



**Fachhochschule
Kaiserslautern**
University of Applied Sciences



**Dipl.-Ing. (FH) Felix Schad (FH Kaiserslautern)
Prof. Dr.-Ing. Andreas Steil (FH Kaiserslautern)**

**Laboruntersuchung über Versorgungskriterien für
eine UKW-FM Monoabstrahlung**

**Im Auftrag der
Landeszentrale für Medien und Kommunikation
Rheinland-Pfalz (LMK)**

23. September 2008

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	3
1.1. Ausgangslage und Motivation	3
1.2. Inhaltsübersicht	3
2. Zusammenfassung und Bewertung	4
3. Theorie, regulative Vorgaben und Grenzwerte zum UKW-FM-Rundfunk	5
3.1. Allgemeines	5
3.2. Der mono- und stereophone UKW-FM-Tonrundfunk	5
3.3. Regulative Eckdaten, Grenzwerte, wichtige Normen u. Vorschriften	10
4. Laboruntersuchungen	14
4.1. Verwendete Empfänger	14
4.2. Empfindlichkeitsmessungen	14
4.2.1. Beschreibung	14
4.2.2. Ergebnis	16
4.3. Schutzabstandsmessungen	19
4.3.1. Beschreibung der Messstrecke	19
4.3.2. Vortests	20
4.3.3. Messung nach ITU-R. BS641 [ITU02d]	21
4.3.4. Messung mit abgewandeltem Störsignal, Stereo	21
4.3.5. Messung mit abgewandeltem Störsignal, Mono	22
4.3.6. Variante 40 dB	23
4.3.7. Zusammenfassung der Schutzabstandskurven	24
4.4. Ergebnis der Laborbetrachtungen	25
5. Zusammenführung der Daten für die Funknetzplanung	26
6. Danksagung	28
Anhang	29
A. Liste der verwendeten Geräte	29
B. Empfindlichkeitsmessungen	30
C. Schutzabstandsmessungen	35
Literaturverzeichnis	61
Abbildungsverzeichnis	63
Tabellenverzeichnis	64

1. Einführung

1.1. Ausgangslage und Motivation

UKW-Veranstalter die für ein lokales Versorgungsgebiet zugelassen sind verfügen meist nur über eine einzelne UKW-Frequenz. Die Veranstalter der seit 1. Juni 2008 neu lizenzierten lokalen UKW-Hörfunkkette in Rheinland-Pfalz erwägen, die Stereosendung („System 4“) auf eine Monoabstrahlung umzustellen („System 1“ inkl. RDS), um damit eine höhere Versorgungsreichweite erzielen zu können. Diese Annahme scheint aus technischer Sicht nachvollziehbar zu sein, da die Schutzabstände der einschlägigen ITU-Richtlinien für eine Mono-Abstrahlung viel günstiger sind als im stereophonen Fall. In entsprechenden Feldtests konnten durchaus in einigen Fällen dieses Ziel erreicht werden, s. [Kre03].

Auf Basis dieser Idee soll in der vorliegenden Untersuchung eine theoretische und labortechnische Grundlage geschaffen werden, mit deren Ergebnissen durch Mittel der Funknetzplanung die Auswirkung der Umschaltung in Hinblick auf die evtl. potentielle Steigerung der Versorgungsreichweite bewertet werden kann. Klar ist, daß aufgrund der begrenzten Empfängerauswahl die ermittelten Werte nicht repräsentativ sind. Sie sollen als Anhalt dienen, um eine Funknetzplanerische Bewertung der Umschaltung eines Senders in den Monobetrieb zu ermöglichen.

1.2. Inhaltsübersicht

Der vorliegende Bericht gliedert sich wie folgt:

- Kapitel 1 beschreibt den Hintergrund und Rahmen des vorliegenden Berichts.
- Kapitel 2 fasst das Ergebnis der Untersuchung zusammen.
- Kapitel 3 beinhaltet den theoretischen Hintergrund, zeigt die Unterschiede der Übertragungsmodi auf und stellt zusammenfassend die relevanten Normen und Vorschriften dar.
- Kapitel 4 dokumentiert die vorgenommenen relevanten Laboruntersuchungen.
- Kapitel 5 führt Kapitel 3 und 4 zusammen und liefert die notwendigen Daten für die Funknetzplanung.
- Im Anhang sind die jeweiligen Messprotokolle und sonstige notwendige Angaben verzeichnet.

2. Zusammenfassung und Bewertung

Aus den Betrachtungen dieser Studie können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Die entscheidende Änderung auf der Empfängerseite besteht – neben dem Wegfall eines Audiokanals – darin, das von Senderseite aus der Monoempfangsmodus erzwungen wird.
- Das Gros der heutigen FM-Empfänger ist in der Regel so gut, daß im Sinne der Eingangsempfindlichkeit der Unterschied zwischen dem Mono- und Stereoempfang recht gering ist¹; die größeren Abweichungen treten erst in Bereichen höherer Eingangspegel auf, bei denen im rauschbegrenztem Fall das Audio-S/N ohnehin hoch ist. Dies ist vor allem der Tatsache geschuldet, dass im Monomodus das erzielbare empfängerseitige S/N prinzipbedingt höher ist, s. Kapitel 3.2. Somit liegt der eigentliche Gewinn insbesondere in den geringeren Schutzabständen für den Monoempfang, so daß sich durchaus Störsender vor allem bei preisgünstigeren Empfängern je nach Interferenzsituation weniger störend als im Stereomodus äußern können, s.a. Kapitel 4.4.
- Da im Monobetrieb der Empfang im reflexionsbehaftetem Funkumfeld unempfindlicher gegenüber der Mehrwegeausbreitung ist, kann insbes. in schwierigen geographischen Regionen und / oder im mobilen Empfangsfall eine Verbesserung der Versorgungssicherheit erreicht werden. Eine Erhöhung der Sendeleistung kann durch die Umschaltung von Stereo auf Mono nicht begründet werden, zumal die verwendeten Schutzabstandskurven aus [ITU02a] ohnehin von einem Monosender als Störsender ausgehen.
- Insbesondere bei Gleichwellennetzen, bei denen aufgrund der geographischen Gegebenheiten nur eine unbefriedigende räumliche Entkopplung der beteiligten Gleichwellensender möglich ist, kann durch die bessere Empfangbarkeit des Monosignals im reflexionsbehaftetem Funkumfeld durchaus eine Verbesserung der Rundfunkversorgung eintreten.
- Je nachdem wie ausgeprägt die Stereophonie des Audiomaterials des jeweiligen Programmveranstalters (nach dem Soundprocessing) ist, kann dieser noch freiwerdende Hubreserven nutzen (Pilottöne und Zusatzsignale gehen nicht in die MPX-Leistung mit ein). Somit steigt der Ausgangspegel am Demodulator (wenn auch nur gering, s. Kapitel 4.2) und das empfangene Signal wird stärker aus dem empfangenen Rauschanteil hervorgehoben. Der subjektive Eindruck vieler Personen ist, daß lautere Sender diejenigen sind, die momentan besser empfangbar sind, so dass dieser vom Rundfunkteilnehmer länger gehört wird.
- Die Anzahl der getesteten Empfänger ist als nicht repräsentativ anzusehen, liefert jedoch einen guten Überblick über das Verhalten der unterschiedlichen Empfängerklassen, insbesondere zur Bewertung der theoretischen und realen Gegebenheiten.

Die Frage ob durch die Zurückschaltung von Sendern zum Mono-Rundfunk (insbes. subjektive) Reichweite gewonnen werden kann lässt sich somit nicht pauschal beantworten, sondern ist vor allem von der am betrachteten Empfangsort vorliegenden Frequenzbelegung durch die Sender abhängig. Insbesondere für minderwertige Empfänger sind durchaus Verbesserungen der Empfangsqualität am Rande des Versorgungsgebiets möglich.

¹zumal die Verfahren zur automatischen Stereo-/Monoumschaltung in den Empfängern mittlerweile sehr ausgereift sind

3. Theorie, regulative Vorgaben und Grenzwerte zum UKW-FM-Rundfunk

3.1. Allgemeines

Der UKW-Rundfunkdienst basiert auf dem analogen Übertragungsverfahren der Frequenzmodulation. Innerhalb der ITU-Region I wird zur Funknetzplanung ein Kanalraster von 100 kHz verwendet. Der grundlegende Aufbau des dabei übertragenen Signalspektrums ist in Abb. 3.1 dargestellt. Es können mehrere Signaltypen in der Sendung übertragen werden, es handelt sich hiermit um ein Multiplexsystem. Zu den geläufigsten Diensten zählen

- Audioübertragung, mono- oder stereophon
- digitale, PAM-modulierte Übertragung von Zusatzinformationen (Radio-Data-System, RDS)

Da prinzipbedingt bei der Frequenzmodulation mit steigender (NF-)Signalfrequenz die Signalqualität (Geräuschspannungsabstand, S/N) abnimmt, wird das Audiosignal durch die sogenannte Preemphase mit einer Zeitkonstanten von $\tau = 50 \mu\text{s}$ vorverzerrt. Bei dem Preemphasenetzwerk handelt es sich um einen Hochpass mit einer Grenzfrequenz von 3,18 kHz, welche sich aus der Zeitkonstanten τ ergibt. Durch die differenzierende Wirkung des Hochpasses wird die Frequenz- zu einer Phasenmodulation umgewandelt; daß Abfallen des S/N bei steigenden Signalfrequenzen wird aufgrund der Eigenschaften der Phasenmodulation gemindert.

Der RDS-Datendienst wurde 1984 seitens der EBU standardisiert [Eur90, S. 3]. Mithilfe dieses Dienstes können von den Zusatzinformationen übertragen werden. Zu diesen gehören z. B. die Senderkennung, Radiotext, Listen alternativer Senderfrequenzen, Verkehrsinformationen (TMC), etc. Das binäre Signal moduliert einen Subträger mit einer Trägerfrequenz von 57 kHz. Aus der Trägerfrequenz leitet sich die Taktfrequenz des Systems ab, die sich nach Teilung der Subträgerfrequenz durch den Faktor 48 zu 1187,5 bit/s ergibt. Die übertragenen Bits werden zu aus 104 Bit bestehenden Gruppen zusammengefasst. Jede Gruppe besteht dabei aus vier Blöcken von je 26 Bit. Zum Fehlerschutz bzw. zur Korrektur falsch empfangener Bits dient ein 10-Bit langes Wort auf Basis des CRC-Prüfverfahrens.

Darüberhinaus kann der sog. SCA-Kanal des Multiplexes (frequenztechnisch oberhalb des RDS-Trägers angesiedelt) zur Bereitstellung individueller Dienste genutzt werden, z.B. DARC, FM-ExtraTM, ...).

Da im Rahmen dieser Untersuchung im wesentlichen die Unterschiede zwischen Mono- und Stereosendungen von Interesse sind, wird dieser Punkt das Hauptaugenmerk der folgenden Ausführungen sein.

3.2. Der mono- und stereophone UKW-FM-Tonrundfunk

Zu den Startzeiten des UKW-Rundfunks vor über 60 Jahren wurde lediglich ein Audiokanal übertragen.

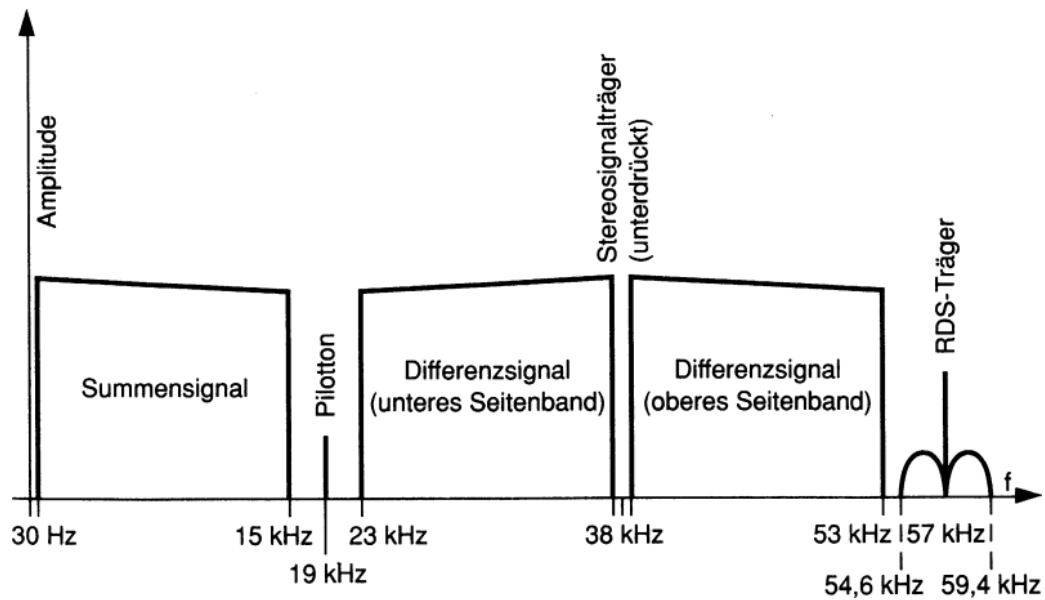


Abb. 3.1.: Aufbau des Signalspektrums eines FM-Rundfunksenders bei stereophoner Audioübertragung im Basisband, aus: [BDH⁺96, S. 173]

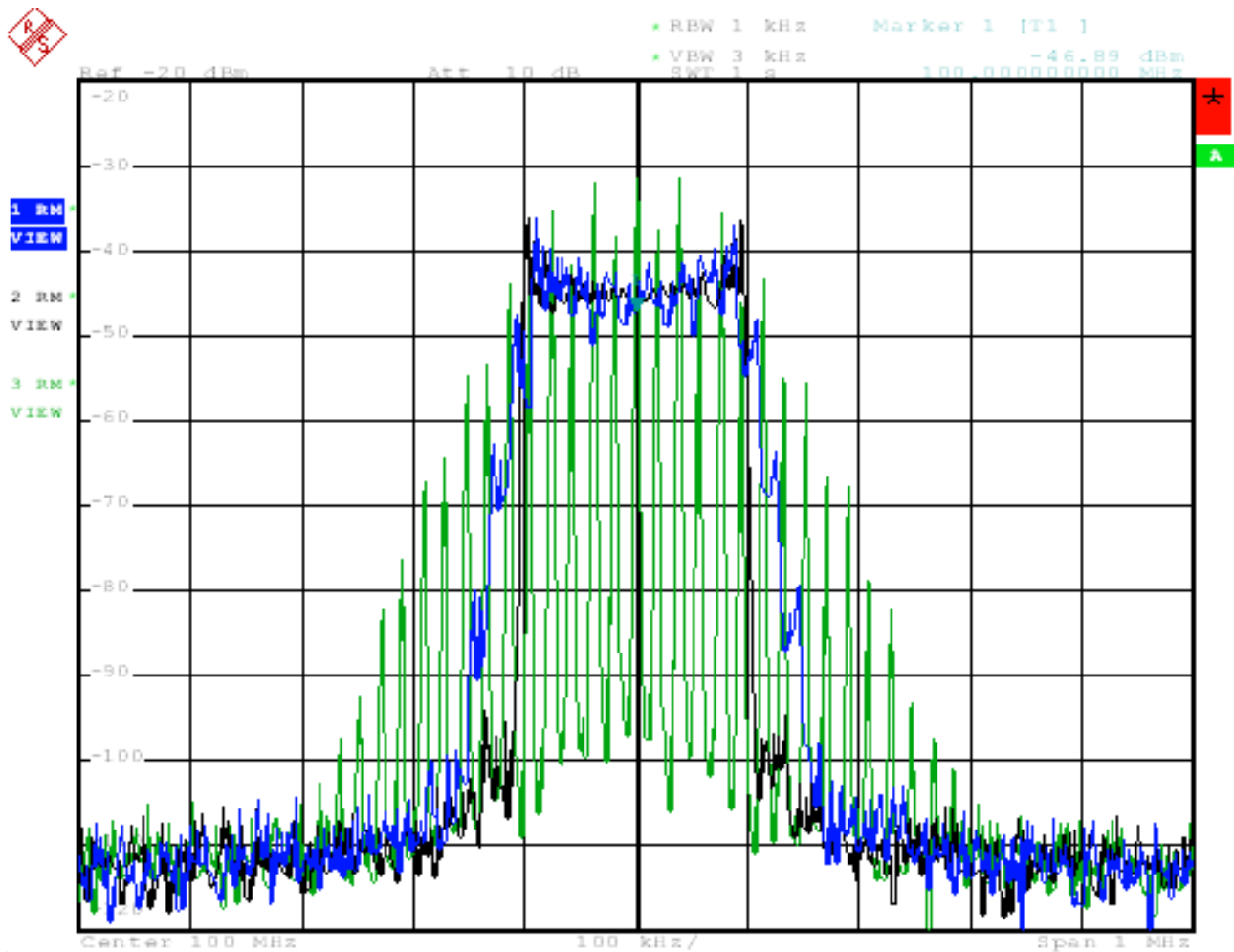


Abb. 3.2.: Spektrum eines UKW-Mono- und Stereosenders (500 Hz-Prüftone, kein RDS, Vollhub).

Blauer Trace: Stereobetrieb, L=R

Grüner Trace: Stereobetrieb, L=-R

Schwarzer Trace: Monobetrieb

Der Wunsch nach einer stereophonen Rundfunkübertragung führte schon bald zu der Entwicklung des FM-Multiplexkonzeptes. Wie in Abb. 3.1 dargestellt, wird aus dem (stereophonen) Audiosignal ein Summen- und Differenzanteil gebildet. Der Summenanteil enthält die Kombination des linken und rechten Audiokanals $(L + R)/2$; der Differenzanteil entsprechend die Differenz $(L - R)/2$. Der sogenannte Pilotton ($f = 19 \text{ kHz}$) dient bei diesem Verfahren als Indikator für eine Stereoübertragung. Die doppelte Frequenz des Pilottons wird mit den Differenzanteil amplitudenmoduliert (Zweiseitenband, mit unterdrücktem Träger). Darüberhinaus dient die dreifache Frequenz des Pilottons als Trägerfrequenz des RDS-Systems; die beiden Träger werden entweder phasenstarr oder orthogonal miteinander verknüpft. Die Einführung dieses Multiplexschemas ermöglichte die Weiternutzung rein monophon arbeitenden Empfänger, während neuere Empfänger die Sendungen in Stereo wiedergeben konnten. Im Laufe der Jahre kam die Einführung des RDS-Datenfunks als weiteres Element im Multiplex hinzu.

Prinzipiell gesehen sind die Anforderungen zum Empfang einer Sendung im Monomodus geringer, da die Empfänger schon bei geringeren Eingangsspannungen ansprechen und insgesamt rauschfreiere Wiedergabe des Programminhalts ermöglichen. Auch die Störresistenz des Monosystems ist gegenüber der Stereoübertragung höher. In einigen Empfangssituationen (Mehrwegeempfang, starke Interferenzen durch Nachbarsender, geringer Empfangspegel ausserhalb des planerischen Versorgungsgebietes) kann der Hörer durch Umschalten des Empfängers daher in solchen Fällen Verbesserungen wahrnehmen.

Eine wesentliche Ursache hierfür ist, daß systembedingt die Rauschleistungsdichte im Monomodus geringer ist, da das Rauschen aus den höherfrequent gelegeneren Multiplexanteilen nicht mehr durch die Dekodierung und Rekombination der L/R-Anteile nicht mehr zum Tragen kommt.

Eine anschauliche Erklärung dieses Verhaltens wird in [Mäu88, S. 143ff., S. 166ff.] gegeben. Im Folgenden wird der Verlauf der NF-Rauschleistungsdichte bei den beiden Übertragungsverfahren hergeleitet und miteinander verglichen:

Der Frequenzgang des Deemphasefilters ist

$$H_{de}(f) = \frac{1}{1 + (f/f_g)^2}$$

mit einer Grenzfrequenz von

$$\begin{aligned}\tau &= 50 \mu\text{s} \\ f_g &= \frac{1}{2\pi\tau} \\ f_g &= \frac{1}{2\pi \cdot 50 \mu\text{s}} \\ f_g &= 3,18 \text{ kHz}\end{aligned}$$

Die Rauschleistungsdichte bei einer Übertragung im Monomodus ergibt sich am Ausgang des Demodulators mit einer (empfängerabhängigen) Demodulatorkonstanten k_D , der (weißen) Rauschleistungsdichte P'_R , der Rauschfrequenz f_R , der Trägerleistung P_T und des Bezugswiderstands R zu

$$\Phi_{mono}(f_R) = k_D^2 \cdot 2 \cdot f_R^2 \cdot \frac{P'_R}{P_T} \frac{1}{2R} \cdot H_{de}(f_R)$$

Normierung von $\Phi_{mono}(f_R)$ auf die Rauschleistungsdichte bei der höchsten Signalfrequenz $\epsilon = \Phi_{mono}(f_{s,max} = 15 \text{ kHz})$ liefert

$$\begin{aligned}\Phi_{mono,norm}(f_R) &= \frac{\Phi_{mono}(f_R)}{\Phi_{mono}(15 \text{ kHz})} \\ \Phi_{mono,norm}(f_R) &= \frac{f_R^2}{1 + (f_R/f_g)^2} \cdot \frac{1}{\epsilon}\end{aligned}\tag{3.1}$$

Im Stereobetrieb muß nun der Rauschanteil des Differenzkanals mitberücksichtigt werden, der Anteile aus dem oberen und unteren Seitenband mit einer Bandbreite von $\pm 15 \text{ kHz}$ um den Hilfsträger mit

$f_H = 38 \text{ kHz}$ beinhaltet.

$$\begin{aligned}\Phi_{\text{stereo}}(f_R) &= k_D^2 \cdot 2 \cdot \frac{P'_R}{P_T} \frac{1}{2R} \cdot [f_R^2 + (f_H - f_R)^2 + (f_H + f_R)^2] \cdot H_{de}(f_R) \\ \Phi_{\text{stereo}}(f_R) &= k_D^2 \cdot 2 \cdot \frac{P'_R}{P_T} \frac{1}{2R} \cdot (2f_H^2 + 3f_R^2) \cdot H_{de}(f_R) \\ \Phi_{\text{stereo}}(f_R) &= k_D^2 \cdot 2 \cdot f_R^2 \cdot \frac{P'_R}{P_T} \frac{1}{2R} \cdot H_{de}(f_R)\end{aligned}$$

Normierung auf ϵ liefert:

$$\Phi_{\text{stereo,norm}}(f_R) = \frac{2f_H^2 + 3f_R^2}{1 + (f_R/f_g)^2} \cdot \frac{1}{\epsilon} \quad (3.2)$$

Trägt man $\Phi_{\text{mono,norm}}(f_R)$ sowie $\Phi_{\text{stereo,norm}}(f_R)$ über der Frequenz auf, so ergibt sich der in Abb. 3.3 dargestellte Verlauf der Rauschleistungsdichte. Es ist deutlich erkennbar, daß diese im Stereobetrieb wesentlich größer als im Monomodus ist. Der Preemphasegewinn ist im Stereobetrieb (durch die mehrfache Gewichtung) höher als im Monomodus; die Rauschleistungsdichte liegt dennoch auch in dem höheren Frequenzbereich über derjenigen im Monomodus. Das Verhältnis der gesamten Rauschleistung im genutzten Signalbereich ergibt sich aus

$$\frac{P_{R,\text{stereo}}}{P_{R,\text{mono}}} = 20 \log \left(\int_{f_R=0 \text{ kHz}}^{f_R=15 \text{ kHz}} \frac{\Phi_{\text{stereo,norm}}(f_R)}{\Phi_{\text{mono,norm}}(f_R)} df_R \right)$$

zu

$$\frac{P_{R,\text{stereo}}}{P_{R,\text{mono}}} = 20 \log(118,9) = 20,8 \text{ dB} \quad (3.3)$$

Dies heißt, daß bei gleichen HF-Verhältnissen im Monobetrieb das Grundrauschen prinzipbedingt um 20,8 dB geriner als im Stereomodus ist. Daher erklärt sich unter anderem auch die Verbesserung in schwierigen Empfangssituationen beim Umschalten in den Monomodus, da die Rauschleistung inkl. evtl. vorhandener Störungen des Differenzsignals nicht mehr zum Tragen kommen. Zusätzlich wird im Monobetrieb durch den Wegfall des Pilottons und des Differenzsignals eine Hubreserve von ca. 10% frei¹, die durch Erhöhung des Signalanteils zu einem weiter erhöhtem S/N führt. Bei Verwendung des Gewichtungsfilters nach [ITU02b] wird durch den überaus hohen Anteil der spektral tiefen Rauschkomponenten im Stereobetrieb das Verhältnis sich auf ca. 25 dB verbessern. Da in frequenzmodulierten Systemen das $(S/N)_{NF}$ proportional zu dem $(S/N)_{HF}$ ist kann dieser Unterschied durch einen erhöhten HF-Pegel kompensiert werden. Dies entspricht der Eingangs erwähnten Tatsache, daß Empfänger im Monobetrieb bei geringeren Eingangspegeln bereits eine höhere Signalqualität als im Stereomodus erreichen.

¹je nach Programmmaterial

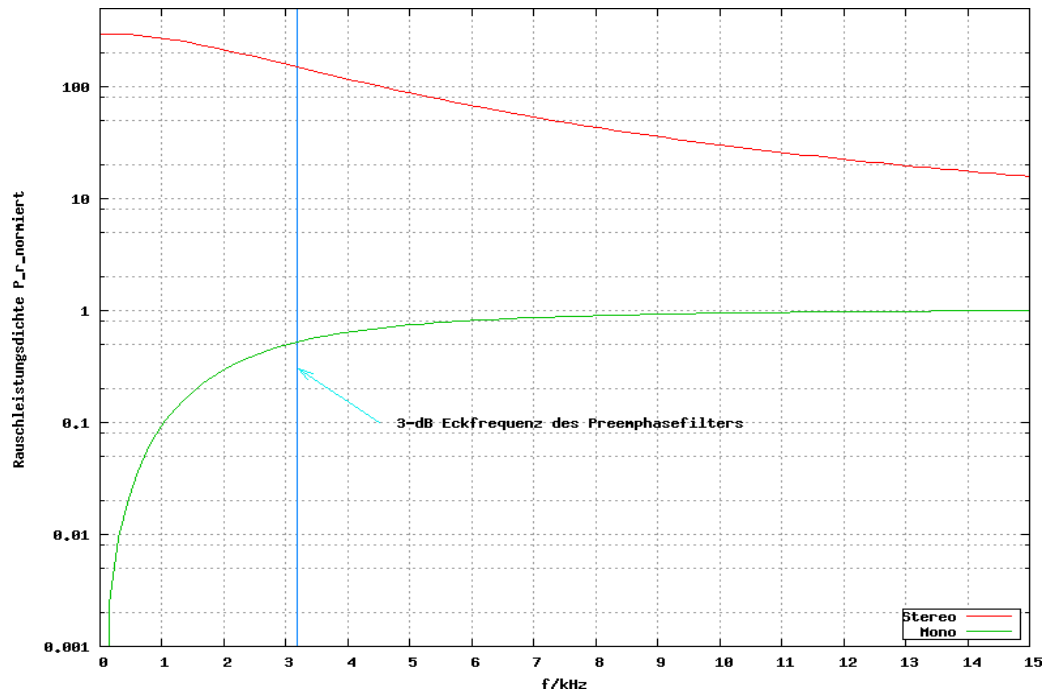


Abb. 3.3.: Vergleich der Rauschleistungsdichte, normiert auf $\Phi_{mono}(f_R = 15 \text{ kHz})$ unter Berücksichtigung der Preemphase ($\tau = 50 \mu s$)

Eine typische Darstellung des Verhaltens von Empfängern ist in Abb. 3.4 dargestellt, an denen die oben genannten Effekte klar zu sehen sind.

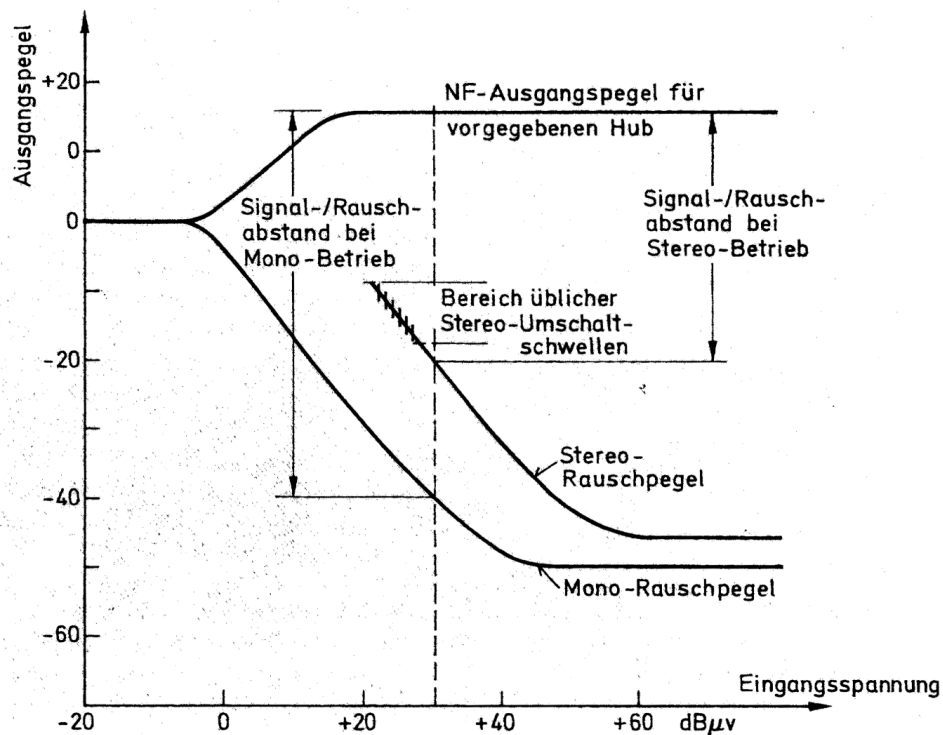


Abb. 3.4.: NF-Ausgangspegel und Rauschpegel bei Mono- und Stereobetrieb in Abhängigkeit der HF-Eingangsspannung; Signal-/Rauschabstand, aus: [Pes82]

Die Carsonbandbreite, in der 99% der Seitenbänder enthalten sind ergibt sich mit dem Frequenzhub

Δf_T und der maximalen (Basisband-)Signalfrequenz $f_{s,max}$ gemäß

$$B_{99\%} = 2 \cdot (\Delta f_T + 2f_{s,max}) \quad \text{s. z.B. [Mäu88]}$$

Für verschiedene Sendeverianten ergeben mit dem max. zugelassenem Frequenzhub von $\Delta f_T = \pm 75 \text{ kHz}$ sich beispielhaft folgende Carsonbandbreiten:

Sendart	$f_{s,max} / \text{kHz}$	$B_{99\%} / \text{kHz}$
Mono	15	210
Stereo	53	362
Mono oder Stereo, mit RDS	60	390

Tab. 3.1.: Carson-Bandbreiten für verschiedene Sendeverianten

Im Modus 'Mono, mit RDS' vergrößert sich die Bandbreite aufgrund des RDS-Trägers; an der Bandbreitenanforderung für die Audioübertragung ändert sich nichts.

3.3. Regulative Eckdaten, Grenzwerte, wichtige Normen u. Vorschriften

Zur Regelung des Sendespektrums gilt für die Haupt- und Nebenaussendungen eines UKW-FM-Senders folgende Spektrumsmaske:

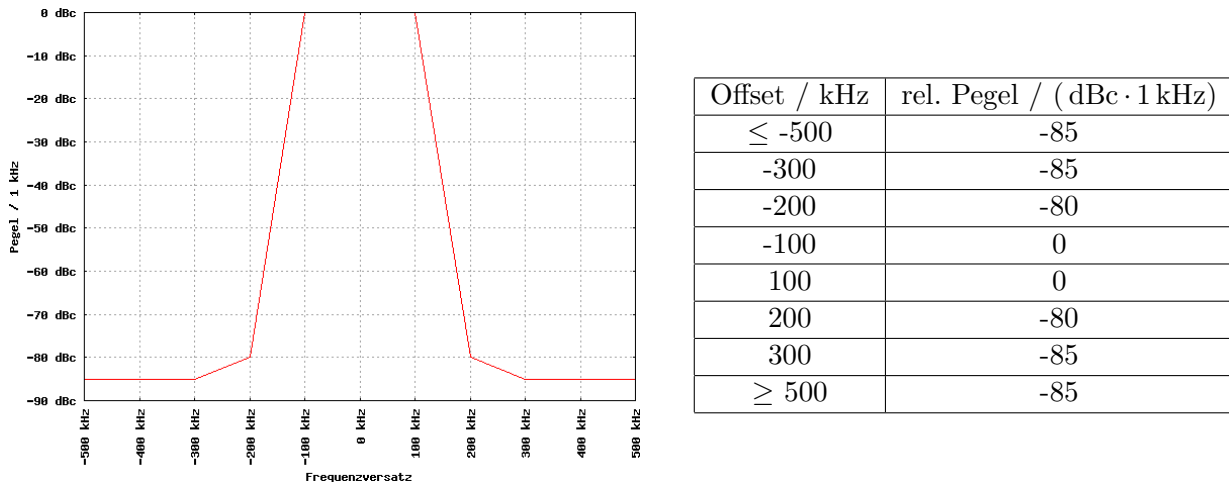


Abb. 3.5.: Spektrumsmaske für den UKW-FM-Rundfunk gem. [Eur06]

Zur Funknetzplanung gelten lt. [ITU02a] die in Tab. 3.2 bzw. Tab. 3.3 verzeichneten Mindestnutzfeldstärken zur Versorgung eines Empfangortes. In [Gem82] sind diese Tabellen auf den Empfangsfall 'Ländlich' reduziert worden.

Empfangsumgebung	Mono	Stereo
Ländlich	48	54
Städtisch	60	66
Großstadt	70	74

Tab. 3.2.: Mindestnutzfeldstärke E_{min} / dBμV/m zur Versorgung eines Empfangsortes inkl. verschiedener Aufschläge des Umgebungsrauschens; 10 m Antennenhöhe. Aus: [ITU02a]

Mono	Stereo
34	48

Tab. 3.3.: Mindestnutzfeldstärke E_{min} / dBμV/m zur Versorgung eines Empfangsortes, Rauschfreie Umgebung; 10 m Antennenhöhe aus: [ITU02a]

Aufgrund der geringeren (planerischen und praktischen) Feldstärkeanforderungen wird in [Gem82] explizit darauf hingewiesen, daß insbes. zum Monoempfang in der Regel die (ebenfalls dort verzeichnete) zumutbare Richtantenne nicht notwendig ist.

Frequenzversatz / kHz	Mono / dB	Stereo / dB
0	36	45
25	31	51
50	24	51
75	16	45
100	12	33
150	8	18
200	6	7
250	2	2
300	-7	-7
350	-15	-15
400	-20	-20

Tab. 3.4.: Schutzabstände für den FM-Rundfunkempfang, Dauerstörungen, aus: [Gem82]

Wie man Tabelle 3.4 entnehmen kann, ist der Empfang einer Monosendung im interferenzbegrenztem Umfeld störungsresistenter als im Stereofall. Das heißt, daß an Orten an denen aufgrund einer zu geringen Nutzfeldstärke, sondern aufgrund der Störsituation nur mangelhafter Empfang möglich ist, durch die Zwangsumschaltung in den Monomodus (in diesem Fall durch den Sender, da die manuelle Monoumschaltung kaum noch bei dem Gros der heutzutage auf dem Markt befindlichen Empfänger möglich ist) eine Besserung der Situation erreicht werden kann. Umgekehrt kann aus dieser Betrachtung – im rauschbegrenztem Fall – der Schluß gezogen werden, daß bei Umschaltung zum Monomodus (senderseitig) je nach Störsituation eine Leistungsreduktion unter Beibehaltung des bisherigen Versorgungsgebietes erfolgen kann, was in der Regel allerdings nicht den realen Gegebenheiten entspricht da das UKW-Netz an den meisten Orten interferenz- und nicht rauschbegrenzt ist, so daß eine solche Maßnahme sich negativ auf die Versorgungssicherheit äußern würde.

Befremdlicherweise repräsentieren die Planungswerte in [Gem82] (gleiche Werte wie in [ITU02a]) einen Wert, bei dem im Interferenzfall ein Audio-S/N von 50 dB gewährleistet ist. Der (hypothetische) Referenzempfänger zur Netzplanung aus [ITU90] (dort auch als 'average receiver' bezeichnet) wird mit einem S/N von 40 dB angenommen - bei Empfangsfeldstärken mit eingebauten Antennen² von 50 dBµV/m deutet dies auf eine wesentlich höhere Feldstärke in der planerischen Antennenhöhe von 10 m hin. Allerdings muß davon ausgegangen werden, daß diese Richtlinie nicht zum Einsatz in bestehenden Netzen (wie z.B. in der BRD) gedacht ist, sondern als Basis beim Aufbau neuer UKW-Rundfunknetze dienen soll.

	Steilheit / %/ kHz	Echoanteil · Echolaufzeit/ % · µs
Mono	6,0	960
Stereo	2,0	320

Tab. 3.5.: Max. zulässige Reflexionen am Empfangsort, aus: [Gem82]

Tabelle 3.5 kann entnommen werden, daß Sendungen im Monomodus im reflexionsbehafteten Umfeld (z.B. im mobilen Fall oder hügeligen Regionen) unempfindlicher gegenüber Laufzeitverzerrungen sind, was zu einer besseren wahrgenommenen Empfangbarkeit einer Sendung führt. Dies sowie die geringeren Anforderungen an den Schutzabstand bei Monosendungen kann auf die Verteilung von Störungen im Funkkanal auf das Differenz- und Summensignal im Stereofall zurückgeführt werden.

Darüberhinaus ist ein reines Monosignal schmalbandiger (geringere Carsonbandbreite, s. Tab. 3.1 sowie Abb. 3.2), so daß ein (frequenzmässig) sehr dicht gelegener Störer bei Zurückschaltung des Nutz-

²keine klarere Definition verfügbar, auch die konkrete Empfangssituation (inhouse / outdoor) wird nicht näher spezifiziert

senders vom Stereo- zum Monomodus weniger das Nutzsignal überlagert; das FM-typische dreiecksförmige Leistungsdichtespektrum (bei unkomprimiertem Modulationssignal) verschmälert sich, d.h. die Seitenbänder sind in einem schmäleren Band konzentriert als im stereophonen Fall.

Für beide Sendarten gilt, daß der Spitzenhub Δf_{max} auf ± 75 kHz begrenzt ist. Die sog. Multiplexleistung P_{MPX} darf 0 dBr nicht überschreiten. $P_{MPX} = 0$ dBr repräsentiert die Modulationsleistung eines sinusförmigen Einzeltons (ohne Pilotton und ohne Zusatzsignale), der einen Spitzenhub von ± 19 kHz verursacht, s. z.B. [Deu94]:

$$P_{MPX}/\text{dBr} = 10 \log \left(\frac{2}{60 \text{ s}} \int_t^{t+60 \text{ s}} \left(\frac{\Delta f(t)}{19 \text{ kHz}} \right)^2 dt \right) \quad (3.4)$$

Auf diese Art und Weise wird die spektrale Form bzw. die Hubverteilung limitiert, so daß eine übermäßige, quasi-dauerhafte Störung durch hohe Frequenzablagen eines Nachbarkanals begrenzt wird.

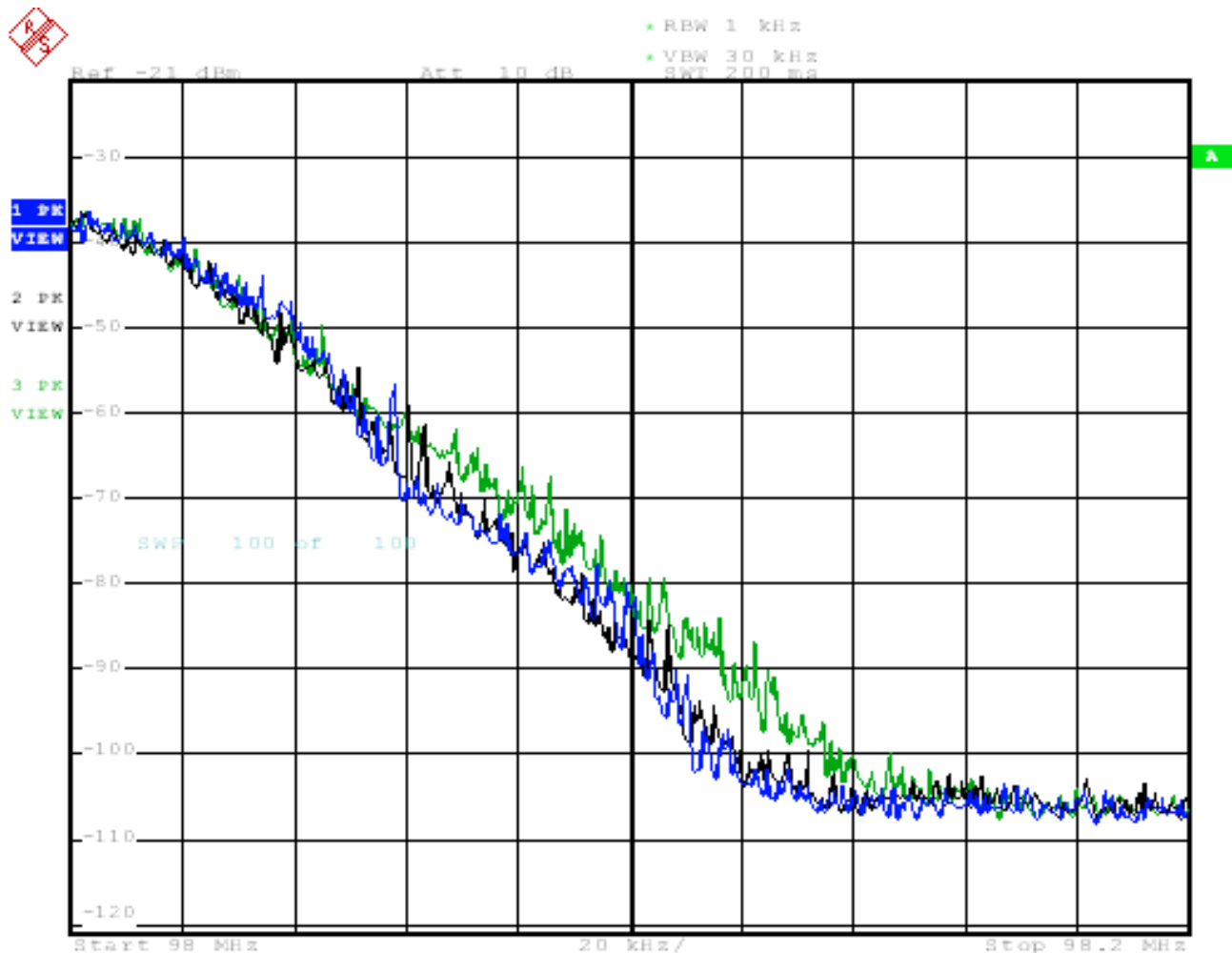


Abb. 3.6.: Nahaufnahme von FM-Spektren (Oberes Seitenband) in unterschiedlichen Konfigurationen. Modulation jew. mit gefärbtem Rauschen und RDS. MPX-Leistung jew. 0 dBr; Peakdetektor mit Maxhold (jew. 100 Sweeps).
 Trace 1 (blau): Monomodus ($\Delta f_{max} = 68$ kHz)
 Trace 2 (schwarz): Stereomodus, L=R ($\Delta f_{max} = 62$ kHz)
 Trace 3 (grün): Stereomodus, L=R/2 ($\Delta f_{max} = 70$ kHz)

In Abb. 3.6 ist zu erkennen, daß die prinzipielle Form der Aussendung sich bei einer Monoumschaltung (Modulation mit gefärbtem Rauschen) sich quasi nicht ändert (vgl. blauer u. schwarzer Trace), wenn die quasi-Monophone Übertragung (L=R) zu einer echten Monoübertragung geschaltet wird.

Natürlich bestehen Unterschiede, z.B. durch den Pilotton der allerdings bei einer solchen starken Aussteuerung nicht klar erkennbar ist; obenstehende Abbildung soll insbes. die Verteilung des Spektrums darstellen. Auch im Falle des grünen Traces ist der wesentliche Unterschied lediglich durch den höheren Hub durch die Nutzung des Differenzkanals (bei gleicher MPX-Leistung) zu bemerken; dadurch das dieser Bereich nun genutzt wird entsteht entsprechend die leichte Ablösung von den anderen Traces.

In der nachfolgenden Abbildung wurde das Signal eines privaten Veranstalters mit mittlerer Kompression via Ballempfang einmal im Stereo- bzw. Monomodus dem Testsender (inkl. RDS aus eigener Quelle) aufmoduliert. Die MPX-Leistung betrug in beiden Fällen jew. ca. 0 dBr. In der Aufnahme ist gut zu erkennen, daß spektral auch hier keine wesentliche Änderung der Leistungsdichte in Bereich der Seitenbänder auftritt, so das aufgrund dieser Verteilung nicht von einer signifikanten Veränderung im Störpotential der Sendevarianten gegenüber anderen Sendern bei Kanalüberschneidungen auszugehen ist.

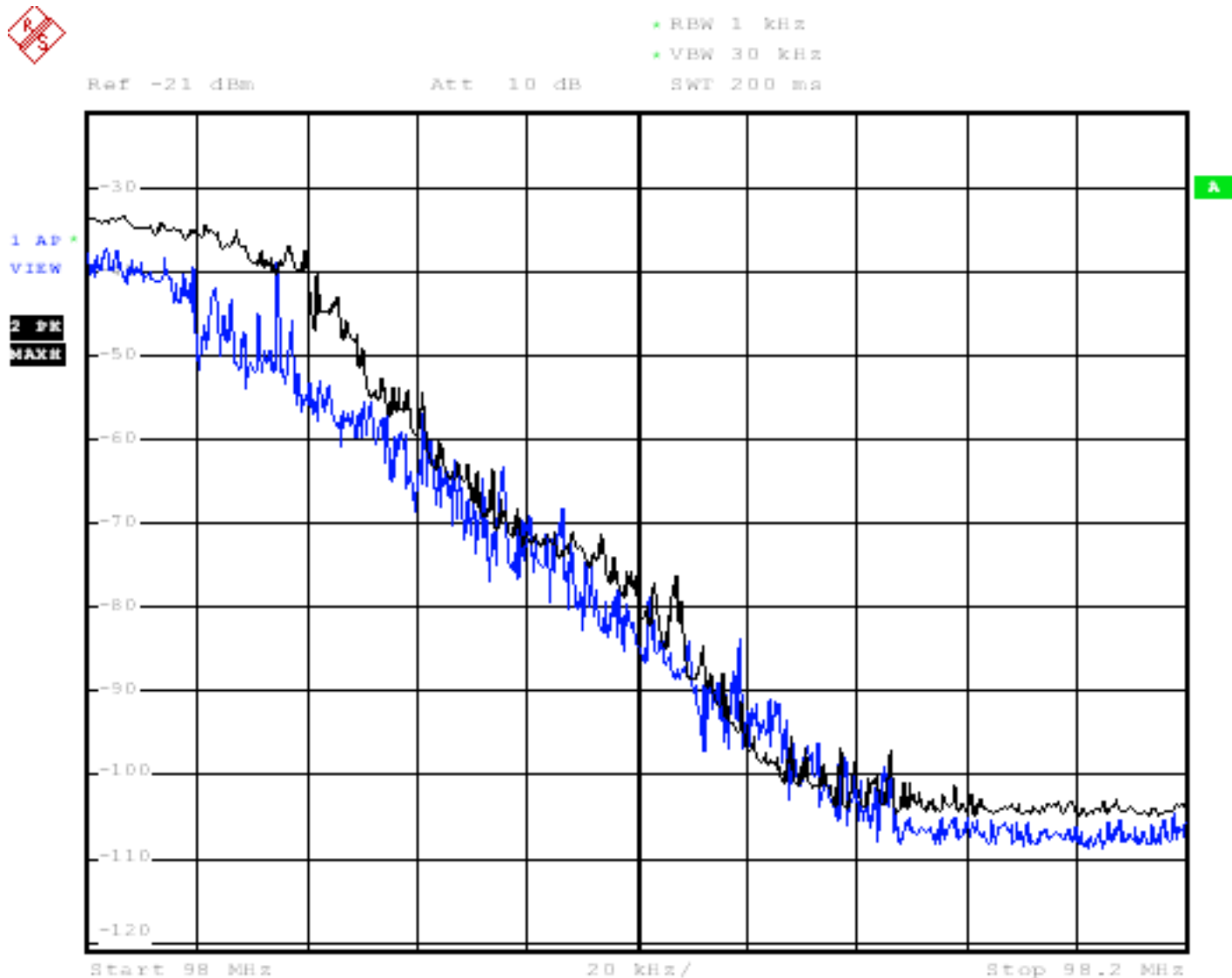


Abb. 3.7.: Nahaufnahme von FM-Spektren (Oberes Seitenband), reales Sendesignal.

Trace 1 (blau): Stereo

Trace 2 (schwarz): Mono

Spitzenwertdetektor, Maxhold-Modus, MPX-Leistung jew. ca. 0 dBr; Spitzenhub nicht größer als 75 kHz.

4. Laboruntersuchungen

4.1. Verwendete Empfänger

Insgesamt standen vier unterschiedliche Empfänger aus verschiedensten Quellen zur Verfügung. Dabei gab es Geräte aus den Kategorien

- Empfänger zum stationären Empfang (Mini-HiFi-Anlagen, UKW-Tuner höherwertigerer HiFi-Anlagen) (SE)
- Empfänger zum mobilen Empfang im KFZ (ME)
- Empfänger zum portablen Empfang (PE)

Rx	SE	ME	PE	Name
1	X			JVC CA-MX55RMB Hifi Rack
2		X		Blaupunkt Woodstock DAB54
3		X		Blaupunkt Heidelberg RCM40
4			X	Pure Digital Evoke-2

Tab. 4.1.: FM-Empfängertypen

Bei allen Empfängern wurden die Testsignale über den externen Antenneneingang eingespeist. Die Auswahl ist als nicht repräsentativ anzusehen, kann jedoch aber einen guten Überblick über das Verhalten der unterschiedlichen Empfängerklassen im Rahmen dieser Studie liefern.

4.2. Empfindlichkeitsmessungen

4.2.1. Beschreibung

Diese Messung dient zur Aufnahme der Eingangs-/Ausgangskennlinie der jeweiligen Empfänger gem. [Deu98]. Es wurde der in Abb. 4.1 dargestellte Messaufbau verwendet. Die Messung selbst verläuft in drei Stufen:

1. Einpegeln der Testsignale (Hub, Frequenz, Pegelkalibrierung)
2. Variation des Signalpegels bei Vollhub
3. Variation des Signalpegels ohne (NF-)Modulationssignal

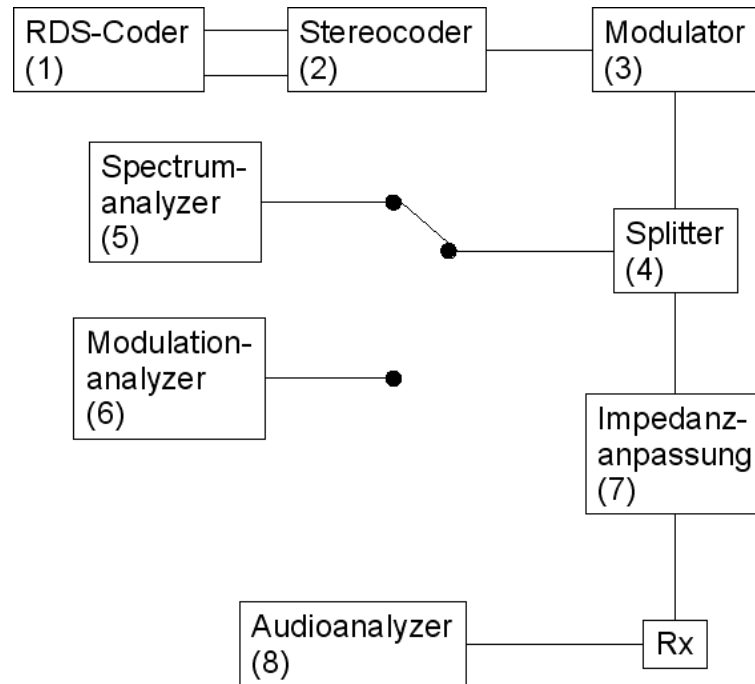


Abb. 4.1.: Blockschaltbild zur Empfindlichkeitsmessung. Die Zahlenangaben in Klammern beziehen sich auf die Geräteliste in Anhang A.

Die Differenz des NF-Pegels bei Vollhub zu dem NF-Pegel des quasi unmodulierten Senders am Empfänger Ausgang ergibt den Signal-zu-Geräuschabstand (S/N). Die Rauschspannung wird mit dem Formfilter gem. [ITU02b] gewichtet.

Hierzu wird – unter Beibehaltung des vorgegebenen RDS-Pegels – für den Mono- bzw. Stereobetrieb ein Gesamtspitzen-spitzenhub von $\Delta f = \pm 75 \text{ kHz}$ durch einen entsprechend gepegelten Prüftone mit ($f_p = 500 \text{ Hz}$) erzeugt. Das durch den Audioanalyzer auf 15 kHz bandbegrenzte NF-Signal am Empfänger Ausgang wird gemessen („S“). Die Messung wird unter Variation des HF-Eingangssignalpegels wiederholt und die Abhängigkeit $U_{s|dBu} = f(L_{HF})$ erfasst. Im nächsten Schritt wird der Prüftone abgeschaltet. Die Meßsequenz wird wiederholt. Das mit dem Formfilter [ITU02b] gewichtete, weiterhin bandbegrenzte Rauschen am Empfänger Ausgang wird gemessen und somit die Abhängigkeit $U_{n|dBu} = f(L_{HF})$ erfasst („N“). Das S/N ergibt sich letztendlich aus $(S/N) = U_s/\text{dBu} - U_n/\text{dBu}$. Der Eingangspegel wird danach erhöht und die Messung wird erneut vorgenommen. Auf diese Weise entsteht ein Diagramm ähnlich zu Abb. 3.4, an dem man die notwendige Empfängereingangspegel für ein vorgegebenes S/N im rauschbegrenztem Empfangsfall ablesen kann. Darüberhinaus kann man das Verhalten und den Verlauf der Signal-/Rauschspannung im Mono- bzw. Stereobetrieb erkennen.

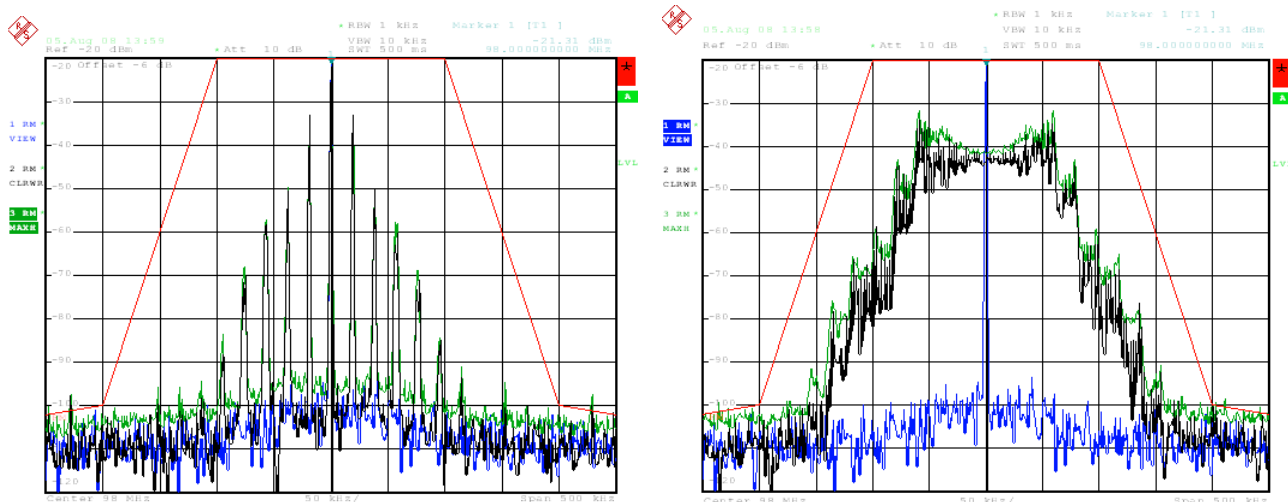


Abb. 4.2.: Spektrum eines FM-Senders, nur mit Piloten und RDS moduliert (links); zusätzlich mit 500 Hz Prüftone moduliert (rechts).

Blauer Trace: unmodulierter Träger zur Pegelreferenz

Schwarzer Trace: Momentanwertaufnahme

Grüner Trace: Max. Hold.

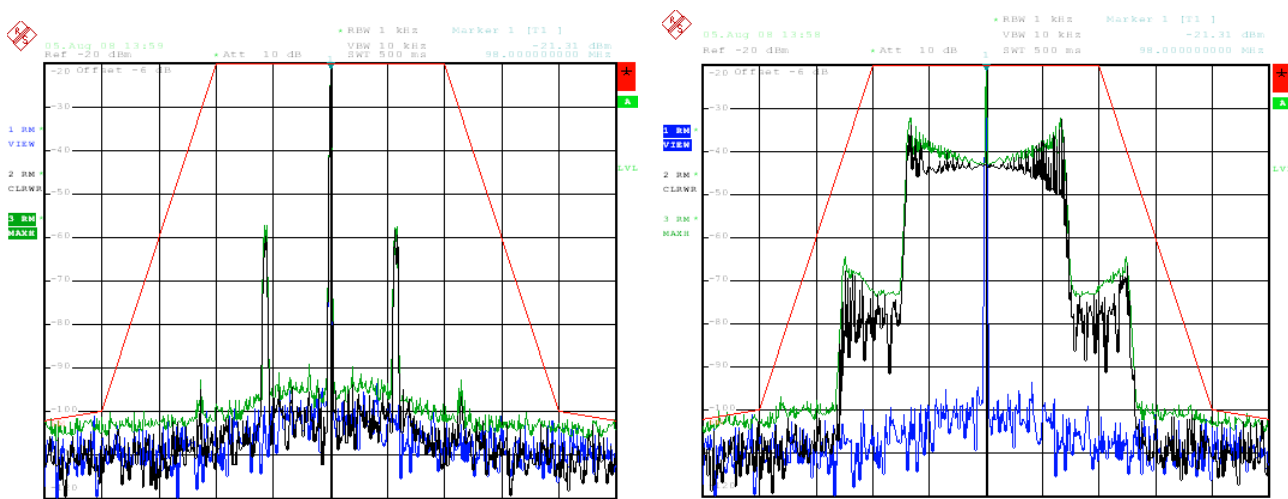


Abb. 4.3.: Spektrum eines FM-Senders, nur mit RDS moduliert (links); zusätzlich mit 500 Hz Prüftone moduliert (rechts).

Blauer Trace: unmodulierter Träger zur Pegelreferenz

Schwarzer Trace: Momentanwertaufnahme

Grüner Trace: Max. Hold.

4.2.2. Ergebnis

Im folgenden werden die Ergebnisse dieser Einzelmessungen zusammengestellt. Die detaillierten Meßprotokolle sind in Anhang B dargestellt. Abb. 4.4 zeigt exemplarisch das Ergebnis für Rx1. Dieser verfügt (als einziges der geprüften Geräte) eine Stummschaltungseinrichtung, d.h. bei zu geringem Eingangspegel wird der Demodulator abgeschaltet. Der prinzipielle Kurvenverlauf deckt sich mit den theor. Erwartungen (vgl. Abb. 3.4). Eine automatische Stereo-/Monoschaltung scheint nicht vorhanden zu sein; die Rauschkurven weisen einen stetigen Verlauf auf. Bei Rx2 u. Rx3 kann man die Schaltschwelle an dem Einbruch der (S/N) -Kurve im Bereich zwischen $(30 \cdots 35) \text{ dB}\mu\text{V}$ erkennen (Abb. 4.5), während bei Rx4 ebenfalls keine Stereoschwelle erkennbar ist.

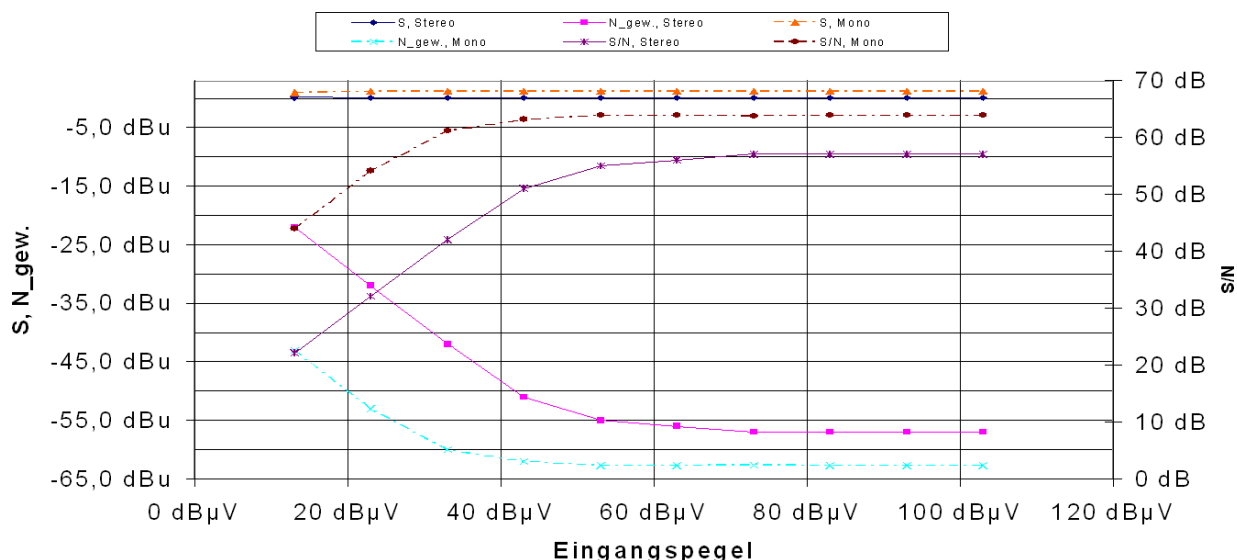


Abb. 4.4.: Beispiel des Ergebnisses einer Empfindlichkeitsmessung (Rx1)

In der nachfolgenden Abbildung 4.5 ist der auf oben beschriebene Weise ermittelte S/N-Verlauf aller Empfänger dargestellt. Zusätzlich wurden horizontale Linien bei 40 dB sowie 50 dB eingetragen, durch welche die notwendigen Eingangspegel für ein gegebenes S/N ermittelt werden können.

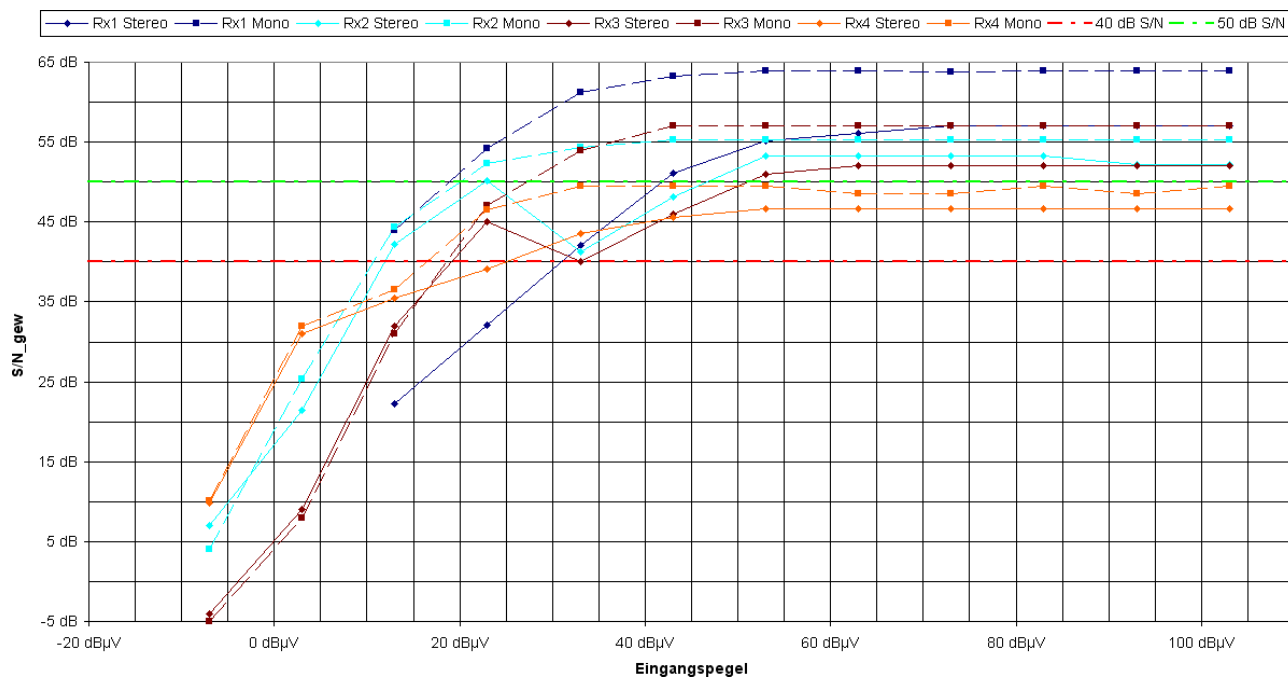


Abb. 4.5.: (S/N)-Verlauf: alle Rx'e, beide Betriebsarten

Somit gelten für ein S/N von 50 dB folgende Empfindlichkeiten:

Rx	Pegel _{mono}	Pegel _{stereo}	Anmerkungen
1	19 dBμV	42 dBμV	
2	20 dBμV	47 dBμV	23 dBμV (stereo), interpol.
3	27 dBμV	52 dBμV	33 dBμV (stereo), interpol.
4	33 dBμV	n.v.	max=47 dB (stereo), 53 dBμV

Tab. 4.2.: Empfindlichkeit für S/N=50 dB

Analog gilt für eine Schwelle von 40 dB nachstehende Tabelle 4.3:

Rx	Pegel _{mono}	Pegel _{stereo}	Anmerkungen
1	n.v.	31 dB μ V	9 dB μ V, interpol.
2	11 dB μ V	12 dB μ V	
3	19 dB μ V	19 dB μ V	
4	17 dB μ V	25 dB μ V	37 dB (stereo), 19 dB μ V

Tab. 4.3.: Empfindlichkeit für S/N=40 dB

Aus den Tabellen kann folgender Schluß gezogen werden: zum Erreichen des hohen S/N von 50 dB ist – erwartungsgemäß nach Gl. 3.3 – im Monomodus ein wesentlich geringerer Eingangspegel notwendig. Bei der Schwelle von 40 dB ist dieser Vorteil allerdings bereits nicht mehr relevant, da die autom. Stereo-/Monoumschaltung der Empfänger¹ bei den getesteten Modellen bereits angesprochen hat. Da die Eingangsspannung bei der Messung von dem niedrigen zum hohen Pegel variiert wurde, kann an den Graphen nicht eine evtl. vorhandene Schalthysterese (bei Pegelabsenkung) ausgemacht werden. Dennoch ist davon auszugehen, daß sich im Falle der Pegelreduktion die hier dargestellte Tendenz nicht wesentlich ändert. In Bereichen hoher Eingangspegel ist das S/N ohnehin hoch, so daß der zusätzliche Gewinn durch eine senderseitige Monoumschaltung – bei alleiniger Betrachtung dieses Aspekts – einen recht unerheblichen Nutzen bietet.

Darüberhinaus ist (unter Nichtbeachtung der Stereoschwelleneigenschaft, Interpolation der Zwischenwerte) erkennbar, daß die in [ITU90, Annex 1, Abs. 2] erwähnte Skalierbarkeit (zu Zwecken der Netzplanung) des S/N (unter der Voraussetzung, daß der Empfänger im linearen Bereich arbeitet) korrekt ist, was auch der Theorie (s. z.B. [Mäu88, S. 146 f.] entspricht und auch in vorhergehenden Messreihen (außerhalb dieser hier dargestellten Untersuchungen) bestätigt wurde.

¹sofern vorhanden, Schaltschwellen bzw. Schaltverhalten jew. Empfängerabhängig.

4.3. Schutzabstandsmessungen

4.3.1. Beschreibung der Messstrecke

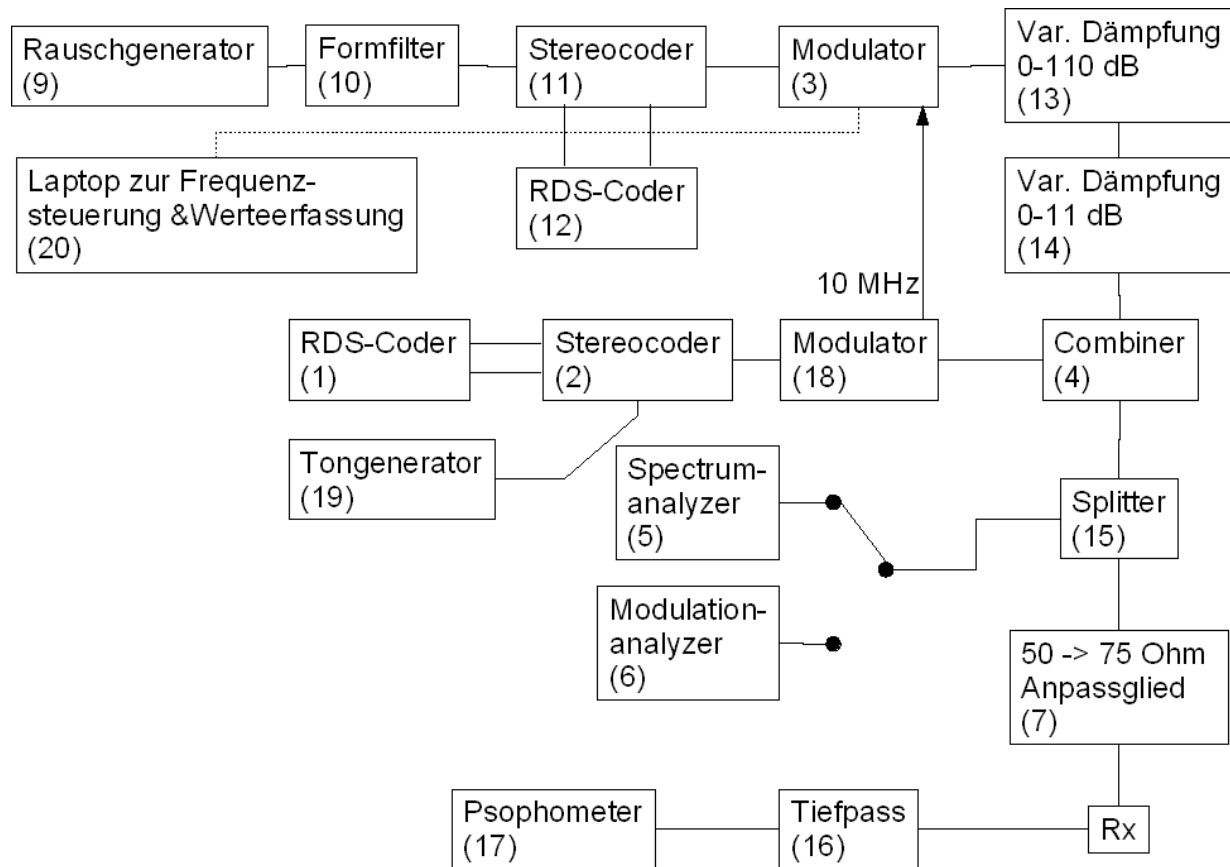


Abb. 4.6.: Blockschaltbild zur Empfindlichkeitsmessung. Die Zahlenangaben in Klammern beziehen sich auf die Geräteliste in Anhang A.

Der verwendete Messaufbau entspricht dem in [ITU02d] bzw. [Deu98]. Prinzipiell besteht der Aufbau aus einem Nutz- und einem Störsender sowie dem zu testendem Empfänger inkl. der Auswertungsmik. Mittels des Rauschgenerators und Formfilters gem. [ITU02c] wird der Stereocoder (in unterschiedlichen Konfigurationen, s.u.) angesteuert. Die nachfolgende Modulatorstufe führt die Frequenzmodulation durch und mischt das Signal auf die gewünschte Frequenz. Über die variablen Dämpfungsglieder wird der jew. gewünschte Störpegel eingestellt, so daß die spektrale Form des Störsignals beibehalten wird. Das Nutzsignal wird über den zweiten Stereocoder generiert, bei Bedarf wird über den externen Prüftongenerator ein Sinussignal eingespeist. Nach Mischung und Frequenzumsetzung durch einen Prüfsender wird dieses Nutzsignal über einen Combiner mit dem Störsignal zusammengeführt. Über einen Splitter wird ein Messabgriff zur Verfügung gestellt. Der zu testende Empfänger wird über ein breitbandiges Impedanztransformationsglied mit dem Summensignal gespeist. Das NF-Ausgangssignal des Empfängers wird nach Bandbegrenzung auf 15 kHz durch einen externen Tiefpass [Sch07a] dem psophometrischen Spannungsmessgerät zugeführt.

Das Referenzsignal wird über den Tongenerator und Stereocoder in den Meßsender eingespeist. Der resultierende, ungewichtete Empfängerausgangspegel ergibt den Referenzpegel S /dB. Nach Abschalten des Prüftons und Einschalten des psophometrischen Gewichtungsfilters gem. [ITU02b] kann der gewichtete Rauschpegel N /dB am Spannungsmessgerät abgelesen werden. Die Differenz $S - N$ ergibt den gewichteten Signal-zu-Rauschabstand (S/N /dB). Durch Zusetzen des Störsignals wird mittels Pegelvariation der Punkt gesucht, an dem bei der jeweils interessierenden Frequenzkombination das

ursprüngliche S/N um 6 dB abgenommen hat². Zum Abarbeiten der Frequenzliste der Störsenders wurde die Messautomation nach [Sch07b] verwendet, so daß die Frequenz des Störsignals automatisch verstimmt wurde und die sich ergebenden Dämpfungswerte direkt in die Messtabelle eingetragen werden konnten.

Die Differenz des Pegels der dem Empfänger ein festgelegtes S/N einprägt und desjenigen Störpegels der das o.a. Störkriterium erfüllt ergibt den sog. Schutzabstand.

Sofern nicht anders in den Protokollen vermerkt, wurde (abweichend von [ITU02d]) bei beiden Sendern jeweils das RDS-Signal dem Signalmultiplex hinzugefügt.

Die detaillierten Messprotokolle sind in Anhang C verzeichnet.

4.3.2. Vortests

Bei Messreihen in dieser Art ist es immer entscheidend welches Nutz- und Störsignal verwendet wird um möglichst treffend ein 'typisches' UKW-Signal zu simulieren. Gleichzeitig sollen die Ergebnisse möglichst universell sein, um die vielfältigen Möglichkeiten des 'typischen' UKW-Signals abzudecken (Stichwort: Art der Musik / Sprache, senderseitige Soundaufbereitung). Dazu (und als Vortest zur Ermittlung der in den obigen Abschnitten verwendeten Signale) wurde unterschiedliche Messreihen aufgenommen (nur mit Rx1), um den Einfluß der Störmodulation zu prüfen. Diese Versuche sind in der folgenden Abbildung 4.7 verzeichnet; die ausführlichen Protokolle aller befinden sich in Anhang C.

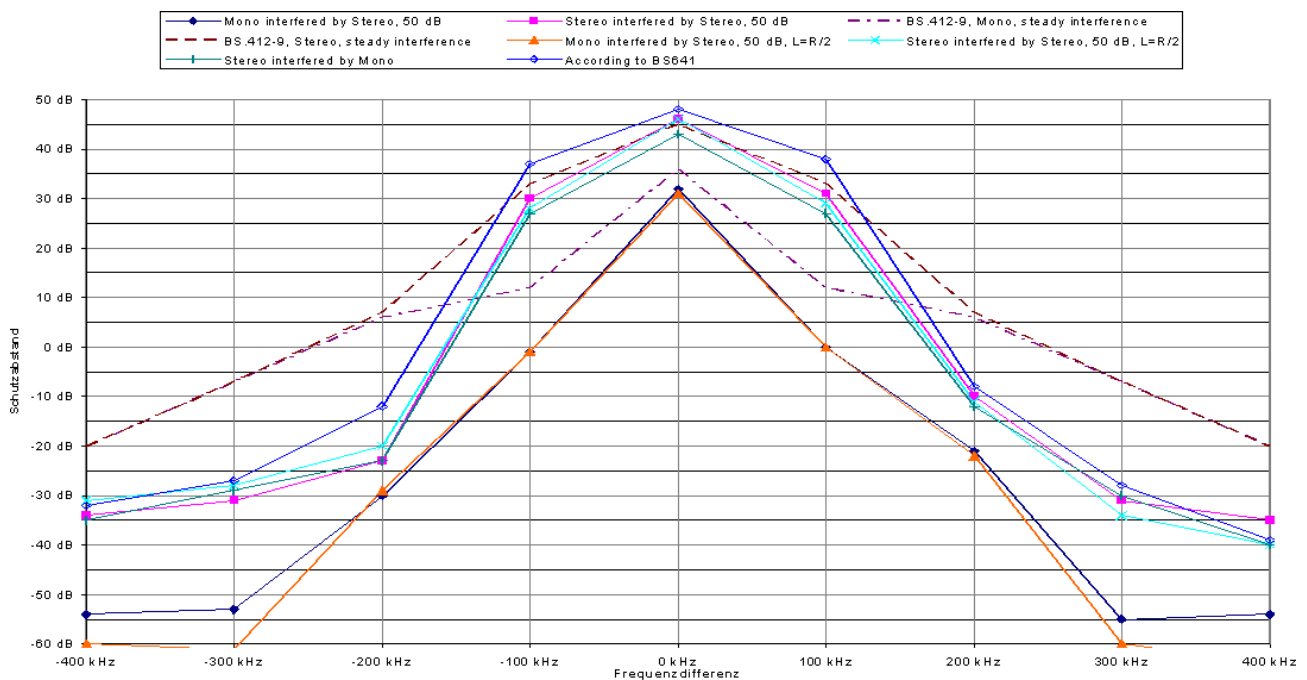


Abb. 4.7.: Einfluss verschiedener Störmodulationen auf den Schutzabstand

Man kann erkennen, daß unterschiedliche Modulationen unterschiedliche Effekte bewirken. Die Erniedrigung der Kurven gegenüber dem Normstörer (Reihe 'according to BS641') basiert insbes. auf dessen erhöhter Multiplexleistung. Zwischen den einzelnen Reihen mit einer MPX-Leistung von 0 dBr sind die Unterschiede marginal. Die Differenz bei der Monokurve zwischen den beiden Störmodulationen ist eher durch ein nichtlineares Verhalten des Empfängers aufgrund des hohen Störeingangspegels als durch die unterschiedlichen Signalarten zu begründen. Als Beispiel ist in Abb. 4.8 der Unterschied der beiden Störsignale (mit eingeschaltetem Prüftönen des Nutzsenders) festgehalten.

²Die Rauschspannung hat sich somit an diesem Punkt aufgrund des Störsignals verdoppelt.

A
LVL

2 款M
M九文註

2 款M
M九文註

2 款M
M九文註

2 款M
M九文註

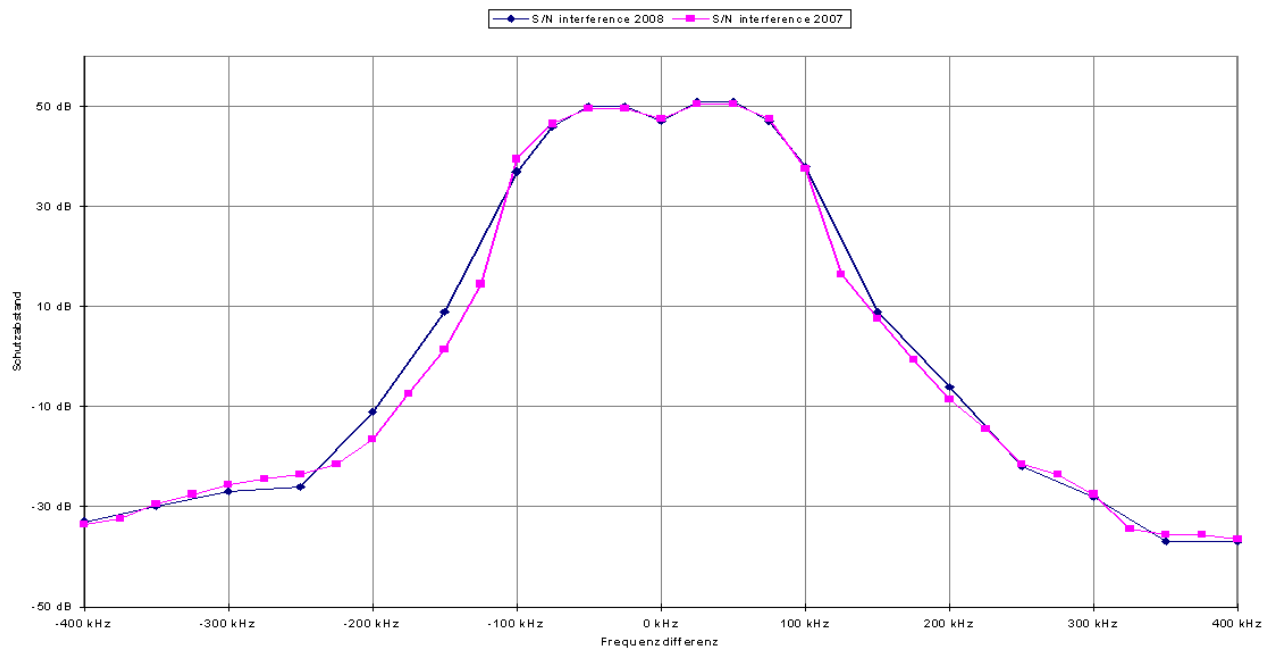


Abb. 4.9.: Gegenüberstellung der Ergebnisse aus [HSE07],[SSR07] und des zu dieser Arbeit verwendeten Aufbaus

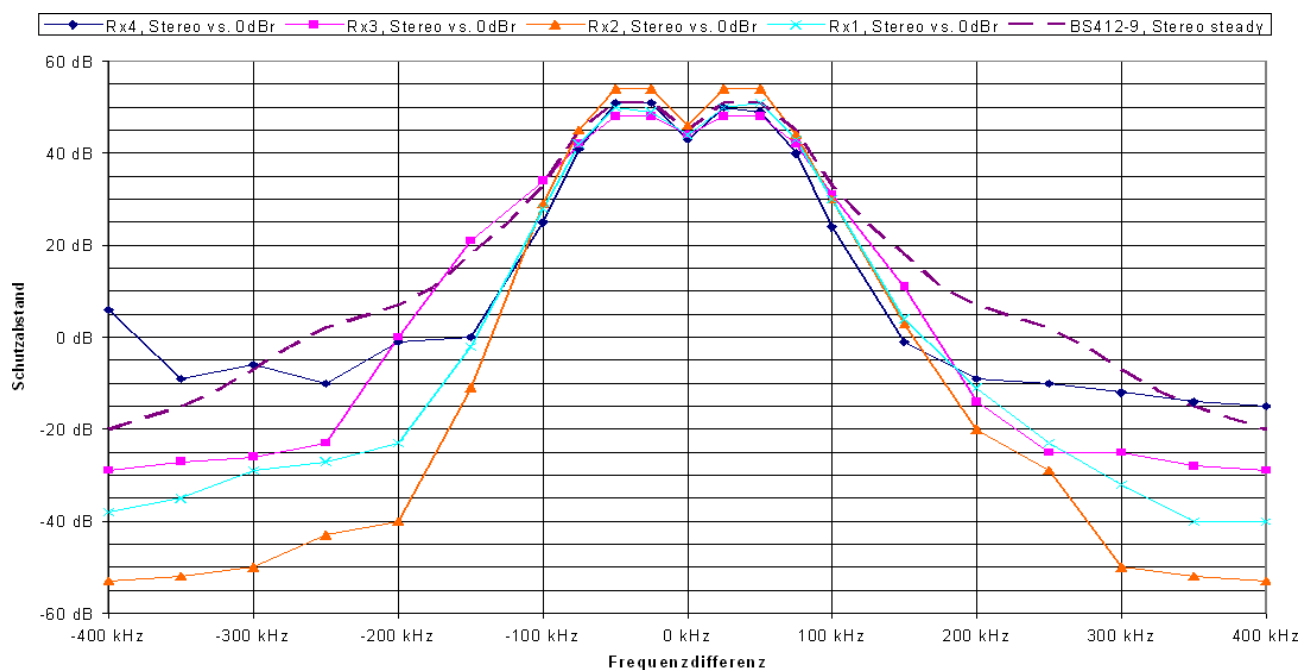


Abb. 4.10.: Schutzabstände für den UKW-Stereorundfunk, Rx1 – Rx4

4.3.5. Messung mit abgewandeltem Störsignal, Mono

Diese Messung wurde analog zu dem vorigen Abschnitt 4.3.4 durchgeführt, mit dem Unterschied daß der Nutzsender als Monosender betrieben wurde. Für die einzelnen Empfänger ergeben sich die in der folgenden Abbildung dargestellten Ergebnisse.

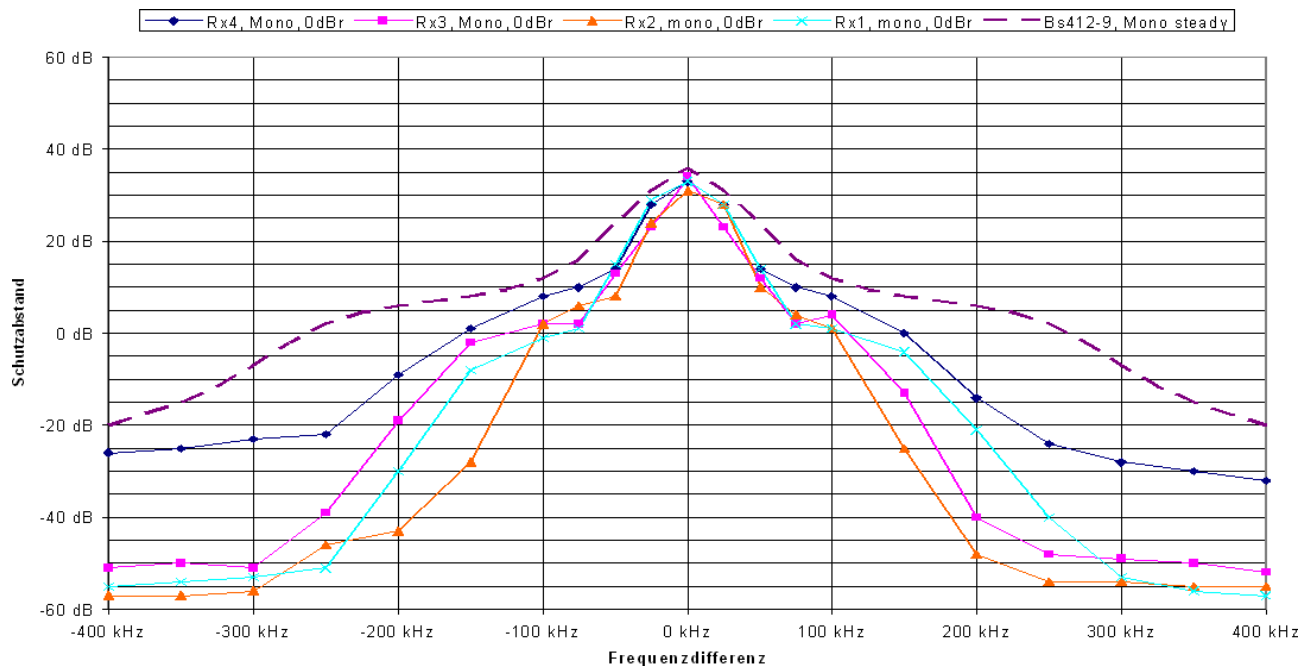


Abb. 4.11.: Schutzabstände für den UKW-Monorundfunk, Rx1 – Rx4

4.3.6. Variante 40 dB

Als zusätzliche Untersuchung wurde die Variation des Störkriteriums der Abfalls des gewichteten SNR von 46 dB auf 40 dB gefordert. Wie bereits in Kapitel 3.3 geschildert ist gem. [ITU90] die rechnerische Adaption der Schutzabstände auf unterschiedliche S/N-Werte möglich, was sich bereits in früheren Arbeiten bestätigt hat. Zur Messung wurde das Störsignal gem. [ITU02d] erzeugt und die Messung einmal mit dem 50 dB- und dem 40 dB-Kriterium durchgeführt. Zusätzlich wurden die Werte der 50 dB-Messung auf 40 dB extrapoliert und mit in die Abbildung 4.12 aufgenommen. Man kann erkennen das innerhalb der Messunsicherheit eine gute Übereinstimmung zwischen der Extrapolation und der Messung besteht, so daß auf weitere Messungen dieser Variante verzichtet wurde. Die Abweichungen bei größeren Frequenzablagen sind insbes. durch Nichtlinearitäten aufgrund des hohen Summeneingangspegels zu erklären. Es ist zu beachten das im Falle von Rx4 diese Extrapolationsmethode angewandt wurde um seine Messwerte in die Reihen der anderen Empfänger mit aufzunehmen, was entsprechend in den Messprotokollen vermerkt wurde.

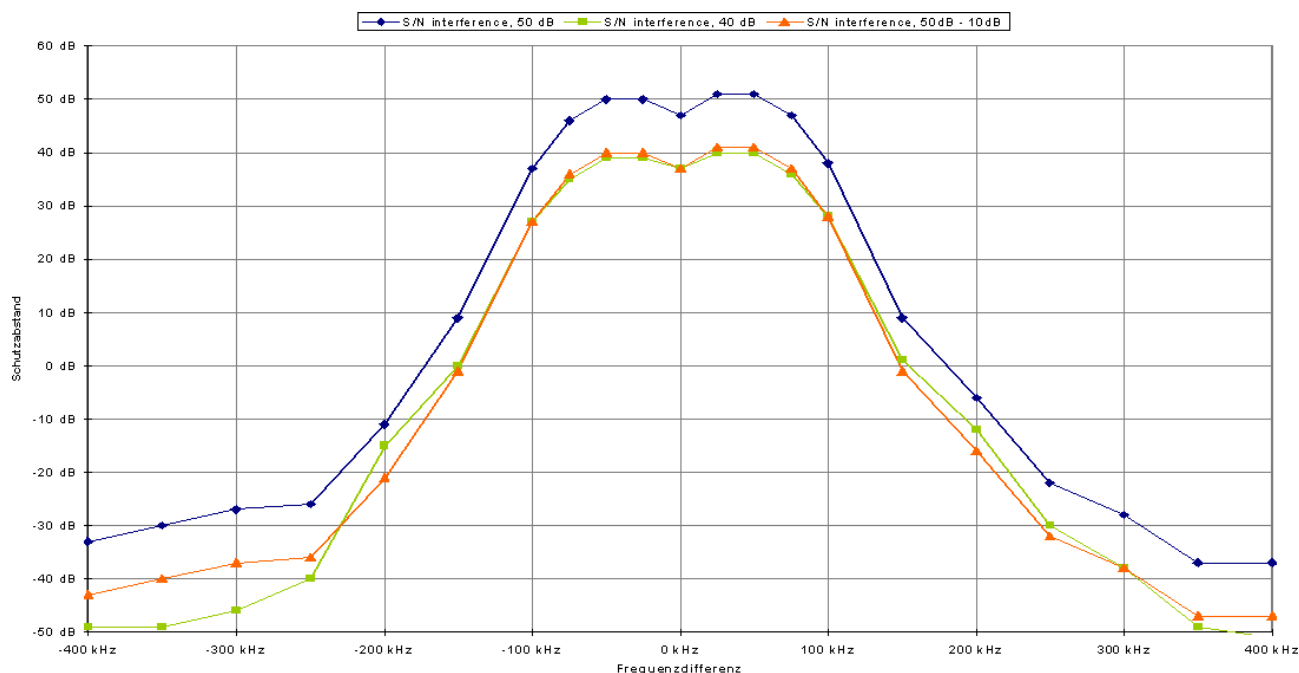


Abb. 4.12.: Variation der S/N-Werte (Störkriterium), Rx1

4.3.7. Zusammenfassung der Schutzabstandskurven

Im folgenden werden die Ergebnisse der Schutzabstandsmessungen zusammengefasst. Die Werte der einzelnen Empfänger wurden als Medianwerte gemittelt um eine Übergewichtung der Eigenschaften des besten und des schlechtesten Empfängers auszugleichen. Es ergeben sich die in der folgenden Abbildung dargestellten Schutzabstände, mit denen eine – soweit möglich – realistische Funknetzplanung zum Vergleich zwischen beiden Sendeararten durchgenommen werden kann.

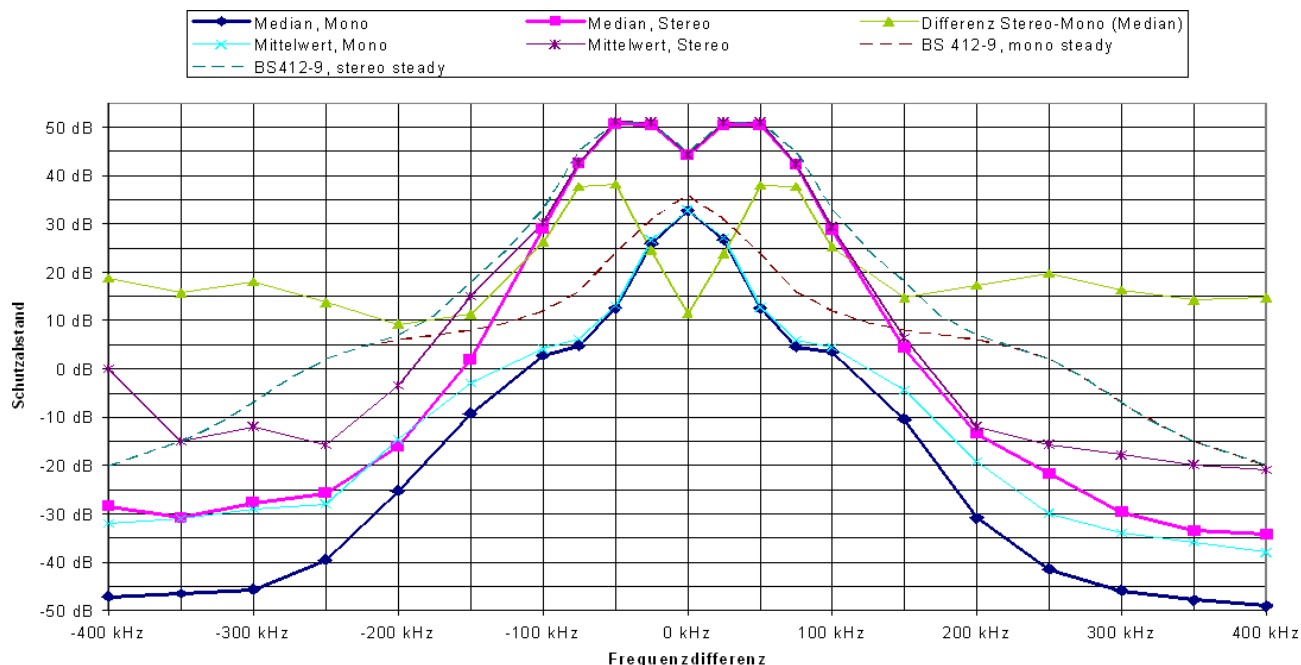


Abb. 4.13.: Schutzabstände für UKW-Mono- / Stereosendungen

Anhand der Abbildung kann man erkennen, daß insbesondere im Bereich $|\Delta f| > 200$ kHz die ITU-Kurven und die Realität (jedenfalls im Sinne der hier verwendeten Empfänger) eine beträchtliche Abweichung voneinander aufweisen; die gemeinsam verlaufenden ITU-Kurven für Mono und Stereo

divergieren in diesem Bereich stark von den Messwerten. Gerade in solchen Frequenzsituationen kann der Veranstalter durch die Umstellung durchaus Reichweite durch die höhere Störresistenz zu gewinnen (was sich durch die Adaption der Planungskurven zu bestätigen wäre). Für $|\Delta f| = 200$ kHz und im Gleichkanal ist der Zugewinn durch den geringeren Schutzabstand zwar am kleinsten (10 dB), innerhalb der unterschiedlichen Empfängerselektionseigenschaften sind dennoch Gewinne im Monoempfang zu erwarten. Es ist zu beachten, daß bei $|\Delta f| = 200$ kHz der schlechteste Empfänger im Monobetrieb gerade die Selektionseigenschaften des Empfängerdurchschnitts beim Stereoempfang erfüllt; insbes. wegen dieser Streuungen kann die Frage nach einem potentiellern Versorgungsreichweitengewinn durch eine Monoumschaltung nur eingeschränkt beantwortet werden.

4.4. Ergebnis der Laborbetrachtungen

Zusammenfassend kann man die durchgeführten Versuche (ungeachtet der Frage nach der Sinnhaftigkeit im Bezug auf die Qualität des Audiomaterials selbst) derart interpretieren das aufgrund der hohen Güte, die heutige FM-Empfänger in Kombination mit den heutzutage sehr ausgefeilten Stereo-/Monoumschaltmimiken aufweisen, alleine über den geringeren notwendigen Empfangspegel nur ein marginaler Reichweitengewinn bei einem Teil der Empfänger bewirkt werden kann. Gepaart mit den weitaus geringeren Schutzabständen ist jedoch durchaus für eine größere Empfängeranzahl der Erfolg eines solchen Vorhabens möglich. Dabei sollte nicht übersehen werden, daß bei Empfängern mit schlechter Selektion durchaus keine bzw. nur eine marginale Verbesserung durch den Zwangsmonobetrieb im Vergleich mit hochselektiven Empfängern im Stereobetrieb erreicht werden kann, s. Abb. 4.13. Die Fragestellung, ob ein Reichweitengewinn durch den Monobetrieb eines Senders erwirkt werden kann ist somit allgemein nur mit einem 'Jein' zu beantworten; tendenziell ist im Regelfall allerdings durchaus ein Gewinn möglich. Für eine Leistungserhöhung des Senders auf Basis der Umstellung vom Stereo- zum Monobetrieb besteht allerdings keine Grundlage. Die geringen Eingangsempfindlichkeiten moderner UKW-Empfänger können am Rande des Versorgungsgebietes zwar hilfreich sein, aber durch die Präsenz starker Störsignale aufgrund der interferenzbeschränkten Natur des Sendernetzes können Empfangsbeeinträchtigungen durch Nichtlinearitäten im Empfänger diesen Vorteil wieder zunichte machen.

5. Zusammenführung der Daten für die Funknetzplanung

Zur Berechnung der erforderlichen Nutzfeldstärken der Empfangsvarianten werden die Ergebnisse aus den Tabellen 4.2, 4.3 gemittelt (Medianwerte). Im Fall von Empfängern bei denen das geforderte Audiokriterium nicht erreicht wird, fließt die Empfindlichkeit für das maximale S/N in die Mittelung ein. Es gilt:

$$\frac{E}{\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}} = \frac{P_{rx}}{\text{dBm}} + 124,79 \text{ dB} - 20 \lg\left(\frac{\lambda}{\text{m}}\right) - \frac{G_A}{\text{dB}} \quad (5.1)$$

$$\frac{P_{rx}}{\text{dBm}} = \frac{U_{rx}}{\text{dB}\mu\text{V}} - 108,75 \text{ dB} - \frac{G_A}{\text{dB}} \quad \text{an } 75 \Omega \quad (5.2)$$

Mit einer Mittenfrequenz von 98 MHz (Wellenlänge $\lambda = 3,06 \text{ m}$ für das UKW-Band [Deu98, Tab. 3] ergibt sich Gl. (5.1) unter Vernachlässigung der Leitungsdämpfung zu

$$\frac{E}{\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}} = \frac{U_{rx}}{\text{dB}\mu\text{V}} + 6,32 \text{ dB} - \frac{G_A}{\text{dB}}$$

Somit ergeben sich für eine versuchsweise Funknetzplanung folgende Werte:

Empfangsfall	Empfangspegel	Feldstärke
Mono, 50 dB	25 dB μ V	31 dB μ V/m
Mono, 40 dB	14 dB μ V	20 dB μ V/m
Stereo, 50 dB	49 dB μ V	55 dB μ V/m
Stereo, 40 dB	22 dB μ V	28 dB μ V/m

Tab. 5.1.: Empfangsempfindlichkeiten und Feldstärken für die Funknetzplanung, Medianwerte; Antenne: Rundstrahler, $G_A = 0 \text{ dB}$

In der nachfolgenden Tabelle 5.2, die in Abb. 5.1 dargestellt ist, finden sich die Mediankurven aus Abb. 4.13 zur Verwendung in der Funknetzplanung.

Frequenzdifferenz	Mono	Stereo
−400 kHz	−47 dB	−29 dB
−300 kHz	−46 dB	−28 dB
−200 kHz	−25 dB	−16 dB
−100 kHz	3 dB	29 dB
0 kHz	33 dB	44 dB
100 kHz	4 dB	29 dB
200 kHz	−31 dB	−14 dB
300 kHz	−46 dB	−30 dB
400 kHz	−49 dB	−34 dB

Tab. 5.2.: Schutzabstände für die Funknetzplanung, Medianwerte basierend auf Abb. 4.13; s. a. Abb 5.1

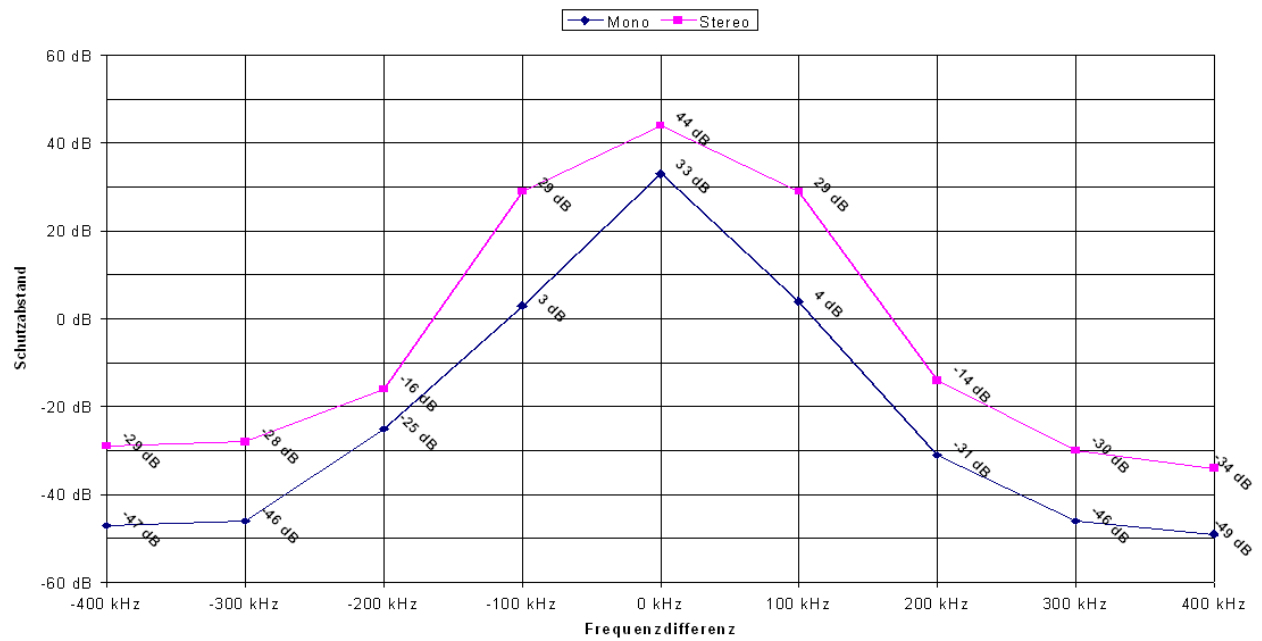


Abb. 5.1.: Schutzabstände für die Rundfunkplanung, Werte gem. Tabelle 5.2

6. Danksagung

Die Autoren danken folgenden Firmen und Einrichtungen für die freundliche Unterstützung und Zusammenarbeit im Rahmen dieser Studie (in alphabetischer Reihenfolge):

- der Media Broadcast für die Leihgabe verschiedener Geräte,
- der Firma Rohde & Schwarz für die Leihstellung eines UPV Audio Analyzers,
- dem SWR für die Leihgabe verschiedener Geräte.

Anhang A.

Liste der verwendeten Geräte

Die Nummerierungen beziehen sich auf die Zahlenangaben in den Abbildungen.

Name	Nummer
1	RE532 RDS/RDBS Encoder
2	Rohde & Schwarz Stereocoder GC003
3	Rohde & Schwarz Signalgenerator SMX
4	Minicircuits Power Splitter ZSC-2-1W+
5	Rohde & Schwarz Spectrumanalyzer FSP30
6	Media Engineering FM Sound Broadcasting Analyser Fm-Spy-T
7	Minicircuits Impedance Matching Pad BMP5075
8	Rohde & Schwarz Audioanalyzer UPV
9	Wandel & Goltermann Rauschgenerator RG32
10	Rauschformfilter gem. [ITU02b]
11	2WCom Stereoencoder S02
12	RE532 RDS/RDBS Encoder
13	Agilent 8496B, 110 dB (var. Dämpfungsglied)
14	Agilent 8494B, 11 dB (var. Dämpfungsglied)
15	Minicircuits Power Splitter ZSC-2-1W+
16	Tiefpass, 15 kHz gem. [ITU02d], s. [Sch07a]
17	Rohde & Schwarz Psophometer UPGR
18	Agilent Signalgenerator E4433B
19	Rohde & Schwarz Oscillator SRD
20	Toshiba Satellite P10-554 m. NI PCMCIA-GPIB

Anhang B.

Empfindlichkeitsmessungen

Die folgenden Seiten dokumentieren die in Abschnitt 4.2 beschriebenen Empfindlichkeitsmessungen.

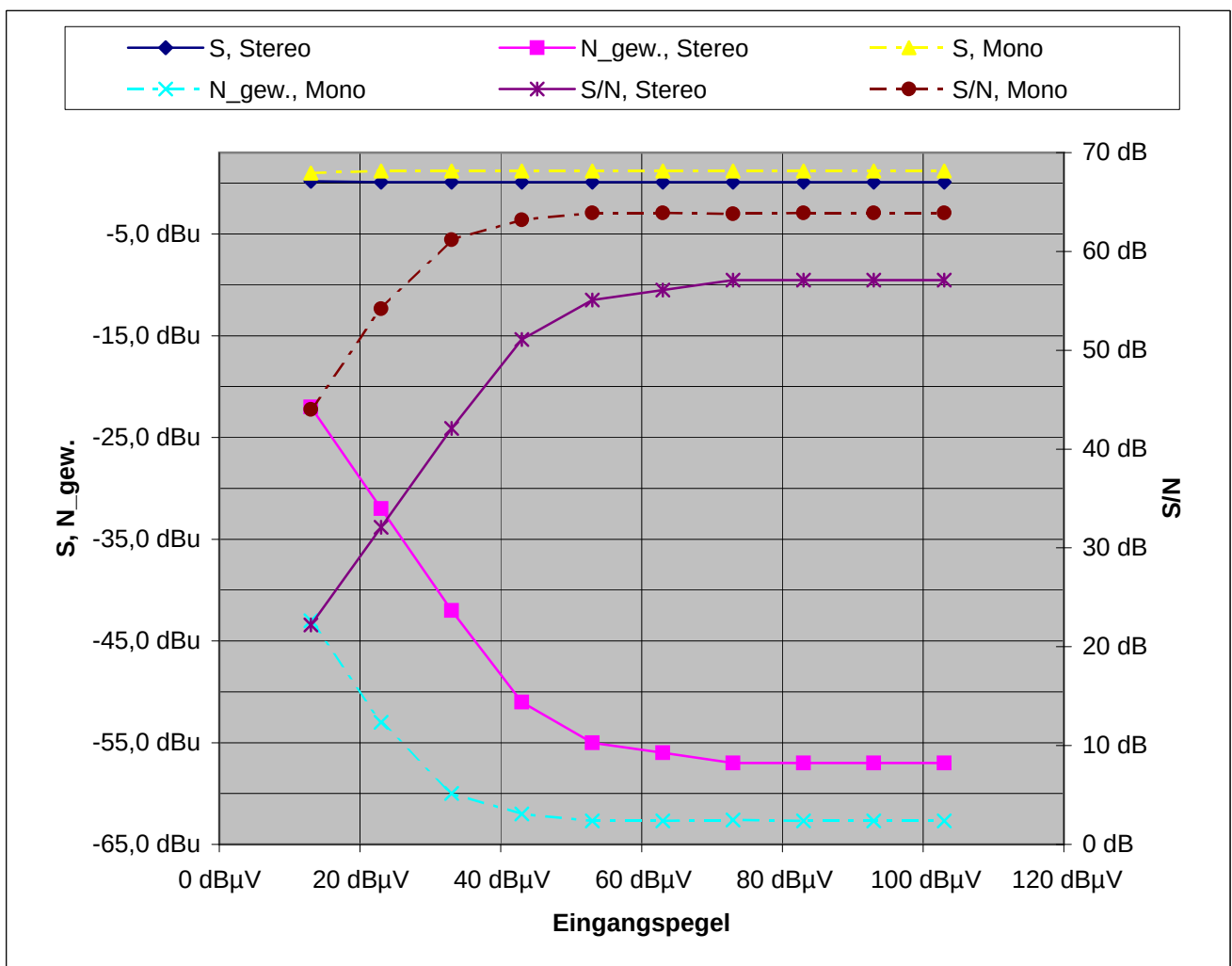
S/N-Empfindlichkeit

Datum 5.8.08
 Empfänger Rx 1
 Frequenz 98,00 MHz

Referenzsignal ("S, Stereo") 500 Hz, 75 kHz Hub, inkl. Pilottöne & RDS, L=R
 Referenzsignal ("S, Mono") 500 Hz, 75 kHz Hub, inkl. RDS

Kommentar Stummschaltung gibt die NF-Ausgänge bei gleichem Eingangspegel frei
 Line-Out

Eingangspegel	Eingangsspg.	Stereo			Mono		
		S_ungew.	N_gew.	S/N	S_ungew.	N_gew.	S/N
-94 dBm	13 dB μ V	0,2 dBu	-22,0 dBu	22 dB	1,0 dBu	-43,0 dBu	44 dB
-84 dBm	23 dB μ V	0,1 dBu	-32,0 dBu	32 dB	1,2 dBu	-53,0 dBu	54 dB
-74 dBm	33 dB μ V	0,1 dBu	-42,0 dBu	42 dB	1,2 dBu	-60,0 dBu	61 dB
-64 dBm	43 dB μ V	0,1 dBu	-51,0 dBu	51 dB	1,2 dBu	-62,0 dBu	63 dB
-54 dBm	53 dB μ V	0,1 dBu	-55,0 dBu	55 dB	1,2 dBu	-62,7 dBu	64 dB
-44 dBm	63 dB μ V	0,1 dBu	-56,0 dBu	56 dB	1,2 dBu	-62,7 dBu	64 dB
-34 dBm	73 dB μ V	0,1 dBu	-57,0 dBu	57 dB	1,2 dBu	-62,6 dBu	64 dB
-24 dBm	83 dB μ V	0,1 dBu	-57,0 dBu	57 dB	1,2 dBu	-62,7 dBu	64 dB
-14 dBm	93 dB μ V	0,1 dBu	-57,0 dBu	57 dB	1,2 dBu	-62,7 dBu	64 dB
-4 dBm	103 dB μ V	0,1 dBu	-57,0 dBu	57 dB	1,2 dBu	-62,7 dBu	64 dB



S/N-Empfindlichkeit

Datum 5.8.08

Empfänger Rx 2

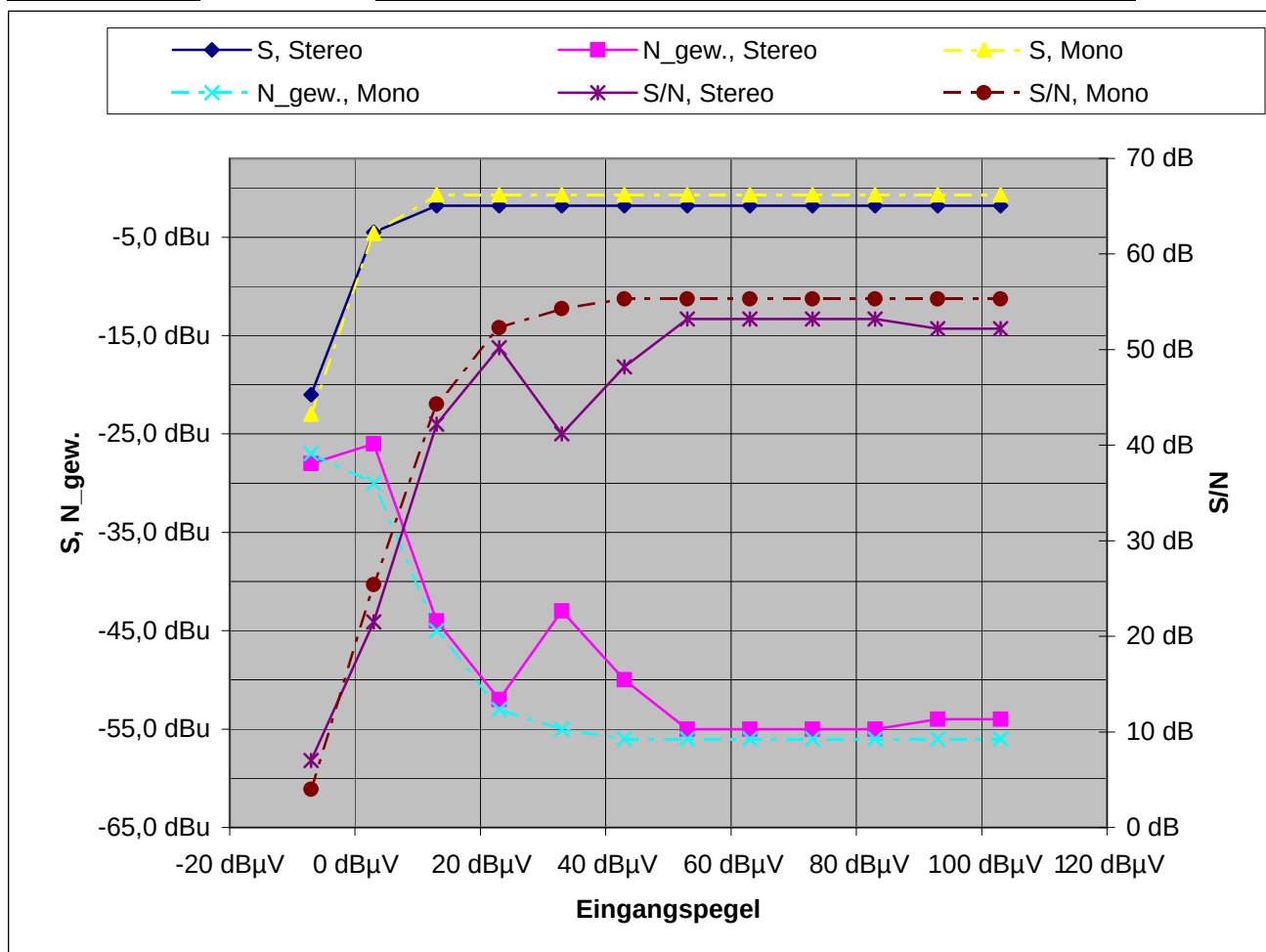
Frequenz 87,60 MHz

Referenzsignal ("S, Stereo") 500 Hz, 75 kHz Hub, inkl. Pilottöne & RDS, L=R

Referenzsignal ("S, Mono") 500 Hz, 75 kHz Hub, inkl. RDS

Kommentar Mäßiger Empfang ab -94 dBm

Eingangspegel	Eingangsspg.	Stereo			Mono		
		S_ungew.	N_gew.	S/N	S_ungew.	N_gew.	S/N
-114 dBm	-7 dB μ V	-21,0 dBu	-28,0 dBu	7 dB	-23,0 dBu	-27,0 dBu	4 dB
-104 dBm	3 dB μ V	-4,5 dBu	-26,0 dBu	22 dB	-4,6 dBu	-30,0 dBu	25 dB
-94 dBm	13 dB μ V	-1,8 dBu	-44,0 dBu	42 dB	-0,7 dBu	-45,0 dBu	44 dB
-84 dBm	23 dB μ V	-1,8 dBu	-52,0 dBu	50 dB	-0,7 dBu	-53,0 dBu	52 dB
-74 dBm	33 dB μ V	-1,8 dBu	-43,0 dBu	41 dB	-0,7 dBu	-55,0 dBu	54 dB
-64 dBm	43 dB μ V	-1,8 dBu	-50,0 dBu	48 dB	-0,7 dBu	-56,0 dBu	55 dB
-54 dBm	53 dB μ V	-1,8 dBu	-55,0 dBu	53 dB	-0,7 dBu	-56,0 dBu	55 dB
-44 dBm	63 dB μ V	-1,8 dBu	-55,0 dBu	53 dB	-0,7 dBu	-56,0 dBu	55 dB
-34 dBm	73 dB μ V	-1,8 dBu	-55,0 dBu	53 dB	-0,7 dBu	-56,0 dBu	55 dB
-24 dBm	83 dB μ V	-1,8 dBu	-55,0 dBu	53 dB	-0,7 dBu	-56,0 dBu	55 dB
-14 dBm	93 dB μ V	-1,8 dBu	-54,0 dBu	52 dB	-0,7 dBu	-56,0 dBu	55 dB
-4 dBm	103 dB μ V	-1,8 dBu	-54,0 dBu	52 dB	-0,7 dBu	-56,0 dBu	55 dB



S/N-Empfindlichkeit

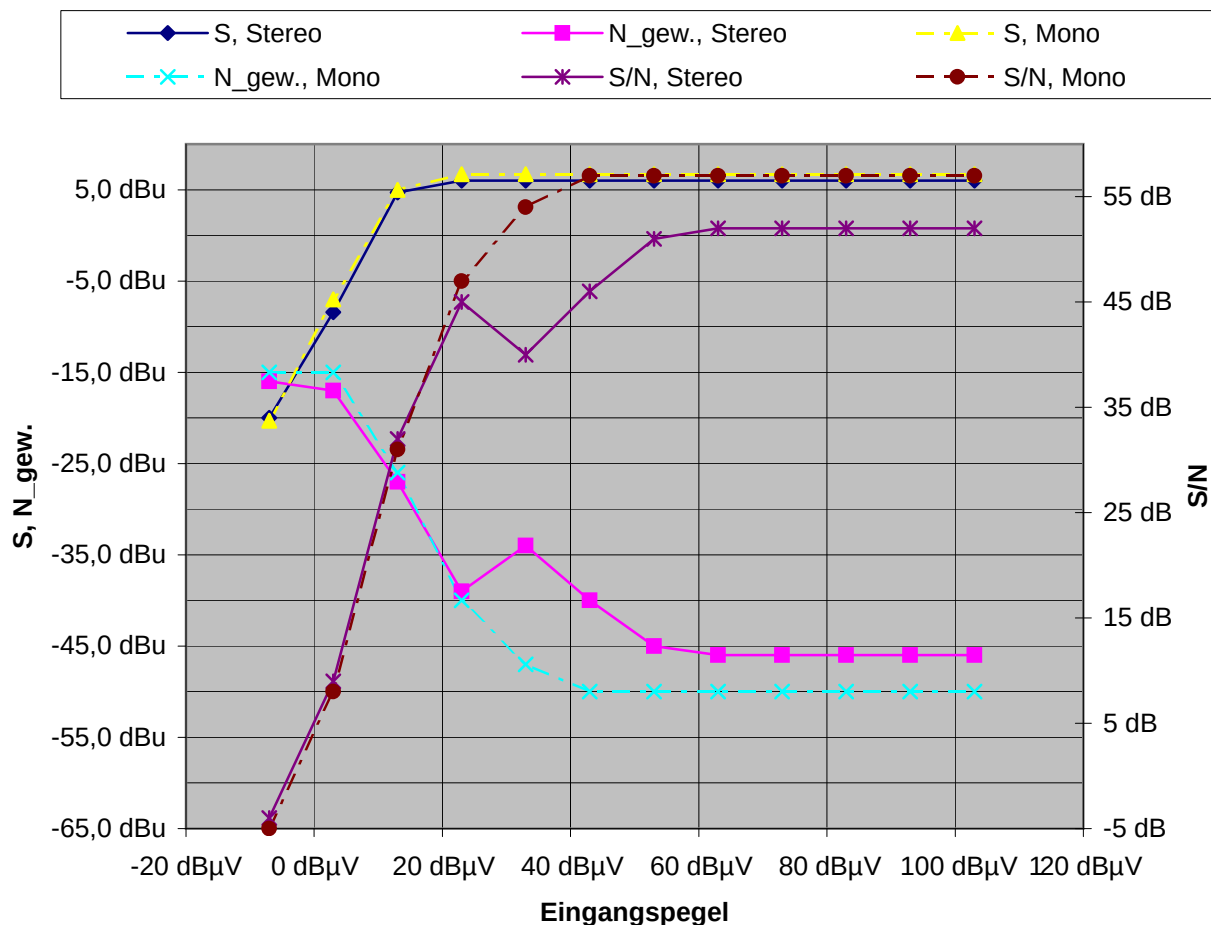
Datum 5.8.08
 Empfänger Rx 3
 Frequenz 87,60 MHz

Referenzsignal ("S, Stereo") 500 Hz, 75 kHz Hub, inkl. Pilottöne & RDS, L=R

Referenzsignal ("S, Mono") 500 Hz, 75 kHz Hub, inkl. RDS

Kommentar Lautstärkeregler derart, daß bei S, Stereo 6 dBu erreicht werden
 Max. Ausgangsspannung bei Vollem Hub: 16 dBu

Eingangspegel	Eingangsspg.	Stereo			Mono		
		S_ungew.	N_gew.	S/N	S_ungew.	N_gew.	S/N
-114 dBm	-7 dB μ V	-20,0 dBu	-16,0 dBu	-4 dB	-20,3 dBu	-15,0 dBu	-5 dB
-104 dBm	3 dB μ V	-8,4 dBu	-17,0 dBu	9 dB	-7,0 dBu	-15,0 dBu	8 dB
-94 dBm	13 dB μ V	4,7 dBu	-27,0 dBu	32 dB	5,0 dBu	-26,0 dBu	31 dB
-84 dBm	23 dB μ V	6,0 dBu	-39,0 dBu	45 dB	6,7 dBu	-40,0 dBu	47 dB
-74 dBm	33 dB μ V	6,0 dBu	-34,0 dBu	40 dB	6,7 dBu	-47,0 dBu	54 dB
-64 dBm	43 dB μ V	6,0 dBu	-40,0 dBu	46 dB	6,7 dBu	-50,0 dBu	57 dB
-54 dBm	53 dB μ V	6,0 dBu	-45,0 dBu	51 dB	6,7 dBu	-50,0 dBu	57 dB
-44 dBm	63 dB μ V	6,0 dBu	-46,0 dBu	52 dB	6,7 dBu	-50,0 dBu	57 dB
-34 dBm	73 dB μ V	6,0 dBu	-46,0 dBu	52 dB	6,7 dBu	-50,0 dBu	57 dB
-24 dBm	83 dB μ V	6,0 dBu	-46,0 dBu	52 dB	6,7 dBu	-50,0 dBu	57 dB
-14 dBm	93 dB μ V	6,0 dBu	-46,0 dBu	52 dB	6,7 dBu	-50,0 dBu	57 dB
-4 dBm	103 dB μ V	6,0 dBu	-46,0 dBu	52 dB	6,7 dBu	-50,0 dBu	57 dB



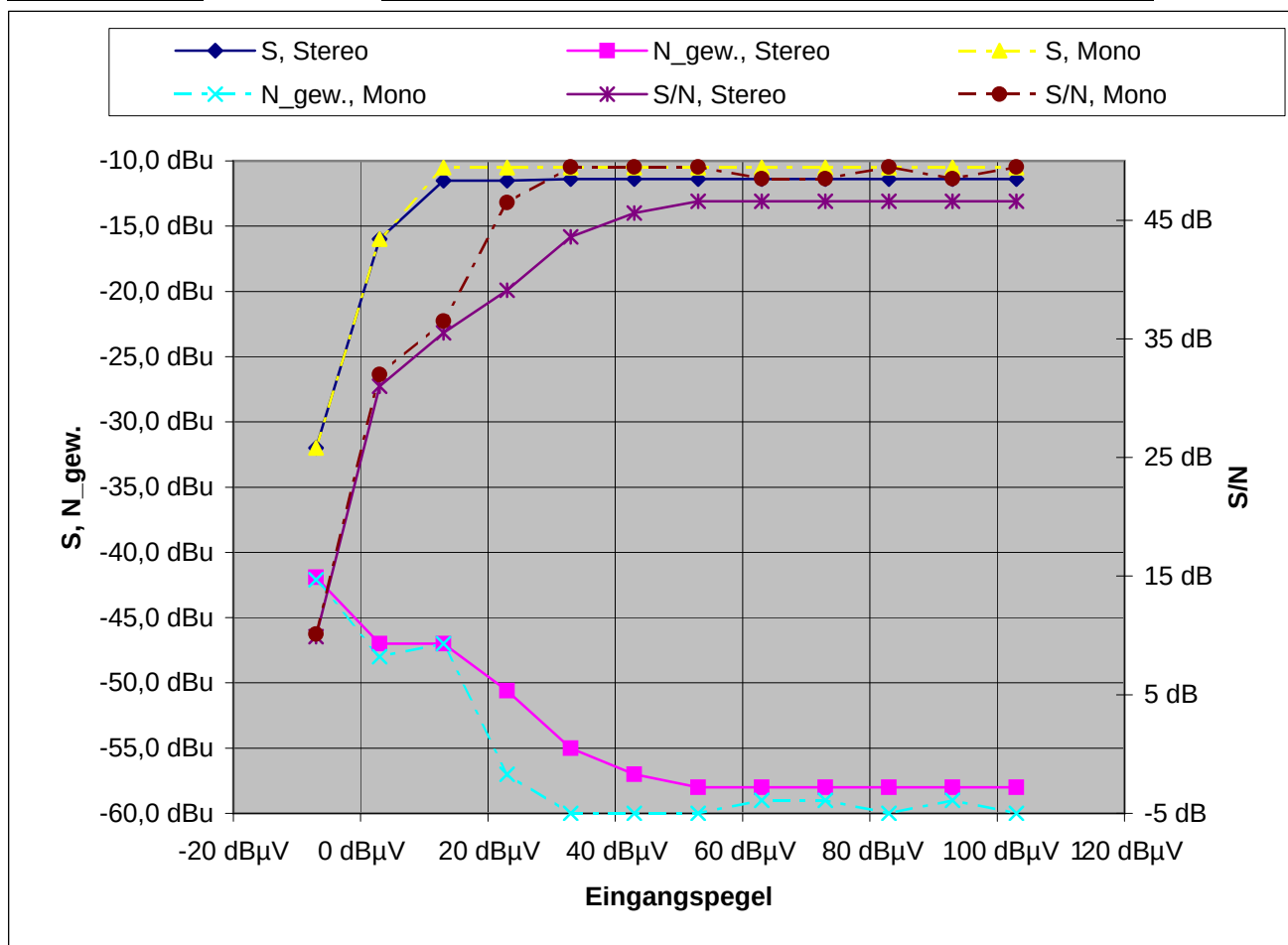
S/N-Empfindlichkeit

Datum 5.8.08
 Empfänger Rx 4
 Frequenz 87,60 MHz

Referenzsignal ("S, Stereo") 500 Hz, 75 kHz Hub, inkl. Pilottöne & RDS, L=R
 Referenzsignal ("S, Mono") 500 Hz, 75 kHz Hub, inkl. RDS

Kommentar Line-Out

Eingangspegel	Eingangsspg.	Stereo			Mono		
		S_ungew.	N_gew.	S/N	S_ungew.	N_gew.	S/N
-114 dBm	-7 dB μ V	-32,0 dBu	-41,9 dBu	10 dB	-32,0 dBu	-42,1 dBu	10 dB
-104 dBm	3 dB μ V	-16,0 dBu	-47,0 dBu	31 dB	-16,0 dBu	-48,0 dBu	32 dB
-94 dBm	13 dB μ V	-11,5 dBu	-47,0 dBu	36 dB	-10,5 dBu	-47,0 dBu	37 dB
-84 dBm	23 dB μ V	-11,5 dBu	-50,6 dBu	39 dB	-10,5 dBu	-57,0 dBu	47 dB
-74 dBm	33 dB μ V	-11,4 dBu	-55,0 dBu	44 dB	-10,5 dBu	-60,0 dBu	50 dB
-64 dBm	43 dB μ V	-11,4 dBu	-57,0 dBu	46 dB	-10,5 dBu	-60,0 dBu	50 dB
-54 dBm	53 dB μ V	-11,4 dBu	-58,0 dBu	47 dB	-10,5 dBu	-60,0 dBu	50 dB
-44 dBm	63 dB μ V	-11,4 dBu	-58,0 dBu	47 dB	-10,5 dBu	-59,0 dBu	49 dB
-34 dBm	73 dB μ V	-11,4 dBu	-58,0 dBu	47 dB	-10,5 dBu	-59,0 dBu	49 dB
-24 dBm	83 dB μ V	-11,4 dBu	-58,0 dBu	47 dB	-10,5 dBu	-60,0 dBu	50 dB
-14 dBm	93 dB μ V	-11,4 dBu	-58,0 dBu	47 dB	-10,5 dBu	-59,0 dBu	49 dB
-4 dBm	103 dB μ V	-11,4 dBu	-58,0 dBu	47 dB	-10,5 dBu	-60,0 dBu	50 dB



Anhang C.

Schutzabstandsmessungen

Die folgenden Seiten dokumentieren die in Abschnitt 4.3 beschriebenen Schutzabstandsmessungen.

Interference measurements against FM stereo receptionRx: **1**

Unwanted: **FM**
 Frequency: variable
 Full level: 6 dBm at 0 dB atten.

Wanted: no AF signal, stereo mode (reference S/N = 500 Hz AF with 75 kHz deviation)
 Frequency: 87,600 MHz
 Level: -51 dBm

Criteria: **FM-Signal degrades S/N to 50 dB ("S/N interference")**

unwanted		S/N Interference		
frequency	freq.-differ.	FM atten.	FM level	prot. ratio
87,000 MHz	-600 kHz	19 dB	-13 dBm	-38 dB
87,050 MHz	-550 kHz	19 dB	-13 dBm	-38 dB
87,100 MHz	-500 kHz	20 dB	-14 dBm	-37 dB
87,150 MHz	-450 kHz	21 dB	-15 dBm	-36 dB
87,200 MHz	-400 kHz	23 dB	-17 dBm	-34 dB
87,225 MHz	-375 kHz	24 dB	-18 dBm	-33 dB
87,250 MHz	-350 kHz	27 dB	-21 dBm	-30 dB
87,275 MHz	-325 kHz	29 dB	-23 dBm	-28 dB
87,300 MHz	-300 kHz	31 dB	-25 dBm	-26 dB
87,325 MHz	-275 kHz	32 dB	-26 dBm	-25 dB
87,350 MHz	-250 kHz	33 dB	-27 dBm	-24 dB
87,375 MHz	-225 kHz	35 dB	-29 dBm	-22 dB
87,400 MHz	-200 kHz	40 dB	-34 dBm	-17 dB
87,425 MHz	-175 kHz	49 dB	-43 dBm	-8 dB
87,450 MHz	-150 kHz	58 dB	-52 dBm	1 dB
87,475 MHz	-125 kHz	71 dB	-65 dBm	14 dB
87,500 MHz	-100 kHz	96 dB	-90 dBm	39 dB
87,525 MHz	-75 kHz	103 dB	-97 dBm	46 dB
87,550 MHz	-50 kHz	106 dB	-100 dBm	49 dB
87,575 MHz	-25 kHz	106 dB	-100 dBm	49 dB
87,600 MHz	0 kHz	104 dB	-98 dBm	47 dB
87,625 MHz	25 kHz	107 dB	-101 dBm	50 dB
87,650 MHz	50 kHz	107 dB	-101 dBm	50 dB
87,675 MHz	75 kHz	104 dB	-98 dBm	47 dB
87,700 MHz	100 kHz	94 dB	-88 dBm	37 dB
87,725 MHz	125 kHz	73 dB	-67 dBm	16 dB
87,750 MHz	150 kHz	64 dB	-58 dBm	7 dB
87,775 MHz	175 kHz	56 dB	-50 dBm	-1 dB
87,800 MHz	200 kHz	48 dB	-42 dBm	-9 dB
87,825 MHz	225 kHz	42 dB	-36 dBm	-15 dB
87,850 MHz	250 kHz	35 dB	-29 dBm	-22 dB
87,875 MHz	275 kHz	33 dB	-27 dBm	-24 dB
87,900 MHz	300 kHz	29 dB	-23 dBm	-28 dB
87,925 MHz	325 kHz	22 dB	-16 dBm	-35 dB
87,950 MHz	350 kHz	21 dB	-15 dBm	-36 dB
87,975 MHz	375 kHz	21 dB	-15 dBm	-36 dB
88,000 MHz	400 kHz	20 dB	-14 dBm	-37 dB
88,050 MHz	450 kHz	20 dB	-14 dBm	-37 dB
88,100 MHz	500 kHz	20 dB	-14 dBm	-37 dB
88,150 MHz	550 kHz	20 dB	-14 dBm	-37 dB
88,200 MHz	600 kHz	20 dB	-14 dBm	-37 dB

Remarks:

Interference measurements against FM stereo reception

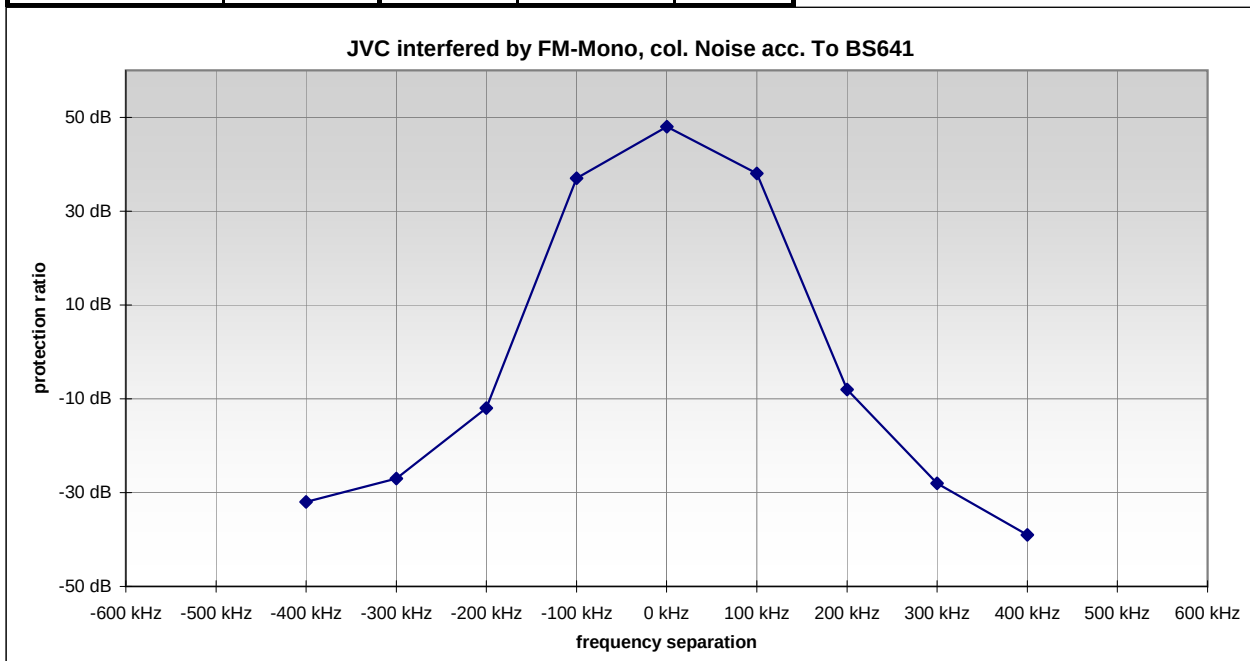
Rx: 1 JVC CA-MXS5RMD

Unwanted: **FM** mono, Col. Noise, acc. To BS.641
 Frequency: variable
 Full level: -4 dBm at 0 dB atten.

Wanted: no AF signal, stereo mode (reference S/N = 500 Hz AF with 75 kHz deviation incl.RDS)
 Frequency: 89,000 MHz
 Level: -54 dBm

Criteria: FM-Signal degrades S/N to 50 dB ("S/N interference")

unwanted		S/N Interference		
frequency	freq.-differ.	FM atten.	FM level	prot. ratio
88,600 MHz	-400 kHz	18 dB	-22 dBm	-32 dB
88,700 MHz	-300 kHz	23 dB	-27 dBm	-27 dB
88,800 MHz	-200 kHz	38 dB	-42 dBm	-12 dB
88,900 MHz	-100 kHz	87 dB	-91 dBm	37 dB
89,000 MHz	0 kHz	98 dB	-102 dBm	48 dB
89,100 MHz	100 kHz	88 dB	-92 dBm	38 dB
89,200 MHz	200 kHz	42 dB	-46 dBm	-8 dB
89,300 MHz	300 kHz	22 dB	-26 dBm	-28 dB
89,400 MHz	400 kHz	11 dB	-15 dBm	-39 dB



Interference measurements against FM stereo reception

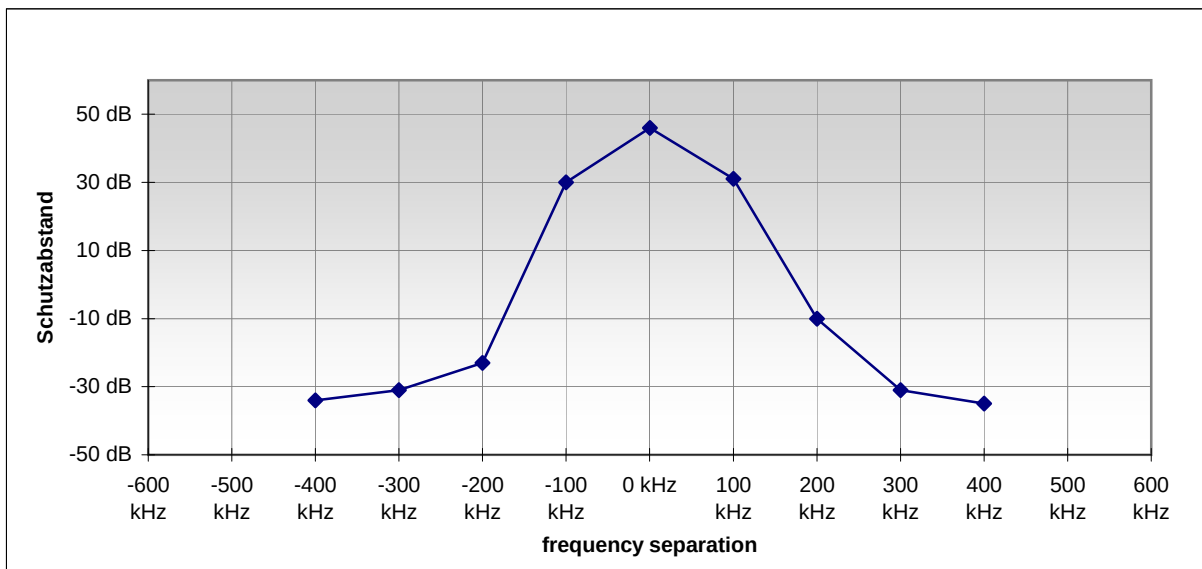
Rx: 1

Unwanted: **FM** stereo, Col. Noise, 0dBm MPX, w. RDS
Frequency: variable
Full level: -4 dBm at 0 dB atten.

Wanted: no AF signal, stereo mode (ref. S = 500 Hz AF with 75 kHz dev. incl.RDS)
Frequency: 89,000 MHz
Level: -54 dBm

Criteria: FM-Signal degrades S/N to 50 dB ("S/N interference")

unwanted		S/N Interference		
frequency	freq.-differ.	FM atten.	FM level	prot. ratio
88,600 MHz	-400 kHz	16 dB	-20 dBm	-34 dB
88,700 MHz	-300 kHz	19 dB	-23 dBm	-31 dB
88,800 MHz	-200 kHz	27 dB	-31 dBm	-23 dB
88,900 MHz	-100 kHz	80 dB	-84 dBm	30 dB
89,000 MHz	0 kHz	96 dB	-100 dBm	46 dB
89,100 MHz	100 kHz	81 dB	-85 dBm	31 dB
89,200 MHz	200 kHz	40 dB	-44 dBm	-10 dB
89,300 MHz	300 kHz	19 dB	-23 dBm	-31 dB
89,400 MHz	400 kHz	15 dB	-19 dBm	-35 dB



Interference measurements against FM stereo reception

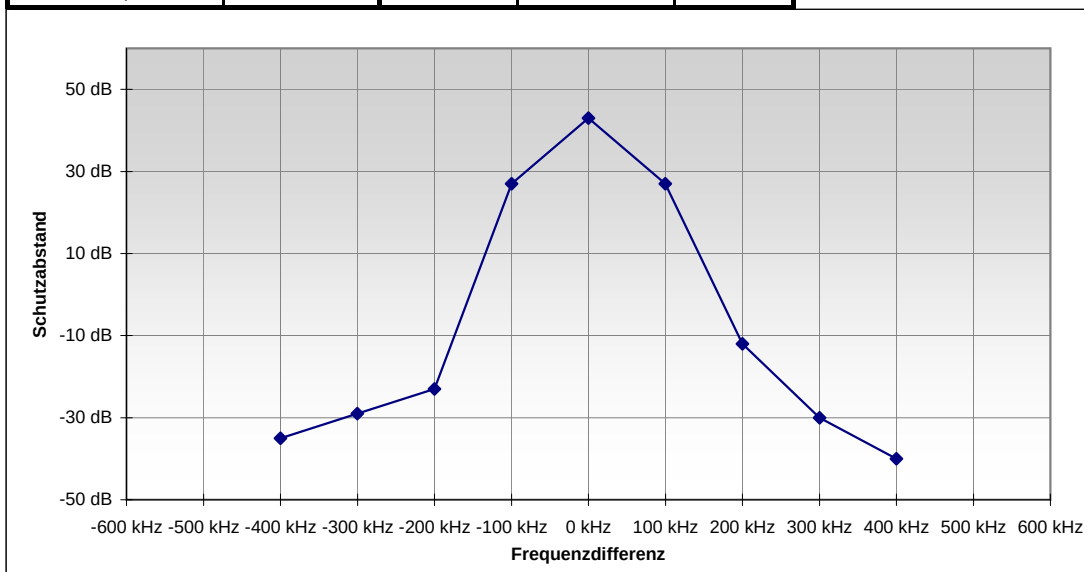
Rx: 1

Unwanted: **FM** mono, Col. Noise, 0dB MPX, w. RDS
 Frequency: variable
 Full level: -4 dBm at 0 dB atten.

Wanted: no AF signal, stereo mode (reference S/N = 500 Hz AF with 75 kHz deviation incl.RDS)
 Frequency: 89,000 MHz
 Level: -54 dBm

Criteria: **FM-Signal degrades S/N to 50 dB ("S/N interference")**

unwanted		S/N Interference		
frequency	freq.-differ.	FM atten.	FM level	prot. ratio
88,600 MHz	-400 kHz	15 dB	-19 dBm	-35 dB
88,700 MHz	-300 kHz	21 dB	-25 dBm	-29 dB
88,800 MHz	-200 kHz	27 dB	-31 dBm	-23 dB
88,900 MHz	-100 kHz	77 dB	-81 dBm	27 dB
89,000 MHz	0 kHz	93 dB	-97 dBm	43 dB
89,100 MHz	100 kHz	77 dB	-81 dBm	27 dB
89,200 MHz	200 kHz	38 dB	-42 dBm	-12 dB
89,300 MHz	300 kHz	20 dB	-24 dBm	-30 dB
89,400 MHz	400 kHz	10 dB	-14 dBm	-40 dB



Interference measurements against FM stereo reception

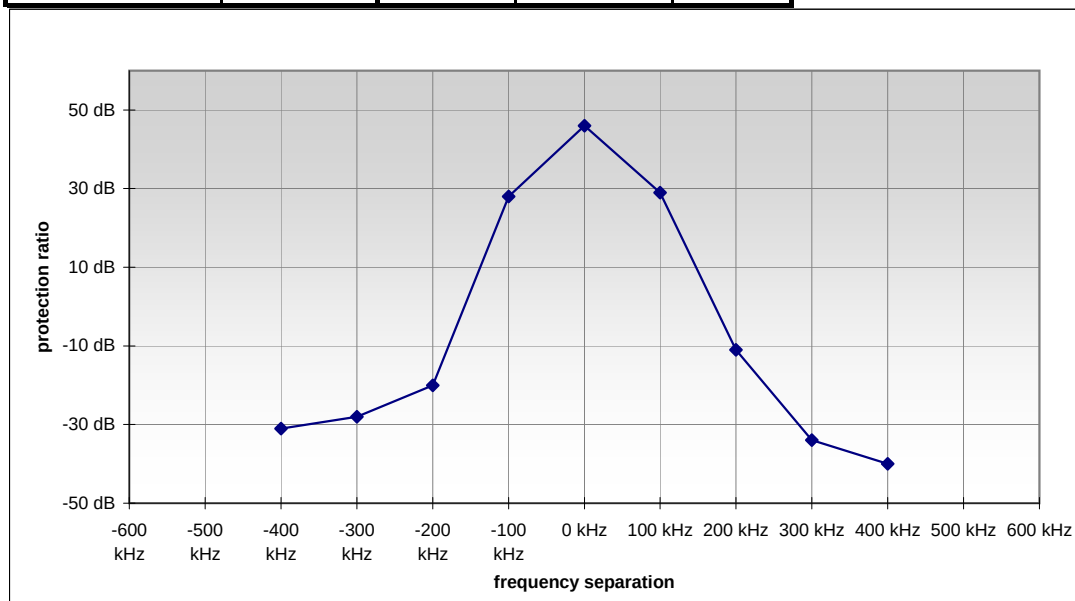
Rx: 1

Unwanted: **FM** stereo, Col. Noise, 0dBm MPX, w. RDS, L=R/2
 Frequency: variable
 Full level: -4 dBm at 0 dB atten.

Wanted: no AF signal, stereo mode (reference S/N = 500 Hz AF with 75 kHz deviation incl.RDS)
 Frequency: 89,000 MHz
 Level: -54 dBm

Criteria: **FM-Signal degrades S/N to 50 dB ("S/N interference")**

unwanted		S/N Interference		
frequency	freq.-differ.	FM atten.	FM level	prot. ratio
88,600 MHz	-400 kHz	19 dB	-23 dBm	-31 dB
88,700 MHz	-300 kHz	22 dB	-26 dBm	-28 dB
88,800 MHz	-200 kHz	30 dB	-34 dBm	-20 dB
88,900 MHz	-100 kHz	78 dB	-82 dBm	28 dB
89,000 MHz	0 kHz	96 dB	-100 dBm	46 dB
89,100 MHz	100 kHz	79 dB	-83 dBm	29 dB
89,200 MHz	200 kHz	39 dB	-43 dBm	-11 dB
89,300 MHz	300 kHz	16 dB	-20 dBm	-34 dB
89,400 MHz	400 kHz	10 dB	-14 dBm	-40 dB



Interference measurements against FM stereo reception

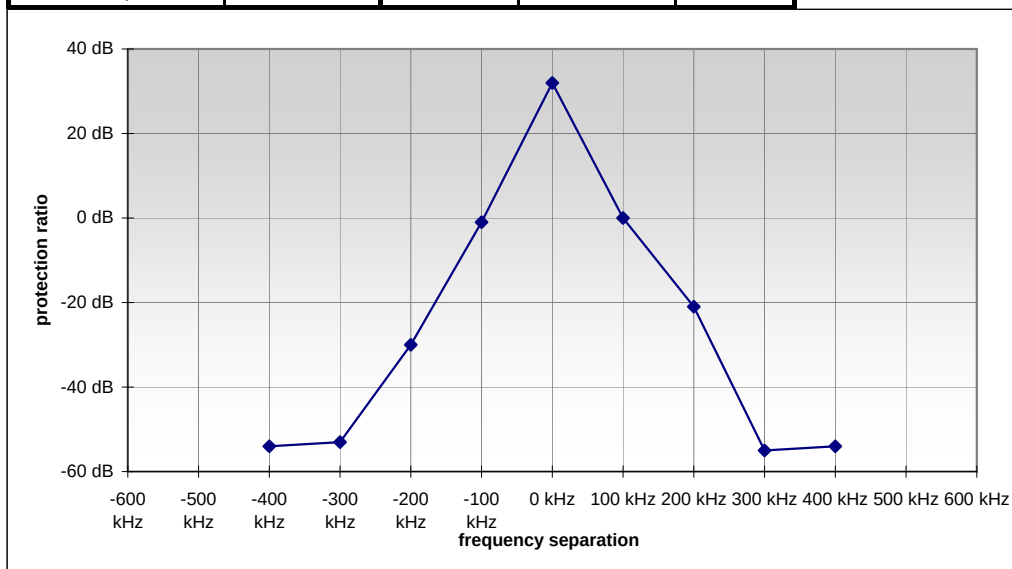
Rx: 1

Unwanted: **FM** stereo, Col. Noise, 0dB MPX, w. RDS
 Frequency: variable
 Full level: -4 dBm at 0 dB atten.

Wanted: no AF signal, mono mode (reference S/N = 500 Hz AF with 75 kHz deviation), no RDS
 Frequency: 89,000 MHz
 Level: -80 dBm

Criteria: **FM-Signal degrades S/N to 50 dB ("S/N interference")**

unwanted		S/N Interference		
frequency	freq.-differ.	FM atten.	FM level	prot. ratio
88,600 MHz	-400 kHz	22 dB	-26 dBm	-54 dB
88,700 MHz	-300 kHz	23 dB	-27 dBm	-53 dB
88,800 MHz	-200 kHz	46 dB	-50 dBm	-30 dB
88,900 MHz	-100 kHz	75 dB	-79 dBm	-1 dB
89,000 MHz	0 kHz	108 dB	-112 dBm	32 dB
89,100 MHz	100 kHz	76 dB	-80 dBm	0 dB
89,200 MHz	200 kHz	55 dB	-59 dBm	-21 dB
89,300 MHz	300 kHz	21 dB	-25 dBm	-55 dB
89,400 MHz	400 kHz	22 dB	-26 dBm	-54 dB



Interference measurements against FM stereo reception

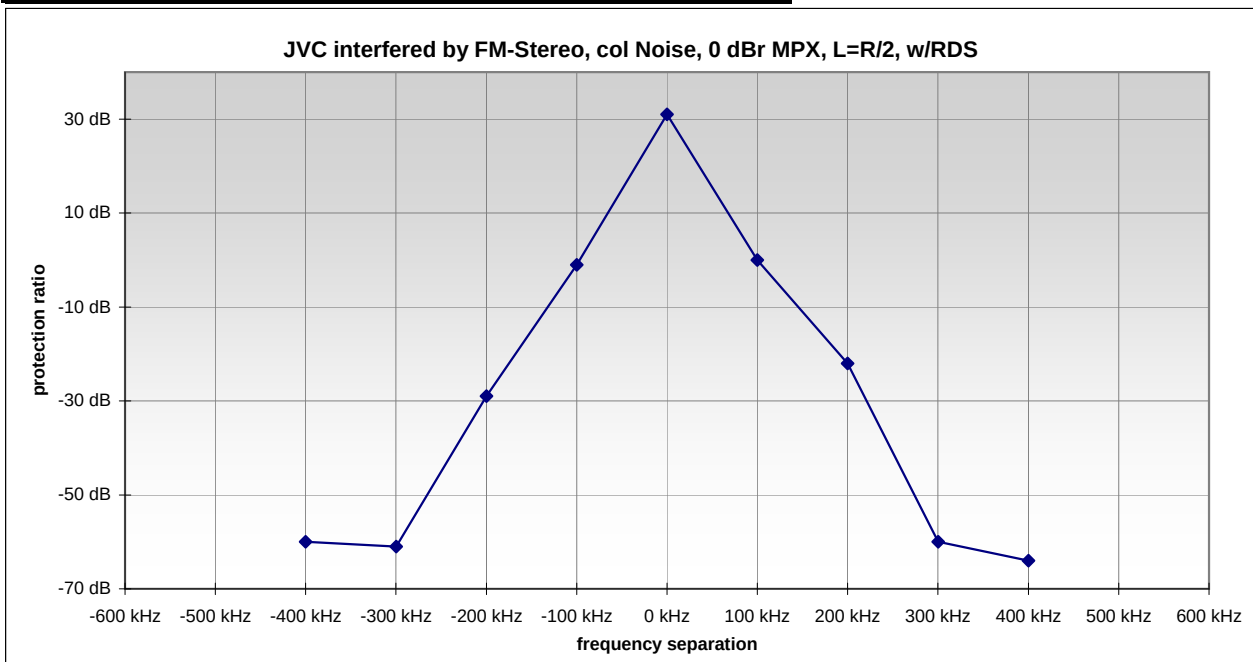
Rx: 1

Unwanted: **FM** stereo, Col. Noise, 0dBm MPX, w. RDS, L=R/2
 Frequency: variable
 Full level: -4 dBm at 0 dB atten.

Wanted: no AF signal, mono mode (reference S/N = 500 Hz AF with 75 kHz deviation), no RDS
 Frequency: 89,000 MHz
 Level: -80 dBm

Criteria: **FM-Signal degrades S/N to 50 dB ("S/N interference")**

unwanted		S/N Interference		
frequency	freq.-differ.	FM atten.	FM level	prot. ratio
88,600 MHz	-400 kHz	16 dB	-20 dBm	-60 dB
88,700 MHz	-300 kHz	15 dB	-19 dBm	-61 dB
88,800 MHz	-200 kHz	47 dB	-51 dBm	-29 dB
88,900 MHz	-100 kHz	75 dB	-79 dBm	-1 dB
89,000 MHz	0 kHz	107 dB	-111 dBm	31 dB
89,100 MHz	100 kHz	76 dB	-80 dBm	0 dB
89,200 MHz	200 kHz	54 dB	-58 dBm	-22 dB
89,300 MHz	300 kHz	16 dB	-20 dBm	-60 dB
89,400 MHz	400 kHz	12 dB	-16 dBm	-64 dB



Schutzabstand

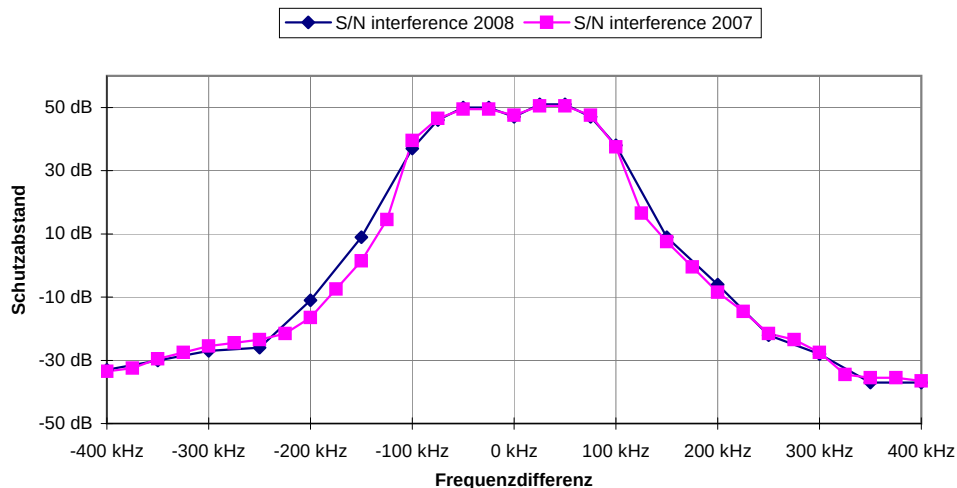
Datum 6.8.08
 Empfänger Rx 1
 Nutzfrequenz 87,60 MHz

Störsignal: **FM, nach ITU-R BS. 641**
Frequenz: variable
Max. Pegel: -4 dBm bei 0 dB atten.

Nutzsignal: kein NF-Signal, stereo (S/N-Referenz: 500 Hz mit 75 kHz Hub)
Frequenz: 87,600 MHz
Nutzpegel: -54 dBm

Störkriterium: **Störsignal verschlechtert das S/N von 56 dB auf 50 dB**
Bemerkung(en)

Störer	Frequenz	Freq.abstand	S/N Interference			Schutzabst. -10dB
			FM atten.	FM pegel	Schutzabst.	
	87,200 MHz	-400 kHz	17 dB	-21 dBm	-33 dB	-43 dB
	87,250 MHz	-350 kHz	20 dB	-24 dBm	-30 dB	-40 dB
	87,300 MHz	-300 kHz	23 dB	-27 dBm	-27 dB	-37 dB
	87,350 MHz	-250 kHz	24 dB	-28 dBm	-26 dB	-36 dB
	87,400 MHz	-200 kHz	39 dB	-43 dBm	-11 dB	-21 dB
	87,450 MHz	-150 kHz	59 dB	-63 dBm	9 dB	-1 dB
	87,500 MHz	-100 kHz	87 dB	-91 dBm	37 dB	27 dB
	87,525 MHz	-75 kHz	96 dB	-100 dBm	46 dB	36 dB
	87,550 MHz	-50 kHz	100 dB	-104 dBm	50 dB	40 dB
	87,575 MHz	-25 kHz	100 dB	-104 dBm	50 dB	40 dB
	87,600 MHz	0 kHz	97 dB	-101 dBm	47 dB	37 dB
	87,625 MHz	25 kHz	101 dB	-105 dBm	51 dB	41 dB
	87,650 MHz	50 kHz	101 dB	-105 dBm	51 dB	41 dB
	87,675 MHz	75 kHz	97 dB	-101 dBm	47 dB	37 dB
	87,700 MHz	100 kHz	88 dB	-92 dBm	38 dB	28 dB
	87,750 MHz	150 kHz	59 dB	-63 dBm	9 dB	-1 dB
	87,800 MHz	200 kHz	44 dB	-48 dBm	-6 dB	-16 dB
	87,850 MHz	250 kHz	28 dB	-32 dBm	-22 dB	-32 dB
	87,900 MHz	300 kHz	22 dB	-26 dBm	-28 dB	-38 dB
	87,950 MHz	350 kHz	13 dB	-17 dBm	-37 dB	-47 dB
	88,000 MHz	400 kHz	13 dB	-17 dBm	-37 dB	-47 dB



Schutzabstand

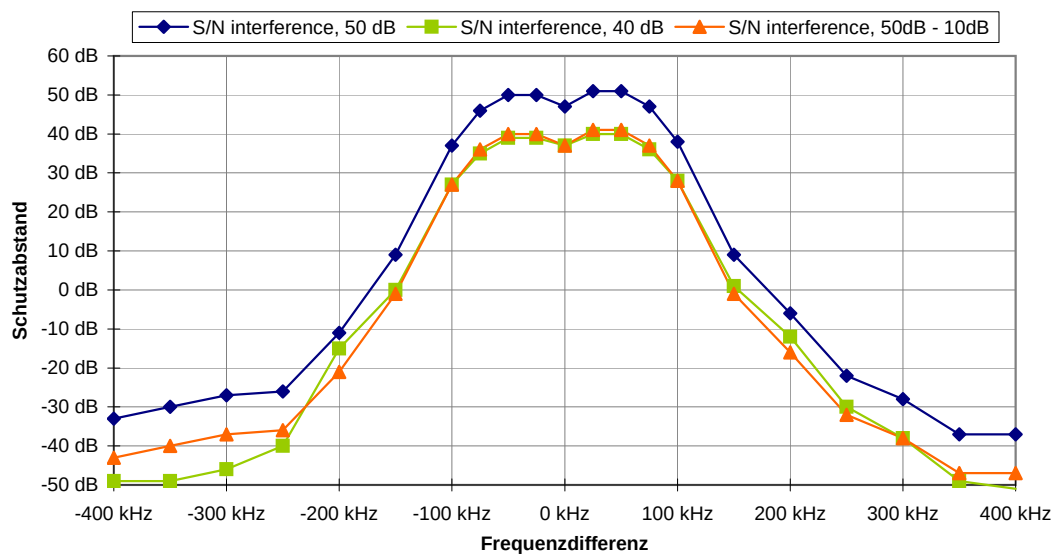
Datum 6.8.08
 Empfänger Rx 1
 Nutzfrequenz 87,60 MHz

Störsignal: **FM, nach ITU-R BS. 641**
Frequenz: variable
Max. Pegel: -4 dBm bei 0 dB atten.

Nutzsignal: **kein NF-Signal, stereo (S/N-Referenz: 500 Hz mit 75 kHz Hub)**
Frequenz: 87,600 MHz
Nutzpegel: -69 dBm

Störkriterium: **Störsignal verschlechtert das S/N von 46 dB auf 40 dB**
Bemerkung(en)

Störer	Frequenz	Freq.abstand	S/N Interference		
			FM atten.	FM pegel	Schutzabst.
	87,200 MHz	-400 kHz	16 dB	-20 dBm	-49 dB
	87,250 MHz	-350 kHz	16 dB	-20 dBm	-49 dB
	87,300 MHz	-300 kHz	19 dB	-23 dBm	-46 dB
	87,350 MHz	-250 kHz	25 dB	-29 dBm	-40 dB
	87,400 MHz	-200 kHz	50 dB	-54 dBm	-15 dB
	87,450 MHz	-150 kHz	65 dB	-69 dBm	0 dB
	87,500 MHz	-100 kHz	92 dB	-96 dBm	27 dB
	87,525 MHz	-75 kHz	100 dB	-104 dBm	35 dB
	87,550 MHz	-50 kHz	104 dB	-108 dBm	39 dB
	87,575 MHz	-25 kHz	104 dB	-108 dBm	39 dB
	87,600 MHz	0 kHz	102 dB	-106 dBm	37 dB
	87,625 MHz	25 kHz	105 dB	-109 dBm	40 dB
	87,650 MHz	50 kHz	105 dB	-109 dBm	40 dB
	87,675 MHz	75 kHz	101 dB	-105 dBm	36 dB
	87,700 MHz	100 kHz	93 dB	-97 dBm	28 dB
	87,750 MHz	150 kHz	66 dB	-70 dBm	1 dB
	87,800 MHz	200 kHz	53 dB	-57 dBm	-12 dB
	87,850 MHz	250 kHz	35 dB	-39 dBm	-30 dB
	87,900 MHz	300 kHz	27 dB	-31 dBm	-38 dB
	87,950 MHz	350 kHz	16 dB	-20 dBm	-49 dB
	88,000 MHz	400 kHz	14 dB	-18 dBm	-51 dB



Schutzabstand

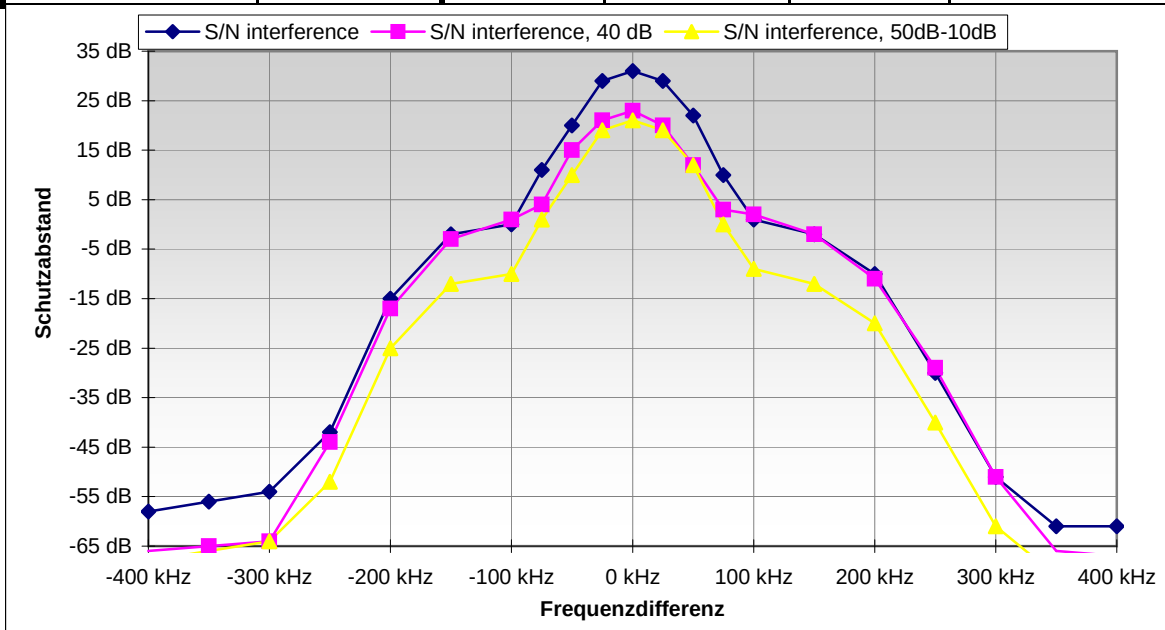
Datum 6.8.08
 Empfänger Rx 1
 Nutzfrequenz 87,60 MHz

Störsignal: **FM, nach ITU-R BS. 641**
Frequenz: variable
Max. Pegel: -4 dBm bei 0 dB atten.

Nutzsignal: kein NF-Signal, mono (S/N-Referenz: 500 Hz mit 75 kHz Hub)
Frequenz: 87,600 MHz
Nutzpegel: -80 dBm

Störkriterium: **Störsignal verschlechtert das S/N von 56 dB auf 50 dB**
Bemerkung(en) oftmals impulsartige störungen
 GILT ALLGEMEIN FÜR QUASI ALLE RX!!!

Störer		S/N Interference			
Frequenz	Freq.abstand	FM atten.	FM pegel	Schutzabst.	Schutzabst.-10dB
87,200 MHz	-400 kHz	18 dB	-22 dBm	-58 dB	-68 dB
87,250 MHz	-350 kHz	20 dB	-24 dBm	-56 dB	-66 dB
87,300 MHz	-300 kHz	22 dB	-26 dBm	-54 dB	-64 dB
87,350 MHz	-250 kHz	34 dB	-38 dBm	-42 dB	-52 dB
87,400 MHz	-200 kHz	61 dB	-65 dBm	-15 dB	-25 dB
87,450 MHz	-150 kHz	74 dB	-78 dBm	-2 dB	-12 dB
87,500 MHz	-100 kHz	76 dB	-80 dBm	0 dB	-10 dB
87,525 MHz	-75 kHz	87 dB	-91 dBm	11 dB	1 dB
87,550 MHz	-50 kHz	96 dB	-100 dBm	20 dB	10 dB
87,575 MHz	-25 kHz	105 dB	-109 dBm	29 dB	19 dB
87,600 MHz	0 kHz	107 dB	-111 dBm	31 dB	21 dB
87,625 MHz	25 kHz	105 dB	-109 dBm	29 dB	19 dB
87,650 MHz	50 kHz	98 dB	-102 dBm	22 dB	12 dB
87,675 MHz	75 kHz	86 dB	-90 dBm	10 dB	0 dB
87,700 MHz	100 kHz	77 dB	-81 dBm	1 dB	-9 dB
87,750 MHz	150 kHz	74 dB	-78 dBm	-2 dB	-12 dB
87,800 MHz	200 kHz	66 dB	-70 dBm	-10 dB	-20 dB
87,850 MHz	250 kHz	46 dB	-50 dBm	-30 dB	-40 dB
87,900 MHz	300 kHz	25 dB	-29 dBm	-51 dB	-61 dB
87,950 MHz	350 kHz	15 dB	-19 dBm	-61 dB	-71 dB
88,000 MHz	400 kHz	15 dB	-19 dBm	-61 dB	-71 dB



Schutzabstand

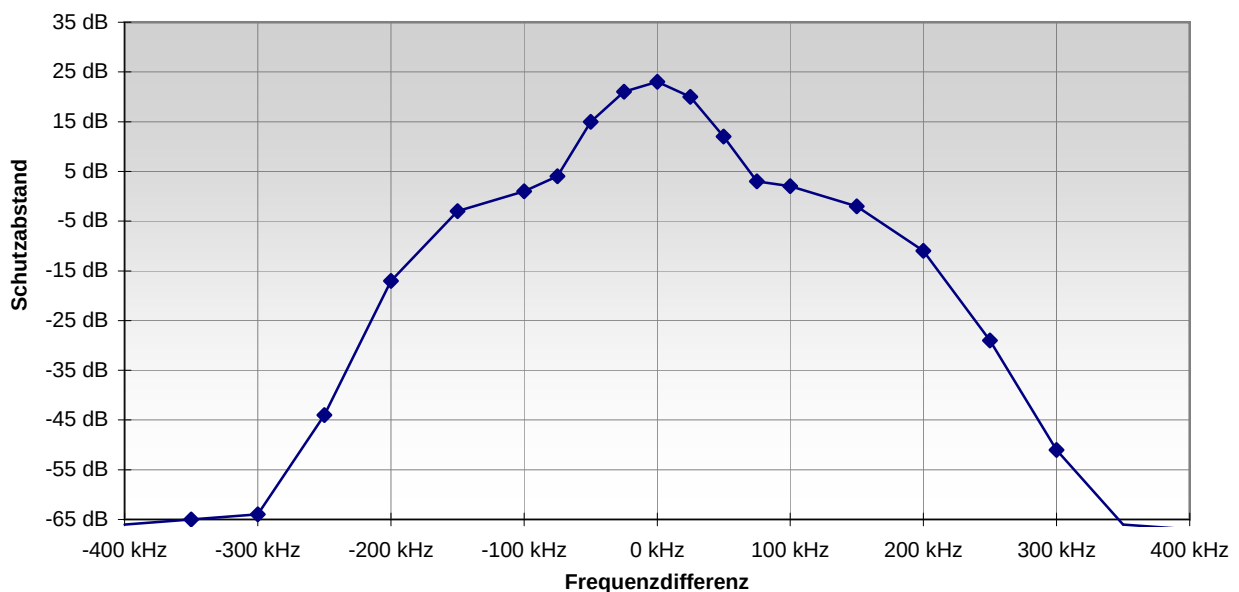
Datum 6.8.08
 Empfänger Rx 1
 Nutzfrequenz 87,60 MHz

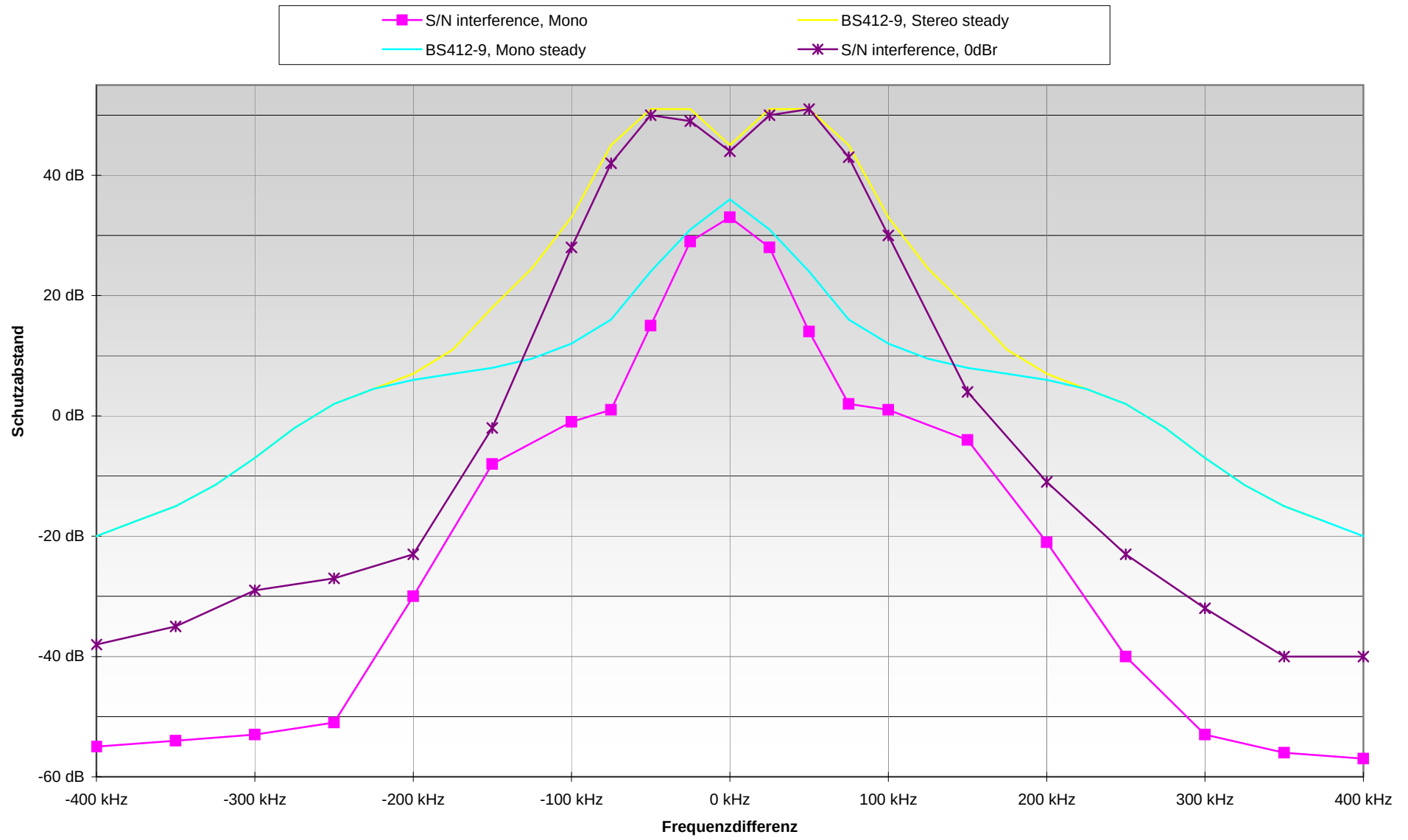
Störsignal: **FM, nach ITU-R BS. 641**
Frequenz: variable
Max. Pegel: -4 dBm bei 0 dB atten.

Nutzsignal: kein NF-Signal, mono (S/N-Referenz: 500 Hz mit 75 kHz Hub)
Frequenz: 87,600 MHz
Nutzpegel: -90 dBm

Störkriterium: **Störsignal verschlechtert das S/N von 46 dB auf 40 dB**
Bemerkung(en) bei großen frequenzablagen: capture / rx-blockierung,
 bevor kriterium erreicht; klar, da sehr geringer Nutzpegel

Störer	Frequenz	Freq.abstand	S/N Interference		
			FM atten.	FM pegel	Schutzabst.
	87,200 MHz	-400 kHz	20 dB	-24 dBm	-66 dB
	87,250 MHz	-350 kHz	21 dB	-25 dBm	-65 dB
	87,300 MHz	-300 kHz	22 dB	-26 dBm	-64 dB
	87,350 MHz	-250 kHz	42 dB	-46 dBm	-44 dB
	87,400 MHz	-200 kHz	69 dB	-73 dBm	-17 dB
	87,450 MHz	-150 kHz	83 dB	-87 dBm	-3 dB
	87,500 MHz	-100 kHz	87 dB	-91 dBm	1 dB
	87,525 MHz	-75 kHz	90 dB	-94 dBm	4 dB
	87,550 MHz	-50 kHz	101 dB	-105 dBm	15 dB
	87,575 MHz	-25 kHz	107 dB	-111 dBm	21 dB
	87,600 MHz	0 kHz	109 dB	-113 dBm	23 dB
	87,625 MHz	25 kHz	106 dB	-110 dBm	20 dB
	87,650 MHz	50 kHz	98 dB	-102 dBm	12 dB
	87,675 MHz	75 kHz	89 dB	-93 dBm	3 dB
	87,700 MHz	100 kHz	88 dB	-92 dBm	2 dB
	87,750 MHz	150 kHz	84 dB	-88 dBm	-2 dB
	87,800 MHz	200 kHz	75 dB	-79 dBm	-11 dB
	87,850 MHz	250 kHz	57 dB	-61 dBm	-29 dB
	87,900 MHz	300 kHz	35 dB	-39 dBm	-51 dB
	87,950 MHz	350 kHz	20 dB	-24 dBm	-66 dB
	88,000 MHz	400 kHz	19 dB	-23 dBm	-67 dB





Schutzabstand

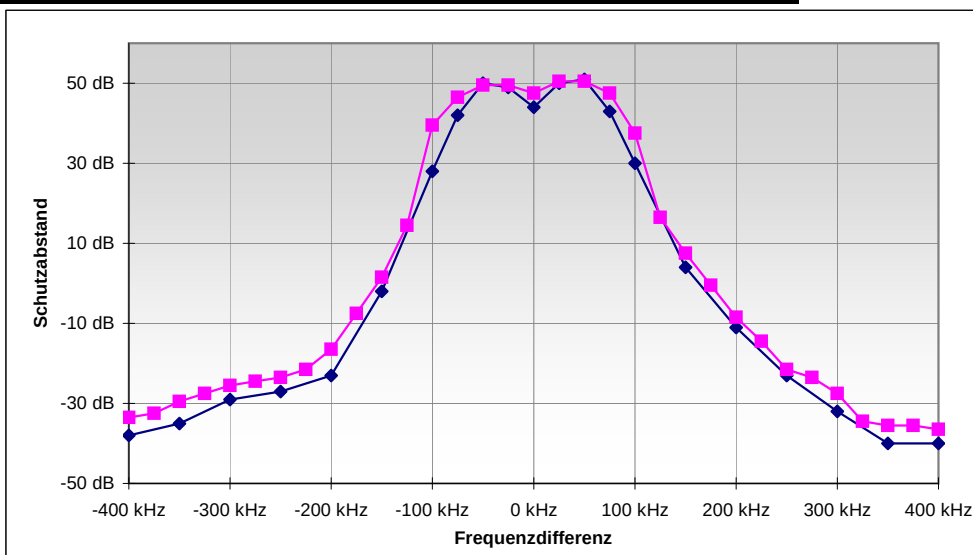
Datum 6.8.08
 Empfänger Rx 1
 Nutzfrequenz 87,60 MHz

Störsignal: **FM, nach ITU-R BS. 641, 0 dBr MPX**
Frequenz: variable
Max. Pegel: -4 dBm bei 0 dB atten.

Nutzsignal: **kein NF-Signal, stereo (S/N-Referenz: 500 Hz mit 75 kHz Hub)**
Frequenz: 87,600 MHz
Nutzpegel: -54 dBm

Störkriterium: **Störsignal verschlechtert das S/N von 56 dB auf 50 dB**
Bemerkung(en) MPX auf 0 dBr (ca. -3 dB) reduziert

Störer	Frequenz	Freq.abstand	S/N Interference		
			FM atten.	FM pegel	Schutzabst.
	87,200 MHz	-400 kHz	12 dB	-16 dBm	-38 dB
	87,250 MHz	-350 kHz	15 dB	-19 dBm	-35 dB
	87,300 MHz	-300 kHz	21 dB	-25 dBm	-29 dB
	87,350 MHz	-250 kHz	23 dB	-27 dBm	-27 dB
	87,400 MHz	-200 kHz	27 dB	-31 dBm	-23 dB
	87,450 MHz	-150 kHz	48 dB	-52 dBm	-2 dB
	87,500 MHz	-100 kHz	78 dB	-82 dBm	28 dB
	87,525 MHz	-75 kHz	92 dB	-96 dBm	42 dB
	87,550 MHz	-50 kHz	100 dB	-104 dBm	50 dB
	87,575 MHz	-25 kHz	99 dB	-103 dBm	49 dB
	87,600 MHz	0 kHz	94 dB	-98 dBm	44 dB
	87,625 MHz	25 kHz	100 dB	-104 dBm	50 dB
	87,650 MHz	50 kHz	101 dB	-105 dBm	51 dB
	87,675 MHz	75 kHz	93 dB	-97 dBm	43 dB
	87,700 MHz	100 kHz	80 dB	-84 dBm	30 dB
	87,750 MHz	150 kHz	54 dB	-58 dBm	4 dB
	87,800 MHz	200 kHz	39 dB	-43 dBm	-11 dB
	87,850 MHz	250 kHz	27 dB	-31 dBm	-23 dB
	87,900 MHz	300 kHz	18 dB	-22 dBm	-32 dB
	87,950 MHz	350 kHz	10 dB	-14 dBm	-40 dB
	88,000 MHz	400 kHz	10 dB	-14 dBm	-40 dB



Schutzabstand

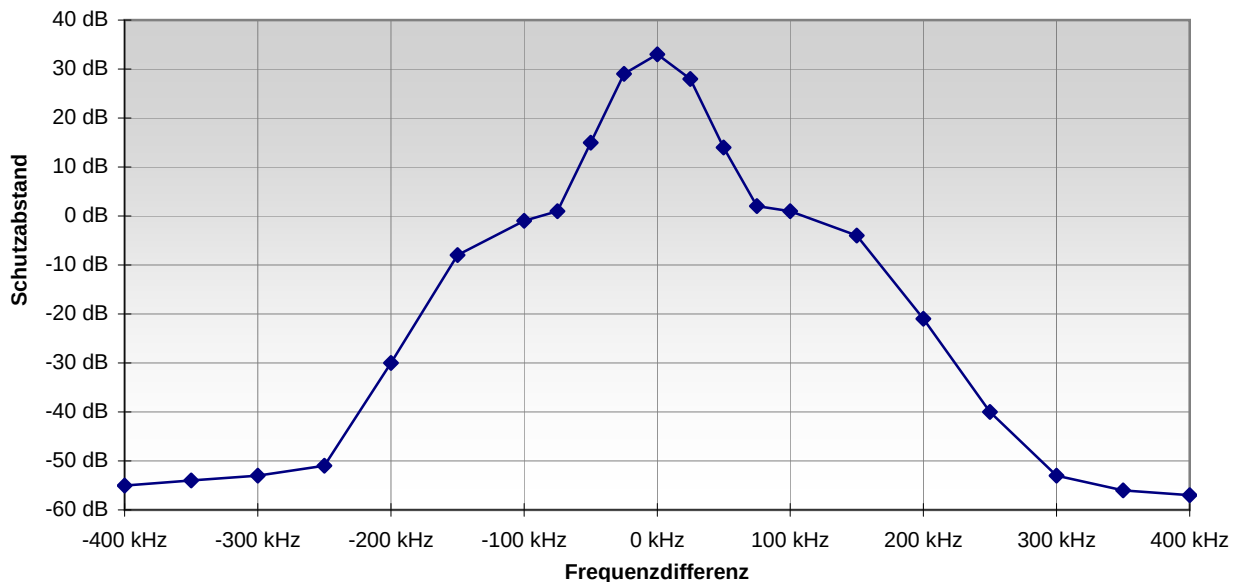
Datum 6.8.08
 Empfänger Rx 1
 Nutzfrequenz 87,60 MHz

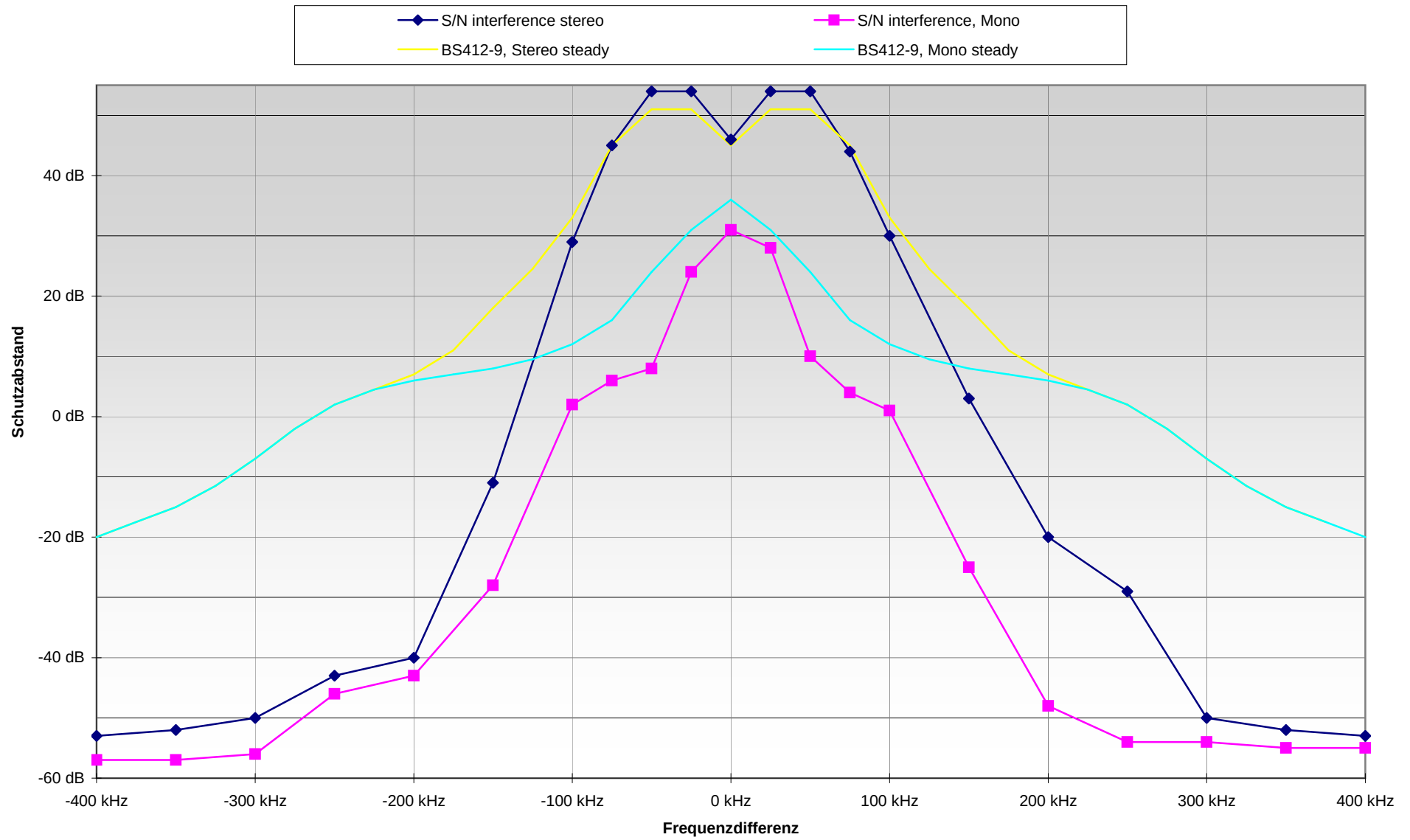
Störsignal: **FM, nach ITU-R BS. 641, 0dBr MPX, mit RDS**
Frequenz: variable
Max. Pegel: -4 dBm bei 0 dB atten.

Nutzsignal: kein NF-Signal, mono (S/N-Referenz: 500 Hz mit 75 kHz Hub), m. RDS
Frequenz: 87,600 MHz
Nutzpegel: -80 dBm

Störkriterium: **Störsignal verschlechtert das S/N von 56 dB auf 50 dB**
Bemerkung(en)

Störer Frequenz	Freq.abstand	S/N Interference		
		FM atten.	FM pegel	Schutzabst.
87,200 MHz	-400 kHz	21 dB	-25 dBm	-55 dB
87,250 MHz	-350 kHz	22 dB	-26 dBm	-54 dB
87,300 MHz	-300 kHz	23 dB	-27 dBm	-53 dB
87,350 MHz	-250 kHz	25 dB	-29 dBm	-51 dB
87,400 MHz	-200 kHz	46 dB	-50 dBm	-30 dB
87,450 MHz	-150 kHz	68 dB	-72 dBm	-8 dB
87,500 MHz	-100 kHz	75 dB	-79 dBm	-1 dB
87,525 MHz	-75 kHz	77 dB	-81 dBm	1 dB
87,550 MHz	-50 kHz	91 dB	-95 dBm	15 dB
87,575 MHz	-25 kHz	105 dB	-109 dBm	29 dB
87,600 MHz	0 kHz	109 dB	-113 dBm	33 dB
87,625 MHz	25 kHz	104 dB	-108 dBm	28 dB
87,650 MHz	50 kHz	90 dB	-94 dBm	14 dB
87,675 MHz	75 kHz	78 dB	-82 dBm	2 dB
87,700 MHz	100 kHz	77 dB	-81 dBm	1 dB
87,750 MHz	150 kHz	72 dB	-76 dBm	-4 dB
87,800 MHz	200 kHz	55 dB	-59 dBm	-21 dB
87,850 MHz	250 kHz	36 dB	-40 dBm	-40 dB
87,900 MHz	300 kHz	23 dB	-27 dBm	-53 dB
87,950 MHz	350 kHz	20 dB	-24 dBm	-56 dB
88,000 MHz	400 kHz	19 dB	-23 dBm	-57 dB





Schutzabstand

Datum 7.8.09
 Empfänger Rx 2
 Nutzfrequenz 87,60 MHz

Störsignal: **FM, nach ITU-R BS. 641, 0dBr MPX, mit RDS**
Frequenz: variable
Max. Pegel: -4 dBm bei 0 dB atten.

Nutzsignal: kein NF-Signal, stereo (S/N-Referenz: 500 Hz mit 75 kHz Hub), m. RDS
Frequenz: 87,600 MHz
Nutzpegel: -54 dBm

Störkriterium: **Störsignal verschlechtert das S/N auf 50 dB**
Bemerkung(en)

Störer Frequenz	Freq.abstand	S/N Interference		
		FM atten.	FM pegel	Schutzabst.
87,200 MHz	-400 kHz	-3 dB	-1 dBm	-53 dB
87,250 MHz	-350 kHz	-2 dB	-2 dBm	-52 dB
87,300 MHz	-300 kHz	0 dB	-4 dBm	-50 dB
87,350 MHz	-250 kHz	7 dB	-11 dBm	-43 dB
87,400 MHz	-200 kHz	10 dB	-14 dBm	-40 dB
87,450 MHz	-150 kHz	39 dB	-43 dBm	-11 dB
87,500 MHz	-100 kHz	79 dB	-83 dBm	29 dB
87,525 MHz	-75 kHz	95 dB	-99 dBm	45 dB
87,550 MHz	-50 kHz	104 dB	-108 dBm	54 dB
87,575 MHz	-25 kHz	104 dB	-108 dBm	54 dB
87,600 MHz	0 kHz	96 dB	-100 dBm	46 dB
87,625 MHz	25 kHz	104 dB	-108 dBm	54 dB
87,650 MHz	50 kHz	104 dB	-108 dBm	54 dB
87,675 MHz	75 kHz	94 dB	-98 dBm	44 dB
87,700 MHz	100 kHz	80 dB	-84 dBm	30 dB
87,750 MHz	150 kHz	53 dB	-57 dBm	3 dB
87,800 MHz	200 kHz	30 dB	-34 dBm	-20 dB
87,850 MHz	250 kHz	21 dB	-25 dBm	-29 dB
87,900 MHz	300 kHz	0 dB	-4 dBm	-50 dB
87,950 MHz	350 kHz	-2 dB	-2 dBm	-52 dB
88,000 MHz	400 kHz	-3 dB	-1 dBm	-53 dB

Schutzabstand

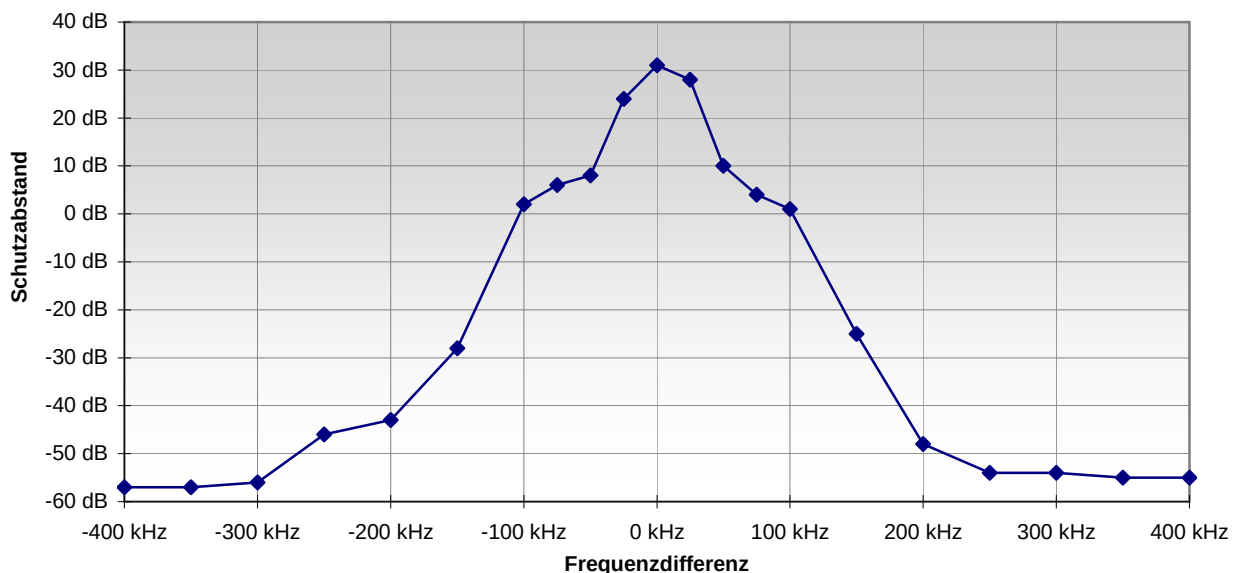
Datum 7.9.08
 Empfänger Rx 2
 Nutzfrequenz 87,60 MHz

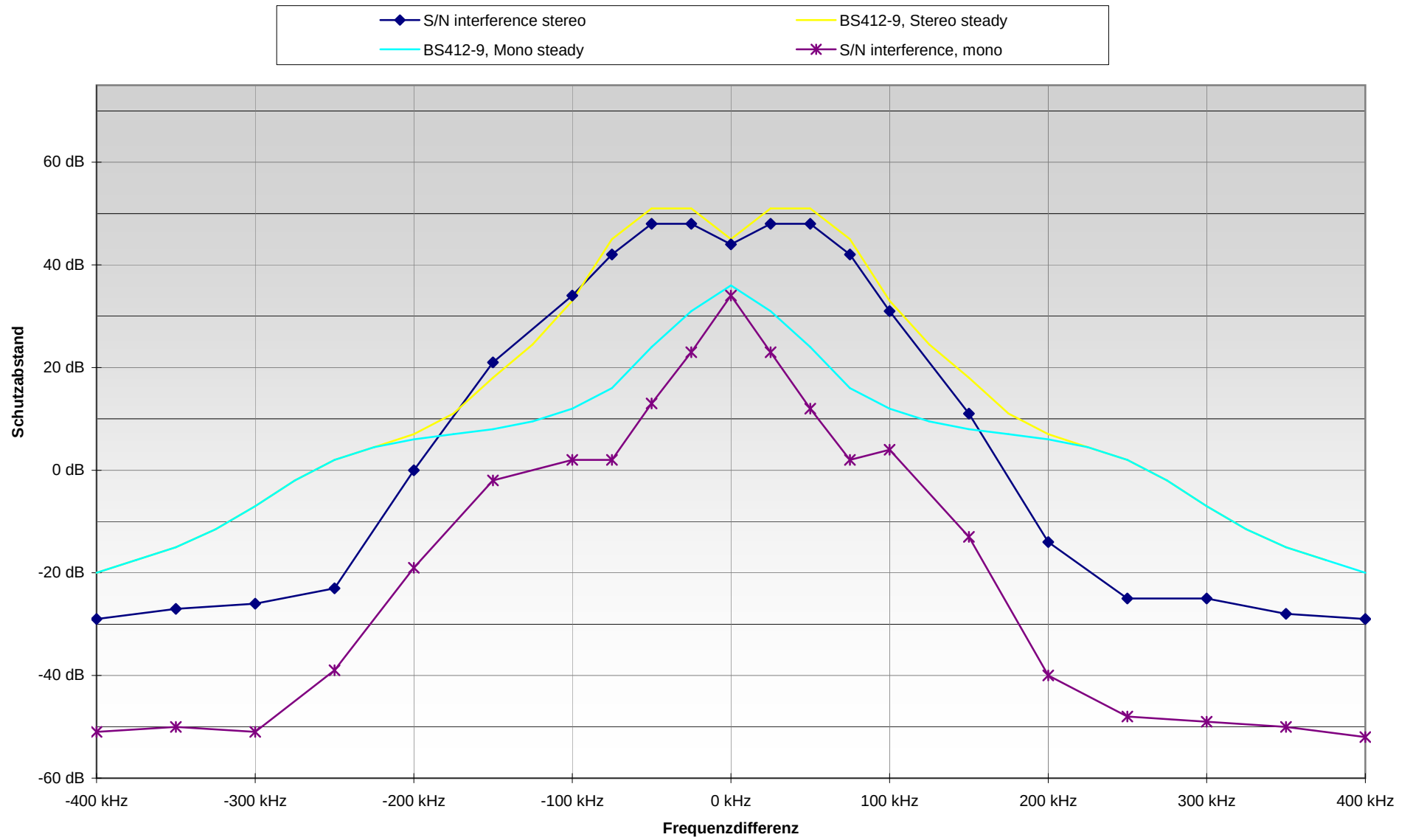
Störsignal: **FM, nach ITU-R BS. 641, 0dBr MPX, mit RDS**
Frequenz: variable
Max. Pegel: -5 dBm bei 0 dB atten.

Nutzsignal: kein NF-Signal, mono (S/N-Referenz: 500 Hz mit 75 kHz Hub), m. RDS
Frequenz: 87,600 MHz
Nutzpegel: -64 dBm

Störkriterium: **Störsignal verschlechtert das S/N auf 50 dB**
Bemerkung(en)

Störer Frequenz	Freq.abstand	S/N Interference		
		FM atten.	FM pegel	Schutzabst.
87,200 MHz	-400 kHz	2 dB	-7 dBm	-57 dB
87,250 MHz	-350 kHz	2 dB	-7 dBm	-57 dB
87,300 MHz	-300 kHz	3 dB	-8 dBm	-56 dB
87,350 MHz	-250 kHz	13 dB	-18 dBm	-46 dB
87,400 MHz	-200 kHz	16 dB	-21 dBm	-43 dB
87,450 MHz	-150 kHz	31 dB	-36 dBm	-28 dB
87,500 MHz	-100 kHz	61 dB	-66 dBm	2 dB
87,525 MHz	-75 kHz	65 dB	-70 dBm	6 dB
87,550 MHz	-50 kHz	67 dB	-72 dBm	8 dB
87,575 MHz	-25 kHz	83 dB	-88 dBm	24 dB
87,600 MHz	0 kHz	90 dB	-95 dBm	31 dB
87,625 MHz	25 kHz	87 dB	-92 dBm	28 dB
87,650 MHz	50 kHz	69 dB	-74 dBm	10 dB
87,675 MHz	75 kHz	63 dB	-68 dBm	4 dB
87,700 MHz	100 kHz	60 dB	-65 dBm	1 dB
87,750 MHz	150 kHz	34 dB	-39 dBm	-25 dB
87,800 MHz	200 kHz	11 dB	-16 dBm	-48 dB
87,850 MHz	250 kHz	5 dB	-10 dBm	-54 dB
87,900 MHz	300 kHz	5 dB	-10 dBm	-54 dB
87,950 MHz	350 kHz	4 dB	-9 dBm	-55 dB
88,000 MHz	400 kHz	4 dB	-9 dBm	-55 dB





Schutzabstand

Datum 6.8.08
 Empfänger Rx 3
 Nutzfrequenz 87,60 MHz

Störsignal: **FM, nach ITU-R BS. 641, 0dBr MPX, mit RDS**
Frequenz: variable
Max. Pegel: -8 dBm bei 0 dB atten.

Nutzsignal: kein NF-Signal, stereo (S/N-Referenz: 500 Hz mit 75 kHz Hub), m. RDS
Frequenz: 87,600 MHz
Nutzpegel: -60 dBm

Störkriterium: **Störsignal verschlechtert das S/N auf 50 dB**
Bemerkung(en) S/N-Ref. 0 dBu

Störer Frequenz	Freq.abstand	S/N Interference		
		FM atten.	FM pegel	Schutzabst.
87,200 MHz	-400 kHz	23 dB	-31 dBm	-29 dB
87,250 MHz	-350 kHz	25 dB	-33 dBm	-27 dB
87,300 MHz	-300 kHz	26 dB	-34 dBm	-26 dB
87,350 MHz	-250 kHz	29 dB	-37 dBm	-23 dB
87,400 MHz	-200 kHz	52 dB	-60 dBm	0 dB
87,450 MHz	-150 kHz	73 dB	-81 dBm	21 dB
87,500 MHz	-100 kHz	86 dB	-94 dBm	34 dB
87,525 MHz	-75 kHz	94 dB	-102 dBm	42 dB
87,550 MHz	-50 kHz	100 dB	-108 dBm	48 dB
87,575 MHz	-25 kHz	100 dB	-108 dBm	48 dB
87,600 MHz	0 kHz	96 dB	-104 dBm	44 dB
87,625 MHz	25 kHz	100 dB	-108 dBm	48 dB
87,650 MHz	50 kHz	100 dB	-108 dBm	48 dB
87,675 MHz	75 kHz	94 dB	-102 dBm	42 dB
87,700 MHz	100 kHz	83 dB	-91 dBm	31 dB
87,750 MHz	150 kHz	63 dB	-71 dBm	11 dB
87,800 MHz	200 kHz	38 dB	-46 dBm	-14 dB
87,850 MHz	250 kHz	27 dB	-35 dBm	-25 dB
87,900 MHz	300 kHz	27 dB	-35 dBm	-25 dB
87,950 MHz	350 kHz	24 dB	-32 dBm	-28 dB
88,000 MHz	400 kHz	23 dB	-31 dBm	-29 dB

Schutzabstand

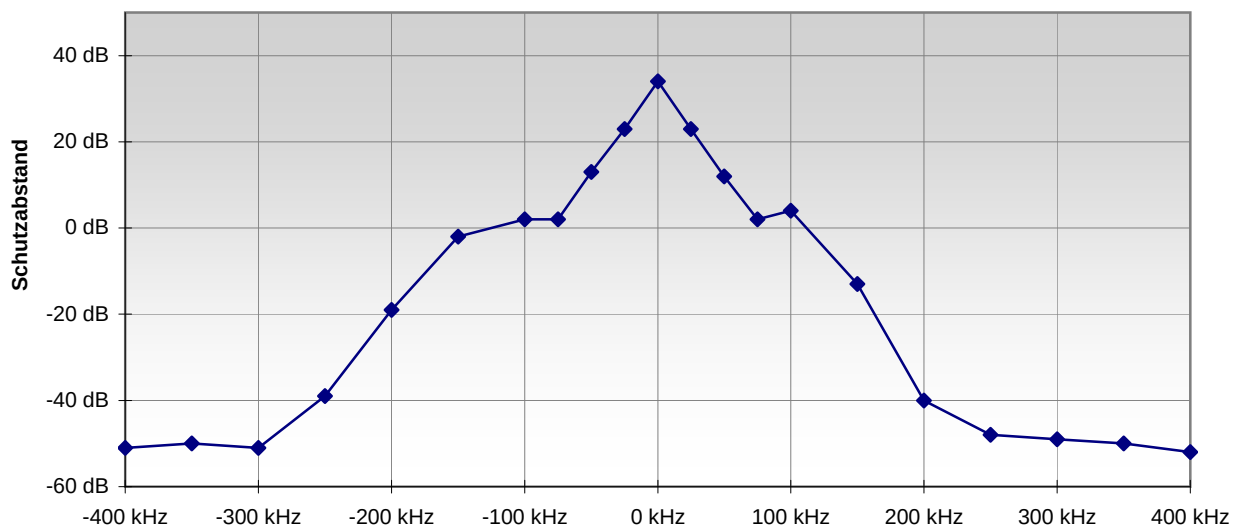
Datum 6.8.08
 Empfänger Rx 3
 Nutzfrequenz 87,60 MHz

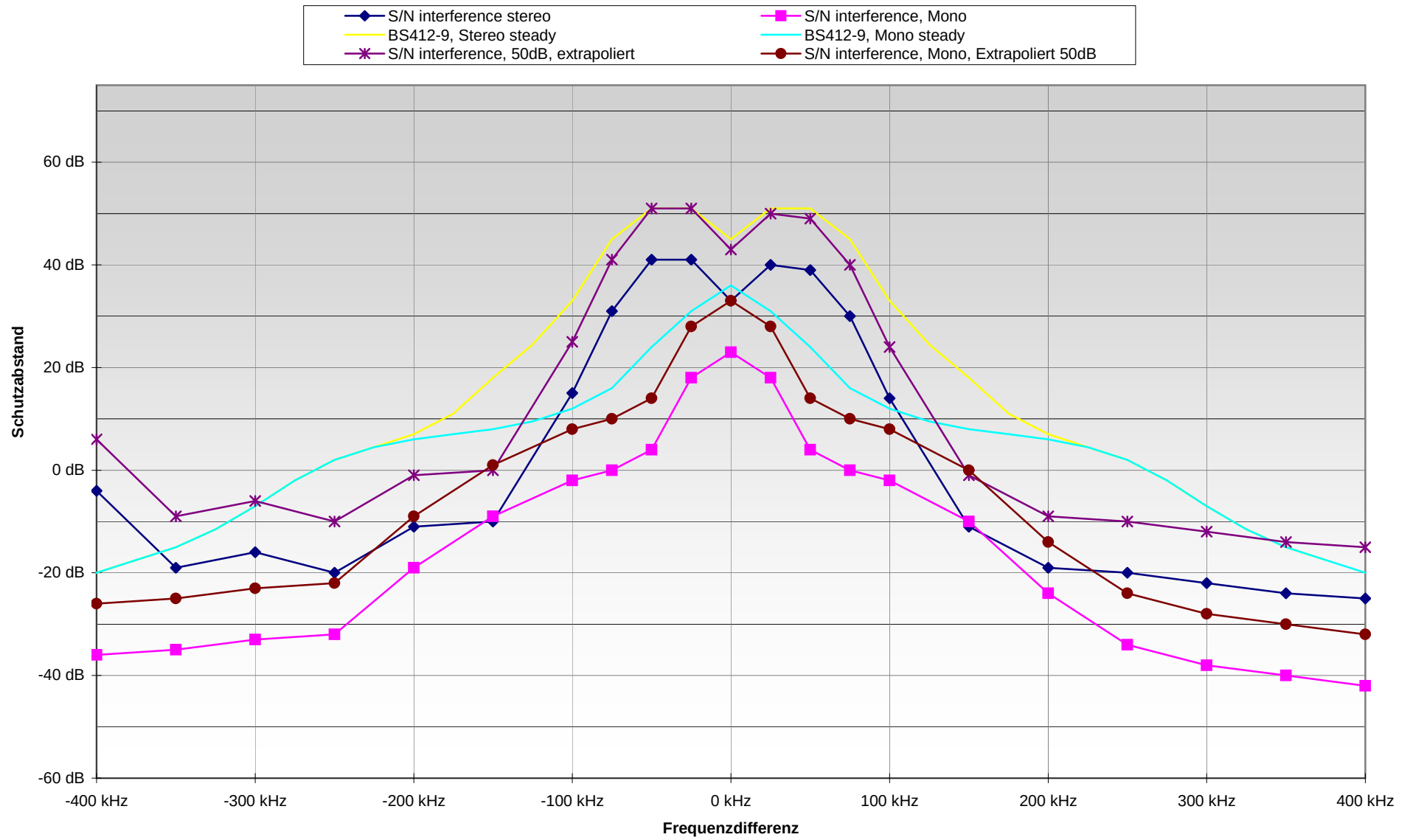
Störsignal: **FM, nach ITU-R BS. 641, 0dBr MPX, mit RDS**
Frequenz: variable
Max. Pegel: -8 dBm bei 0 dB atten.

Nutzsignal: kein NF-Signal, mono (S/N-Referenz: 500 Hz mit 75 kHz Hub), m. RDS
Frequenz: 87,600 MHz
Nutzpegel: -76 dBm

Störkriterium: **Störsignal verschlechtert das S/N auf 50 dB**
Bemerkung(en) S/N-Ref. 1 dBu

Störer Frequenz	Freq.abstand	S/N Interference		
		FM atten.	FM pegel	Schutzabst.
87,200 MHz	-400 kHz	17 dB	-25 dBm	-51 dB
87,250 MHz	-350 kHz	18 dB	-26 dBm	-50 dB
87,300 MHz	-300 kHz	17 dB	-25 dBm	-51 dB
87,350 MHz	-250 kHz	29 dB	-37 dBm	-39 dB
87,400 MHz	-200 kHz	49 dB	-57 dBm	-19 dB
87,450 MHz	-150 kHz	66 dB	-74 dBm	-2 dB
87,500 MHz	-100 kHz	70 dB	-78 dBm	2 dB
87,525 MHz	-75 kHz	70 dB	-78 dBm	2 dB
87,550 MHz	-50 kHz	81 dB	-89 dBm	13 dB
87,575 MHz	-25 kHz	91 dB	-99 dBm	23 dB
87,600 MHz	0 kHz	102 dB	-110 dBm	34 dB
87,625 MHz	25 kHz	91 dB	-99 dBm	23 dB
87,650 MHz	50 kHz	80 dB	-88 dBm	12 dB
87,675 MHz	75 kHz	70 dB	-78 dBm	2 dB
87,700 MHz	100 kHz	72 dB	-80 dBm	4 dB
87,750 MHz	150 kHz	55 dB	-63 dBm	-13 dB
87,800 MHz	200 kHz	28 dB	-36 dBm	-40 dB
87,850 MHz	250 kHz	20 dB	-28 dBm	-48 dB
87,900 MHz	300 kHz	19 dB	-27 dBm	-49 dB
87,950 MHz	350 kHz	18 dB	-26 dBm	-50 dB
88,000 MHz	400 kHz	16 dB	-24 dBm	-52 dB





Schutzabstand

Datum 7.8.08
 Empfänger Rx 4
 Nutzfrequenz 87,60 MHz

Störsignal: **FM, nach ITU-R BS. 641, 0dBr MPX, mit RDS**
Frequenz: variable
Max. Pegel: -4 dBm bei 0 dB atten.

Nutzsignal: kein NF-Signal, stereo (S/N-Referenz: 500 Hz mit 75 kHz Hub), m. RDS
Frequenz: 87,600 MHz
Nutzpegel: -64 dBm

Störkriterium: **Störsignal verschlechtert das S/N von 46 auf 40 dB**
Bemerkung(en)

Störer Frequenz	Freq.abstand	S/N Interference			Extrapolation 50dB
		FM atten.	FM pegel	Schutzabst.	
87,200 MHz	-400 kHz	56 dB	-60 dBm	-4 dB	6 dB
87,250 MHz	-350 kHz	41 dB	-45 dBm	-19 dB	-9 dB
87,300 MHz	-300 kHz	44 dB	-48 dBm	-16 dB	-6 dB
87,350 MHz	-250 kHz	40 dB	-44 dBm	-20 dB	-10 dB
87,400 MHz	-200 kHz	49 dB	-53 dBm	-11 dB	-1 dB
87,450 MHz	-150 kHz	50 dB	-54 dBm	-10 dB	0 dB
87,500 MHz	-100 kHz	75 dB	-79 dBm	15 dB	25 dB
87,525 MHz	-75 kHz	91 dB	-95 dBm	31 dB	41 dB
87,550 MHz	-50 kHz	101 dB	-105 dBm	41 dB	51 dB
87,575 MHz	-25 kHz	101 dB	-105 dBm	41 dB	51 dB
87,600 MHz	0 kHz	93 dB	-97 dBm	33 dB	43 dB
87,625 MHz	25 kHz	100 dB	-104 dBm	40 dB	50 dB
87,650 MHz	50 kHz	99 dB	-103 dBm	39 dB	49 dB
87,675 MHz	75 kHz	90 dB	-94 dBm	30 dB	40 dB
87,700 MHz	100 kHz	74 dB	-78 dBm	14 dB	24 dB
87,750 MHz	150 kHz	49 dB	-53 dBm	-11 dB	-1 dB
87,800 MHz	200 kHz	41 dB	-45 dBm	-19 dB	-9 dB
87,850 MHz	250 kHz	40 dB	-44 dBm	-20 dB	-10 dB
87,900 MHz	300 kHz	38 dB	-42 dBm	-22 dB	-12 dB
87,950 MHz	350 kHz	36 dB	-40 dBm	-24 dB	-14 dB
88,000 MHz	400 kHz	35 dB	-39 dBm	-25 dB	-15 dB

Schutzabstand

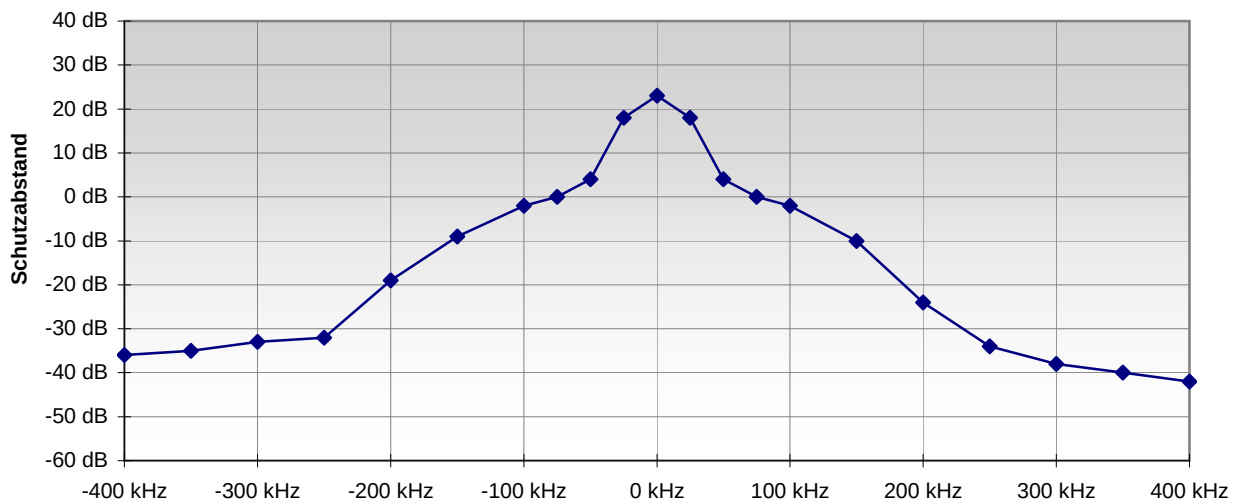
Datum 7.8.08
 Empfänger Rx 4
 Nutzfrequenz 87,60 MHz

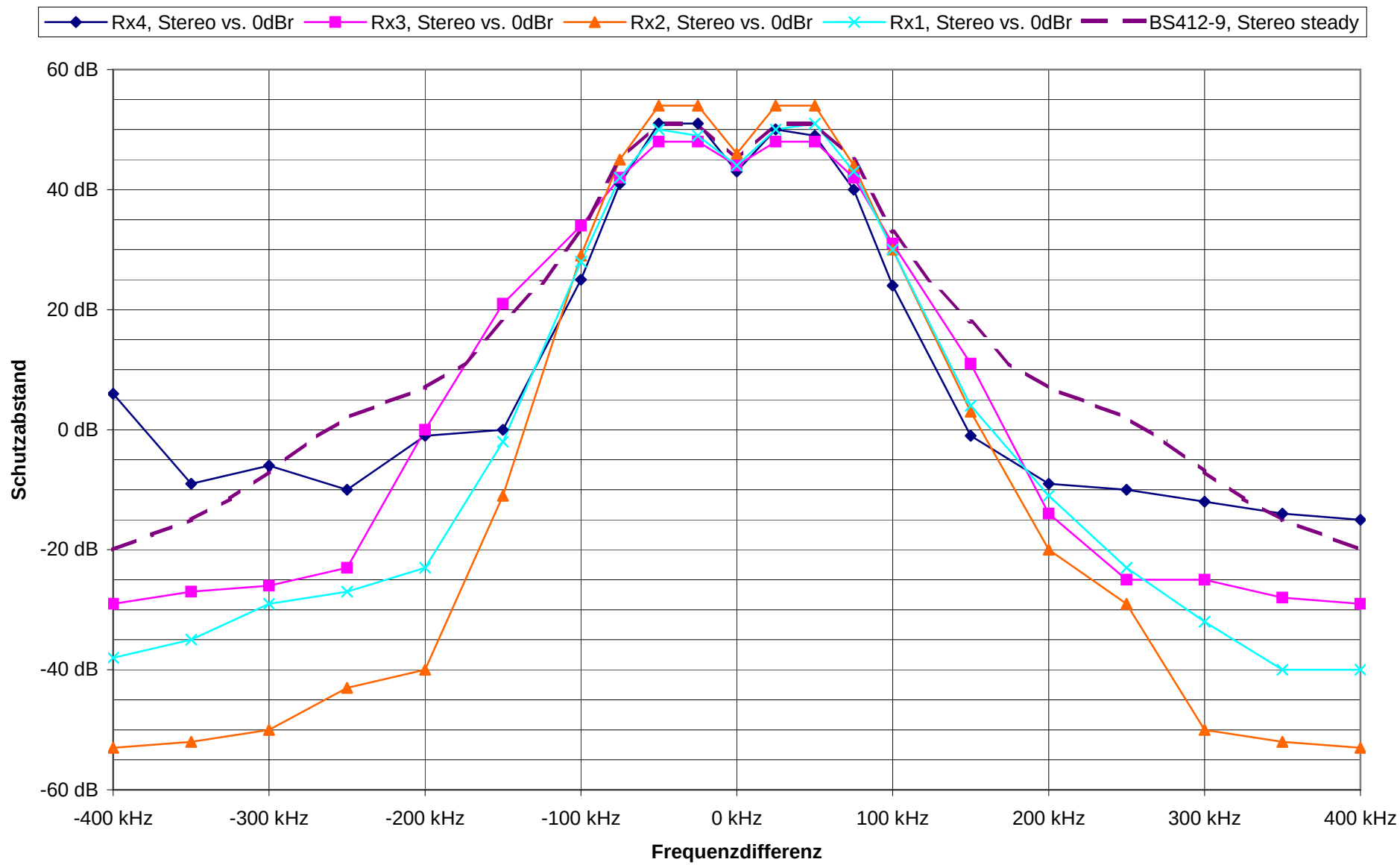
Störsignal: **FM, nach ITU-R BS. 641, 0dBr MPX, mit RDS**
Frequenz: variable
Max. Pegel: -4 dBm bei 0 dB atten.

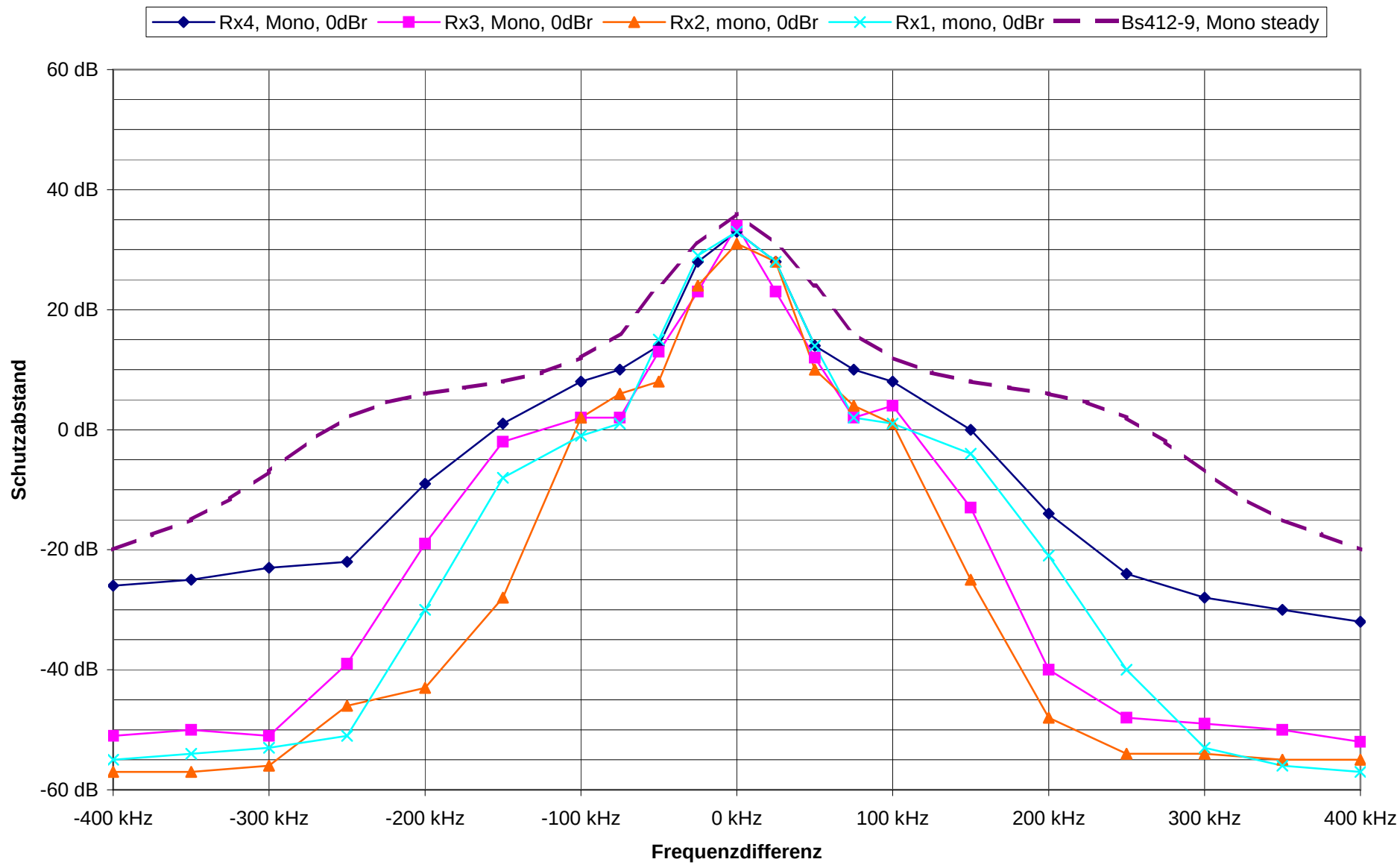
Nutzsignal: kein NF-Signal, mono (S/N-Referenz: 500 Hz mit 75 kHz Hub), m. RDS
Frequenz: 87,600 MHz
Nutzpegel: -82 dBm

Störkriterium: **Störsignal verschlechtert das S/N von 46 auf 40 dB**
Bemerkung(en)

Störer Frequenz	Freq.abstand	S/N Interference			Extrapolation 50dB
		FM atten.	FM pegel	Schutzabst.	
87,200 MHz	-400 kHz	42 dB	-46 dBm	-36 dB	-26 dB
87,250 MHz	-350 kHz	43 dB	-47 dBm	-35 dB	-25 dB
87,300 MHz	-300 kHz	45 dB	-49 dBm	-33 dB	-23 dB
87,350 MHz	-250 kHz	46 dB	-50 dBm	-32 dB	-22 dB
87,400 MHz	-200 kHz	59 dB	-63 dBm	-19 dB	-9 dB
87,450 MHz	-150 kHz	69 dB	-73 dBm	-9 dB	1 dB
87,500 MHz	-100 kHz	76 dB	-80 dBm	-2 dB	8 dB
87,525 MHz	-75 kHz	78 dB	-82 dBm	0 dB	10 dB
87,550 MHz	-50 kHz	82 dB	-86 dBm	4 dB	14 dB
87,575 MHz	-25 kHz	96 dB	-100 dBm	18 dB	28 dB
87,600 MHz	0 kHz	101 dB	-105 dBm	23 dB	33 dB
87,625 MHz	25 kHz	96 dB	-100 dBm	18 dB	28 dB
87,650 MHz	50 kHz	82 dB	-86 dBm	4 dB	14 dB
87,675 MHz	75 kHz	78 dB	-82 dBm	0 dB	10 dB
87,700 MHz	100 kHz	76 dB	-80 dBm	-2 dB	8 dB
87,750 MHz	150 kHz	68 dB	-72 dBm	-10 dB	0 dB
87,800 MHz	200 kHz	54 dB	-58 dBm	-24 dB	-14 dB
87,850 MHz	250 kHz	44 dB	-48 dBm	-34 dB	-24 dB
87,900 MHz	300 kHz	40 dB	-44 dBm	-38 dB	-28 dB
87,950 MHz	350 kHz	38 dB	-42 dBm	-40 dB	-30 dB
88,000 MHz	400 kHz	36 dB	-40 dBm	-42 dB	-32 dB







Literaturverzeichnis

- [BDH⁺96] BRECHMANN ; DZIEIA ; HÖRNEMANN ; HÜBSCHER ; JAGLA ; PETERSEN: *Elektrotechnik Tabellen Kommunikationselektronik*. 3. Auflage. Westermann Schulbuchverlag Braunschweig, 1996
- [Deu94] DEUTSCHE BUNDESPOST TELEKOM, FORSCHUNGS- UND TECHNOLOGIEZENTRUM, REFERAT R44: Richtlinie für die Überwachung des Frequenzhubs von UKW-FM-Tonrundfunksendern. FTZ 176 TR 28. (1994)
- [Deu98] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V., DIN: Meßverfahren für Funkempfänger für verschiedene Sendearten. Teil 4: Empfänger für frequenzmodulierte Ton-Rundfunksendungen. In: *DIN EN 60315-4* (1998)
- [Eur90] EUROPEAN BROADCASTING UNION: *Guidelines for the implementation of the RDS system*. Januar 1990. – Tech. 3260-E
- [Eur06] EUROPEAN TELECOMMUNICATIONS STANDARDS INSTITUTE: ETSI EN 302018-1 V1.2.1: Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Transmitting equipment for the Frequency Modulated (FM) sound broadcasting service; Part 1: Technical characteristics and test methods. (2006), 03
- [Gem82] GEMISCHTE EXPERTENGRUPPE ARD/DBP: Richtlinie Nr. 5 R 4 - Richtlinie für die Beurteilung der UKW-Hörfunkversorgung (Mono und Stereo) bei ARD und DBP (wortgleich zu: FTZ 175R4). In: *Technische Richtlinien der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten in der Bundesrepublik Deutschland* (1982)
- [HSE07] HASENPUSCH, Th. ; SCHAD, F. ; EFFINGER, R.: Compatibility Measurements: FMExTra interfering with Aeronautical Radionavigation / Federal Network Agency of Germany and Fachhochschule Kaiserslautern. 2007 (G771/00593/07). – Forschungsbericht
- [ITU90] INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION, ITU: ITU-R BS.704: Characteristics of FM sound broadcasting reference receivers for planning purposes. (1990)
- [ITU02a] INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION, ITU: ITU-R BS.412-9: Planning standards for terrestrial FM sound broadcasting at VHF. (1986, 2002)
- [ITU02b] INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION, ITU: ITU-R BS.468-4: Measurement of audio-frequency noise voltage level in sound broadcasting. (1986, 2002)
- [ITU02c] INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION, ITU: ITU-R BS.559-2: Objective measurement of radio-frequency protection ratios in LF, MF and HF broadcasting. (1986, 2002)
- [ITU02d] INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION, ITU: ITU-R BS.641: Determination of radio-frequency protection ratios for frequency-modulated sound broadcasting. (1986, 2002)
- [Kre03] KRETZSCHMANN, Roland: *Hinweise zur studioseitigen NF-Signalaufbereitung und zur Mono-/Stereoübertragung bei nichtkommerziellen Veranstaltern*. Lfk Baden-Württemberg, 2003
- [Mäu88] MÄUSL, Rudolf: *Analoge Modulationsverfahren*. Hüthig Verlag, Heidelberg, 1988

- [Pes82] PESCHL, H.: Signal-/Rauschabstände bei Mono- und Stereoübertragung. In: *Funk-Technik* Jg. 37, Nr. 10 (1982), S. 430f.
- [Sch07a] SCHAD, Felix: *Entwicklung eines NF-Tiefpasses zur Pilottonunterdrückung – Schutzabstandsmeßstrecke FM/DRM+ : NF-Tiefpass „T“*. April 2007
- [Sch07b] SCHAD, Felix: *Teilautomatisierung von (FM-)Schutzabstandsmessungen – Automatische Frequenzeinstellung von Störsignalen gemäß Sweepliste mittels GPIB und Excel: prSweeper.xls*. September 2007
- [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

Abbildungsverzeichnis

3.1. Aufbau des Signalspektrums eines FM-Rundfunksenders bei stereophoner Audioübertragung im Basisband, aus: [BDH ⁺ 96, S. 173]	6
3.2. Spektrum eines UKW-Mono- und Stereosenders	6
3.3. Vergleich der Rauschleistungsdichte	9
3.4. NF-Ausgangspegel und Rauschpegel bei Mono- und Stereobetrieb	9
3.5. Spektrumsmaske für den UKW-FM-Rundfunk gem. [Eur06]	10
3.6. Nahaufnahme von FM-Spektren (Oberes Seitenband)	12
3.7. Nahaufnahme von FM-Spektren (Oberes Seitenband), reales Sendesignal	13
4.1. Blockschaltbild zur Empfindlichkeitsmessung	15
4.2. Spektrum eines FM-Senders, Stereobetrieb	16
4.3. Spektrum eines FM-Senders, Monobetrieb	16
4.4. Beispiel des Ergebnisses einer Empfindlichkeitsmessung (Rx1)	17
4.5. (S/N)-Verlauf: alle Rx'e, beide Betriebsarten	17
4.6. Blockschaltbild zu den Schutzabstandsmessungen	19
4.7. Einfluss verschiedener Störmodulationen auf den Schutzabstand	20
4.8. Vergleich des Normstörers nach [ITU02d] und dem Störer mit der reduzierten MPX-Leistung von 0 dBr bei Beginn der Störung; Nutzsignal: Stereo, ohne Modulation . . .	21
4.9. Gegenüberstellung der Ergebnisse aus [HSE07],[SSR07] und des zu dieser Arbeit verwendeten Aufbaus	22
4.10. Schutzabstände für den UKW-Stereorundfunk, Rx1 – Rx4	22
4.11. Schutzabstände für den UKW-Monorundfunk, Rx1 – Rx4	23
4.12. Variation der S/N -Werte (Störkriterium), Rx1	24
4.13. Schutzabstände für UKW-Mono- / Stereosendungen	24
5.1. Schutzabstände für die Rundfunkplanung, Werte gem. Tabelle 5.2	27

Tabellenverzeichnis

3.1. Carson-Bandbreiten für verschiedene Sendevarianten	10
3.2. Mindestnutzfeldstärke zur Versorgung eines Empfangsortes, Rauschbehaftete Umgebung	10
3.3. Mindestnutzfeldstärke zur Versorgung eines Empfangsortes, Rauschfreie Umgebung . .	10
3.4. Schutzabstände für den FM-Rundfunkempfang, Dauerstörungen	11
3.5. Max. zulässige Reflexionen am Empfangsort	11
4.1. FM-Empfängertypen	14
4.2. Empfindlichkeit für $S/N=50$ dB	17
4.3. Empfindlichkeit für $S/N=40$ dB	18
5.1. Empfangsempfindlichkeiten und Feldstärken für die Funknetzplanung	26
5.2. Schutzabstände für die Funknetzplanung	26