



Radio:

Transmitter: 10 W

Receiver: -103 dBm sensitivity for AM, $m = 0.3$

$(S+N)/N = 10$ dB

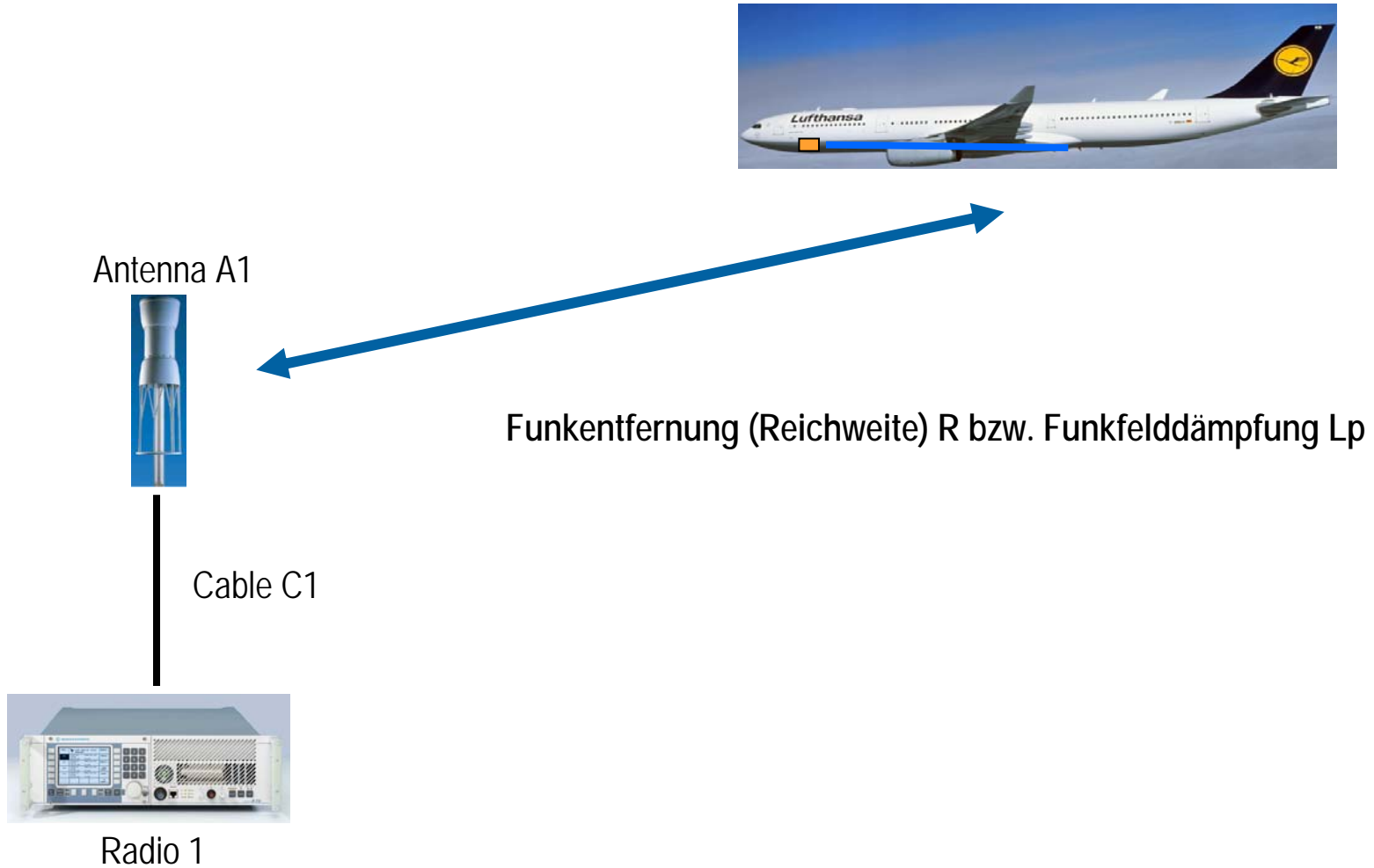
Cable:

Loss 1 dB

Antenna :

Gain -3 dB referred to $\lambda/2$ dipole

Analyse der Funkreichweite



Analyse der Funkreichweite

Aufgabe 1 - Ausgangsbedingungen

Gegeben ist der Aufbau aus den vorherigen Abbildungen:

- | Ein Bodensystem mit einem typischen Kleinsystem für Flugsicherung
- | Ein Flugzeug mit einer typischen Funkausstattung

Betriebsart:

- | Modulationsart AM
- | Modulationsgrad $m = 0,3$
- | Frequenz 130 MHz

Analyse der Funkreichweite

Aufgabe 1 (6 Punkte)

Gegeben ist das Funksystem der vorherigen Seiten (Ausgangsbedingungen)

- I Berechnen Sie die maximal überbrückbare Funkfelddämpfung L_p in dB (4 Punkte).
Berücksichtigen Sie die folgenden Randbedingungen:
 - I Kennwerte wie in den Abbildungen zuvor gegeben
 - I Ein Geräuschspannungsabstand $(S+N)/N$ von 10 dB soll erreicht werden.
 - I Es soll eine Reserve von 7 dB eingeplant werden.
 - I Berechnen Sie beide Richtungen

- I Welcher theoretischen Reichweite R in Kilometern entspricht diese Funkfelddämpfung L_p unter der Annahme, dass das Flugzeug hoch genug fliegt und direkte freie Sicht zwischen Flugzeug und Bodenfunktstelle besteht (je Richtung 1 Punkt)?

Zu verwendende Näherungsformel:

Loss between two $\lambda/2$ dipoles: L_p [dB] = $28.15 + 20\log f + 20\log d$

f : Frequency in MHz

d : Distance in km

Ermittlung von Systemanforderungen

Aufgabe 2 (5 Punkte)

Um ein Bodensystem dimensionieren zu können, ist es wichtig, die mindestens zu erfassende Signalstärke sowie die minimal abzustrahlende Sendeleistung zu kennen, um eine vorgegebene Reichweite erzielen zu können.

- | Berechnen Sie die Freiraumdämpfung zwischen zwei $\lambda/2$ -Dipolen für die unten angegebenen Randbedingungen (1 Punkt).
- | Berechnen Sie die maximal am Bodensystem ankommende Signalstärke S an einer Antenne mit einem Gewinn von 0 dBd (bezogen auf $\lambda/2$ -Dipol) (2 Punkte).
- | Berechnen Sie die mindestens nötige Sendeleistung P am Boden an einer Antenne mit einem Gewinn von 0 dBd (bezogen auf $\lambda/2$ -Dipol) (2 Punkte).

Für beide Rechnungen sollen folgende Randbedingungen gelten:

- | Gegeben ist das zuvor beschriebene Flugfunksystem.
- | Es soll ein $(S+N)/N$ von 10 dB mit einer Reserve von 7 dB eingeplant werden.
- | Es herrscht freie Sichtverbindung zwischen Bodenfunktstelle und Luftfahrzeug, d.h. das Luftfahrzeug fliegt entsprechend hoch.
- | Die Entfernung zum Luftfahrzeug sei 400 km.
- | Die Betriebsfrequenz sei 130 MHz.

Abschätzung von Erweiterungsmöglichkeiten (Sendekoppler)

Aufgabe 3 – Einleitung

Das in Aufgabe 1 verwendete Kleinsystem soll um weitere Funklinien erweitert werden. Es gibt grundsätzlich mehrere verschiedene Möglichkeiten dies zu tun.

Zu berücksichtigen sind dabei unter anderem folgende Bereiche:

- | erzielbare technische Daten
 - | Hier ist speziell zu betrachten, ob alle Funklinien gleichzeitig und unabhängig voneinander betrieben werden können.
- | Komplexität der Systemlösung und damit Kosten
- | Energieeffizienz

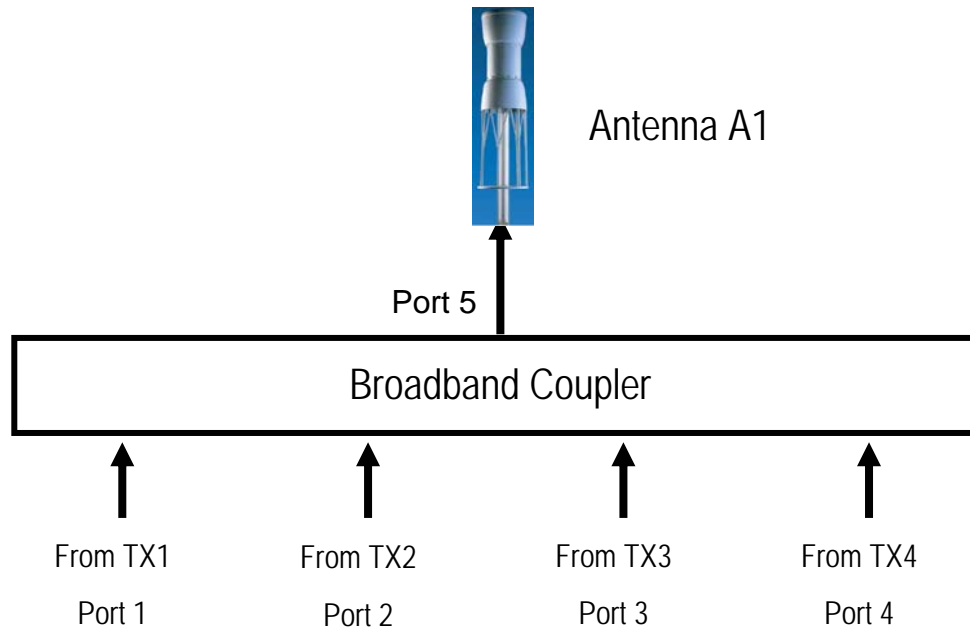
In den nachfolgenden Aufgaben werden verschiedene Grundprinzipien und benötigte Grundbausteine zur Erweiterung von Funksystemen näher betrachtet.

Auf Basis dieser Erkenntnisse soll dann zum Abschluss aller Arbeiten eine konkrete Erweiterung des Funksystems vorgeschlagen werden. Die dafür wichtigen Kriterien werden vorgegeben sein.

Abschätzung von Erweiterungsmöglichkeiten (Sendekoppler)

Aufgabe 3 (insgesamt 15 Punkte) - Ausgangsbedingungen, Sendekoppler

Für die Zusammenschaltung mehrerer Sender kann z.B. ein Breitbandkoppler verwendet werden. Im vorliegenden Beispiel können bis zu 4 Sender auf eine Antenne eingespeist werden.



Kenngrößen der Antenne A1:

- Impedanz: 50Ω
- VSWR: $\leq 2 : 1$

VSWR = Voltage Standing Wave Ratio, auch oft als "Stehwellenverhältnis" bezeichnet.

Die Übertragungsfunktionen des Kopplers alleine im 50- Ω -System sind wie folgt gegeben:

$$|S_{5n}| = 0,5 \quad (n = 1 \dots 4) \quad |S_{mn}| = 0 \quad (m = 1 \dots 4) \quad (n = 1 \dots 4)$$

Abschätzung von Erweiterungsmöglichkeiten (Sendekoppler)

Aufgabe 3.1 (4 Punkte)

Die Antenne stellt die Last für den Breitbandkoppler dar.

- I Berechnen Sie den Reflexionsfaktor S_{11} der Antenne A1 linear und in dB (2 Punkte).

Die für den Koppler angegebene Entkopplung zwischen den Toren 1 bis 4 gilt nur, wenn an Port 5 eine ideale Impedanz von 50Ω angeschlossen ist.

- I Berechnen Sie die Entkopplung $|S_{mn}|$ zwischen den Eingängen in dB, wenn an den Koppler die Antenne A1 angeschlossen ist. Die Dämpfung des Antennenkabels sei vernachlässigbar (2 Punkte).

Abschätzung von Erweiterungsmöglichkeiten (Sendekoppler)

Aufgabe 3.2 (7 Punkte)

An das System bestehend aus Koppler und Antenne sind nun folgende Geräte angeschlossen:

4 Sender jeweils mit folgenden Eigenschaften:

- I Modulationsart: AM
 - I Sendeleistung: 30 W (Trägerleistung)
 - I Modulationsgrad: 100 %
-
- I Berechnen Sie die effektive Trägerleistung pro Sendesignal, die an die Antenne am Ausgang des Kopplers abgegeben wird (2 Punkte).

 - I Berechnen Sie die Spitzenleistung (PEP) pro Sendesignal, die als Vorlaufleistung an die Antenne am Ausgang des Kopplers abgegeben wird (2 Punkte).

 - I Berechnen Sie die auftretende effektive Summenverlustleistung im Koppler, die z.B. mittels Kühlkörper abgeführt werden muss (3 Punkte).

Abschätzung von Erweiterungsmöglichkeiten (Sendekoppler)

Aufgabe 3.3 (4 Punkte)

Für das System bestehend aus Koppler und Antenne soll die benötigte Belastbarkeit der Antenne berechnet werden. Dazu sind wieder die vier Signale aus Teilaufgabe 3.3 angeschlossen.

Die vom Koppler an die Antenne abgegebenen Vorlaufsignale weisen 4 unterschiedliche Frequenzen auf. Durch die Überlagerung der vier Signale können kurzzeitig hohe Spitzenströme und -spannungen entstehen.

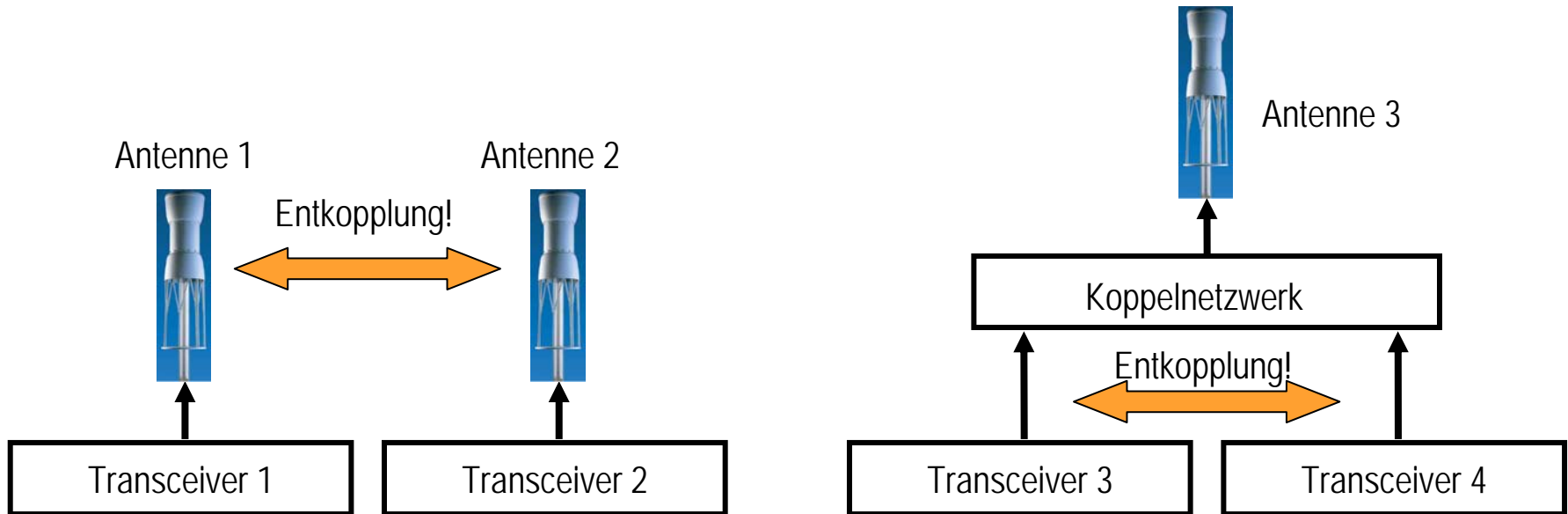
Die Antenne selbst sei für diese Teilaufgabe als idealer $50\text{-}\Omega$ -Lastwiderstand zu betrachten.

- I Berechnen Sie, welche Spitzenspannung an der Antenne kurzzeitig auftreten kann (2 Punkte).
- I Berechnen Sie, welcher Spitzenstrom an der Antenne kurzzeitig auftreten kann (2 Punkte).

Abschätzung von Erweiterungsmöglichkeiten (Entkopplung)

Aufgabe 4 - Ausgangsbedingungen

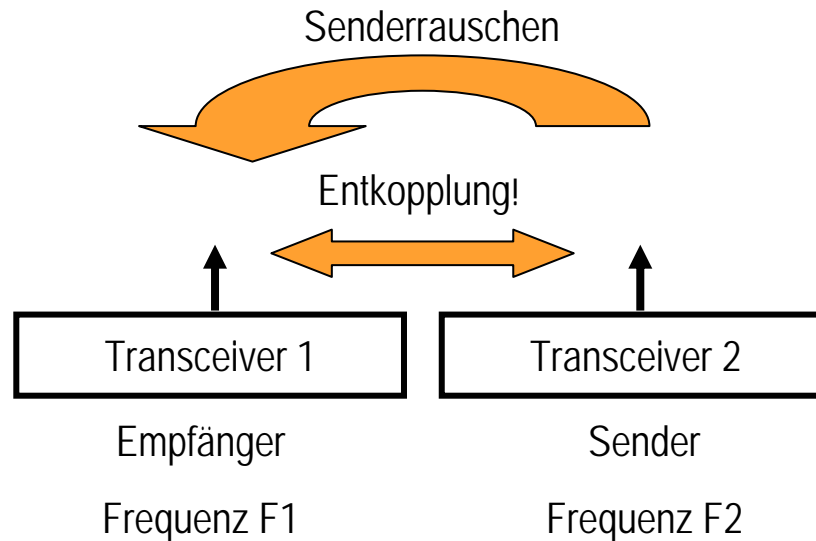
Damit in einem Funksystem alle Funkgeräte unabhängig von allen anderen betrieben werden können, muss eine Mindestentkopplung zwischen einem Sender und einem Empfänger bestehen. Dabei ist unerheblich, ob diese Entkopplung zum Beispiel durch die räumliche Distanz zwischen Antennen erreicht wird oder ob diese durch die Koppelnetzwerke zur Zusammenschaltung von Funklinien erzielt wird.



Abschätzung von Erweiterungsmöglichkeiten (Entkopplung)

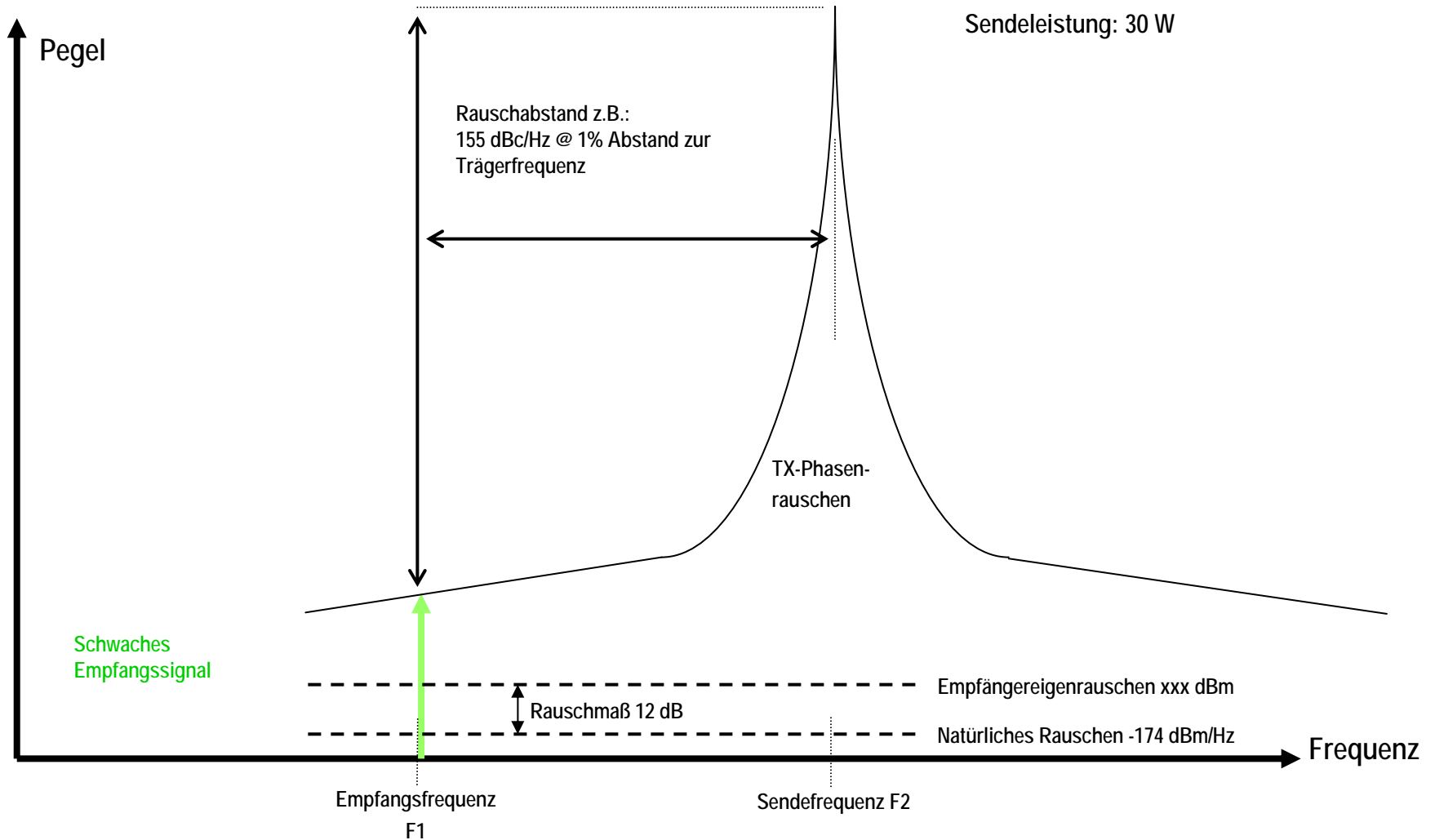
Aufgabe 4 - Ausgangsbedingungen

- | Ein Empfänger empfängt auf einer Frequenz $F1$.
- | Ein Sender sendet auf einer Frequenz $F2$.
- | Das Senderrauschen kann unter Umständen das Empfangssignal verdecken, da dieses wegen der begrenzten Entkopplung zum Empfänger mit einem hohen Pegel in den Empfangskanal fallen kann (siehe Bild unten).
- | Das Bild auf der folgenden Seite zeigt die Zusammenhänge im Detail.



Abschätzung von Erweiterungsmöglichkeiten (Entkopplung)

Aufgabe 4 - Ausgangsbedingungen



Abschätzung von Erweiterungsmöglichkeiten (Entkopplung)

Aufgabe 4 (6 Punkte)

Es liegt ein Funkssystem vor wie auf den vorherigen Seiten beschrieben:

- | Ein Empfänger empfängt auf einer Frequenz F_1 z.B. 128,7 MHz.
 - | Ein Sender sendet auf einer Frequenz F_2 in einem Abstand von 1 %, z.B. 130 MHz.
 - | Der Senderrauschabstand im Abstand von 1 % beträgt 155 dBc/Hz.
 - | Die Sendeleistung beträgt 30 W.
 - | Das Rauschmaß des Empfängers beträgt 12 dB.
-
- | Berechnen Sie die mindestens nötige Entkopplung zwischen Sender und Empfänger, damit der Empfänger um nicht mehr als 3 dB Empfindlichkeit verliert (4 Punkte).
 - | Mit welchen Maßnahmen könnte das System verbessert werden, damit sogar mit kleinerer Entkopplung keine Störungen im Empfänger auftreten (1 Punkt)?
 - | Worauf ist dabei u.a zu achten (1 Punkt)?

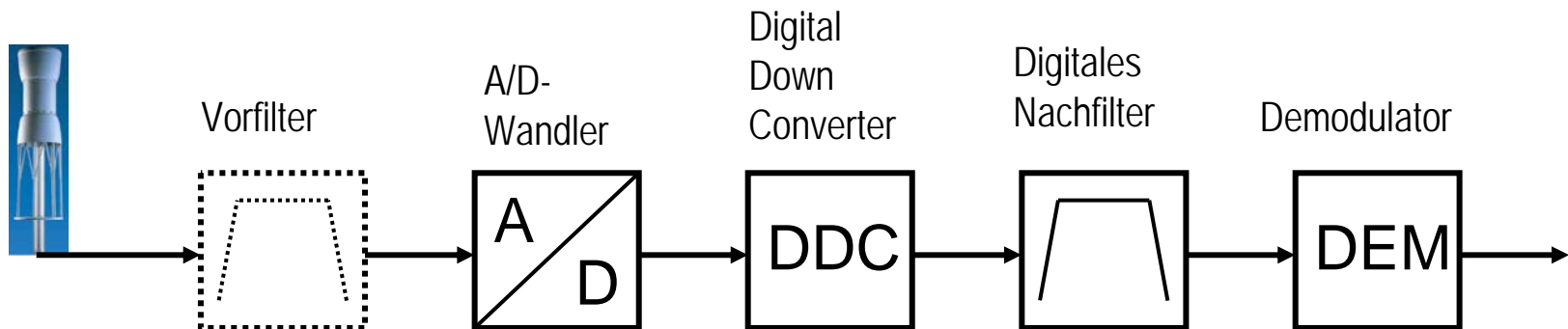
Abschätzung von Erweiterungsmöglichkeiten (Empfangstechnik)

Aufgabe 5 (insgesamt 9 Punkte) - Ausgangsbedingungen

Damit ein Empfänger in einem Funksystem auch unter kritischen Bedingungen betrieben werden kann, muss er in der Lage sein, trotz hoher Störpegel am Eingang seine spezifizierte Empfindlichkeit zu erreichen.

Der Trend in der Empfangstechnik geht dahin, möglichst bereits an der Antenne einen Analog/Digital-Wandler zu platzieren, um eine möglichst große Flexibilität im Betrieb zu erreichen.

Das nachfolgende Blockschaltbild eines Empfängers sei die Basis für die nächste Aufgabe:



Abschätzung von Erweiterungsmöglichkeiten (Empfangstechnik)

Aufgabe 5.1 (2 Punkte)

Für das Blockschaltbild des Empfängers gelten folgende Parameter:

- | Das Vorfilter ist nicht immer eingebaut, sondern nur optional vorgesehen.
- | Maximal von der Antenne kommender Störpegel am Eingang: 0 dBm
- | Das Rauschmaß F des Empfängers soll 12 dB entsprechen (= Rauschmaß des A/D-Wandlers F_{ADC})
- | Der A/D-Wandler habe folgende Kenndaten:
 - | $SNR_{ADC} = 68$ dB
 - | Nyquistfrequenz $f_{nyq} = 200$ MHz (= halbe Taktfrequenz)
- | Welcher maximale Störpegel $S_{max,ADC}$ darf am AD-Wandler anliegen, damit noch ein ungestörter Empfangsbetrieb möglich ist (1 Punkt)?
Verwenden Sie dabei die folgende Formel: $S_{max,ADC} = F_{ADC} + SNR_{ADC} - 174$ dBm + $10 \log(f_{nyq})$
- | Kann der Empfänger ohne das Vorfilter betrieben werden (1 Punkt)?

Abschätzung von Erweiterungsmöglichkeiten (Empfangstechnik)

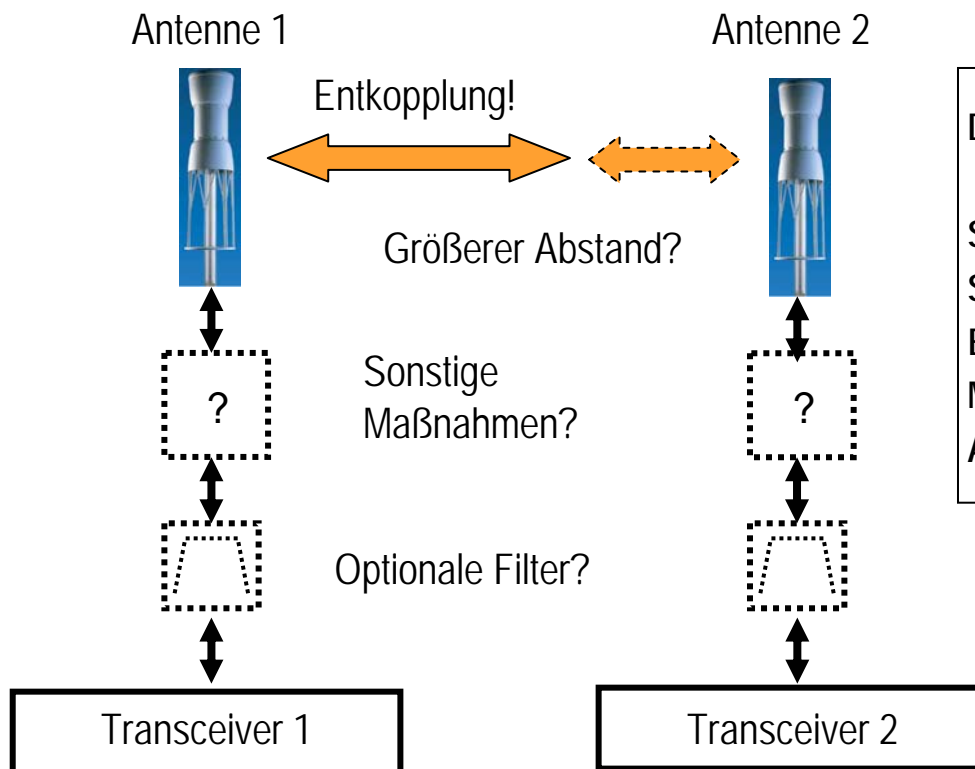
Aufgabe 5.2 (7 Punkte)

- I Wie viel Dämpfung muss das Vorfilter einbringen, wenn ein Störpegel von maximal +10 dBm auftreten kann (1 Punkt)?
- I Kann das nach geschaltete Digitalfilter hier weiterhelfen, wenn der Empfänger übersteuert ist (1 Punkt)?
- I Welche prinzipielle Aufgabe kann der Digital Down Converter übernehmen (5 Punkte)?

Abschätzung von Erweiterungsmöglichkeiten (Systemerweiterung)

Aufgabe 6 (insgesamt 27 Punkte) - Ausgangsbedingungen Teil 1

Ein Funksystem bestehend aus Transceiver 1 und Antenne 1 soll um eine weitere Funklinie erweitert werden. Das nachfolgende Bild zeigt die Anordnung. Die gestrichelt eingezeichneten Bereiche stellen Möglichkeiten dar, wo ein System optimiert werden kann.



Die Geräte haben folgende Kennwerte:

Sendeleistung:	30 W
Senderrauschabstand:	-160 dBc/Hz
Empfängerempfindlichkeit:	-110 dBm
Maximaler Störpegel am Empfänger:	-10 dBm
Antennengewinn:	0 dBd

Abschätzung von Erweiterungsmöglichkeiten (Systemerweiterung)

Aufgabe 6 (insgesamt 27 Punkte) - Ausgangsbedingungen Teil 2

Es ist erlaubt, beliebige Erweiterungen oder Veränderungen vorzunehmen, solange die folgenden Leistungsdaten im System erreicht werden:

- | | |
|--|-------------|
| Minimale Empfangsempfindlichkeit an der Antenne: | -100 dBm |
| Minimale Sendeleistung an der Antenne: | 5 W |
| Maximale erlaubte Senderausleistung am Empfängereingang: | -162 dBm/Hz |

Weitere Randbedingungen:

- | Es soll für jede Funklinie eine eigene Antenne verwendet werden.
- | Die Abstände der Antennen beeinflussen dabei die Entkopplung zueinander deutlich.
- | Eine Vergrößerung der Antennenentkopplung und damit eine Vergrößerung des Abstands zueinander ist sehr teuer. Die anfallenden Kosten für verschiedene Antennenabstände sowie für benötigte Komponenten können der Tabelle „Materialliste“ entnommen werden (siehe Seite 25).

Abschätzung von Erweiterungsmöglichkeiten (Systemerweiterung)

Aufgabe 6.1 (14 Punkte)

- I Erklären Sie qualitativ, was sich verändert, wenn ein Filter in den Signalzug eingefügt wird.
 - I Senderichtung (3 Punkte)
 - I Empfangsrichtung (3 Punkte)

- I Erklären Sie qualitativ, was sich verändert, wenn die Antennenentkopplung erhöht wird.
 - I Senderichtung (1 Punkt)
 - I Empfangsrichtung (1 Punkt)

- I Erklären Sie qualitativ, was sich verändert, wenn ein Dämpfungsglied in den Signalzug eingefügt wird.
 - I Senderichtung (3 Punkte)
 - I Empfangsrichtung (3 Punkte)

Abschätzung von Erweiterungsmöglichkeiten (Systemerweiterung)

Aufgabe 6.2 (13 Punkte)

- I Erstellen Sie einen Vorschlag für ein KOSTENOPTIMIERTES System (11 Punkte).
- I Mit welchen Kosten ist bei Ihrem Ansatz zu rechnen (2 Punkte)?

Folgende Randbedingungen sind einzuhalten:

Die Leistungsdaten von Seite 22 werden eingehalten oder übertroffen. Zur Auswahl stehen nur die folgenden Komponenten:

Materialliste:

Antennenabstand:	Standard 40 dB Kosten: 20 T€	Optimiert 50 dB Kosten: 30 T€	Ideal 60 dB Kosten: 40 T€
Filter:	Standard Selektion 10 dB Kosten: 2 T€	Optimiert Selektion 20 dB Kosten: 4 T€	Ideal Selektion 30 dB Kosten: 6 T€
Dämpfungsglied:	3 dB Kosten: 500 €	6 dB Kosten: 1 T€	10 dB Kosten: 2 T€

Los geht's und viel Erfolg!

Jede Aufgabe ist weitestgehend unabhängig von den vorherigen lösbar.

Bei den wenigsten Aufgaben sind aufwendige Rechnungen notwendig. Sie können vielmehr durch anschauliche Überlegungen gelöst werden.

Wir wünschen Ihnen viel Spaß und Erfolg beim Lösen der gestellten Aufgaben.