

Bewertungsverfahren

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

Teil 1 – Fachliche Aufgaben

| | |
|--------------|-----------|
| - Aufgabe 1 | 9 Punkte |
| - Aufgabe 2 | 4 Punkte |
| - Aufgabe 3 | 14 Punkte |
| - Aufgabe 4 | 3 Punkte |
| - Aufgabe 5 | 5 Punkte |
| - Aufgabe 6 | 5 Punkte |
| - Aufgabe 7 | 3 Punkte |
| - Aufgabe 8 | 6 Punkte |
| - Aufgabe 9 | 3 Punkte |
| - Aufgabe 10 | 5 Punkte |
| - Aufgabe 11 | 5 Punkte |
| - Aufgabe 12 | 6 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 abgebrochen. 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

Bei LTE wird im *Downlink* das Modulationsverfahren **OFDMA (1 Punkt)** verwendet. Für die Modulation der einzelnen Träger wird **64QAM (1 Punkt)** verwendet. Der Trägerabstand beträgt **15 kHz (1 Punkt)**. Die verwendeten analogen Bandbreiten sind:

1.4, 3, 5, 10, 15 und 20 MHz.

bzw. 1.25, 2.5, 5, 10, 15 und 20 MHz (Antwort in Quellen unterschiedlich) **(1 Punkt)**

Zu Erhöhung der Datenrate im Downlink wird auch ein **2x2-** und **4x4-MIMO**-Übertragungsverfahren spezifiziert. (Es wird auch 4x2-MIMO genannt, trotzdem **(1 Punkt)**, wenn 2x2 und 4x4 erwähnt wird)

Im *Uplink* wird als Modulationsverfahren **SC-FDMA (1 Punkt)** verwendet. Für die Modulation der einzelnen Symbole wird **QPSK, 16QAM und 64QAM (1 Punkt)** verwendet. Der **Trägerabstand** und die **Bandbreiten** sind **identisch** zum **Downlink (1 Punkt)**.

Als Duplex-Verfahren werden **FDD** oder **TDD** verwendet. **(1 Punkt)**

| Aufgabe 1 | | | | | |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Max. Punkte | Team 1 | Team 2 | Team 3 | Team 4 | Team 5 |
| 9 | | | | | |

Aufgabe 2

Bei Mehrwegeausbreitung erreicht das Sendesignal über mehrere Ausbreitungswege die Empfangsantenne. Daraus ergeben sich zwei Effekte, Intersymbol-Interferenz und frequenzselektiver Schwund. Bei OFDM wird im **Guard-Intervall** der Anfang des OFDM-Symbols wiederholt. Ist die zeitliche Länge der **Kanalimpulsantwort kürzer als das Guard-Intervall**, gibt es einen Bereich im OFDM-Symbol, der **keine Interferenz** mit dem vorhergehenden OFDM-Symbol aufweist; der Equalizer im Frequenzbereich ein einfacher **1-Tap-Equalizer** ist.

Grundaussagen zur Lösung sind also Freiheit von Intersymbol-Interferenz **(2 Punkte)** und einfacher 1-Tap-Equalizer **(2 Punkte)**. Es gibt aber einen weiten Bereich von möglichen anschaulichen Erläuterungen, die mehr oder weniger gut den Vorteil von OFDM darstellen.

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

Aufgabe 3

Aufgabenteil A

Jedes GSM-Signal hat eine Leistung von **20 Watt** (43 dBm) [\(1 Punkt\)](#). Da alle vier GSM-Signale statistisch unabhängig sind, ist die mittlere Leistung P_{AVG} die Summe der einzelnen Leistungen:

$$P_{AVG} = 80 \text{ Watt (49 dBm) (1 Punkt)}$$

Da der Power-Combiner verlustfrei ist, wird dort keine Leistung umgesetzt.

Beim Maximalwert P_{PEAK} addieren sich nicht Leistungen, sondern die Spannungen der vier Sendesignale. In diesem Fall ist also die Leistung nicht viermal, sondern 16 mal größer:

$$P_{PEAK} = 320 \text{ Watt (55 dBm) (1 Punkt)}$$

| Aufgabe 3A | | | | | |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Max. Punkte | Team 1 | Team 2 | Team 3 | Team 4 | Team 5 |
| 3 | | | | | |

Aufgabenteil B

In Teilaufgabe A war das $PAR = 320 \text{ W} / 80 \text{ W} = 4 = 6 \text{ dB}$ [\(1 Punkt\)](#). Wenn nun schon jedes der vier Modulationssignale ein PAR von 3,7 dB aufweist, ist das PAR am Ausgang des Combiners

$$6 \text{ dB} + 3,7 \text{ dB} = 9,7 \text{ dB (1 Punkt)}$$

| Aufgabe 3B | | | | | |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Max. Punkte | Team 1 | Team 2 | Team 3 | Team 4 | Team 5 |
| 2 | | | | | |

Aufgabenteil C

Der maximale Pegel am Ausgang des Richtkopplers ist:

$$49 \text{ dBm} + 9,7 \text{ dB} - 30 \text{ dB} = 28,7 \text{ dBm (1 Punkt)}$$

Laut Datenblatt des NRP-Z81 darf das Eingangssignal maximal 100 mW (= 20 dBm) [\(2 Punkte\)](#) haben. Somit muss mindestens eine Dämpfung von

$$28,7 \text{ dBm} - 20 \text{ dBm} = 8,7 \text{ dB (1 Punkt)}$$

eingefügt werden.

| Aufgabe 3C | | | | | |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Max. Punkte | Team 1 | Team 2 | Team 3 | Team 4 | Team 5 |
| 4 | | | | | |

Musterlösung Vorrunde Fallstudienwettbewerb 2008

Aufgabenteil D

Für den Effektivwert der Spannung des Ausgangssignals gilt im Maximalfall:

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{P_{\text{PEAK}} \cdot 50\Omega}$$

Für P_{PEAK} gilt (siehe Aufgabenteile B und C):

$$P_{\text{PEAK}} = 58,7 \text{ dBm} = 741 \text{ Watt} \quad (1 \text{ Punkt})$$

$$\Rightarrow U_{\text{eff}} = 192 \text{ V} \quad (1 \text{ Punkt})$$

In Trägerfrequenzlage ist die Form des Signals ein Sinus. Deshalb gilt für den Scheitelwert:

$$\hat{U} = \sqrt{2} \cdot U_{\text{eff}} = 272 \text{ V} \quad (1 \text{ Punkt})$$

Da bei Totalreflexion die doppelte Spannung auftritt, müssen die Komponenten mindestens **544 V (2 Punkte)** aushalten.

| Aufgabe 3D | | | | | |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Max. Punkte | Team 1 | Team 2 | Team 3 | Team 4 | Team 5 |
| 5 | | | | | |

Aufgabe 4

Das PAR ist bei 1200 Trägern, die alle ein PAR von 3,7 dB aufweisen (64QAM):

$$\text{PAR [in dB]} = 10 \cdot \log(1200) + 3.7 = 34.5 \text{ dB}$$

Somit muss der Sendeverstärker eine Aussteuerungsreserve von **34.5 dB (3 Punkte)** haben.

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

Aufgabe 5

Die Kernaussage des zentralen Grenzwertsatz der Wahrscheinlichkeitsrechnung ist, dass die Summe von vielen identisch verteilten Zufallsvariablen normal verteilt ist. Somit sind die Amplituden eines OFDM-Signals bei ausreichend großer Anzahl von Trägern näherungsweise normal verteilt. Bei der Normalverteilung $\mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$ gilt:

99.9 % aller Amplituden befinden sich im Intervall $\pm 3,29 \cdot \sigma$ um den Erwartungswert μ . Da σ^2 die mittlere Leistung ist, reicht eine Aussteuerungsreserve von:

$$20 \cdot \log(3,29) = 10,4 \text{ dB aus.}$$

Beurteilung der Aufgabe:

Die wichtigsten Erkenntnisse sind, dass

- Amplituden sind normal verteilt **(2 Punkte)**
- 99.9 % der Amplituden sind unabhängig von der Trägeranzahl in einem festen Intervall **(2 Punkte)**
- Eine Berechnung der Aussteuerungsreserve gibt nochmals **1 Punkt**.

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

Aufgabe 6

Die Sendesignale in benachbarten Kanälen können im Mobilfunk teilweise mit sehr großen Leistungsunterschieden (z. B. 60 dB) an einem Empfänger ankommen. Dies führt dazu, dass ein starkes Empfangssignal ein schwaches Empfangssignal in einem Nachbarkanal relevant stören kann, während eine gleichgroße Störung im Inband vernachlässigt werden kann. Hierzu ein Beispiel:

- Eine Basisstation empfängt zwei Signale auf benachbarten Kanälen. Das erste Signal hat einen Pegel von 0 dBm während das zweite Signal einen Pegel von -60 dBm hat. Beim Senden des 0-dBm-Signals wurden Inband- und Nachbarkanalstörungen mit -50 dBc erzeugt. Während die Inbandstörung mit -50 dBm vernachlässigt werden kann, liegen die Störungen vom 0-dBm-Signal beim -60-dBm-Signal mit -50 dBm um 10 dB höher als das gewünschte Empfangssignal.

Dieses Szenario wird auch als Near-Far-Problem bezeichnet.

Beurteilung der Aufgabe:

- Wenn erkannt wird, dass bei Funkübertragung starke Pegelunterschiede am Empfänger auftreten können und dadurch Nachbarkanalstörungen starken Senders relevant werden können, ist die Aufgabe gelöst ([5 Punkte](#)). Hier sollte auch die Anschaulichkeit der Erläuterung in die Bewertung eingehen.

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

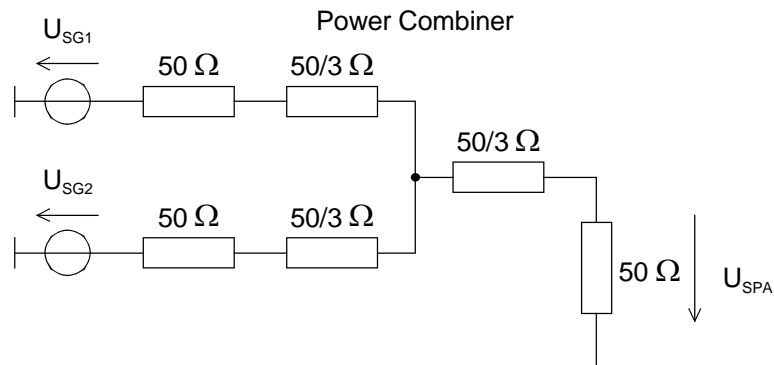
Aufgabe 7

Die Intermodulationen zweiter Ordnung liegen bei der Summe und der Differenz der beiden Eingangsfrequenzen der Eingangssignale. Da die Frequenzen der Eingangssignale ungefähr bei 2,2 GHz liegen, sind die Intermodulationsprodukte der zweiten Ordnung entweder bei ungefähr 0 Hz oder 4,4 GHz, die beide durch einen einfachen Bandpass am Ausgang des Verstärkers entfernt werden können ([3 Punkte](#)).

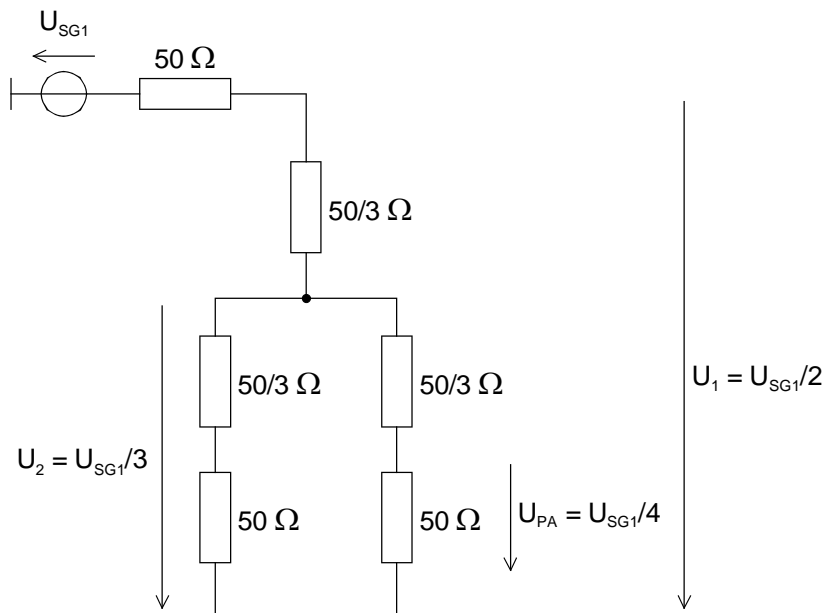
| Aufgabe 7 | | | | | |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Max. Punkte | Team 1 | Team 2 | Team 3 | Team 4 | Team 5 |
| 3 | | | | | |

Aufgabe 8

Ersatzschaltbild der Anordnung:



Die Einfügedämpfung kann mit Hilfe einer Superposition bestimmt werden. Zunächst wird die Spannung des Signalgenerators 2 zu Null gesetzt:



Der Signalgenerator 1 sieht an seinen Ausgang wieder 50 Ohm (andernfalls hätten wir ein Problem). Somit ist U_1 die halbe Leerlauf-Spannung des Signalgenerators U_{SG1} . Diese Spannung würde auch der Eingang des Sendeverstärkers sehen, wenn kein Power Combiner dazwischen geschaltet wäre. Über die Spannungsteiler kann die Spannung $U_{PA} = U_{SG1}/4$ bestimmt werden. Somit ist die Spannung um den Faktor 2 geringer. Die Einfügedämpfung ist 6 dB (4 Punkte).

Der Ausgang des Signalgenerators 2 verhält sich im obigen Ersatzschaltbild wie der Eingang des Sendeverstärkers, so dass der Signalgenerator 2 das Ausgangssignal des Signalgenerators 1 an seinem Ausgang mit einer Dämpfung von 6 dB sieht (2 Punkte).

| Aufgabe 8 | | | | | |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Max. Punkte | Team 1 | Team 2 | Team 3 | Team 4 | Team 5 |
| 6 | | | | | |

Musterlösung Vorrunde Fallstudienwettbewerb 2008

Aufgabe 9

Die Intermodulation im Spektrumanalysator muss vom Aussteuerungspegel am Eingang des Spektrumanalysators abhängen. Hat der Spektrumanalysator eine Eichleitung, kann er die Eingangsdämpfung erhöhen. Ändert sich dann die Intermodulation, findet sie im Spektrumanalysator statt.

Hat der Spektrumanalysator keine Eichleitung, kann man den gleichen Effekt durch Einfügen eines Dämpfungsglieds erreichen [\(3 Punkte\)](#).

| Aufgabe 9 | | | | | |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Max. Punkte | Team 1 | Team 2 | Team 3 | Team 4 | Team 5 |
| 3 | | | | | |

Aufgabe 10

Es gibt zwei Merkmale, die erkennen lassen, dass es sich um die Intermodulationssignale handelt:

1. Die Frequenz

Die erste Eingangsfrequenz f_1 ist 2,2 GHz. Die zweite Eingangsfrequenz f_2 ist 2,200015 GHz.

Die Intermodulationssignale 3. Ordnung müssen bei

$$2 \cdot f_1 - f_2 = 4,4 - 2,200015 \text{ GHz} = 2,199985 \text{ GHz (Marker 1)}$$

und

$$2 \cdot f_2 - f_1 = 4,40003 - 2,2 \text{ GHz} = 2,20003 \text{ GHz (Marker 4)}$$

liegen [\(2 Punkte\)](#).

2. Pegel-Änderung

In der zweiten Messung ist der Pegel der Eingangssignale 10 dB größer als in der ersten Messung. Wenn es sich bei den Signalen bei den Markern 1 und 4 um Intermodulationssignale handelt, müssen diese dann um 30 dB höher sein. Dies stimmt (Erste Messung -80 dBm und zweite Messung -50 dBm) [\(3 Punkte\)](#).

| Aufgabe 10 | | | | | |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Max. Punkte | Team 1 | Team 2 | Team 3 | Team 4 | Team 5 |
| 5 | | | | | |

Musterlösung Vorrunde Fallstudienwettbewerb 2008

Aufgabe 11

Zur Berechnung des IP3 reicht eine Messung aus. Es gilt folgende Formel

$$IP3 = \text{Ausgangssignal} + (\text{Ausgangssignal} - \text{Intermodulationssignal})/2 \text{ [in dBm]}$$

Je nachdem, welche Größe abgelesen wird, ergibt sich ein leicht unterschiedlicher IP3. Wird der IP3 in Messung 1 abgelesen:

$$IP3 = -10 \text{ dBm} + (-10 \text{ dBm} + 79,5 \text{ dBm})/2 = \mathbf{24,75 \text{ dBm}} \text{ (3 Punkte)}$$

Jetzt muss aber noch das 20-dB-Dämpfungsglied vor dem Spektrumanalysator beachtet werden, sodass der IP3 des Sendeverstärkers **44,75 dBm** ist (2 Punkte).

| Aufgabe 11 | | | | | |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Max. Punkte | Team 1 | Team 2 | Team 3 | Team 4 | Team 5 |
| 5 | | | | | |

Aufgabe 12

Die mittlere Sendeleistung von 20 W teilt sich gleichmäßig auf die 1200 Träger auf:

$$20 \text{ W} / 1200 = \mathbf{16,667 \text{ mW}} = \mathbf{12,22 \text{ dBm}} \text{ (2 Punkte)}$$

Die Formel aus Aufgabe 11 kann nach dem Intermodulationsabstand umgeformt werden:

$$\text{Intermodulationssignal} - \text{Ausgangssignal} = -(\text{IP3} - \text{Ausgangssignal}) \cdot 2 \text{ [in dBm]}$$

Also ergibt sich:

$$-(44,75 \text{ dBm} - 12,22 \text{ dBm}) \cdot 2 = \mathbf{-65 \text{ dBc}} \text{ (3 Punkte)}$$

Der Abstand zwischen Träger und Intermodulation ist mit -65 dBc um 3 dB besser als gefordert (1 Punkt).

| Aufgabe 12 | | | | | |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Max. Punkte | Team 1 | Team 2 | Team 3 | Team 4 | Team 5 |
| 6 | | | | | |

Musterlösung Vorrunde Fallstudienwettbewerb 2008

Teil 2 – Soft Skills

| Anforderung | Punkte | Team 1 | Team 2 | Team 3 | Team 4 | Team 5 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Teamarbeit: | | | | | | |
| • gehen spielerisch und wendig mit dem Gestaltungsspielraum der Aufgabe um | 2 | | | | | |
| • erkennen schnell und sicher die richtigen Ansatzpunkte, um das Thema anzugehen | 2 | | | | | |
| • greifen Impulse der Gruppenmitglieder auf und denken diese weiter | 2 | | | | | |
| • behindern kreative Prozesse nicht durch vorschnelle Bedenken oder Skepsis | 2 | | | | | |
| • sorgen für ein positives Klima in der Gruppe, das einen offenen, kreativen Gedankenaustausch fördert | 2 | | | | | |
| • setzen sinnvolle Prioritäten bei der Bearbeitung des Materials | 2 | | | | | |
| • forcieren Entscheidungsfindungsprozess in unproduktiven Diskussionsphasen | 2 | | | | | |
| Präsentation: | | | | | | |
| Persönliche Wirkung: | | | | | | |
| • lebendige Körpersprache | 2 | | | | | |
| • spontan sympathisch/gewinnend | 2 | | | | | |
| • überzeugende sprachliche Ausdrucksweise | 2 | | | | | |
| • halten Blickkontakt | 2 | | | | | |
| Fachkompetenz: | | | | | | |
| • behalten den Blick für das Machbare | 2 | | | | | |
| • arbeiten die Kernthemen treffend heraus | 2 | | | | | |
| • entwickeln eine weitsichtige Lösung | 2 | | | | | |
| • reagiert kompetent auf Fragen | 2 | | | | | |
| • Gestaltung der Pinnwände/Präsentationen übersichtlich und sauber | 2 | | | | | |
| Summe: | x | | | | | |
| Abzug pro überzogene Minute: | 0,5 | | | | | |
| Ergebnis: | | | | | | |

Ihre Bemerkungen, Beobachtungen:

Musterlösung Vorrunde Fallstudienwettbewerb 2008

Auswertung Gesamtübersicht

| GESAMTSUMME (Maximalpunktzahl 100) | | | | | | |
|------------------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | Team 1 | Team 2 | Team 3 | Team 4 | Team 5 |
| Aufgabe 1 | 9 Punkte | | | | | |
| Aufgabe 2 | 4 Punkte | | | | | |
| Aufgabe 3A | 3 Punkte | | | | | |
| Aufgabe 3B | 2 Punkte | | | | | |
| Aufgabe 3C | 4 Punkte | | | | | |
| Aufgabe 3D | 5 Punkte | | | | | |
| Aufgabe 4 | 3 Punkte | | | | | |
| Aufgabe 5 | 5 Punkte | | | | | |
| Aufgabe 6 | 5 Punkte | | | | | |
| Aufgabe 7 | 3 Punkte | | | | | |
| Aufgabe 8 | 6 Punkte | | | | | |
| Aufgabe 9 | 3 Punkte | | | | | |
| Aufgabe 10 | 5 Punkte | | | | | |
| Aufgabe 11 | 5 Punkte | | | | | |
| Aufgabe 12 | 6 Punkte | | | | | |
| Teamarbeit, Präsentation | 32 Punkte | | | | | |
| | | | | | | |
| Gesamtsumme: | 100 Punkte | | | | | |