



**Fachhochschule  
Kaiserslautern**  
University of Applied Sciences



Landeszentrale für  
Medien und Kommunikation  
Rheinland-Pfalz

---

**Martin Köhler**

Matr. Nr.: 808738

---

# Diplomarbeit

Messtechnische Bewertung der Nutzbarkeit von  
DRM<sup>+</sup> im VHF-Band III

---

1. Oktober 2009 – 1. April 2010

Betreut durch:

Prof. Dr.-Ing. Andreas Steil (FH-KL)  
Prof. Dr.-Ing. Martin Kreutzer (FH-KL)  
Dipl.-Ing. Joachim Lehnert (LMK)  
Dipl.-Ing. (FH) Felix Schad (FH-KL)

---

## **Eigenständigkeitserklärung**

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln angefertigt habe, und dass ich alle Stellen, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken, auch elektronischen Medien, entnommen sind, durch Angabe der Quellen als Entlehnung kenntlich gemacht habe.

Kaiserslautern, den 01.04.2010

Martin Köhler

## Vorwort

Seit zwei Jahren arbeite ich mit großer Freude in einem kleinen Projektteam an der Fachhochschule Kaiserslautern mit. Dieses Kooperationsforschungsprojekt der Fachhochschule Kaiserslautern und der Landesanstalt für Medien und Kommunikation (LMK) befasst sich mit der Standardisierung des digitalen Übertragungsverfahrens DRM<sup>+</sup>. Anfänglich als wissenschaftliche Hilfskraft, später im Rahmen meiner Projektarbeit und des Praxissemesters, war ich in die Untersuchungen und Feldversuche eingebunden. Das Angebot, durch eine Diplomarbeit weiter aktiv das Projekt mitzugestalten, nahm ich sehr gerne an.

Mein Dank geht an die Landesanstalt für Medien und Kommunikation (LMK) die als Auftraggeber und durch die Finanzierung die Grundlage für diese Arbeit geschaffen haben.

Dem technischen Leiter der LMK Herrn Dipl.-Ing. Joachim Lehnert danke ich für die Betreuung und die hilfreichen fachlichen Diskussionen.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Andreas Steil, der diese Arbeit in wesentlichen Zügen angeregt hat, für die Betreuung und dienlichen fachlichen Diskussionen. Durch seine engagierten organisatorischen Tätigkeiten konnten die Untersuchungen, mit umfangreichen Equipment der neuesten Generation, durchgeführt werden.

Mein spezieller Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. (FH) Felix Schad, der durch seine tatkräftige Unterstützung und durch seine freundschaftliche Art, sowie seine stete Diskussionsbereitschaft zum Gelingen der Arbeit ganz wesentlich beigetragen hat.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Martin Kreutzer danke ich für das Interesse und die Übernahme der Zweitkorrektur.

Des weiteren möchte ich folgenden Firmen und Institutionen danken, die mit Rat und materieller Unterstützung die Untersuchungen begleitet haben:

**KATHREIN**

**PLISCH**  
Hans H. Plisch GmbH + Co. KG

**ROHDE & SCHWARZ**

**MAXIM**

DRM-MODULATOR  
**SPARK**

Dr.-Ing. Manfred Kühn  
**MOBILE BROADCAST CONSULT**

**SPINNER**

**Fraunhofer** IIS  
Institut Integrierte Schaltungen

**Visteon**

 Bundesnetzagentur

**PURE**

Diese Auflistung impliziert in keinsten Weise irgendeine Gewichtung. Ich hoffe niemand vergessen zu haben.

Zum guten Schluss, möchte ich meiner Familie und Freunden für ihre Unterstützung während der Arbeit danken.



---

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>1. Zusammenfassung</b>	<b>7</b>
<b>2. Einleitung</b>	<b>9</b>
2.1. Ausgangslage . . . . .	9
2.2. Motivation, Aufgabenstellung und Zielsetzung . . . . .	10
2.3. Inhaltsübersicht . . . . .	11
2.4. Hinweise für den Leser . . . . .	11
<b>I. Teil I: Technischer Abschlussbericht</b>	<b>13</b>
<b>3. DRM<sup>+</sup> Prototypenempfänger</b>	<b>15</b>
3.1. VHF-Band III DRM <sup>+</sup> -Empfänger . . . . .	15
3.1.1. Rx 1 . . . . .	15
3.1.2. Rx 2 . . . . .	16
3.1.3. Mindestempfangspegel der Frontends . . . . .	17
3.1.4. Rauschmaß der Frontends . . . . .	17
3.1.5. Linearität der Frontends . . . . .	18
3.1.6. ZF-Filter . . . . .	21
3.1.7. Phasenrauschen . . . . .	23
3.1.8. Phasenrauschen des gesamten Empfängersystems . . . . .	24
3.2. VHF-Band II DRM <sup>+</sup> -Empfänger . . . . .	25
3.3. Zusammenfassung Empfänger . . . . .	26
<b>4. Kanalsimulation (Fading)</b>	<b>27</b>
4.1. Theoretische Betrachtung . . . . .	27
4.1.1. Freiraumdämpfung . . . . .	27
4.1.2. Abschattung . . . . .	28
4.1.3. Mehrwegeausbreitung . . . . .	28
4.1.3.1. Delay Spread . . . . .	28
4.1.3.2. Kurzzeitschwund . . . . .	29
4.1.4. Mobiler Empfang . . . . .	29
4.2. Laboruntersuchung (Kanalsimulation) . . . . .	30
4.2.1. Messaufbau DRM <sup>+</sup> . . . . .	30
4.2.2. DRM <sup>+</sup> . . . . .	31
4.2.3. Maximale Geschwindigkeit . . . . .	32
4.2.3.1. Variable Freq. in VHF-Band III für Rx 1/Rx 2; Profil: Rural . . . . .	35
4.2.4. S/N der Profile . . . . .	37
4.2.4.1. AWGN . . . . .	37
4.2.4.2. Mehrwegeprofile . . . . .	39
4.2.5. DAB . . . . .	41
4.2.6. Messaufbau DAB . . . . .	42
4.2.7. Ergebnisse des Vergleich DRM <sup>+</sup> mit DAB . . . . .	43

<b>5. Schutzabstandsmessungen</b>	<b>45</b>
5.1. Kanalplanung . . . . .	46
5.2. DAB stört DRM <sup>+</sup> . . . . .	46
5.2.1. Störkriterium . . . . .	46
5.2.2. Messaufbau . . . . .	46
5.2.3. Nutzsignal . . . . .	48
5.2.4. Störsignal . . . . .	48
5.2.5. Ergebnisse DAB stört DRM <sup>+</sup> . . . . .	49
5.2.6. Vergleich der Prototypenempfänger . . . . .	50
5.2.7. Mit/ohne DAB-Maskenfilter . . . . .	53
5.2.8. 4-QAM vs. 16-QAM-Variante . . . . .	54
5.2.9. Niedriger/hoher Leistungspegel . . . . .	55
5.2.10. Vergleich DAB-Störsender . . . . .	56
5.2.11. Vergleich der Ergebnisse mit „DRM <sup>+</sup> stört DRM <sup>+</sup> “ . . . . .	57
5.3. DRM <sup>+</sup> stört DAB . . . . .	58
5.3.1. Störkriterium . . . . .	58
5.3.2. Messaufbau . . . . .	58
5.3.2.1. Verwendete DAB Testempfänger . . . . .	59
5.3.2.2. DRM <sup>+</sup> -Filter im VHF-Band III . . . . .	59
5.3.3. Nutzsignal . . . . .	60
5.3.4. Störsignal . . . . .	61
5.3.5. Ergebnisse DRM <sup>+</sup> stört DAB . . . . .	62
5.3.5.1. Gleichkanalbetrachtung . . . . .	62
5.3.5.2. Schutzabstandskurven . . . . .	65
5.4. Vergleich der Ergebnisse . . . . .	67
<b>II. Teil II: Anhänge</b>	<b>69</b>
<b>6. DRM<sup>+</sup> Mehrwegesimulationen (Fading)</b>	<b>71</b>
6.1. Ermittlung der maximal möglichen Geschwindigkeit . . . . .	71
6.1.1. Rural . . . . .	71
6.1.2. Hilly terrain . . . . .	74
6.1.3. terrain obstructed . . . . .	76
6.1.4. Urban (Vehicle) . . . . .	79
6.1.5. 4/16 QAM; Rx 1 . . . . .	81
6.2. S/N der Profile . . . . .	83
6.2.1. Hilly terrain . . . . .	83
6.2.2. terrain obstructed . . . . .	86
6.2.3. Urban (Vehicle) . . . . .	88
6.2.4. Urban (Pedestrian) . . . . .	91
6.2.5. Rural . . . . .	93
6.2.6. 4/16 QAM alle Empfänger . . . . .	96
<b>7. Schutzabstandsmessung</b>	<b>97</b>
7.1. Spektrumsaufnahmen der verwendeten Signale mit hoher Dynamik . . . . .	97
7.2. Filter . . . . .	98
7.2.1. Bandpassfilter Kathrein . . . . .	98
7.2.2. Bandpassfilter SPINNER . . . . .	99
7.3. DAB stört DRM <sup>+</sup> . . . . .	101
7.3.1. Signalverlauf DAB Störsignal - Tx SDA730 (Plisch) . . . . .	101
7.3.2. Signalverlauf DAB Störsignal - Tx SLA8200 (R&S) . . . . .	102
7.3.3. Messaufbau Schutzabstandsmessung - Tx SLA8200 . . . . .	102

7.3.4.	4 QAM Variante . . . . .	104
7.3.4.1.	Tabellen . . . . .	104
7.3.4.2.	Diagramme . . . . .	108
7.3.5.	16 QAM Variante . . . . .	111
7.3.5.1.	Tabellen . . . . .	111
7.3.5.2.	Diagramme . . . . .	116
7.3.6.	4 QAM vs. 16 QAM Variante . . . . .	118
7.4.	DRM <sup>+</sup> stört DAB . . . . .	120
7.4.1.	Signalverlauf DRM <sup>+</sup> -Störsignal . . . . .	120
7.4.2.	DAB-Nutzsignal-Multiplex . . . . .	121
7.4.3.	Gleichkanal . . . . .	121
7.4.3.1.	Tabellen . . . . .	121
7.4.3.2.	Diagramme . . . . .	123
7.4.4.	Schutzabstandskurven . . . . .	125
7.4.4.1.	Tabellen . . . . .	125
7.4.4.2.	Diagramme . . . . .	128
7.5.	Vergleich DRM <sup>+</sup> stört DAB mit DAB stört DRM <sup>+</sup> . . . . .	131
<b>8.</b>	<b>Verwendete Formelzeichen</b>	<b>133</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>135</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>137</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>139</b>



---

# 1. Zusammenfassung

---

DRM<sup>+</sup>, der Mode E des DRM-System [Ins09], ist spezifiziert für VHF-Band I und VHF-Band II, d.h. für Frequenzen von 47 MHz – 174 MHz. Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Nutzbarkeit von DRM<sup>+</sup> im höhergelegenen Frequenzband VHF-Band III (174 MHz–230 MHz).

Die durchgeführten Arbeiten fanden im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit im Zeitraum Oktober 2009 bis März 2010 statt. Zu Beginn des Jahres 2010 wurde ein großangelegter Feldversuch gestartet, um die Ergebnisse der vorangegangenen Laboruntersuchungen zu verifizieren. Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen werden in diesem Bericht dokumentiert auf die Arbeiten des Feldversuches wird in einem gesonderten Bericht eingegangen. In der vorliegenden Untersuchung werden die durchgeführten Arbeiten ausführlich beschrieben sowie die gewonnenen Erkenntnisse diskutiert und bewertet.

## **Folgende Ziele wurden in der vorliegenden Arbeit angestrebt und erreicht:**

1. Konzeption, Aufbau, Inbetriebnahme sowie Untersuchung der Performance der aufgebauten kompletten VHF-Band III DRM<sup>+</sup>-Übertragungskette. Ein besonderes Augenmerk liegt in der Beurteilung der Eignung des verwendeten DAB-Senderequipments wie auch der DAB-Frontends für die Nutzung von DRM<sup>+</sup>.
2. Durch eine Vielzahl von Kanalsimulationen können potenzielle Einschränkungen von DRM<sup>+</sup> im VHF-Band III ermittelt werden und eine Aussage zur mobilen Nutzbarkeit des Systems gemacht werden. Die Nutzbarkeit in einem Gleichwellennetz (SFN<sup>1</sup>) wurde nicht betrachtet.
3. Für die Netzplanung wichtigen Planungsparameter wie Mindestempfangsfeldstärke, Fading-Aufschlag sowie Schutzabstände zu den im VHF-Band III etablierten DAB-System wurden durch Messungen an der Übertragungskette ermittelt.

## **Aus den durchgeführten Untersuchungen und daraus resultierenden Ergebnissen können folgende Kernaussagen zur Nutzbarkeit des DRM<sup>+</sup>-Systems im VHF-Band III gemacht werden:**

- DRM<sup>+</sup> kann im VHF-Band III ohne signifikante Einschränkungen gegenüber dem VHF-Band II betrieben werden. Bei den „Hardware in the Loop“-Kanalsimulationen wurden alle Kanalprofile (bis auf SFN) des ETSI Standards [Ins09] erfüllt. Lediglich bei dem Autobahnprofil „Rural“ zeigten sich ab Geschwindigkeiten über 130 km/h Einschränkungen. Diese können aber durch die Wahl einer der unteren VHF-Band III Frequenzen komplett entschärft werden. Es gilt zu bedenken, dass für die durchgeführten Messungen Prototypenempfänger auf Basis von DAB-Frontends genutzt wurden. Es zeigte sich, dass durch Optimierung der Empfängerfrontends auf das DRM<sup>+</sup>-Signal die Fading-Effekte weiter entschärft werden können.
- Bei der Betrachtung der Störsituation zeigte sich, dass „DRM<sup>+</sup> stört DAB“ eine annähernd gleiche Störwirkung hat wie „DAB stört DAB“. Im ersten Nachbarblock beträgt der Schutzabstand –42 dB. Im Gleichkanalfall liegt der Schutzabstand bei einem DRM<sup>+</sup>-Störer bei 7 dB, ab zwei DRM<sup>+</sup>-Störern beträgt er 10 dB, ähnlich zu dem Schutzabstand von „DAB stört DAB“ im Gleichkanal [ITU05].

---

<sup>1</sup>Single-Frequency Network, eng.: Gleichwellennetz

- Der umgekehrte Fall „DAB stört DRM<sup>+</sup>“ erweist sich als noch weniger problematisch. Im Nachbarblock beträgt der Schutzabstand für eine DRM<sup>+</sup>-Modulation von 16 QAM  $-50$  dB und im Gleichkanal  $-5$  dB. Bei einer 4 QAM Modulation beträgt der Schutzabstand im Nachbarblock  $-54$  dB und im Gleichkanal  $-9$  dB.
- Der verwendete DAB-Sender lieferte ein DRM<sup>+</sup>-Signal mit hoher Güte. Daher sollte der Aufbau von DRM<sup>+</sup>-Sendern problemlos und günstig durch die Verwendung vorhandener Hardware möglich sein. Auch ungefiltert änderten sich die Schutzabstände für den Fall „DRM<sup>+</sup> stört DAB“ nicht. Daher könnte auch hier die kostengünstige Lösung mit der Verwendung von DAB Filtern genutzt werden, für die Unterdrückung der Harmonischen/Spiegelfrequenzen wäre diese Lösung ausreichend.
- Die eingesetzten DRM<sup>+</sup>-Prototypenempfänger auf Basis von DAB-Frontends lieferten bereits sehr gute Empfangsergebnisse. Bei den Schutzabstandsmessungen zeigte sich, dass durch den Einsatz eines schmalbandigen ZF-Filter der Schutzabstand um ca. 4 dB im Gleichkanal verbessert werden kann. Ausserdem kann durch Einsatz einer speziell auf das schmalbandige DRM<sup>+</sup>-Signal ausgelegten AGC<sup>2</sup>-Regelung die Performance unter Fading-Situationen deutlich verbessert werden.
- Zur Stabilität der DRM<sup>+</sup> Sender- Empfangskette kann gesagt werden, dass inzwischen ein komplett stabiles System vorliegt. Angefangen von der Multiplexererstellung bis zum Decoder arbeitete das Prototypensystem bei den Kanalsimulationen unter schwierigsten Empfangsbedingungen über 500 Stunden absturzfrei.

### Fazit:

DRM<sup>+</sup> ist ein geeigneter Kandidat, um das DAB/DAB+ System im VHF-Band III zu ergänzen. Durch die überwiegende Nutzbarkeit von DAB-Equipment sollten Sender und Empfänger preisgünstig produzierbar sein. Das Störpotenzial auf das etablierte DAB System ist vergleichbar niedrig, wie auch bei anderen OFDM<sup>3</sup> Systemen. Im mobilen Empfangsfall zeigten sich eine leichte Überlegenheit des DAB-Systems. Durch die größere Bandbreite und den größeren Subträgerabständen ist es bei hohen Geschwindigkeiten und Stadtgebieten, in denen lange Delay Spreads auftreten, dem schmalbandigen DRM<sup>+</sup>-System überlegen. Diese Einschränkungen sind aber in der Praxis nicht von Bedeutung, da gezeigt werden konnte, dass auch mit dem DRM<sup>+</sup>-System Geschwindigkeiten von über 150 km/h möglich sind. Neben den leichten übertragungstechnischen Nachteilen gegenüber DAB (Schmalbandigkeit) gilt es auch andere Aspekte zu bedenken. DRM<sup>+</sup> bietet wirtschaftliche und frequenzökonomische Vorteile für den regionalen und lokalen Rundfunk.

---

<sup>2</sup>Automatic Gain Control, engl.: autom. Verstärkungsregelung

<sup>3</sup>Orthogonal Frequency Division Multiplex

---

## 2. Einleitung

---

### 2.1. Ausgangslage

Im Zuge der Umsetzung der Entwicklungsperspektiven für den regionalen Hörfunk in Rheinland-Pfalz ist es Ziel, im Rahmen praktischer Erprobungen zu untersuchen, ob die z. Zt. diskutierten neuen digitalen Übertragungstechniken für den Hörfunk auch zur Umsetzung der regionalen und lokalen Strukturen in Rheinland-Pfalz einsetzbar sind. Der Fokus lag dabei auf der Digitalisierung des UKW-Bands, für das es zwar einen Abschaltzeitpunkt kraft Gesetz (TKG) im Jahr 2015 gibt aber weder technische noch marktregulative Lösungen. Zur digitalen Umstellung des UKW-Bereichs scheidet DAB aus, und auch für HD-Radio<sup>TM</sup> werden aus technischer Sicht kaum Chancen für eine Nutzung im europäischen Raum gesehen. Daher konzentrierten sich die technischen Untersuchungen auf die Weiterentwicklung des DRM-Systems [Ins09]. Das DRM-System bietet mit dem seit August 2009 standardisierten „Mode E“ – im Rahmen dieses Dokuments als DRM<sup>+</sup> bezeichnet – einen vorzüglich geeigneten Kandidaten für ein digitales Hörfunksystem.

Die bisherigen Arbeiten zu DRM<sup>+</sup>, die von der FH Kaiserslautern in enger Kooperation mit der Landesanstalt für Medien und Kommunikation (LMK) Rheinland-Pfalz bzw. der Technischen Konferenz der Landesmedienanstalten (TKLM) durchgeführt wurden, haben erste richtungweisende Ergebnisse im Zuge der Standardisierung von DRM<sup>+</sup> geliefert, die aufzeigen, unter welchen technischen Randbedingungen der UKW-Hörfunk mit DRM<sup>+</sup> in einem Migrationsszenario mit FM-Sendern digitalisiert werden könnte. Zu diesen Arbeiten zählen insbesondere:

- Technische Machbarkeitsuntersuchung zu DRM<sup>+</sup> als Rundfunkübertragungsverfahren [Ber05, Leh06].
- Konzept und Implementierung der echtzeitfähigen DRM/DRM<sup>+</sup>-Modulators „Spark“ [Fei05, Fei].
- Ausführliche Laboruntersuchungen zum Thema „Verträglichkeit zwischen DRM<sup>+</sup> und HD-Radio<sup>TM</sup> mit UKW-FM und angrenzenden Funkdiensten (BOS-Funkdienste, Flugfunk)“ [SSR07, HSE07].
- Aufbau des weltweit ersten echtzeitfähigen DRM<sup>+</sup>-Senders und Empfängers und Durchführung eines Feldversuchs mit DRM<sup>+</sup> im UKW-FM-Frequenzbereich [SSL08, SSL08].
- Ausführliche Laboruntersuchungen und ein Feldversuch zur Ermittlung aller versorgungsrelevanter Parameter für die Einplanung von DRM<sup>+</sup> im VHF-Band II. (DRM<sup>+</sup> Versorgungsbegriff; Schutzabstände DRM<sup>+</sup> mit UKW-FM und DRM<sup>+</sup> mit DRM<sup>+</sup> [SSK09])
- Untersuchung zur Frequenznetzeinplanung von DRM<sup>+</sup> im VHF-Band II sowie Betrachtung möglicher SFN-Szenarien [SLSK08].

Durch die Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass DRM<sup>+</sup> ein idealer Kandidat für die Digitalisierung des VHF-Bandes II ist. Folgende technische Aspekte sprechen hierfür:

- Die angrenzenden Funkdienste haben kein offensichtliches Verträglichkeitsproblem mit DRM<sup>+</sup>.

- DRM<sup>+</sup> ermöglicht die Übertragung von bis zu zwei Radioprogrammen in CD-Qualität oder einem mit 5.1 Dolby-Surround sowie div. Datendienste.
- Die Ersetzung bestehender FM-Sender durch DRM<sup>+</sup> ist möglich. Durch eine reduzierte Leistung kann eine mindestens gleichgroße Empfangsabdeckung bei vergleichbarer Störwirkung auf benachbarte FM-Sender erreicht werden.
- Die Nutzung von DRM<sup>+</sup> Gleichwellennetzen (SFN) ermöglicht eine effizientere Frequenzbandnutzung im VHF-Band II.

### 2.2. Motivation, Aufgabenstellung und Zielsetzung

Trotz der im vorherigen Abschnitt beschriebenen - aus technischer Sicht - problemlosen Nutzbarkeit von DRM<sup>+</sup> im VHF-Band II ist nicht mit einer schnellen Digitalisierung und somit dem Abschalten von UKW-FM Sendern in Europa zu rechnen. Daher kam der Wunsch auf, DRM<sup>+</sup> in anderen Frequenzbereichen zu nutzen und somit kleineren lokalen und regionalen Sendern die Möglichkeit, zu geben zeitnah auf den „digitalen Zug“ aufzuspringen. Als mögliche Frequenzbereiche sind das VHF-Band I (47-68 MHz) sowie das VHF-Band III (174-230 MHz) im Gespräch. Für ein dichtbesiedeltes Gebiet wie Deutschland erscheint die Einplanung von DRM<sup>+</sup> in das VHF-Band III aufgrund geringerer Antennengröße, weniger Man-Made-Noise und weniger Störungen durch atmosphärisch bedingte Überreichweiten wesentlich attraktiver. Die Nutzung von DAB/DAB+ für regionale Sender erscheint aus frequenzökonomischer Sicht wie auch aus finanziellen Gründen (höherer Energieverbrauch) nicht sinnvoll.

#### **Folgende Aspekte sprechen für die Nutzung von DRM<sup>+</sup> neben dem DAB-System im VHF-Band III:**

- Die DAB-Familie ist für großflächige SFN konzipiert, aber für die einzelne regionale Sender eher unattraktiv.
- Die komplette Frequenzbandnutzung im VHF-Band III allein mit DAB ist nicht realistisch.
- Aufgrund des rein digitalen Systems im VHF-Band III sowie genügend freier Frequenzblöcke ist eine Einplanung und Genehmigung wesentlich einfacher als im VHF-Band II.
- DRM<sup>+</sup> hat viele Gemeinsamkeiten mit dem DAB-System. Daher sollte man preisgünstige Empfänger - die beide Systeme unterstützen - entwickeln können.

Aus diesen Gründen wird sich zum Ziel gesetzt die Einsetzbarkeit von DRM<sup>+</sup> im VHF-Band III mit dieser Arbeit näher zu betrachten.

#### **Folgende Ziele werden in der vorliegenden Arbeit angestrebt (Aufgabenstellung):**

1. Konzeption, Aufbau, Inbetriebnahme sowie Untersuchung der Performance einer kompletten VHF-Band III DRM<sup>+</sup>-Übertragungskette. Ein besonderes Augenmerk wird auf die Beurteilung der Eignung des verwendeten DAB-Senderequipments wie auch der DAB-Frontends für die Nutzung von DRM<sup>+</sup> gelegt.
2. Die Effekte der höheren Frequenz auf das für das VHF-Band II geplante DRM<sup>+</sup>-System soll anhand von Kanalsimulationen bestimmt werden. Potenzielle Einschränkungen sollen ermittelt und im Vergleich zu DRM<sup>+</sup> im VHF-Band II sowie dem DAB-System dargestellt werden.
3. Für die Netzplanung wichtige Planungsparameter wie Mindestempfangsfeldstärke, Fading-Aufschlag sowie Schutzabstände zu den im VHF-Band III etablierten DAB-System sollen durch Messungen an der Übertragungskette ermittelt werden.

## 2.3. Inhaltsübersicht

Teil I (S. 15 ff.) beschreibt ausführlich die Ergebnisse der Laboruntersuchungen und gliedert sich wie folgt:

**Kapitel 3** beschreibt die Messungen an den drei DRM<sup>+</sup> Prototypenempfänger der FH-KL.

**Kapitel 4** beschreibt Untersuchungen zur Ermittlung potenziellen Einschränkungen bei der Nutzung von DRM<sup>+</sup> im VHF-Band III. Durch Kanalsimulationen wird der mobile Empfangsfall betrachtet. Hierbei werden die Grenzen der Nutzbarkeit ermittelt und im Vergleich zum DRM<sup>+</sup> im VHF-Band II sowie dem DAB-System dargestellt.

**Kapitel 5** beschreibt die mit dem System durchgeführten Schutzabstandsmessungen zu dem etablierten DAB-System im VHF-Band III. Anhand der Ergebnisse können erste Frequenzplanungen eines DRM<sup>+</sup>-Nutzsenders sowie erste Prognosen für die Empfangbarkeit des Signals unternommen werden.

## 2.4. Hinweise für den Leser

Dieses Dokument ist am besten in seiner digitalen Fassung zu lesen. Die farblich umrandeten Textstellen markieren Hyperlinks, mit denen bequem innerhalb des Dokuments zu den referenzierten Stellen gesprungen werden kann. Mit der „Zurück“-Taste des Anzeigeprogramms kann wieder zur ursprünglichen Lesestelle verzweigt werden. Zusätzlich steht in diesem Dokument eine besondere Kennzeichnung spezieller Links zur Verfügung:



**Teil I.**

**Teil I: Technischer Abschlussbericht**



---

## 3. DRM<sup>+</sup> Prototypenempfänger

---

### 3.1. VHF-Band III DRM<sup>+</sup>-Empfänger

Für den DRM<sup>+</sup>-Empfang im VHF-Band III wurden auf der Basis von zwei State-of-the-Art DAB-Frontends zwei Prototypenempfänger entwickelt. Beide Frontends wurden für den DAB-Empfang im Kraftfahrzeug entwickelt. Bei allen ermittelten Ergebnissen gilt es zu bedenken, dass es sich um Prototypenempfänger handelt und somit Potenzial nach oben besteht. Die Bewertung der Leistungsfähigkeit der entwickelten Prototypenempfänger wurde überwiegend analog den bewährten Messungen und Untersuchungen für den Prototypenempfänger im VHF-Band II [SSK09] durchgeführt.

#### 3.1.1. Rx 1

Der hier im Bericht als Rx1 bezeichnete Prototypenempfänger basiert auf dem State-of-the-Art Multiband-Frontend MAX2172 der Firma Maxim. Abb. 3.1 zeigt den Aufbau des Empfängers als Blockschaltbild.

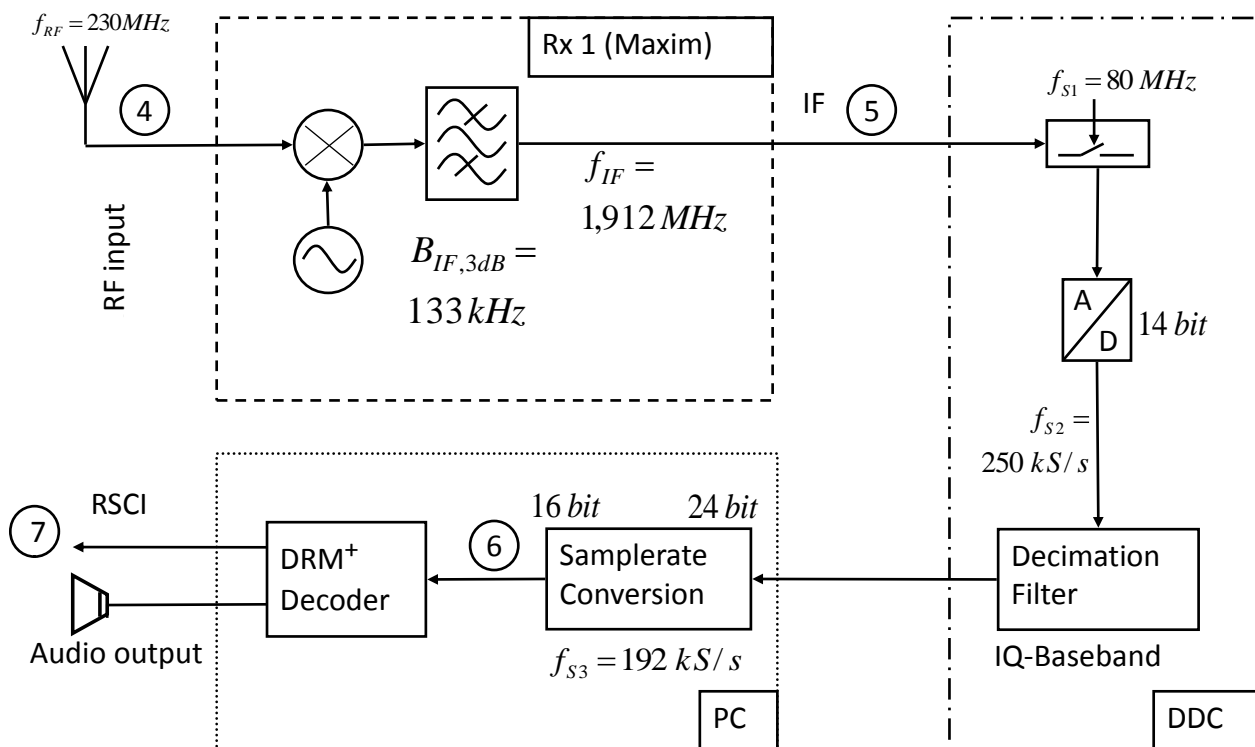


Abb. 3.1.: Blockschaltbild des DRM<sup>+</sup>-Prototypenempfängers Rx 1

Das verbaute Frontend wurde entwickelt für den DAB/DAB+/DMB Empfang im VHF-Band III / L-Band sowie den FM Empfang im VHF-Band II. Der genutzte Evaluation-Kit ermöglicht über einen mit Parallelport angebindenen PC die Konfiguration des Chipsatzes per Software. Für die

Nutzung als DRM<sup>+</sup>-Prototypenempfänger liegt die Hauptaufgabe des Frontends in der Frequenzumsetzung von einer frei wählbaren RF-Frequenz im VHF-Band III Referenzpunkt ④ in Abb. 3.1 in die ZF-Frequenz (1,912 MHz Referenzpunkt ⑤). Dabei wurde der automatische Verstärkungsregelkreis (AGC) so konfiguriert, dass am A/D-Wandler-Eingang auf eine Software-AGC verzichtet werden konnte. Besonders interessant für die Nutzung als DRM<sup>+</sup>-Empfänger ist die Möglichkeit, den schmalbandigen FM ZF-Filter auch im VHF-Band III zu nutzen. Das Frontend wurde in einem HF-abgeschirmten Gehäuse zusammen mit einer Versorgungsspannungsregelung verbaut (s. Abb. 3.2). Die Weiterverarbeitung des ZF-Signals erfolgt analog des Aufbaus des Prototypenempfängers im VHF-Band II [SS08, SSK09]. Das ZF-Signal (Referenzpunkt ⑤) wird mit dem bereits im VHF-Band II Prototypenempfänger verwendeten A/D-Wandler und Digitalem Abwärtswandler Perseus [Mic] angenommen. Dieser tastet das Eingangssignal mit einer Samplefrequenz von 80 MHz und einer Auflösung von 14 Bit ab und dezimiert diese zu einer Samplefrequenz von 250 kHz bei gleichzeitiger Konversion in das komplexe Basisband. Die digitalen IQ-Basisbandsamples werden über die USB-Schnittstelle einem PC / Laptop mit einer Auflösung von 24 Bit zur Verfügung gestellt. An dieser Stelle wird die Abtastrate und die Wortbreite der digitalen Daten an die Anforderungen des DRM<sup>+</sup>-Decoders (192 kHz, 16 Bit) angepasst (Referenzpunkt ⑥). Hierzu ist an dieser Stelle ein weiteres Filter notwendig, welches die Eingangsdaten beim Übergang von  $(250/2)$  kHz = 125 kHz auf  $(192/2)$  kHz = 96 kHz bandbegrenzt. Der nachfolgende DRM<sup>+</sup>-Decoder (Fraunhofer IIS Erlangen V 0.3.0) führt die Synchronisation, Demodulation und Wiederherstellung der DRM-Multiplexdaten durch. Der Multiplex wird am Referenzpunkt ⑦ an die passende Anwendung weitergegeben, z.B. einem Audiodecoder oder Bitfehlerratenmessgerät. Abb. 3.3 zeigt den gesamten Empfängeraufbau aus Frontend, A/D-Wandler (Perseus) und Laptop mit der DRM<sup>+</sup> Decodersoftware.

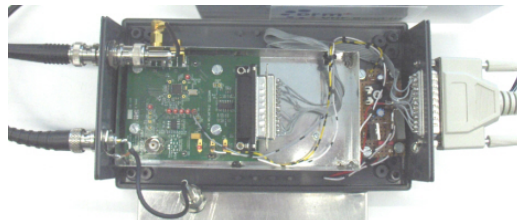


Abb. 3.2.: Rx 1, Innenansicht



Abb. 3.3.: Rx 1, Gesamtsystem

### 3.1.2. Rx 2

Bei dem zweiten Prototypenempfänger, der hier im Bericht als Rx 2 bezeichnet wird, handelt sich um einen vollwertigen DAB-Empfänger. Im Rahmen der Untersuchungen wurde er als DAB sowie DRM<sup>+</sup> Testempfänger genutzt. Für die Nutzung als DRM<sup>+</sup>-Empfänger wurde die hochohmige Zwischenfrequenz angezapft und durch ein Impedanztransformator (Balun) als 50 Ω Ausgang herausgeführt (s. Abb. 3.4). Wie auch bei Rx 1 wird die Pegelregelung (AGC) des Frontends genutzt, sodass auch hier keine Software-AGC nach dem DDC<sup>1</sup> benötigt wird. Die Frequenz kann über das Frontpanel DAB-Blockweise gewählt werden; durch verschieben der ZF-Frequenz am A/D-Wandler kann das DRM<sup>+</sup>-Signal innerhalb des DAB-Blocks an einer beliebigen Position abgegriffen werden. Der ZF-Filter des Frontend ist für das DAB-Signal ausgelegt und hat eine 3 dB-Bandbreite von 1527 kHz. Ab Referenzpunkt ⑤ in Abb. 3.5 erfolgt die Weiterverarbeitung des ZF-Signals analog zu Rx 1 (s. 3.1.1).

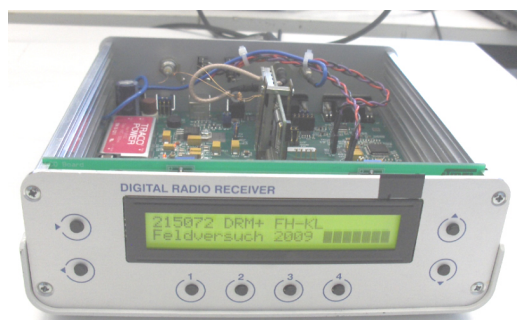
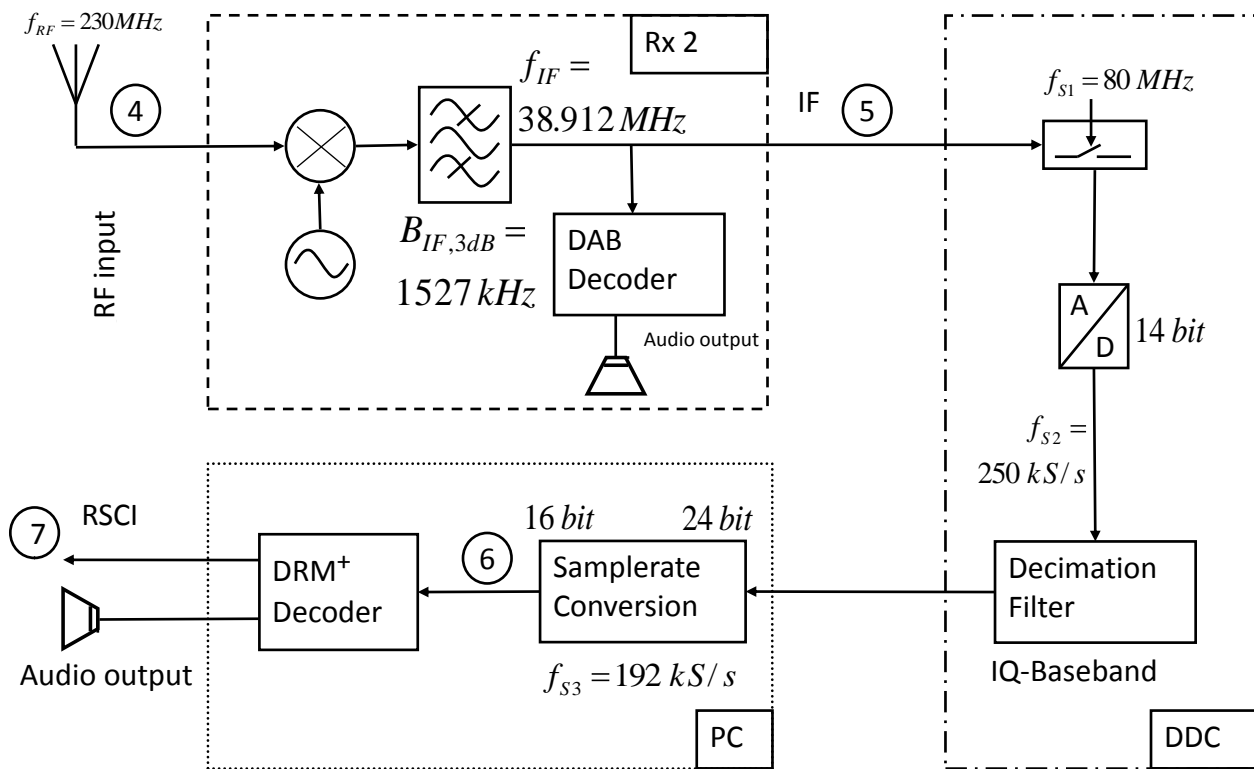


Abb. 3.4.: Rx 2

<sup>1</sup>DDC, engl. kurz für: Digital Downconverter (Perseus)

Abb. 3.5.: Blockschaltbild des DRM<sup>+</sup> Empfänger Rx 2

### 3.1.3. Mindestempfangspegel der Frontends

Der Mindestempfangspegel  $S_{min}$  der Prototypenempfänger wurde durch Dämpfung des Eingangssignal bis zum Erreichen des definierten Empfangszustand  $\overline{BER} \leq 1 \cdot 10^{-4}$  [Ins09] bestimmt. Tab. 3.1 zeigt die Ergebnisse der Messung.

	Rx 1		Rx 2	
Modulation	4 QAM	16 QAM	4 QAM	16 QAM
$S_{min}$ / dBm	-112,2	-106,2	-117,2	-112,2

Tab. 3.1.: Mindestempfangspegel  $S_{min}$ 

### 3.1.4. Rauschmaß der Frontends

Das Rauschmaß der Frontends wurde aus den Mindestempfangspegeln (s. Tab. 3.1) und den dazugehörigen  $SNR_{Dec}$  berechnet. Näheres zur Bestimmung des  $SNR_{Dec}$  findet sich in Kapitel 4.2.4.1. Für das Rauschmaß gilt folgender Zusammenhang:

$$\text{Rauschmaß: NF} = 10 \log(F) \text{ dB} \quad (3.1)$$

$$\text{Rauschzahl:F} = \frac{(S/N)_{in}}{(S/N)_{out}} \quad (3.2)$$

Das Signal-zu-Rauschverhältnis  $SNR_{Dec}$  am Decodereingang ⑥ kann als  $(S/N)_{out}$  angenommen werden somit gilt:

$$(S/N)_{out} = SNR_{Dec} \quad (3.3)$$

Das Signal-zu-Rauschverhältnis am HF-Eingang des Frontends ④ ergibt sich aus der Mindestempfangspegel  $S_{min}$  (s. Tab. 3.1) und der Rauschleistung  $P_R$ . Diese beziffert die Rauschleistung an einem

Widerstand von  $50\ \Omega$  in einer Bandbreite von 1 Hz bei einer Standardraumtemperatur von 290 K unter der Voraussetzung, dass der Empfängereingang eine Eingangsimpedanz von  $50\ \Omega$  aufweist. Die Eingangsimpedanz wurde durch eine Messung mit einem Netzwerkanalysator überprüft.

$$(S/N)_{\text{in|dB}} = S_{\text{min}} - P_R \quad (3.4)$$

$$P_R = P_{R1\text{Hz}} + 10 \cdot \log(B/\text{Hz}) \quad (3.5)$$

$$P_R = -174\ \text{dBm} + 50\ \text{dBm} = -124\ \text{dBm} \quad (3.6)$$

In Tab. 3.2 sind die Ergebnisse der Rauschmaß-Berechnung der beiden Frontends für jeweils beide Modulationmodi aufgeführt. Man erkennt, dass Rx 2 gegenüber Rx 1 ein kleineres Rauschmaß besitzt, da das schmalbandige ZF-Filter von Rx 1 eine größere Durchlassdämpfung besitzt und dadurch zu einem höheren Mindestempfangspegel führt. Die Abweichung für den 4- und 16 QAM-Fall beim Rx 1 ist im Rahmen der Messunsicherheit von max.  $\pm 1\ \text{dB}$  bei der Mindestempfangspegel-Bestimmung.

	Rx 1		Rx 2	
Modulation	4 QAM	16 QAM	4 QAM	16 QAM
NF / dB	8,3	9,3	3,3	3,3

Tab. 3.2.: Ergebnisse Rauschmaßbestimmung der Frontends

### Beispielrechnung für den Fall: Rx 2; 16 QAM

Das  $(S/N)_{\text{in|dB}}$  ergibt sich gem. Gl. (3.4),(3.5),(3.6) wie folgt:

$$(S/N)_{\text{in|dB}} = -112,2\ \text{dBm} - (-124\ \text{dBm})$$

$$(S/N)_{\text{in|dB}} = 11,8\ \text{dB}$$

Das  $(S/N)_{\text{out|dB}}$  ergibt sich gem. Gl. (3.3) aus der  $\text{SNR}_{\text{Dec}}$  (s. Tab. 4.6) wie folgt:

$$(S/N)_{\text{out|dB}} = 8,5\ \text{dB}$$

Mit den beiden Signal-zu-Rauschverhältnissen kann schlussendlich gem. Gl. (3.1) das Rauschmaß des Frontends ermittelt werden:

$$\text{NF} = (S/N)_{\text{in|dB}} - (S/N)_{\text{out|dB}}$$

$$\text{NF} = 11,8\ \text{dB} - 8,5\ \text{dB}$$

$$\text{NF} = 3,3\ \text{dB} \approx 3\ \text{dB}$$

### 3.1.5. Linearität der Frontends

Zur Ermittlung des Amplitudengangs wurde am Eingang der Frontends ein Sinusträger variabler, bekannter Leistung eingespeist und seine Leistung am ZF-Ausgang ermittelt. Das Ergebnis ist in Abb. 3.6 dargestellt. Die AGCs der Frontends wurde so eingestellt, daß der max. Ausgangspegel des Frontends den nachfolgenden DDC nicht übersteuert. Beide Frontends halten ab einem Eingangsspegel von  $-100\ \text{dBm}$  den Ausgangspegel konstant, somit kann am DDC auf eine digitale Gainregelung verzichtet werden. Die Abbildung zeigt, daß die Anforderungen an die Linearität und den max. Ausgangspegel erfüllt sind.

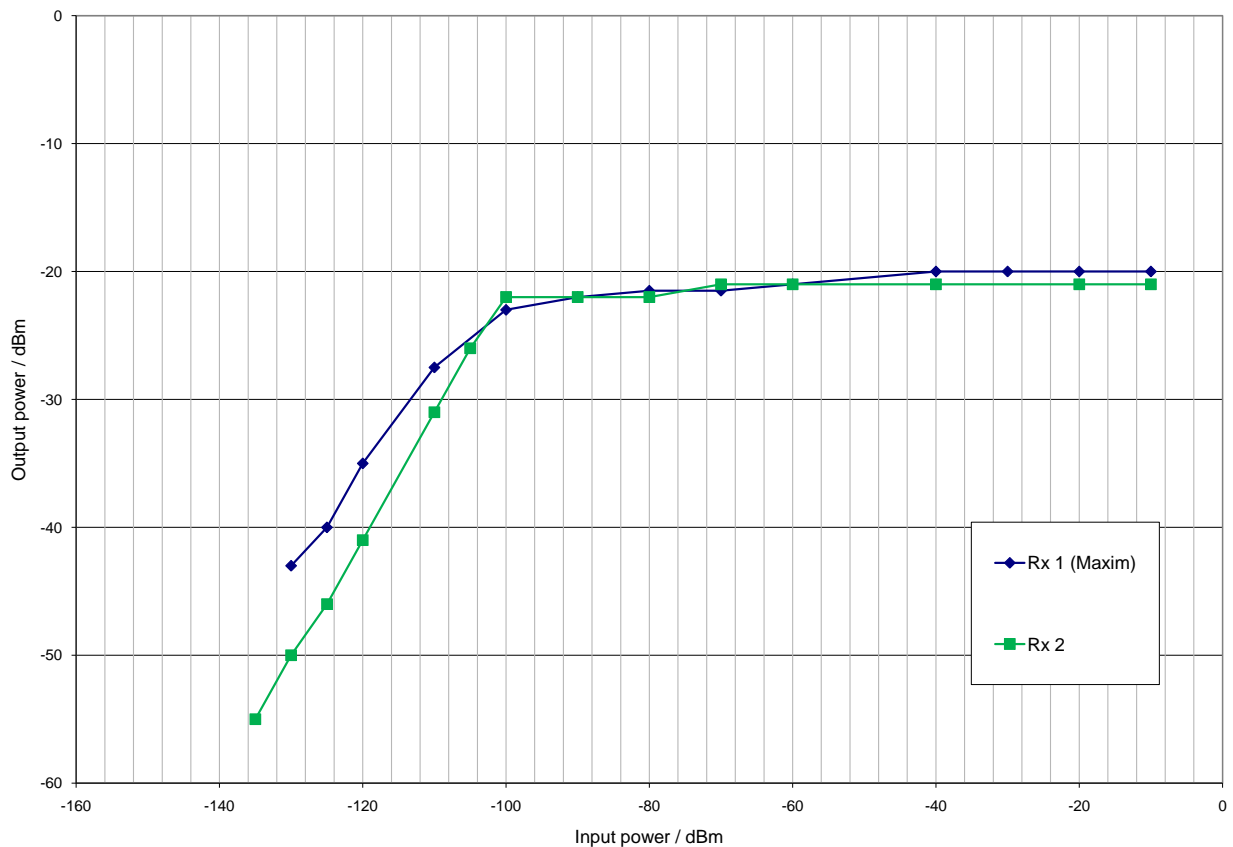


Abb. 3.6.: Amplitudengänge der Frontends bei Eintonansteuerung

Zur Prüfung der Intermodulationsfestigkeit des Frontends ist eine Zweitonenmessung nur bedingt aussagekräftig, da das Ergebnis aufgrund der AGC stark von den verwendeten Eingangspegeln abhängt. Alternativ dazu kann als Maßzahl der Schulterabstand des DRM<sup>+</sup>-Signals am ZF-Ausgang verwendet werden. Im allgemeinen gilt zwischen dem ausgangsbezogenem Intermodulationspunkt 3ter Ordnung OIP3, dem Ausgangspegel  $P_{\text{out}}$  und dem Schulterabstand  $S$  rauschähnlicher, bandbegrenzter Signale (wie in diesem Fall vorhanden) folgender Zusammenhang:

$$S/\text{dB} \approx 2 \cdot (\text{OIP3} - P_{\text{out}}/\text{dBm}) - 2,5 \text{ dB} \quad (3.7)$$

Der Schulterabstand ist ein wichtiges Maß für die Signalgüte in Bezug auf die Amplitudenlinearität der Übertragungskette. Er ist weiterhin ein indirektes Maß für die unerwünschten Mischprodukte außer- und innerhalb der Signalbandbreite. Die Störprodukte innerhalb der Signalbandbreite verringern das Signal-zu-Rauschverhältnis im Decoder: Sie wirken wie zusätzliche Störträger innerhalb des Nutzsignals. Bei geringen Eingangspegeln ist der erzielbare Schulterabstand indirekt ein Maß für das Empfängereigenrauschen.

Aus diesem Grunde wurde von der messtechnischen Bestimmung des IP3-Punktes abgewichen und der Schulterabstand bei unterschiedlichen Empfängereingangspegeln bestimmt, wie in Abb. 3.7, 3.8 dargestellt. Die Spitze und dass wieder ansteigen des Rauschpegels rechts des Signals in Abb. 3.8 kann nicht erklärt werden.

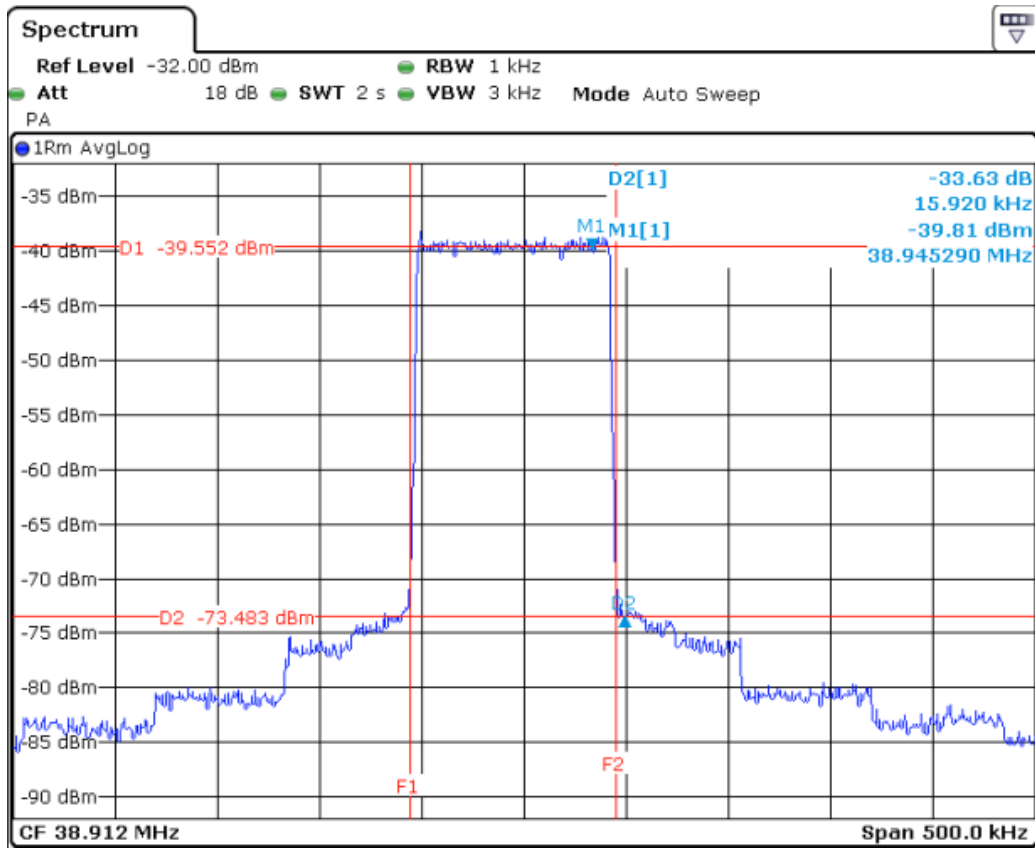


Abb. 3.7.: Empfängerseitiger Schulterabstand von Rx 2

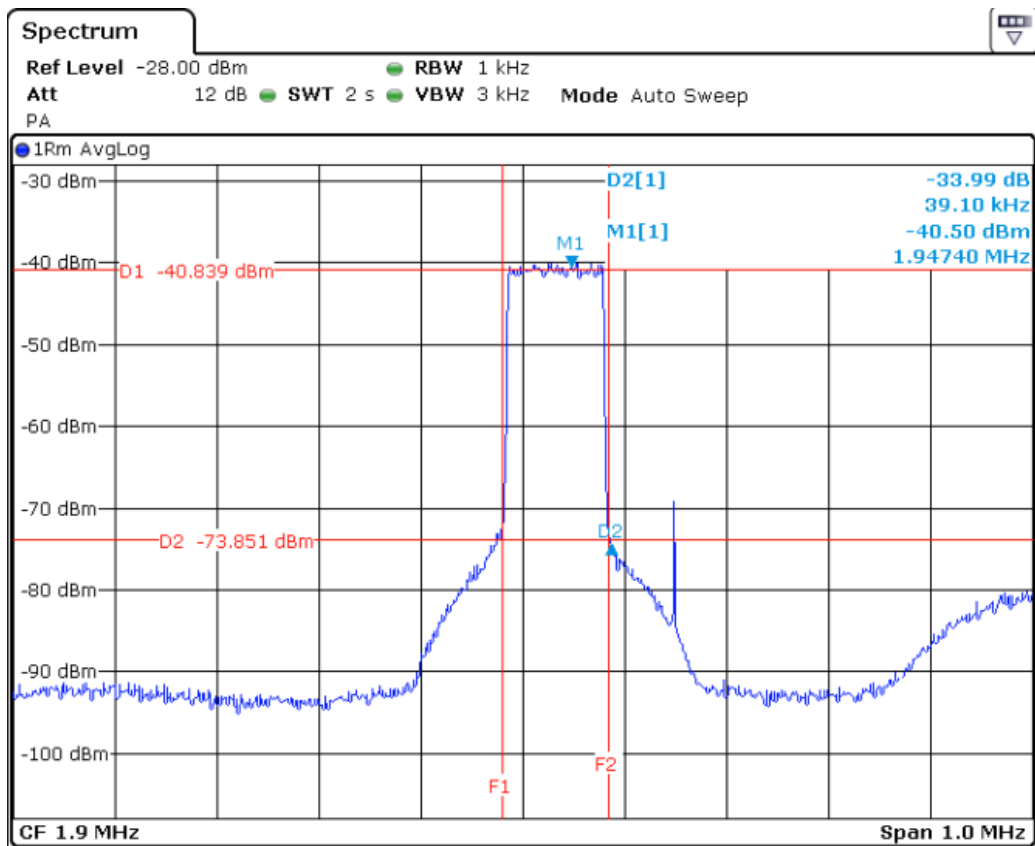


Abb. 3.8.: Empfängerseitiger Schulterabstand von Rx 1

In Tab. 3.3 sind für verschiedene Eingangsleistungspegel die jeweiligen Schulterabstände verzeichnet. Der senderseitige Schutzabstand war bei der Messung größer als 60 dB. Die Frontends haben einen maximalen Schulterabstand von 36 dB bzw. 37 dB. Diese wird bei Eingangsleistungspegeln von  $-40$  dBm erreicht und bleibt auch beim Eingriff der AGC auf diesem hohen Niveau. Bei solch hohen Werten für S kann davon ausgegangen werden, daß bei einer hohen Empfängereingangsleistung die Signalgüte durch Sättigungseffekte nicht beeinflusst wird. Die gemessenen Schulterabstände bei  $P_{in}$  von  $-110$  dBm verifizieren die Ergebnisse der Mindestempfangspegelmessung (s. Tab. 3.1). Der gemessene Schulterabstand von 7 dB bei Rx 1 reicht nicht aus für die Decodierung im 16 QAM-Fall ( $SNR_{Dec}=8,5$  dB).

$P_{in}/\text{dBm}$	S/ dB (Rx 1)	S/ dB (Rx 2)
-20	30	34
-40	36	37
-80	31	35
-82	31	33
-90	23	28
-100	15	19
-110	7	10

Tab. 3.3.: ZF-Schulterabstand als Funktion des Eingangspegels

### 3.1.6. ZF-Filter

Zur Ermittlung der ZF-Filterbandbreite wurden die Empfänger mit einem breitbandigem weißen Rauschen angesteuert und von der ZF-Mittenfrequenz ausgehend die Frequenzen bestimmt, bei welcher der Ausgangspegel gegenüber der max. Leistungspegel um 3 dB abfällt. Hieraus ergibt sich die 3 dB-Filterbandbreite (s. Abb. 3.9,3.10,3.11). Hier zeigt sich ein Hauptunterschied der beiden Frontends, beim Rx 1 kann im VHF-Band III Frequenzbereich der schmalbandige für den FM Empfang im VHF-Band II ausgelegte Filter genutzt werden, mit einer 3 dB-Filterbandbreite von 133 kHz. Bei Rx 2 steht nur der für DAB ausgelegte ZF-Filter zur Verfügung, mit einer 3 dB-Filterbandbreite von 1527 kHz. Der Effekt auf den Empfängern aufgeprägte Eingangsrauschen der unterschiedlich breiten Filter ist in Abb. 3.7,3.8 an dem deutlich niedrigeren Umgebungsrauschen zu erkennen.

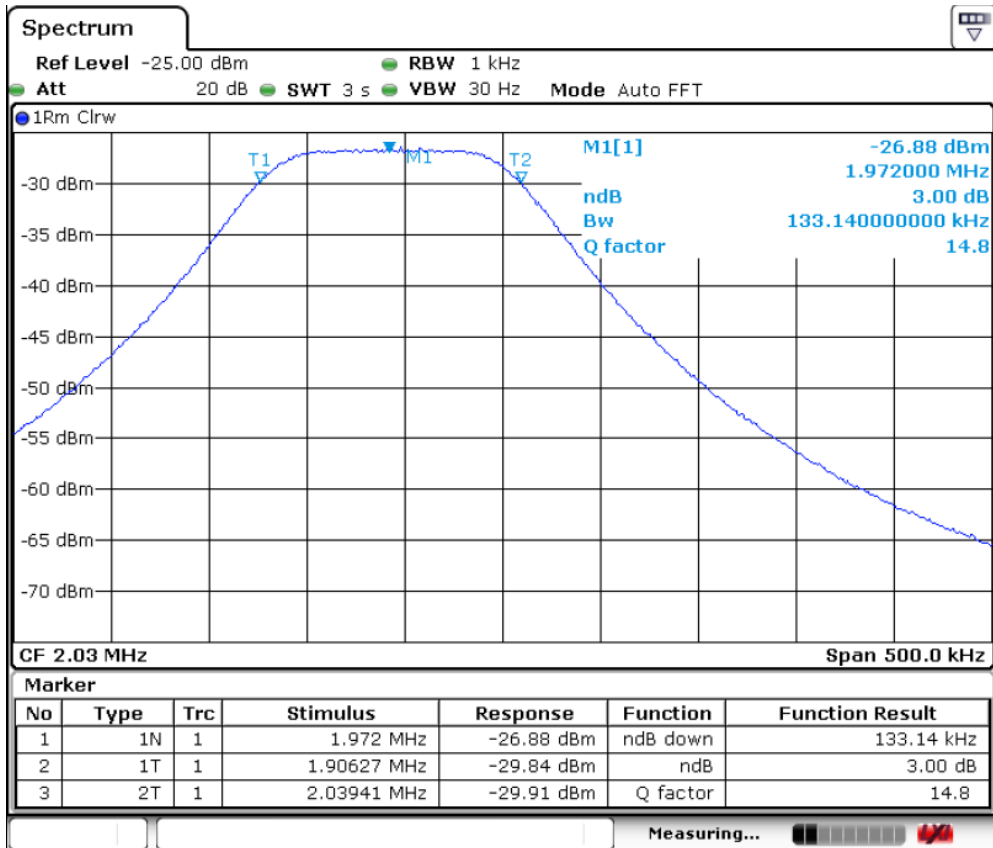


Abb. 3.9.: Nahbereichsaufnahme - ZF-Filter Rx 1

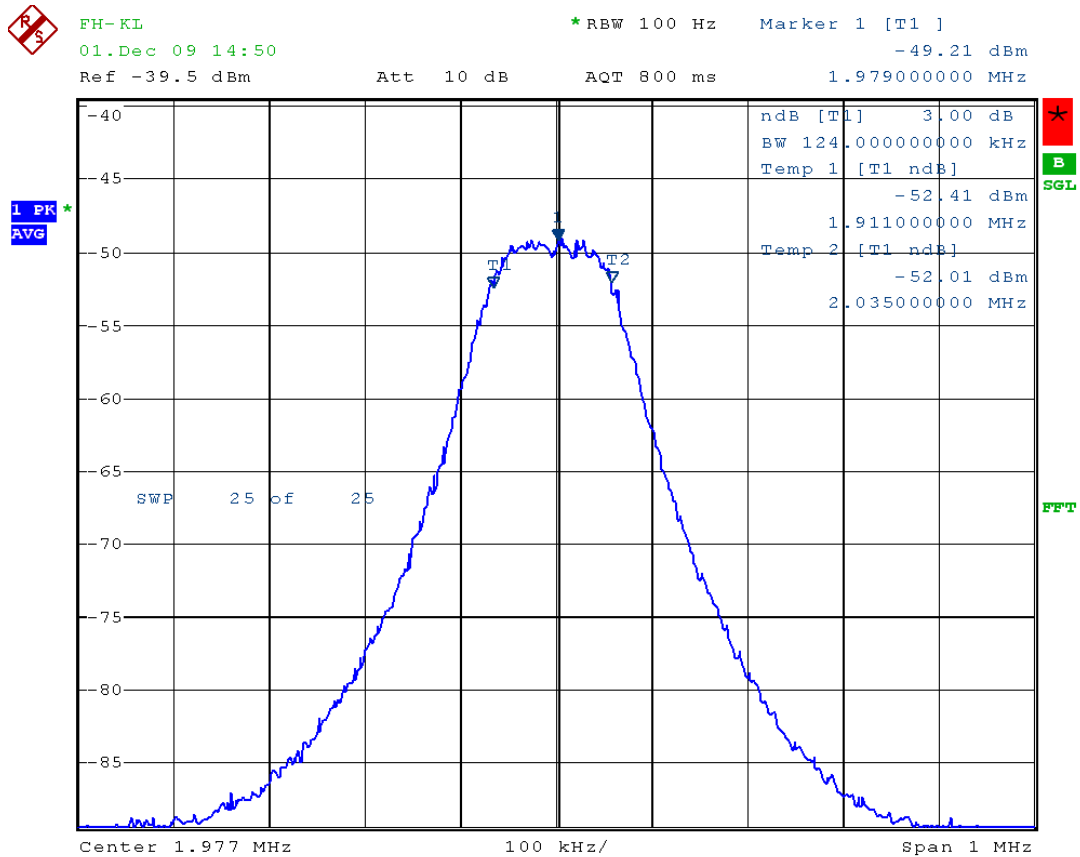


Abb. 3.10.: Breitbandige Darstellung - ZF-Filter Rx 1

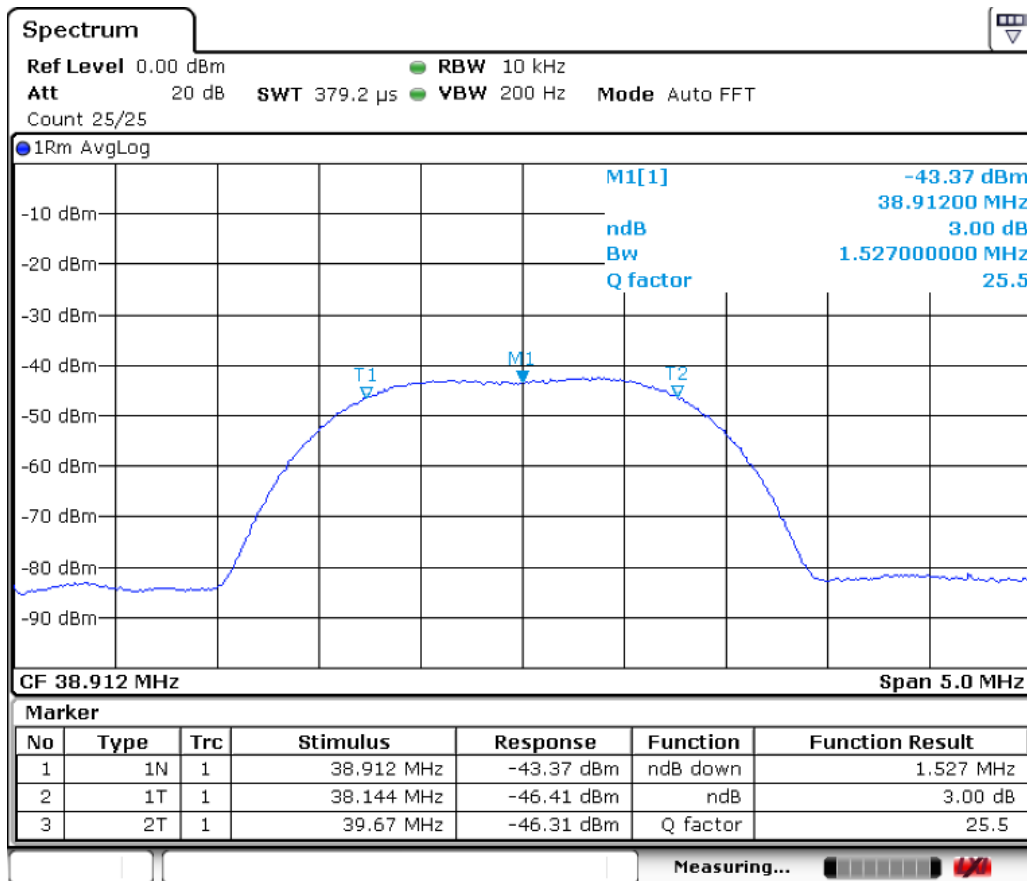


Abb. 3.11.: Nahbereichsaufnahme - ZF-Filter Rx 2

### 3.1.7. Phasenrauschen

Das Phasenrauschen<sup>2</sup> der Frontends kann nicht direkt bestimmt werden. Die Abb. 3.12 und Abb. 3.13 zeigen jeweils das Phasenrauschen über der Offset-Frequenz, die verzeichneten Angaben beruhen auf den Angaben der Hersteller.

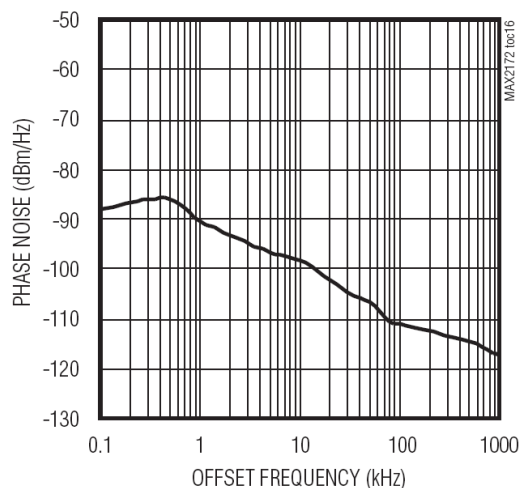


Abb. 3.12.: Phasenrauschen - Rx 1 (MAX2172) - Quelle:[Max08]

<sup>2</sup>Begriffsklärung: s. z.B. [Lee66, MS91]

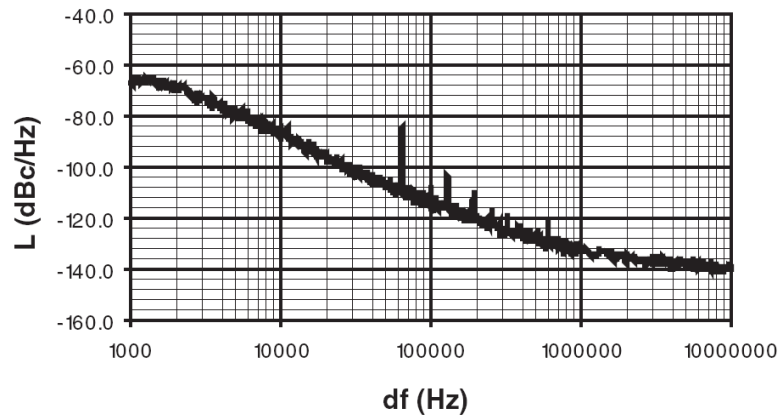


Abb. 3.13.: Phasenrauschen - Rx 2 - Quelle: Hersteller

### 3.1.8. Phasenrauschen des gesamten Empfängersystems

Zur Bestimmung des Phasenrauschens des gesamten Empfängersystems (Referenzpunkt ⑥) wurde die Geräte mit einem Einzelträger angesteuert, dessen Leistung so gewählt wurde, daß der Träger weit über dem Empfängerrauschen lag, *ohne* das die AGC aktiv wurde. Aus den resultierenden Basisband-samples wurde das Leistungsdichtespektrum ermittelt. Das Phasenrauschen kann den Abb. 3.14,3.15 entnommen werden.

Das Phasenrauschen nahe am Träger liegt demnach im Bereich von:

für Rx 1: [-90 dBc/ Hz ... -80 dBc/ Hz]

für Rx 2: [-75 dBc/ Hz ... -70 dBc/ Hz]

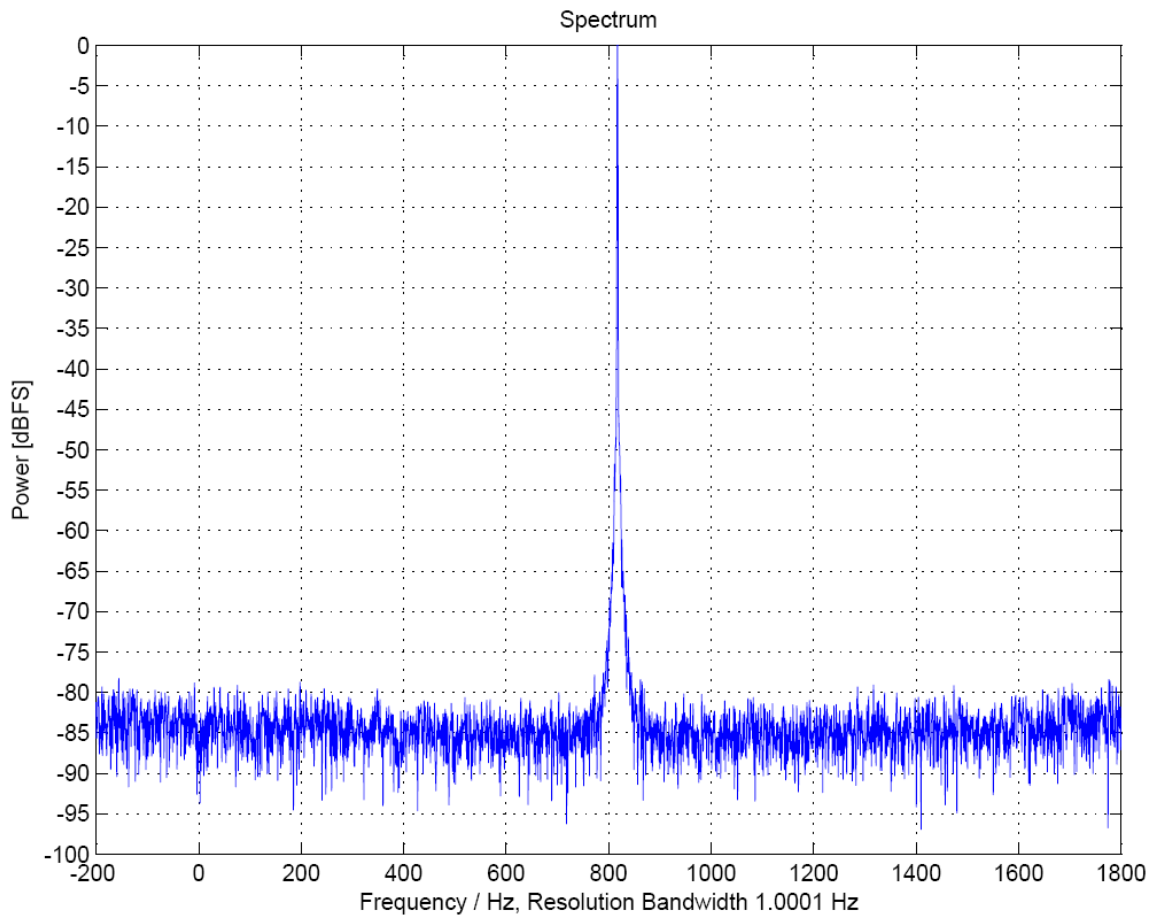


Abb. 3.14.: Phasenrauschen des gesamten Empfängersystems Rx 1, Nahaufnahme

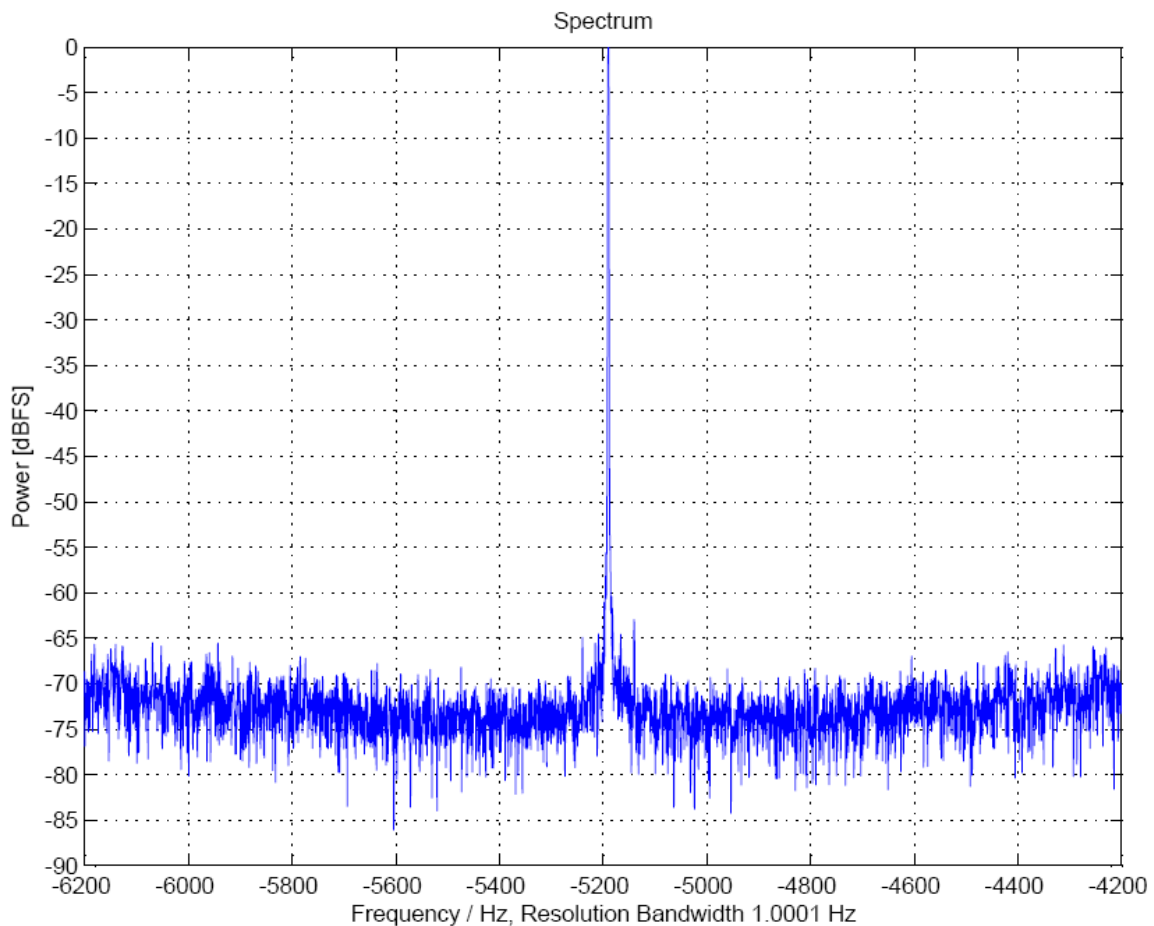


Abb. 3.15.: Phasenrauschen des gesamten Empfängersystems Rx 2, Nahaufnahme

### 3.2. VHF-Band II DRM<sup>+</sup>-Empfänger

Für die VHF-Band II Messungen wurde auf den 2008 gebauten DRM<sup>+</sup>-Prototypenempfänger - der sich im Feldversuch 2009 bereits bewährt hat - auf Basis des Multistandard-Frontend Atmel ATR4262 zurückgegriffen. Im Vergleich zu den VHF-Band III-Prototypenempfängern wird dieser im linearen Verstärkungsbereich betrieben, dadurch wird nach der DDC eine Software-AGC nötig. Ab dem Referenzpunkt ④ in Abb. 3.17 entspricht der Aufbau den VHF-Band III Empfängern. Nähere Informationen zu durchgeführten Messungen am Empfänger, sowie seinem Aufbau finden sich in [SSK09].



Abb. 3.16.: Rx 3

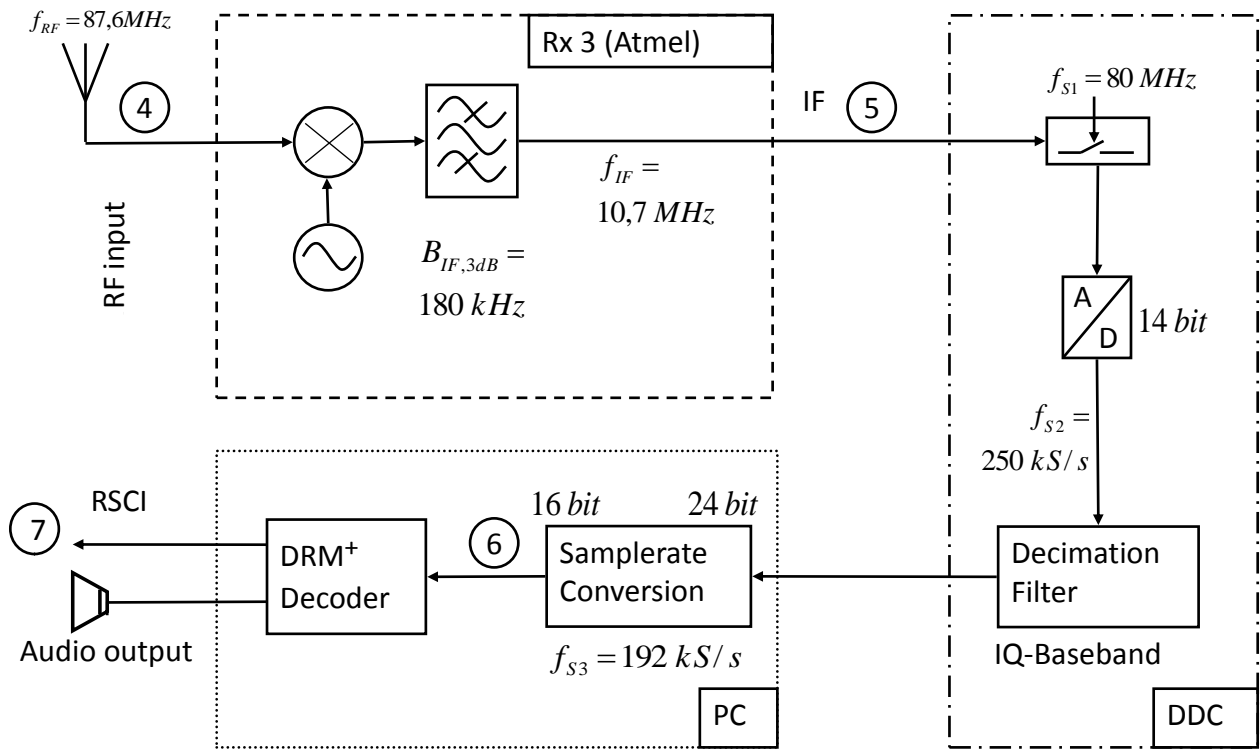


Abb. 3.17.: Blockschaltbild des DRM<sup>+</sup>-Empfängers Rx 3

### 3.3. Zusammenfassung Empfänger

Eine Übersicht der wichtigsten Empfängereigenschaften findet sich in Tab. 3.4.

	Rx 1	Rx 2	Rx 3
Frequenzband	VHF-Band III	VHF-Band III	VHF-Band II
Frontend	MAX2172	keine Angaben	ATR4262
ZF-Frequenz /MHz	2,048	38,908	10,7
ZF-Filter-Bandbreite /kHz	133	1527	210
NF /dB	8,3	3,3	11
Mindestempfangspegel (4 QAM) /dBm	-112,2	-117,2	-109,9
Mindestempfangspegel (16 QAM) /dBm	-106,2	-112,2	-104,7
DAB Audiodecoder	nein	ja	nein

Tab. 3.4.: DRM<sup>+</sup>-Prototypenempfängerübersicht

---

## 4. Kanalsimulation (Fading)

---

In diesem Kapitel wird die Frage nach der Einsetzbarkeit von dem für das VHF-Band II geplante und entwickelte DRM<sup>+</sup> im VHF-Band III geklärt. In Abschnitt 4.1 werden die physikalischen Effekte, die zu Einschränkungen führen können, erläutert. Im darauffolgenden Abschnitt 4.2 finden sich die Ergebnisse der Laboruntersuchungen zu diesem Thema.

### 4.1. Theoretische Betrachtung

Für die theoretischen Betrachtung wurde auf folgenden Quellen zurückgegriffen: [Lee93],[Pro95],[Küh09],[WH03],[Lüd01]

Die Mobilfunkkanal gilt als eine der diffizilsten Übertragungskanäle in der Nachrichtentechnik, da durch Mehrwegeausbreitung, Bewegung und Abschattung störende Effekte auf das Signal wirken. Auf diese Effekte des Mobilfunkkanals wird in diesem Abschnitt eingegangen. Dabei wird nicht der Anspruch erhoben einer umfassenden mathematische Behandlung des Themas, stattdessen erfolgt eine qualitative Aufarbeitung immer unter dem Gesichtspunkt der beiden folgenden Fragestellungen:

1. Wie verhält sich das DRM<sup>+</sup>-System im Vergleich zum DAB-System im VHF-Band III?
2. Ist das für das VHF-Band II geplante DRM<sup>+</sup> im VHF-Band III einsetzbar?

Eine umfassende mathematische Betrachtung findet sich in der einschlägigen Literatur wie z.B. [Lee93],[Pro95].

#### 4.1.1. Freiraumdämpfung

Auch ohne Hindernisse oder Verluste, sinkt im freiem Raum mit zunehmendem Abstand von der Sendeantenne die Leistung die von einer Empfangsantenne empfangen werden kann. Da sich die Leistung mit zunehmendem Abstand in einem größeren Bereich verteilt. Dieser Effekt wird durch die Freiraumformel beschrieben:

$$P_E = P_S \cdot \left( \frac{\lambda}{4\pi \cdot r} \right) \quad (4.1)$$

$$= P_S \cdot \left( \frac{c}{4\pi} \right)^2 \cdot \frac{1}{f^2} \cdot \frac{1}{r^2} \quad (4.2)$$

Aus Gl. (4.2) geht hervor, dass die Empfangsleistung  $P_E$  in Abhängigkeit der Frequenz  $f$  und des Abstandes  $r$  vom Sender abnimmt. Berechnet man aus diesem Zusammenhang den zusätzliche Dämpfungsfaktor in Anbetracht der höheren Frequenz, für den „worst case“ niedrigste Frequenz im VHF-Band II (87,5 MHz) und größte im VHF-Band III (230 MHz) erhält man  $-8,38$  dB. Die Empfangsleistung sinkt also um  $-8,38$  dB für diesen Fall bei gleicher Sendeleistung im VHF-Band III, allerdings nimmt bei gleichbleibender Antennengröße der Antennengewinn um den selben Faktor zu. Daher wird in der Praxis bei der Nutzung von DRM<sup>+</sup> im VHF-Band III eine vergleichbare Netzabdeckung wie im VHF-Band II erreicht.

### 4.1.2. Abschattung

Durch Abschattung von großen Objekten (z.B. große Gebäude) wird der sogenannte *Langzeitschwund* (*Slow Fading*) verursacht. Dies führt zu langsamen Signalschwankungen da der Leistungspegel über eine größere Strecke (10...100 m) einbricht. Eine exakte mathematische Formulierung für den Langzeitschwund existiert nicht, daher kann keine Aussage zu der in Abschnitt 4.1 genannten Fragestellungen gemacht werden.

### 4.1.3. Mehrwegeausbreitung

Funksignale gelangen auf unterschiedlichen Ausbreitungswegen zum Empfänger. Aufgrund von z.B. Reflexionen an Bergen, Beugungen an Hauskanten oder Streuung an Bäumen entstehen Pfade die unterschiedlich stark gedämpft und mit unterschiedlich langer Laufzeit  $\tau$  den Empfänger erreichen. Hierbei spricht man von der Mehrwegeausbreitung durch diese entstehen unmittelbar zwei Effekte.

#### 4.1.3.1. Delay Spread

Ein Effekt besteht darin, dass durch die Vielzahl an Übertragungswegen mit unterschiedlicher Pfadlänge das Signal im Zeitbereich gedehnt den Empfänger erreicht. Sind die Laufzeitunterschiede in der Größenordnung der Symbollänge des Signals, kann es zur sogenannten *Intersymbol-Interferenz* kommen. Dies bedeutet, ein darauffolgendes Symbol von einem stark verzögerten vorausgegangen Symbol überlagert wird. Bei dem DAB-System wie auch dem DRM<sup>+</sup>-System ist durch lange Symboldauer und Guard-Intervalle der Effekt der Intersymbol-Interferenz unkritisch. Ein Maß für die Impulsaufweitung im Zeitbereich ist der Delay Spread  $\Delta\tau$ , dieser ist wie folgt definiert:

Die **Gesamtleistung**  $P_{ges}$  des Signals ergibt sich als Summe der Leistungen für die einzelnen Pfade:

$$P_{ges} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots \quad (4.3)$$

Die **mittlere Laufzeit**  $\bar{\tau}$  ergibt sich aus den Mittelwerten der einzelnen Laufzeiten  $\tau$  gewichtet mit den Empfangsleistungen  $P_i$  der Pfade:

$$\bar{\tau} = \frac{\tau_1 \cdot P_1 + \tau_2 \cdot P_2 + \tau_3 \cdot P_3 + \dots}{P_{ges}} \quad (4.4)$$

Das **Delay Spread**  $\Delta\tau$  charakterisiert die Streuung der einzelnen Laufzeiten um den Mittelwert und ist definiert als:

$$\Delta\tau = \sqrt{\frac{\Delta\tau_1^2 \cdot P_1 + \Delta\tau_2^2 \cdot P_2 + \Delta\tau_3^2 \cdot P_3 + \dots}{P_{ges}}} \quad (4.5)$$

$$\Delta\tau_i = |\tau_i - \bar{\tau}|, \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (4.6)$$

Ein Maß für die Sendebandbreite ab der Signalverzerrungen durch Delay Spreads auftreten, ist die **Kohärenzbandbreite**  $B_c$ . Sie ergibt sich wie folgt:

$$B_c = \frac{1}{\Delta\tau} \quad (4.7)$$

Ist die Signalbandbreite  $B$  eines Übertragungssystems kleiner der Kohärenzbandbreite spricht man von einem Schmalbandsystem. Ist sie größer spricht man von einem Breitbandsystem. Breitbandsysteme sind wesentlich stabiler in Bezug auf Signaleinbrüchen der kompletten Übertragungsbandbreite, da Einbrüche nur innerhalb der Kohärenzbandbreite korreliert sind. Bricht das Signal nur in einem kleinen Teil der Bandbreite ein, so kann beim OFDM-System dank des Frequenzinterleavers und des Fehlerschutzes weiterhin fehlerfrei decodiert werden.

Empfangsumgebung	Rural	Urban Area	Bad Urban Area	Hilly Terrain
$\Delta\tau / \mu\text{s}$	0,105	0,977	2,527	2,527
$B_c / \text{kHz}$	9523,8	1024	395,7	395,7

Tab. 4.1.: Delay Spreads und Kohärenzbandbreiten für verschiedene Empfangsumgebungen

In Tab. 4.1 sind typische Delay Spreads (Quelle: [Sor99]) für verschiedene Umgebungen angegeben. Mit dem Zusammenhang aus Gl. (4.7) wurden die dazugehörigen Kohärenzbandbreiten berechnet. Die ländliche Umgebung „Rural“ mit den kurzen Delay Spreads und somit größter Kohärenzbandbreite ist deutlich am problematischsten. In diesem Empfangsfall ist sowohl das DAB-System ( $B = 1536 \text{ kHz}$ ) wie auch das DRM<sup>+</sup>-System ( $B = 100 \text{ kHz}$ ) schmalbandig. Betrachtet man auch die anderen Empfangsumgebungen wird klar DRM<sup>+</sup> ist in allen Fällen schmalbandig während das DAB-System in den anderen Fällen breitbandig ist. Daraus kann man schließen, dass DRM<sup>+</sup> in Mehrwegeempfangssituationen dem DAB-System unterlegen ist, da es häufiger zu Leistungseinbrüchen der vollen Signalbandbreite kommt.

#### 4.1.3.2. Kurzzeitschwund

Ein weiterer Effekt der Mehrwegeausbreitung ist der Kurzzeitschwund (Fast Fading). Hierbei handelt es sich um Leistungspegelbrüche die in Ortsabhängigkeit auftreten. Ursache sind konstruktive und dekonstruktive Überlagerungen mehrerer Wellen, die Pegelbrüche sind typischer Weise im Abstand von etwa  $\lambda/2$ . Die Dauer der Einbrüche ist abhängig von der Geschwindigkeit, so kann bei größeren Geschwindigkeiten durch den Timeinterleaver und Fehlerschutz bei OFDM-Systemen der Effekt kompensiert werden. Hinsichtlich der Fragestellung in Abschnitt 4.1 kann gesagt werden, dass das Kurzzeitfading unabhängig von der Frequenz ist. Die Pegelbrüche treten frequenzselektiv auf, daher ist ein Breitbandsystem wie DAB eher in der Lage durch eine Frequenzdiversität diese zu kompensieren wie bereits in Abschnitt 4.1.3.1 beschrieben.

#### 4.1.4. Mobiler Empfang

Bewegt sich ein Empfänger in einem Funkfeld so kommt es zu Frequenzverschiebungen aufgrund des Doppler-Effektes. Die **maximale Dopplerfrequenz**  $f_D \text{ max}$  gibt die Frequenzverschiebung an für den Fall, dass der Empfänger sich direkt auf den Sender zubewegt oder wegbewegt, in Abhängigkeit der Übertragungsfrequenz  $f_0$  und der Geschwindigkeit  $v$ . Dieser Zusammenhang ist in Gl. (4.8) dargestellt. Bewegt sich der Empfänger relativ zum Sender muss der Winkel  $\alpha$  zwischen Empfangsrichtung und Bewegungsrichtung beachtet werden Gl. (4.9).

$$f_D \text{ max} = \frac{v}{c} \cdot f_0 \quad (4.8)$$

$$f_D = f_D \text{ max} \cdot \cos \alpha \quad (4.9)$$

Betrachtet man die Formel Gl. (4.8) näher, stellt man fest, dass bei Vergrößerung der Frequenz und gleichbleibender maximaler Dopplerverschiebung die maximale Geschwindigkeit sinkt. Dieser Zusammenhang könnte die Nutzbarkeit von DRM<sup>+</sup> im VHF-Band III einschränken. Für einen stabilen Empfang wird folgende Annahme in [WH03] gemacht:

$$f_D \text{ max} \cdot T_s \ll 1 \quad (4.10)$$

$$T_s = \frac{1}{\Delta f} \quad (4.11)$$

In Tab. 4.2 wurde für eine angenommenen Geschwindigkeit von 200 km/h das Produkt  $f_D \text{ max} \cdot T_s$  für die jeweils höchsten Frequenzen im VHF-Band II sowie VHF-Band III für DRM<sup>+</sup> berechnet, wie auch für DAB im VHF-Band III. Es zeigt sich, dass durch den größeren Subträgerabstand  $\Delta f$  DAB

einen deutlich niedrigeren Wert für das Kriterium Gl. (4.10) hat als DRM<sup>+</sup> bei 230 MHz. Dieser Zusammenhang gilt es näher durch Kanalsimulationen zu bestimmen.

	DAB (230 MHz)	DRM <sup>+</sup> (230 MHz)	DRM <sup>+</sup> (108 MHz)
$\Delta_f$ / Hz	1000	444	444
$T_s$ / ms	1	2,25	2,25
$f_{Dmax}$ / Hz	42	42	20
$f_{Dmax} \cdot T_s$	0,042	0,082	0,045

Tab. 4.2.: Einfluss des Doppler-Effekts;  $v = 200 \text{ km/h}$

## 4.2. Laboruntersuchung (Kanalsimulation)

In diesem Abschnitt wird anhand von Laboruntersuchungen die Nutzbarkeit von DRM<sup>+</sup> im VHF-Band III in Bezug auf den mobilen Empfang betrachtet. Hierzu wurden eine Vielzahl von Kanalsimulationen mit unterschiedlichen Empfängern im VHF-Band III durchgeführt. Neben den ausführlichen Untersuchungen zu DRM<sup>+</sup> die sich im Abschnitt 4.2.2 finden, wurde auch eine kleine Zahl an Messungen mit dem DAB-System realisiert. Diese sollen einen Eindruck vermitteln, wie weit das breitbandige DAB-System dem schmalbandigen DRM<sup>+</sup>-System überlegen ist; sie finden sich in Abschnitt 4.2.5.

### 4.2.1. Messaufbau DRM<sup>+</sup>

Die Abb. 4.1 zeigt das Blockschaltbild des Simulationsaufbaus. Es handelt sich um einen sogenannten Hardware in the Loop System. Kern des Systems ist der Kanalsimulator mit dem verschiedene Kanalprofile in Echtzeit simuliert werden. Der Simulationsaufbau umfasst eine komplette DRM<sup>+</sup>-Sender-Empfangskette.

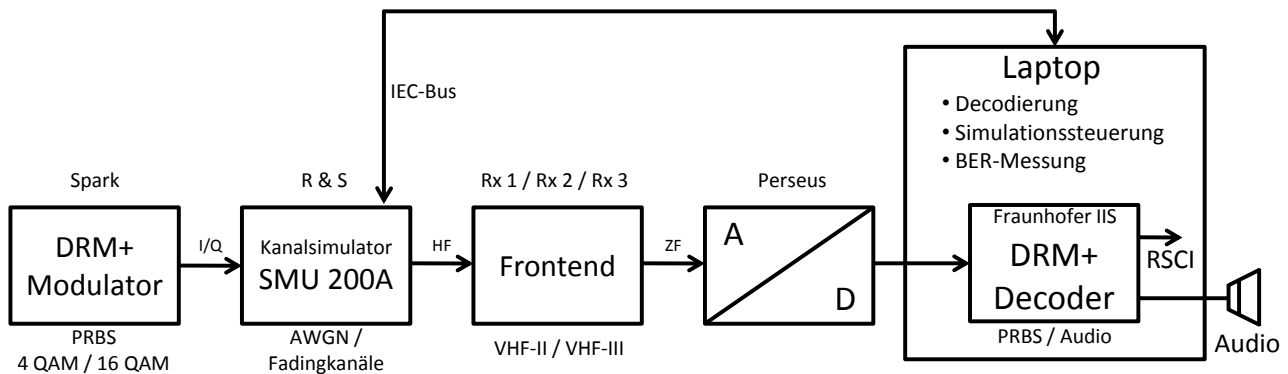


Abb. 4.1.: Blockschaltbild - Kanalsimulation DRM<sup>+</sup> VHF-VHF-Band II und III

Der DRM<sup>+</sup>-Multiplex wird von der DRM<sup>+</sup>-Modulatorsoftware Spark [Fei05][Fei] zusammengestellt und danach die OFDM-Modulation durchführt. Für die Simulation wurde der Multiplex komplett mit einem PRBS-Datenstrom<sup>1</sup> gefüllt (4 QAM: 59 kbit/s; 16 QAM: 99 kbit/s), dieser pseudozufällige Bitstrom ist voll reproduzierbar und ermöglicht dem Decoder die Feststellung der tatsächlichen Fehlerrate (BER<sup>2</sup>). Über einen I/Q Datenstrom gelangt das modulierte OFDM-Signal in den Vektorsignalgenerator (SMU200A[Roh05]), dieser simuliert den Mehrwege- oder Rauschkanal und mischt das Signal in das VHF-VHF-Band II oder III. Das HF-Signal wird von einem der Prototypenfrontends (s. Kapitel 3) in die ZF-Lage umgesetzt. Das ZF-Signal wird von dem A/D-Wandler und Digital Abwärtswandler Perseus [Mic] abgetastet und in Form von IQ-Basisbandsamples mit einer Auflösung von 24 Bit über einen

<sup>1</sup>Pseudo-Random Bit Stream

<sup>2</sup>Bit Error Rate, engl.: Bitfehlerrate

USB-Datenstrom an einen PC / Laptop übertragen. Der Software-DRM<sup>+</sup>-Decoder demoduliert das Signal und gibt Informationen zur Bitfehlerrate, erkannten Bits, erkannten Bitfehler und erkannten Frames über einen RSCI Strom aus. Eine Auswertung- und Steuerungssoftware auf Basis der Programmiersprache Python übernimmt die Auswertung des RSCI-Datenstroms und Abspeicherung der Ergebnisse. Über die GPIB<sup>3</sup> Schnittstelle wird nach dem Speichern der Ergebnisse der Signalgenerator für die nächste Simulation neu konfiguriert. Durch dieses vollautomatisierte Messverfahren konnte die Gefahr von Anwenderfehlern minimiert und eine große Anzahl von Simulationen mit überschaubarem Zeitaufwand realisiert werden.

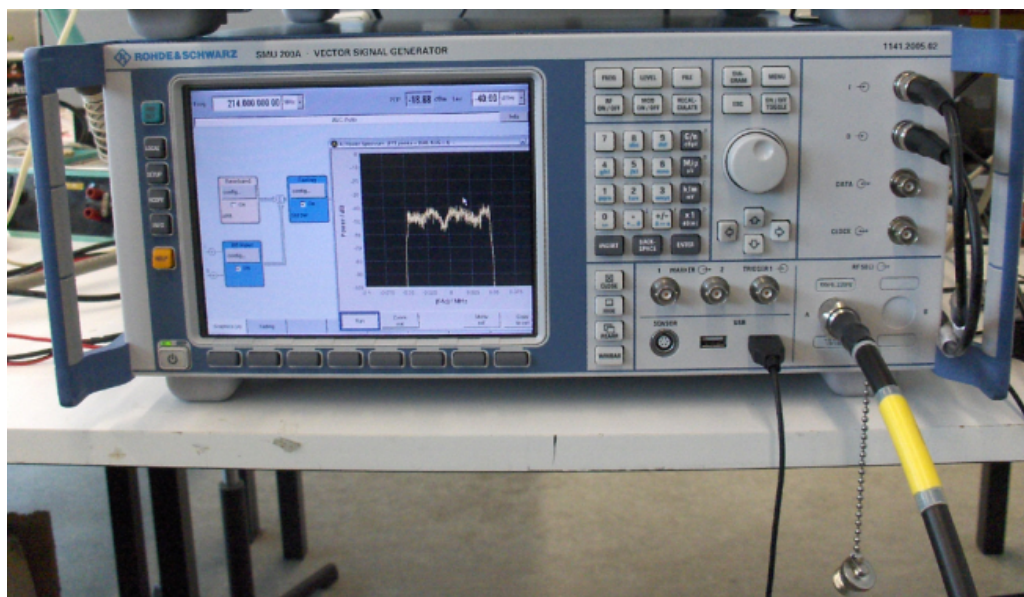


Abb. 4.2.: Kanalsimulator SMU200A (R&S)

#### 4.2.2. DRM<sup>+</sup>

Die Laboruntersuchung zur Einsetzbarkeit von DRM<sup>+</sup> im VHF-Band III beruht auf der Untersuchung der Kanalprofile des ETSI Standards [Ins09]. Die zugehörigen Profilgeschwindigkeiten wurden aus dem Dokument „DRM<sup>+</sup> Radio Channel Profiles for Use in VHF-Band II“ entnommen [Zim05]. Die Kanalprofile spiegeln unterschiedliche mobile Empfangssituationen wider, z.B. Fußgänger in der Stadt, der Fahrt durch ländliches Gebiet oder eine Hochgeschwindigkeits-Autobahnfahrt. In die Kanalprofile gehen die aus Abschnitt 4.1 bekannten Effekte des Mobilfunkkanals ein. Untersucht wurden alle Kanalprofile bis auf das „SFN“<sup>4</sup> Profil, dieses wurde trotz der Ausstattung mit allen „Fading-Optionen“ nicht vom Echtzeitkanalsimulator (SMU200A) unterstützt. Die Profile wurden auf zwei Arten simuliert, zum einen wurde das maximal mögliche S/N bestimmt. Zum anderen, um die Einschränkungen des Doppler-Effektes näher zu bestimmen die maximale mögliche Geschwindigkeit der einzelnen Profile. Hierfür wurde am Kanalsimulator die Geschwindigkeit der Profile variiert, bei ausreichend großen S/N (> 40 dB), um das Einbrechen des Signals unter die Decodierschwelle zu verhindern. Kriterium war immer eine  $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$ .

Die in diesen Bericht durchgeführten DRM<sup>+</sup>-Messungen, die im Laufe des Bericht als 4QAM und 16QAM Modulation bezeichnet werden, wurden immer mit folgenden Fehlerraten durchgeführt, auch wenn dies nicht immer explizit erneut erwähnt wird:

- 4 QAM: SDC Fehlerrate 0,25; MSC Fehlerrate 0,4
- 16 QAM: SDC Fehlerate 0,25; MSC Fehlerrate 0,33

<sup>3</sup>General Purpose Interface Bus; IEC-625-Bus

<sup>4</sup>Single-Frequency Network, eng.: Gleichwellennetz

Alle Mehrwegekanalsimulationen wurden mit einer Messdauer von einer Stunde je Messpunkt durchgeführt, dies entspricht bei 16 QAM:  $3,5 \cdot 10^9$  Bits und bei 4 QAM:  $2,1 \cdot 10^9$  Bits. Dies reicht aus, um bis etwa einer gemessenen BER =  $1 \cdot 10^{-6}$  eine hohe statistische Genauigkeit zu erhalten. Für die stationäre reine Rauschkanalmessung (AWGN<sup>5</sup>) reicht eine kürzere Messdauer von einer halben Stunde aus (Entspricht  $1 \cdot 10^9$  (4 QAM);  $1,7 \cdot 10^9$  (16 QAM) gemessenen Bits). Insgesamt über 500 Stunden war der Messaufbau mit den unterschiedlichen Simulationen im Betrieb, dabei arbeiteten alle Komponenten der Übertragungskette, von Modulator bis zum Decoder, zuverlässig und absturzfrei.

Um die potenziellen Einschränkungen im VHF-Band III gegenüber dem VHF-Band II zu bestimmen, wurden alle Messungen auch im VHF-Band II durchgeführt.

### 4.2.3. Maximale Geschwindigkeit

Durch Betrieb von dem für das VHF-Band II geplante DRM<sup>+</sup>-System im VHF-Band III ist aufgrund des Doppler-Effektes bei größeren Geschwindigkeiten mit Einschränkungen zu rechnen. Um diese näher zu erfassen, wurde zusätzlich zur Kanalsimulation, bei der das S/N ermittelt wird, die maximal mögliche Geschwindigkeit der Profile ermittelt, bei ausreichend großen S/N (> 40 dB). Durch diese Simulationen wird sichtbar, welche Kanalprofile besonders stark von der Geschwindigkeit beeinflusst werden und somit beim Betrieb des Systems bei höheren Frequenzen am ehesten zu Problemen führen. Für die Messung wurde jeweils mit der höchsten möglichen Frequenz im VHF-Band II (108 MHz) bzw VHF-Band III (230 MHz) der „worst case“ gewählt. Die Simulationen wurden im VHF-Band III mit dem Prototypenempfängern Rx 1 und Rx 2 durchgeführt sowie als Referenz mit dem bereits aus dem Feldversuch 2008 und 2009 bekannten DRM<sup>+</sup> VHF-Band II Prototypenempfänger, hier als Rx 3 bezeichnet. Nähere Informationen zu den Empfängern findet sich im Kapitel 3.

Kanalprofil	Mod.	$v_{Profil}$	Rx 1 (230 MHz)	Rx 2 (230 MHz)	Rx 3 (108 MHz)
Urban	4 QAM	60 km/h	169 km/h	157 km/h	367 km/h
Urban	16 QAM	60 km/h	115 km/h	129 km/h	344 km/h
Rural	4 QAM	150 km/h	168 km/h	161 km/h	328 km/h
Rural	16 QAM	150 km/h	107 km/h	125 km/h	305 km/h
Hilly terrain	4 QAM	100 km/h	165 km/h	162 km/h	347 km/h
Hilly terrain	16 QAM	100 km/h	145 km/h	146 km/h	317 km/h
Terrain obstructed	4 QAM	60 km/h	174 km/h	173 km/h	368 km/h
Terrain obstructed	16 QAM	60 km/h	150 km/h	153 km/h	343 km/h

Tab. 4.3.: Ergebnisse der maximalen Geschwindigkeitsmessung (rot:  $v_{Profil}$  wurde nicht erreicht)

<sup>5</sup>Additive White Gaussian Noise, eng.: additives weißes gaußsches Rauschen

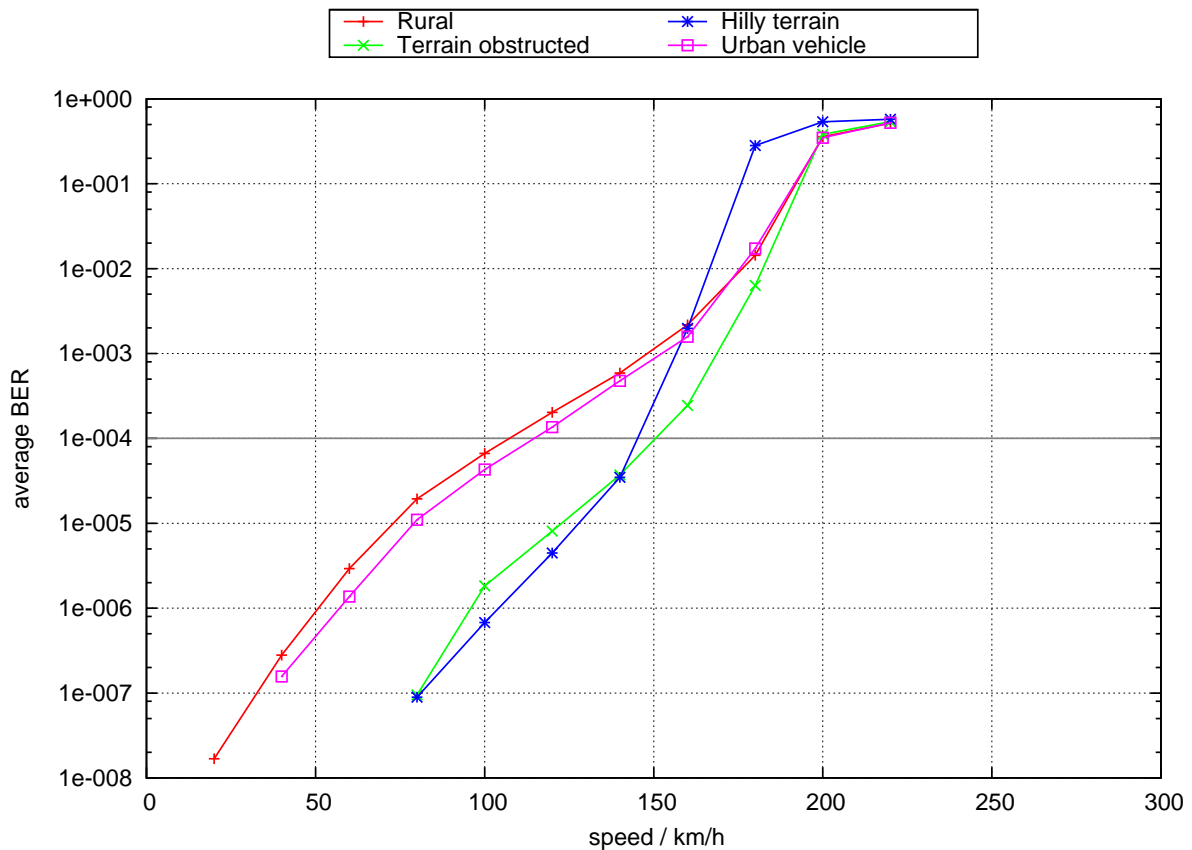


Abb. 4.3.: 16 QAM; Rx 1

In Tab. 4.3 sind die Ergebnisse der Geschwindigkeitsuntersuchung aufgeführt. Alle zugehörigen Messkurven finden sich Anhang 6.1. Exemplarisch sind in Abb. 4.3 für Rx 1 (16 QAM) die Messkurven aller Profile aufgeführt. Hier wird sichtbar, wie auch auch in der Tabelle Tab. 4.3, dass die Profile „Rural“ und „Urban“ zur niedrigsten Geschwindigkeit für eine  $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$  führen. Bei dem Stadtprofil „Urban“ wurde eine maximale mögliche Geschwindigkeit von 115 km/h im VHF-Band III ermittelt und somit weit über der Profilgeschwindigkeit von 60 km/h. Bei dem Autobahnprofil „Rural“ wurde die nominelle Profilgeschwindigkeit von 150 km/h im VHF-Band III mit beiden Prototypenempfängern nicht erreicht. Daher wurde dieses Profil näher betrachtet, um Ursachen und Lösungsansätze zu finden.

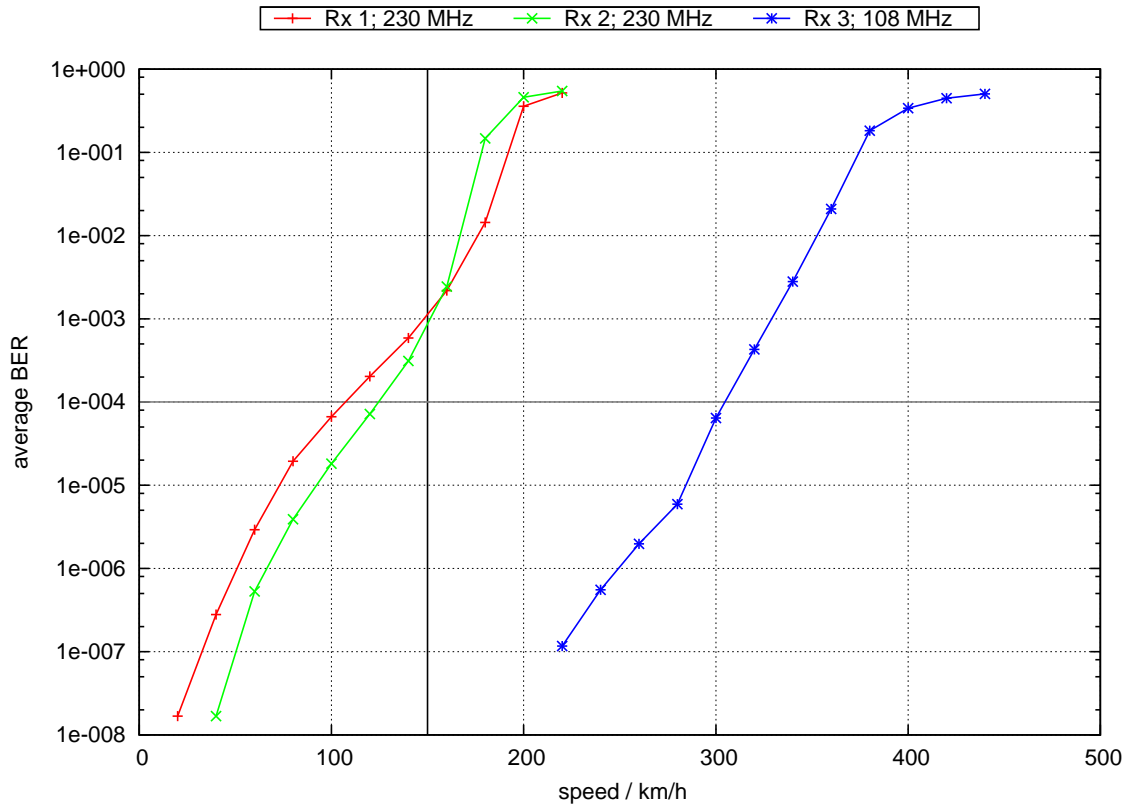


Abb. 4.4.: 16 QAM; Profil: Rural; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils

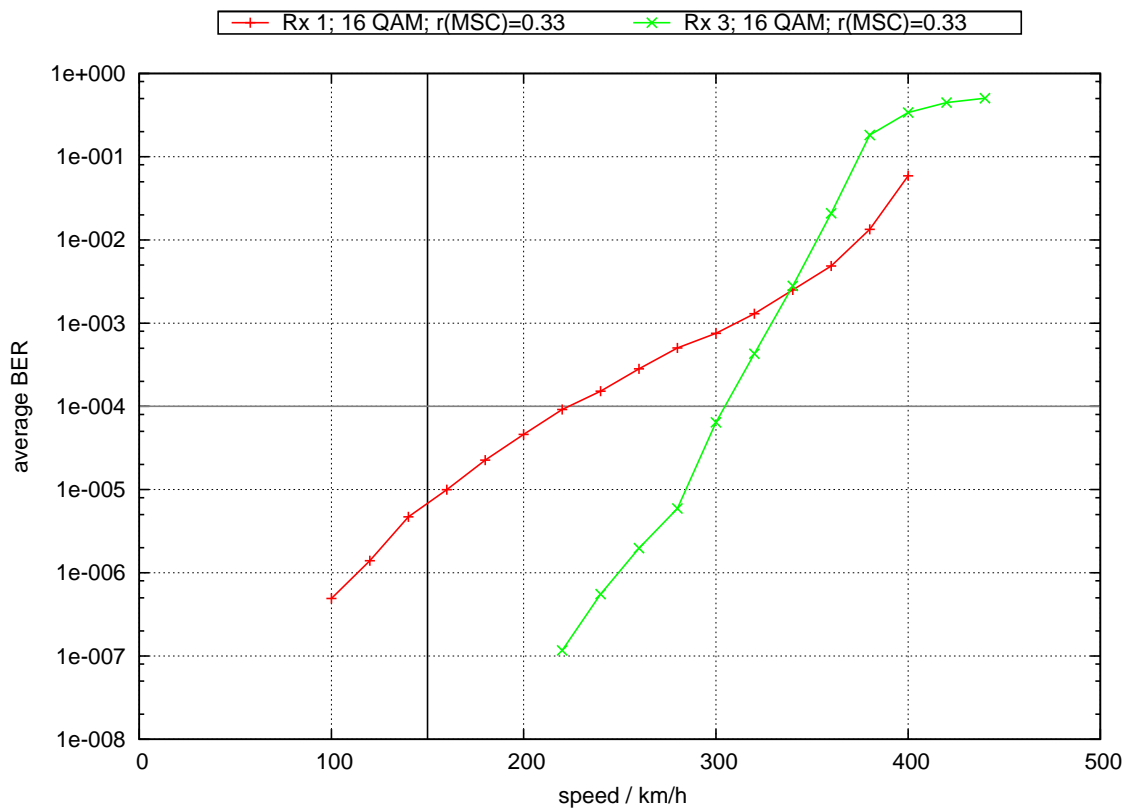


Abb. 4.5.: Vergleich Rx 1 mit Rx 3 im VHF-Band II; Freq. 108 MHz; Profil: Rural; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils

In Abb. 4.4 wird der Zusammenhang der maximalen Geschwindigkeit und der Frequenz sichtbar. Berechnet man über den Doppler-Frequenz-Zusammenhang (s. Kapitel 4.1.4) die maximale Profilgeschwindigkeit von Rx 3 bei 108 MHz auf die maximale Profilgeschwindigkeit bei 230 MHz erhält man 143 km/h. Somit fast die nominelle Profilgeschwindigkeit  $v_{Profil}$  von 150 km/h, daraus ergibt sich der Verdacht, dass anscheinend Rx 3 deutlich störresistenter bezüglich Fadingeinflüssen ist. Um diese Annahme zu untermauern, wurde mit Rx 1 - der auch im VHF-Band II betrieben werden kann - eine Messung bei 108 MHz durchgeführt (s. Abb. 4.5). Hier bestätigt sich der Verdacht. Grund für die unterschiedliche Fading-Anfälligkeit könnten die verschiedenen Pegelregelschleifen (AGC) der Frontends sein. Eine AGC kann nicht den Doppler-Effekt selbst reduzieren, aber eine gut abgestimmte AGC kann Kurzzeitschwund (Fast Fading) zum Teil kompensieren und somit die Gesamtperformance verbessern. Während bei Rx 1 und Rx 2 die Frontend AGC benutzt wurden - welche für das breitbandige DAB-Signal ausgelegt sind - wird Rx 3 im VHF-Band II im linearen Verstärkungsbereich betrieben und erst hinter dem A/D-Wandler wird eine Software-AGC genutzt. Diese scheint deutlich effektiver zu arbeiten als die Hardware-AGC der Frontends, welche nicht auf das DRM<sup>+</sup>-Signal optimiert sind. Daraus folgt, dass ein VHF-Band III-Empfänger, der eine auf das DRM<sup>+</sup>-Signal optimierte AGC enthält, die nominelle Geschwindigkeit des „Rural“ Profil erfüllen sollte.

#### 4.2.3.1. Variable Freq. in VHF-Band III für Rx 1/Rx 2; Profil: Rural

Ein weiterer Lösungsansatz könnte die Nutzung von tieferen Frequenzen im VHF-Band III sein, daher wurden mit Rx 1 und Rx 2 für das „Rural“ Profil Messkurven in Abhängigkeit der Frequenz erstellt (s. Abb. 4.6,4.7). Rx 1 erreicht auch bei der niedrigsten Frequenz (174, 928 MHz) die nominelle Profilgeschwindigkeit  $v_{Profil}$  von 150 km/h nicht ganz, aber die Doppler-Problematik wird deutlich entschärft. Bei Rx 2 wird bei 180 MHz die 150 km/h überschritten. Die Ergebnisse bei 174 MHz von Rx 2 können nicht erklärt werden, durch eine Wiederholung der Messung kann ein Messfehler ausgeschlossen werden.

Aus den Ergebnissen der frequenzabhängigen Messung der beiden Empfänger kann der Zusammenhang zwischen Dopplereffekt und Frequenz verifiziert werden, die gemessenen Werte stimmen annähernd mit den errechneten Werten überein (s. Tab. 4.4,4.5).

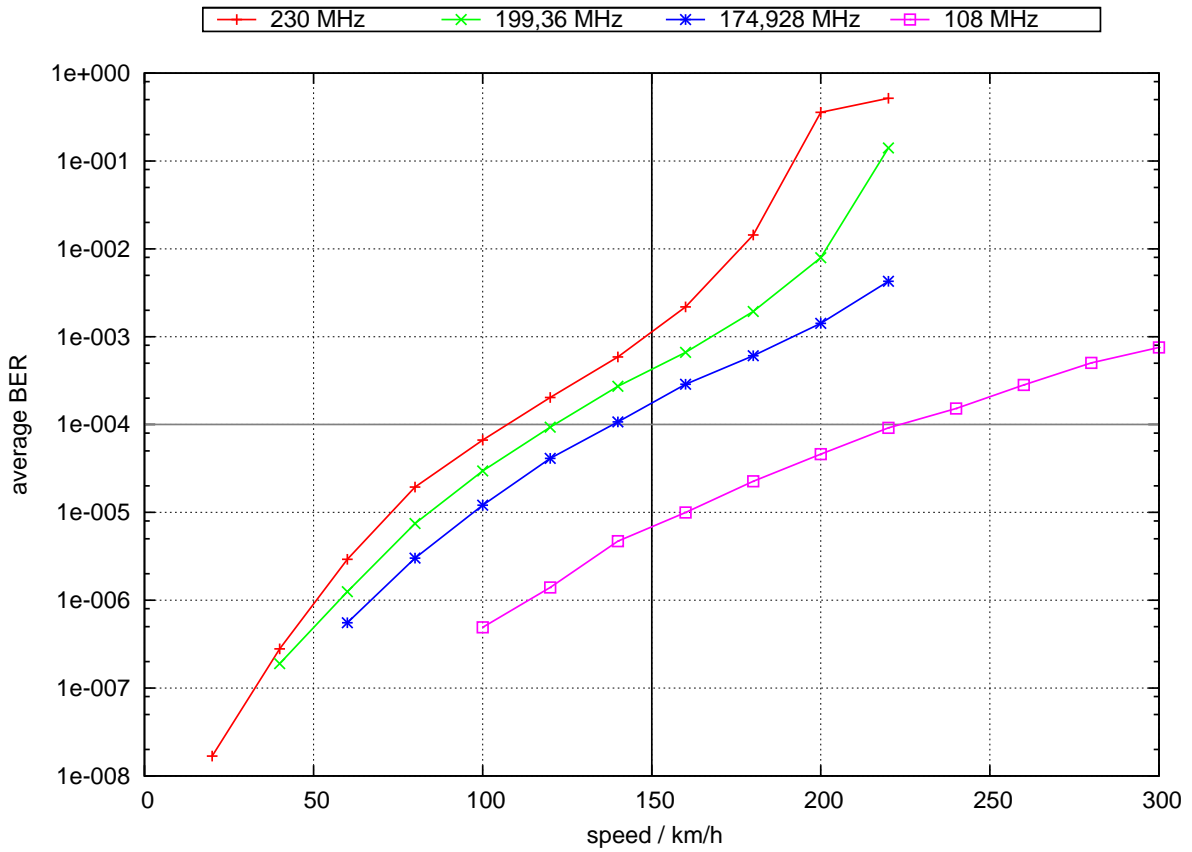


Abb. 4.6.: Rx 1; 16 QAM; Profil: Rural; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils

	maximale Geschwindigkeit für $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$			
Frequenz	108 MHz	174 MHz	199 MHz	230 MHz
Messwert	222 km/h	138 km/h	121 km/h	107 km/h
Berechneter Wert (Bezugswert $v_{max}$ 230 MHz)	228 km/h	141 km/h	124 km/h	107 km/h

Tab. 4.4.: Ergebnisse der maximalen Geschwindigkeitsmessung bei var. Geschwindigkeit für Rx 1; 16 QAM; Profil Rural; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils

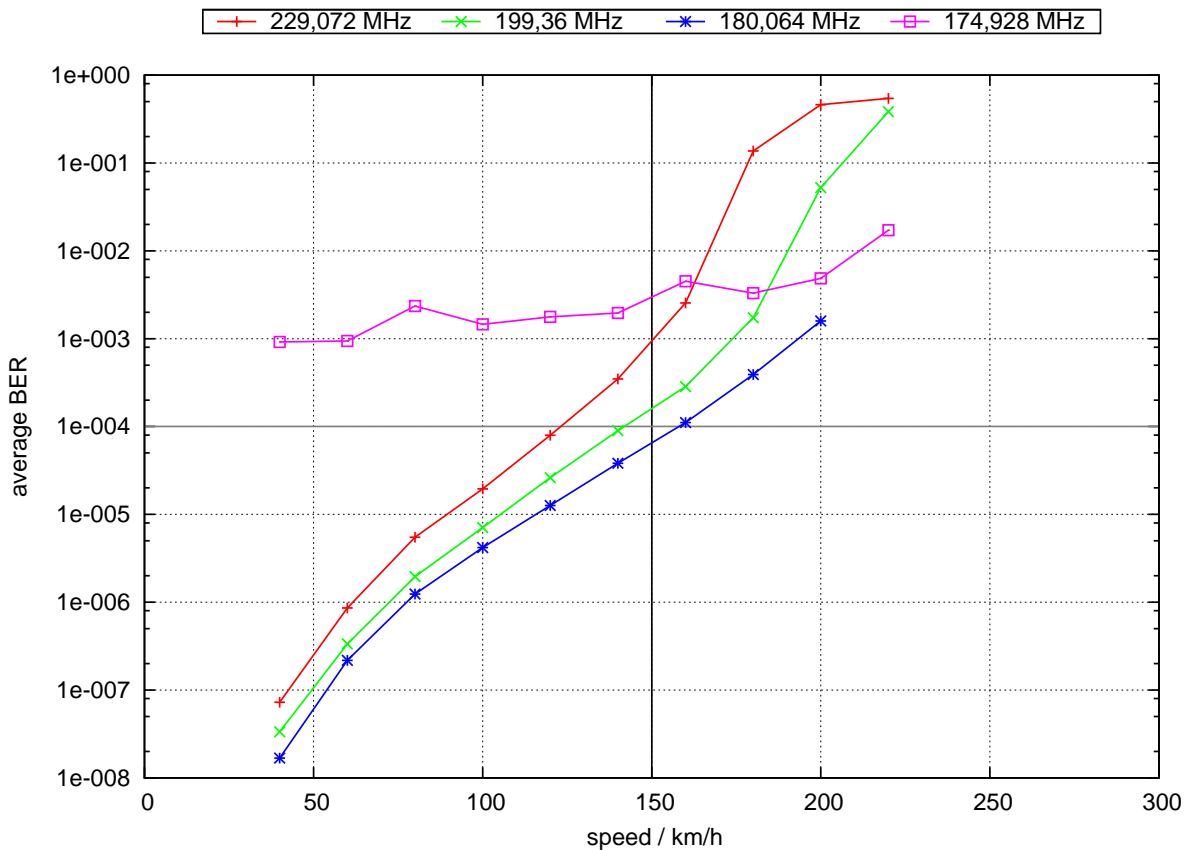


Abb. 4.7.: Rx 2; 16 QAM; Profil: Rural; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils

	maximale Geschwindigkeit für Kriterium $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$			
Frequenz	174 MHz	180 MHz	199 MHz	230 MHz
Messwert	$\overline{\text{BER}} > 1 \cdot 10^{-4}$	159 km/h	141 km/h	125 km/h
Berechneter Wert (Bezugswert v_max 230 MHz)	165 km/h	159 km/h	144 km/h	125 km/h

Tab. 4.5.: Ergebnisse der maximalen Geschwindigkeitsmessung bei var.Geschwindigkeit für Rx 2; 16 QAM; Profil Rural

#### 4.2.4. S/N der Profile

Für die Netzplanung ist es elementar, den benötigten Signal-zu-Rauschabstand (S/N) der Profile zu kennen. Um diesen zu ermitteln, wurde Kanalsimulationen mit der vorgegebenen Geschwindigkeit durchgeführt. Es wurde zum einen der reine rauschbegrenzte stationäre Fall (AWGN) sowie die Mehrwegeprofile des ETSI Standards [Ins09] betrachtet.

##### 4.2.4.1. AWGN

Bei der Untersuchung des rein rauschbegrenzten Falls (AWGN) wird bei hohem Eingangspegel ( $-45$  dBm), somit unabhängig von der Empfängermindestempfindlichkeit, vom Kanalsimulator ein Rauschblock dazu addiert. Untersucht wurden wieder alle drei Prototypemempfänger im VHF-Band II und III. In Abb. 4.8,4.9 zeigt sich, dass die Messwerte unabhängig von der Frequenz und den Pegelregelschleifen (AGC) der Empfänger sind. Die geringen Ergebnisunterschiede der drei Prototypenempfänger sind auf die unterschiedliche Performance der Frontends zurückzuführen, wie z. B. Rauschmaß und Phasenrauschen.

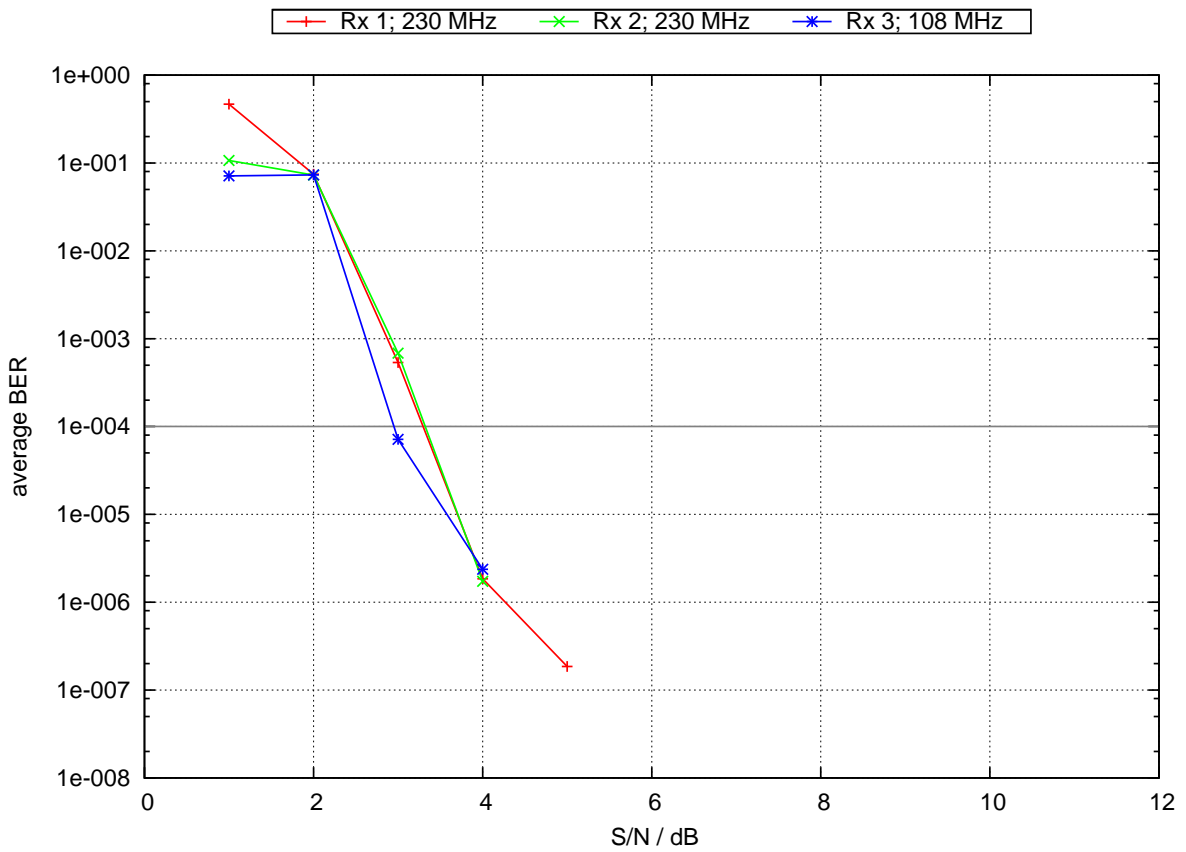


Abb. 4.8.: AWGN; 4 QAM

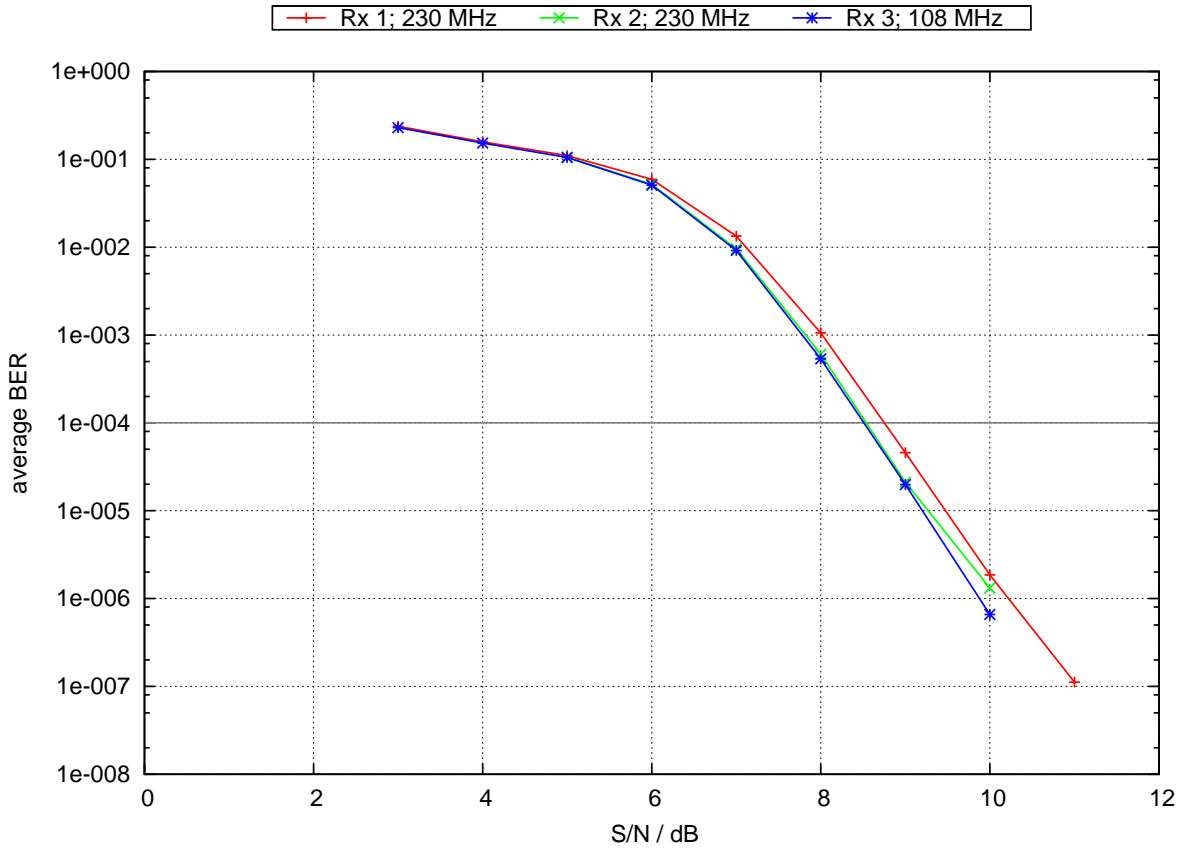


Abb. 4.9.: AWGN; 16 QAM

Kanalprofil	Modulation	Rx 1 (230MHz)	Rx 2 (230MHz)	Rx 3 (108MHz)
AWGN	4 QAM	3, 29 dB	3, 32 dB	2, 95 dB
AWGN	16 QAM	8, 75dB dB	8, 50 dB	8, 49 dB

Tab. 4.6.: Ergebnisse - S/N für den Rauschbegrenzten Fall (AWGN)

In Tab. 4.6 finden sich die Zahlenwerte der Ergebnisse der AWGN Kanalsimulation der drei Empfänger, zum Erreichen einer  $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$ . Kurz vor Beginn der Untersuchung wurde vom Fraunhofer IIS Erlangen eine neue verbesserte DRM<sup>+</sup>-Decoderversion herausgebracht. Es wurde insbesondere die Kanalschätzung verbessert. In Tab. 4.7 zeigt sich der deutliche Unterschied zu der alten - im Feldversuch 2009 verwendeten - Version.

Kanalprofil	Modulation	Dec Version 0.3.0 (neu)	Dec Version 0.1.0
AWGN	4 QAM	2, 95 dB	5 dB
AWGN	16 QAM	8, 49 dB	13 dB

Tab. 4.7.: Vergleich - der S/N-Werte des AWGN-Kanals - der alten und neuen Decoderversion

#### 4.2.4.2. Mehrwegeprofile

In Tab. 4.8 findet sich die Ergebnisse der Mehrwegekanalsimulation im VHF II und III. Die S/N Werte wurden aus den Diagrammen gewonnen, exemplarisch sind zwei Ergebniskurven in Abb. 4.11, 4.10 dargestellt, alle weiteren Ergebnisse finden sich im Anhang 6.2. Man sieht in Abb. 4.11, dass der größte S/N Aufschlag beim Autobahnprofil „Rural“ sowie beim Stadt-Fußgängerprofil „urban pedestrian“ benötigt wird.

Kanalprofil	Mod.	v Profil	Rx 1 (230 MHz)	Rx 2 (230 MHz)	Rx 3 (108 MHz)
Urban vehicle	4 QAM	60 km/h	12,50 dB	13,89 dB	12,97 dB
Urban vehicle	16 QAM	60 km/h	18,84 dB	18,26 dB	18,69 dB
Urban pedestrian	4 QAM	2 km/h	23,01 dB	23,94 dB	24,36 dB
Urban pedestrian	16 QAM	2 km/h	28,07 dB	27,50 dB	29,62 dB
Rural	4 QAM	150 km/h	14,86 dB	16,63 dB	11,65 dB
Rural	16 QAM	150 km/h	$\overline{\text{BER}} > 1 \cdot 10^{-4}$	$\overline{\text{BER}} > 1 \cdot 10^{-4}$	17,72 dB
Hilly terrain	4 QAM	100 km/h	11,97 dB	11,96 dB	11,27 dB
Hilly terrain	16 QAM	100 km/h	18,41 dB	17,64 dB	16,90 dB
Terrain obstructed	4 QAM	60 km/h	12,04 dB	11,96 dB	11,23 dB
Terrain obstructed	16 QAM	60 km/h	17,18 dB	16,90 dB	16,87 dB

Tab. 4.8.: S/N - Ergebnisse der Mehrwegekanalsimulation

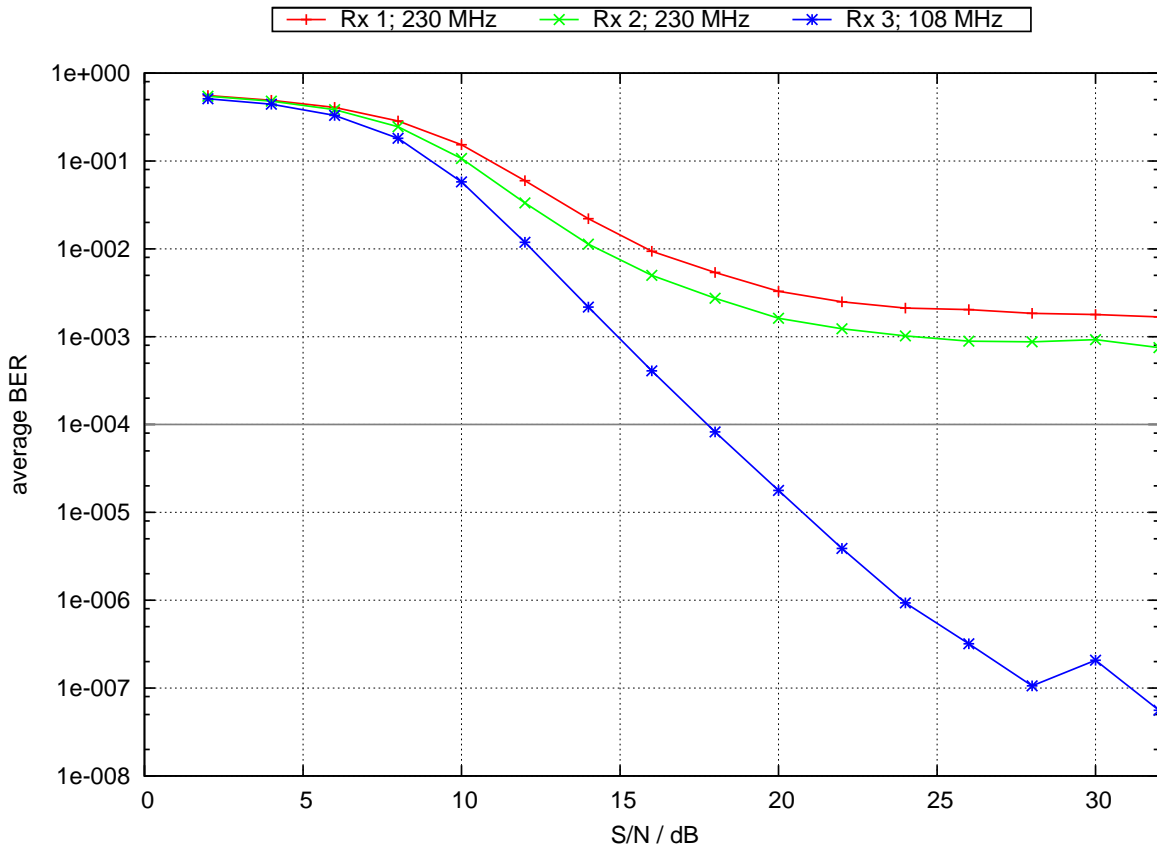


Abb. 4.10.: 16 QAM; Profil: Rural

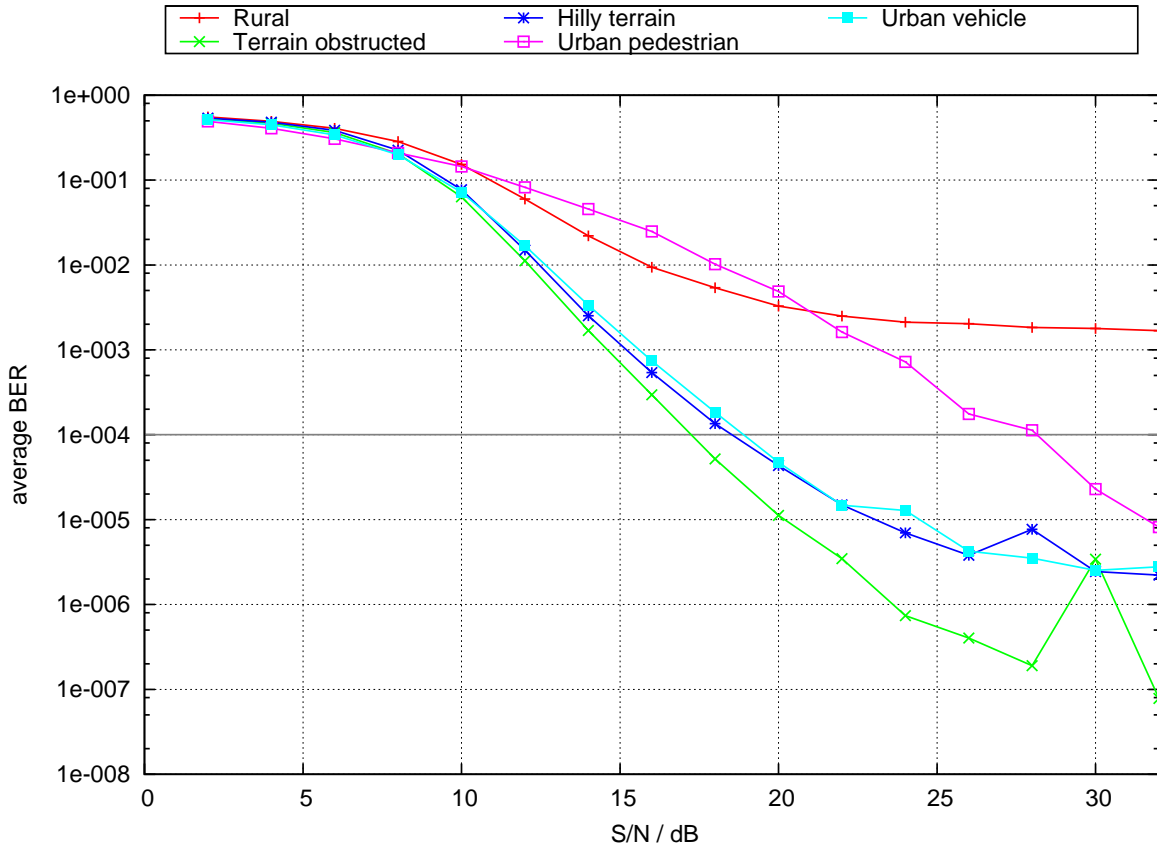


Abb. 4.11.: 16 QAM; Freq. 230 MHz; Rx 1

### 4.2.5. DAB

Um die Ergebnisse der DRM<sup>+</sup> Kanalsimulationen besser einordnen zu können war es wünschenswert diese mit DAB zu vergleichen. In der Literatur konnten keine Hardwaresimulationsergebnisse gefunden werden, daher wurde ein Simulationsaufbau entworfen, um diesen Vergleich durchzuführen. Besonders interessant ist der Vergleich der Doppler-Effekt Abhängigkeit der beiden Systeme. Daher wurde mit DAB eine maximale Geschwindigkeitsuntersuchung durchgeführt (S/N (> 40 dB), analog zu den DRM<sup>+</sup>-Messungen in Abschnitt 4.2.3. Für eine unmittelbare Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurde nicht auf die DAB-Kanalprofile der DIN EN 50248 [Ne01] zurückgegriffen, sondern das diffizilste DRM<sup>+</sup>-Kanalprofil „Rural“ aus dem ETSI Standard gewählt [Ins09][Zim05]. Aus Zeitgründen wurde nur dieser „worst case“ betrachtet. Als Bewertungskriterium konnte, nicht wie bei DRM<sup>+</sup>, eine synchrone PRBS basierende BER nach Viterbi genutzt werden, da diese vom DAB-Testempfänger nicht unterstützt wird. Daher wird als Versorgungskriterium eine BER vor Viterbi genutzt, dabei handelt es sich um eine Fehlerschätzung basierend auf den vom Viterbidecoder korrigierten Fehlern. In der Dissertation „Verfahren und Kriterien zur Planung von Gleichwellennetzen für den Digitalen Hörrundfunk DAB“ [Bec96] wird als Kriterium für eine DAB Versorgung eine  $\overline{BER} \leq 3,5 \cdot 10^{-2}$  vor Viterbi angegeben. Nach dieser Arbeit soll bei dieser Fehlerrate höchstens alle fünf Minuten ein Rahmenausfall oder ein gleichwertiges Störgeräusch auftreten. Die Messdauer betrug wie bei DRM<sup>+</sup> eine Stunde. Im folgenden Abschnitt 4.2.6 wird der Messaufbau mit dem eingesetzten Equipment und der detaillierte Ablauf der Messung beschrieben, in Abschnitt 4.2.7 finden sich die Ergebnisse der Messung.

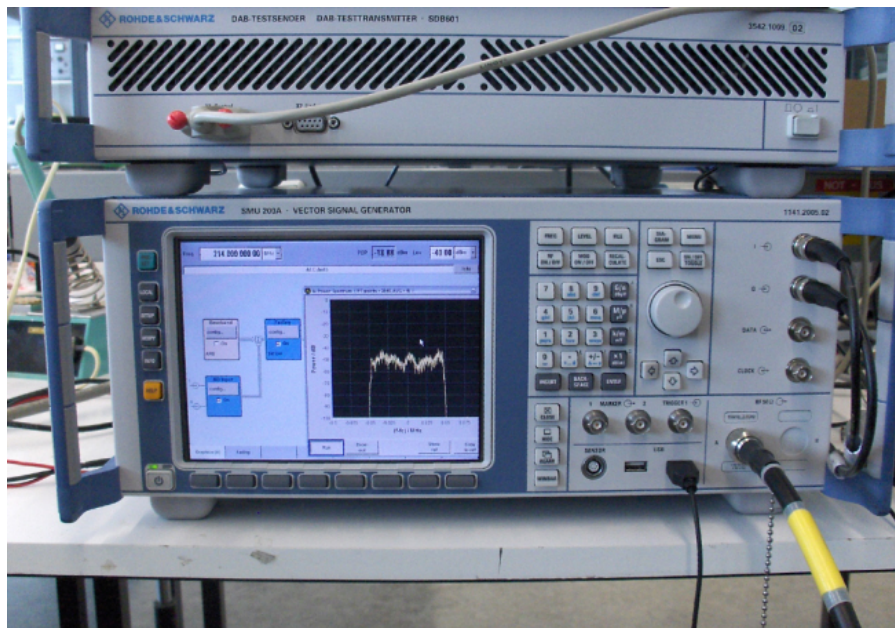


Abb. 4.12.: Aufbau Kanalsimulation - DAB-Testsender SDB601 und Vektorsignalgenerator SMU200A im Labor der FH-KL

### 4.2.6. Messaufbau DAB

Abb. 4.14 zeigt das Blockschaltbild der DAB Kanalsimulation. Es handelt sich um eine sogenannte „Hardware in the Loop Simulation“, d.h. es wird durch ein elektronisches Steuergerät (hier: Vektorsignalgenerator SMU200A) die reale Umgebung anhand von Kanalprofilen in Echtzeit nachgebildet. Für die Umsetzung der Simulation wurde ein DAB-Sender benötigt, der über einen Ausgang im komplexen Basisband (I/Q) verfügt, da der Vektorsignalgenerator SMU200A dieses als Eingangssignal benötigt. Mit dem DAB-Testsender SDB601 [Roh03] konnte eine entsprechende Hardware gefunden werden. Als Eingangssignal erhält der Testsender über eine ETI Schnittstelle den DAB-Multiplex - bestehend aus Audio - vom DAB-Contentserver. Der Vektorsignalgenerator SMU200A [Roh05] führt die Kanalsimulation durch und mischt das DAB-Signal ins VHF-Band III (230 MHz). Als Messempfänger wurde der VAD - UEP400USB [VAD09] genutzt (s. Abb. 4.13). Aufgrund gleichartiger Hardware sind die Ergebnisse direkt mit denen von Rx2 vergleichbar. Über USB kann die auf die Bitfehlerrate vor Viterbi zugegriffen werden. Diese wird von einer Software basierend auf Python gespeichert und gemittelt als Endwert ausgegeben. Durch Monitoring des Audioausgangs bei erreichten Versorgungskriterium nach [Bec96] konnte dieses verifiziert werden.



Abb. 4.13.: DAB Messempfänger - UEP 400 USB[VAD09] (Foto: VAD GmbH)

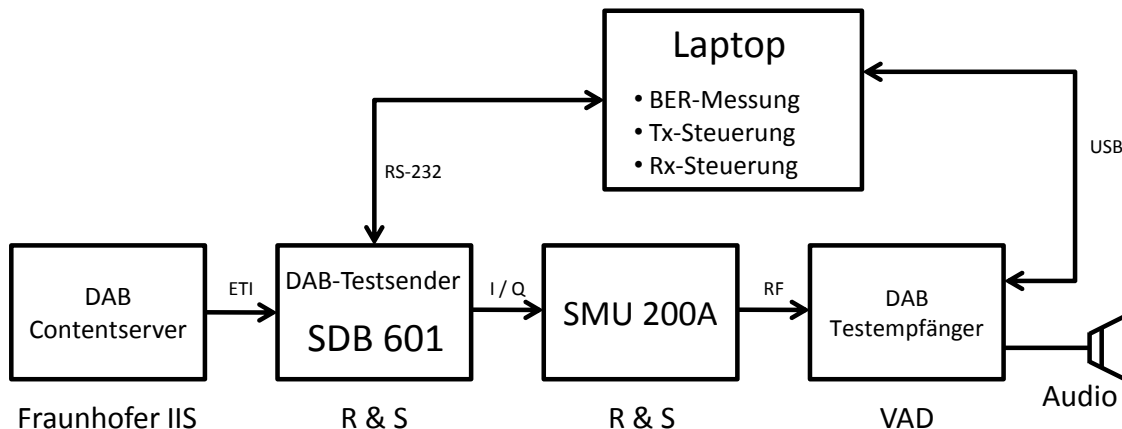
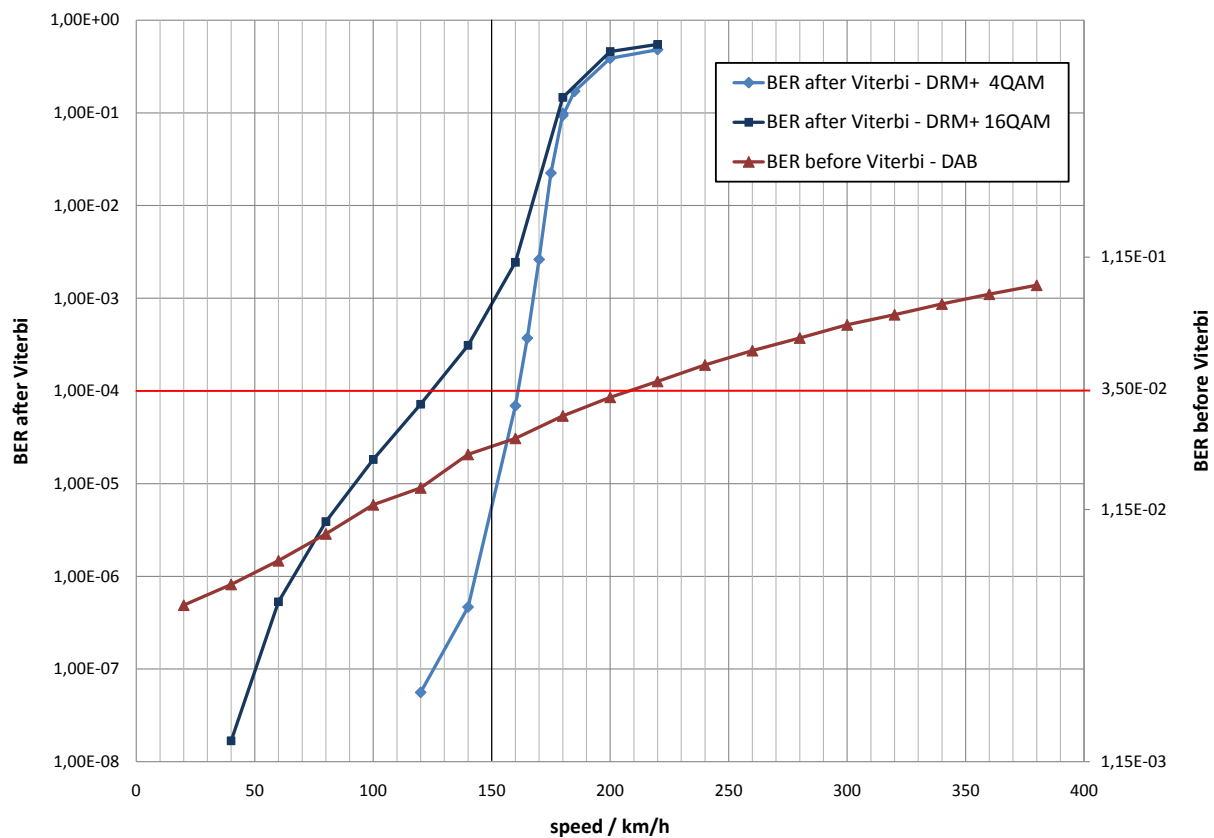


Abb. 4.14.: Blockschaltbild - Kanalsimulation DAB

4.2.7. Ergebnisse des Vergleich DRM<sup>+</sup> mit DABAbb. 4.15.: max Geschwindigkeit DAB vs. DRM<sup>+</sup> Profil: Rural

	DRM <sup>+</sup> 16 QAM	DRM <sup>+</sup> 4 QAM	DAB
$v_{max}$	125 km/h	161 km/h	209 km/h

Tab. 4.9.: Vergleich der maximalen Geschwindigkeit Profil Rural

Abb.4.15 zeigt die Ergebnisse des Vergleichs. Die rote Linie markiert das Versorgungskriterium  $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$  nach Viterbi für DRM<sup>+</sup> und  $\overline{\text{BER}} \leq 3,5 \cdot 10^{-2}$  vor Viterbi für DAB. Man erkennt, dass wie erwartet beim DAB-System eine deutlich höhere Geschwindigkeit möglich ist, da es durch die größeren Subträgerabstände weniger anfällig für den Doppler-Effekt ist. In Tab. 4.9 sind die maximalen möglichen Geschwindigkeiten, bei Einhaltung der Versorgungskriterien, als Zahlenwert angegeben.



---

## 5. Schutzabstandsmessungen

---

Ein weiterer Aspekt für die Einplanung von DRM<sup>+</sup> im VHF-Band III ist die Betrachtung der Verträglichkeit mit den im Frequenzband etablierten Systemen. Auf der Internationalen Wellenkonferenz in Genf 2006, wurde die digitalen terrestrischen Verbreitungswege für Rundfunk in den Frequenzbereichen VHF und UHF koordiniert. Nach den Ergebnissen wird in Deutschland das VHF-Band III vorrangig für das DAB-System reserviert, auf einzelnen Frequenzen kann auch DVB-T betrieben werden. Bei Nichtnutzung der für den Hörfunk reservierten Frequenzen, sollen diese für TV, Datendienste und für Telekommunikationszwecke eingesetzt werden. Für die messtechnische Beurteilung der Störwirkung der Systeme gegeneinander wurde eine sogenannte Schutzabstandsmessung im Labor durchgeführt. Betrachtet wurden das DAB-System und das DRM<sup>+</sup>-System, für DVB-T stand kein Messequipment zur Verfügung. Der Begriff Schutzabstand (Protection Ratio) bezeichnet die Leistungsdifferenz zwischen einem Nutz- und Störsignal, bei der ein definiertes Störkriterium des Nutzsignals gerade noch eingehalten wird.

Generell wird eine Messung dieser Art durchgeführt, indem ein Nutz- und ein Störsender zusammen auf einen Empfänger für das Nutzsignal einwirken. Frequenz und Leistungspegel des Störsenders sind hierbei i. allg. einstellbar. Nach Herstellung einer definierten Empfangsbedingung des Nutzsystems – die z. B. in den einschlägigen Standards festgelegt sind – wird in unterschiedlichen Frequenzabständen der Störsender in seiner Leistung soweit erhöht, bis das definierte Störkriterium gerade noch erfüllt ist. Der Schutzabstand in dieser Situation ist eine Funktion der Frequenzdifferenz. Er ergibt sich, wie oben bereits erläutert, aus der Differenz der Leistungspegel von Nutz- und Störsender.



Abb. 5.1.: Messaufbau der Schutzabstandsmessung im Labor der FH-KL

## 5.1. Kanalplanung

Ein Anliegen bei den Schutzabstandsmessungen war es, möglichst realistische und aus frequenzplanerischer Sicht sinnvolle Frequenzoffsets zu wählen. Da kein Frequenzplan für DRM<sup>+</sup> im VHF-Band III existiert, wurde auf einen Vorschlag zur Einplanung von DRM<sup>+</sup> in DAB-Blöcke von Dr.-Ing Manfred Kühn zurückgegriffen [Küh09]. Die zentrale Idee dieses Vorschlags ist die symmetrische Einplanung von 15 DRM<sup>+</sup>-Kanäle im Abstand von 100 kHz in einen DAB-Block. Vom mittlersten Kanal ausgehend, der mit „Kanal 0“ bezeichnet wird, sind alle Kanäle in Abhängigkeit der Frequenzoffset mit „Kanal ±(1-7)“ bezeichnet. Aus Gründen der Anschauung wurde in den Schutzabstandskurven das Frequenzmodell mit eingezeichnet, hierbei wurden die verwendeten Farben und Bezeichnungen für die DRM<sup>+</sup>-Kanäle aus Abb. 5.2 übernommen.

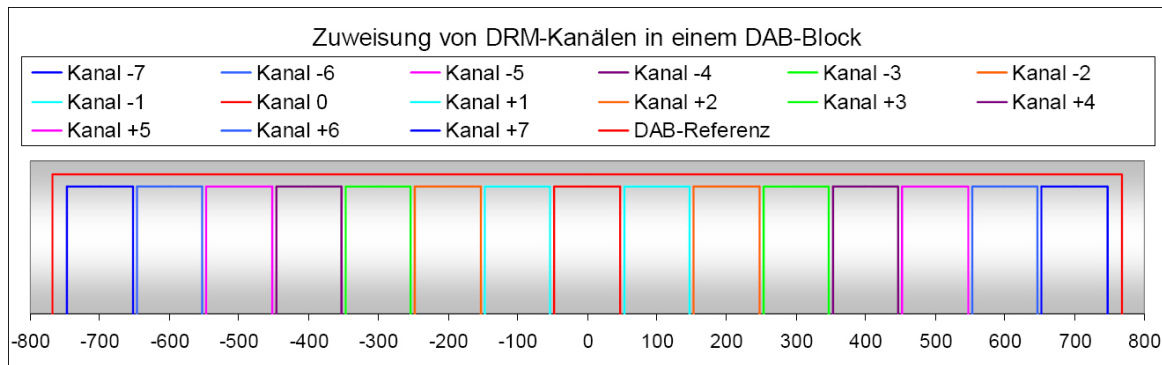


Abb. 5.2.: Vorschlag: Einplanung von DRM<sup>+</sup>-Kanälen in einen DAB-Referenzblock (Quelle: [Küh09])

## 5.2. DAB stört DRM<sup>+</sup>

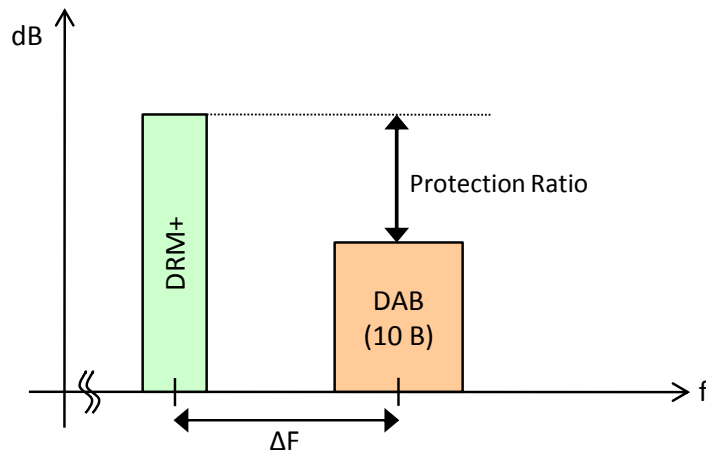
### 5.2.1. Störkriterium

Zur Erfassung der Schutzabstände für das DRM<sup>+</sup>-System ist die Definition des Begriffs „DRM<sup>+</sup>-Empfang möglich“ bzw. „DRM<sup>+</sup>-Empfang nicht möglich“ notwendig.

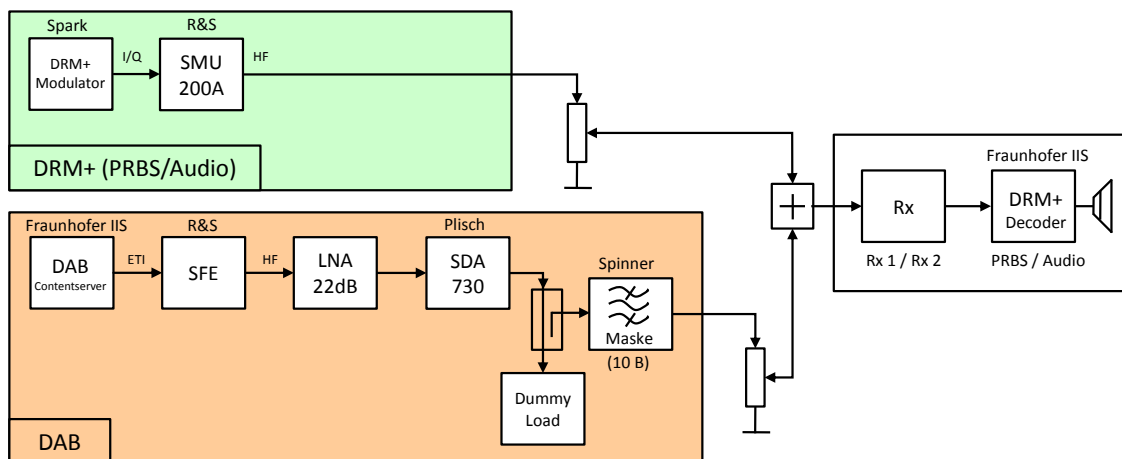
Nach dem ETSI-Standard wird für für DRM<sup>+</sup> als Fehlerkriterium eine  $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$  nach Viterbi angegeben [Ins09]. Dies entspricht dem typischen Wert bei der diensteunabhängigen Auswertung der Performanz von digitalen Systemen. Bei den Schutzabstandsmessungen wurde jeweils der BER-Wert so lange beobachtet, bis er sich erkennbar auf einen Messwert stabilisiert hat. Dies war nach ca. 1-3 Minuten der Fall. Durch zusätzliches Monitoring eines Audiostreams konnte ein fehlerfreie Audioqualität für das Bewertungskriterium verifiziert werden.

### 5.2.2. Messaufbau

In diesem Abschnitt wird der Messaufbau sowie der Ablauf der Schutzabstandsmessung näher beschrieben. Der Schutzabstand (Protection Ratio) ist als Leistungsunterschied eines Stör- zu einem Nutzsignal definiert, bei dem das Nutzsignal noch gerade so das Versorgungskriterium erfüllt. Die Bandbreite der Signale hat dabei keinen Einfluss, es wird rein die Gesamtleistung der Signale für einen Frequenzoffset der Mittenfrequenzen der Signale betrachtet.

Abb. 5.3.: Schutzabstandsmessung DAB stört DRM<sup>+</sup>

In Abb. 5.3 sieht man, dass für die Ermittlung des Schutzabstands für das Nutzsignal (hier DRM<sup>+</sup>) ein fester Leistungspegel gewählt wird, und anschließend die Leistung des Störsignals (DAB) solange erhöht wird bis das Versorgungskriterium erfüllt ist. Nähere Informationen zum Störsignal in Abschnitt 5.2.4 und zum Nutzsignal in Abschnitt 5.2.3.

Abb. 5.4.: Blockschaltbild - Schutzabstandsmessung - DAB stört DRM<sup>+</sup>

In Abb. 5.4 ist der Messaufbau als Blockschaltbild dargestellt. Der Multiplex aus Audio und PRBS-Daten des DRM<sup>+</sup>-Nutzsignals wird mit der Sendersoftware „Spark“ [Fei] auf einem PC-System erzeugt und dann über eine D/A Wandlerkarte in I/Q Form dem Vektorsignalgenerator SMU200A übergeben. Dieser mischt das Signal auf die gewünschte HF-Frequenz. Danach wird es auf einen Leistungspegel von 10 dB über der Mindestempfangsfeldstärke des eingesetzten Frontends gedämpft, und zusammen mit dem DAB-Störsignal in den Empfänger eingespeist. Der für das DAB-Signal nötige Mutlplex wird durch den Contentserver erzeugt und dann über eine ETI Datenleitung in den DAB-Testsender SFE [Roh09] (s. Abb. 5.5) eingespeist.



Abb. 5.5.: DAB Testsender SFE (R&amp;S)

Dieser moduliert das Signal und mischt es auf die 211,648 MHz (DAB-Kanal 10B). Für das DAB-Störsignal wird eine höhere Leistung benötigt, um auch noch bei großem Frequenzoffset das DRM<sup>+</sup>-Nutzsignal stören zu können. Daher wird das erzeugte HF-Signal mit einem LNA<sup>1</sup> vorverstärkt und in den 25W DAB-Verstärker SDA730 [Pli01] (s. Abb. 5.6) eingespeist. Durch den Einsatz eines Dummy Load (künstliche Antenne) ist es möglich, die Verstärker in einem höheren Leistungsbereich zu betreiben. Um Störungen (z.B. durch Einkopplungen in die Frontends) vorzubeugen wurde der DAB-Verstärker in der HF-dichten Kammer der FH-Kaiserslautern betrieben. Durch einen Richtkoppler (Koppelmaß: 26 dB) wird das Signal nach dem Filtern mit dem DAB-Maskenfilter [Spi09] über ein variables Dämpfungsglied auf die benötigte Leistung eingestellt. Danach wird das Störsignal mit dem Nutzsignal gemischt in den Empfänger eingespeist.

Als Empfänger wurden die beiden DRM<sup>+</sup>-Prototypenempfänger Rx 1 und Rx 2 genutzt (s. Kapitel 3.1).



Abb. 5.6.: SDA730 (Plisch) und Dummy-Load in HF-dichte Kammer

### 5.2.3. Nutzsignal

Als DRM<sup>+</sup>-Nutzsignal wurden die beiden Symbolwertigkeiten des MSC 4QAM und 16QAM betrachtet. Der Multiplex besteht jeweils zu einer Hälfte aus Audio und zur anderen Hälfte aus einer synchronen PRBS-Sequenz. Der Signalpegel am Empfängereingang wurde anhand der Mindestempfangspegel der Empfänger in Tab. 3.1 gewählt und danach um 10 dB erhöht. Somit wird sichergestellt, dass die Ergebnisse nicht durch das Empfängereigenrauschen beeinflusst werden und im linearen Verstärkungsbereich arbeiten. Die beiden als 4QAM und 16QAM bezeichneten Signalvarianten haben immer folgenden Coderaten, auch wenn dies im Bericht nicht immer erneut explizit erwähnt wird:

- 4 QAM: SDC Fehlerrate 0,25; MSC Fehlerrate 0,4 (PRBS 29,76 kbit/s / Audio 29,84 kbit/s)
- 16 QAM: SDC Fehlerate 0,25; MSC Fehlerrate 0,33 (PRBS 49,68 kbit/s / Audio 49,68 kbit/s)

### 5.2.4. Störsignal

Für eine konforme Schutzabstandsmessung muss das DAB-Störsignal die Spektrummaske der EN300401 [Eur06] einhalten. Durch eine Spektrumaufnahme mit hoher Dynamik (Messbeschreibung s. Kap. 7.1) wurde das erzeugte Signal hinter dem Maskenfilter gemessen. Die Ergebnisse dieser Messung sind in Abb. 5.7 dargestellt. Hier wird sichtbar, dass sowohl die unkritische wie auch die kritische DAB-Spektrummaske eingehalten werden.

<sup>1</sup>Low Noise Amplifier

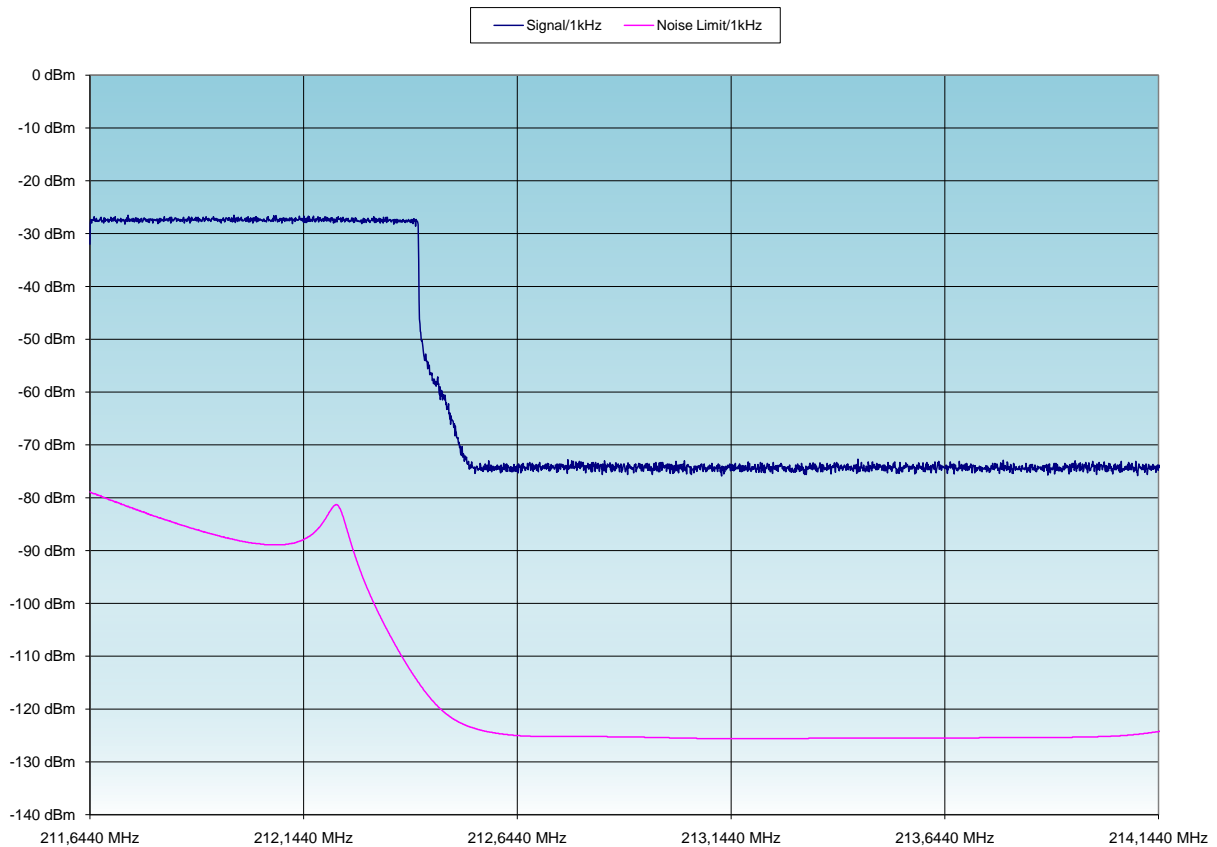


Abb. 5.7.: Signalverlauf DAB-Störsignal

### 5.2.5. Ergebnisse DAB stört DRM<sup>+</sup>

In diesem Kapitel werden die grundlegenden Ergebnisse anhand von ausgewählten Schutzabstandskurven diskutiert, alle Schutzabstandskurven und die Ergebnisse in tabellarischer Form finden sich in Anhang 7.3. In allen Fällen wurde das DAB-Störsignal in Block 10B genutzt. In den DAB-Blöcken sind farblich die möglichen DRM<sup>+</sup>-Kanäle eingezeichnet (s. Kap. 5.1). An diesen Kanälen wurde sich bei der Frequenzwahl der DRM<sup>+</sup>-Nutzsignale orientiert. Betrachtet wurden der Störeinfluss des DAB-Signals bis auf vier benachbarte DAB-Blöcke (Frequenzoffset von 7000 kHz).

### 5.2.6. Vergleich der Prototypenempfänger

In Abb. 5.8 sind die Schutzabstände für DAB stört DRM<sup>+</sup> (16 QAM) für beide Prototypenempfänger dargestellt.

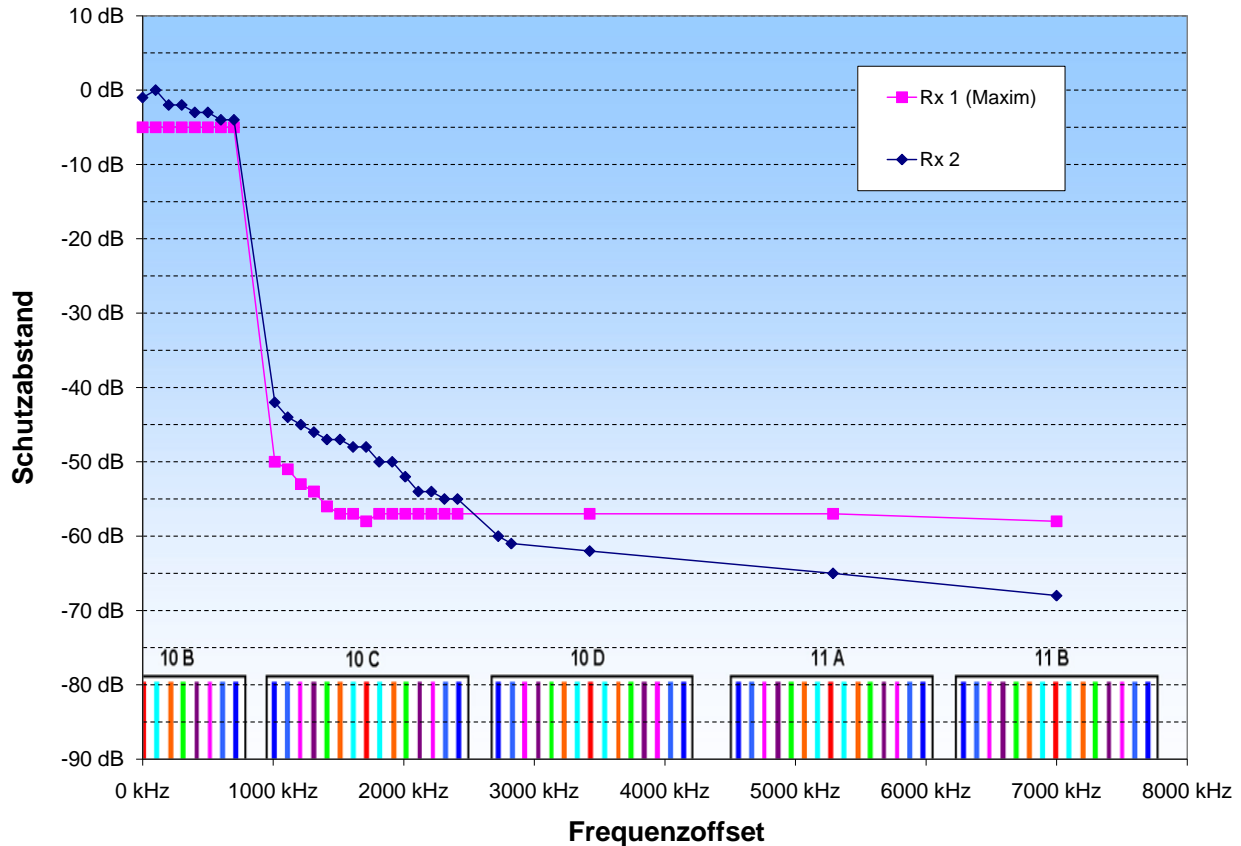


Abb. 5.8.: Schutzabstände - DAB stört DRM<sup>+</sup> (16 QAM); Störkriterium:  $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$

Rx 1 erweist sich im Gleichkanalfall (Block 10B) und Nachbarkanal (10C) deutlich besser als Rx 2. Auffällig ist, dass Rx 2 im Gleichkanalfall, bei dem man einen ähnlichen Schutzabstand wie bei Rx 1 erwartet, zwischen einem C/I von 0 dB und -4 dB schwankt. Ein weiteres Phänomen wurde im Gleichkanalfall bei der Messung mit Rx 2 beobachtet (bei Rx 1 stark abgeschwächt): Die Bitfehlerrate stabilisiert sich nicht auf einen Wert, sondern bleibt immer wieder konstant um dann kurzzeitig sprunghaft anzusteigen. Dieses Verhalten ist ähnlich dem vom mobilen Mehrwegeempfang (Fading). Anscheinend verliert der DRM<sup>+</sup>-Decoder immer wieder die Synchronisation der Piloten. Auf der Suche nach der Ursache wurde das DAB-Signal näher betrachtet, dabei fallen im Spektrumanalyser „Leistungseinbrüche“ auf, die durch das Signal laufen. In Abb. 5.11 sind diese im Zerospan dargestellt. Der gemessene Abstand von 96 ms zeigt, dass es sich hierbei um die Synchronisationimpulse des DAB-Signal handelt. Diese könnten die mögliche Ursache für den Verlust der Synchronisation des DRM<sup>+</sup>-Signal sein, dass sich das DRM<sup>+</sup>-Signal auf die DAB-Piloten synchronisiert ist eher unwahrscheinlich, betrachtet man den großen Pegeloffset der Signale in Abb. 5.12. Warum dieser Effekt hauptsächlich



Abb. 5.9.: Rx 1



Abb. 5.10.: Rx 2

bei Rx2 auftritt, kann auf die ZF-Filterbreite zurückgeführt werden. Während Rx1 mit einer ZF-Filterbandbreite (s. Abschnitt 3.1.6) von 133 kHz nur wenig dieser Leistungseinbrüche erfasst, schlagen mit einer Filterbandbreite von 1536 kHz diese Leistungseinbrüche voll auf die AGC-Regelung von Rx 2.

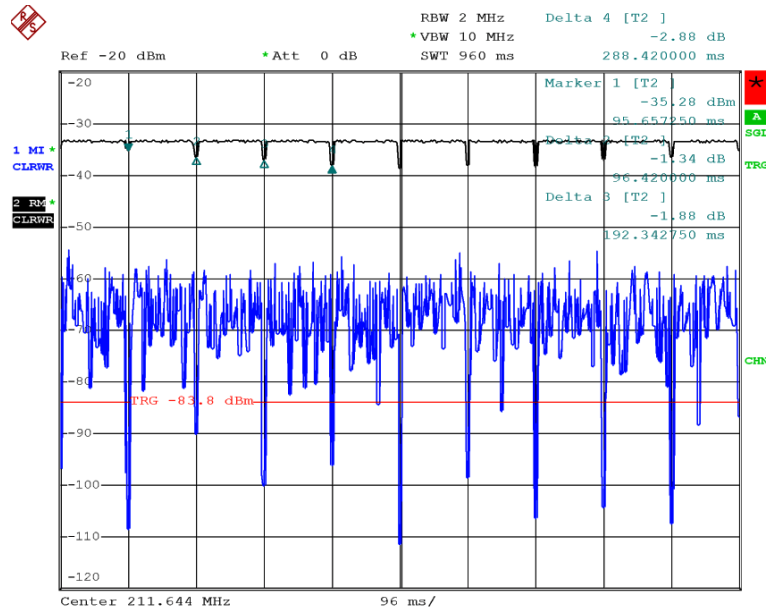


Abb. 5.11.: DAB Nullsymbole; Leistung -über Zeit - Darstellung

Der **negative Schutzabstand im Gleichkanalfall** erscheint zunächst befremdlich. Dies ist auf die unterschiedliche Bandbreite der Signale zurückzuführen und der Tatsache, dass für den Schutzabstand die Gesamtsignalleistung in Relation gestellt werden. Die Bandbreite von DRM<sup>+</sup> beträgt 100 kHz die von DAB 1536 kHz. In Abb. 5.12 ist das Spektrum im Gleichkanalfall (0 kHz Offset) dargestellt. Hier sieht man, dass trotz negativen C/I das DRM<sup>+</sup>-Nutzsignal 7,6 dB aus dem Störsignal „herausragt“. Zieht man von den 7,6 dB etwa 11,8 dB (für die ca. 15fache Bandbreite des DAB-Signals) ab, erhält man wieder den C/I Wert von -4,2 dB (Schutzabstandsmessung: -5 dB).

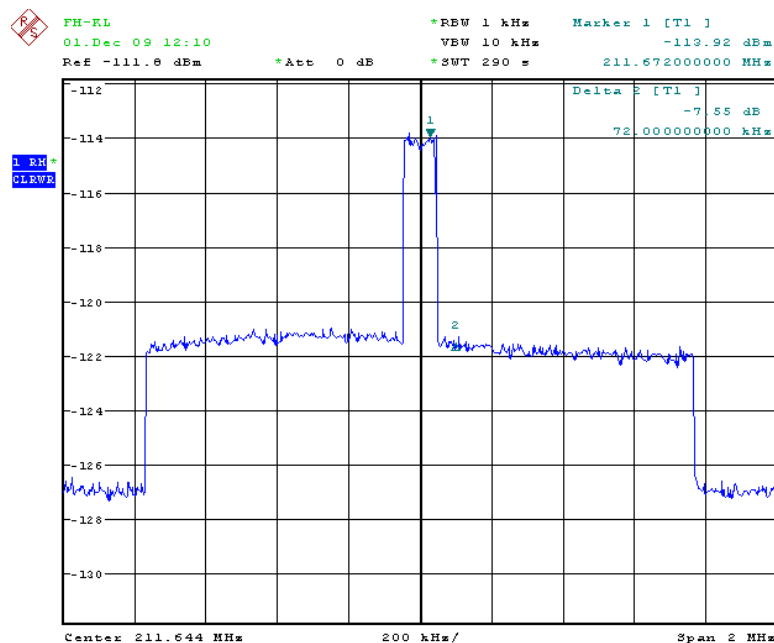


Abb. 5.12.: Schutzabstand; Rx1; 0 kHz Frequenzoffset; 16 QAM

Abb. 5.13 zeigt die Spektrumaufnahme der Schutzabstandsmessung „DAB stört DRM+“ bei einem Frequenzoffset von 2012 kHz. Gemessen wurde für diesen Fall ein Schutzabstand von  $-52$  dB.

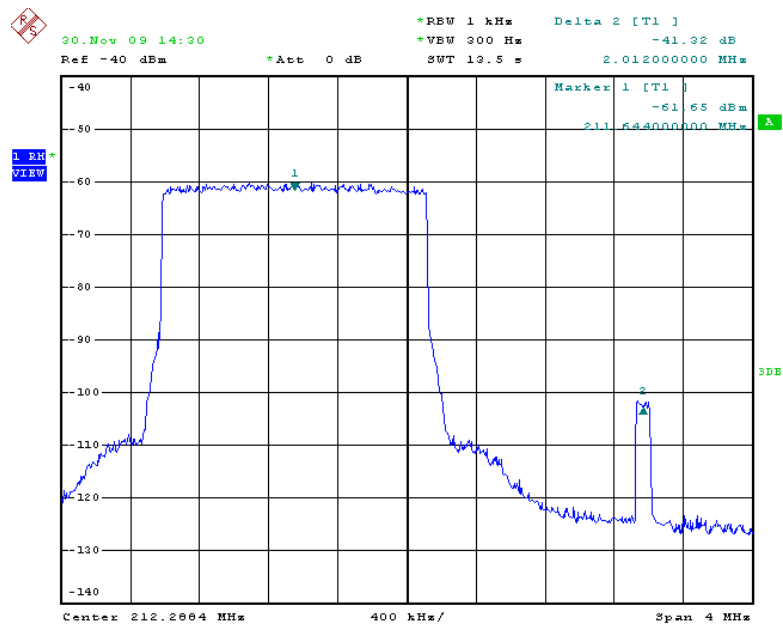


Abb. 5.13.: Schutzabstand; Rx 2; 2012 kHz Frequenzoffset (DRM Kanal +3 Block 10C); 16 QAM

### 5.2.7. Mit/ohne DAB-Maskenfilter

Abb. 5.14 zeigt den Einfluss des DAB-Maskenfilters auf die Schutzabstände. Ab Mitte des zweiten Nachbarblock zeigt der Filter seine Wirkung.

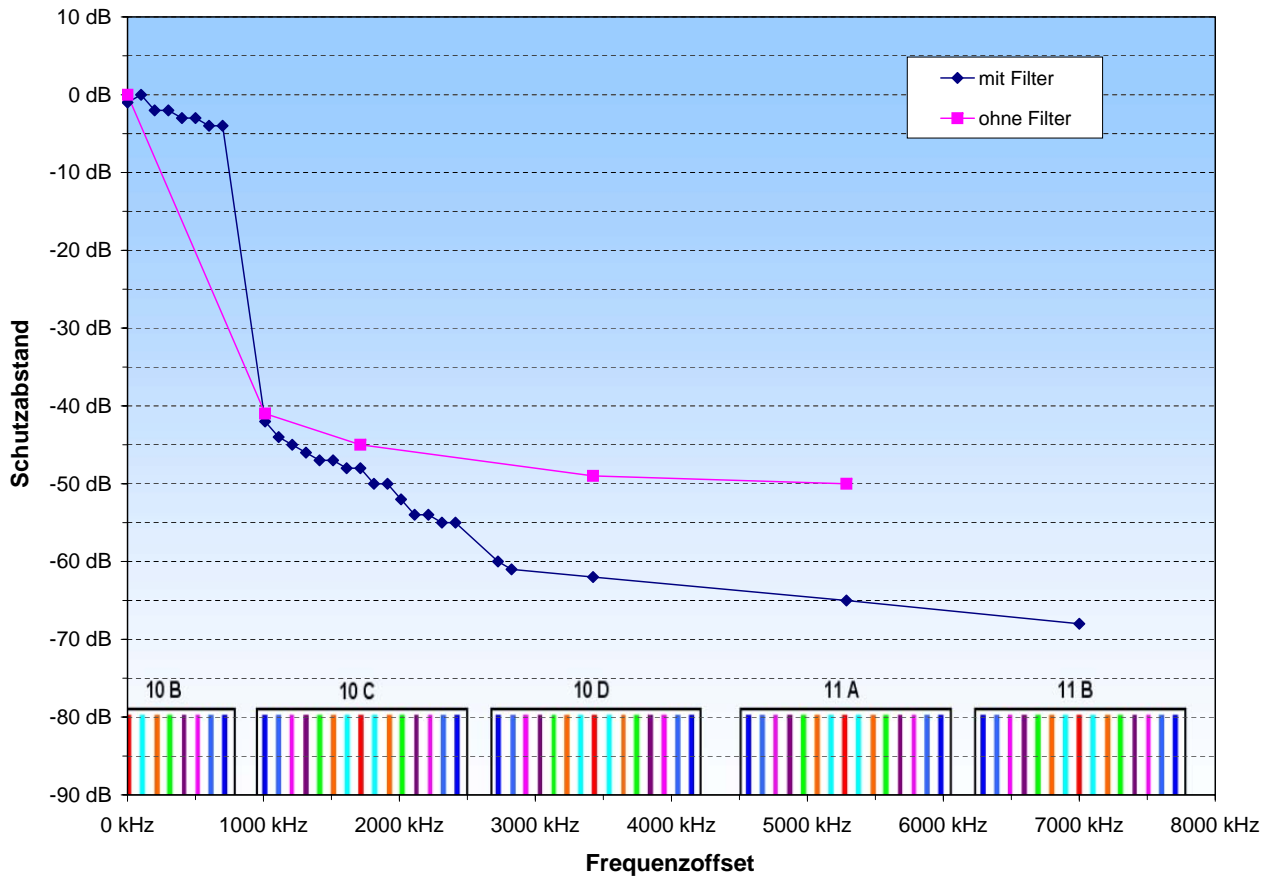


Abb. 5.14.: Schutzabstände - DAB stört DRM<sup>+</sup>(16 QAM); mit / ohne Filter; Rx 2; Störkriterium:  $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$

### 5.2.8. 4-QAM vs. 16-QAM-Variante

Die Abb. 5.15 vergleicht die Schutzabstände der beiden möglichen Modulationen 4/16 QAM des DRM<sup>+</sup>-Nutzsignals. Es zeigt sich ein Unterschied von 5 dB. Dieser Wert entspricht den S/N Unterschied, für die unterschiedlichen Modi, bei der AWGN Kanalsimulation (s. Kap. 4.2.4.1).

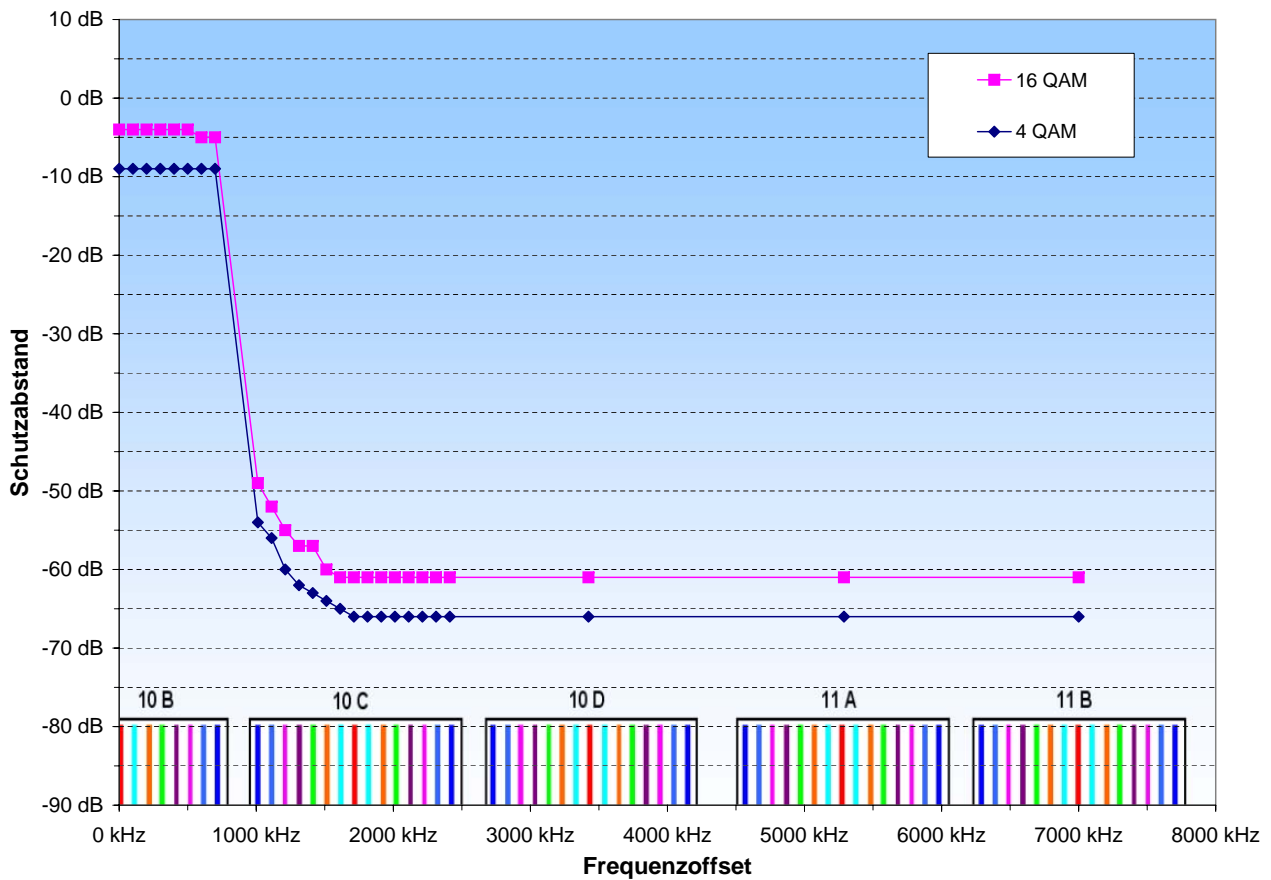


Abb. 5.15.: Schutzabstände - DAB stört DRM<sup>+</sup>(4/16 QAM); hoher Leistungspegel; Rx 1; Störkriterium:  $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$

### 5.2.9. Niedriger/hoher Leistungspegel

In Abb. 5.16 werden die Schutzabstände einer Messung mit normalen Nutzsignalpegel wie in Abschnitt 5.2.3 beschrieben und mit einem um 20 dB erhöhten Nutzsignalpegel verglichen. Es zeigen sich keine nennenswerte Unterschiede.

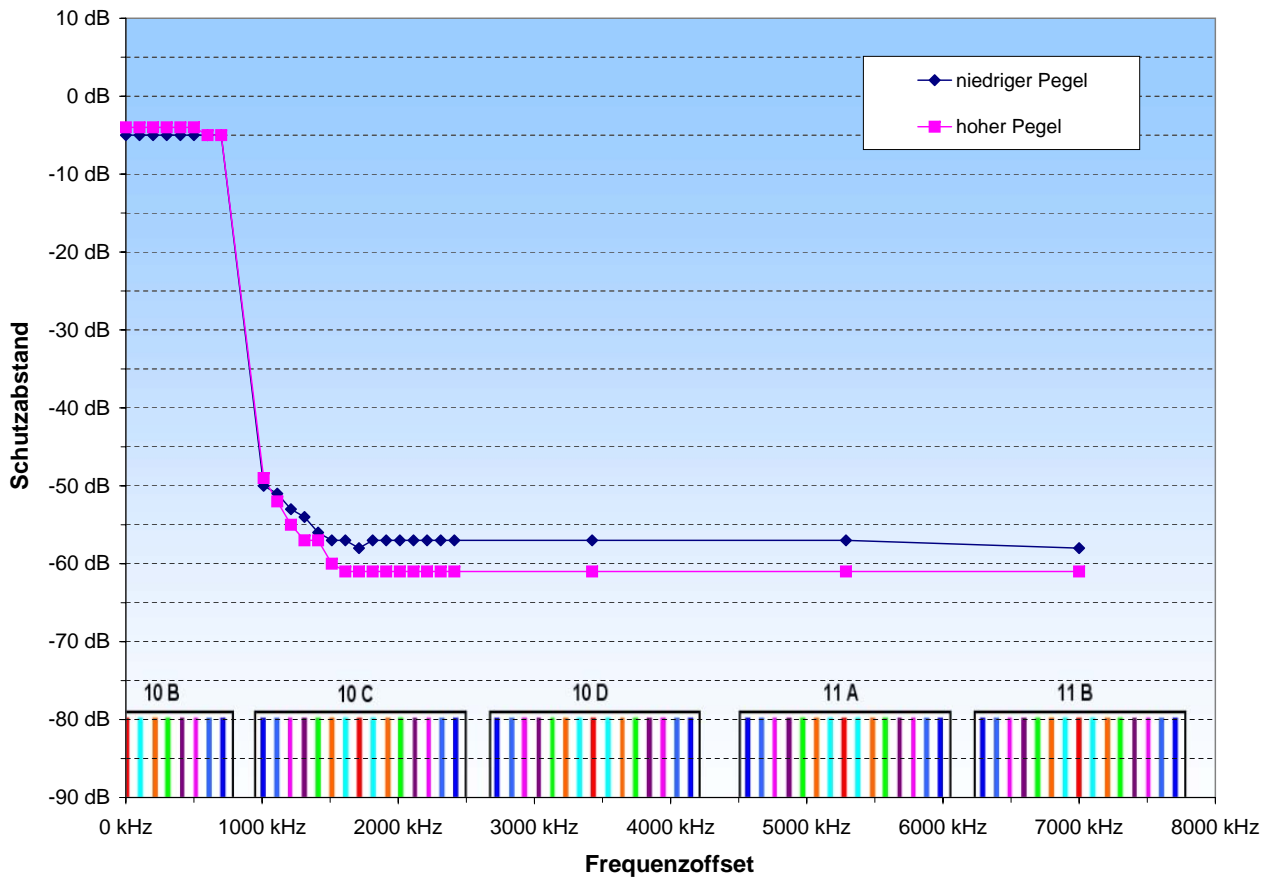


Abb. 5.16.: Schutzabstände - DAB stört DRM<sup>+</sup>(16 QAM); Rx 1; Störkriterium:  $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$

### 5.2.10. Vergleich DAB-Störsender

Zur Verifizierung der Ergebnisse wurde eine Messung, mit deutlich weniger Messpunkten, mit einem weiteren DAB-Sender durchgeführt. In Abb. 5.17 werden die Schutzabstände einer Messung mit einem Messaufbau auf Basis des SDA730 und einem Aufbau auf Basis des SLA8200 (s. Abb. 5.18) verglichen. Im Anhang 7.3.3 findet sich das Blockschaltbild des Messaufbaus. Die gemessenen Unterschiede der Schutzabstände liegen im Bereich des Messfehlers von  $\pm 1$  dB.

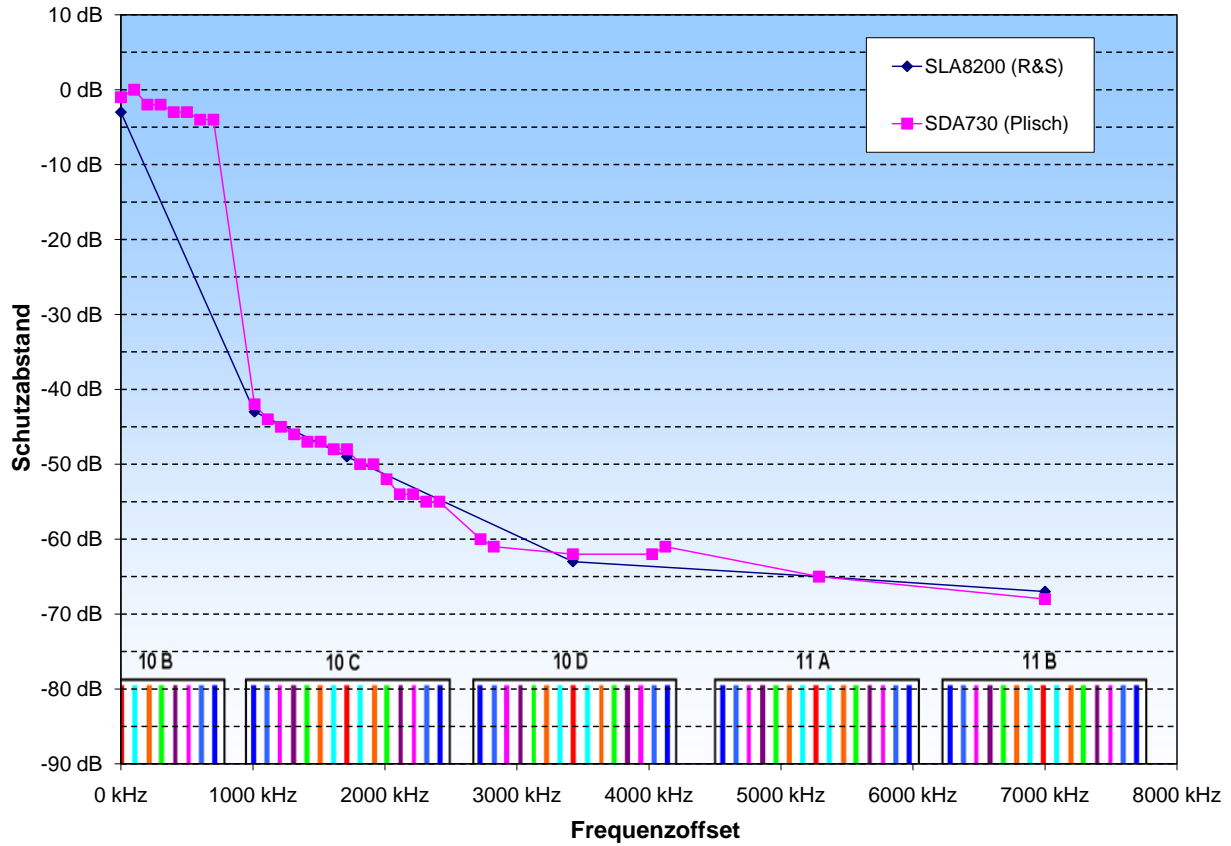


Abb. 5.17.: Schutzabstände - DAB stört DRM<sup>+</sup>(16 QAM); Rx 2; Störkriterium:  $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$



Abb. 5.18.: DAB Sender - SLA8200 (Rohde & Schwarz))

### 5.2.11. Vergleich der Ergebnisse mit „DRM<sup>+</sup> stört DRM<sup>+</sup>“

In Tab. 5.1 und Tab. 5.2 werden die Schutzabstände (PR) der aktuellen Messung „DAB stört DRM<sup>+</sup>“ mit den Ergebnissen „DRM<sup>+</sup> stört DRM<sup>+</sup>“ aus dem Bericht [SSK09] verglichen. Für einen direkten Vergleich müssen zwei Korrekturfaktoren mit eingerechnet werden. Zum einen, für die ca. 15fache Bandbreite von DAB im Vergleich zu DRM<sup>+</sup> der Faktor 15 (−11,8 dB). Des Weiteren muss ein Korrekturfaktor für die unterschiedlichen eingesetzten DRM<sup>+</sup>-Decoder Versionen eingerechnet werden. In Tab. 4.7 sind die SNR<sub>Dec</sub> für die neuen (V 0.3.0) und die alten (V 0.1.0) Decoderversion aufgeführt. Daraus ergibt sich für den 4 QAM-Fall ein Korrekturfaktor von −2 dB und für 16 QAM-Fall ein Korrekturfaktor von −4,5 dB. Es zeigt sich, dass die korrigierten Messwerte von „DRM<sup>+</sup> stört DRM<sup>+</sup>“ vergleichbar der Ergebnisse der aktuellen Messung sind.

	DRM <sup>+</sup> stört DRM <sup>+</sup> (Dec V 0.1.0)	DAB stört DRM <sup>+</sup> (Dec V 0.3.0)	
Empfänger	Rx 3	Rx 1	Rx 2
PR Gleichkanal (korrigiert) / dB	6 (-7,8)	-9	-7

Tab. 5.1.: PR Vergleich: DRM<sup>+</sup> stört DRM<sup>+</sup> vs. DAB stört DRM<sup>+</sup>; 4 QAM

	DRM <sup>+</sup> stört DRM <sup>+</sup> (Dec V 0.1.0)	DAB stört DRM <sup>+</sup> (Dec V 0.3.0)	
Empfänger	Rx 3	Rx 1	Rx 2
PR Gleichkanal (korrigiert) / dB	14 (-2,3)	-4	-2

Tab. 5.2.: PR Vergleich: DRM<sup>+</sup> stört DRM<sup>+</sup> vs. DAB stört DRM<sup>+</sup>; 16 QAM

### 5.3. DRM<sup>+</sup> stört DAB

#### 5.3.1. Störkriterium

Zur Erfassung der Schutzabstände für das DAB-System ist die Definition des Begriffs „DAB-Empfang möglich“ bzw. „DAB-Empfang nicht möglich“ notwendig.

Da für die Schutzabstandsmessung auf handelsübliche, „state of the art“ DAB-Empfänger zurückgegriffen wurde bestand nicht die Möglichkeit, den Empfangszustand über Bitfehlerraten oder andere Messwerte zu bestimmen. Daher wurde als Versorgungskriterium die Audioqualität gewählt. Als Zustand „DAB-Empfang möglich“ wurde ein 3 min fehlerfreier Audioempfang gewählt. Die Bewertung der Messungen erfolgte mit Kopfhörer und wurde immer von zwei Personen durchgeführt, um Bewertungsfehler zu minimieren.

#### 5.3.2. Messaufbau

In diesem Kapitel wird der Messaufbau sowie der Ablauf der Schutzabstandsmessung DRM<sup>+</sup> stört DAB näher beschrieben. Der Schutzabstand (Protection Ratio) ist als Leistungsunterschied eines Stör- zu einem Nutzsignal, bei dem das Nutzsignal noch gerade so das Versorgungskriterium erfüllt, definiert.

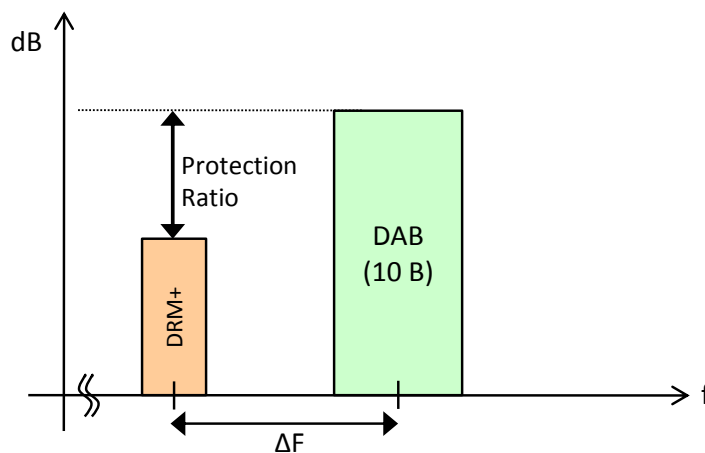


Abb. 5.19.: Schutzabstandsmessung - DRM<sup>+</sup> stört DAB

Aus Abb.5.19 geht hervor, dass für einen festen Frequenzoffset - der Mittenfrequenzen der Signale - der Pegelunterschied der Gesamtleistung der Signale gemessen wird. Dabei wird für das Nutzsignal (hier: DAB) ein fester Leistungspegel gewählt und dann die Leistung des Störsignals (DRM<sup>+</sup>) erhöht wird bis das Versorgungskriterium gerade noch erfüllt. Nähere Informationen zum Störsignal und Nutzsignal in den Abschnitten 5.3.3, 5.3.4. Abb.5.23 zeigt den Messaufbau als Blockschaltbild. Für das DRM<sup>+</sup>-Störsignal wird ein Multiplex aus Audio und PRBS-Daten mit der Sendersoftware „Spark“ [Fei] auf einem PC-System erzeugt und dann über eine Samplerkarte als I/Q Daten dem Vektorsignalgenerator SMU200A übergeben. Dieser mischt das Signal auf die gewünschte HF-Frequenz. Um auch noch bei großen Frequenzoffset das DAB-Nutzsignal stören zu können, wird ein Störsignal von bis zu 1dBm benö-



Abb. 5.20.: Rx 2

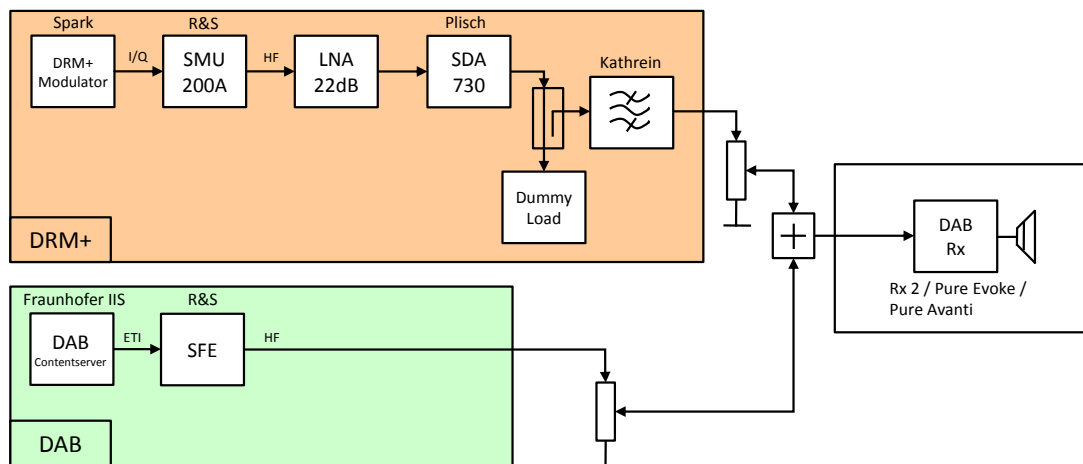


Abb. 5.21.: Pure Avanti

tigt. Daher wird das erzeugte HF-Signal mit einem LNA<sup>2</sup> vorverstärkt in den 25W DAB-Verstärker SDA730 [Pli01] gegeben. Durch den Einsatz eines Dummy Load ist es möglich die Verstärker in einem linearen Verstärkungsbereich zu betreiben. Das Signal wird über einen Richtkoppler (Koppelmaß: 26 dB) auf VHF-Band III Filter (s. 5.3.2.2) gegeben, mit dem Nutzsignal vereint in die Empfänger eingespeist. Für das DAB-Nutzsignal wird ein deutlich niedriger Leistungspegel von 10 dB über der Mindestempfangsfeldstärke der eingesetzten Empfänger benötigt. Der DAB-Multiplex wird durch den Contentserver erzeugt über eine ETI Datenleitung an den DAB-Testsender SFE übergeben. Dieser moduliert und mischt das Signal auf die benötigten VHF-Band III Frequenz. Danach wird es mit dem DRM<sup>+</sup>-Signal gemischt in den Empfänger eingespeist.



Abb. 5.22.: Pure Evoke 2S

Abb. 5.23.: Blockschaltbild - Schutzabstandsmessung - DRM<sup>+</sup> stört DAB

### 5.3.2.1. Verwendete DAB Testempfänger

Als Empfänger standen drei Empfänger zur Verfügung (s. Abb. 5.20,5.21,5.22), zum einen Rx 2, dessen Frontend auch als DRM<sup>+</sup>-Empfänger genutzt wurde, und zum anderen zwei tragbare Heimempfänger der Firma Pure (Avanti und Evoke 2S). In Tab. 5.3 sind die Mindestempfangspegel der eingesetzten Empfänger aufgeführt. Der Mindestempfangspegel wurde durch Dämpfung des Eingangssignals bis zum Erreichen des definierten Empfangszustands (Störkriterium: Audiostörung) bestimmt.

	Rx 2	Pure Evoke 2S	Pure Avanti
Mindestempfangspegel	-100,3 dBm	-99 dBm	-98 dBm

Tab. 5.3.: Mindestempfangsfeldstärken DAB Empfänger; Störkriterium: Audiostörung

### 5.3.2.2. DRM<sup>+</sup>-Filter im VHF-Band III

Da auf dem Markt kein Filter für ein 100 kHz breites Signal im VHF-Band III vorhanden ist, wurde auf ein DAB Bandpassfilter der Firma Kathrein zurückgegriffen (Datenblatt s. 7.2.1,[Kat09]). Um eine bessere Filterwirkung des DRM<sup>+</sup>-Störsignals zu erhalten wurde - für jeweils alle untersuchten DRM<sup>+</sup>-Frequenzen - das Filter so verstimmt, dass man eine möglichst steile Filterkante an der DRM<sup>+</sup>-Signalflanke in Richtung DAB-Nutzsignal erhält. In Abb. 5.25 ist für die Frequenz von 213,224 MHz

<sup>2</sup>Low Noise Amplifier

eine Durchlasskurve exemplarisch dargestellt. Die Marker 1 und 2 markieren die Flanken des DRM<sup>+</sup>-Signals. Man erkennt, dass das Filter im Frequenzoffset von 500 kHz (Marker 3) eine Dämpfung von 25 dB hat.

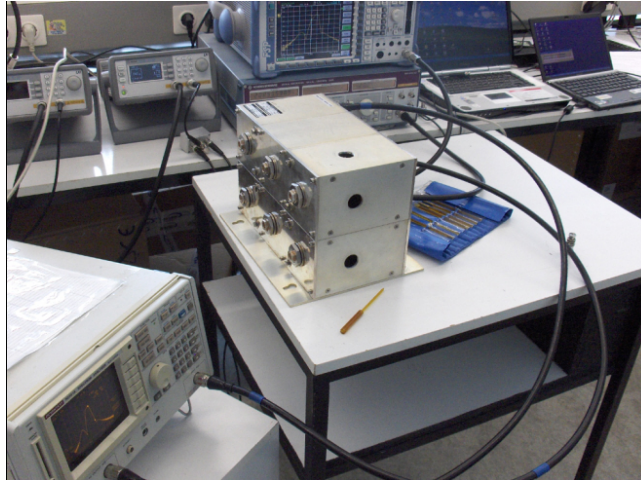


Abb. 5.24.: Verstimmen des Kathrein DAB-Filter für das DRM<sup>+</sup>-Signal

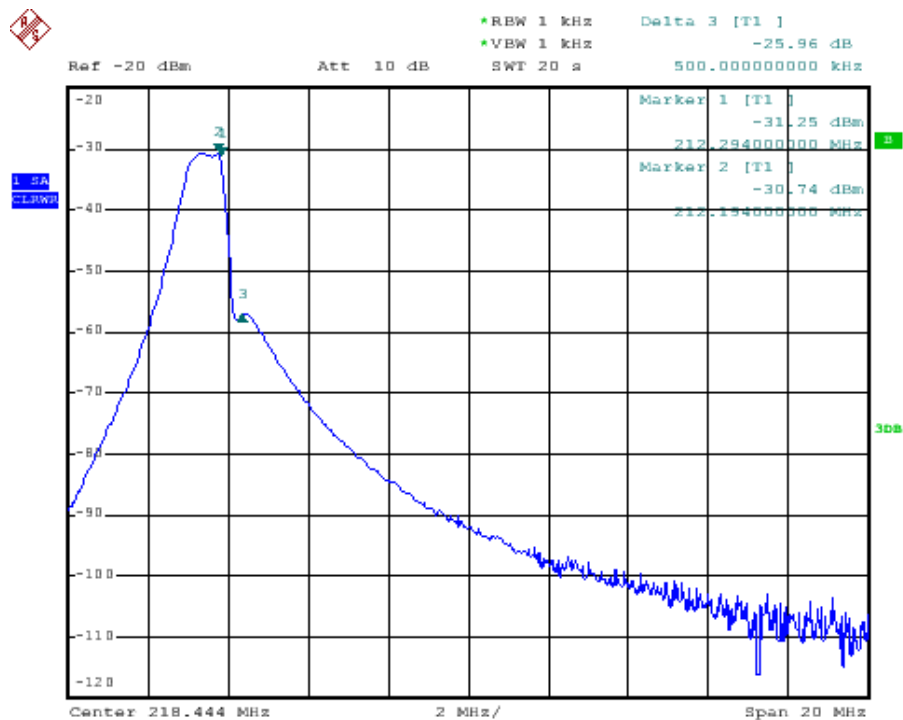


Abb. 5.25.: DRM<sup>+</sup>-Filter Durchlasskurve für die Frequenz von 212,224 MHz

### 5.3.3. Nutzsignal

Für das Nutzsignal wurde im DAB-Contentserver ein DAB-Nutzsignal mit 160 kbit/s Audiostream gewählt mit mittleren Fehlerschutz UEP 3 (Coderate 0,5). Diese Einstellungen entsprechen einem typischen DAB-Signal in Deutschland z.B. der Senders „SWR 3“ des DAB-Ensembles „Rheinland-Pfalz“. Der Signalpegel am Empfängereingang wurde 10 dB über der Mindestempfangsfeldstärke (s. Tab. 5.3) der Empfänger gewählt. Somit wird sichergestellt, dass die Ergebnisse nicht durch das Empfängereingerauschen beeinflusst werden und das Frontend im linearen Bereich betrieben werden. Im Anhang 7.4.2 befindet sich ein Screenshot der Einstellungen im Contentserver.

### 5.3.4. Störsignal

Abb. 5.26 zeigt den Signalverlauf des DRM<sup>+</sup>-Störsignal für den Fall ungefiltert und gefiltert. Um die hohe Dynamik der Signalmessung realisieren zu können, wurde auf ein spezielles Messverfahren mit Filterunterdrückung zurückgegriffen. Nähere Informationen hierzu finden sich im Anhang 7.1. Das Signal wurde wie in Abschnitt 5.3.2 beschrieben erzeugt. Hier finden sich auch Informationen zum verwendeten Filter.

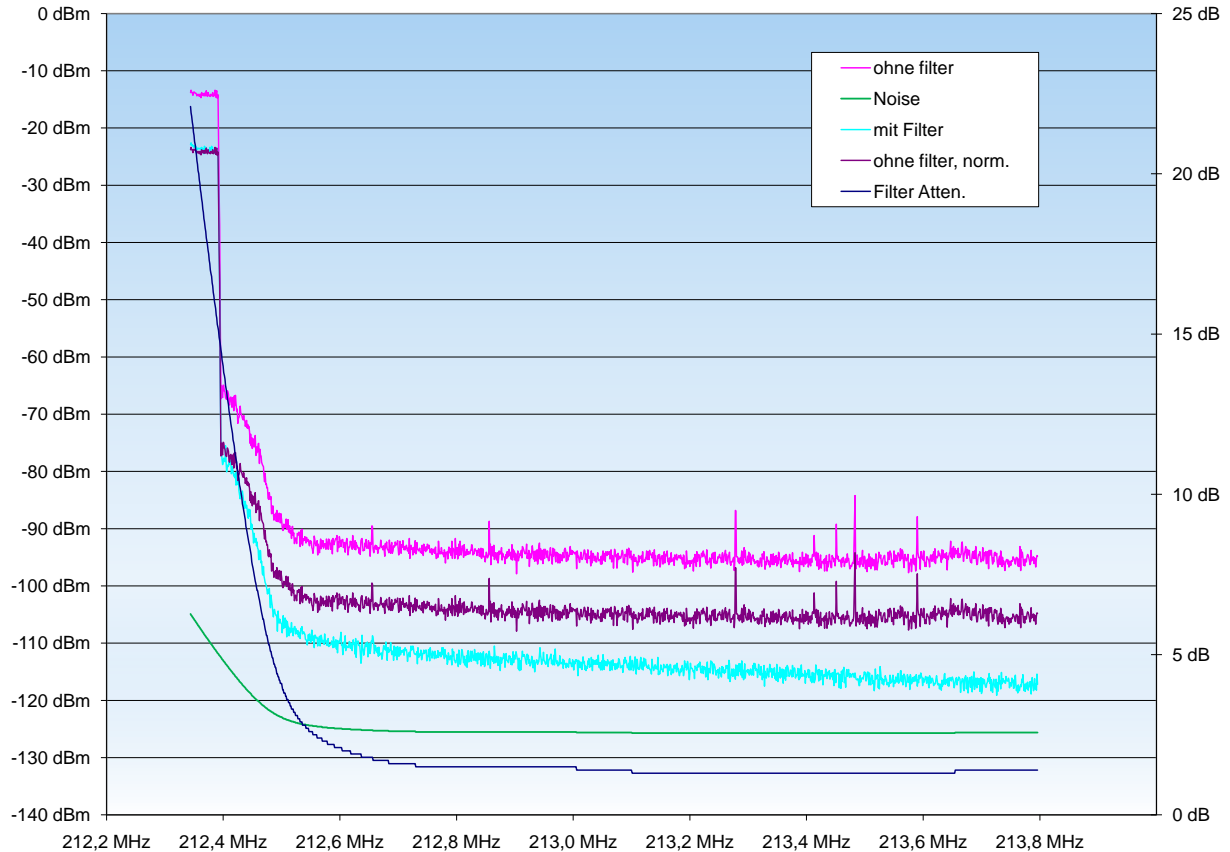


Abb. 5.26.: DRM<sup>+</sup> Signalverlauf

Bei den Schutzabstandsmessungen im Gleichkanal war es wünschenswert, mehrere DRM<sup>+</sup>-Blöcke in die Bandbreite des DAB-Nutzsignals zu stellen. Dies konnte nicht mit dem im Abschnitt 5.3.2 beschriebenen Aufbau für das Störsignal realisiert werden. Statt über den I/Q Eingang des SMU200A das DRM<sup>+</sup>-Signal einzuspeisen, wurde hierfür die Möglichkeit der Generierung eines Signals mit Hilfe des SMU200A ARB-Generator genutzt. In Abb. 5.27 ist exemplarisch ein Signal, bestehend aus zwei DRM<sup>+</sup>-Blöcken im Abstand von 200 kHz dargestellt. Aufgrund der 16 Bit/Sample des ARB-Generator kommt die Qualität des Signals nicht an die des normalen Messaufbaues heran.

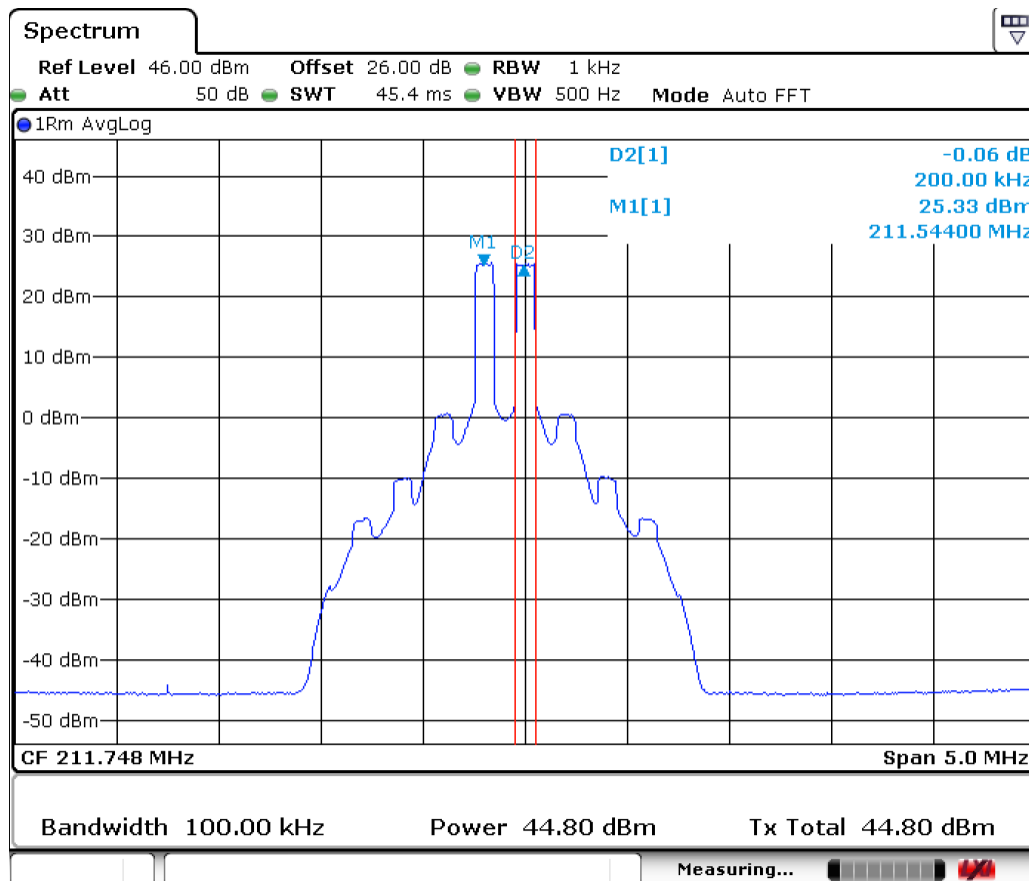


Abb. 5.27.: 2 DRM<sup>+</sup>-Blöcke erzeugt mit dem ARB-Generator des SMU200A

### 5.3.5. Ergebnisse DRM<sup>+</sup> stört DAB

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Ergebnisse der Schutzabstandsmessung anhand von ausgewählten Schutzabstandskurven diskutiert. Alle Ergebnisse in tabellarischer Form und als Diagramme finden sich im Anhang 7.4. Durch das breitere DAB-Signal besteht die Möglichkeit, bis zu 15 DRM<sup>+</sup>-Signale im Gleichkanal störend wirken. Daher war für den Gleichkanalfall gesonderte Messungen nötig. Diese werden in Kap. 5.3.5.1 zusätzlich zu den Nebkanalmessungen in Kap. 5.3.5.2 betrachtet.

#### 5.3.5.1. Gleichkanalbetrachtung

Wie verhält sich das DAB-Signal bei mehreren DRM<sup>+</sup>-Gleichkanalstörern? Diese Frage wird in diesem Kapitel geklärt. Hierzu wurde mehrere DRM<sup>+</sup>-Signale mit dem ARB-Generator des Signalgenerators SMU200A erzeugt. Die Ergebnisse dieser ersten Tests finden sich in Tab. 5.4. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass sich der Schutzabstand im Gleichkanalfall an 10 dB annähert. Um diesen Zusammenhang der Bandbreite des Störers zum Schutzabstand näher zu betrachten, wurde ein OFDM-Signal mit dem Signalgenerator SMU200A mit unterschiedlicher Bandbreite skaliert. In Abb. 5.28 sind die Ergebnisse dieser Messung für alle drei untersuchten Empfänger dargestellt. Hier wird sichtbar, dass tatsächlich eine Annäherung an die 10 dB erfolgt. Dieser Wert entspricht dem Schutzabstand DAB stört DAB im Gleichkanal von 10 dB [ITU05]. Da eine Unterscheidung des Schutzabstandes im Gleichkanal für eine unterschiedliche Anzahl an DRM<sup>+</sup> Störer in der Praxis als nicht sinnvoll und zu aufwendig erscheint, wurde bei den Schutzabstandskurven immer der Schutzabstand von 10 dB für den Gleichkanal angegeben.

Störsignal	Störsignal Bandbreite	C/I
1 DRM <sup>+</sup> -Signal	100 kHz	7 dB
2 DRM <sup>+</sup> -Signale 100 kHz Frequenzoffset	200 kHz	9 dB
2 DRM <sup>+</sup> -Signale 200 kHz Frequenzoffset	200 kHz	9 dB
2 DRM <sup>+</sup> -Signale 300 kHz Frequenzoffset	200 kHz	9 dB
2 DRM <sup>+</sup> -Signale 1400 kHz Frequenzoffset	200 kHz	9 dB
200 kHz breites Rauschen	200 kHz	10 dB
3 DRM <sup>+</sup> -Signale 100 kHz Frequenzoffset	300 kHz	10 dB
3 DRM <sup>+</sup> -Signale 200 kHz Frequenzoffset	300 kHz	9 dB
10 DRM <sup>+</sup> -Signale 100 kHz Frequenzoffset	1000 kHz	9 dB
15 DRM <sup>+</sup> -Signale 100 kHz Frequenzoffset	1500 kHz	9 dB

Tab. 5.4.: Schutzabstanduntersuchung Gleichkanal; Störkriterium: Audiostörung

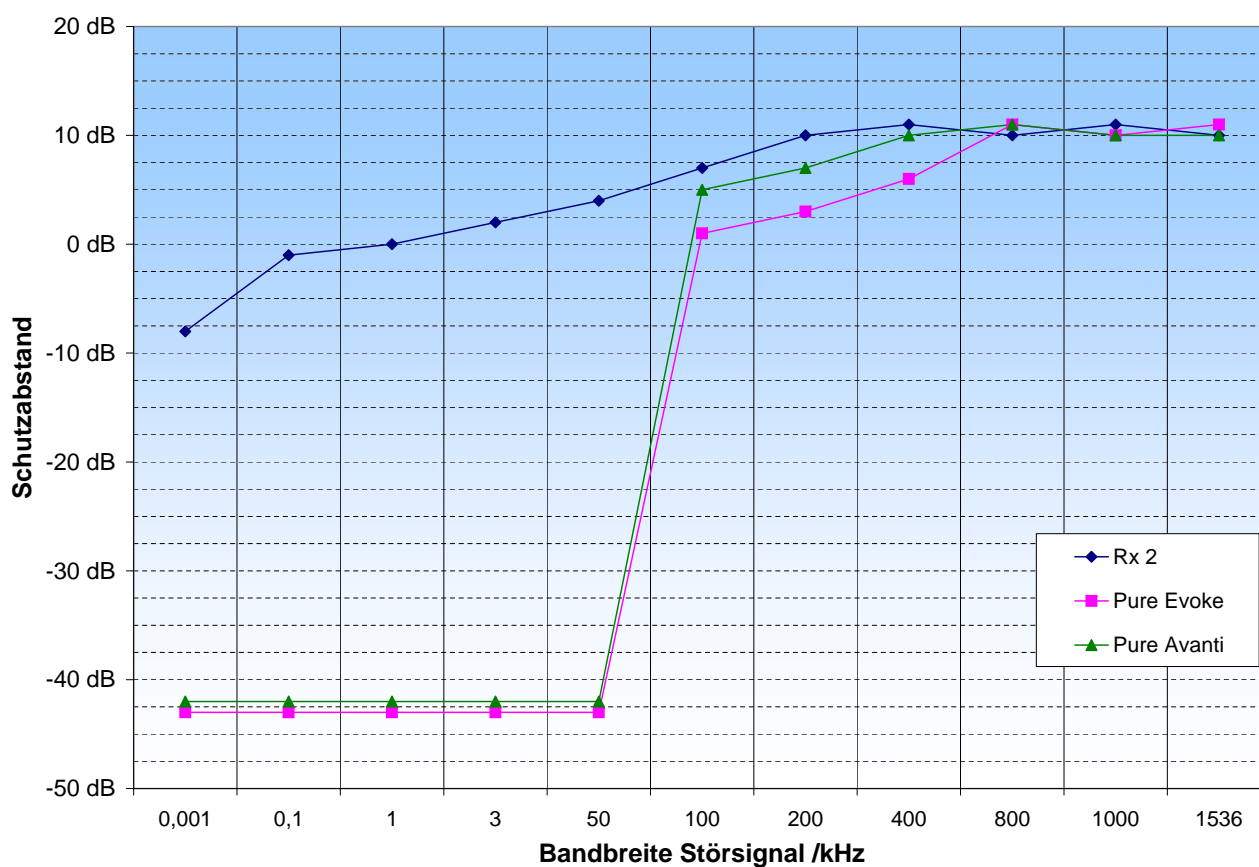


Abb. 5.28.: Schutzabstände - Störsignal var. Bandbreite stört DAB im Gleichkanalfall; Störkriterium: Audiostörung

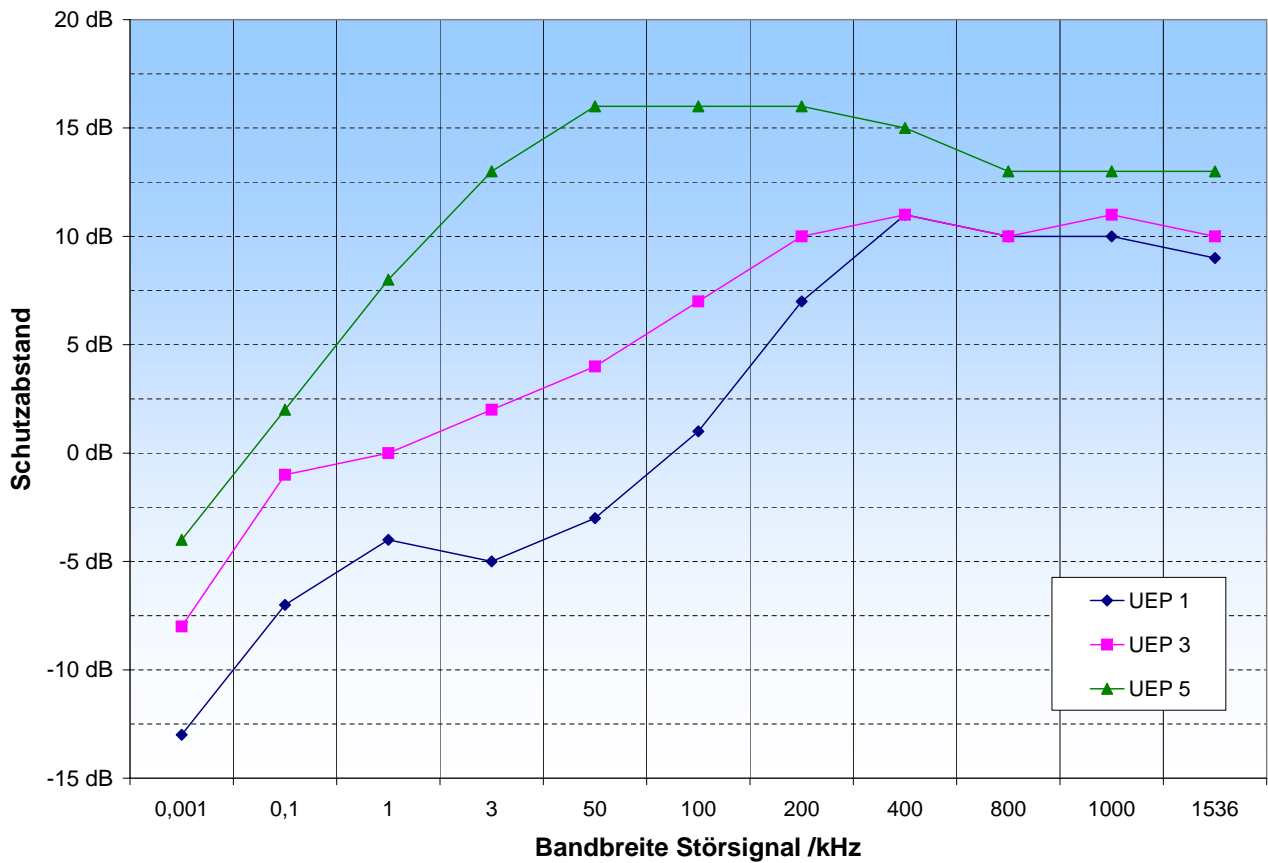


Abb. 5.29.: Schutzabstände - Störsignal var. Bandbreite stört DAB im Gleichkanalfall; Störkriterium: Audiostörung

Abb. 5.29 zeigt den Schutzabstand im Gleichkanal für Rx 2 für unterschiedliche DAB-Coderaten in Abhängigkeiten der Störerbandbreite. Es zeigt sich, dass die Wahl des höheren Fehlerschutz UEP 1 ( $CR^3$  0,35) nur im Fall, von bis zu zwei DRM<sup>+</sup>-Störern, eine Verbesserung gegenüber dem üblichen mittleren Schutz UEP 3 (CR 0,5) bringt. Der geringere Schutz UEP 5 (CR 0,72) führt konsequenterweise zu einem deutlich höheren benötigten Schutzabstand.

<sup>3</sup>Code Rate

### 5.3.5.2. Schutzabstandskurven

In Abb. 5.30 wird exemplarisch für Empfänger Rx 2 der Schutzabstand mit und ohne Filter dargestellt. Die Schutzabstandskurven der beiden anderen Empfänger findet sich im Anhang 7.4.4.2. Für den Gleichkanalfall wurde immer der Grenzschutzabstand von 10 dB gewählt - nähere Informationen hierzu in Kap. 5.3.5.1. Bei der Messung wurde das DRM<sup>+</sup>-Störsignal im Block 10B auf die Frequenzen der einzelnen Kanäle (farbige Linien) gesetzt und dann jeweils das DAB Signal in den 4 Nachbarblöcken 10C bis 11B betrieben und gemessen. In Abb. 5.30 wird sichtbar, dass nur ein marginaler Unterschied zwischen den Messungen mit und ohne Filter besteht, der sich noch im Rahmen der Messfehler bewegt.

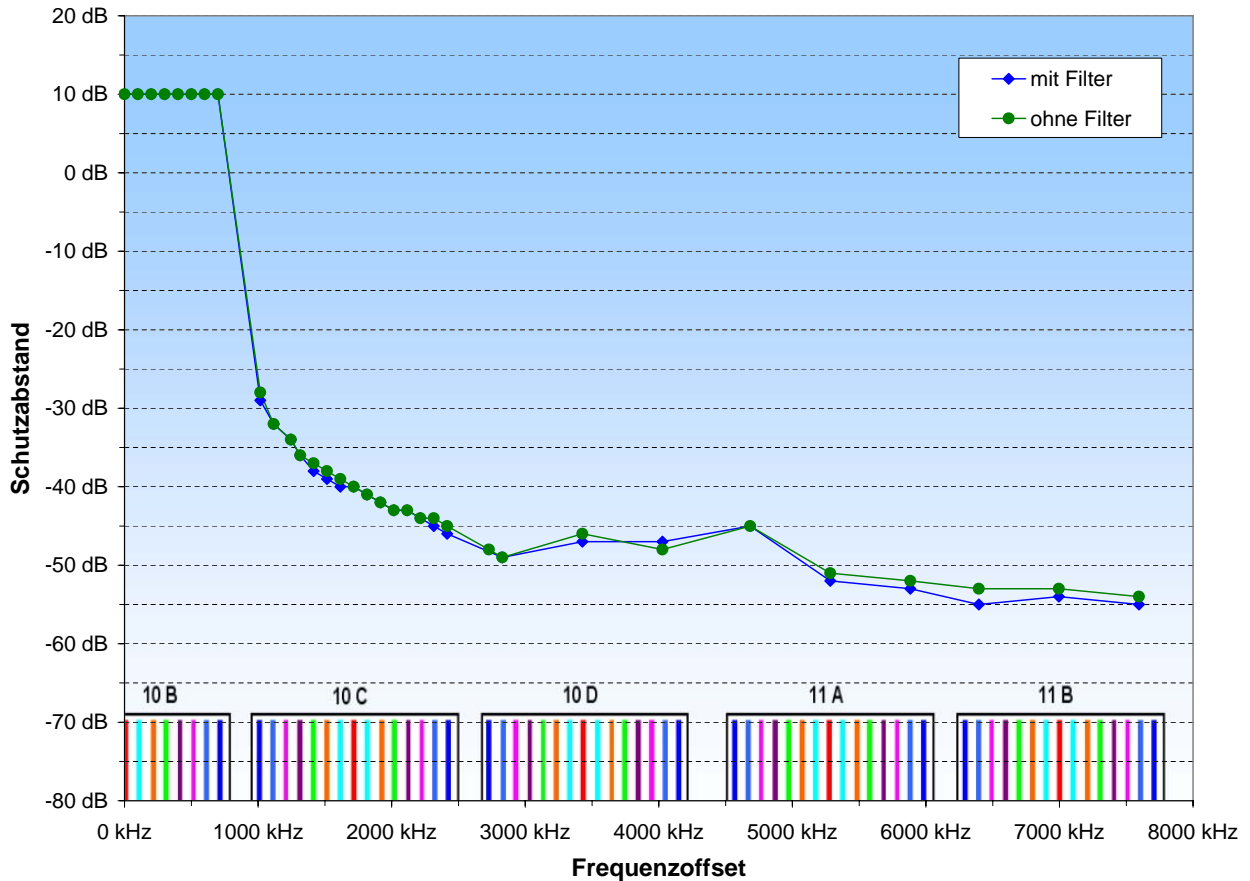


Abb. 5.30.: Schutzabstände - DRM<sup>+</sup> stört DAB; Empfänger: Rx 2; Störkriterium: Audiostörung

Abb. 5.31 zeigt die Schutzabstände aller drei Empfänger. Im unteren Frequenzbereich des ersten Nachbarkanals zeigt sich ein Unterschied von ca 10 dB zwischen den Pure Empfängern und Rx 2.

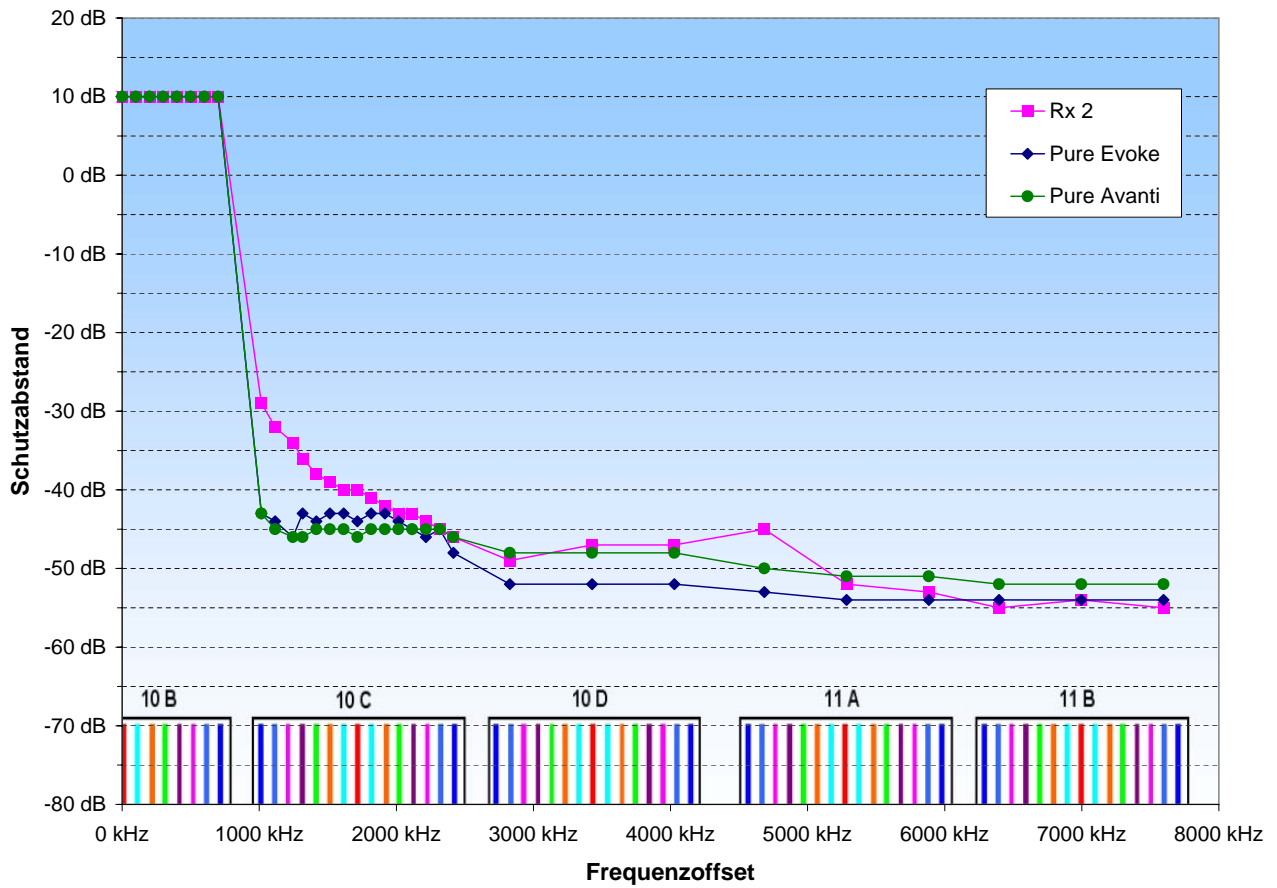


Abb. 5.31.: Schutzabstände - DRM<sup>+</sup> stört DAB; mit DAB-Maskenfilter; Störkriterium: Audiostörung

Abb. 5.32 zeigt eine Spektrumaufnahme der Schutzabstandsmessung mit dem Pure Evoke 2S bei erreichten Störkriterium für einen Frequenzoffset von 1112 kHz. Der gemessene Schutzabstand betrug hier  $-44$  dB. Das DAB-Nutzsignal befand sich im Block 10B und das DRM<sup>+</sup>-Störsignal war im Block 10C DRM<sup>+</sup>-Kanal -6.

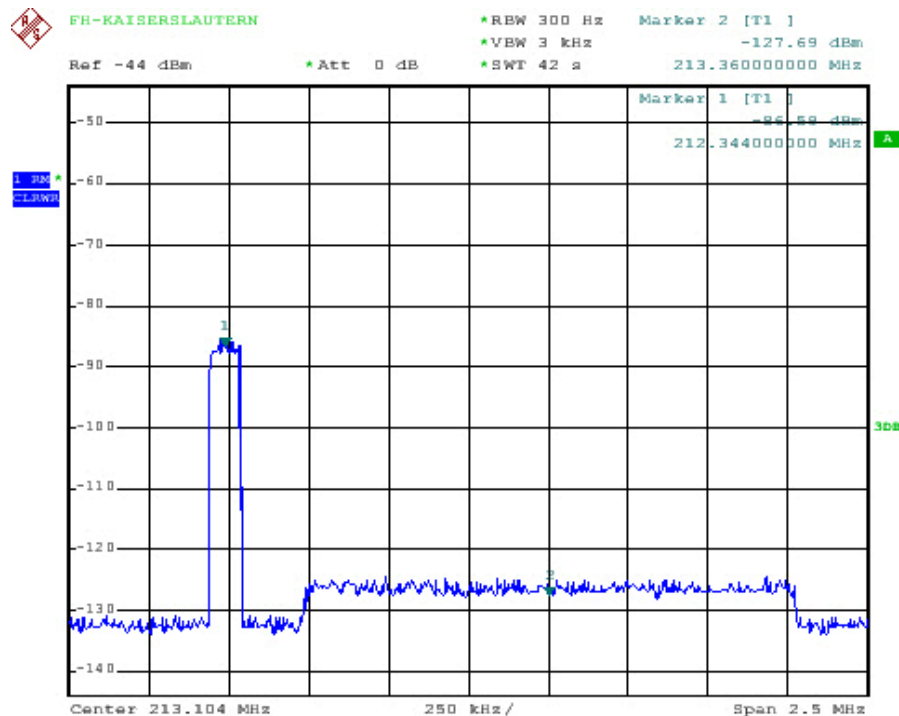


Abb. 5.32.: Spektrumaufnahme der Schutzabstandsmessung DRM<sup>+</sup> stört DAB, Frequenzoffset: 1112 kHz

## 5.4. Vergleich der Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Schutzabstandsmessung „DAB stört DRM<sup>+</sup>“ mit „DRM<sup>+</sup> stört DAB“ verglichen. In Tab. 5.5 sind die Schutzabstände ausgewählter Frequenzoffsets aufgeführt. Im Vergleich in Abb. 5.33, 5.34 sieht man, dass für den Fall „DAB stört DRM<sup>+</sup>“ ein ca. 15 dB niedriger Schutzabstand benötigt wird - vergleicht man das 4 QAM modulierten DAB mit dem DRM<sup>+</sup> 4 QAM - wie bei dem umgekehrten Fall. Dies ist zum einen auf die unterschiedlichen Bandbreiten der System zurückzuführen, wie bereits in Abschnitt 5.2.6 diskutiert. Ein weiterer Grund hierfür sind die unterschiedliche Coderaten der Systeme.

	DAB Block	10B	10C			10D	11A	11B
	DRM <sup>+</sup> -Kanal	0 - 7	-7	0	7	0	0	0
	Frequenzoffset /kHz	0	1012	1712	2412	3424	5288	7000
	PR DAB stört DRM <sup>+</sup> Rx1; 4 QAM /dB	-9	-54	-61	-61	-61	-61	-61
	PR DAB stört DRM <sup>+</sup> Rx1; 16 QAM /dB	-5	-50	-58	-57	-57	-57	-58
	PR DAB stört DRM <sup>+</sup> Rx2; 4 QAM /dB	-6	-48	-53	-61	-68	-70	-72
	PR DAB stört DRM <sup>+</sup> Rx2; 16 QAM /dB	0	-42	-58	-55	-62	-65	-68
	PR DRM <sup>+</sup> stört DAB; Rx2 /dB	10	-29	-40	-46	-47	-52	-54
	PR DRM <sup>+</sup> stört DAB; Pure Evoke /dB	10	-43	-44	-48	-52	-54	-54
	PR DRM <sup>+</sup> stört DAB; Pure Avanti /dB	10	-43	-46	-46	-48	-51	-52

Tab. 5.5.: Schutzabstände - DAB stört DRM<sup>+</sup> vs. DRM<sup>+</sup> stört DAB

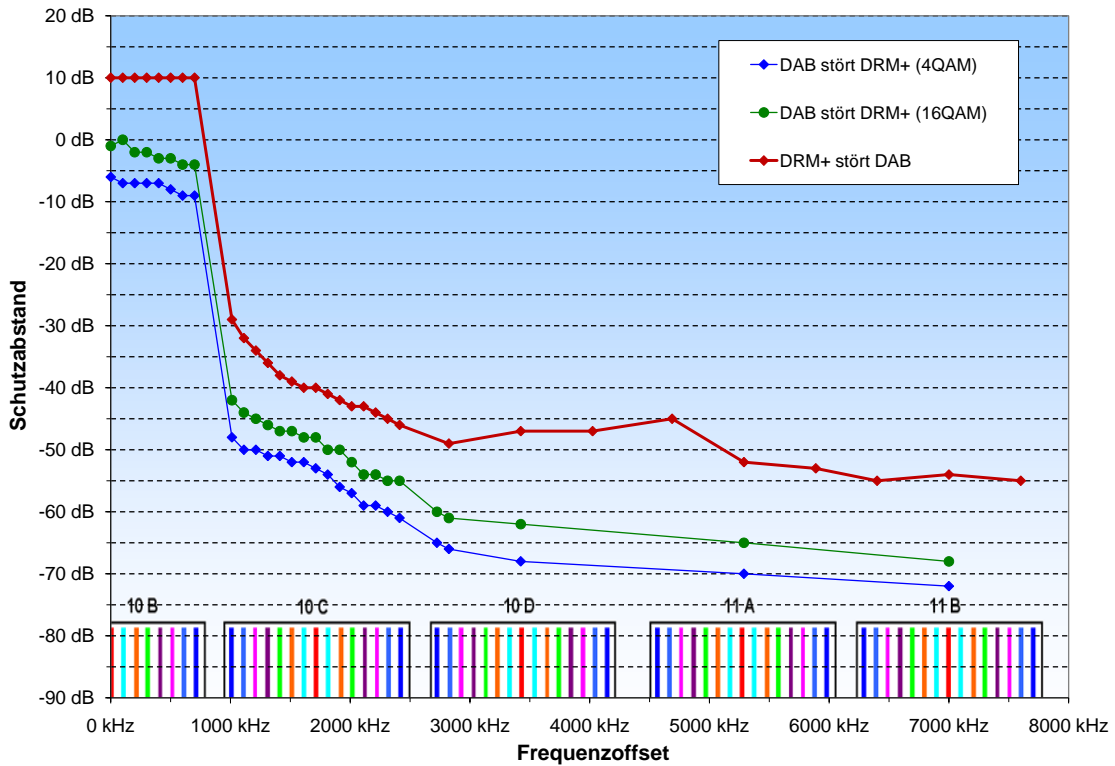


Abb. 5.33.: Schutzabstände - DRM<sup>+</sup> stört DAB vs. DAB stört DRM<sup>+</sup>; Rx 2; Störkriterium: Audiostörung bzw.  $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$

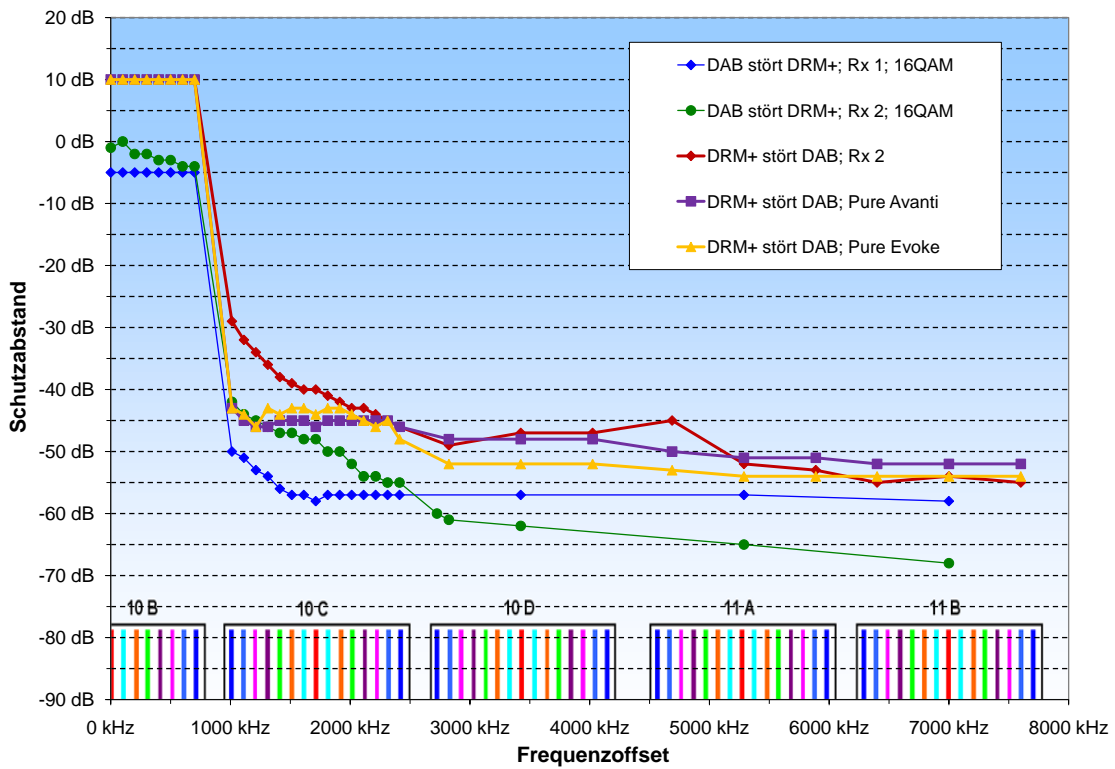


Abb. 5.34.: Schutzabstände - DRM<sup>+</sup> stört DAB vs. DAB stört DRM<sup>+</sup>; alle Empfänger; Störkriterium: Audiostörung bzw.  $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$

**Teil II.**

**Teil II: Anhänge**



---

## 6. DRM<sup>+</sup> Mehrwegesimulationen (Fading)

---

### 6.1. Ermittlung der maximal möglichen Geschwindigkeit

#### 6.1.1. Rural

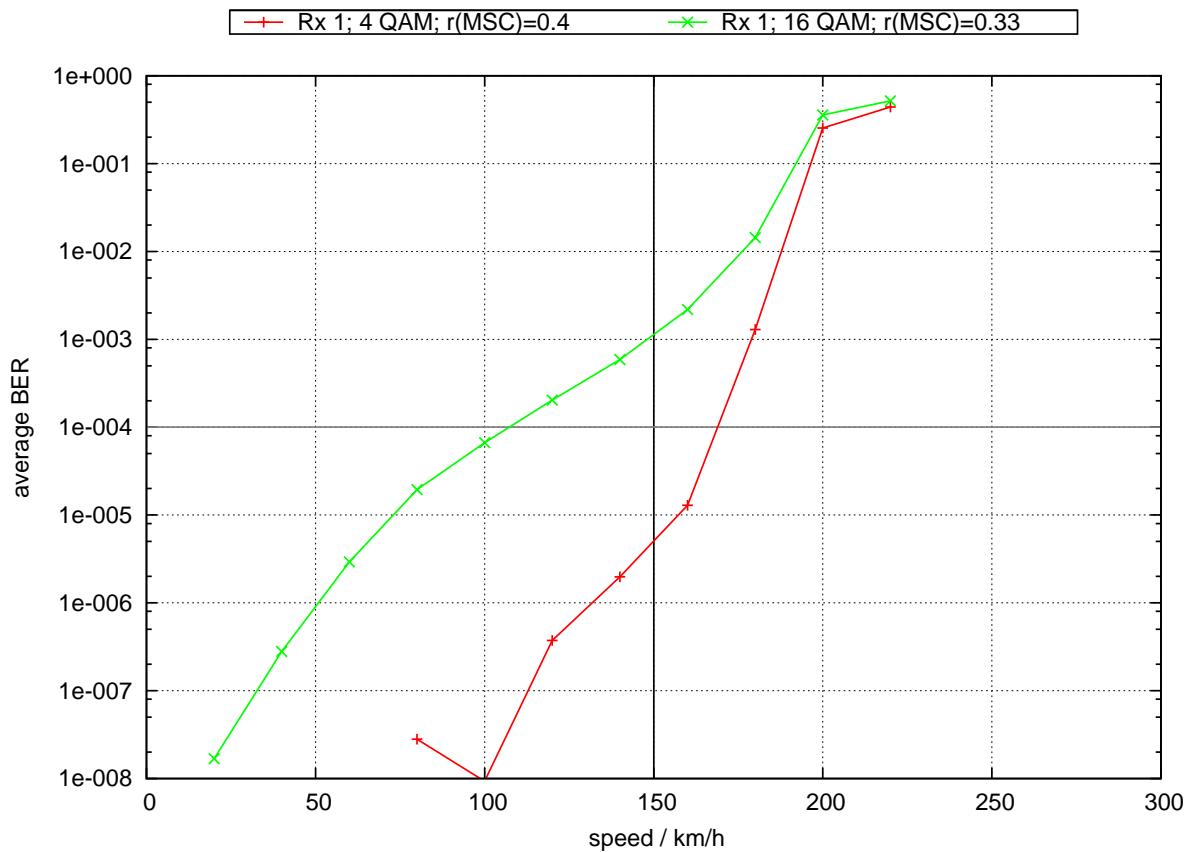


Abb. 6.1.: Rx 1; Profil: Rural; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils

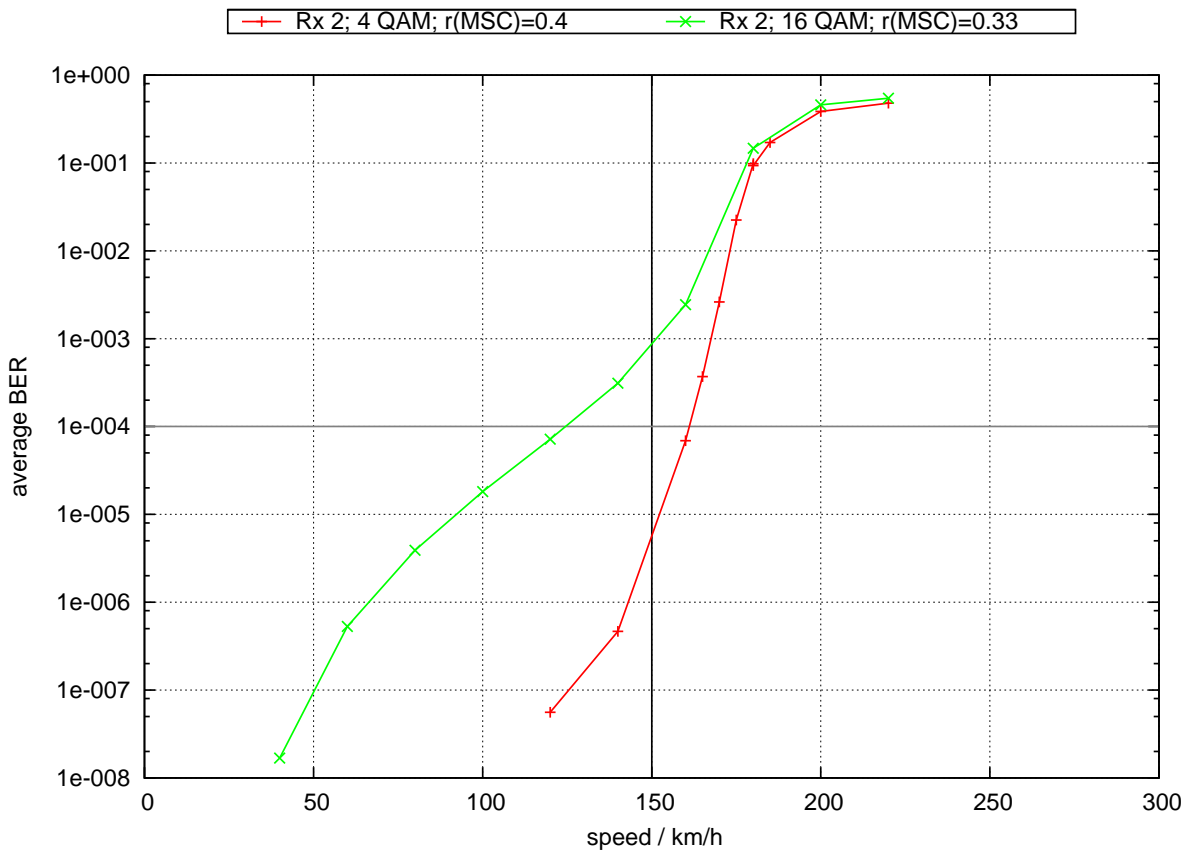


Abb. 6.2.: Rx 2; Profil: Rural; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils

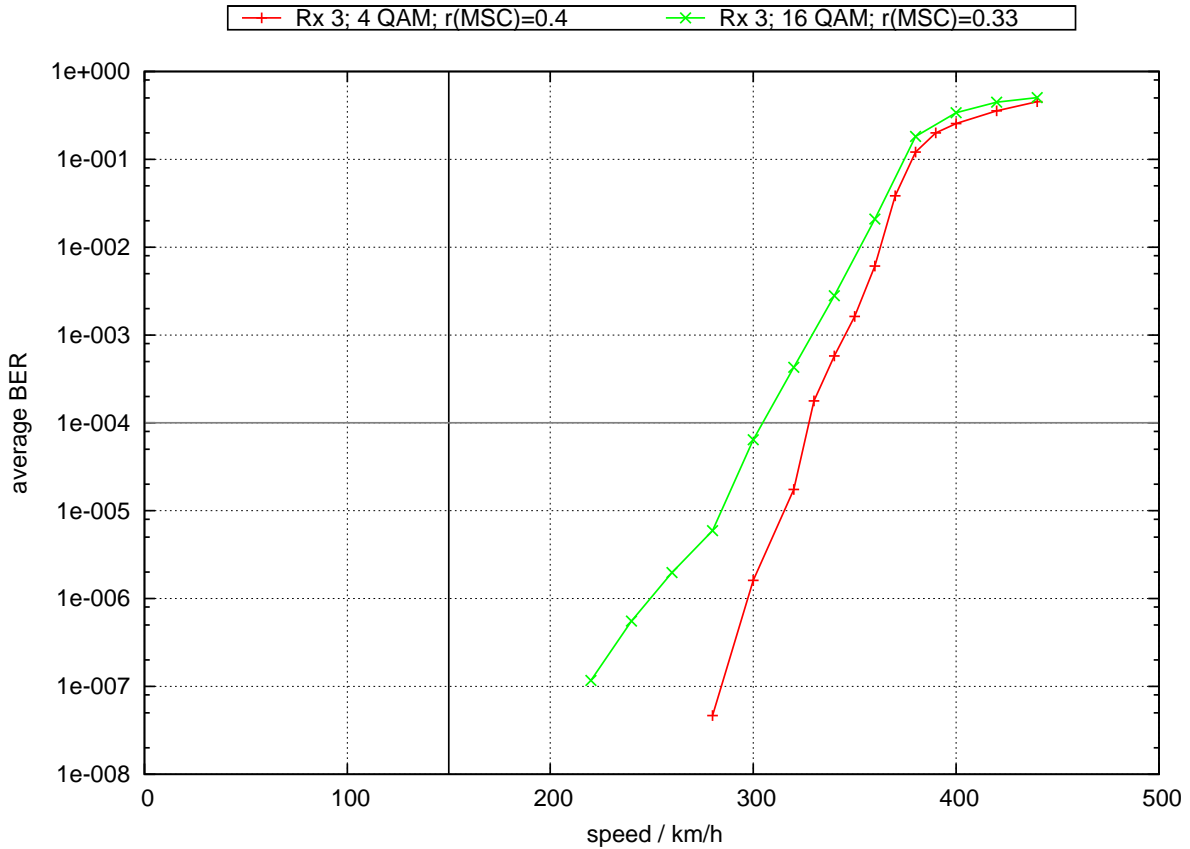


Abb. 6.3.: Rx 3; Profil: Rural; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils

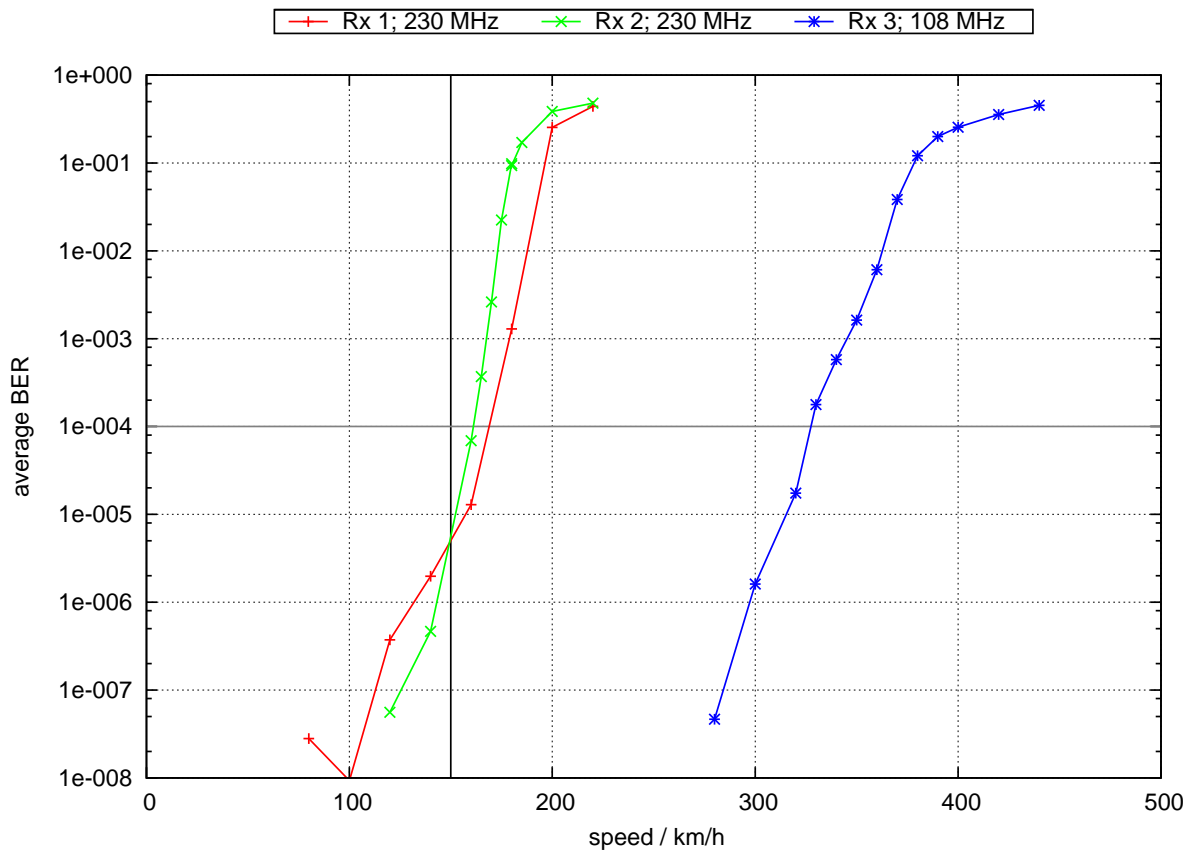


Abb. 6.4.: 4 QAM; Profil: Rural; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils

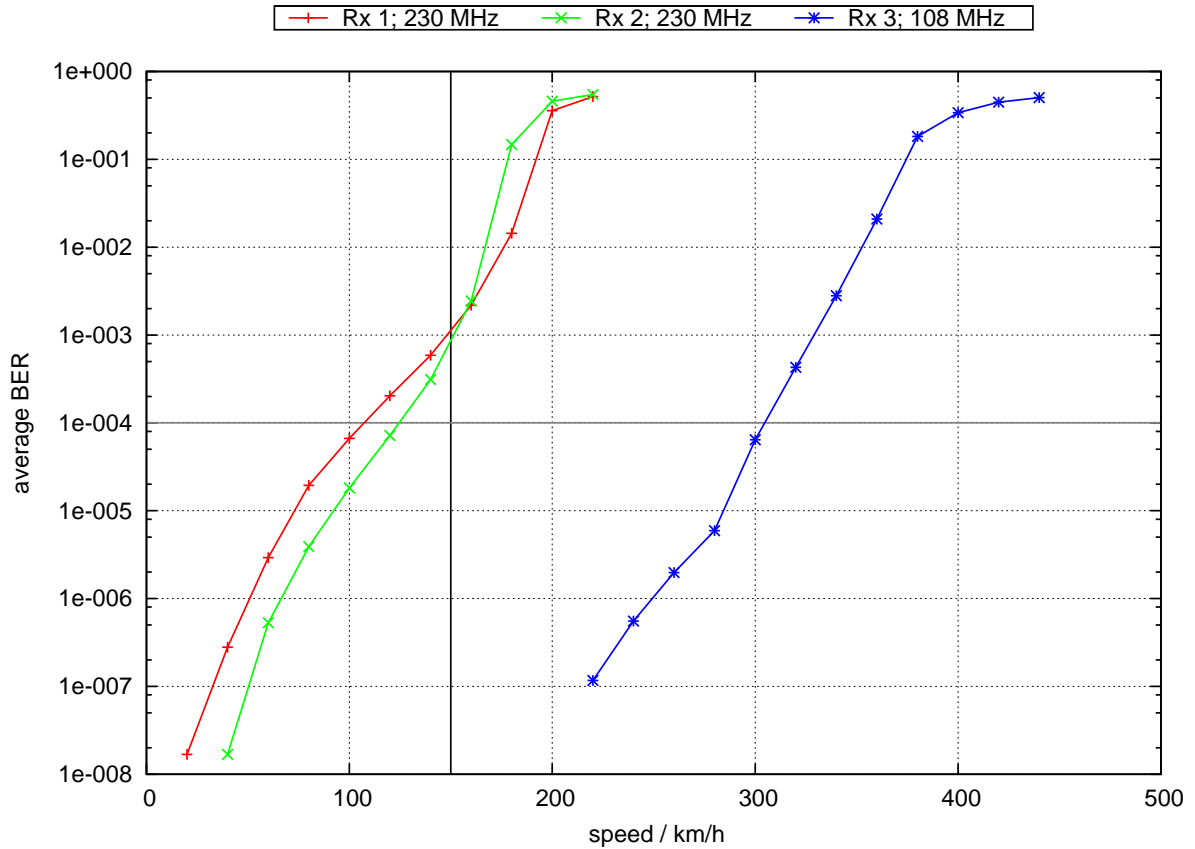


Abb. 6.5.: 16 QAM; Profil: Rural; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils

## 6.1.2. Hilly terrain

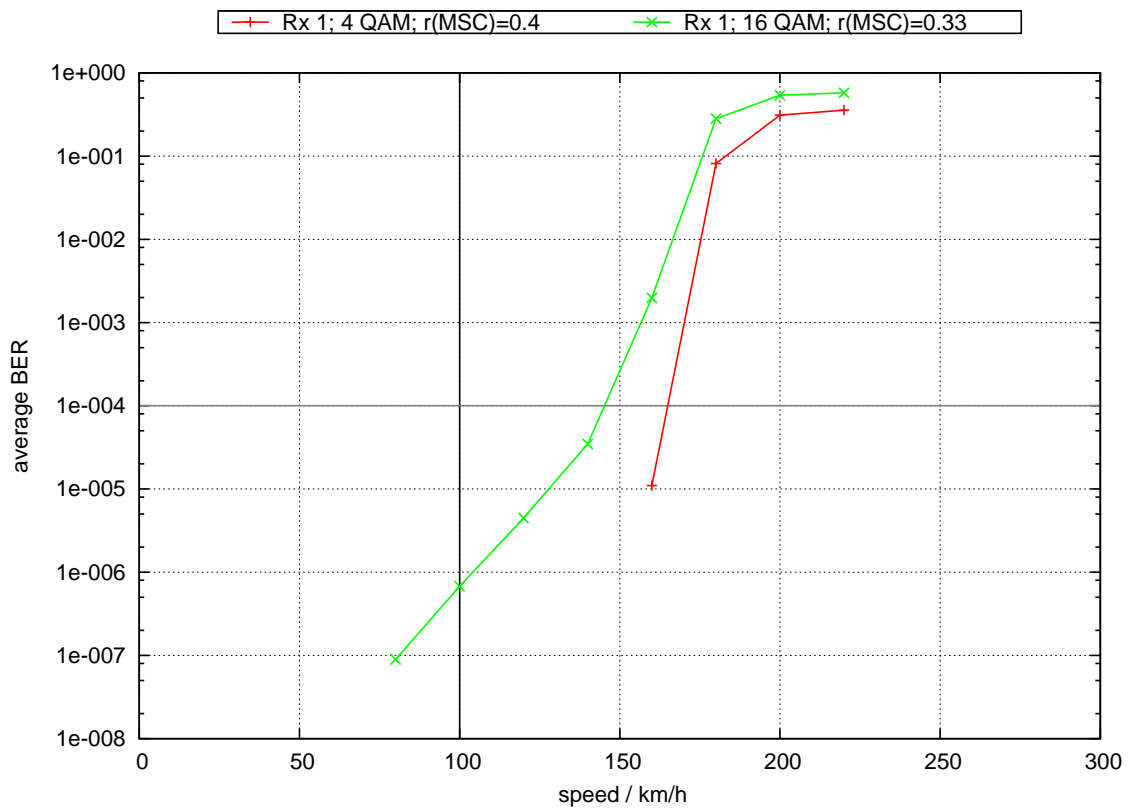


Abb. 6.6.: Rx 1; Profil: Hilly terrain; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils

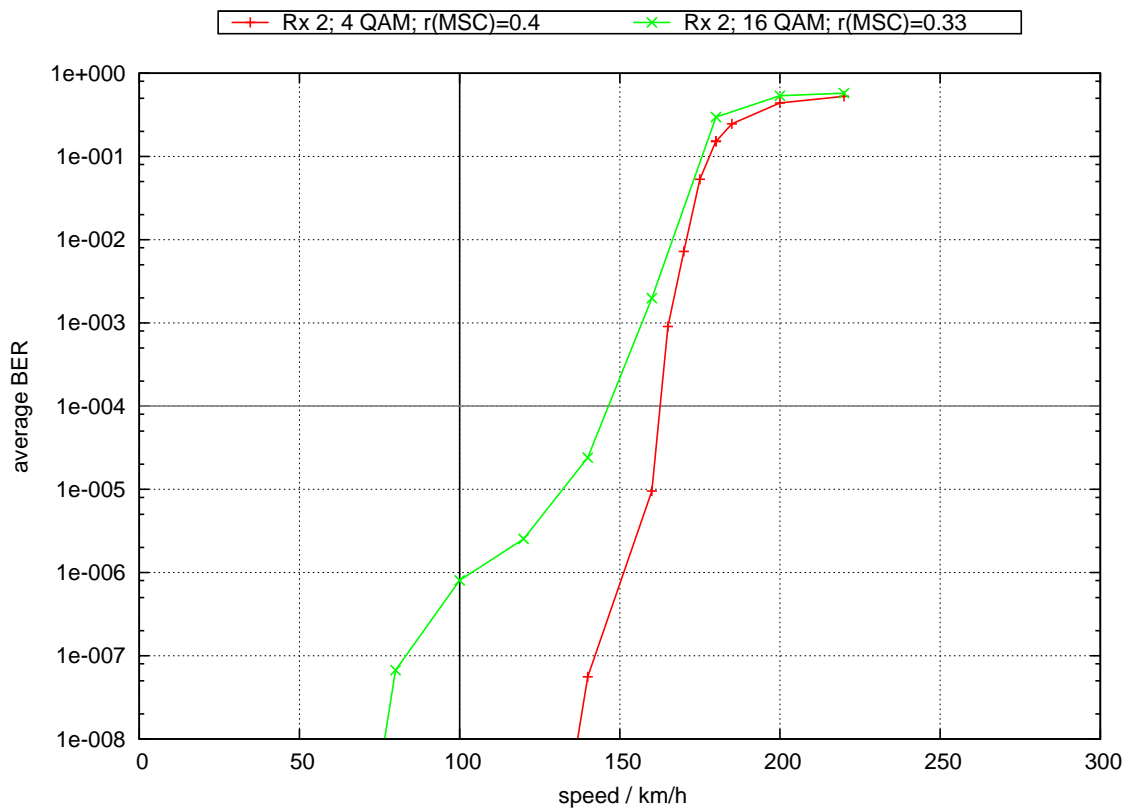


Abb. 6.7.: Rx 2; Profil: Hilly terrain; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils

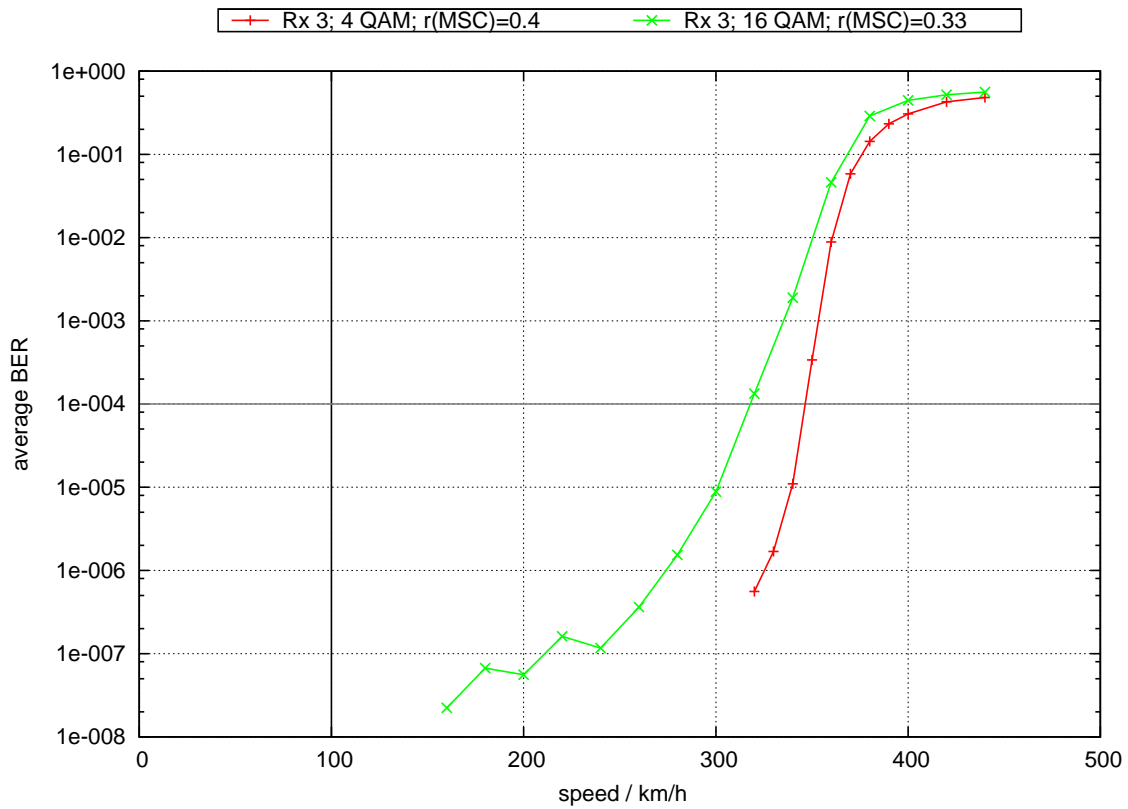


Abb. 6.8.: Rx 3; Profil: Hilly terrain; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils

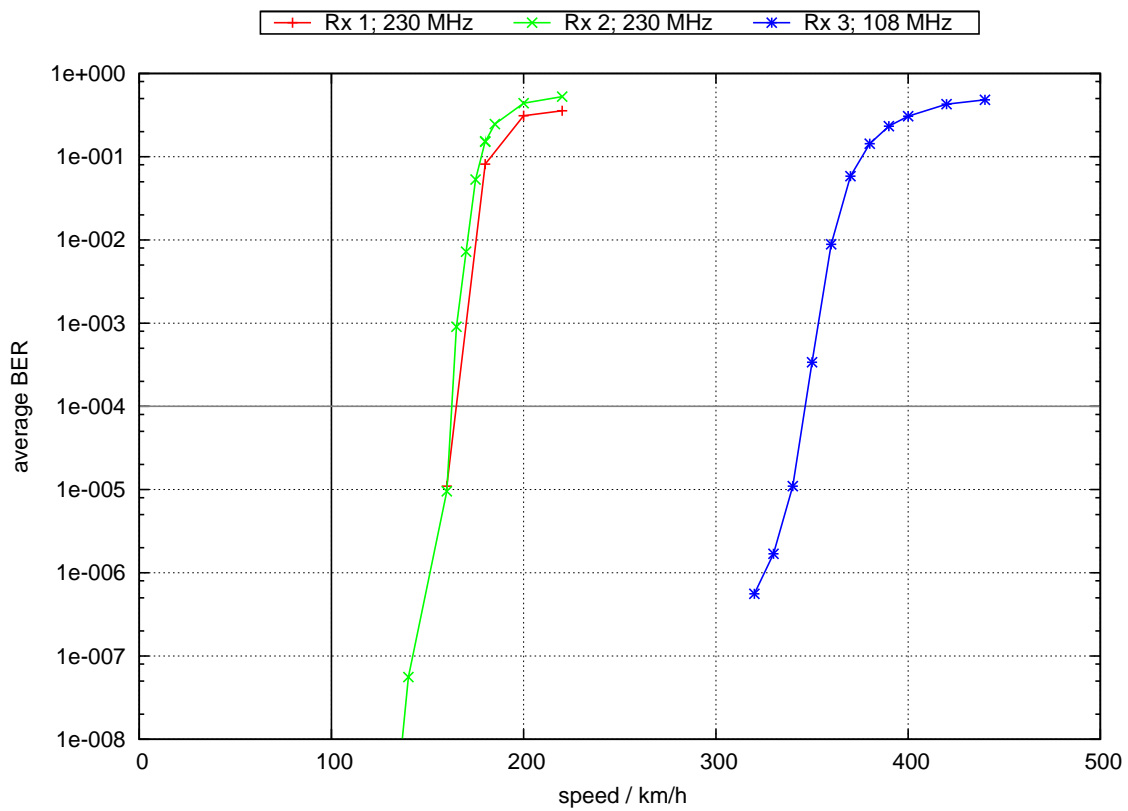


Abb. 6.9.: 4 QAM; Profil: Hilly terrain; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils

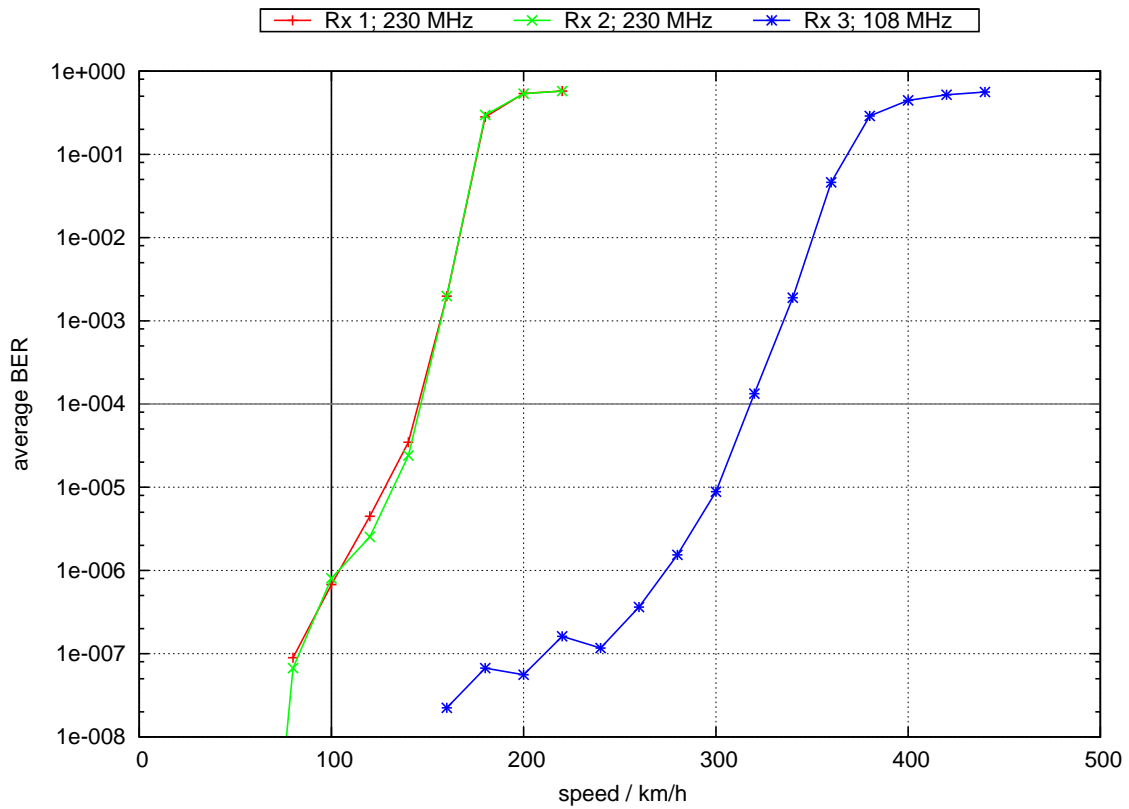


Abb. 6.10.: 16 QAM; Profil: Hilly terrain; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils

### 6.1.3. terrain obstructed

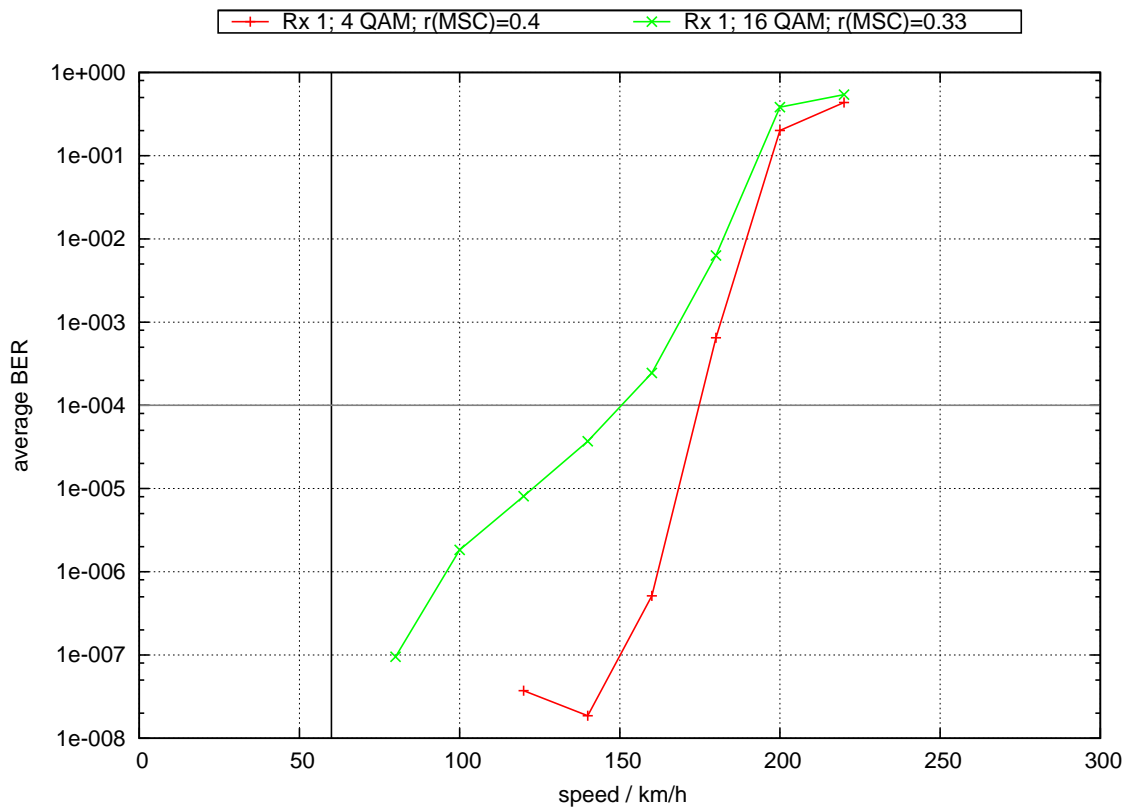


Abb. 6.11.: Rx 1; Profil: terrain obstructed; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils

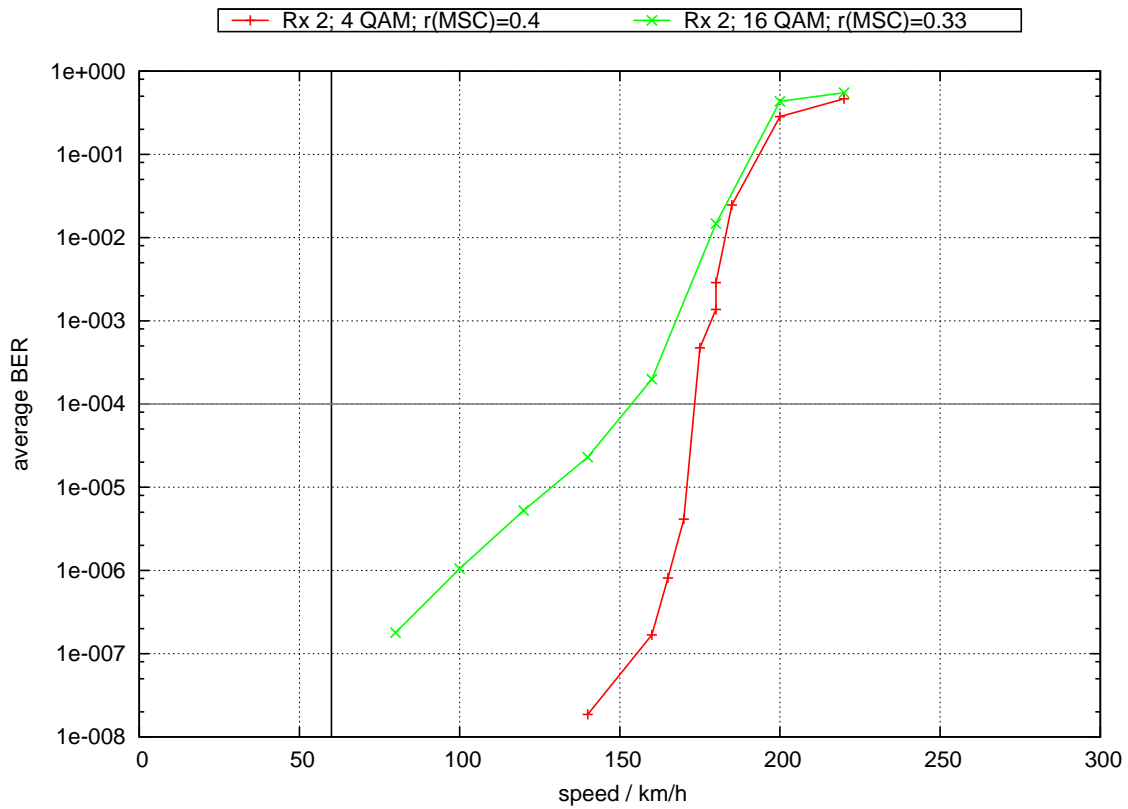


Abb. 6.12.: Rx 2; Profil: terrain obstructed; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils

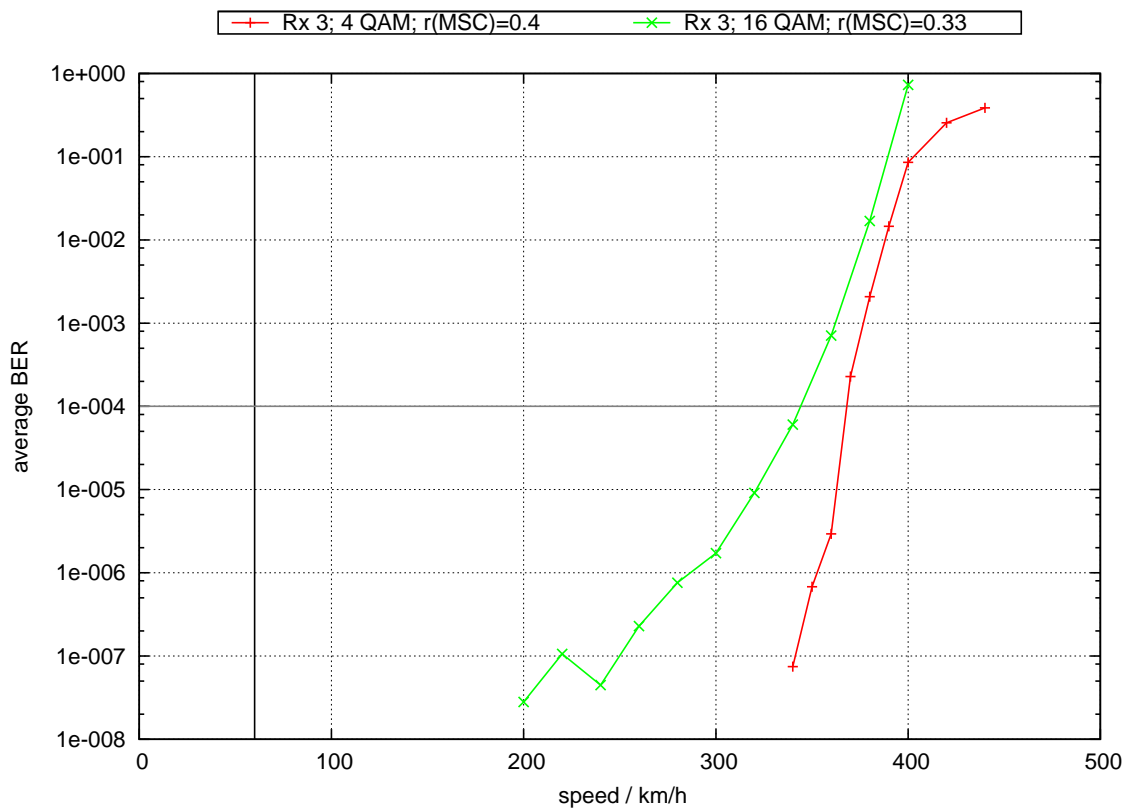


Abb. 6.13.: Rx 3; Profil: terrain obstructed; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils

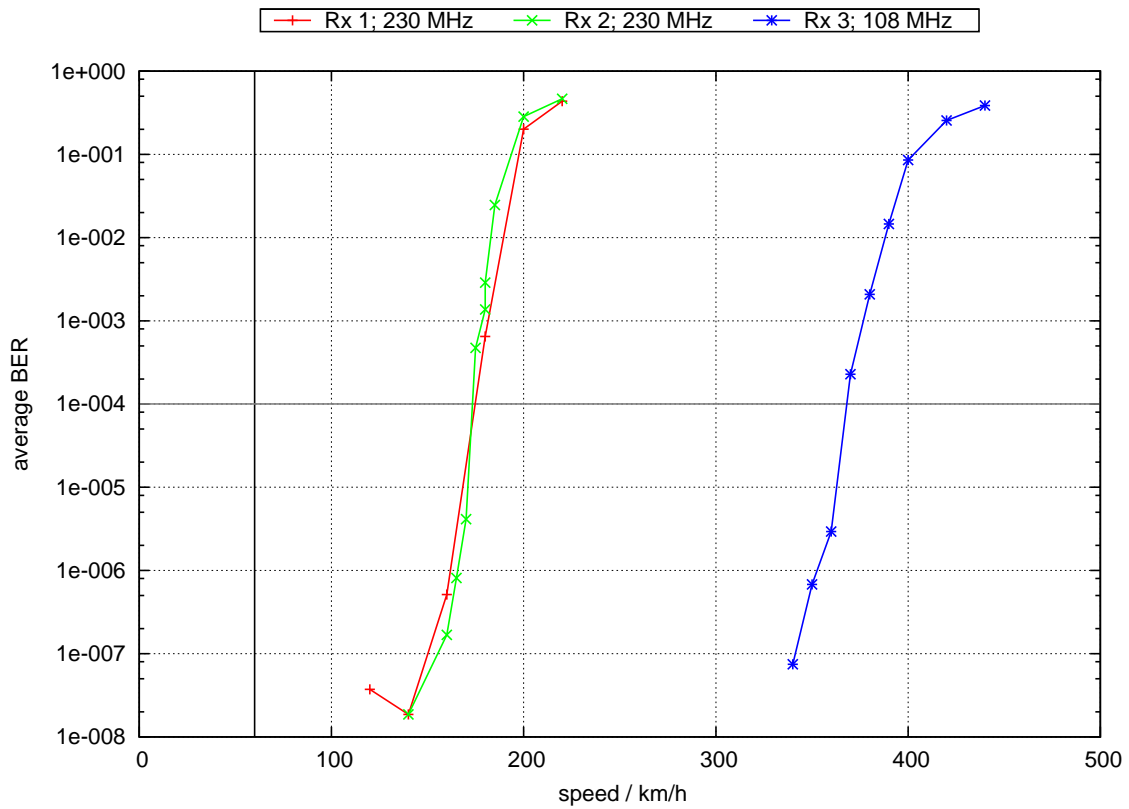


Abb. 6.14.: 4QAM; Profil: terrain obstructed; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils

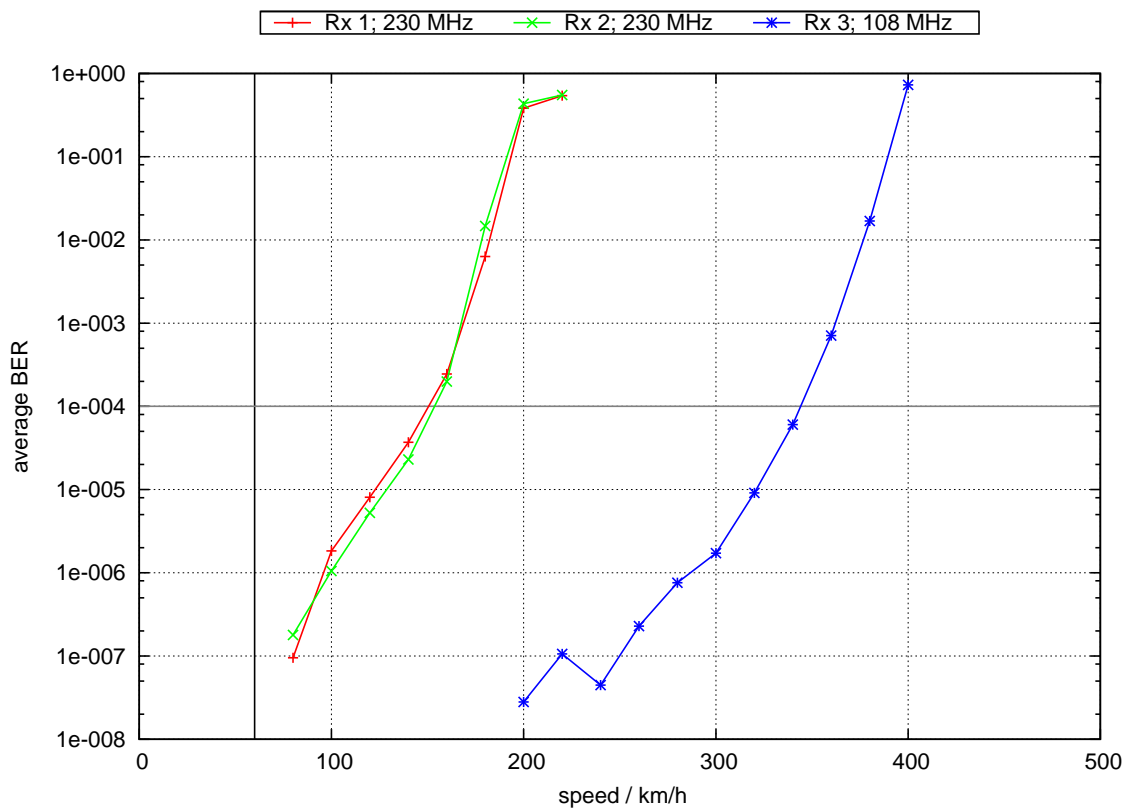


Abb. 6.15.: 16QAM; Profil: terrain obstructed; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils

## 6.1.4. Urban (Vehicle)

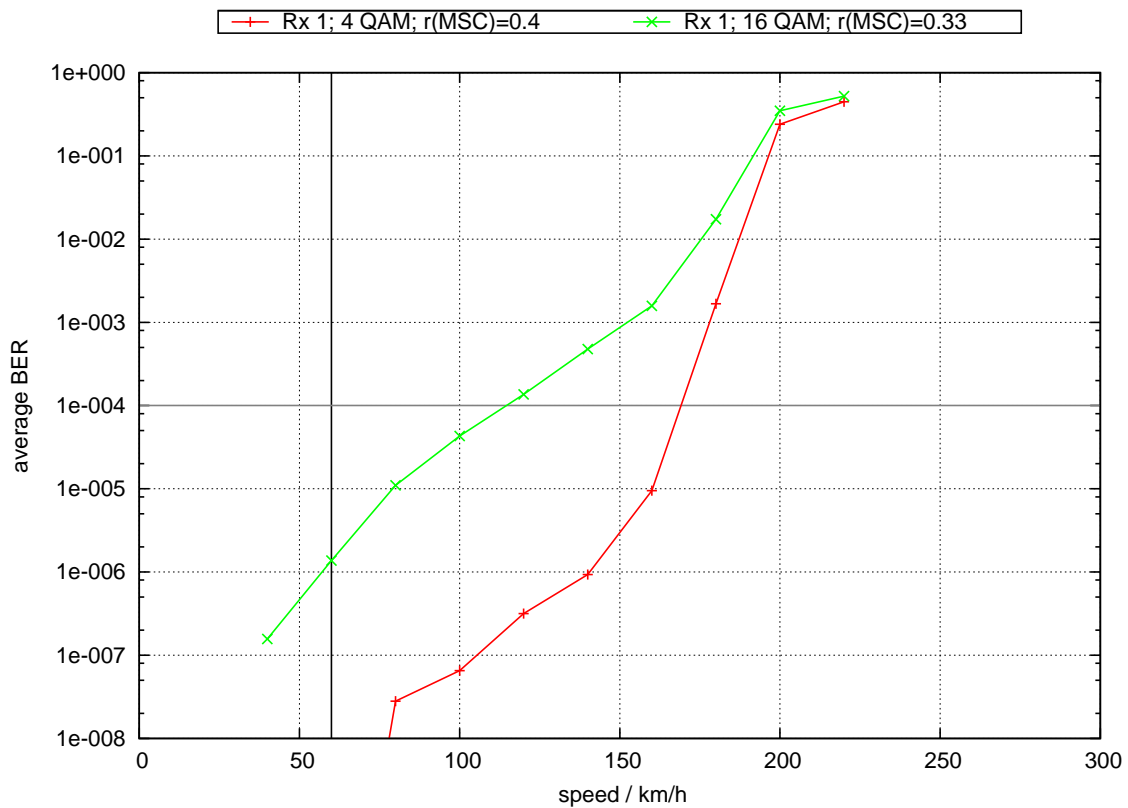


Abb. 6.16.: Rx 1; Profil: Urban (Vehicle); schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils

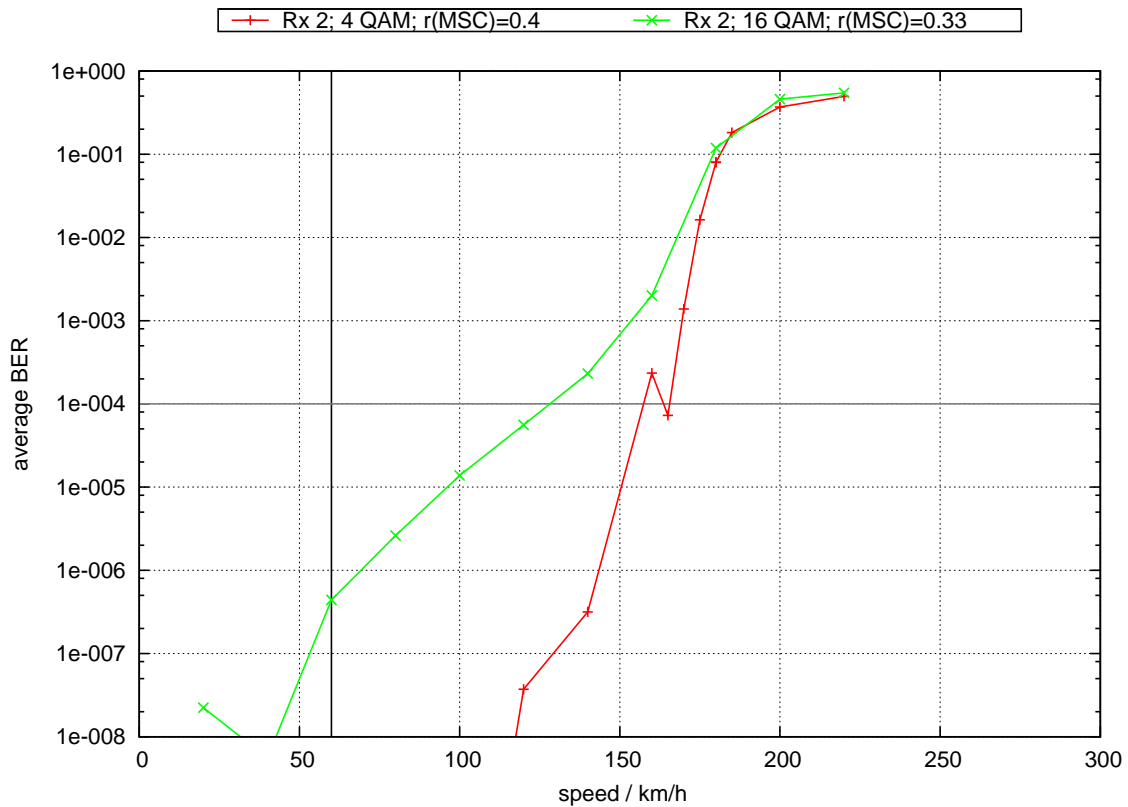


Abb. 6.17.: Rx 2; Profil: Urban (Vehicle); schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils

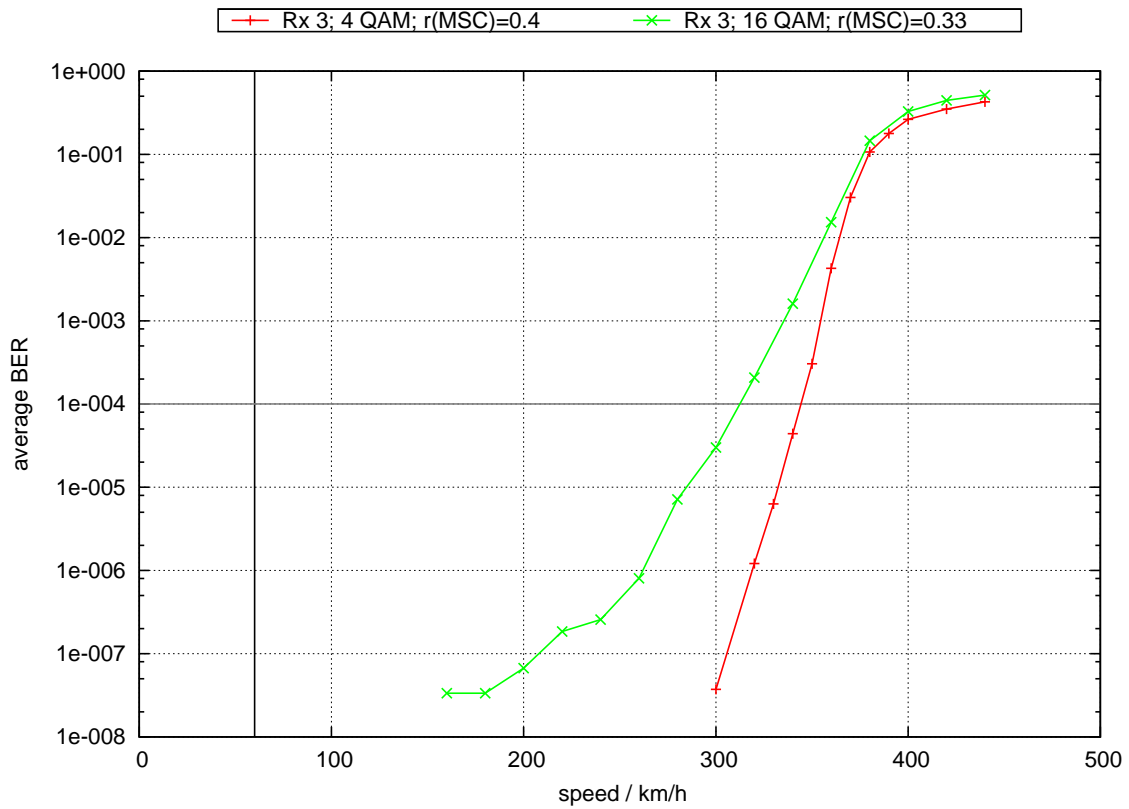


Abb. 6.18.: Rx 3; Profil: Urban (Vehicle); schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils

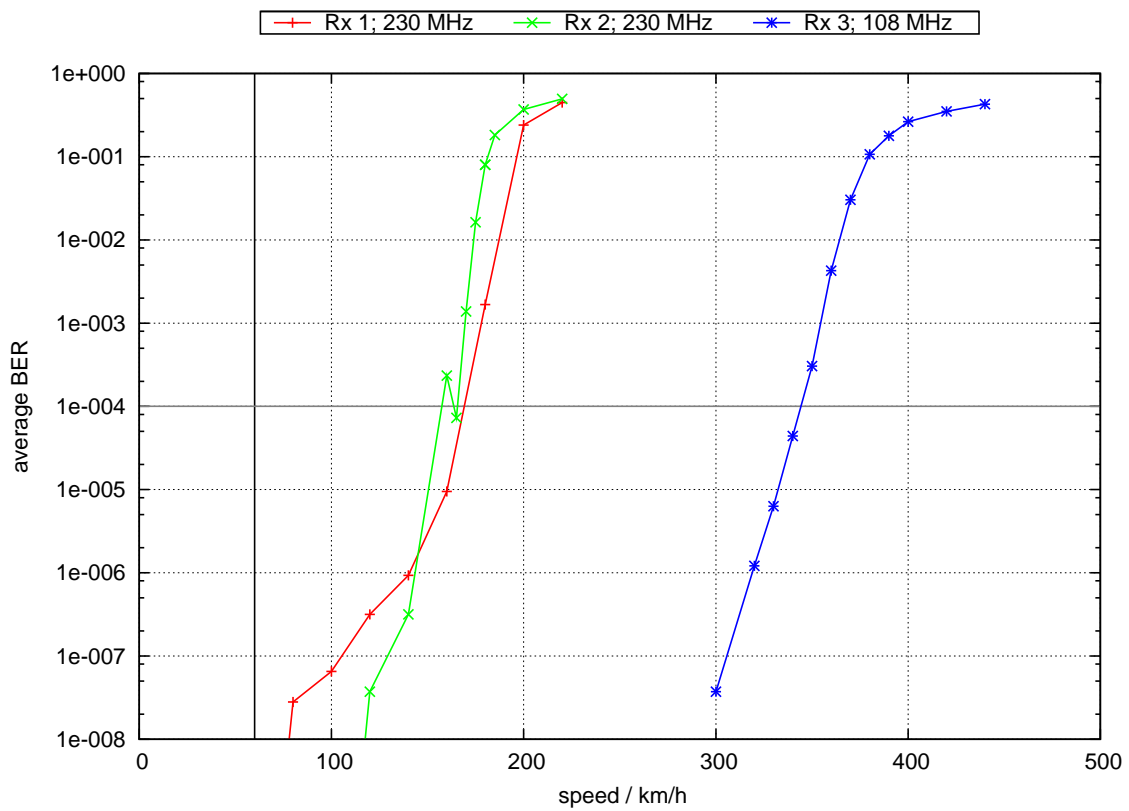


Abb. 6.19.: 4 QAM; Profil: Urban (Vehicle); schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils

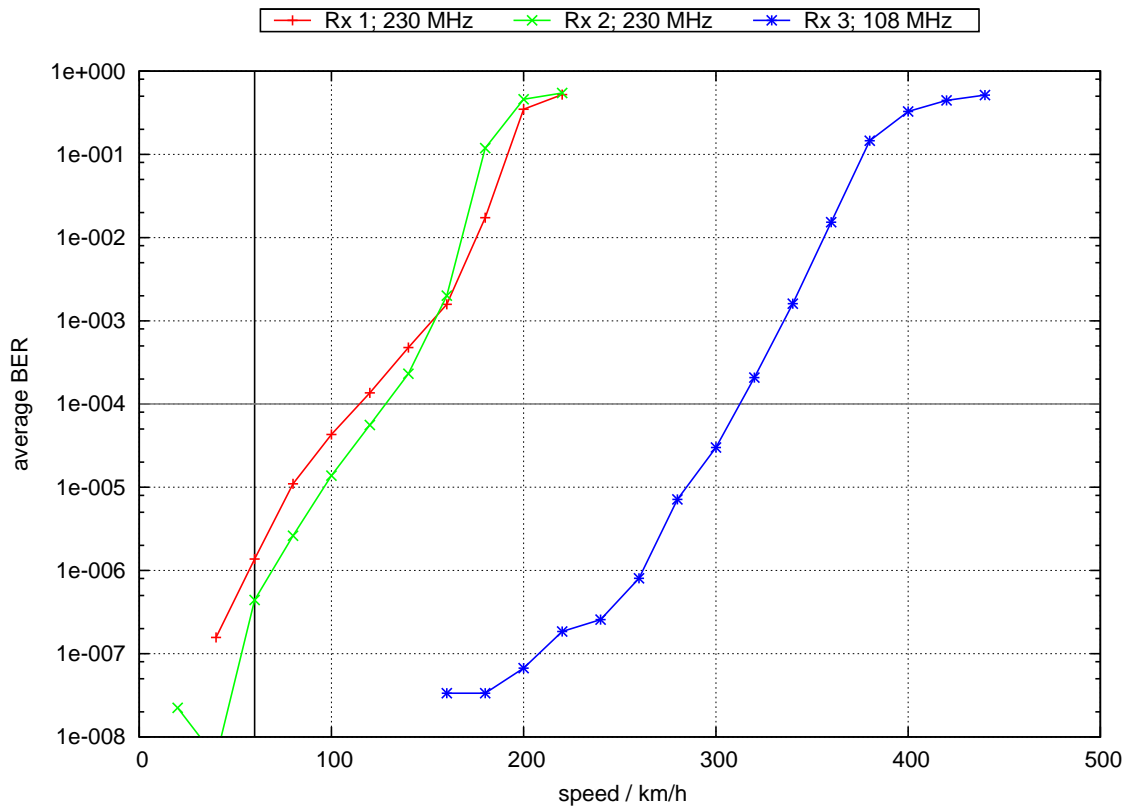


Abb. 6.20.: 16 QAM; Profil: Urban (Vehicle); schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils

### 6.1.5. 4/16 QAM; Rx 1

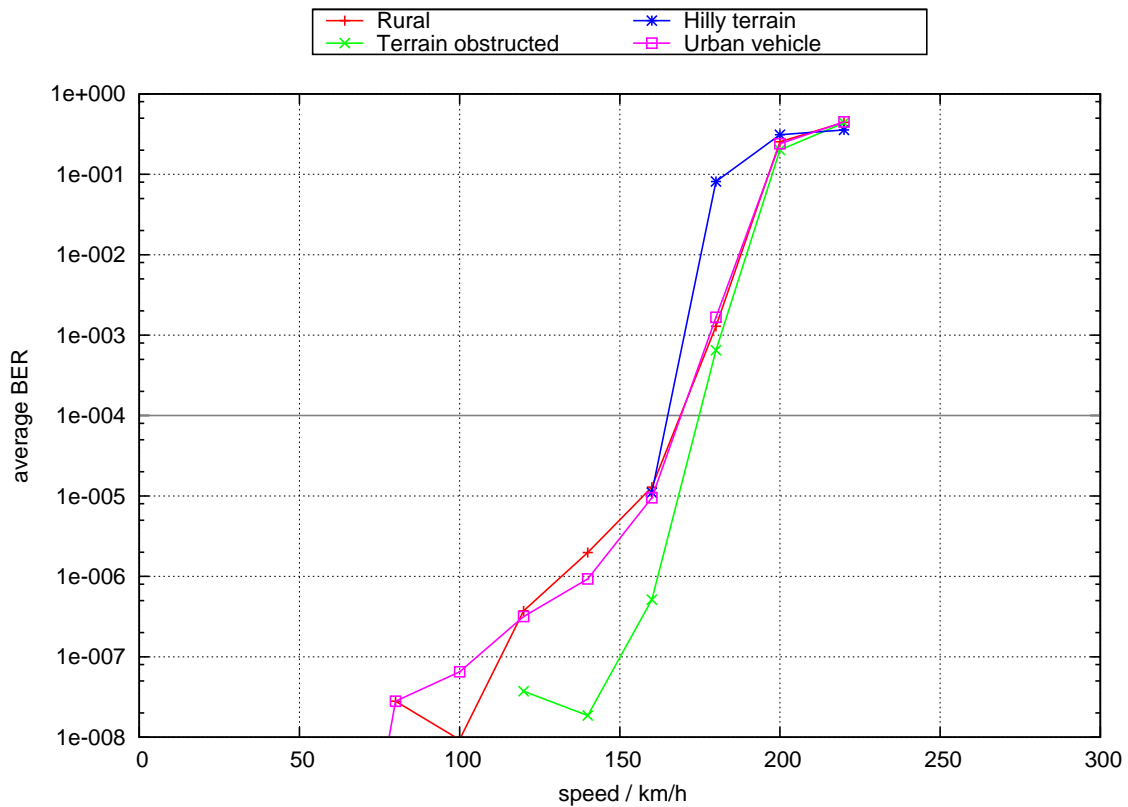


Abb. 6.21.: 4 QAM; Rx 1

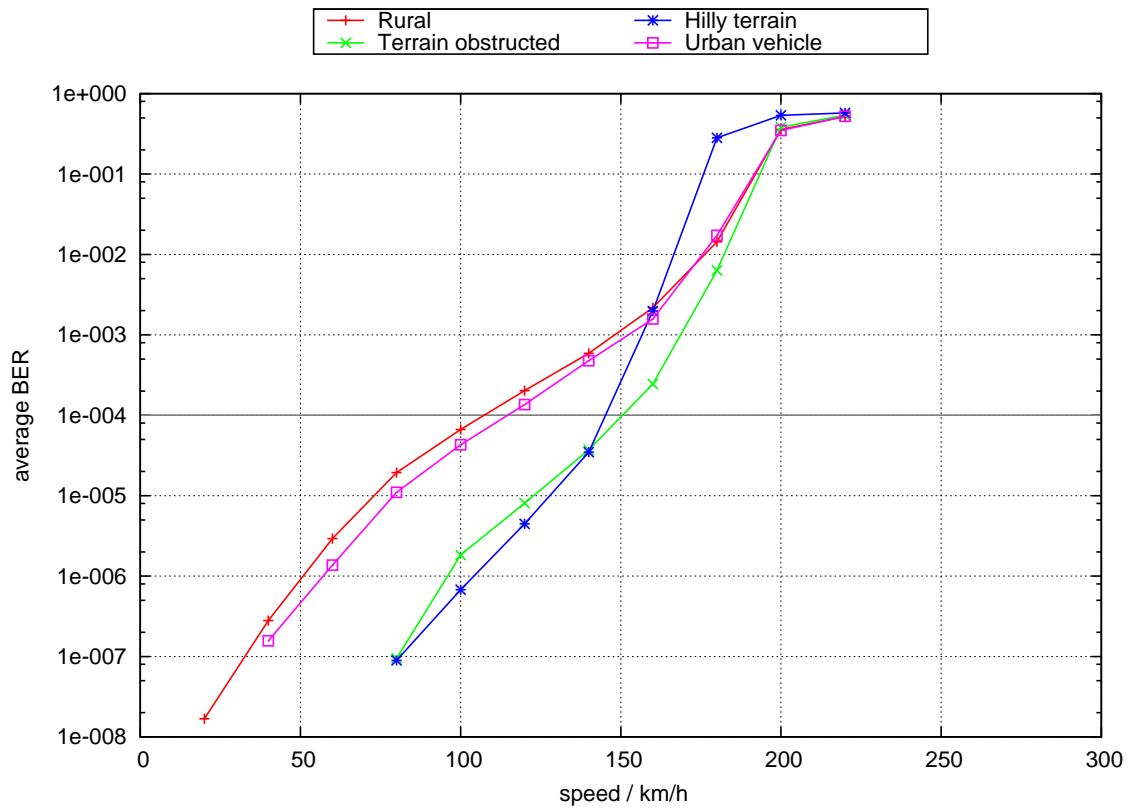


Abb. 6.22.: 16 QAM; Rx 1

## 6.2. S/N der Profile

### 6.2.1. Hilly terrain

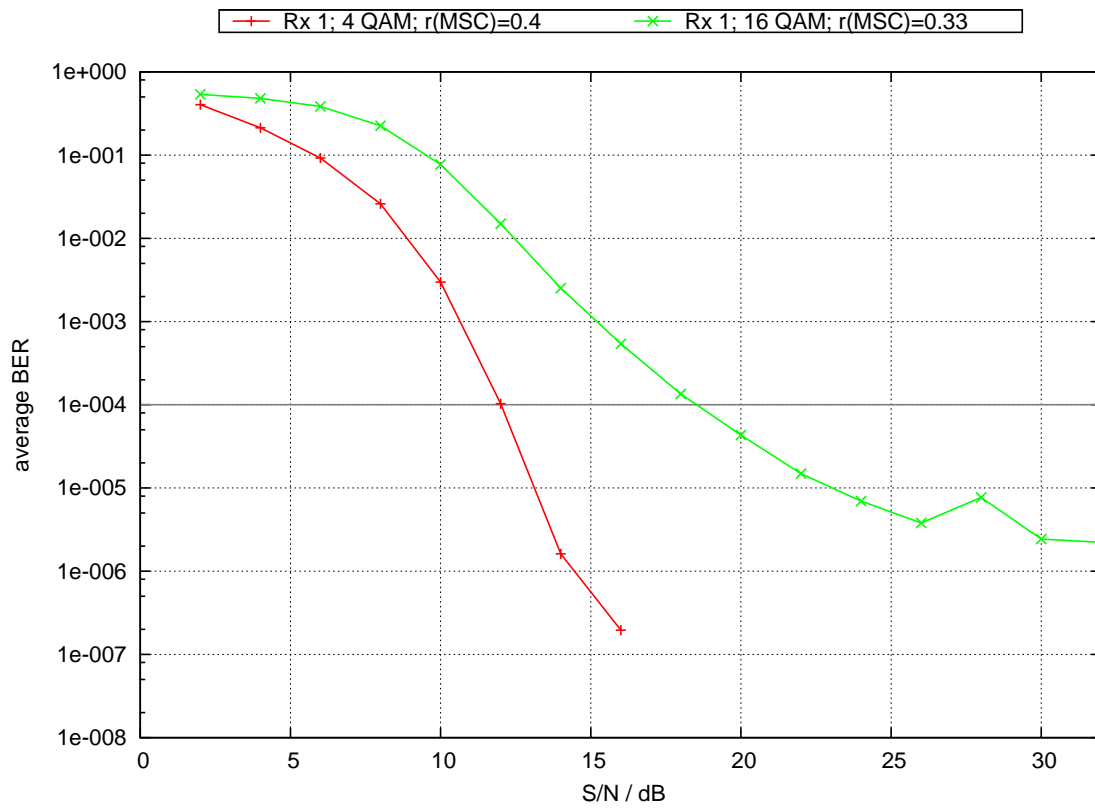


Abb. 6.23.: Hilly terrain; Rx 1

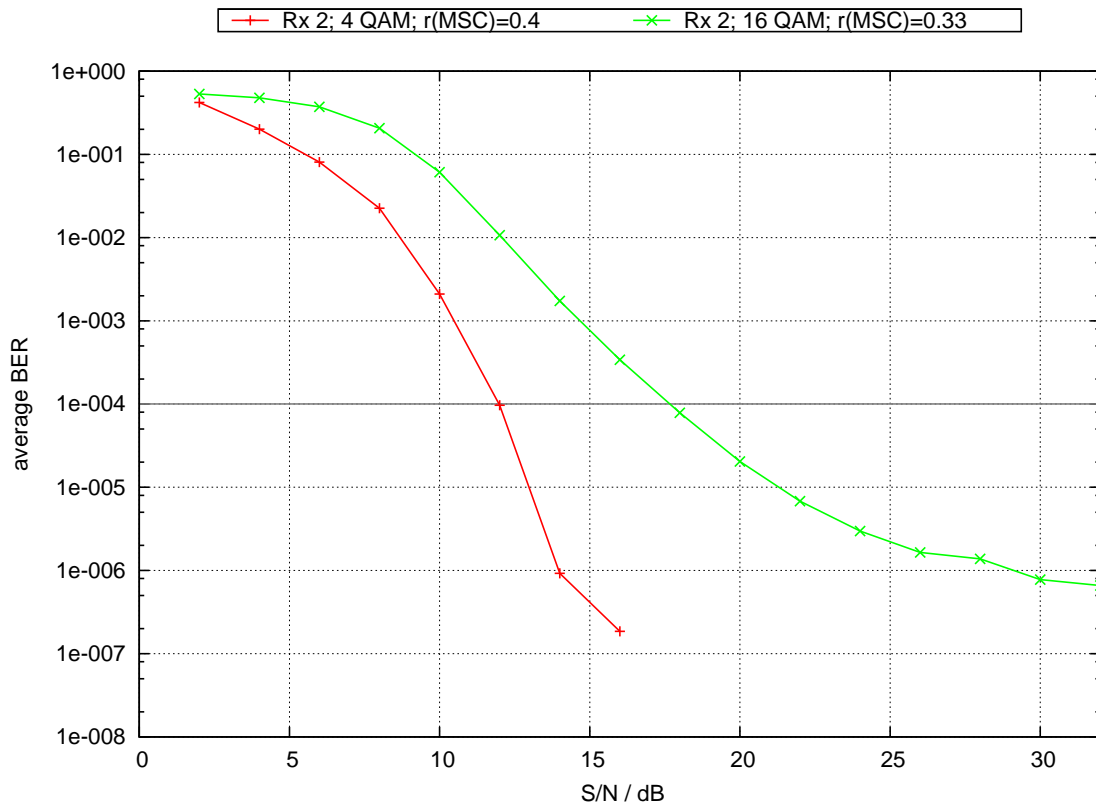


Abb. 6.24.: Hilly terrain; Rx 2

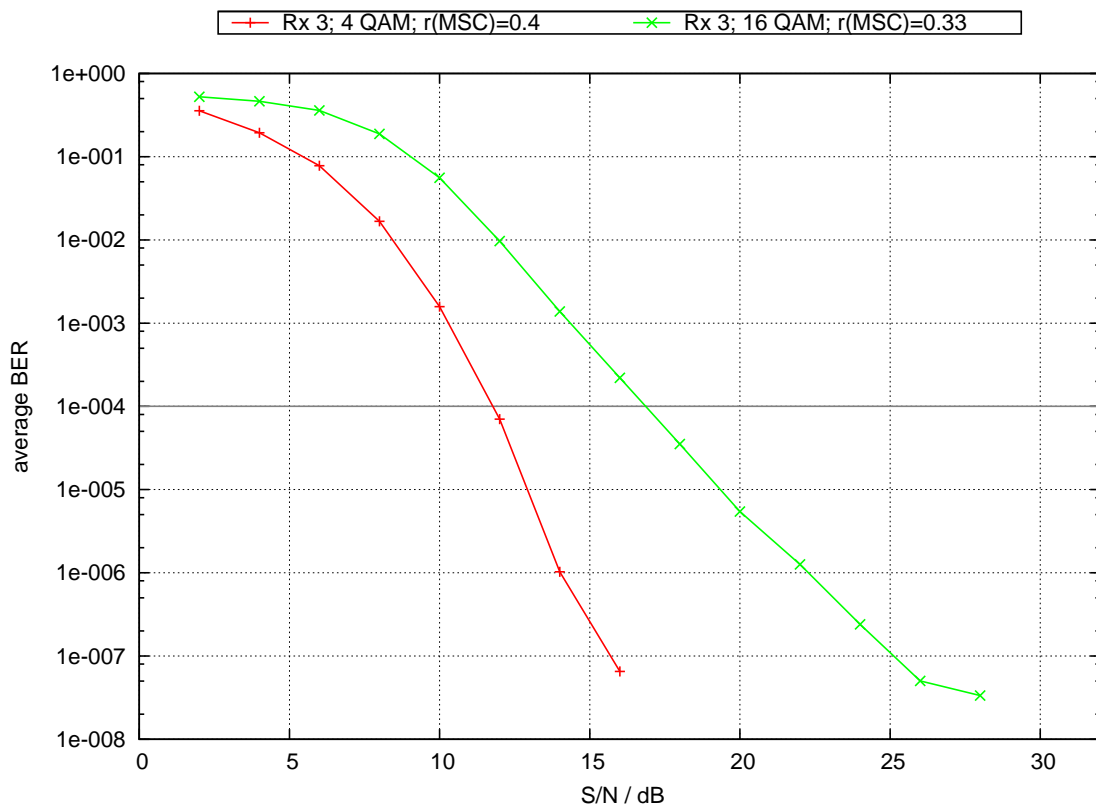


Abb. 6.25.: Hilly terrain; Rx 3

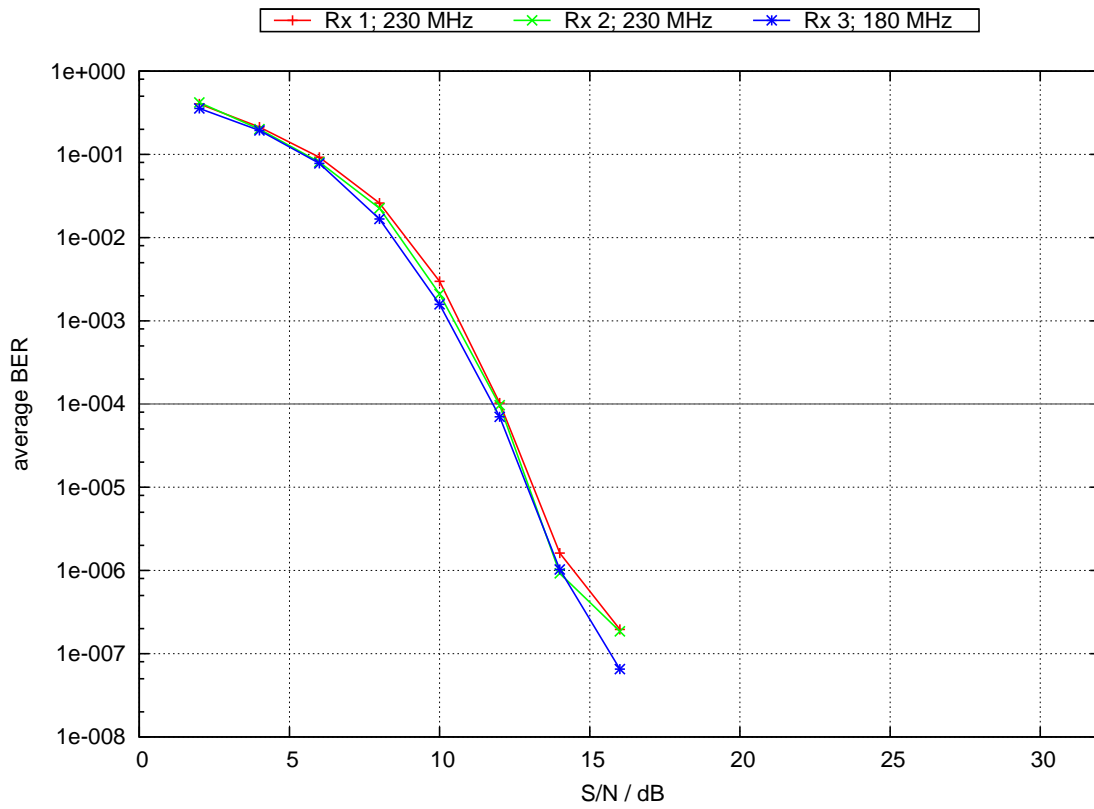


Abb. 6.26.: Hilly terrain; 4 QAM

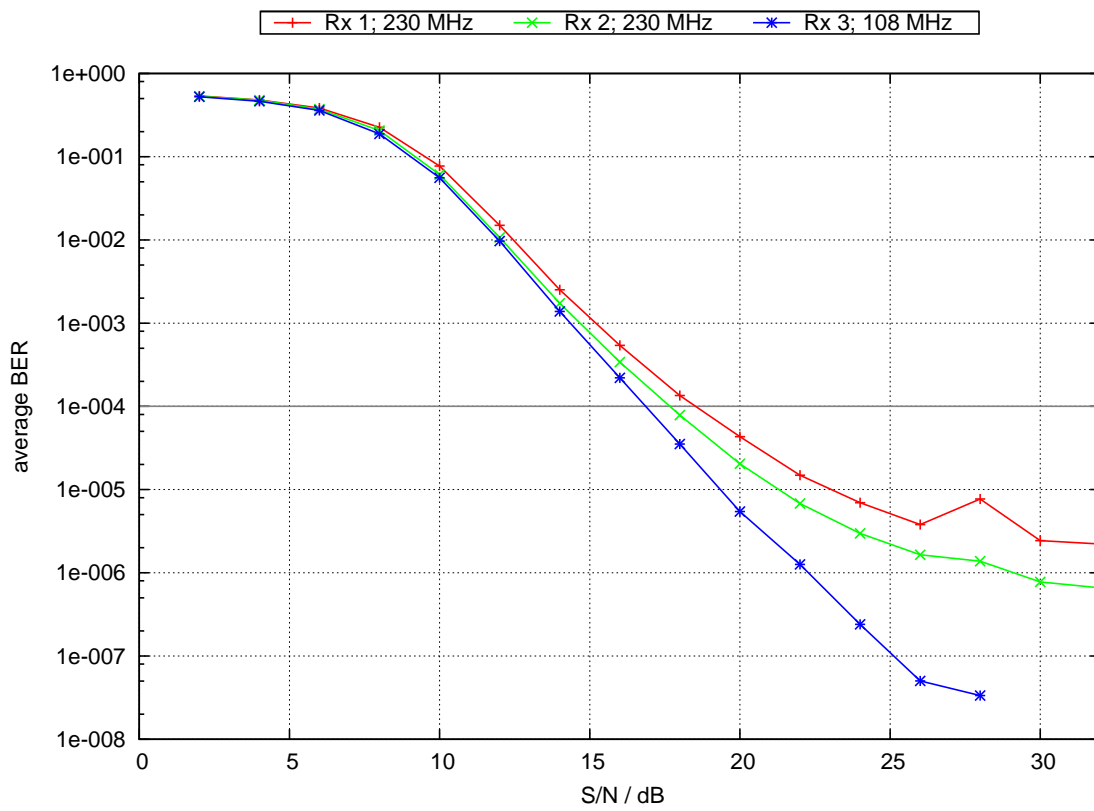


Abb. 6.27.: Hilly terrain; 16 QAM

## 6.2.2. terrain obstructed

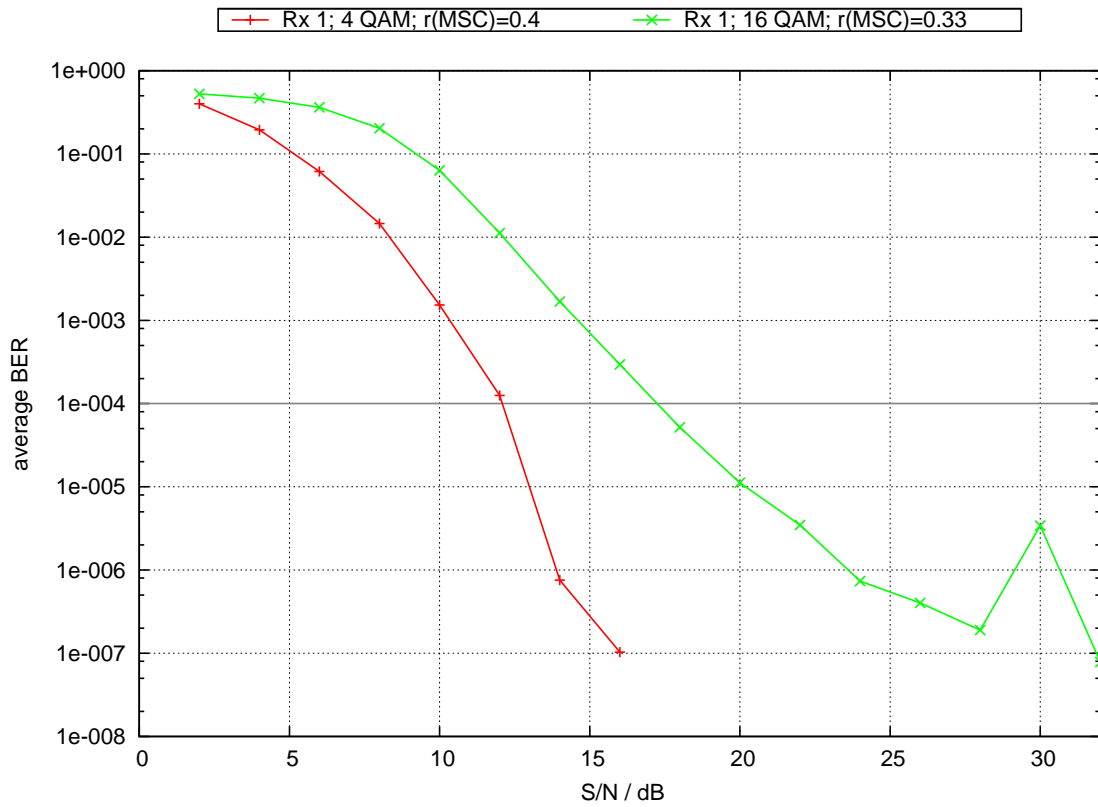


Abb. 6.28.: terrain obstructed; Rx 1

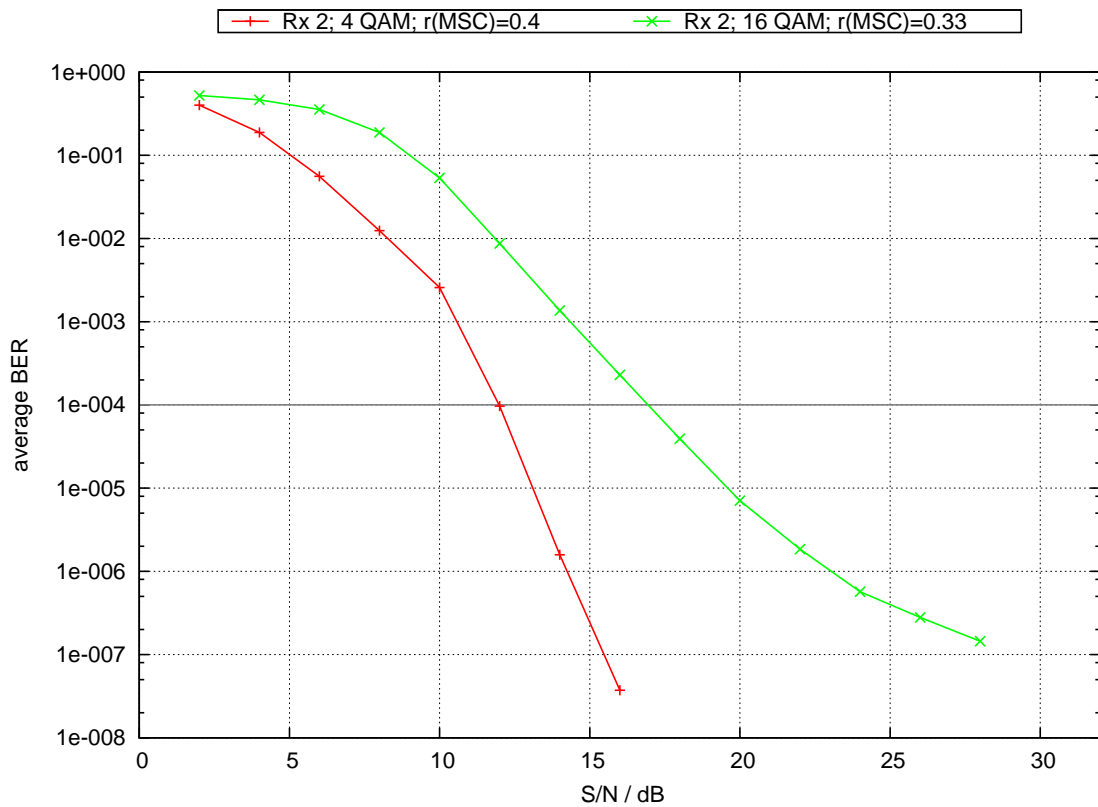


Abb. 6.29.: terrain obstructed; Rx 2

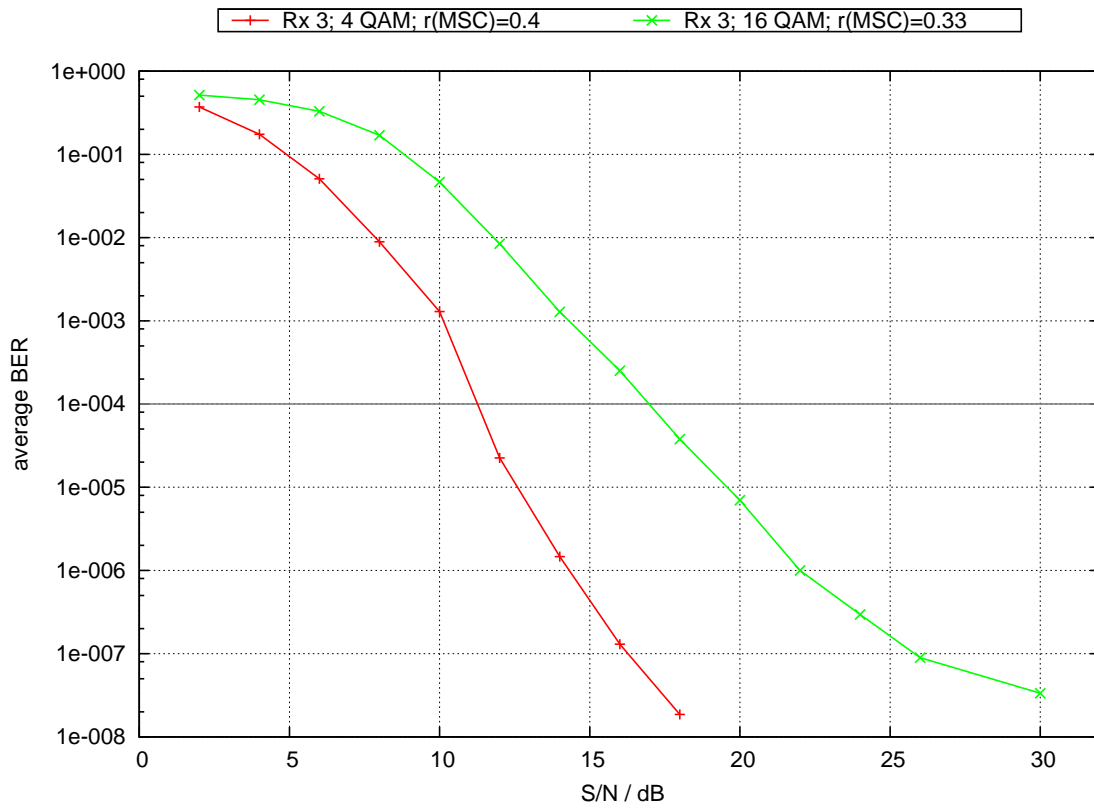


Abb. 6.30.: terrain obstructed; Rx 3

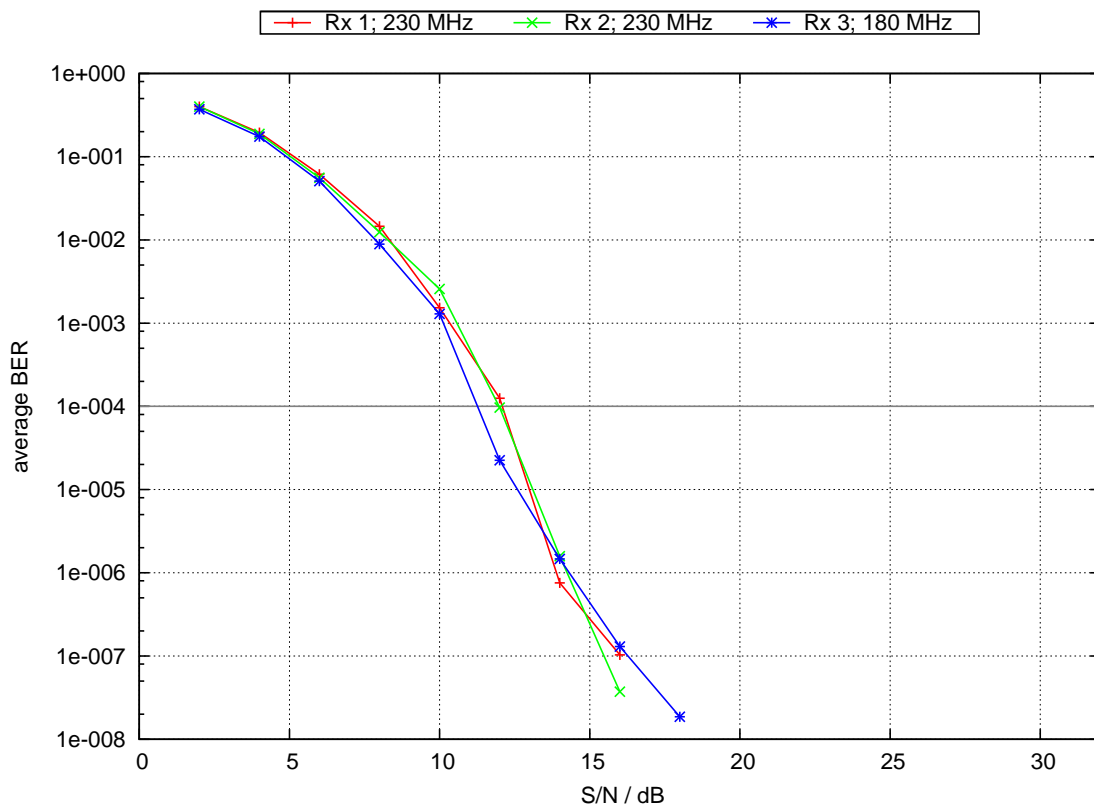


Abb. 6.31.: terrain obstructed; 4 QAM

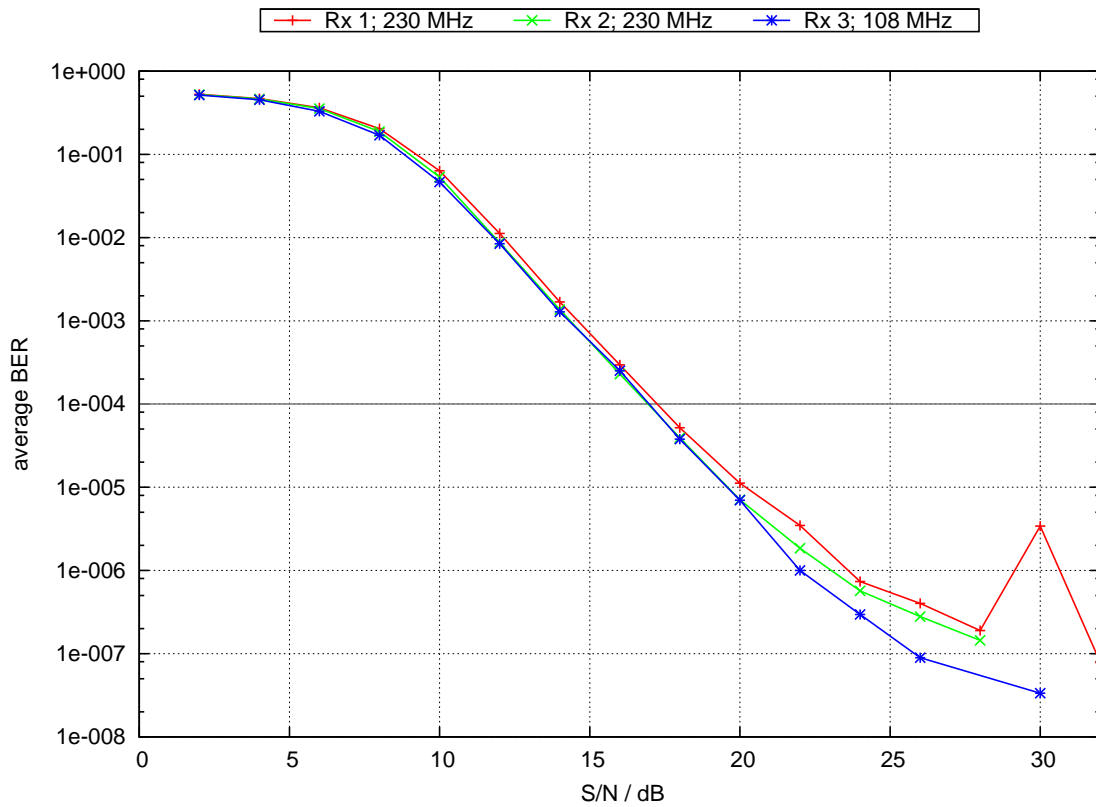


Abb. 6.32.: terrain obstructed; 16 QAM

### 6.2.3. Urban (Vehicle)

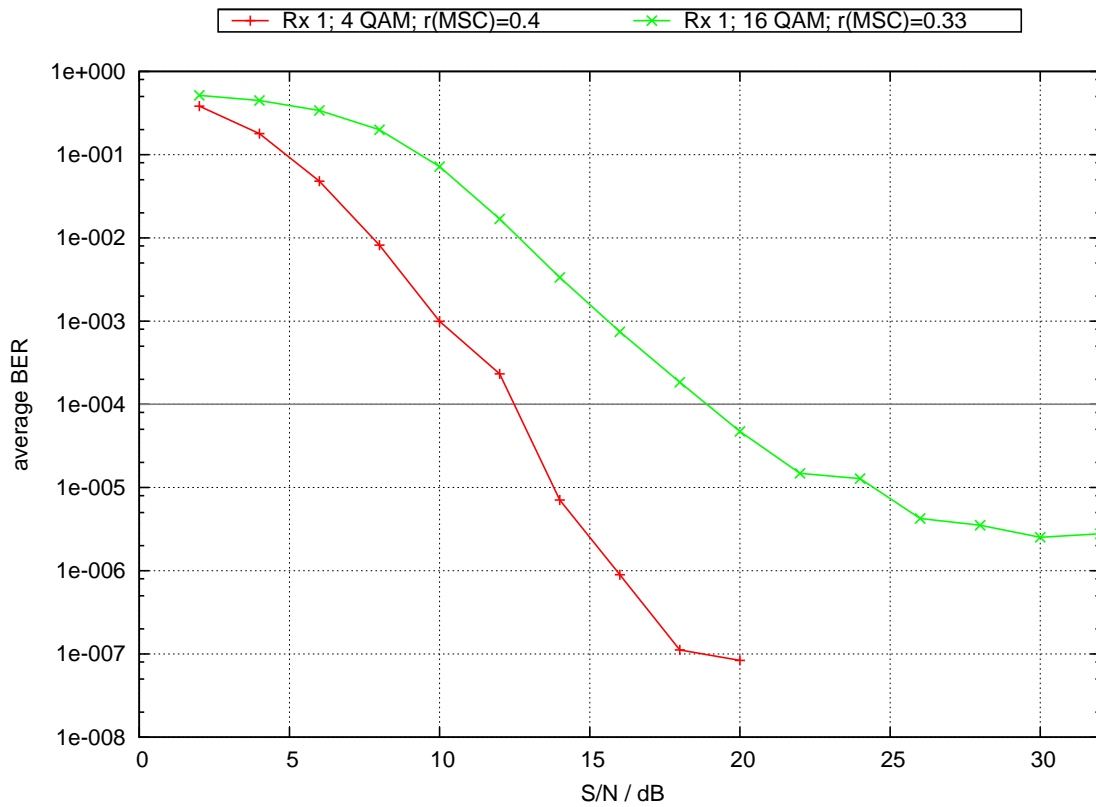


Abb. 6.33.: Urban (Vehicle); Rx 1

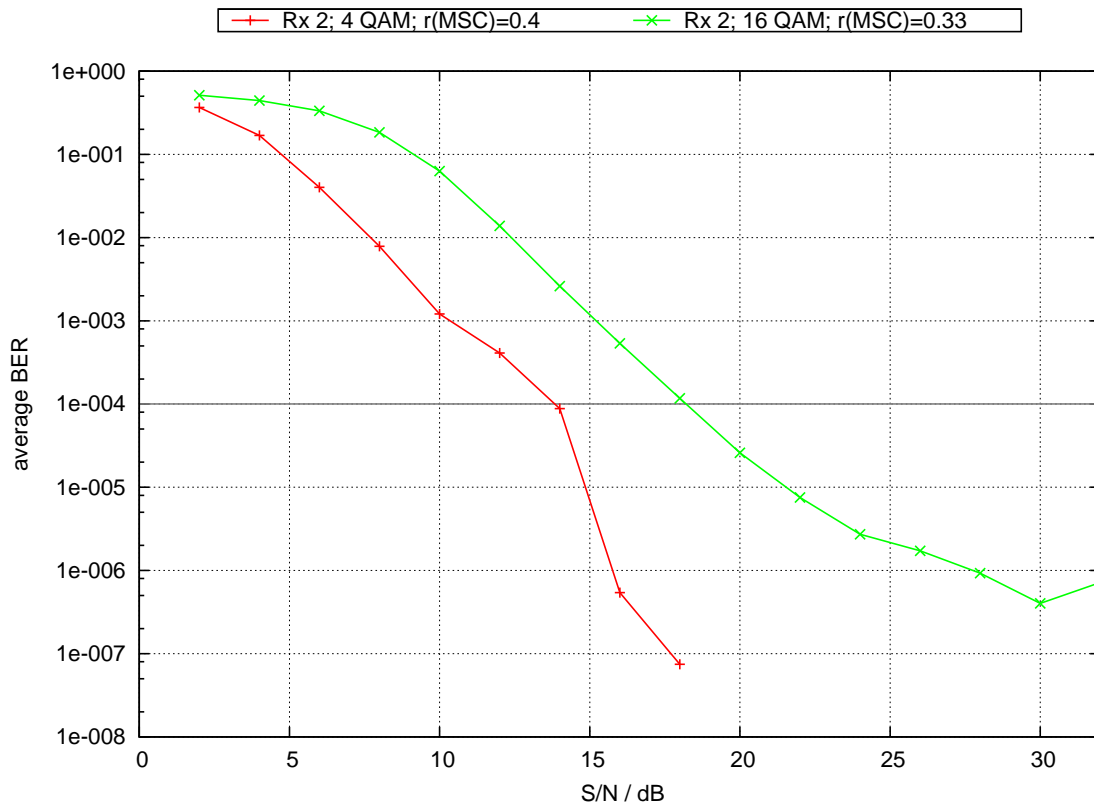


Abb. 6.34.: Urban (Vehicle); Rx 2

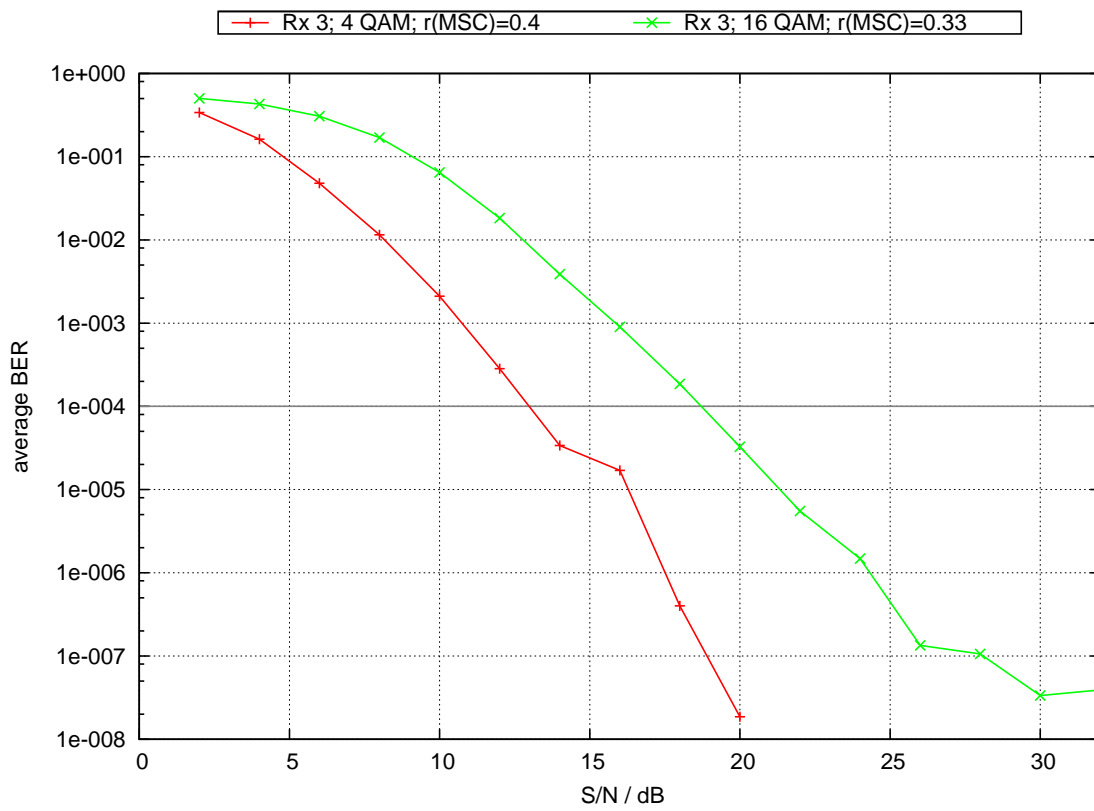


Abb. 6.35.: Urban (Vehicle); Rx 3

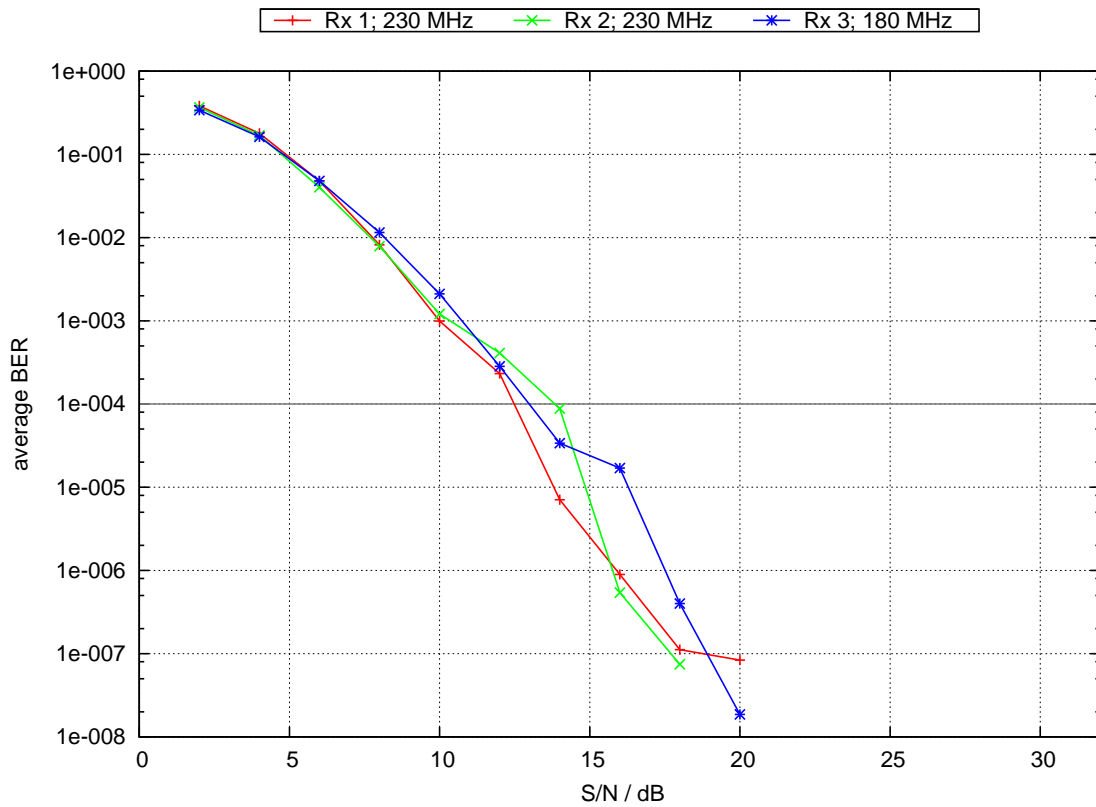


Abb. 6.36.: Urban (Vehicle); 4 QAM

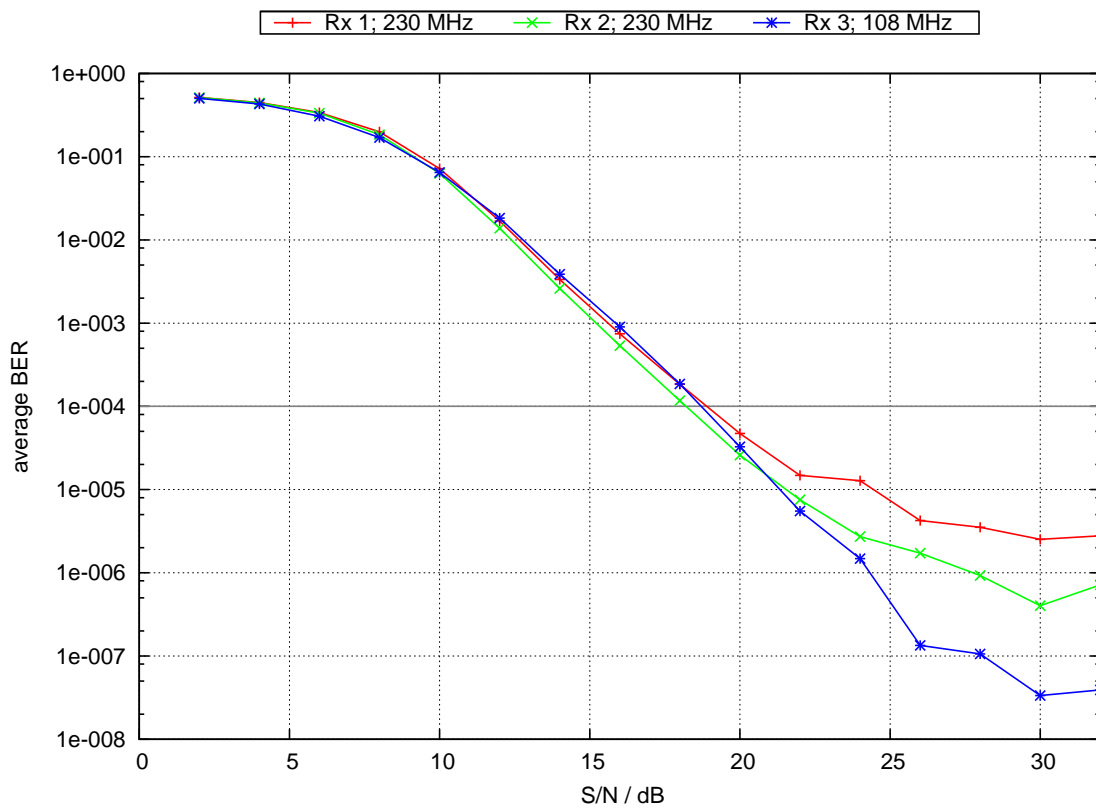


Abb. 6.37.: Urban (Vehicle); 16 QAM

## 6.2.4. Urban (Pedestrian)

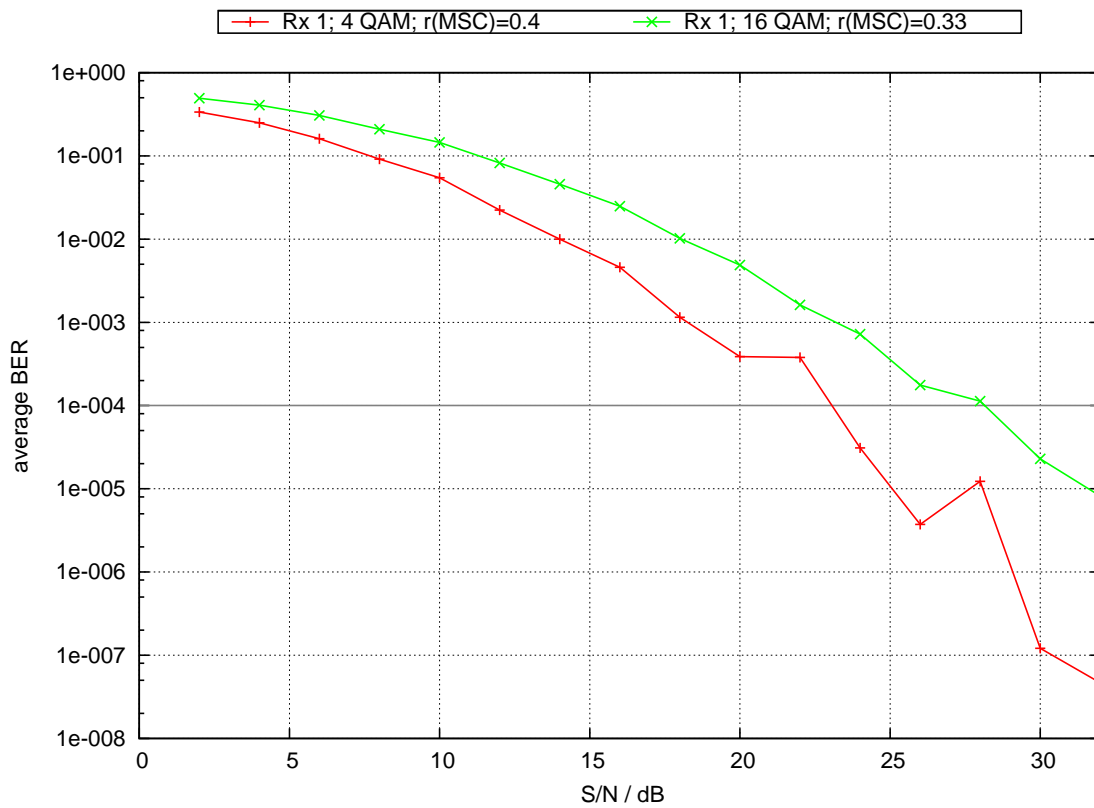


Abb. 6.38.: Urban (Pedestrian); Rx 1

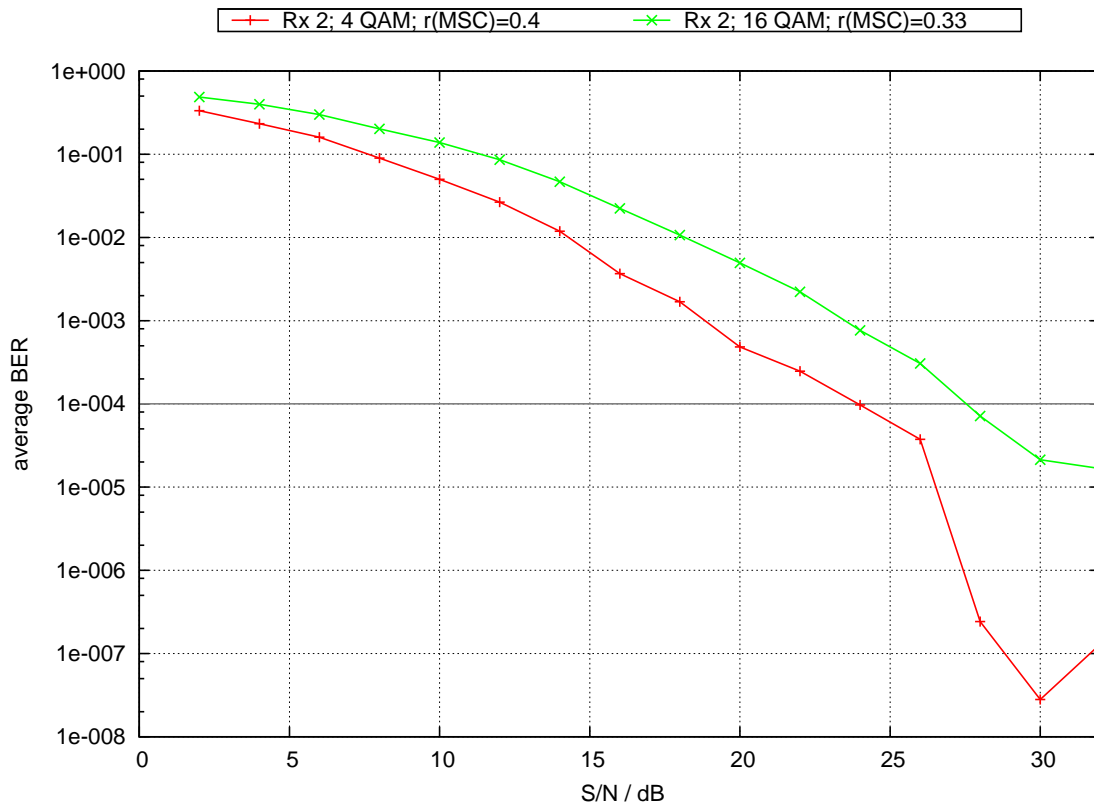


Abb. 6.39.: Urban (Pedestrian); Rx 2

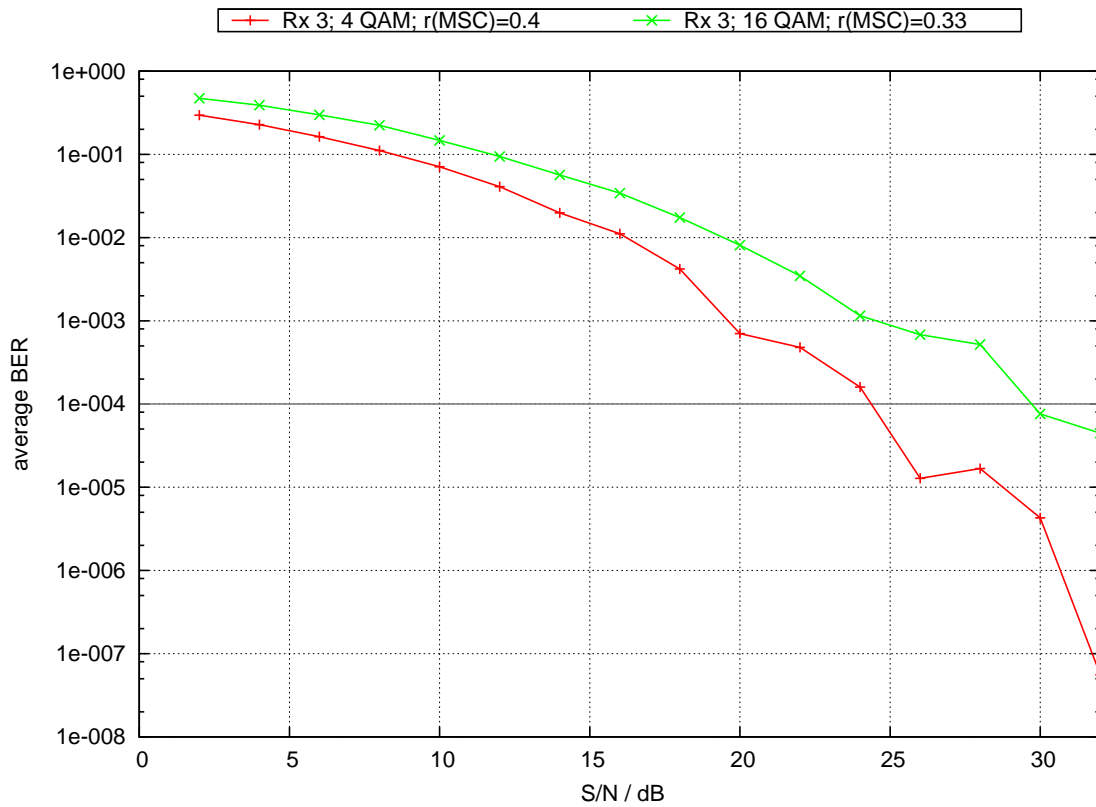


Abb. 6.40.: Urban (Pedestrian); Rx 3

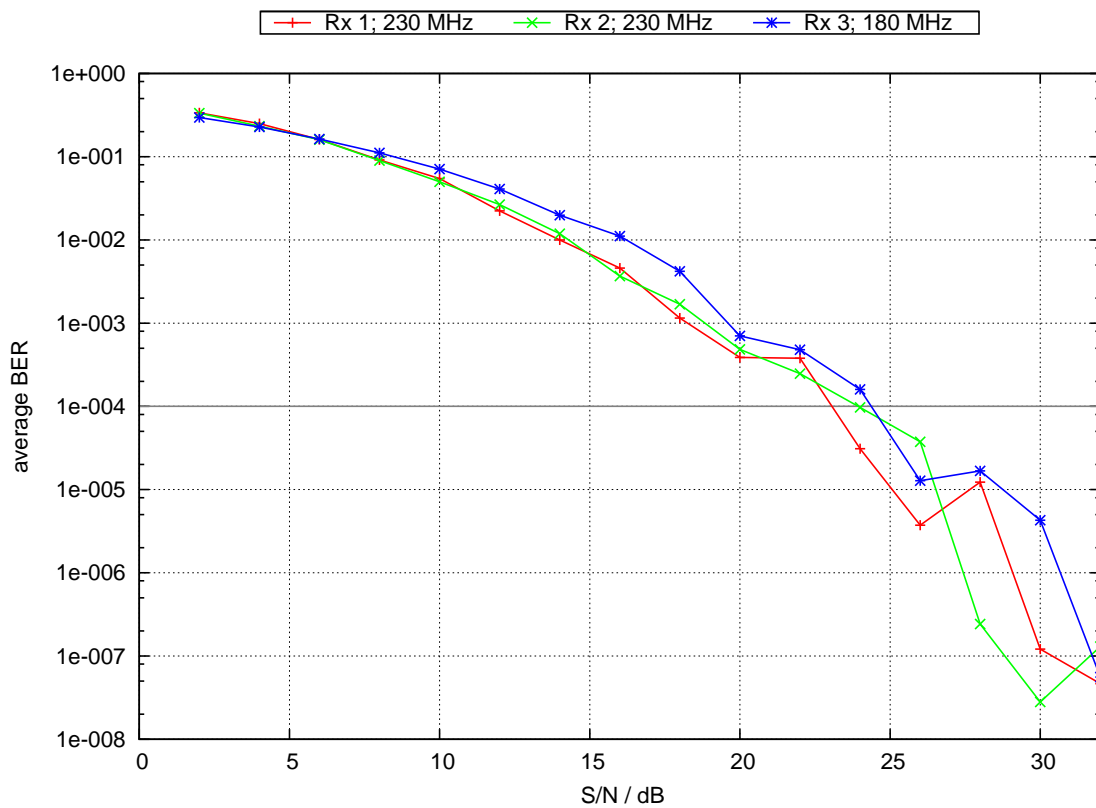


Abb. 6.41.: Urban (Pedestrian); 4 QAM

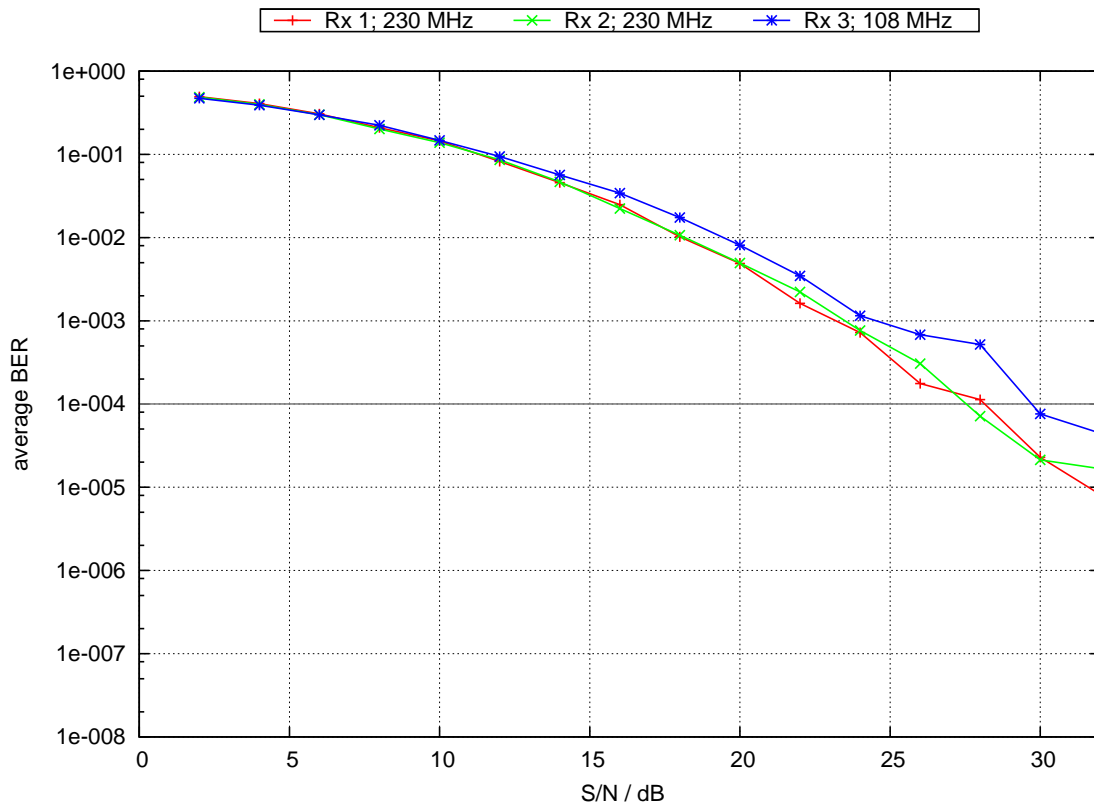


Abb. 6.42.: Urban (Pedestrian); 16 QAM

### 6.2.5. Rural

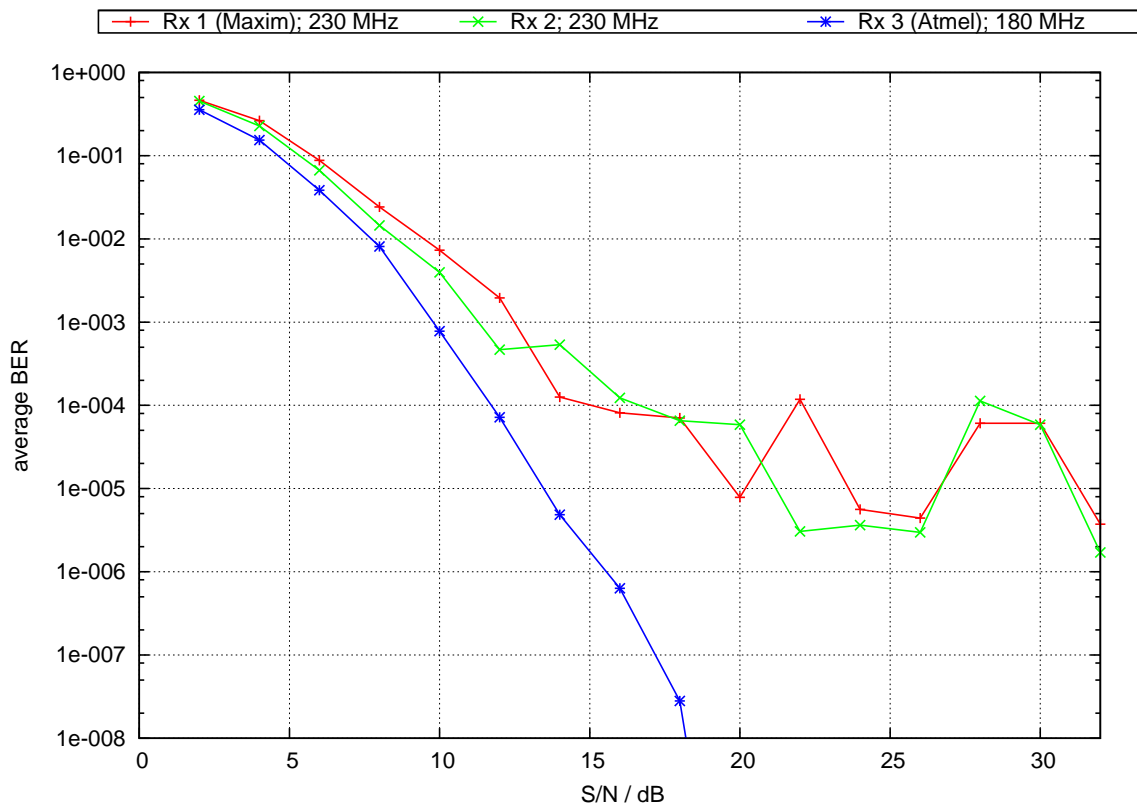


Abb. 6.43.: 4 QAM; Rural

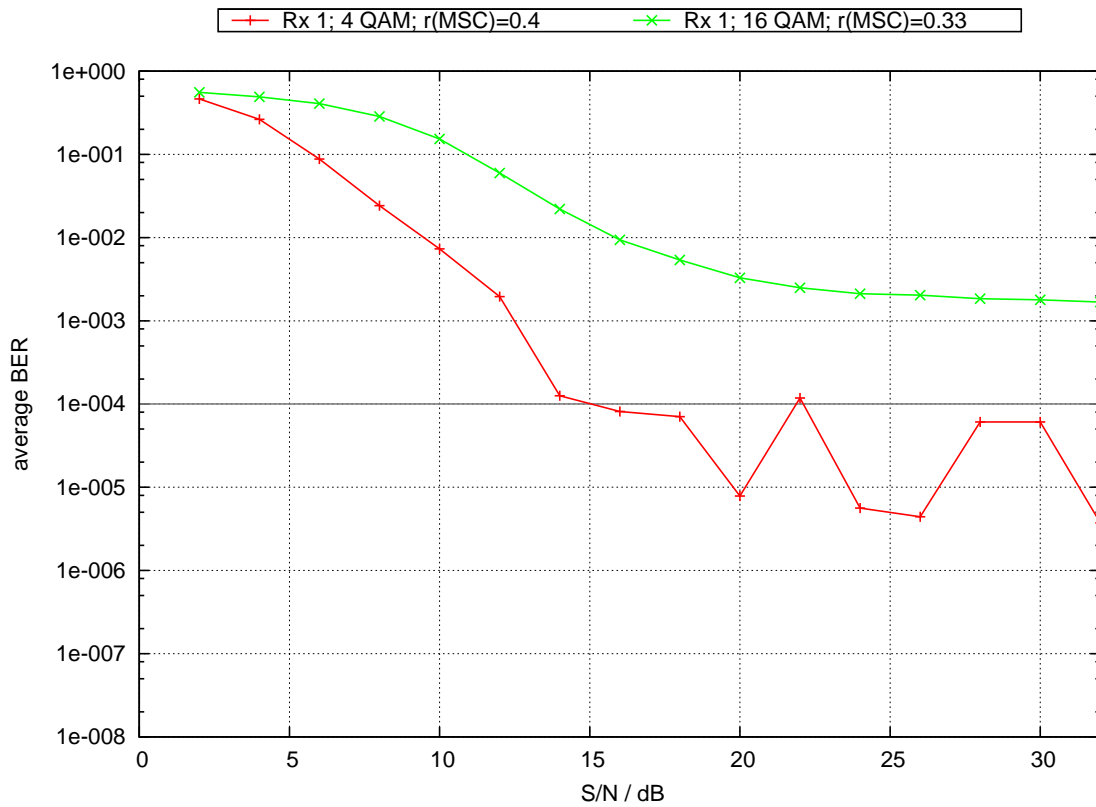


Abb. 6.44.: Rural; Rx 1

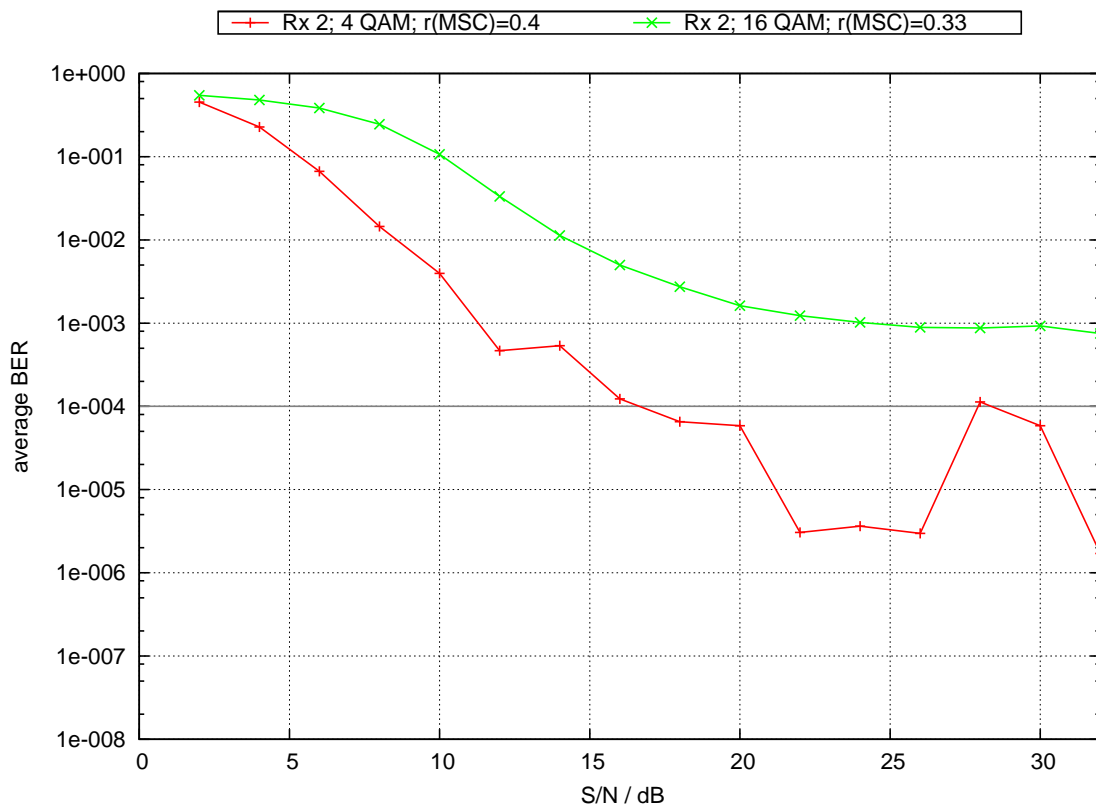


Abb. 6.45.: Rural; Rx 2

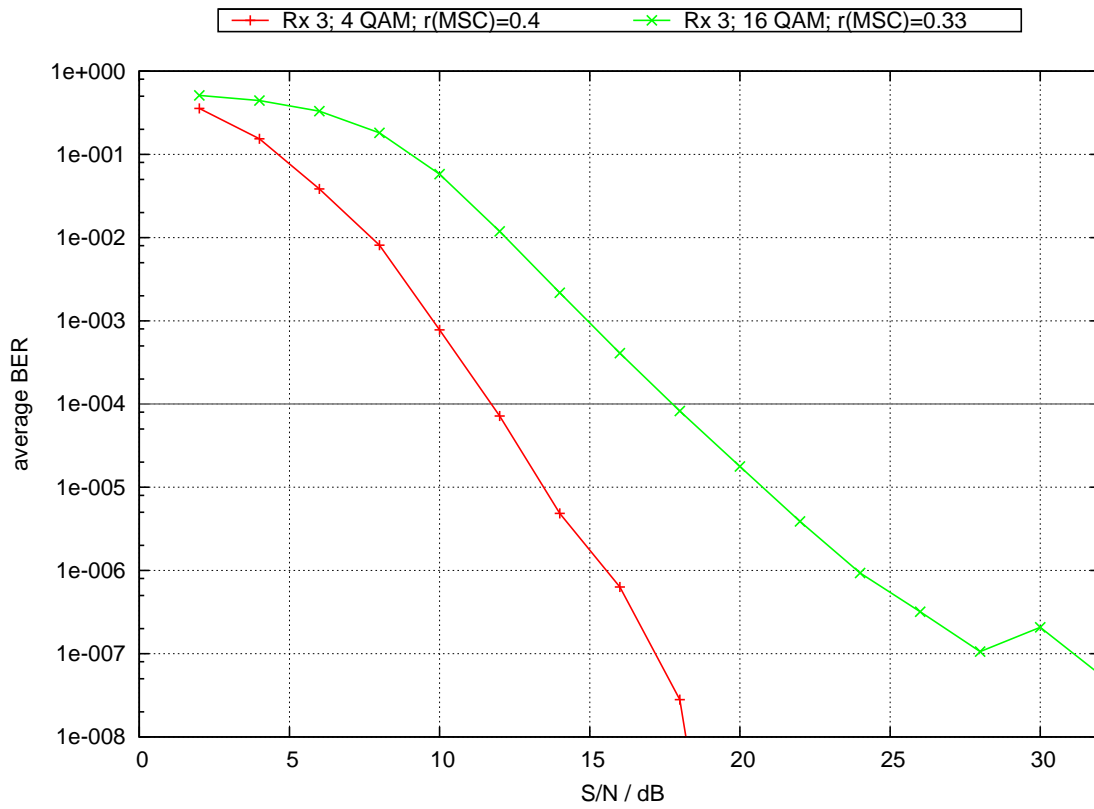


Abb. 6.46.: Rural; Rx 3

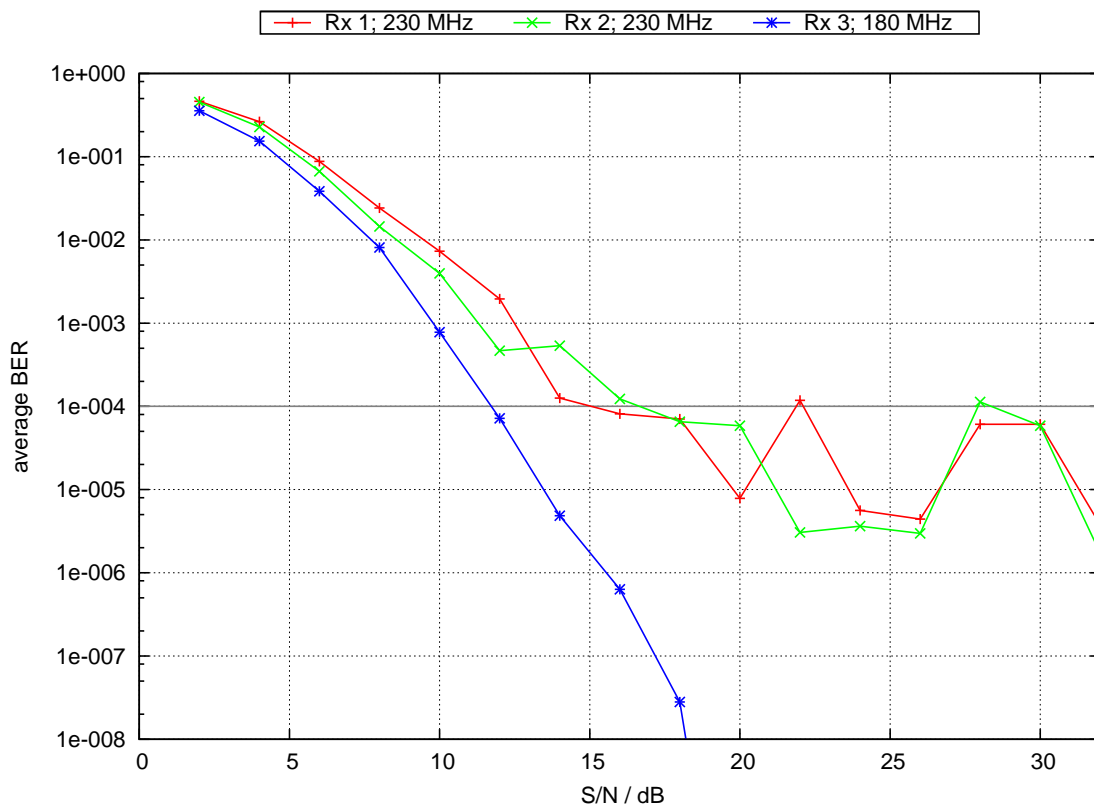


Abb. 6.47.: Rural; 4 QAM

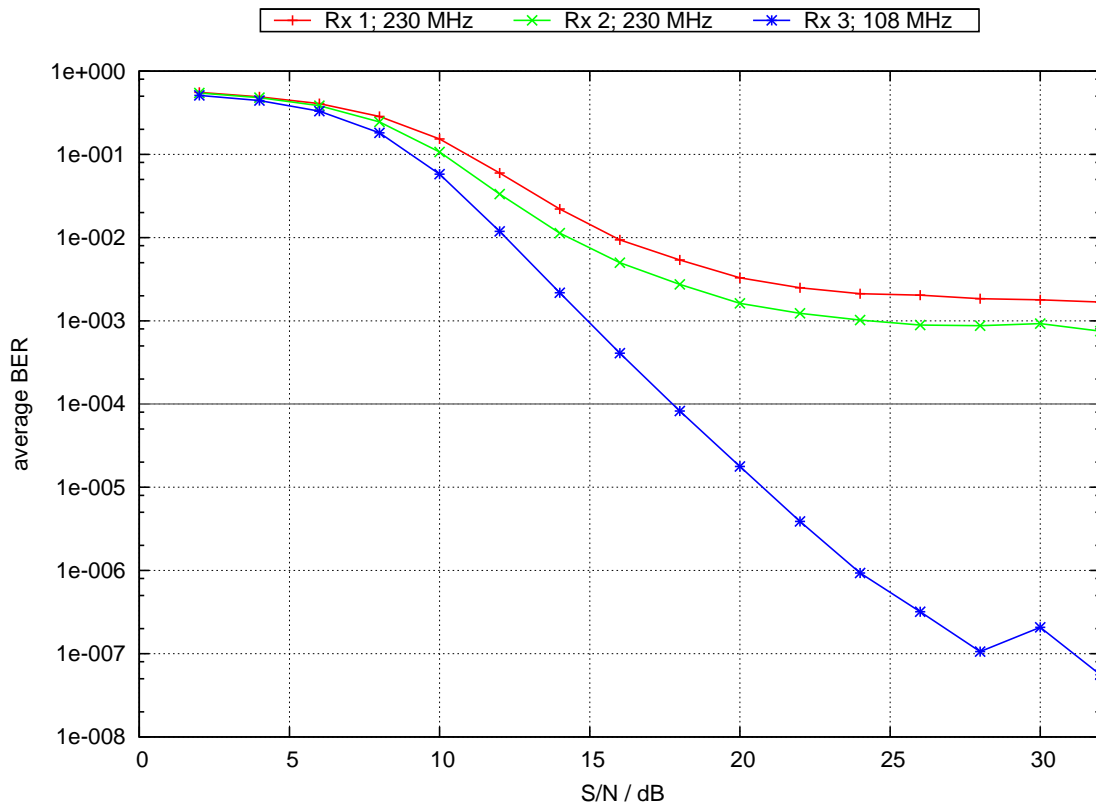


Abb. 6.48.: Rural; 16 QAM

### 6.2.6. 4/16 QAM alle Empfänger

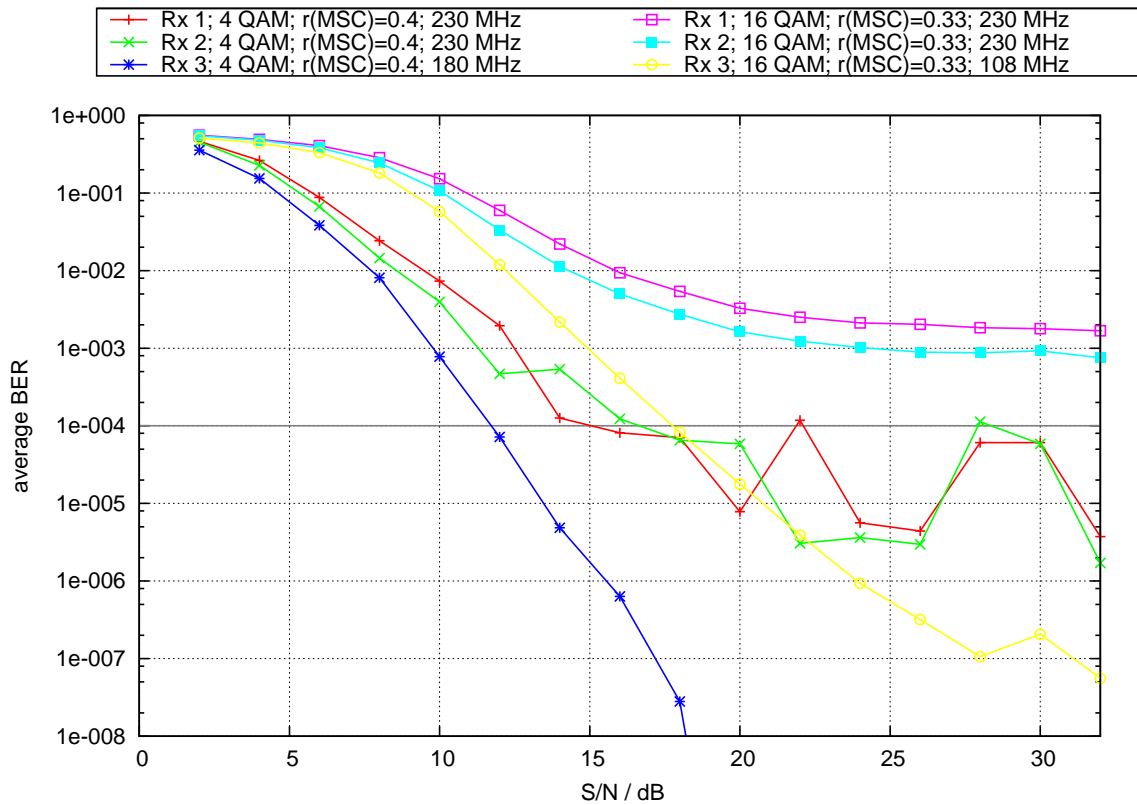


Abb. 6.49.: 4 / 16 QAM; Rural

---

## 7. Schutzabstandsmessung

---

### 7.1. Spektrumsaufnahmen der verwendeten Signale mit hoher Dynamik

Quelle: [SSK09]

Zur Realisierung dieser Messungen wird ein Spektrumanalyzer (oder Messempfänger) verwendet. Ein steiles, vorgeschaltetes Filter dämpft hierbei die Hauptausendung des zu vermessenden Senders. Somit kann schon bei sehr geringen Frequenzabständen zu dem Sendesignal die Empfindlichkeit des Empfängers erheblich gegenüber dem ungefiltertem Fall gesteigert werden, ohne diesen zu übersteuern. Auf diesem Weg ist es möglich, die Randaussendungen des untersuchten Systems wesentlich genauer von dem sonst erhöhten Eigenrauschen aufgrund der notwendigen Vordämpfung des Empfängers zu identifizieren.

Durch eine der Signalerfassung nachfolgende Messung des Betragsfrequenzgangs des Filters und Kombination beider Messungen kann der ursprüngliche, ungefilterte Signalverlauf wiederhergestellt werden. Abschliessend wird das Empfängereigenrauschen erfasst, was in Kombination mit dem Betragsfrequenzgang des Filters die endgültige untere Grenze der Empfindlichkeit der Messanordnung angibt. Die verwendete Messanordnung ist in der nachfolgenden Abb. 7.1 dargestellt.

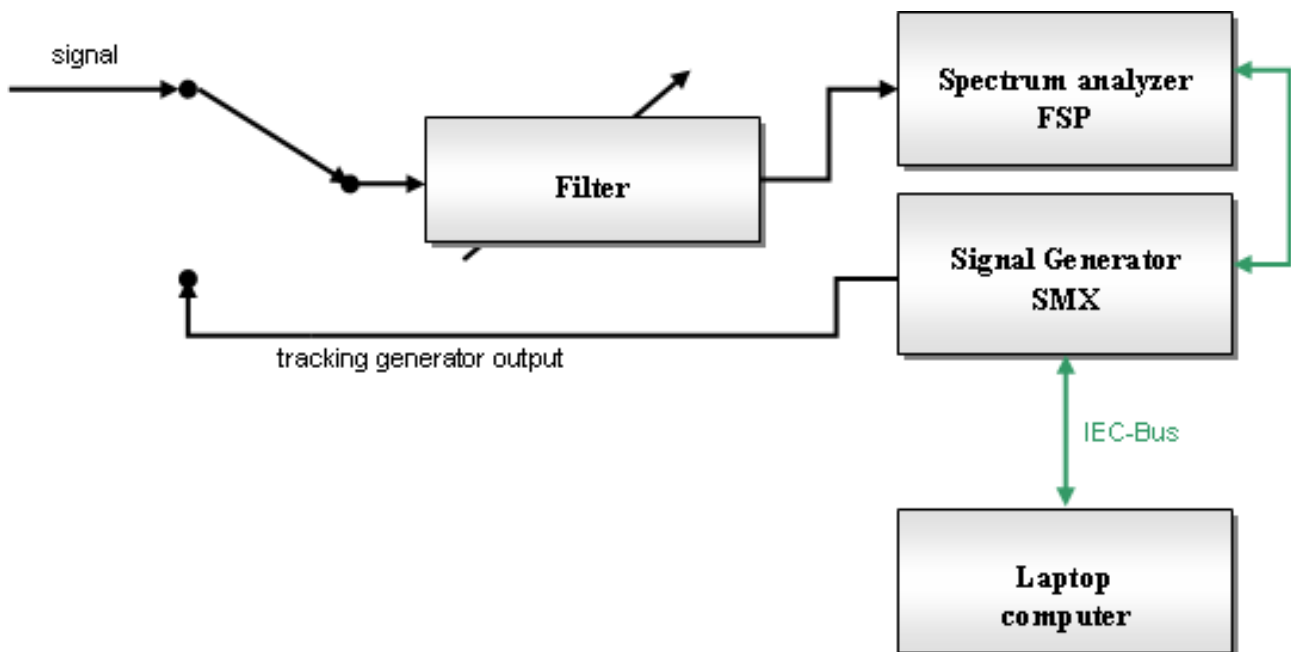


Abb. 7.1.: Messaufbau zur Messung von Signalspektren mit hoher Dynamik

## 7.2. Filter

### 7.2.1. Bandpassfilter Kathrein

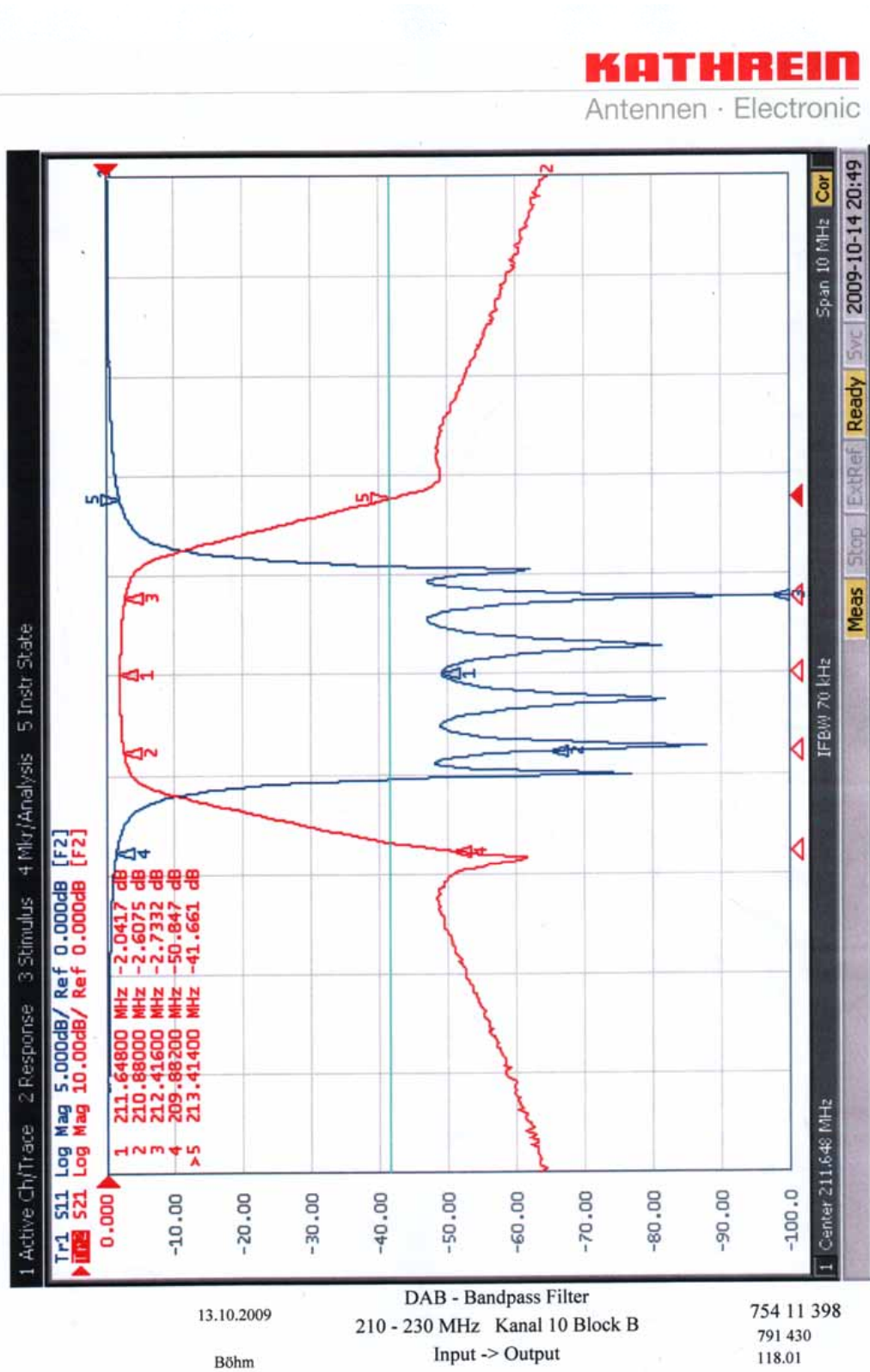


Abb. 7.2.: Bandpassfilter DAB Kanal 10B (Quelle: Kathrein [Kat09])

## 7.2.2. Bandpassfilter SPINNER

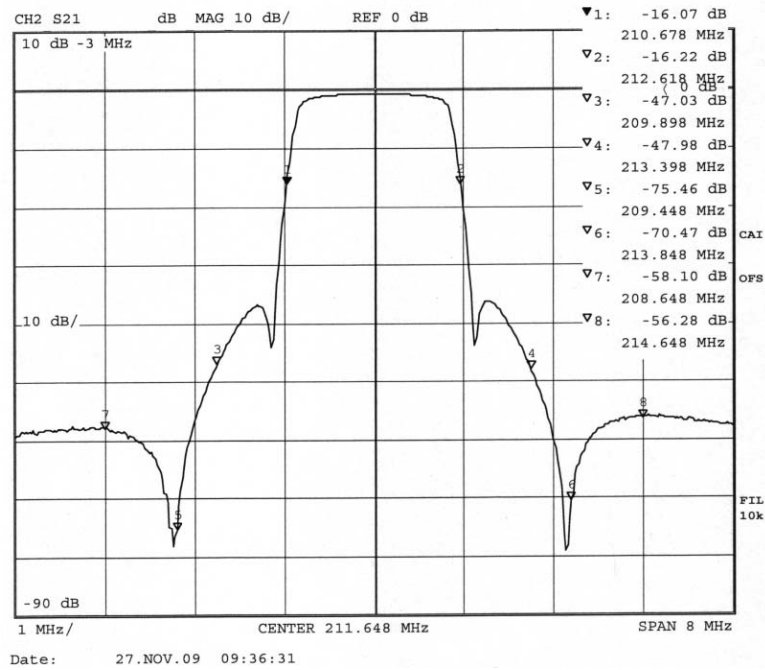


Abb. 7.3.: Breitband - Bandpassfilter DAB Kanal 10B (Quelle: SPINNER [Spi09])

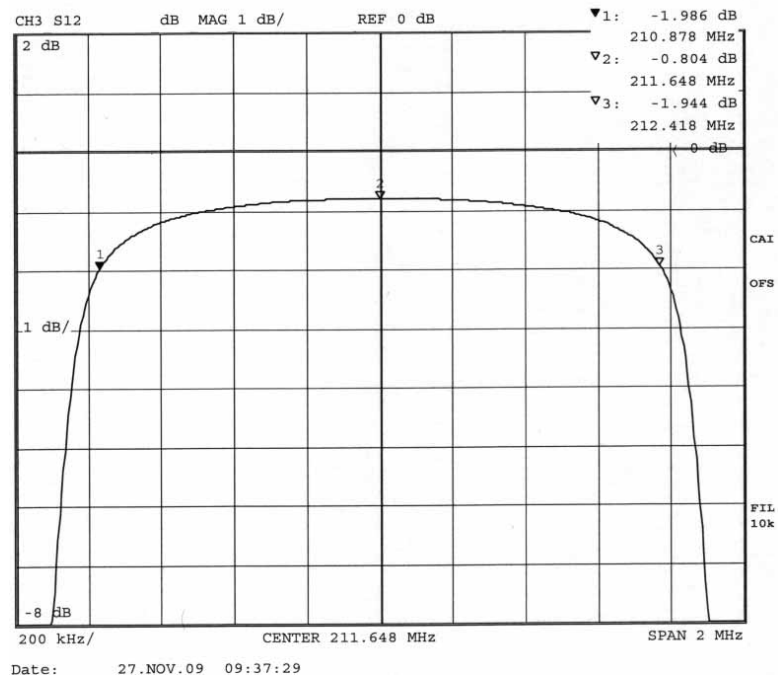


Abb. 7.4.: Durchlassbereich - Bandpassfilter DAB Kanal 10B (Quelle: SPINNER [Spi09])

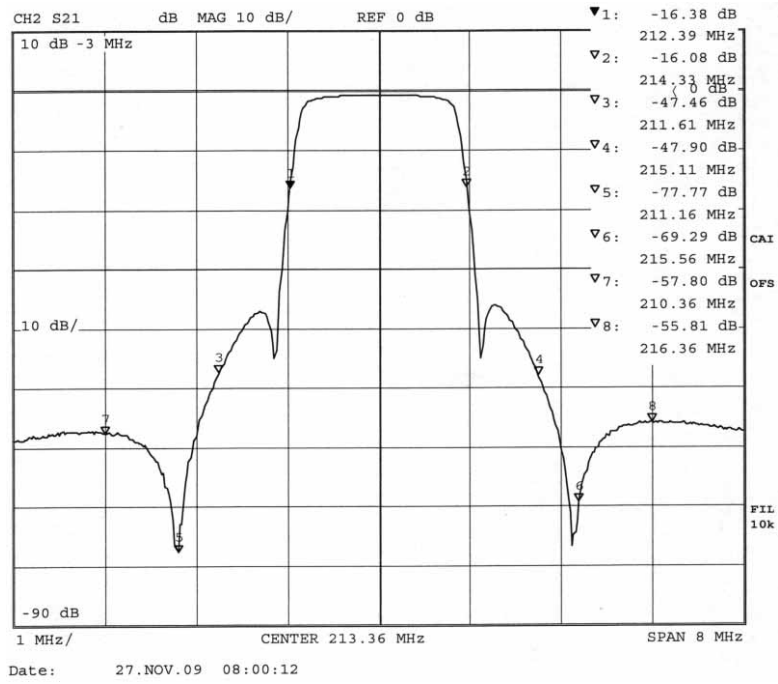


Abb. 7.5.: Breitband - Bandpassfilter DAB Kanal 10C (Quelle: SPINNER [Spi09])

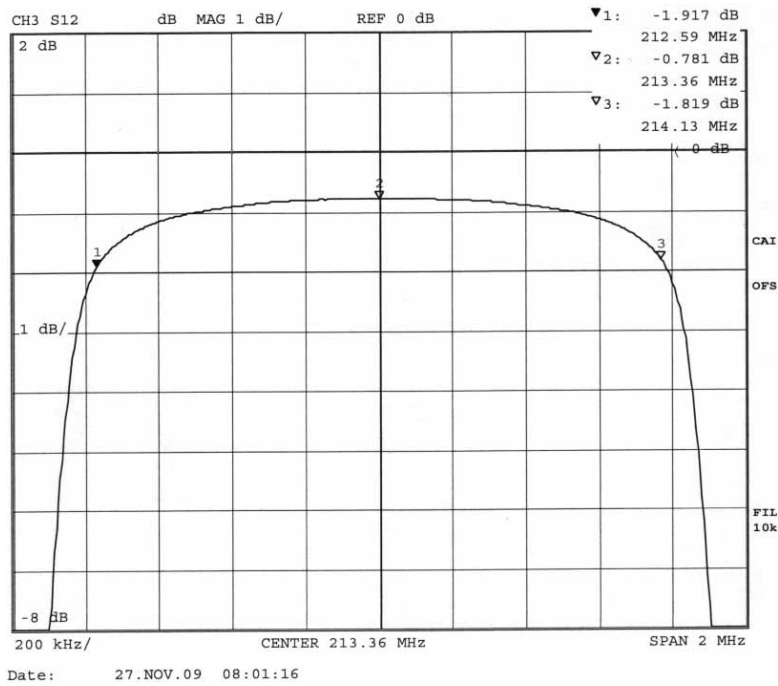


Abb. 7.6.: Durchlassbereich - Bandpassfilter DAB Kanal 10C (Quelle: SPINNER [Spi09])

## 7.3. DAB stört DRM<sup>+</sup>

### 7.3.1. Signalverlauf DAB Störsignal - Tx SDA730 (Plisch)

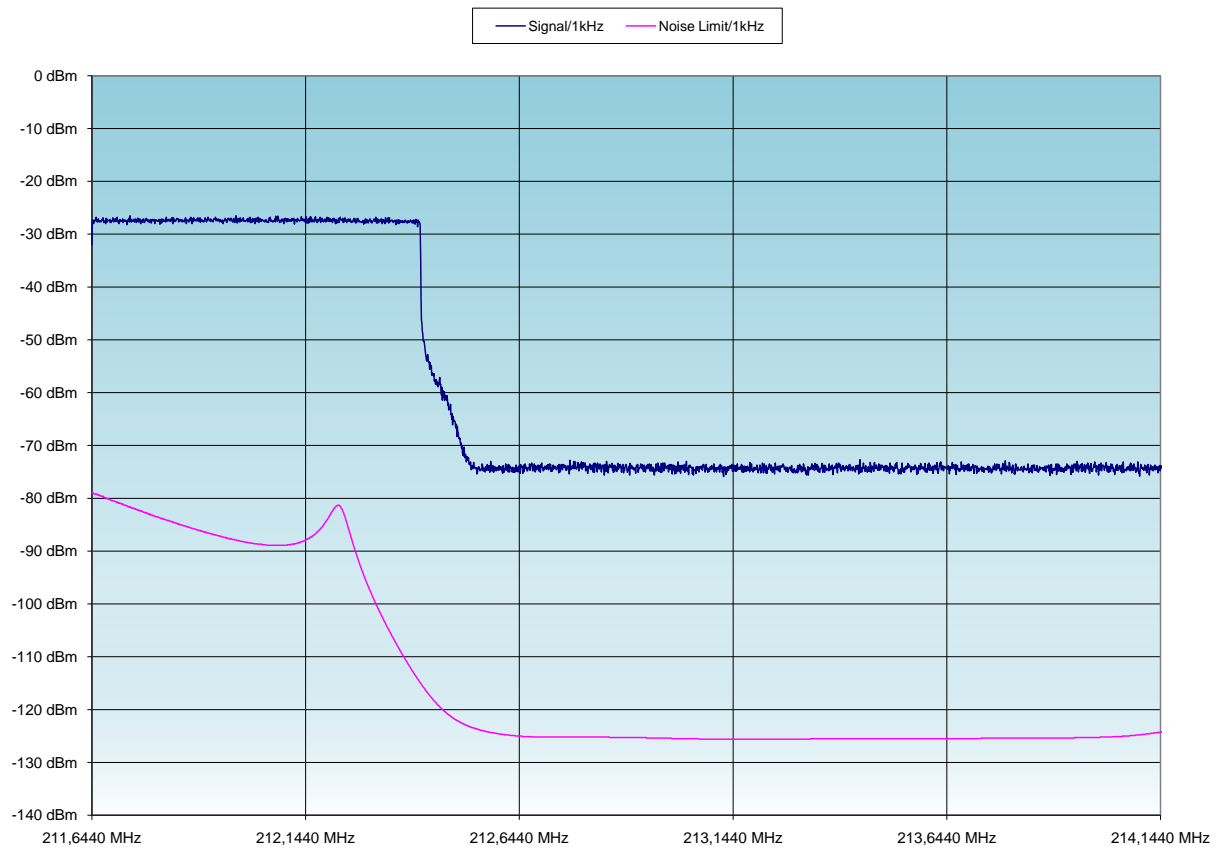


Abb. 7.7.: Signalverlauf SDA730 (Plisch)

### 7.3.2. Signalverlauf DAB Störsignal - Tx SLA8200 (R&S)

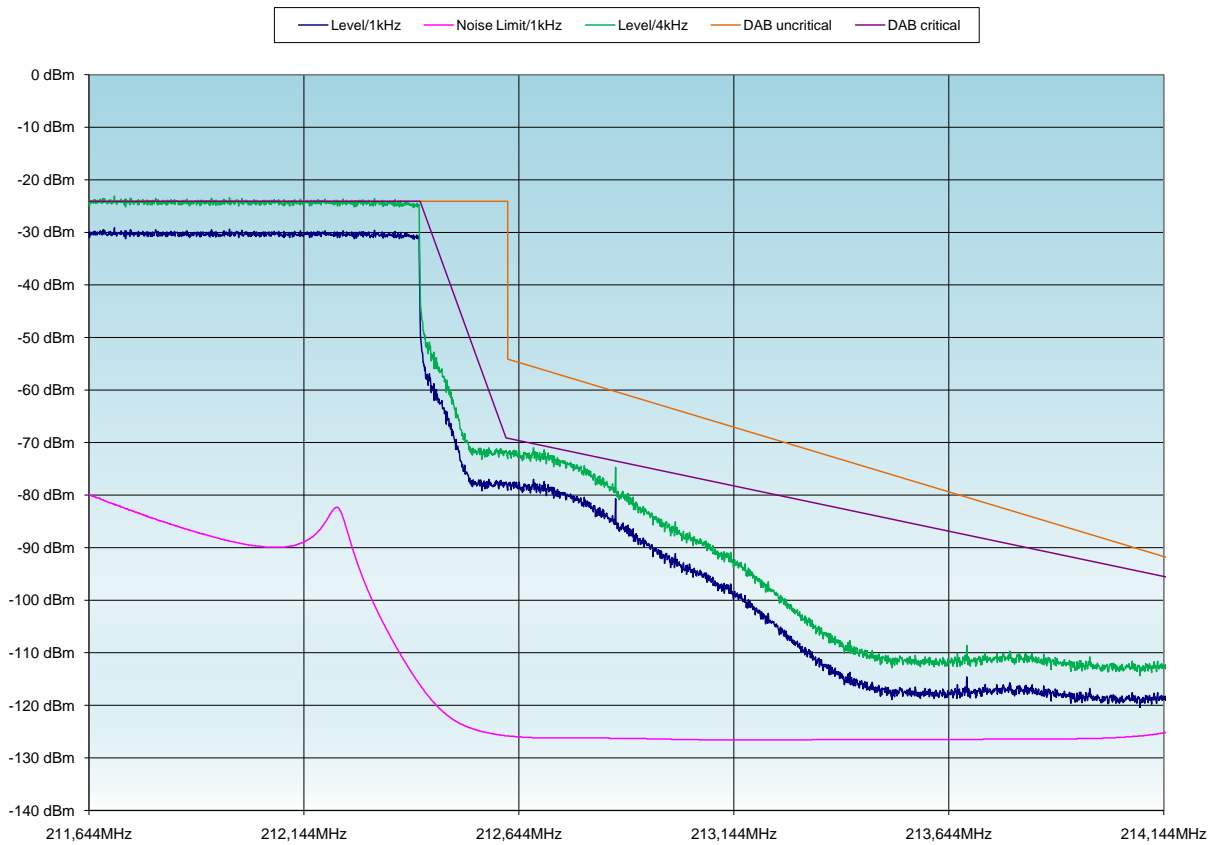


Abb. 7.8.: Signalverlauf SLA8200 (R&S); Ausgangsleistung: 60W

### 7.3.3. Messaufbau Schutzabstandsmessung - Tx SLA8200

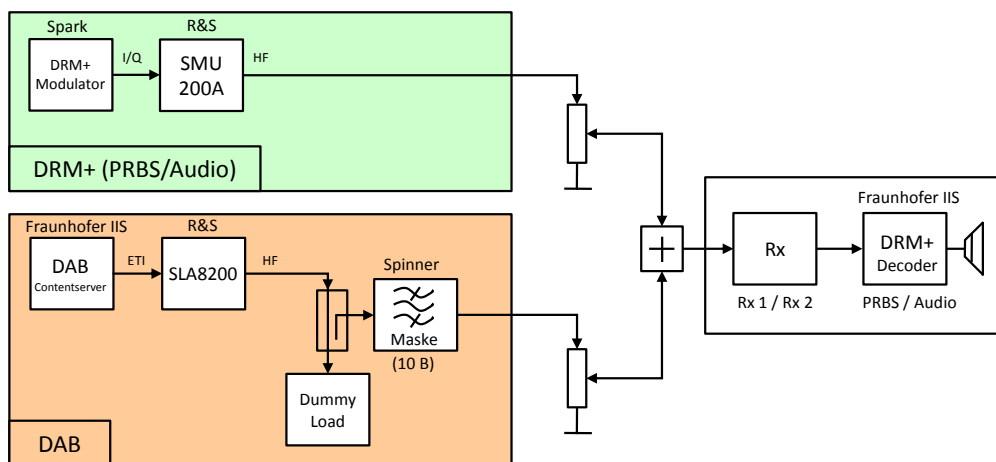


Abb. 7.9.: Blockschaftbild - Schutzabstandsmessung - DAB stört DRM<sup>+</sup> - Tx SLA8200 (R&S)



## 7.3.4. 4 QAM Variante

## 7.3.4.1. Tabellen

## Schutzabstandsmessungen DAB stört DRM+

Empfänger: Rx 1

Empfindlichkeit: -112 dBm am Rx-Eingang

Nutzsignal: 4 QAM CR 2/5 (prbs 49,68kbit/s / audio 49,68 kbit/s)

Frequenz: (variabel)

Sendeleistung: -50 dBm SMU-RMS Einstellung

Nutzleistung: -103 dBm am Rx-Eingang

Störsignal: DAB

Frequenz: 211,644 MHz

Sendeleistung: -64 dBm Sender Ausgang

Volle Leistung: -3 dBm am Rx-Eingang

Kriterium: Bitfehlerrate 10E-4 nach Viterbi

Offset	Störfrequenz	Dämpfung	Störpegel	C/I	DAB-Block
0 kHz	211,644 MHz	91 dB	-94 dBm	-9 dB	10B
100 kHz	211,744 MHz	91 dB	-94 dBm	-9 dB	
200 kHz	211,844 MHz	91 dB	-94 dBm	-9 dB	
300 kHz	211,944 MHz	91 dB	-94 dBm	-9 dB	
400 kHz	212,044 MHz	91 dB	-94 dBm	-9 dB	
500 kHz	212,144 MHz	91 dB	-94 dBm	-9 dB	
600 kHz	212,244 MHz	91 dB	-94 dBm	-9 dB	
700 kHz	212,344 MHz	91 dB	-94 dBm	-9 dB	
1012 kHz	212,656 MHz	46 dB	-49 dBm	-54 dB	10C
1112 kHz	212,756 MHz	44 dB	-47 dBm	-56 dB	
1212 kHz	212,856 MHz	42 dB	-45 dBm	-58 dB	
1312 kHz	212,956 MHz	40 dB	-43 dBm	-60 dB	
1412 kHz	213,056 MHz	40 dB	-43 dBm	-60 dB	
1512 kHz	213,156 MHz	40 dB	-43 dBm	-60 dB	
1612 kHz	213,256 MHz	39 dB	-42 dBm	-61 dB	
1712 kHz	213,356 MHz	39 dB	-42 dBm	-61 dB	
1812 kHz	213,456 MHz	39 dB	-42 dBm	-61 dB	
1912 kHz	213,556 MHz	39 dB	-42 dBm	-61 dB	
2012 kHz	213,656 MHz	39 dB	-42 dBm	-61 dB	
2112 kHz	213,756 MHz	39 dB	-42 dBm	-61 dB	
2212 kHz	213,856 MHz	39 dB	-42 dBm	-61 dB	
2312 kHz	213,956 MHz	39 dB	-42 dBm	-61 dB	
2412 kHz	214,056 MHz	39 dB	-42 dBm	-61 dB	
3424 kHz	215,068 MHz	39 dB	-42 dBm	-61 dB	10D
5288 kHz	216,932 MHz	39 dB	-42 dBm	-61 dB	11A
7000 kHz	218,644 MHz	39 dB	-42 dBm	-61 dB	11B

## Schutzabstandsmessungen DAB stört DRM+

Empfänger: **Rx 1**

Empfindlichkeit: -112 dBm am Rx-Eingang

Nutzsignal: **4 QAM CR 2/5** (prbs 49,68kbit/s / audio 49,68 kbit/s)

Frequenz: (variabel)

Sendeleistung: -50 dBm SMU-RMS Einstellung

Nutzleistung: -83 dBm am Rx-Eingang

Störsignal: **DAB**

Frequenz: 211,644 MHz

Sendeleistung: -64 dBm Sender Ausgang

Volle Leistung: -3 dBm am Rx-Eingang

Kriterium: Bitfehlerrate  $10E-4$  nach Viterbi

Offset	Störfrequenz	Dämpfung	Störpegel	C/I	DAB-Block
0 kHz	211,644 MHz	71 dB	-74 dBm	-9 dB	10B
100 kHz	211,744 MHz	71 dB	-74 dBm	-9 dB	
200 kHz	211,844 MHz	71 dB	-74 dBm	-9 dB	
300 kHz	211,944 MHz	71 dB	-74 dBm	-9 dB	
400 kHz	212,044 MHz	71 dB	-74 dBm	-9 dB	
500 kHz	212,144 MHz	71 dB	-74 dBm	-9 dB	
600 kHz	212,244 MHz	71 dB	-74 dBm	-9 dB	
700 kHz	212,344 MHz	71 dB	-74 dBm	-9 dB	
1012 kHz	212,656 MHz	26 dB	-29 dBm	-54 dB	
1112 kHz	212,756 MHz	24 dB	-27 dBm	-56 dB	
1212 kHz	212,856 MHz	20 dB	-23 dBm	-60 dB	
1312 kHz	212,956 MHz	18 dB	-21 dBm	-62 dB	
1412 kHz	213,056 MHz	17 dB	-20 dBm	-63 dB	
1512 kHz	213,156 MHz	16 dB	-19 dBm	-64 dB	
1612 kHz	213,256 MHz	15 dB	-18 dBm	-65 dB	
1712 kHz	213,356 MHz	14 dB	-17 dBm	-66 dB	
1812 kHz	213,456 MHz	14 dB	-17 dBm	-66 dB	
1912 kHz	213,556 MHz	14 dB	-17 dBm	-66 dB	
2012 kHz	213,656 MHz	14 dB	-17 dBm	-66 dB	
2112 kHz	213,756 MHz	14 dB	-17 dBm	-66 dB	
2212 kHz	213,856 MHz	14 dB	-17 dBm	-66 dB	
2312 kHz	213,956 MHz	14 dB	-17 dBm	-66 dB	
2412 kHz	214,056 MHz	14 dB	-17 dBm	-66 dB	
3424 kHz	215,068 MHz	14 dB	-17 dBm	-66 dB	10D
5288 kHz	216,932 MHz	14 dB	-17 dBm	-66 dB	11A
7000 kHz	218,644 MHz	14 dB	-17 dBm	-66 dB	11B

## Schutzabstandsmessungen DAB auf DRM+

**Empfänger:** Rx 2

Empfindlichkeit: -112 dBm am Rx-Eingang

**Nutzsignal:** 4 QAM CR 2/5 (prbs 49,68 kbit/s / audio 49,68 kbit/s)

Frequenz: (variabel)

Sendeleistung: -50 dBm SMU-RMS Einstellung

Nutzleistung: -102 dBm am Rx-Eingang

**Störsignal:** DAB

Frequenz: 211,644 MHz

Sendeleistung: -64 dBm Sender Ausgang

Volle Leistung: -3 dBm am Rx-Eingang

**Kriterium:** Bitfehlerrate 10E-4 nach Viterbi

Offset	Störfrequenz	Dämpfung	Störpegel	C/I	DAB-Block
0 kHz	211,644 MHz	93 dB	-96 dBm	-6 dB	10B
100 kHz	211,744 MHz	92 dB	-95 dBm	-7 dB	
200 kHz	211,844 MHz	92 dB	-95 dBm	-7 dB	
300 kHz	211,944 MHz	92 dB	-95 dBm	-7 dB	
400 kHz	212,044 MHz	92 dB	-95 dBm	-7 dB	
500 kHz	212,144 MHz	91 dB	-94 dBm	-8 dB	
600 kHz	212,244 MHz	90 dB	-93 dBm	-9 dB	
700 kHz	212,344 MHz	90 dB	-93 dBm	-9 dB	
1012 kHz	212,656 MHz	51 dB	-54 dBm	-48 dB	
1112 kHz	212,756 MHz	49 dB	-52 dBm	-50 dB	
1212 kHz	212,856 MHz	49 dB	-52 dBm	-50 dB	
1312 kHz	212,956 MHz	48 dB	-51 dBm	-51 dB	
1412 kHz	213,056 MHz	48 dB	-51 dBm	-51 dB	
1512 kHz	213,156 MHz	47 dB	-50 dBm	-52 dB	
1612 kHz	213,256 MHz	47 dB	-50 dBm	-52 dB	
1712 kHz	213,356 MHz	46 dB	-49 dBm	-53 dB	
1812 kHz	213,456 MHz	45 dB	-48 dBm	-54 dB	
1912 kHz	213,556 MHz	43 dB	-46 dBm	-56 dB	
2012 kHz	213,656 MHz	42 dB	-45 dBm	-57 dB	
2112 kHz	213,756 MHz	40 dB	-43 dBm	-59 dB	
2212 kHz	213,856 MHz	40 dB	-43 dBm	-59 dB	
2312 kHz	213,956 MHz	39 dB	-42 dBm	-60 dB	
2412 kHz	214,056 MHz	38 dB	-41 dBm	-61 dB	
2724 kHz	214,368 MHz	34 dB	-37 dBm	-65 dB	10D
2824 kHz	214,468 MHz	33 dB	-36 dBm	-66 dB	
3424 kHz	215,068 MHz	31 dB	-34 dBm	-68 dB	
5288 kHz	216,932 MHz	29 dB	-32 dBm	-70 dB	11A
7000 kHz	218,644 MHz	27 dB	-30 dBm	-72 dB	11B

## Schutzabstandsmessungen DAB stört DRM+

Empfänger: **Rx 2**

Empfindlichkeit: -112 dBm am Rx-Eingang

Nutzsignal: **4 QAM CR 2/5** (prbs 49,68 kbit/s / audio 49,68 kbit/s)

Frequenz: (variabel)

Sendeleistung: -50 dBm SMU-RMS Einstellung

Nutzleistung: -82 dBm am Rx-Eingang

Störsignal: **DAB**

Frequenz: 211,644 MHz

Sendeleistung: -64 dBm Sender Ausgang

Volle Leistung: -3 dBm am Rx-Eingang

Kriterium: Bitfehlerrate  $10E-4$  nach Viterbi

Offset	Störfrequenz	Dämpfung	Störpegel	C/I	DAB-Block
0 kHz	211,644 MHz	71 dB	-74 dBm	-8 dB	10B
100 kHz	211,744 MHz	71 dB	-74 dBm	-8 dB	
200 kHz	211,844 MHz	71 dB	-74 dBm	-8 dB	
300 kHz	211,944 MHz	71 dB	-74 dBm	-8 dB	
400 kHz	212,044 MHz	71 dB	-74 dBm	-8 dB	
500 kHz	212,144 MHz	71 dB	-74 dBm	-8 dB	
600 kHz	212,244 MHz	69 dB	-72 dBm	-10 dB	
700 kHz	212,344 MHz	69 dB	-72 dBm	-10 dB	
1012 kHz	212,656 MHz	31 dB	-34 dBm	-48 dB	10C
1112 kHz	212,756 MHz	29 dB	-32 dBm	-50 dB	
1212 kHz	212,856 MHz	29 dB	-32 dBm	-50 dB	
1312 kHz	212,956 MHz	28 dB	-31 dBm	-51 dB	
1412 kHz	213,056 MHz	27 dB	-30 dBm	-52 dB	
1512 kHz	213,156 MHz	27 dB	-30 dBm	-52 dB	
1612 kHz	213,256 MHz	26 dB	-29 dBm	-53 dB	
1712 kHz	213,356 MHz	25 dB	-28 dBm	-54 dB	
1812 kHz	213,456 MHz	24 dB	-27 dBm	-55 dB	
1912 kHz	213,556 MHz	23 dB	-26 dBm	-56 dB	
2012 kHz	213,656 MHz	22 dB	-25 dBm	-57 dB	
2112 kHz	213,756 MHz	20 dB	-23 dBm	-59 dB	
2212 kHz	213,856 MHz	19 dB	-22 dBm	-60 dB	
2312 kHz	213,956 MHz	18 dB	-21 dBm	-61 dB	
2412 kHz	214,056 MHz	18 dB	-21 dBm	-61 dB	
2724 kHz	214,368 MHz	13 dB	-16 dBm	-66 dB	10D
2824 kHz	214,468 MHz	12 dB	-15 dBm	-67 dB	
3424 kHz	215,068 MHz	12 dB	-15 dBm	-67 dB	
5288 kHz	216,932 MHz	9 dB	-12 dBm	-70 dB	11A
7000 kHz	218,644 MHz	6 dB	-9 dBm	-73 dB	11B

7.3.4.2. Diagramme

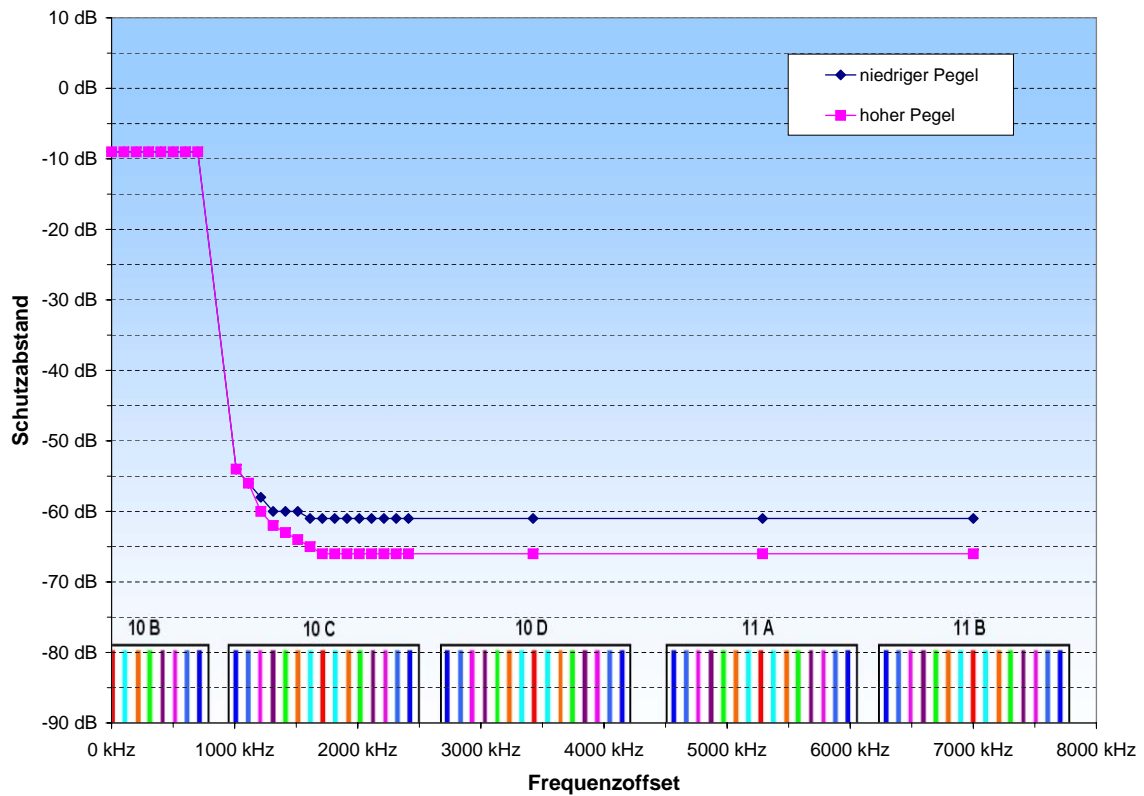


Abb. 7.10.: Schutzabstände - DAB stört DRM<sup>+</sup> (4 QAM); Rx 1; Störkriterium:  $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$

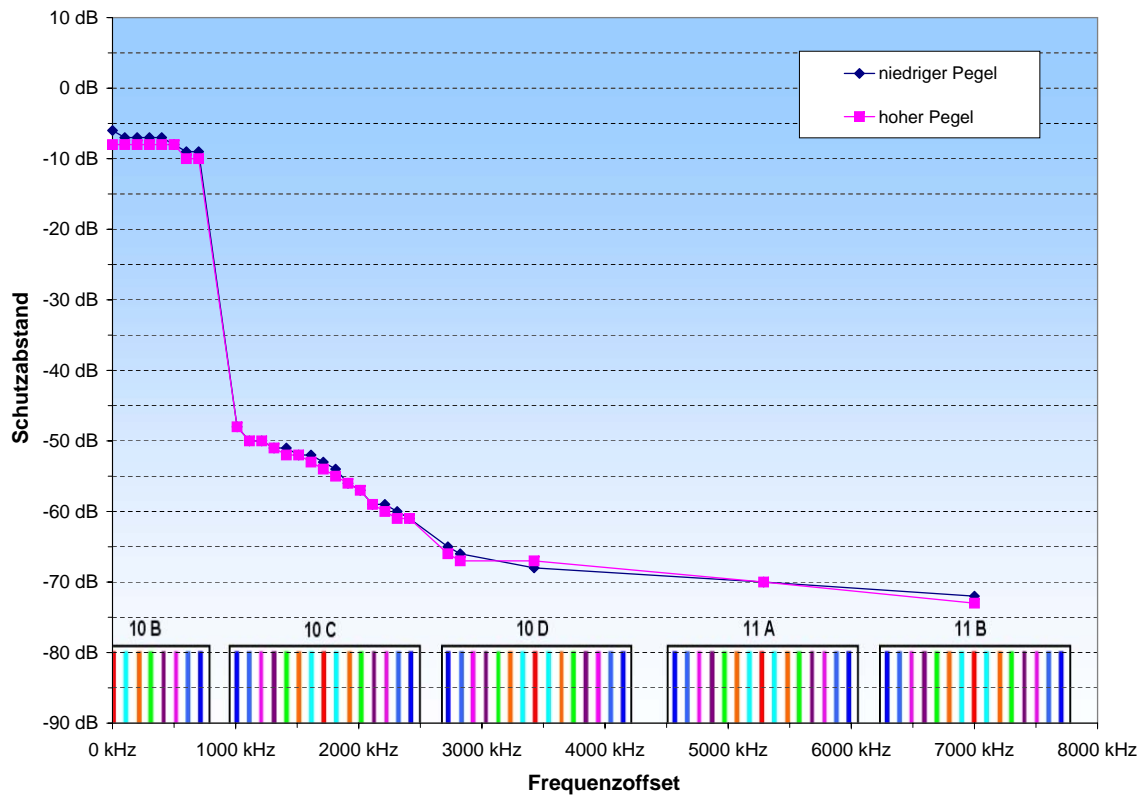


Abb. 7.11.: Schutzabstände - DAB stört DRM<sup>+</sup> (4 QAM); Rx 2; Störkriterium:  $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$

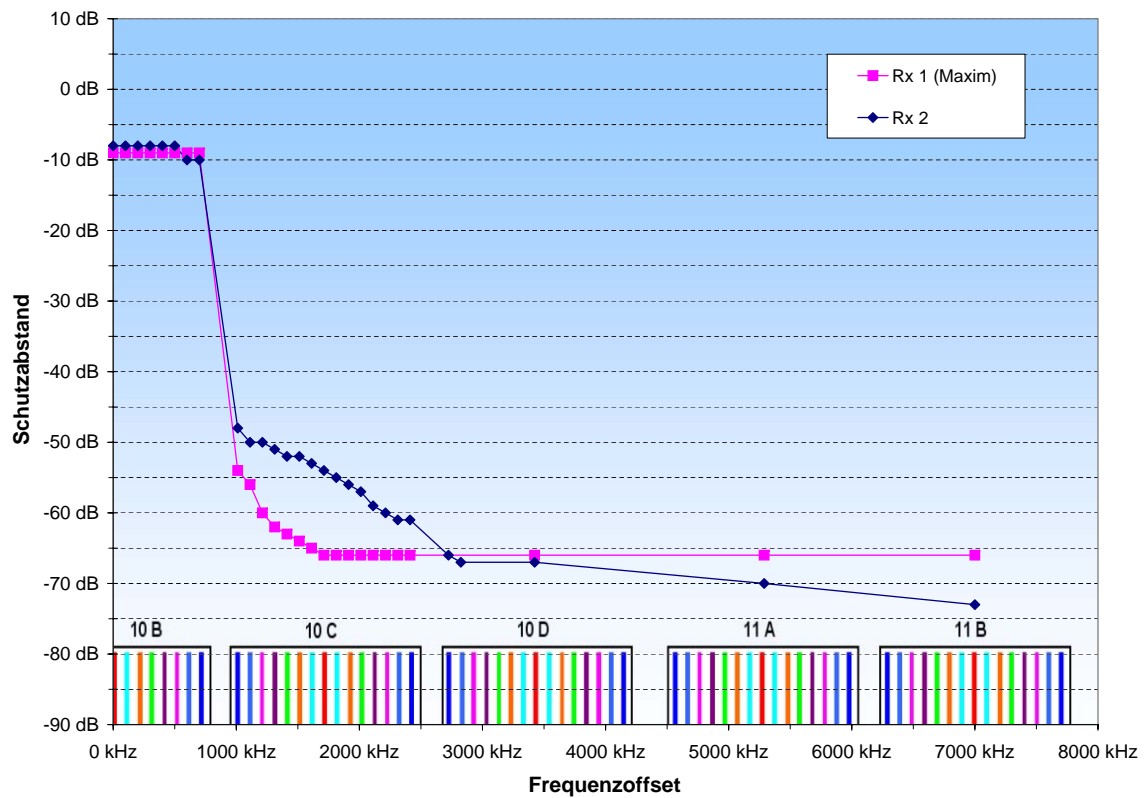


Abb. 7.12.: Schutzabstände - DAB stört DRM<sup>+</sup> (4QAM); hoher Leistungspegel; Störkriterium:  $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$



## 7.3.5. 16 QAM Variante

## 7.3.5.1. Tabellen

## Schutzabstandsmessungen DAB stört DRM+

Empfänger: Rx 1

Empfindlichkeit: -106 dBm am Rx-Eingang

Nutzsignal: 16 QAM CR 1/3 (prbs 49,68 kbit/s / audio 49,68kbit/s)

Frequenz: (variabel)

Sendeleistung: -50 dBm SMU-RMS Einstellung

Nutzleistung: -96 dBm am Rx-Eingang

Störsignal: DAB

Frequenz: 211,644 MHz

Sendeleistung: -64 dBm Sender Ausgang

Volle Leistung: -3 dBm am Rx-Eingang

Kriterium: Bitfehlerrate 10E-4 nach Viterbi

Offset	Störfrequenz	Dämpfung	Störpegel	C/I	DAB-Block
0 kHz	211,644 MHz	88 dB	-91 dBm	-5 dB	10B
100 kHz	211,744 MHz	88 dB	-91 dBm	-5 dB	
200 kHz	211,844 MHz	88 dB	-91 dBm	-5 dB	
300 kHz	211,944 MHz	88 dB	-91 dBm	-5 dB	
400 kHz	212,044 MHz	88 dB	-91 dBm	-5 dB	
500 kHz	212,144 MHz	88 dB	-91 dBm	-5 dB	
600 kHz	212,244 MHz	88 dB	-91 dBm	-5 dB	
700 kHz	212,344 MHz	88 dB	-91 dBm	-5 dB	
1012 kHz	212,656 MHz	43 dB	-46 dBm	-50 dB	10C
1112 kHz	212,756 MHz	42 dB	-45 dBm	-51 dB	
1212 kHz	212,856 MHz	40 dB	-43 dBm	-53 dB	
1312 kHz	212,956 MHz	39 dB	-42 dBm	-54 dB	
1412 kHz	213,056 MHz	37 dB	-40 dBm	-56 dB	
1512 kHz	213,156 MHz	36 dB	-39 dBm	-57 dB	
1612 kHz	213,256 MHz	36 dB	-39 dBm	-57 dB	
1712 kHz	213,356 MHz	35 dB	-38 dBm	-58 dB	
1812 kHz	213,456 MHz	36 dB	-39 dBm	-57 dB	
1912 kHz	213,556 MHz	36 dB	-39 dBm	-57 dB	
2012 kHz	213,656 MHz	36 dB	-39 dBm	-57 dB	
2112 kHz	213,756 MHz	36 dB	-39 dBm	-57 dB	
2212 kHz	213,856 MHz	36 dB	-39 dBm	-57 dB	
2312 kHz	213,956 MHz	36 dB	-39 dBm	-57 dB	
2412 kHz	214,056 MHz	36 dB	-39 dBm	-57 dB	
3424 kHz	215,068 MHz	36 dB	-39 dBm	-57 dB	10D
5288 kHz	216,932 MHz	36 dB	-39 dBm	-57 dB	11A
7000 kHz	218,644 MHz	35 dB	-38 dBm	-58 dB	11B

## Schutzabstandsmessungen DAB stört DRM+

**Empfänger:** Rx 1

Empfindlichkeit: -106 dBm am Rx-Eingang

**Nutzsignal:** 16 QAM CR 1/3 (prbs 49,68 kbit/s / audio 49,68 kbit/s)

Frequenz: (variabel)

Sendeleistung: -50 dBm SMU-RMS Einstellung

Nutzleistung: -76 dBm am Rx-Eingang

**Störsignal:** DAB

Frequenz: 211,644 MHz

Sendeleistung: -64 dBm Sender Ausgang

Volle Leistung: -3 dBm am Rx-Eingang

**Kriterium:** Bitfehlerrate  $10E-4$  nach Viterbi

Offset	Störfrequenz	Dämpfung	Störpegel	C/I	DAB-Block
0 kHz	211,644 MHz	69 dB	-72 dBm	-4 dB	10B
100 kHz	211,744 MHz	69 dB	-72 dBm	-4 dB	
200 kHz	211,844 MHz	69 dB	-72 dBm	-4 dB	
300 kHz	211,944 MHz	69 dB	-72 dBm	-4 dB	
400 kHz	212,044 MHz	69 dB	-72 dBm	-4 dB	
500 kHz	212,144 MHz	69 dB	-72 dBm	-4 dB	
600 kHz	212,244 MHz	68 dB	-71 dBm	-5 dB	
700 kHz	212,344 MHz	68 dB	-71 dBm	-5 dB	
1012 kHz	212,656 MHz	24 dB	-27 dBm	-49 dB	
1112 kHz	212,756 MHz	21 dB	-24 dBm	-52 dB	
1212 kHz	212,856 MHz	18 dB	-21 dBm	-55 dB	
1312 kHz	212,956 MHz	16 dB	-19 dBm	-57 dB	
1412 kHz	213,056 MHz	16 dB	-19 dBm	-57 dB	
1512 kHz	213,156 MHz	13 dB	-16 dBm	-60 dB	
1612 kHz	213,256 MHz	12 dB	-15 dBm	-61 dB	
1712 kHz	213,356 MHz	12 dB	-15 dBm	-61 dB	
1812 kHz	213,456 MHz	12 dB	-15 dBm	-61 dB	
1912 kHz	213,556 MHz	12 dB	-15 dBm	-61 dB	
2012 kHz	213,656 MHz	12 dB	-15 dBm	-61 dB	
2112 kHz	213,756 MHz	12 dB	-15 dBm	-61 dB	
2212 kHz	213,856 MHz	12 dB	-15 dBm	-61 dB	
2312 kHz	213,956 MHz	12 dB	-15 dBm	-61 dB	
2412 kHz	214,056 MHz	12 dB	-15 dBm	-61 dB	
3424 kHz	215,068 MHz	12 dB	-15 dBm	-61 dB	10D
5288 kHz	216,932 MHz	12 dB	-15 dBm	-61 dB	11A
7000 kHz	218,644 MHz	12 dB	-15 dBm	-61 dB	11B

## Schutzabstandsmessungen DAB stört DRM+

Empfänger: **Rx 2**

Empfindlichkeit: -112 dBm am Rx-Eingang

Nutzsignal: **16 QAM CR 1/3** (prbs 49,68 kbit/s / audio 49,68 kbit/s)

Frequenz: (variabel)

Sendeleistung: -50 dBm SMU-RMS Einstellung

Nutzleistung: -102 dBm am Rx-Eingang

Störsignal: **DAB**

Frequenz: 211,644 MHz

Sendeleistung: -64 dBm Sender Ausgang

Volle Leistung: -3 dBm am Rx-Eingang

Kriterium: Bitfehlerrate 10E-4 nach Viterbi

Offset	Störfrequenz	Dämpfung	Störpegel	C/I	DAB Block
0 kHz	211,644 MHz	98 dB	-101 dBm	-1 dB	10B
100 kHz	211,744 MHz	99 dB	-102 dBm	0 dB	
200 kHz	211,844 MHz	97 dB	-100 dBm	-2 dB	
300 kHz	211,944 MHz	97 dB	-100 dBm	-2 dB	
400 kHz	212,044 MHz	96 dB	-99 dBm	-3 dB	
500 kHz	212,144 MHz	96 dB	-99 dBm	-3 dB	
600 kHz	212,244 MHz	95 dB	-98 dBm	-4 dB	
700 kHz	212,344 MHz	95 dB	-98 dBm	-4 dB	
1012 kHz	212,656 MHz	57 dB	-60 dBm	-42 dB	
1112 kHz	212,756 MHz	55 dB	-58 dBm	-44 dB	
1212 kHz	212,856 MHz	54 dB	-57 dBm	-45 dB	
1312 kHz	212,956 MHz	53 dB	-56 dBm	-46 dB	
1412 kHz	213,056 MHz	52 dB	-55 dBm	-47 dB	
1512 kHz	213,156 MHz	52 dB	-55 dBm	-47 dB	
1612 kHz	213,256 MHz	51 dB	-54 dBm	-48 dB	
1712 kHz	213,356 MHz	51 dB	-54 dBm	-48 dB	
1812 kHz	213,456 MHz	49 dB	-52 dBm	-50 dB	
1912 kHz	213,556 MHz	49 dB	-52 dBm	-50 dB	
2012 kHz	213,656 MHz	47 dB	-50 dBm	-52 dB	
2112 kHz	213,756 MHz	45 dB	-48 dBm	-54 dB	
2212 kHz	213,856 MHz	45 dB	-48 dBm	-54 dB	
2312 kHz	213,956 MHz	44 dB	-47 dBm	-55 dB	
2412 kHz	214,056 MHz	44 dB	-47 dBm	-55 dB	
2724 kHz	214,368 MHz	39 dB	-42 dBm	-60 dB	10D
2824 kHz	214,468 MHz	38 dB	-41 dBm	-61 dB	
3424 kHz	215,068 MHz	37 dB	-40 dBm	-62 dB	
5288 kHz	216,932 MHz	34 dB	-37 dBm	-65 dB	11A
7000 kHz	218,644 MHz	31 dB	-34 dBm	-68 dB	11B

## Schutzabstandsmessungen DAB stört DRM+

**Empfänger:** Rx 2

Empfindlichkeit: -112 dBm am Rx-Eingang

**Nutzsignal:** 16 QAM CR 1/3 (prbs 49,68 kbit/s / audio 49,68 kbit/s)

Frequenz: (variabel)

Sendeleistung: -50 dBm SMU-RMS Einstellung

Nutzleistung: -82 dBm am Rx-Eingang

**Störsignal:** DAB

Frequenz: 211,644 MHz

Sendeleistung: -64 dBm Sender Ausgang

Volle Leistung: -3 dBm am Rx-Eingang

**Kriterium:** Bitfehlerrate 10E-4 nach Viterbi

Offset	Störfrequenz	Dämpfung	Störpegel	C/I	DAB-Block
0 kHz	211,644 MHz	77 dB	-80 dBm	-2 dB	10B
100 kHz	211,744 MHz	77 dB	-80 dBm	-2 dB	
200 kHz	211,844 MHz	77 dB	-80 dBm	-2 dB	
300 kHz	211,944 MHz	77 dB	-80 dBm	-2 dB	
400 kHz	212,044 MHz	77 dB	-80 dBm	-2 dB	
500 kHz	212,144 MHz	77 dB	-80 dBm	-2 dB	
600 kHz	212,244 MHz	76 dB	-79 dBm	-3 dB	
700 kHz	212,344 MHz	76 dB	-79 dBm	-3 dB	
1012 kHz	212,656 MHz	36 dB	-39 dBm	-43 dB	10C
1112 kHz	212,756 MHz	34 dB	-37 dBm	-45 dB	
1212 kHz	212,856 MHz	34 dB	-37 dBm	-45 dB	
1312 kHz	212,956 MHz	34 dB	-37 dBm	-45 dB	
1412 kHz	213,056 MHz	33 dB	-36 dBm	-46 dB	
1512 kHz	213,156 MHz	32 dB	-35 dBm	-47 dB	
1612 kHz	213,256 MHz	31 dB	-34 dBm	-48 dB	
1712 kHz	213,356 MHz	31 dB	-34 dBm	-48 dB	
1812 kHz	213,456 MHz	30 dB	-33 dBm	-49 dB	
1912 kHz	213,556 MHz	29 dB	-32 dBm	-50 dB	
2012 kHz	213,656 MHz	27 dB	-30 dBm	-52 dB	
2112 kHz	213,756 MHz	25 dB	-28 dBm	-54 dB	
2212 kHz	213,856 MHz	25 dB	-28 dBm	-54 dB	
2312 kHz	213,956 MHz	23 dB	-26 dBm	-56 dB	
2412 kHz	214,056 MHz	24 dB	-27 dBm	-55 dB	
2724 kHz	214,368 MHz	19 dB	-22 dBm	-60 dB	10D
2824 kHz	214,468 MHz	18 dB	-21 dBm	-61 dB	
3424 kHz	215,068 MHz	15 dB	-18 dBm	-64 dB	
5288 kHz	216,932 MHz	13 dB	-16 dBm	-66 dB	11A
7000 kHz	218,644 MHz	11 dB	-14 dBm	-68 dB	11B

## Schutzabstandsmessungen DAB stört DRM+ (ohne DAB Maskenfilter)

Empfänger: **Rx 2**  
Empfindlichkeit: -112 dBm am Rx-Eingang

Nutzsignal: **16 QAM CR 1/3**  
Frequenz: (variabel)  
Sendeleistung: -50 dBm SMU-RMS Einstellung  
Nutzleistung: -102 dBm am Rx-Eingang

Störsignal: **DAB**  
Frequenz: 211,644 MHz  
Volle Leistung: 0 dBm am Rx-Eingang

Kriterium: Bitfehlerrate  $10E-4$  nach Viterbi

Offset	Störfrequenz	Dämpfung	Störpegel	C/I	DAB-Block
1012 kHz	212,656 MHz	61 dB	-61 dBm	-41 dB	10C
1712 kHz	213,356 MHz	57 dB	-57 dBm	-45 dB	
3424 kHz	215,068 MHz	53 dB	-53 dBm	-49 dB	10D
5288 kHz	216,932 MHz	52 dB	-52 dBm	-50 dB	11A

7.3.5.2. Diagramme

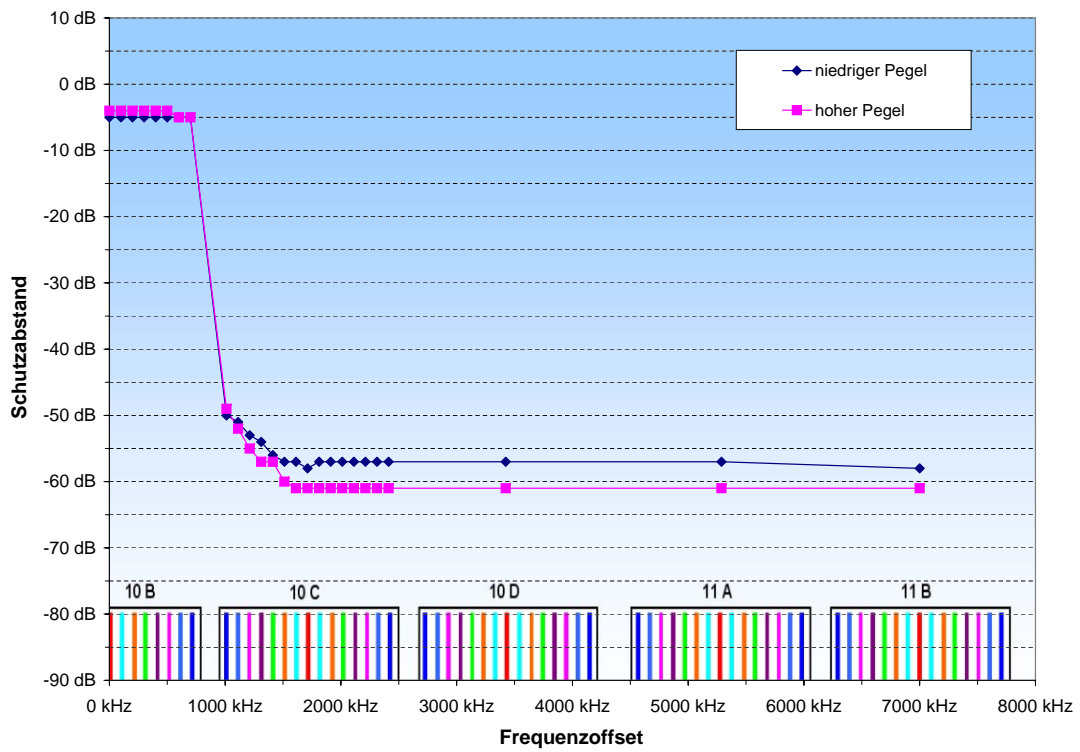


Abb. 7.13.: Schutzabstände - DAB stört DRM<sup>+</sup> (16 QAM); Rx 1; Störkriterium:  $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$

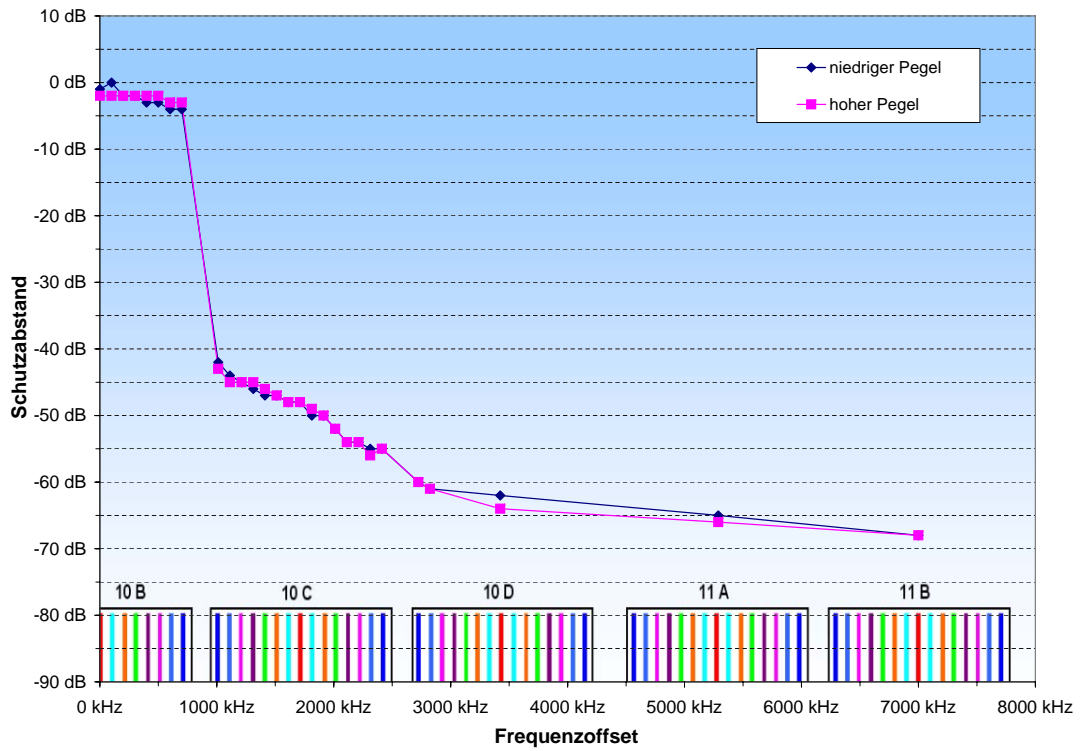


Abb. 7.14.: Schutzabstände - DAB stört DRM<sup>+</sup> (16 QAM); Rx 2; Störkriterium:  $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$

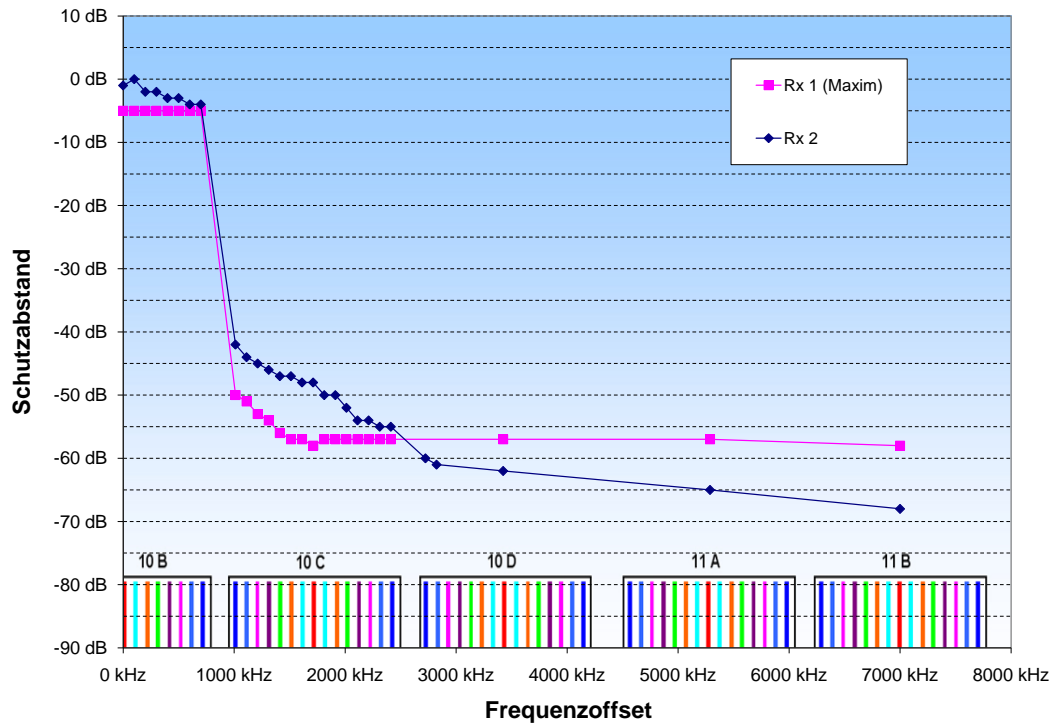


Abb. 7.15.: Schutzabstände - DAB stört DRM<sup>+</sup> (16 QAM); Störkriterium:  $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$

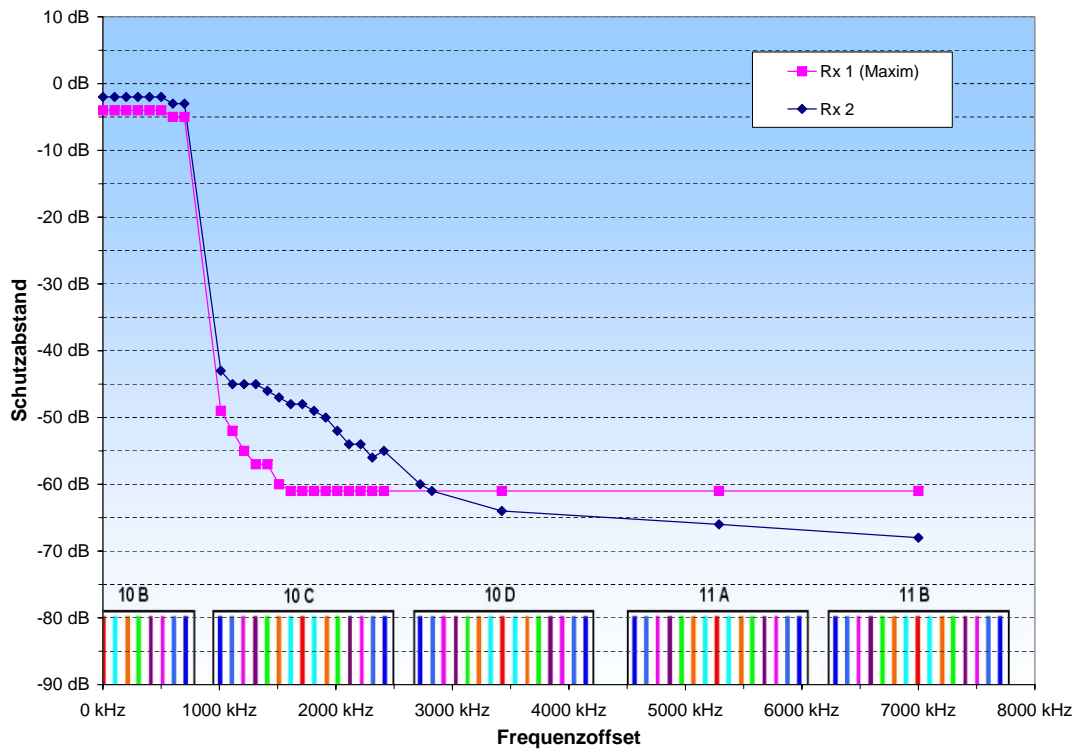


Abb. 7.16.: Schutzabstände - DAB stört DRM<sup>+</sup> (16 QAM); hoher Leistungspegel; Störkriterium:  $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$

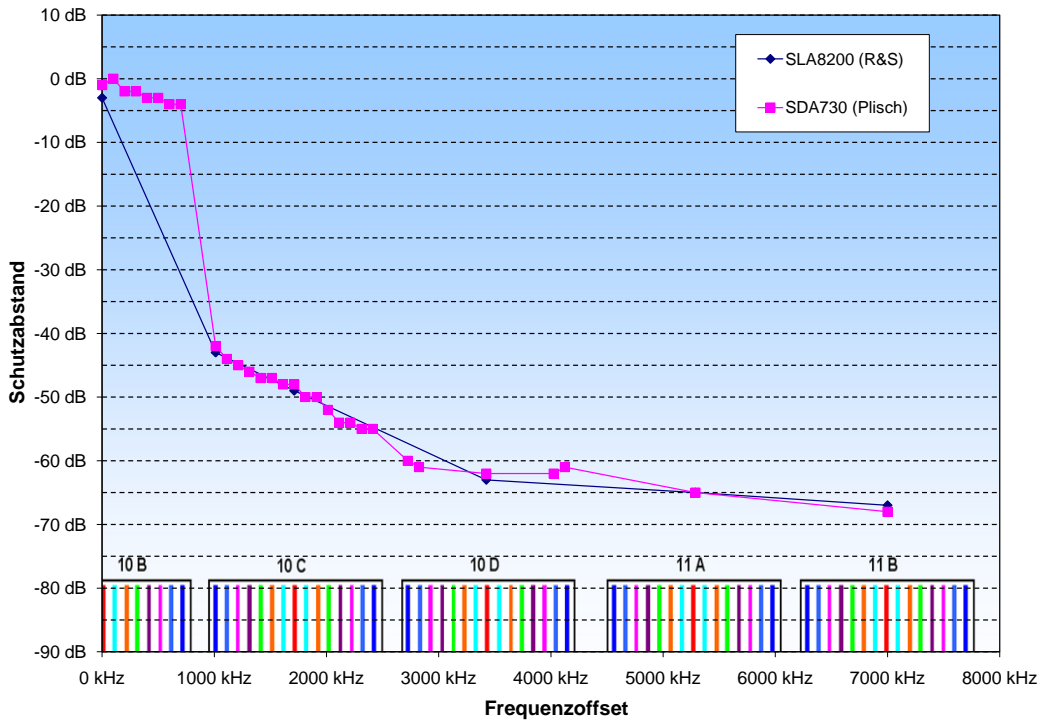


Abb. 7.17.: Schutzabstände - DAB stört DRM<sup>+</sup>(16 QAM); Rx 2; Störkriterium:  $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$

### 7.3.6. 4 QAM vs. 16 QAM Variante

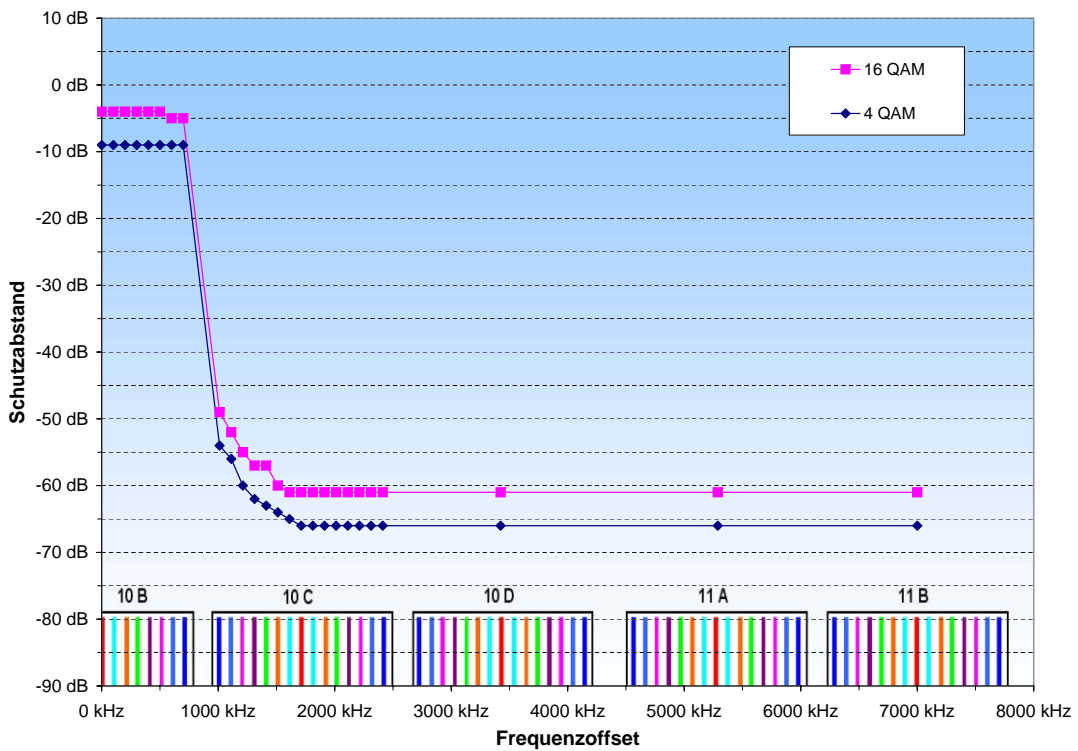


Abb. 7.18.: Schutzabstände - DAB stört DRM<sup>+</sup>(4/16 QAM); hoher Leistungspegel; Rx 1; Störkriterium:  $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$

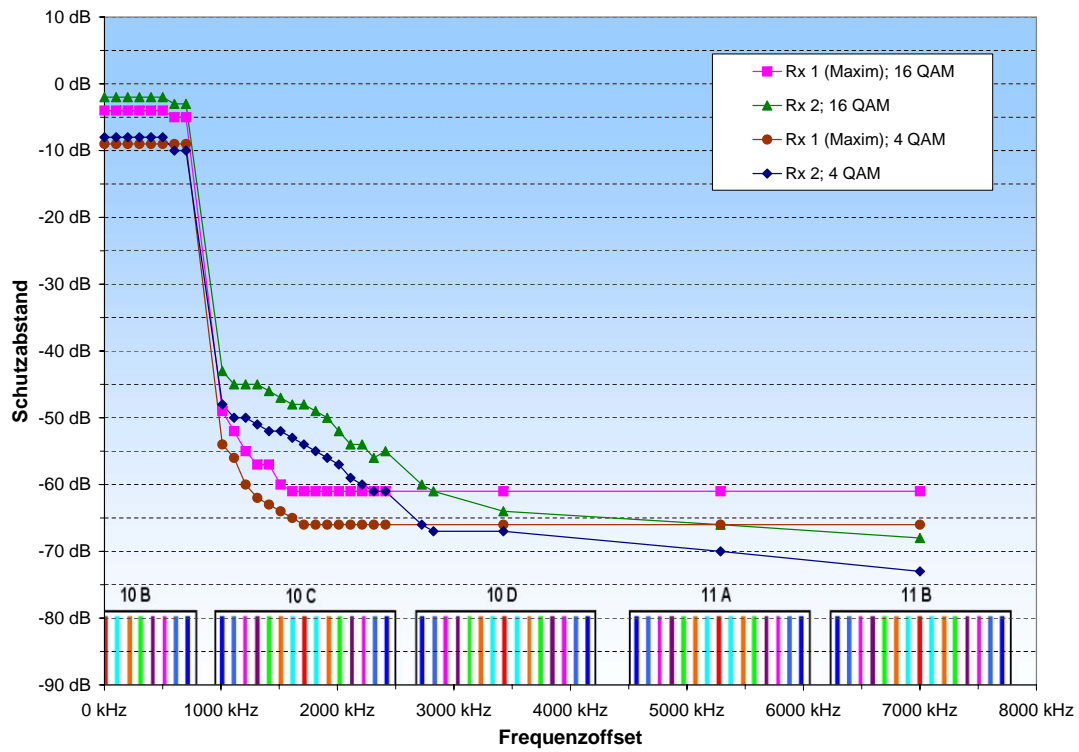


Abb. 7.19.: Schutzabstände - DAB stört DRM<sup>+</sup> (4/16 QAM); hoher Leistungspegel; Störkriterium:  $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$

## 7.4. DRM<sup>+</sup> stört DAB

### 7.4.1. Signalverlauf DRM<sup>+</sup>-Störsignal

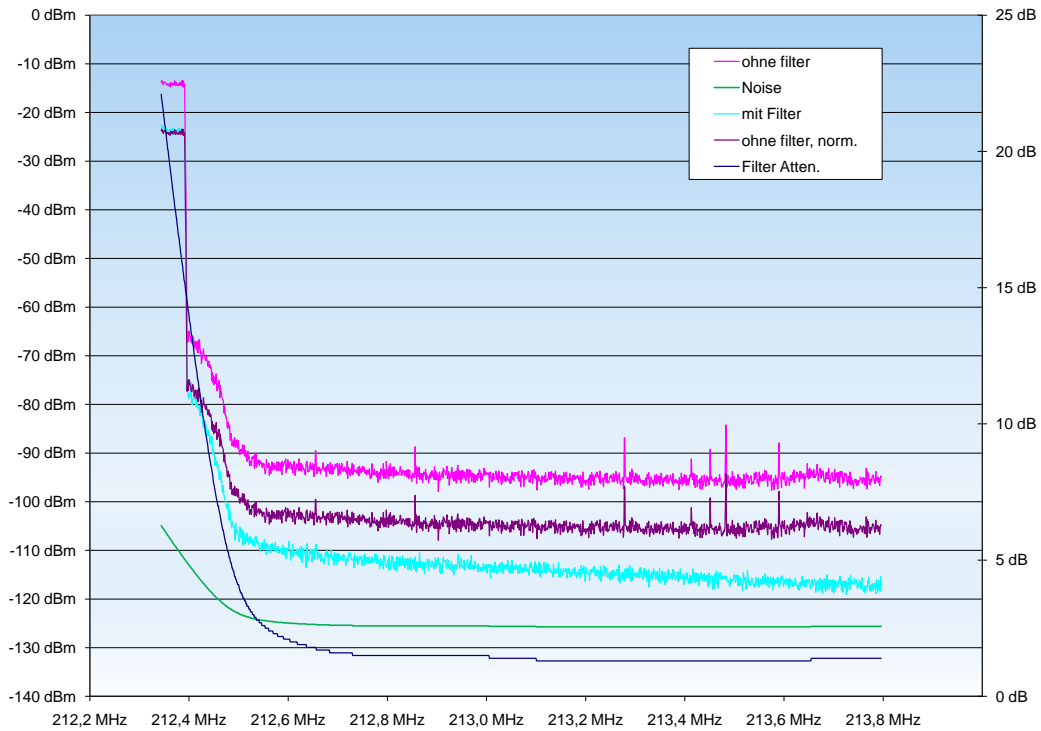


Abb. 7.20.: DRM<sup>+</sup> Signalverlauf

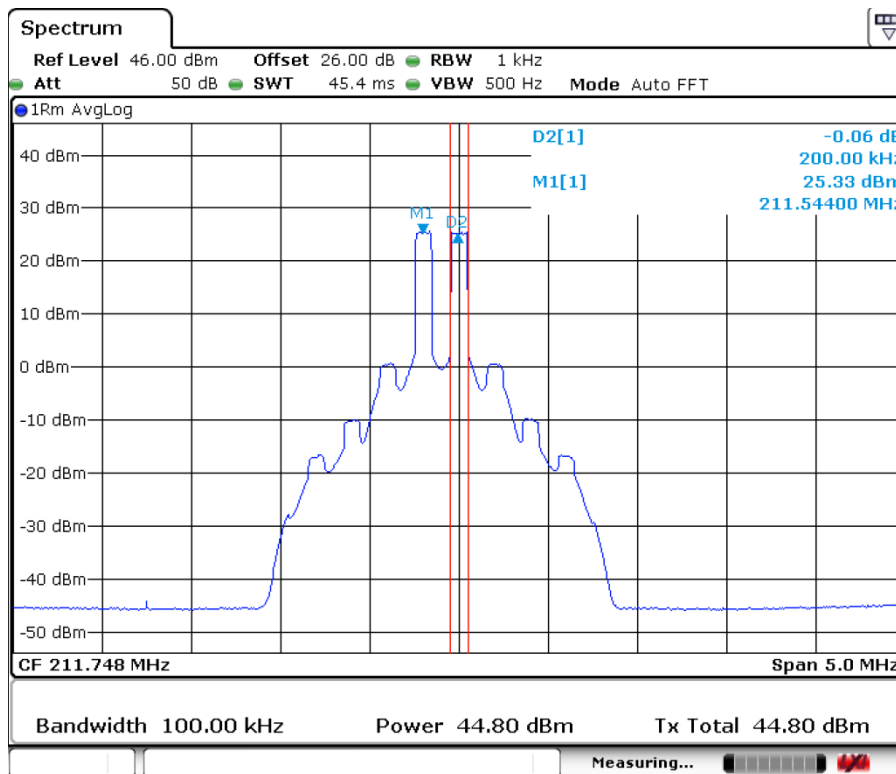


Abb. 7.21.: 2 DRM<sup>+</sup>-Blöcke erzeugt mit dem ARB Generator des SMU200A

## 7.4.2. DAB-Nutzsignal-Multiplex

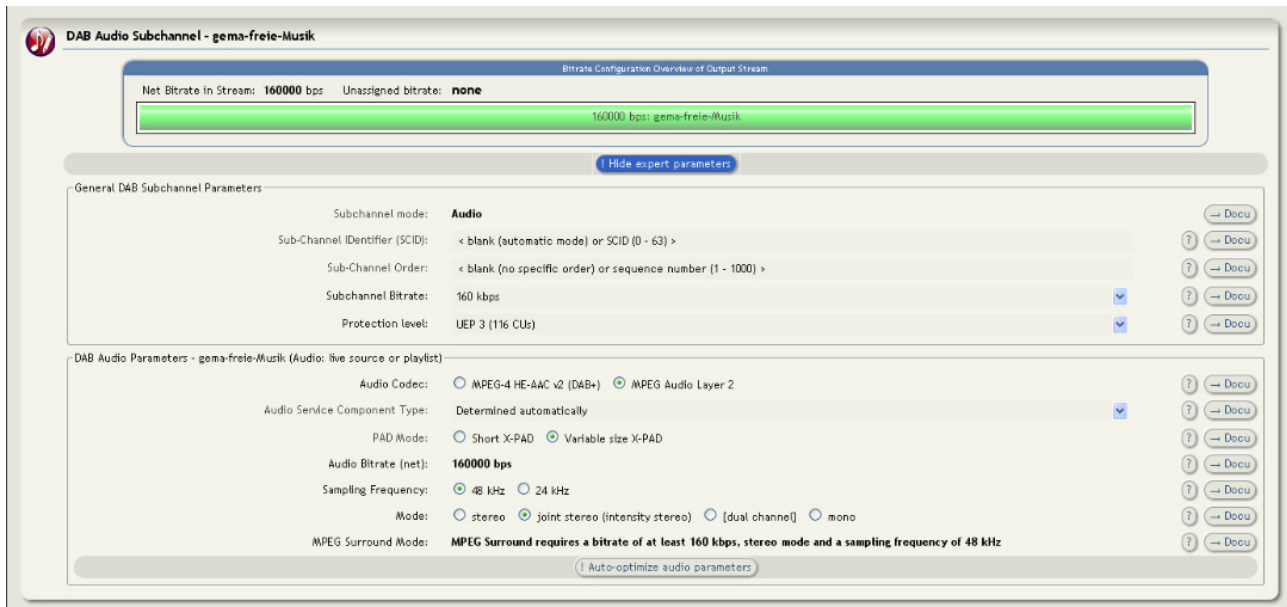


Abb. 7.22.: Screenshot DAB-Multiplex Einstellungen im DAB-Contentserver

## 7.4.3. Gleichkanal

### 7.4.3.1. Tabellen

Störsignal	Störsignal Bandbreite	S/N
1 DRM <sup>+</sup> -Signal	100 kHz	7 dB
2 DRM <sup>+</sup> -Signale 100 kHz Frequenzoffset	200 kHz	9 dB
2 DRM <sup>+</sup> -Signale 200 kHz Frequenzoffset	200 kHz	9 dB
2 DRM <sup>+</sup> -Signale 300 kHz Frequenzoffset	200 kHz	9 dB
2 DRM <sup>+</sup> -Signale 1400 kHz Frequenzoffset	200 kHz	9 dB
200 kHz breites Rauschen	200 kHz	10 dB
3 DRM <sup>+</sup> -Signale 100 kHz Frequenzoffset	300 kHz	10 dB
3 DRM <sup>+</sup> -Signale 200 kHz Frequenzoffset	300 kHz	9 dB
10 DRM <sup>+</sup> -Signale 100 kHz Frequenzoffset	1000 kHz	9 dB
15 DRM <sup>+</sup> -Signale 100 kHz Frequenzoffset	1500 kHz	9 dB

Tab. 7.1.: Schutzabstanduntersuchung Gleichkanal; Störkriterium: Audiostörung

## Schutzabstandsmessungen DRM+ stört DAB - Gleichkanal

Empfänger: **Rx 2**  
 Empfindlichkeit: -101 dBm am Rx-Eingang

Nutzsignal: **DAB**  
 Frequenz: 211,648 MHz  
 Sendeleistung: -30 dBm SMU-RMS Einstellung  
 Nutzleistung: -91 dBm am Rx-Eingang

Störsignal: **DRM+**  
 Frequenz: 211,648 MHz  
 Sendeleistung: -30 dBm Sender Ausgang  
 Volle Leistung: -39 dBm am Rx-Eingang

Kriterium: Audiostörung

DAB Fehlerschutz	UEP3	UEP1	UEP5
B_stör	C/I	C/I	C/I
0,001 kHz	-8 dB	-13 dB	-4 dB
0,1 kHz	-1 dB	-7 dB	2 dB
1 kHz	0 dB	-4 dB	8 dB
3 kHz	2 dB	-5 dB	13 dB
50 kHz	4 dB	-3 dB	16 dB
100 kHz	7 dB	1 dB	16 dB
200 kHz	10 dB	7 dB	16 dB
400 kHz	11 dB	11 dB	15 dB
800 kHz	10 dB	10 dB	13 dB
1000 kHz	11 dB	10 dB	13 dB
1536 kHz	10 dB	9 dB	13 dB

## 7.4.3.2. Diagramme

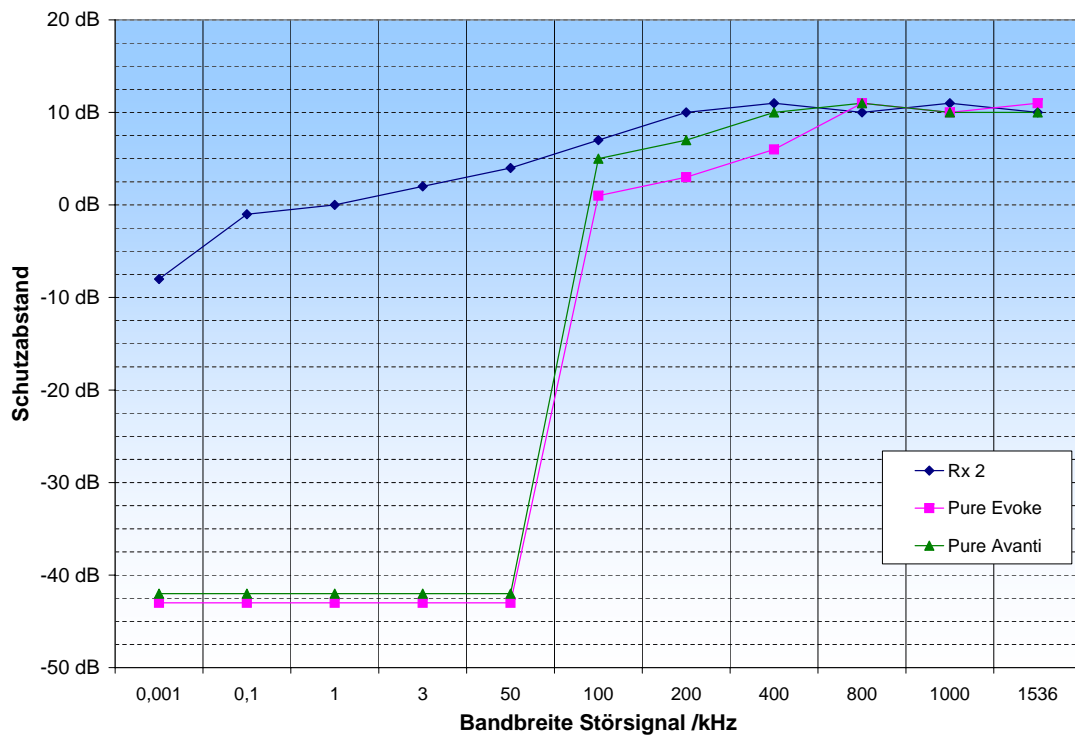


Abb. 7.23.: Schutzabstände - Störsignal var. Bandbreite stört DAB im Gleichkanalfall; Störkriterium: Audiostörung

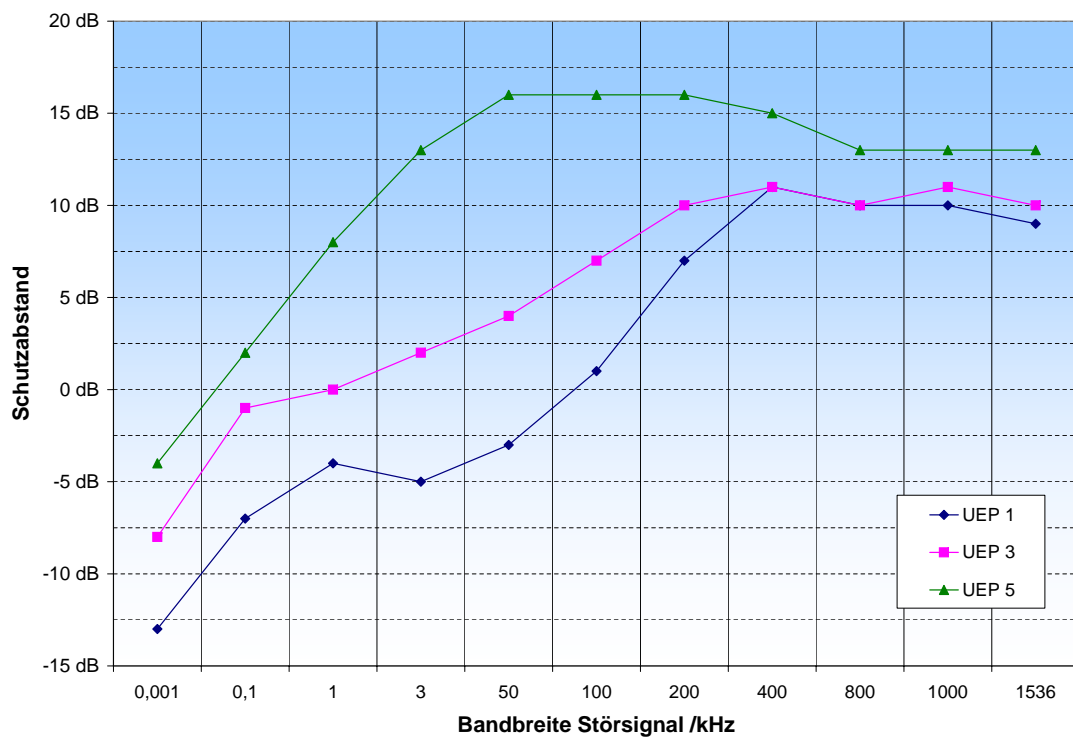


Abb. 7.24.: Schutzabstände - Störsignal var. Bandbreite stört DAB im Gleichkanalfall; Störkriterium: Audiostörung



## 7.4.4. Schutzabstandskurven

## 7.4.4.1. Tabellen

## Schutzabstandsmessungen DRM+ stört DAB

Empfänger: Rx 2  
Empfindlichkeit: -101 dBm am Rx-Eingang

Nutzsignal: DAB  
Frequenz: variabel  
Sendeleistung: -30 dBm SFE Ausgang  
Nutzleistung: -91 dBm am Rx-Eingang

Störsignal: DRM+  
Frequenz: variabel  
Sendeleistung: -35 dBm SMU Ausgang  
Volle Leistung: -4 dBm am Rx-Eingang

Kriterium: Audiostörung

ohne Filter				
DRM+ Frequenz	DAB Block	Offset Freq	I	C/I
210,944 MHz		-700 kHz		10 dB
211,044 MHz		-600 kHz		10 dB
211,144 MHz		-500 kHz		10 dB
211,244 MHz		-400 kHz		10 dB
211,344 MHz		-300 kHz		10 dB
211,444 MHz		-200 kHz		10 dB
211,544 MHz		-100 kHz		10 dB
211,644 MHz		0 kHz		10 dB
211,744 MHz		100 kHz		10 dB
211,844 MHz		200 kHz		10 dB
211,944 MHz		300 kHz		10 dB
212,044 MHz		400 kHz		10 dB
212,144 MHz		500 kHz		10 dB
212,244 MHz		600 kHz		10 dB
212,344 MHz	10B 211,644	700 kHz		10 dB
212,656 MHz		1012 kHz	-63 dBm	-28 dB
212,756 MHz		1112 kHz	-59 dBm	-32 dB
212,856 MHz		1212 kHz	-57 dBm	-34 dB
212,956 MHz		1312 kHz	-55 dBm	-36 dB
213,056 MHz		1412 kHz	-54 dBm	-37 dB
213,156 MHz		1512 kHz	-53 dBm	-38 dB
213,256 MHz		1612 kHz	-52 dBm	-39 dB
213,356 MHz		1712 kHz	-51 dBm	-40 dB
213,456 MHz		1812 kHz	-50 dBm	-41 dB
213,556 MHz		1912 kHz	-49 dBm	-42 dB
213,656 MHz		2012 kHz	-48 dBm	-43 dB
213,756 MHz		2112 kHz	-48 dBm	-43 dB
213,856 MHz		2212 kHz	-47 dBm	-44 dB
213,956 MHz		2312 kHz	-47 dBm	-44 dB
214,056 MHz	10C 213,36	2412 kHz	-46 dBm	-45 dB
214,368 MHz		2724 kHz	-43 dBm	-48 dB
214,468 MHz		2824 kHz	-42 dBm	-49 dB
215,068 MHz		4024 kHz	-45 dBm	-46 dB
215,668 MHz	10D 215,072	4624 kHz	-43 dBm	-48 dB
216,332 MHz		4688 kHz	-46 dBm	-45 dB
216,932 MHz		5288 kHz	-40 dBm	-51 dB
217,532 MHz	11A 216,928	5888 kHz	-39 dBm	-52 dB
218,044 MHz		6400 kHz	-38 dBm	-53 dB
218,644 MHz		7000 kHz	-38 dBm	-53 dB
219,244 MHz	11B 218,64	7600 kHz	-37 dBm	-54 dB

mit Filter (Spinner)				
DRM+ Frequenz	DAB Block	Offset Freq	I	C/I
210,944 MHz		-700 kHz		10 dB
211,044 MHz		-600 kHz		10 dB
211,144 MHz		-500 kHz		10 dB
211,244 MHz		-400 kHz		10 dB
211,344 MHz		-300 kHz		10 dB
211,444 MHz		-200 kHz		10 dB
211,544 MHz		-100 kHz		10 dB
211,644 MHz		0 kHz		10 dB
211,744 MHz		100 kHz		10 dB
211,844 MHz		200 kHz		10 dB
211,944 MHz		300 kHz		10 dB
212,044 MHz		400 kHz		10 dB
212,144 MHz		500 kHz		10 dB
212,244 MHz		600 kHz		10 dB
212,344 MHz	10B 211,644	700 kHz		10 dB
212,656 MHz		1012 kHz	-62 dBm	-29 dB
212,756 MHz		1112 kHz	-59 dBm	-32 dB
212,856 MHz		1212 kHz	-57 dBm	-34 dB
212,956 MHz		1312 kHz	-55 dBm	-36 dB
213,056 MHz		1412 kHz	-53 dBm	-38 dB
213,156 MHz		1512 kHz	-52 dBm	-39 dB
213,256 MHz		1612 kHz	-51 dBm	-40 dB
213,356 MHz		1712 kHz	-51 dBm	-40 dB
213,456 MHz		1812 kHz	-50 dBm	-41 dB
213,556 MHz		1912 kHz	-49 dBm	-42 dB
213,656 MHz		2012 kHz	-48 dBm	-43 dB
213,756 MHz		2112 kHz	-48 dBm	-43 dB
213,856 MHz		2212 kHz	-47 dBm	-44 dB
213,956 MHz		2312 kHz	-46 dBm	-45 dB
214,056 MHz	10C 213,36	2412 kHz	-45 dBm	-46 dB
214,468 MHz		2824 kHz	-42 dBm	-49 dB
215,068 MHz		3424 kHz	-44 dBm	-47 dB
215,668 MHz	10D 215,072	4024 kHz	-44 dBm	-47 dB
216,332 MHz		4688 kHz	-46 dBm	-45 dB
216,932 MHz		5288 kHz	-39 dBm	-52 dB
217,532 MHz	11A 216,928	5888 kHz	-38 dBm	-53 dB
218,044 MHz		6400 kHz	-36 dBm	-55 dB
218,644 MHz		7000 kHz	-37 dBm	-54 dB
219,244 MHz	11B 218,64	7600 kHz	-36 dBm	-55 dB

## 7. Schutzabstandsmessung

### Schutzabstandsmessungen DRM+ stört DAB

**Empfänger:** Pure Evoke 2S  
**Empfindlichkeit:** -101 dBm am Rx-Eingang

**Nutzsignal:** DAB  
**Frequenz:** variabel  
**Sendeleistung:** -30 dBm SFE Ausgang  
**Nutzleistung:** -89 dBm am Rx-Eingang

**Störsignal:** DRM+  
**Frequenz:** variabel  
**Sendeleistung:** -35 dBm SMU Ausgang  
**Volle Leistung:** -10 dBm am Rx-Eingang

**Kriterium:** Audiostörung

ohne Filter				
DRM+ Frequenz	DAB Block	Offset Freq	I	C/I
210,944 MHz		-700 kHz		10 dB
211,044 MHz		-600 kHz		10 dB
211,144 MHz		-500 kHz		10 dB
211,244 MHz		-400 kHz		10 dB
211,344 MHz		-300 kHz		10 dB
211,444 MHz		-200 kHz		10 dB
211,544 MHz		-100 kHz		10 dB
211,644 MHz		0 kHz		10 dB
211,744 MHz		100 kHz		10 dB
211,844 MHz		200 kHz		10 dB
211,944 MHz		300 kHz		10 dB
212,044 MHz		400 kHz		10 dB
212,144 MHz		500 kHz		10 dB
212,244 MHz		600 kHz		10 dB
212,344 MHz	10B 211,644	700 kHz		10 dB
212,656 MHz		1012 kHz	-46 dBm	-43 dB
212,756 MHz		1112 kHz	-44 dBm	-45 dB
212,856 MHz		1212 kHz	-43 dBm	-46 dB
212,956 MHz		1312 kHz	-45 dBm	-44 dB
213,056 MHz		1412 kHz	-45 dBm	-44 dB
213,156 MHz		1512 kHz	-44 dBm	-45 dB
213,256 MHz		1612 kHz	-43 dBm	-46 dB
213,356 MHz		1712 kHz	-42 dBm	-47 dB
213,456 MHz		1812 kHz	-44 dBm	-45 dB
213,556 MHz		1912 kHz	-42 dBm	-47 dB
213,656 MHz		2012 kHz	-42 dBm	-47 dB
213,756 MHz		2112 kHz	-42 dBm	-47 dB
213,856 MHz		2212 kHz	-42 dBm	-47 dB
213,956 MHz		2312 kHz	-42 dBm	-47 dB
214,056 MHz	10C 213,36	2412 kHz	-41 dBm	-48 dB
214,468 MHz		2824 kHz	-36 dBm	-53 dB
215,068 MHz		3424 kHz	-37 dBm	-52 dB
215,668 MHz	10D 215,072	4024 kHz	-37 dBm	-52 dB
216,332 MHz		4688 kHz	-37 dBm	-52 dB
216,932 MHz		5288 kHz	-35 dBm	-54 dB
217,532 MHz	11A 216,928	5888 kHz	-35 dBm	-54 dB
218,044 MHz		6400 kHz	-35 dBm	-54 dB
218,644 MHz		7000 kHz	-35 dBm	-54 dB
219,244 MHz	11B 218,64	7600 kHz	-35 dBm	-54 dB

mit Filter (Spinner)				
DRM+ Frequenz	DAB Block	Offset Freq	I	C/I
210,944 MHz		-700 kHz		10 dB
211,044 MHz		-600 kHz		10 dB
211,144 MHz		-500 kHz		10 dB
211,244 MHz		-400 kHz		10 dB
211,344 MHz		-300 kHz		10 dB
211,444 MHz		-200 kHz		10 dB
211,544 MHz		-100 kHz		10 dB
211,644 MHz		0 kHz		10 dB
211,744 MHz		100 kHz		10 dB
211,844 MHz		200 kHz		10 dB
211,944 MHz		300 kHz		10 dB
212,044 MHz		400 kHz		10 dB
212,144 MHz		500 kHz		10 dB
212,244 MHz		600 kHz		10 dB
212,344 MHz	10B 211,644	700 kHz		10 dB
212,656 MHz		1012 kHz	-46 dBm	-43 dB
212,756 MHz		1112 kHz	-45 dBm	-44 dB
212,856 MHz		1212 kHz	-43 dBm	-46 dB
212,956 MHz		1312 kHz	-46 dBm	-43 dB
213,056 MHz		1412 kHz	-45 dBm	-44 dB
213,156 MHz		1512 kHz	-46 dBm	-43 dB
213,256 MHz		1612 kHz	-46 dBm	-43 dB
213,356 MHz		1712 kHz	-45 dBm	-44 dB
213,456 MHz		1812 kHz	-46 dBm	-43 dB
213,556 MHz		1912 kHz	-46 dBm	-43 dB
213,656 MHz		2012 kHz	-45 dBm	-44 dB
213,756 MHz		2112 kHz	-44 dBm	-45 dB
213,856 MHz		2212 kHz	-43 dBm	-46 dB
213,956 MHz		2312 kHz	-44 dBm	-45 dB
214,056 MHz	10C 213,36	2412 kHz	-41 dBm	-48 dB
214,468 MHz		2824 kHz	-37 dBm	-52 dB
215,068 MHz		3424 kHz	-37 dBm	-52 dB
215,668 MHz	10D 215,072	4024 kHz	-37 dBm	-52 dB
216,332 MHz		4688 kHz	-36 dBm	-53 dB
216,932 MHz		5288 kHz	-35 dBm	-54 dB
217,532 MHz	11A 216,928	5888 kHz	-35 dBm	-54 dB
218,044 MHz		6400 kHz	-35 dBm	-54 dB
218,644 MHz		7000 kHz	-35 dBm	-54 dB
219,244 MHz	11B 218,64	7600 kHz	-35 dBm	-54 dB

## Schutzabstandsmessungen DRM+ stört DAB

**Empfänger:** Pure Avanti  
**Empfindlichkeit:** -98 dBm am Rx-Eingang

**Nutzsignal:** DAB  
**Frequenz:** variabel  
**Sendeleistung:** -30 dBm SFE Ausgang  
**Nutzleistung:** -88 dBm am Rx-Eingang

**Störsignal:** DRM+  
**Frequenz:** variabel  
**Sendeleistung:** -35 dBm SMU Ausgang  
**Volle Leistung:** -10 dBm am Rx-Eingang

**Kriterium:** Audiostörung

ohne Filter				
DRM+ Frequenz	DAB Block	Offset Freq	I	C/I
210,944 MHz		-700 kHz		10 dB
211,044 MHz		-600 kHz		10 dB
211,144 MHz		-500 kHz		10 dB
211,244 MHz		-400 kHz		10 dB
211,344 MHz		-300 kHz		10 dB
211,444 MHz		-200 kHz		10 dB
211,544 MHz		-100 kHz		10 dB
211,644 MHz		0 kHz		10 dB
211,744 MHz		100 kHz		10 dB
211,844 MHz		200 kHz		10 dB
211,944 MHz		300 kHz		10 dB
212,044 MHz		400 kHz		10 dB
212,144 MHz		500 kHz		10 dB
212,244 MHz		600 kHz		10 dB
212,344 MHz	10B 211,644	700 kHz		10 dB
212,656 MHz		1012 kHz	-45 dBm	-43 dB
212,756 MHz		1112 kHz	-43 dBm	-45 dB
212,856 MHz		1212 kHz	-43 dBm	-45 dB
212,956 MHz		1312 kHz	-44 dBm	-44 dB
213,056 MHz		1412 kHz	-43 dBm	-45 dB
213,156 MHz		1512 kHz	-44 dBm	-44 dB
213,256 MHz		1612 kHz	-44 dBm	-44 dB
213,356 MHz		1712 kHz	-43 dBm	-45 dB
213,456 MHz		1812 kHz	-44 dBm	-44 dB
213,556 MHz		1912 kHz	-45 dBm	-43 dB
213,656 MHz		2012 kHz	-44 dBm	-44 dB
213,756 MHz		2112 kHz	-43 dBm	-45 dB
213,856 MHz		2212 kHz	-44 dBm	-44 dB
213,956 MHz		2312 kHz	-45 dBm	-43 dB
214,056 MHz	10C 213,36	2412 kHz	-42 dBm	-46 dB
214,468 MHz		2824 kHz	-40 dBm	-48 dB
215,068 MHz		3424 kHz	-41 dBm	-47 dB
215,668 MHz	10D 215,072	4024 kHz	-40 dBm	-48 dB
216,332 MHz		4688 kHz	-39 dBm	-49 dB
216,932 MHz		5288 kHz	-38 dBm	-50 dB
217,532 MHz	11A 216,928	5888 kHz	-38 dBm	-50 dB
218,044 MHz		6400 kHz	-36 dBm	-52 dB
218,644 MHz		7000 kHz	-36 dBm	-52 dB
219,244 MHz	11B 218,64	7600 kHz	-37 dBm	-51 dB

mit Filter (Spinner)				
DRM+ Frequenz	DAB Block	Offset Freq	I	C/I
210,944 MHz		-700 kHz		10 dB
211,044 MHz		-600 kHz		10 dB
211,144 MHz		-500 kHz		10 dB
211,244 MHz		-400 kHz		10 dB
211,344 MHz		-300 kHz		10 dB
211,444 MHz		-200 kHz		10 dB
211,544 MHz		-100 kHz		10 dB
211,644 MHz		0 kHz		10 dB
211,744 MHz		100 kHz		10 dB
211,844 MHz		200 kHz		10 dB
211,944 MHz		300 kHz		10 dB
212,044 MHz		400 kHz		10 dB
212,144 MHz		500 kHz		10 dB
212,244 MHz		600 kHz		10 dB
212,344 MHz	10B 211,644	700 kHz		10 dB
212,656 MHz		1012 kHz	-45 dBm	-43 dB
212,756 MHz		1112 kHz	-43 dBm	-45 dB
212,856 MHz		1212 kHz	-42 dBm	-46 dB
212,956 MHz		1312 kHz	-42 dBm	-46 dB
213,056 MHz		1412 kHz	-43 dBm	-45 dB
213,156 MHz		1512 kHz	-43 dBm	-45 dB
213,256 MHz		1612 kHz	-43 dBm	-45 dB
213,356 MHz		1712 kHz	-42 dBm	-46 dB
213,456 MHz		1812 kHz	-43 dBm	-45 dB
213,556 MHz		1912 kHz	-43 dBm	-45 dB
213,656 MHz		2012 kHz	-43 dBm	-45 dB
213,756 MHz		2112 kHz	-43 dBm	-45 dB
213,856 MHz		2212 kHz	-43 dBm	-45 dB
213,956 MHz		2312 kHz	-43 dBm	-45 dB
214,056 MHz	10C 213,36	2412 kHz	-42 dBm	-46 dB
214,468 MHz		2824 kHz	-40 dBm	-48 dB
215,068 MHz		3424 kHz	-40 dBm	-48 dB
215,668 MHz	10D 215,072	4024 kHz	-40 dBm	-48 dB
216,332 MHz		4688 kHz	-38 dBm	-50 dB
216,932 MHz		5288 kHz	-37 dBm	-51 dB
217,532 MHz	11A 216,928	5888 kHz	-37 dBm	-51 dB
218,044 MHz		6400 kHz	-36 dBm	-52 dB
218,644 MHz		7000 kHz	-36 dBm	-52 dB
219,244 MHz	11B 218,64	7600 kHz	-36 dBm	-52 dB

7.4.4.2. Diagramme

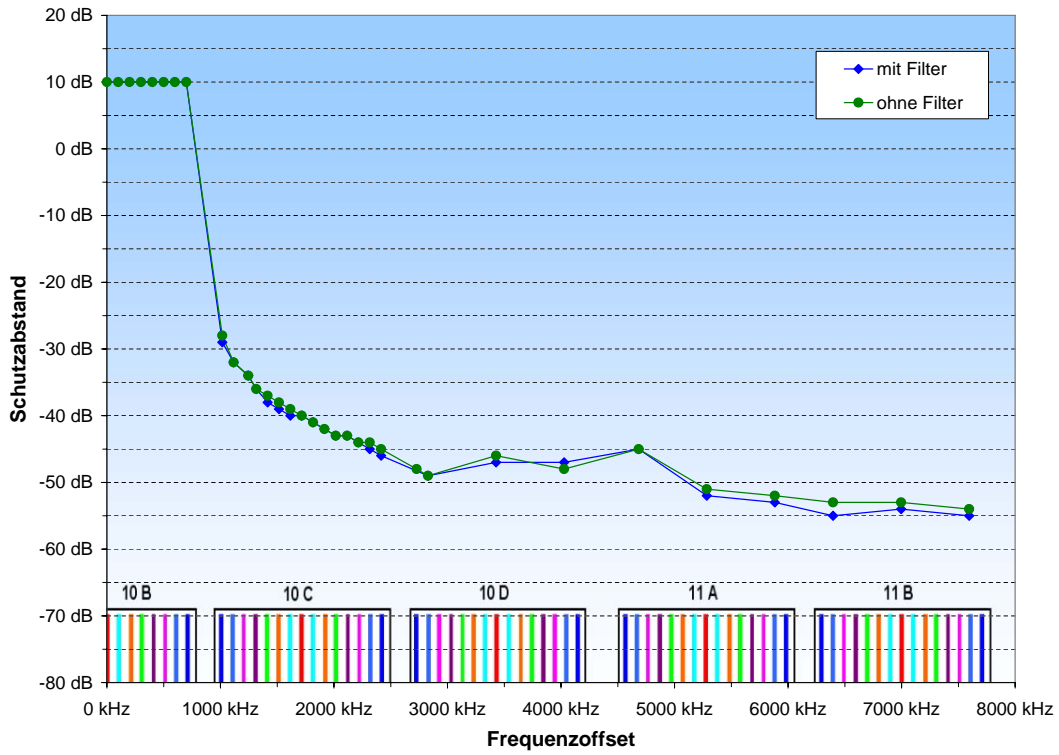


Abb. 7.25.: Schutzabstände - DRM<sup>+</sup> stört DAB; Empfänger: Rx 2; Störkriterium: Audiostörung

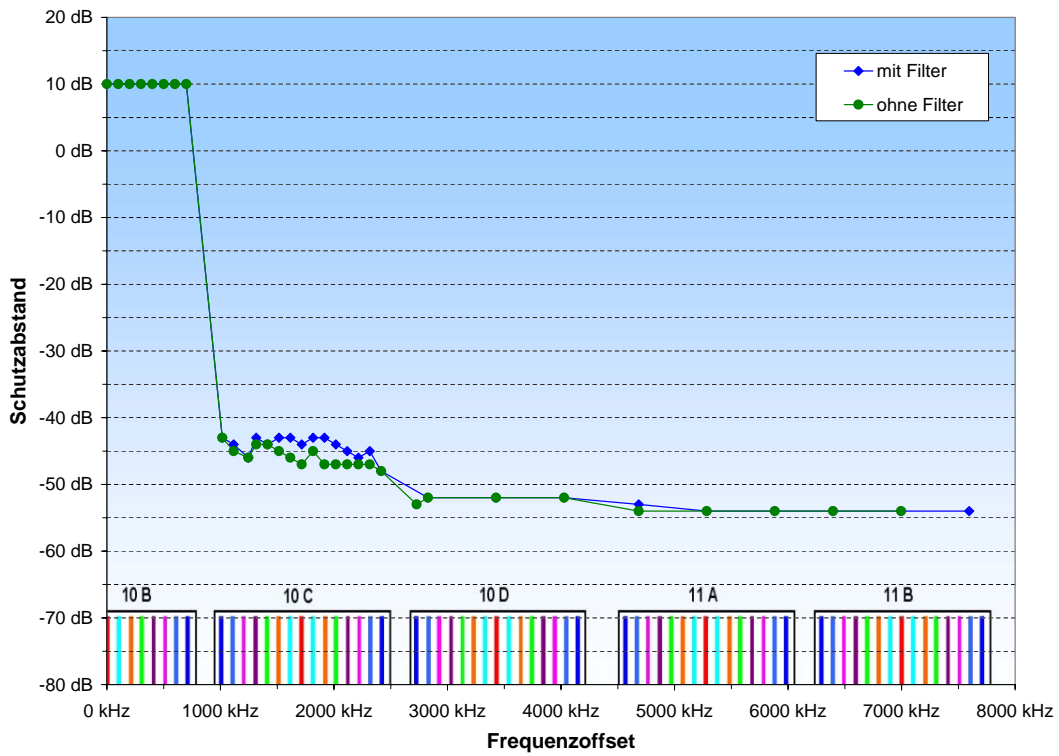


Abb. 7.26.: Schutzabstände - DRM<sup>+</sup> stört DAB; Empfänger: Pure Evoke 2S; Störkriterium: Audiostörung

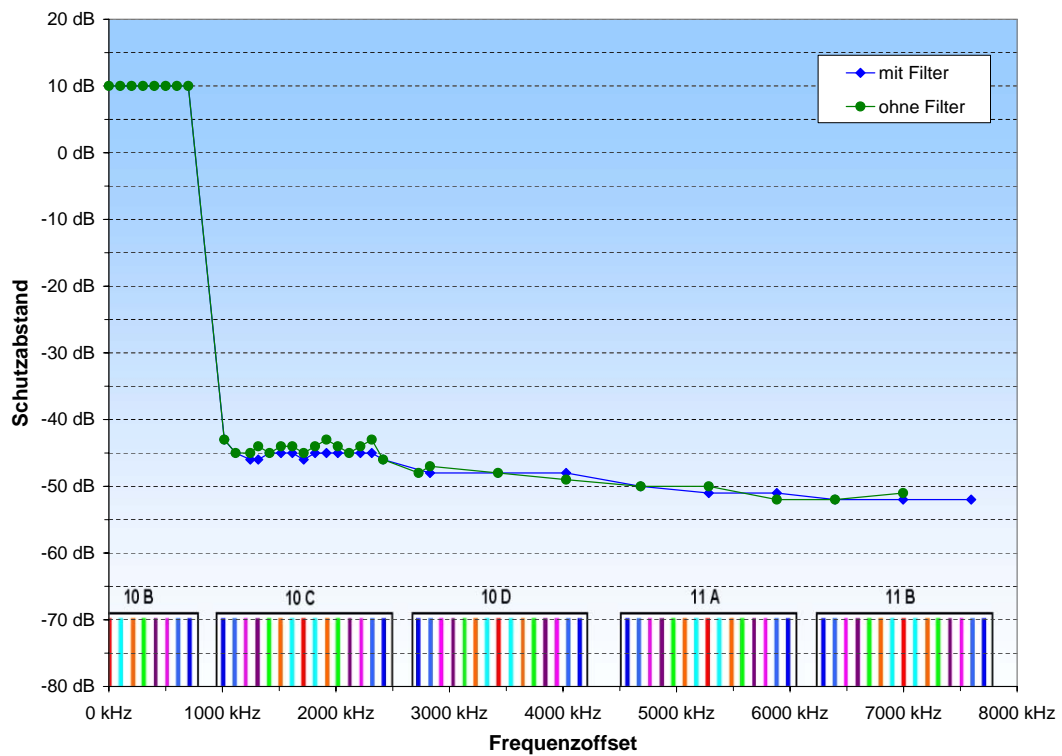


Abb. 7.27.: Schutzabstände - DRM<sup>+</sup> stört DAB; Empfänger: Pure Avanti; Störkriterium: Audiostörung

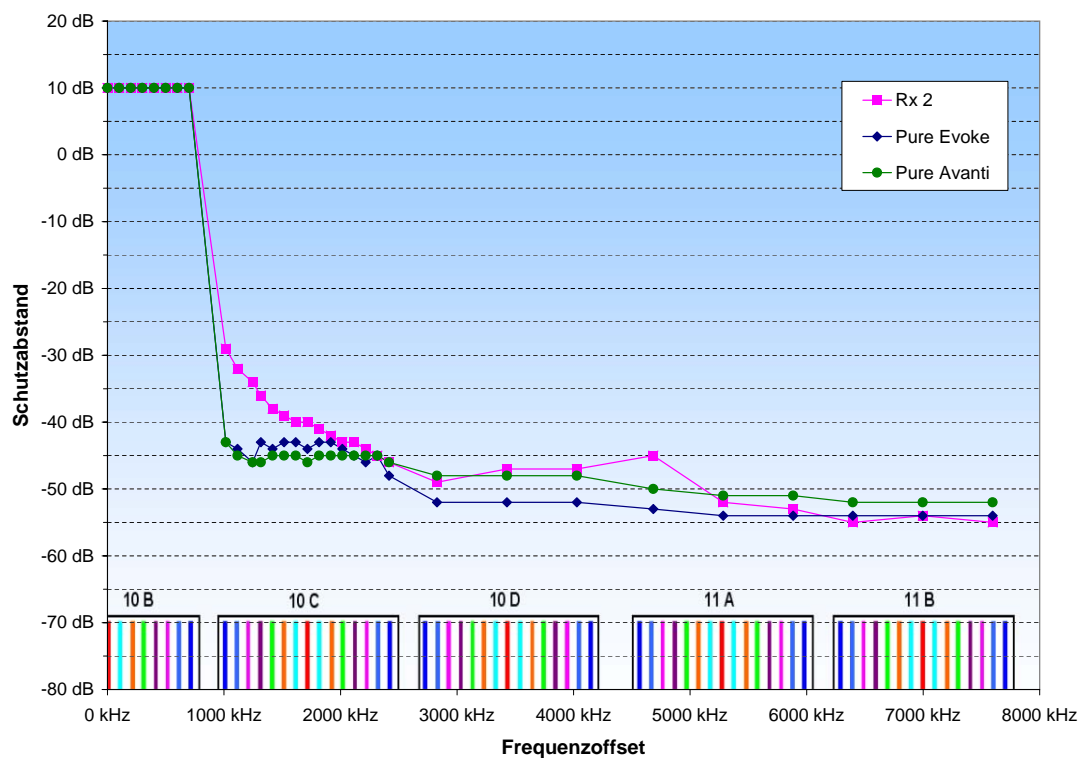


Abb. 7.28.: Schutzabstände - DRM<sup>+</sup> stört DAB; mit DAB-Maskenfilter; Störkriterium: Audiostörung

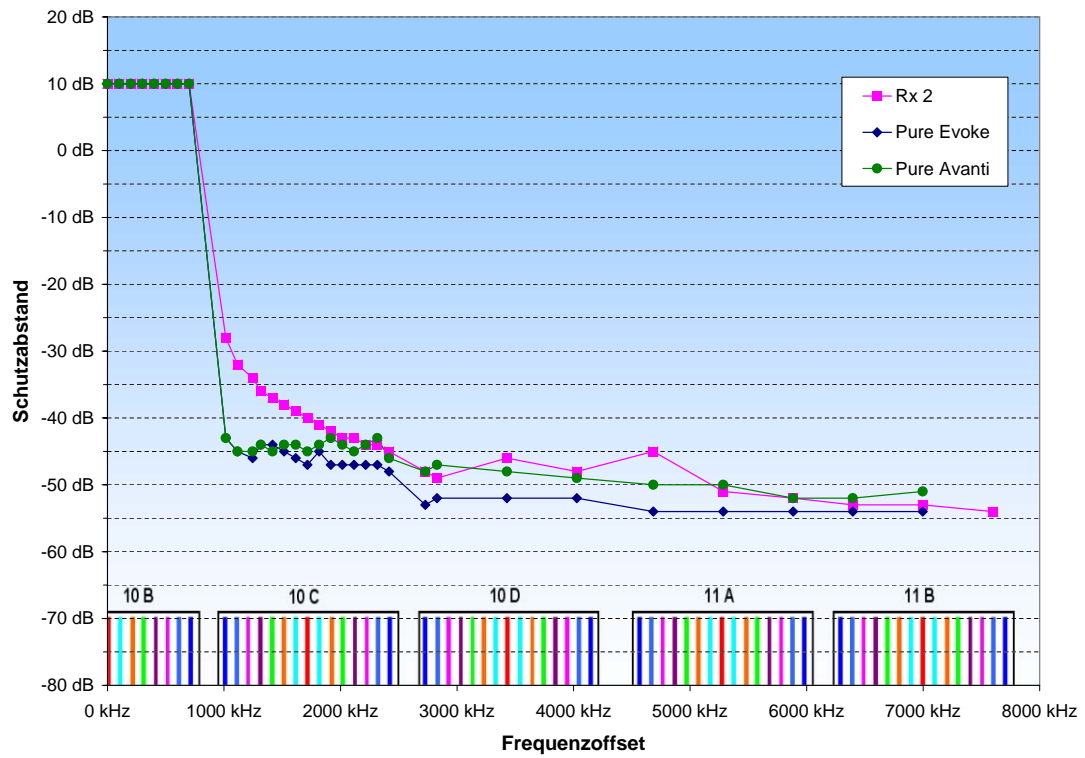


Abb. 7.29.: Schutzabstände - DRM<sup>+</sup> stört DAB; ohne DAB-Maskenfilter; Störkriterium: Audiostörung

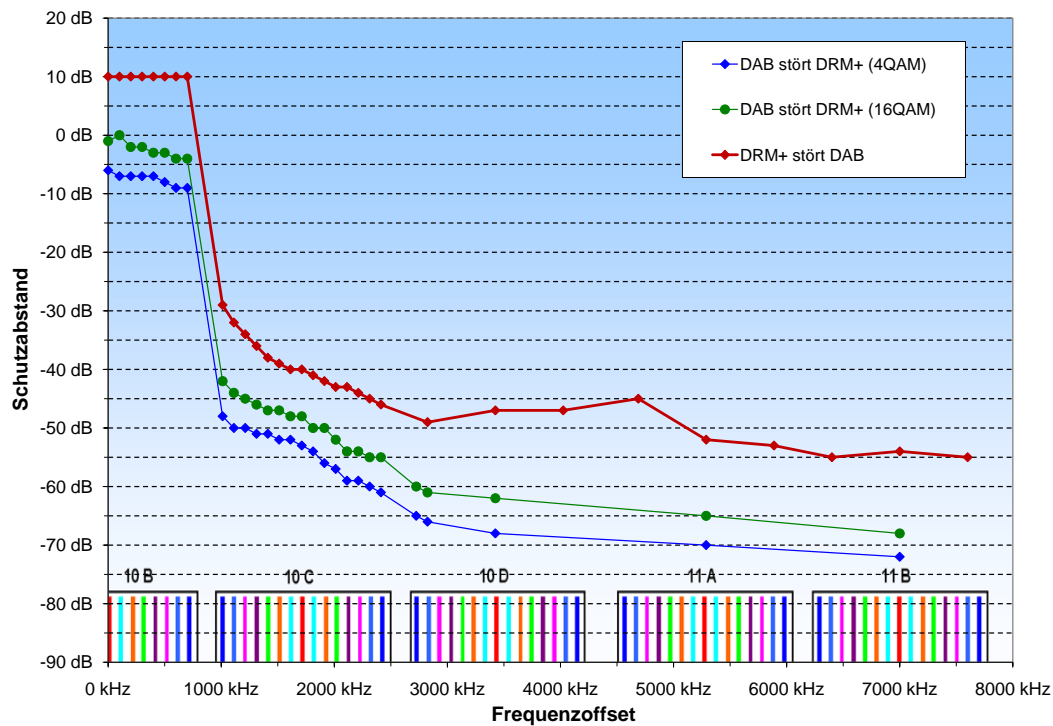
7.5. Vergleich DRM<sup>+</sup> stört DAB mit DAB stört DRM<sup>+</sup>

Abb. 7.30.: Schutzabstände - DRM<sup>+</sup> stört DAB vs. DAB stört DRM<sup>+</sup>; Rx 2; Störkriterium: Audiostörung bzw.  $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$

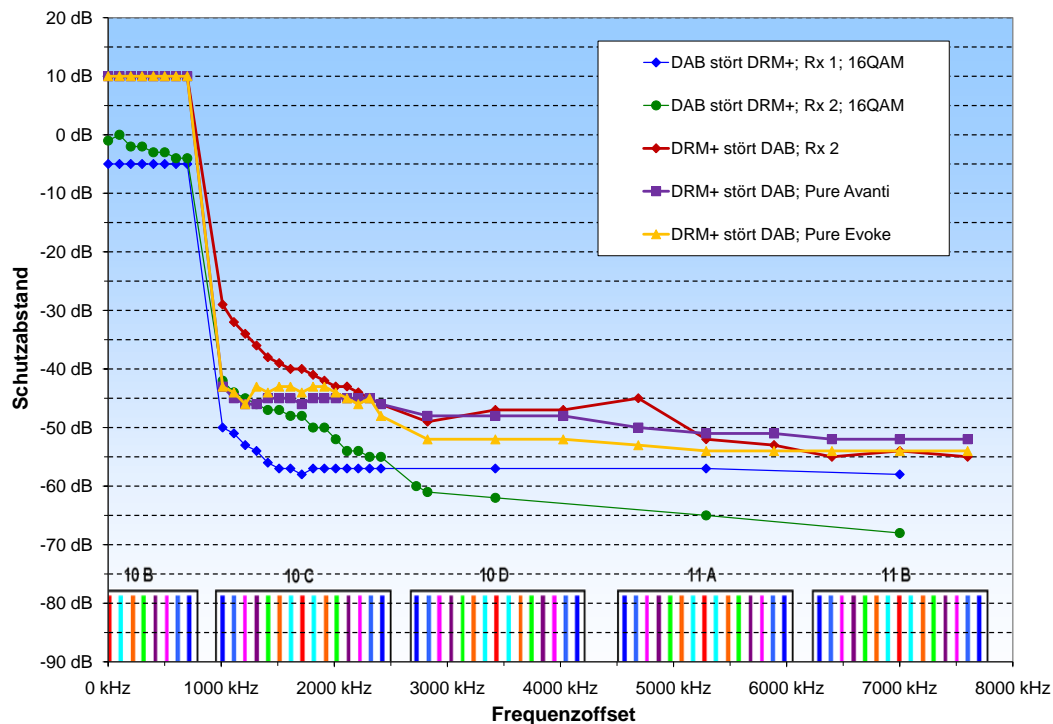


Abb. 7.31.: Schutzabstände - DRM<sup>+</sup> stört DAB vs. DAB stört DRM<sup>+</sup>; alle Empfänger; Störkriterium: Audiostörung bzw.  $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$



---

## 8. Verwendete Formelzeichen

---

$S_{min}$ :	Mindestempfangspegel
NF :	Rauschmaß
F :	Rauschzahl
$P_R$ :	Rauschleistungspegel
$P_{R1Hz}$ :	Rauschleistung (Bandbreite = 1 Hz)
$B$ :	Bandbreite
$k_B$ :	Boltzmann-Konstante
$T$ :	Temperatur
OIP3 :	Intermodulationspunkt 3ter Ordnung
$P_{out}$ :	Ausgangsleistungspegel
S :	Schulterabstand
$P_E$ :	Empfangsleistung
$P_S$ :	Sendeleistung
$\lambda$ :	Wellenlänge
$r$ :	Radius
$c$ :	Lichtgeschwindigkeit
$f$ :	Frequenz
$\tau$ :	Laufzeit
$\Delta\tau$ :	Delay Spread
$\bar{\tau}$ :	Mittlere Laufzeit
$B_c$ :	Kohärenzbandbreite
$f_D$ :	Dopplerfrequenz
$f_D max$ :	Maximale Dopplerfrequenz
$f_0$ :	Übertragungsfrequenz
$v$ :	Geschwindigkeit
$\alpha$ :	Winkel zwischen Empfangsrichtung und Bewegungsrichtung
$T_s$ :	OFDM Symboldauer
$\Delta_f$ :	OFDM Subträgerabstand
S/N :	Signal zu Rauschverhältnis
$v_{Profil}$ :	Nominelle Geschwindigkeit des Kanalprofils



---

# Literaturverzeichnis

---

- [Bec96] BECKER, Torsten C.: *Verfahren und Kriterien zur Planung von Gleichwellennetzen für den Digitalen Hörrundfunk DAB (Digital Audio Broadcasting)*, Institut für Höchstfrequenztechnik und Elektronik der Universität Karlsruhe, Diss., 1996
- [Ber05] BERNHARDT, Frank: *Untersuchung zur Implementierung eines digitalen Übertragungssystems auf OFDM-Basis im UKW-Frequenzbereich*, Fachhochschule Kaiserslautern, Diplomarbeit, November 2005
- [Eur06] EUROPEAN TELECOMMUNICATIONS STANDARDS INSTITUTE: ETSI EN 300 401 V1.4.1: Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers. (2006), 06
- [Fei] FEILEN, Michael: DRM-Transmitter Spark. <http://www.drm-sender.de>
- [Fei05] FEILEN, Michael: *Objektorientierte Implementierung eines Sendesystems für Digital Radio Mondiale*, Fachhochschule Kaiserslautern, Diplomarbeit, Oktober 2005
- [HSE07] HASENPUSCH, Th. ; SCHAD, F. ; EFFINGER, R.: Compatibility Measurements: DRM120, DRM+ and HD-Radio<sup>TM</sup> interfering with FM Broadcast, Narrowband FM (BOS) and Aeronautical Radionavigation / Federal Network Agency of Germany and Fachhochschule Kaiserslautern. 2007 (G531/00328/07). – Forschungsbericht
- [Ins09] INSTITUTE, European Broadcasting Union & European Telecommunications S. ; EUROPEAN TELECOMMUNICATIONS STANDARDS INSTITUTE (Hrsg.): *ETSI ES 201 980 – Digital Radio Mondiale (DRM): System Specification*. V3.1.1. 650 Route des Luciolies, F-06921 Sophia Antipolis Cedex – FRANCE: European Telecommunications Standards Institute, Februar 2009
- [ITU05] INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION, ITU: Rec. ITU-R BS.1660-1: Technical basis for planning of terrestrial digital sound broadcasting in the VHF band. (2003 – 2005)
- [Kat09] KATHREIN (Hrsg.): *Kathrein, 791430 DAB Band-pass filter, 10W*. Kathrein, 2009
- [Küh09] KÜHN, Manfred: *DRM<sup>+</sup> - Übertragung von DRM-Kanälen im VHF-Bereich* -. 2009
- [Lüd01] LÜDERS, Christian: *Mobilfunksysteme*. Vogel Verlag und Druck, Würzburg, 2001. – ISBN 3-8023-1847-1
- [Lee66] LEESON, D.B.: A simple model of feedback oscillator noise spectrum. In: *Proceedings of the IEEE* 54 (1966), Feb., Nr. 2, S. 329–330
- [Lee93] LEE, William C. Y.: *Mobile communications design fundamentals*. 2nd ed. Wiley-Interscience, 1993. – ISBN 0-471-57446-5
- [Leh06] LEHNERT, J.: Kann der UKW-Bereich noch digitalisiert werden? In: *FKT – Die Fachzeitschrift für Fernsehen, Film und Elektronische Medien* Ausgabe 5 (2006), S. 285–290
- [Max08] MAXIM (Hrsg.): *MAX2172 – Direct-Conversion to Low-IF Tuner for Digital Audio Broadcast*. Maxim, 2008

- [Mic] MICROTELECOM S.R.I.: Perseus SDR Homepage. <http://microtelecom.it/perseus/>
- [MS91] MÄUSL, Rudolf ; SCHLAGHECK, Erhard: *Meßverfahren in der Nachrichtenübertragungstechnik*. 2. Auflage. Hüthig Verlag, 1991. – ISBN 3-7785-2057-1
- [Ne01] NORMUNG E.V., DIN Deutsches Institut f.: Eigenschaften von DAB-Empfängern. In: *DIN EN 50248* (2001)
- [Pli01] PLISCH (Hrsg.): *Plisch, SDA730 – Technische Daten*. Plisch, 2001
- [Pro95] PROAKIS, John G.: *Digital Communications*. 3rd Ed. 1995. – ISBN 0-0711-3814-5
- [Roh03] ROHDE & SCHWARZ (Hrsg.): *DAB-Testsender R&S SDB601*. Rohde & Schwarz, 2003
- [Roh05] ROHDE UND SCHWARZ (Hrsg.): *Vector Signal Generator SMU 200A – Manual*. Rohde und Schwarz, 2005
- [Roh09] ROHDE & SCHWARZ (Hrsg.): *R&S SFE Broadcat Tester – Quick Start Guide*. Rohde & Schwarz, 2009
- [SLSK08] STEIL, Andreas ; LEHNERT, Joachim ; SCHAD, Felix ; KÖHLER, Martin: Leaving the dead-end street: New ways for the digitastation of the VHF sound broadcasting with DRM<sup>+</sup>. Pt. I – Pt. III. In: *10th Workshop Digital Broadcasting* Fraunhofer-Institute for Digital Media Technology (IDMT), 2008
- [Sor99] SORGER, Ulrich: *Mobile Kommunikation / TU Darmstadt*. 1999. – Forschungsbericht
- [Spi09] SPINNER (Hrsg.): *SPINNER, BN 617114 - Bandpass filter Band III*. Spinner, 2009
- [SS08] SCHAD, F. ; STEIL, A.: Laboruntersuchung über Versorgungskriterien für eine UKW-FM-Monoabstrahlung / Fachhochschule Kaiserslautern, LMK Rheinland-Pfalz. 2008. – Forschungsbericht
- [SSK09] SCHAD, F. ; STEIL, A. ; KÖHLER, M.: Abschlussbericht zum DRM<sup>+</sup>-Feldversuch Kaiserslautern. Versuchszeitraum: Januar – August 2009 / Fachhochschule Kaiserslautern, LMK Rheinland-Pfalz. 2009. – Forschungsbericht
- [SSL08] STEIL, A. ; SCHAD, F. ; LEHNERT, J.: Neue Wege zur Digitalisierung des UKW-Hörfunks mit DRM<sup>+</sup>. In: *FKT – Die Fachzeitschrift für Fernsehen, Film und Elektronische Medien* Ausgabe 11 (2008), S. 645–650
- [SSR07] SCHAD, F. ; STEIL, A. ; ROSENBAUM, M.: Verträglichkeitsuntersuchungen zum Verhalten von DRM120 und HD-Radio gegenüber dem FM-Rundfunk, BOS-Funk und Flugfunkdiensten – Abschlussbericht / Fachhochschule Kaiserslautern. 2007. – Forschungsbericht
- [VAD09] VAD GMBH (Hrsg.): *UEP 400 USB – Universeller Empfänger für DAB-Signale gemäß ETSI EN300401*. VAD GmbH, 2009
- [WH03] WOLFGANG HOEG, Thomas L.: *Digital Audio Broadcasting - Principles and Applications of Digital Radio*. John Wiley & Sons, 2003. – ISBN 0-470-5013-2
- [Zim05] ZIMMERMANN, Gerd: DRM<sup>+</sup> Radio channel profiles for use in band II / T-Systems International GmbH; SU SI, SSC ENPS. 2005 (DRM-Doc. No. TC\_CM302). – Forschungsbericht

---

# Abbildungsverzeichnis

---

3.1. Blockschaltbild des DRM <sup>+</sup> -Prototypenempfängers Rx 1 . . . . .	15
3.2. Rx 1, Innenansicht . . . . .	16
3.3. Rx 1, Gesamtsystem . . . . .	16
3.4. Rx 2 . . . . .	16
3.5. Blockschaltbild des DRM <sup>+</sup> Empfänger Rx 2 . . . . .	17
3.6. Amplitudengänge der Frontends bei Eintonansteuerung . . . . .	19
3.7. Empfängerseitiger Schulterabstand von Rx 2 . . . . .	20
3.8. Empfängerseitiger Schulterabstand von Rx 1 . . . . .	20
3.9. Nahbereichsaufnahme - ZF-Filter Rx 1 . . . . .	22
3.10. Breitbandige Darstellung - ZF-Filter Rx 1 . . . . .	22
3.11. Nahbereichsaufnahme - ZF-Filter Rx 2 . . . . .	23
3.12. Phasenrauschen - Rx 1 (MAX2172) - Quelle:[Max08] . . . . .	23
3.13. Phasenrauschen - Rx 2 - Quelle: Hersteller . . . . .	24
3.14. Phasenrauschen des gesamten Empfängersystems Rx 1, Nahaufnahme . . . . .	24
3.15. Phasenrauschen des gesamten Empfängersystems Rx 2, Nahaufnahme . . . . .	25
3.16. Rx 3 . . . . .	25
3.17. Blockschaltbild des DRM <sup>+</sup> -Empfängers Rx 3 . . . . .	26
4.1. Blockschaltbild - Kanalsimulation DRM <sup>+</sup> VHF-VHF-Band II und III . . . . .	30
4.2. Kanalsimulator SMU200A (R&S) . . . . .	31
4.3. 16 QAM; Rx 1 . . . . .	33
4.4. 16 QAM; Profil: Rural; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils . . . . .	34
4.5. Vergleich Rx 1 mit Rx 3 im VHF-Band II; Freq. 108 MHz; Profil: Rural; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils . . . . .	34
4.6. Rx 1; 16 QAM; Profil: Rural; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils . . . . .	36
4.7. Rx 2; 16 QAM; Profil: Rural; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils . . . . .	37
4.8. AWGN; 4 QAM . . . . .	38
4.9. AWGN; 16 QAM . . . . .	38
4.10. 16 QAM; Profil: Rural . . . . .	40
4.11. 16 QAM; Freq. 230 MHz; Rx 1 . . . . .	40
4.12. Aufbau Kanalsimulation - DAB-Testsender SDB601 und Vektorsignalgenerator SMU200A im Labor der FH-KL . . . . .	41
4.13. DAB Messempfänger - UEP 400 USB[VAD09] (Foto: VAD GmbH) . . . . .	42
4.14. Blockschaltbild - Kanalsimulation DAB . . . . .	42
4.15. max Geschwindigkeit DAB vs. DRM <sup>+</sup> Profil: Rural . . . . .	43
5.1. Messaufbau der Schutzabstandsmessung im Labor der FH-KL . . . . .	45
5.2. Vorschlag: Einplanung von DRM <sup>+</sup> -Kanälen in einen DAB-Referenzblock (Quelle: [Küh09]) . . . . .	46
5.3. Schutzabstandsmessung DAB stört DRM <sup>+</sup> . . . . .	47
5.4. Blockschaltbild - Schutzabstandsmessung - DAB stört DRM <sup>+</sup> . . . . .	47
5.5. DAB Testsender SFE (R&S) . . . . .	47
5.6. SDA730 (Plisch) und Dummy-Load in HF-dichte Kammer . . . . .	48
5.7. Signalverlauf DAB-Störsignal . . . . .	49

5.8. Schutzabstände - DAB stört DRM <sup>+</sup> (16 QAM); Störkriterium: $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$ . . .	50
5.9. Rx 1 . . . . .	50
5.10. Rx 2 . . . . .	50
5.11. DAB Nullsymbole; Leistung -über Zeit - Darstellung . . . . .	51
5.12. Schutzabstand; Rx 1; 0 kHz Frequenzoffset; 16 QAM . . . . .	51
5.13. Schutzabstand; Rx 2; 2012 kHz Frequenzoffset (DRM Kanal +3 Block 10C); 16 QAM .	52
5.14. Schutzabstände - DAB stört DRM <sup>+</sup> (16 QAM); mit / ohne Filter; Rx 2; Störkriterium: $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$ . . . . .	53
5.15. Schutzabstände - DAB stört DRM <sup>+</sup> (4/16 QAM); hoher Leistungspegel; Rx 1; Störkri- terium: $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$ . . . . .	54
5.16. Schutzabstände - DAB stört DRM <sup>+</sup> (16 QAM); Rx 1; Störkriterium: $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$	55
5.17. Schutzabstände - DAB stört DRM <sup>+</sup> (16 QAM); Rx 2; Störkriterium: $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$	56
5.18. DAB Sender - SLA8200 (Rohde & Schwarz)) . . . . .	56
5.19. Schutzabstandsmessung - DRM <sup>+</sup> stört DAB . . . . .	58
5.20. Rx 2 . . . . .	58
5.21. Pure Avanti . . . . .	58
5.22. Pure Evoke 2S . . . . .	59
5.23. Blockschaltbild - Schutzabstandsmessung - DRM <sup>+</sup> stört DAB . . . . .	59
5.24. Verstimmen des Kathrein DAB-Filter für das DRM <sup>+</sup> -Signal . . . . .	60
5.25. DRM <sup>+</sup> -Filter Durchlasskurve für die Frequenz von 212, 224 MHz . . . . .	60
5.26. DRM <sup>+</sup> Signalverlauf . . . . .	61
5.27. 2 DRM <sup>+</sup> -Blöcke erzeugt mit dem ARB-Generator des SMU200A . . . . .	62
5.28. Schutzabstände - Störsignal var. Bandbreite stört DAB im Gleichkanalfall; Störkriteri- um: Audiostörung . . . . .	63
5.29. Schutzabstände - Störsignal var. Bandbreite stört DAB im Gleichkanalfall; Störkriteri- um: Audiostörung . . . . .	64
5.30. Schutzabstände - DRM <sup>+</sup> stört DAB; Empfänger: Rx 2; Störkriterium: Audiostörung .	65
5.31. Schutzabstände - DRM <sup>+</sup> stört DAB; mit DAB-Maskenfilter; Störkriterium: Audiostörung	66
5.32. Spektrumaufnahme der Schutzabstandsmessung DRM <sup>+</sup> stört DAB, Frequenzoffset: 1112 kHz	67
5.33. Schutzabstände - DRM <sup>+</sup> stört DAB vs. DAB stört DRM <sup>+</sup> ; Rx 2; Störkriterium: Audio- störung bzw. $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$ . . . . .	68
5.34. Schutzabstände - DRM <sup>+</sup> stört DAB vs. DAB stört DRM <sup>+</sup> ; alle Empfänger; Störkrite- rium: Audiostörung bzw. $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$ . . . . .	68
6.1. Rx 1; Profil: Rural; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils . . . . .	71
6.2. Rx 2; Profil: Rural; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils . . . . .	72
6.3. Rx 3; Profil: Rural; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils . . . . .	72
6.4. 4 QAM; Profil: Rural; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils . . . . .	73
6.5. 16 QAM; Profil: Rural; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils . . . . .	73
6.6. Rx 1; Profil: Hilly terrain; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils . . .	74
6.7. Rx 2; Profil: Hilly terrain; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils . . .	74
6.8. Rx 3; Profil: Hilly terrain; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils . . .	75
6.9. 4 QAM; Profil: Hilly terrain; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils . .	75
6.10. 16 QAM; Profil: Hilly terrain; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils .	76
6.11. Rx 1; Profil: terrain obstructed; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils	76
6.12. Rx 2; Profil: terrain obstructed; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils	77
6.13. Rx 3; Profil: terrain obstructed; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils	77
6.14. 4 QAM; Profil: terrain obstructed; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils	78
6.15. 16 QAM; Profil: terrain obstructed; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils	78
6.16. Rx 1; Profil: Urban (Vehicle); schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils .	79
6.17. Rx 2; Profil: Urban (Vehicle); schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils .	79
6.18. Rx 3; Profil: Urban (Vehicle); schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils .	80

6.19. 4 QAM; Profil: Urban (Vehicle); schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils	80
6.20. 16 QAM; Profil: Urban (Vehicle); schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils	81
6.21. 4 QAM; Rx 1	81
6.22. 16 QAM; Rx 1	82
6.23. Hilly terrain; Rx 1	83
6.24. Hilly terrain; Rx 2	84
6.25. Hilly terrain; Rx 3	84
6.26. Hilly terrain; 4 QAM	85
6.27. Hilly terrain; 16 QAM	85
6.28. terrain obstructed; Rx 1	86
6.29. terrain obstructed; Rx 2	86
6.30. terrain obstructed; Rx 3	87
6.31. terrain obstructed; 4 QAM	87
6.32. terrain obstructed; 16 QAM	88
6.33. Urban (Vehicle); Rx 1	88
6.34. Urban (Vehicle); Rx 2	89
6.35. Urban (Vehicle); Rx 3	89
6.36. Urban (Vehicle); 4 QAM	90
6.37. Urban (Vehicle); 16 QAM	90
6.38. Urban (Pedestrian); Rx 1	91
6.39. Urban (Pedestrian); Rx 2	91
6.40. Urban (Pedestrian); Rx 3	92
6.41. Urban (Pedestrian); 4 QAM	92
6.42. Urban (Pedestrian); 16 QAM	93
6.43. 4 QAM; Rural	93
6.44. Rural; Rx 1	94
6.45. Rural; Rx 2	94
6.46. Rural; Rx 3	95
6.47. Rural; 4 QAM	95
6.48. Rural; 16 QAM	96
6.49. 4 / 16 QAM; Rural	96
7.1. Messaufbau zur Messung von Signalspektren mit hoher Dynamik	97
7.2. Bandpassfilter DAB Kanal 10B (Quelle: Kathrein [Kat09])	98
7.3. Breitband - Bandpassfilter DAB Kanal 10B (Quelle: SPINNER [Spi09])	99
7.4. Durchlassbereich - Bandpassfilter DAB Kanal 10B (Quelle: SPINNER [Spi09])	99
7.5. Breitband - Bandpassfilter DAB Kanal 10C (Quelle: SPINNER [Spi09])	100
7.6. Durchlassbereich - Bandpassfilter DAB Kanal 10C (Quelle: SPINNER [Spi09])	100
7.7. Signalverlauf SDA730 (Plisch)	101
7.8. Signalverlauf SLA8200 (R&S); Ausgangsleistung: 60W	102
7.9. Blockschaltbild - Schutzabstandsmessung - DAB stört DRM <sup>+</sup> - Tx SLA8200 (R&S)	102
7.10. Schutzabstände - DAB stört DRM <sup>+</sup> (4 QAM); Rx 1; Störkriterium: $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$	108
7.11. Schutzabstände - DAB stört DRM <sup>+</sup> (4 QAM); Rx 2; Störkriterium: $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$	108
7.12. Schutzabstände - DAB stört DRM <sup>+</sup> (4 QAM); hoher Leistungspegel; Störkriterium: $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$	109
7.13. Schutzabstände - DAB stört DRM <sup>+</sup> (16 QAM); Rx 1; Störkriterium: $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$	116
7.14. Schutzabstände - DAB stört DRM <sup>+</sup> (16 QAM); Rx 2; Störkriterium: $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$	116
7.15. Schutzabstände - DAB stört DRM <sup>+</sup> (16 QAM); Störkriterium: $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$	117
7.16. Schutzabstände - DAB stört DRM <sup>+</sup> (16 QAM); hoher Leistungspegel; Störkriterium: $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$	117
7.17. Schutzabstände - DAB stört DRM <sup>+</sup> (16 QAM); Rx 2; Störkriterium: $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$	118

7.18. Schutzabstände - DAB stört DRM <sup>+</sup> (4/16 QAM); hoher Leistungspegel; Rx 1; Störkriterium: $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$ . . . . .	118
7.19. Schutzabstände - DAB stört DRM <sup>+</sup> (4/16 QAM); hoher Leistungspegel; Störkriterium: $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$ . . . . .	119
7.20. DRM <sup>+</sup> Signalverlauf . . . . .	120
7.21. 2 DRM <sup>+</sup> -Blöcke erzeugt mit dem ARB Generator des SMU200A . . . . .	120
7.22. Screenshot DAB-Multiplex Einstellungen im DAB-Contentserver . . . . .	121
7.23. Schutzabstände - Störsignal var. Bandbreite stört DAB im Gleichkanalfall; Störkriterium: Audiostörung . . . . .	123
7.24. Schutzabstände - Störsignal var. Bandbreite stört DAB im Gleichkanalfall; Störkriterium: Audiostörung . . . . .	123
7.25. Schutzabstände - DRM <sup>+</sup> stört DAB; Empfänger: Rx 2; Störkriterium: Audiostörung .	128
7.26. Schutzabstände - DRM <sup>+</sup> stört DAB; Empfänger: Pure Evoke 2S; Störkriterium: Audiostörung . . . . .	128
7.27. Schutzabstände - DRM <sup>+</sup> stört DAB; Empfänger: Pure Avanti; Störkriterium: Audiostörung . . . . .	129
7.28. Schutzabstände - DRM <sup>+</sup> stört DAB; mit DAB-Maskenfilter; Störkriterium: Audiostörung	129
7.29. Schutzabstände - DRM <sup>+</sup> stört DAB; ohne DAB-Maskenfilter; Störkriterium: Audiostörung . . . . .	130
7.30. Schutzabstände - DRM <sup>+</sup> stört DAB vs. DAB stört DRM <sup>+</sup> ; Rx 2; Störkriterium: Audiostörung bzw. $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$ . . . . .	131
7.31. Schutzabstände - DRM <sup>+</sup> stört DAB vs. DAB stört DRM <sup>+</sup> ; alle Empfänger; Störkriterium: Audiostörung bzw. $\overline{\text{BER}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$ . . . . .	131

---

# Tabellenverzeichnis

---

3.1. Mindestempfangspegel $S_{min}$ . . . . .	17
3.2. Ergebnisse Rauschmaßbestimmung der Frontends . . . . .	18
3.3. ZF-Schulterabstand als Funktion des Eingangspegels . . . . .	21
3.4. DRM <sup>+</sup> -Prototypenempfängerübersicht . . . . .	26
4.1. Delay Spreads und Kohärenzbandbreiten für verschiedene Empfangsumgebungen . . . . .	29
4.2. Einfluss des Doppler-Effekts; $v = 200 \text{ km/h}$ . . . . .	30
4.3. Ergebnisse der maximalen Geschwindigkeitsmessung (rot: $v_{Profil}$ wurde nicht erreicht) . . . . .	32
4.4. Ergebnisse der maximalen Geschwindigkeitsmessung bei var. Geschwindigkeit für Rx 1; 16 QAM; Profil Rural; schwarze Linie markiert nominelle Geschw. des Profils . . . . .	36
4.5. Ergebnisse der maximalen Geschwindigkeitsmessung bei var. Geschwindigkeit für Rx 2; 16 QAM; Profil Rural . . . . .	37
4.6. Ergebnisse - S/N für den Rauschbegrenzten Fall (AWGN) . . . . .	39
4.7. Vergleich - der S/N-Werte des AWGN-Kanals - der alten und neuen Decoderversion . . . . .	39
4.8. S/N - Ergebnisse der Mehrwegekanalsimulation . . . . .	39
4.9. Vergleich der maximalen Geschwindigkeit Profil Rural . . . . .	43
5.1. PR Vergleich: DRM <sup>+</sup> stört DRM <sup>+</sup> vs. DAB stört DRM <sup>+</sup> ; 4 QAM . . . . .	57
5.2. PR Vergleich: DRM <sup>+</sup> stört DRM <sup>+</sup> vs. DAB stört DRM <sup>+</sup> ; 16 QAM . . . . .	57
5.3. Mindestempfangsfeldstärken DAB Empfänger; Störkriterium: Audiostörung . . . . .	59
5.4. Schutzabstanduntersuchung Gleichkanal; Störkriterium: Audiostörung . . . . .	63
5.5. Schutzabstände - DAB stört DRM <sup>+</sup> vs. DRM <sup>+</sup> stört DAB . . . . .	67
7.1. Schutzabstanduntersuchung Gleichkanal; Störkriterium: Audiostörung . . . . .	121