



Bundesnetzagentur

Messbericht

G531/00370/08

Funkverträglichkeitsmessungen
BWA700 (Störer) gegen
DVB-T und DVB-C (gestörte Funkdienste)

BNetzA Standort München
Prangerlstr. 12
81247 München

Thomas Hasenpusch, Augs8-2
Markus Albertshofer, Augs8-1b

Stand: 24.06.09

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Untersuchte Empfänger	3
2.1	DVB-T	3
2.2	DVB-C	4
3	Nutzsignale	4
3.1	DVB-T	4
3.2	DVB-C	5
4	Störeffekte und Kriterien	5
5	Störsignale	6
5.1	CDMA700	6
5.2	CIFDM	7
5.3	Aufnahme der Störspektren.....	8
6	Messaufbau.....	8
7	Vermessung der TEM- Zelle	10
8	Vermessung der aktiven DVB-T Antennen	10
9	Störabstandsmessungen.....	12
9.1	DVB-T Empfänger	12
9.2	Aktive DVB-T Antennen.....	16
9.3	DVB-C Empfänger.....	18
10	Wertung der Ergebnisse	18

Anlage 1: Verwendete Messgeräte

Anlage 2: Empfänger

Anlage 3: Spektren der Nutz- und Störsignale

Anlage 4: Messungen in der TEM- Zelle

Anlage 5: Störabstände CDMA700UE auf DVB-T

Anlage 6: Störabstände CDMA700BS auf DVB-T

Anlage 7: Störabstände CIFDM auf DVB-T

Anlage 8: Störabstände auf DVB-C

1 Einleitung

Im Zuge der Diskussion um die sogenannte „Digitale Dividende“ bei der Digitalisierung des Fernseh Rundfunks soll der Frequenzbereich zwischen 790 und 862 MHz (Kanal 61 – 69), möglicherweise auch darunter, zukünftig eventuell von Mobilfunkdiensten genutzt werden, um insbesondere ländliche Gebiete mit breitbandigen Internetzugängen zu versorgen. Dabei stellt sich die Frage nach den Bedingungen, unter denen diese neuen Dienste mit dem Empfang von DVB-T sowie DVB-C verträglich im Sinne der Störungsfreiheit sind.

Dazu wurden die benötigten Störabstände zwischen zwei der in Frage kommenden Mobilfunksystemen als Störer auf den DVB-T und DVB-C Empfang gemessen. In Verbindung mit dem ebenfalls gemessenen Feldstärkeverlauf eines Endgerätes (= „User Equipment“ oder UE) im unmittelbaren Nahbereich kann aus den Ergebnissen eine Abschätzung der Verträglichkeitsentfernungen gemacht werden.

Bei den gemessenen Mobilfunksystemen handelt es sich zum einen um ein Einträgersystem, das dem UMTS ähnlich ist (CDMA) und zum anderen um ein Mehrträgersystem, das am ehesten mit LTE vergleichbar ist (CIFDM). Das CDMA System befindet sich seit Anfang 2009 in einem Versuchsbetrieb in Wittstock, das CIFDM System soll ebenfalls noch 2009 in der Nähe von Berlin (Rauhner Berge) in Versuchsbetrieb gehen.

Für die Störabstandsmessungen zu DVB-T standen insgesamt 27 DVB-T Empfänger aller Bauarten und 10 aktive Antennen zur Verfügung. Die Beeinträchtigungen des DVB-C Empfangs wurden an drei Mess- und Heimempfängern durchgeführt.

Die Störabstandsmessungen fanden zwischen dem 12.01. und 27.01.09 im Messlabor der BNetzA in München statt.

Beteiligte Personen:

Name	DSt / Organisation	Bemerkungen
Th. Hasenpusch	BNetzA München	
M. Albertshofer	BNetzA München	
U. Haas	Mediananstalt Berlin-Brandenburg	Nur zeitweise
C. Kunert	IRT	Nur zeitweise

Tab. 1: Teilnehmer an den Messungen

Im Rahmen dieses Messberichtes wird die Abkürzung „BWA700“ als Oberbegriff für alle Mobilfunksysteme zur Internet- Versorgung im untersuchten Frequenzbereich verwendet (Broadband Wireless Access at 700 MHz).

2 Untersuchte Empfänger

2.1 DVB-T

Da innerhalb eines DVB-T Versorgungsgebietes kein gleichzeitiger Betrieb mit BWA700 Systemen möglich ist, kommt es bei der Beurteilung der Verträglichkeit hier besonders auf die Situationen in Nachbarkanälen sowie weit entfernten Frequenzen an. Die Störabstände hierfür hängen stark vom individuellen Empfänger und dessen Aufbau ab. Allgemeingültige Aussagen können deshalb nur getroffen werden, wenn eine repräsentative Auswahl an Empfängern gemessen wird.

Die insgesamt 27 hier gemessenen DVB-T Empfänger wurden in folgende vier Kategorien aufgeteilt:

- 14 Settop-Boxen
- 7 Fernseher / Bildschirme mit integriertem DVB-T Empfänger (IDTV)

- 2 Mobiltelefone mit eingebautem DVB-T Empfänger
- 4 USB-Sticks und PCMCIA- Karten zur Verwendung am PC oder Laptop

Diese Aufteilung berücksichtigt folgende Unterscheidungsmerkmale:

- Verschiedene Haupteinsatzbereiche und Verwendungszwecke (vorwiegend stationärer, portabler oder mobiler Empfangsbetrieb)
- Verschiedene Empfängerprinzipien (Mischung auf ZF-Frequenzen, Direktmischung ins Basisband)
- Unterschiedliche Preisbereiche der Geräte (vom USB Stick für 10 € bis zum Großbildfernseher für einige 1000 €)
- Beschränkungen durch maximale Baugröße (z.B. bei Handys und USB-Sticks)

Die vorliegende Empfängerauswahl kann zum Zeitpunkt der Messung als repräsentativ angesehen werden.

DVB-T Empfänger werden besonders bei portabler Verwendung oft an aktiven Antennen betrieben. Der darin eingebaute Verstärker bestimmt wesentlich das Großsignalverhalten der Empfangsanlage und damit den Störabstand. Um diesen Einfluss zu ermitteln, wurden hier zusätzlich 10 aktive Antennen gemessen (Außen- und Zimmerantennen).

Einzelheiten der gemessenen Empfänger und Antennen sind in **Anlage 2** zusammengestellt.

2.2 DVB-C

Wegen der Schirmungsdämpfung von Kabelanlagen kann davon ausgegangen werden, dass eine störende Beeinflussung des Kabelfernsehempfangs nur im Empfangskanal selbst auftritt. Um eine Übersteuerung des Empfängers durch BWA700 Signale auf anderen Kanälen zu erzeugen, reichen die durch Einstrahlung erzeugten Störpegel im Kabel nicht aus. Da die Gleichkanalstörabstände im Wesentlichen vom Nutzsystm und der Störsignalfom, aber kaum vom Empfänger selbst abhängen, ist in diesem Fall die Messung nur weniger Empfänger ausreichend. In dem für BWA700 geplanten UHF Frequenzbereich befinden sich in Kabelanlagen in der Regel nur digitale Fernsehsignale (DVB-C), so dass auf die Messung der Störabstände zum analogen PAL-TV verzichtet wurde.

Es wurden insgesamt drei DVB-C Empfänger gemessen: zwei handelsübliche Settop-Boxen und ein Messempfänger.

Einzelheiten dieser Empfänger sind in **Anlage 2** zusammengestellt.

3 Nutzschnale

3.1 DVB-T

Folgende DVB-T Nutzschnale wurden für die Messungen verwendet:

Kennung nach RRC 06	FFT	Modulation	Code-rate	Guard Intervall	Bemerkungen
B2	8k	16QAM	2/3	1/4	Gauss- Kanal
B2	8k	16QAM	2/3	1/4	Rayleigh-Fading nach ETSI TR101 290 „portable Echo“
C1	8k	64QAM	1/2	1/4	Gauss- Kanal

Tab. 2: DVB-T Nutzschnale

Die Systemvarianten B2 und C1 werden zurzeit in Deutschland verwendet.

Das statische B2- Signal wurde bei zwei verschiedenen Nutzpegeln gemessen, um verschiedene Störeffekte (Nebenaussendungen und Blocking, siehe Abschnitt 4) zu erfassen:

Der niedrige Pegel („low level“) wurde individuell jeweils 10 dB oberhalb der Systemempfindlichkeit gelegt. Bei diesem Pegel befindet sich der Empfänger im linearen Arbeitsbereich mit möglichst großer Reserve bis zur Übersteuerung. Gleichzeitig ist der Pegel aber so hoch, dass das Empfängerrauschen als Störwirkung vernachlässigbar ist.

Der hohe Pegel („high level“) betrug -25 dBm am Eingang der Empfänger, die eine externe Antennenbuchse haben. Bei diesem Pegel müssen alle Empfänger noch einwandfrei arbeiten. Er ist jedoch so hoch, dass sich bei Zusetzen eines Störpegels in etwa gleicher Höhe oft bereits Übersteuerung ergibt. Empfänger ohne externe Antennenbuchse sowie die aktiven Antennen wurden in einer sogenannten TEM- Zelle gemessen (siehe Abschnitt 6). Hier wurde ein Nutzpegel von -15 dBm an den Eingang der Zelle gelegt. Wie viel Eingangsleistung der Empfänger dabei tatsächlich erhält, hängt vom Wirkungsgrad der Antenne ab. Bei dem mittleren gemessenen Wirkungsgrad kann man jedoch auch hier von einem Empfängereingangspegel von etwa -25 dBm ausgehen.

Die Nutzfrequenz wurde auf 778 MHz eingestellt. Das entspricht dem UHF Kanal 59.

Die DVB-T Nutzsignale wurden von einem Messsender (R&S SFU) erzeugt. Es wurde eine etwa 25 Sekunden lange Filmsequenz („Taucher“) in einer Endlosschleife gesendet. Spektrogrammaufnahmen sind in **Anlage 3** dargestellt.

3.2 DVB-C

Als DVB-C Nutzsignale wurde je eines mit 64QAM sowie eines mit 256QAM gemessen. Der Nutzpegel wurde ebenfalls, soweit möglich, um ca. 10 dB oberhalb der Empfindlichkeit des jeweiligen Empfängers eingestellt. Die Nutzfrequenz betrug für die Störabstandsmessungen 338 MHz für das 256QAM Signal und 378 MHz für das 64QAM Signal.

Die DVB-C Nutzsignal wurde direkt aus dem Netz der Kabel Deutschland bezogen. Spektrogrammaufnahmen sind in **Anlage 3** dargestellt.

4 Störeffekte und Kriterien

Grundsätzlich gibt es zwei hier untersuchte Störmechanismen:

- Störung durch Restseitenbandaussendungen: Hier wird der Empfang dadurch gestört, dass ein Teil der HF- Energie des Störers in den DVB- Nutzkanal fällt und sich mit dem Nutzsignal überlagert. Dieser Effekt tritt besonders im Nachbarkanal und bei kleinen Frequenzoffsets auf. Der Empfänger befindet sich im linearen Bereich. Der Effekt wird wesentlich durch den spektralen Verlauf der Seitenbandaussendungen des Störsignals beeinflusst. Eine schärfere Spektrumsmaske kann hier eine Verbesserung bringen.
- Störung durch Übersteuerung (Blocking): Hierbei bekommt die Eingangsstufe des Empfängers (bzw. der aktiven Antenne) durch Nutz- und Störsignal insgesamt so viel Energie, dass sie in den nichtlinearen Bereich kommt, also übersteuert ist. Die Folge ist ein abgeschwächtes und verzerrtes Nutzsignal in den weiteren Empfangsstufen, so dass keine saubere Dekodierung mehr möglich ist. Dieser Effekt nimmt mit steigendem Frequenzoffset nur sehr langsam ab und betrifft daher meist alle DVB- Empfangskanäle. Er ist unabhängig von der Spektrumsmaske des Störsignals.

Sowohl in den relevanten DVB- Standards als auch in den Planungsrichtlinien für DVB-T (z.B. RRC06) wird als Störkriterium eine maximale Bitfehlerrate von $2 \cdot 10^{-4}$ nach dem Viterbi-Dekoder angegeben. Im Falle des DVB-C Messempfängers wurde dieses Störkriterium auch verwendet.

Alle kommerziellen Empfänger bieten jedoch keine Möglichkeit, die Bitfehlerrate zu messen. Hier wurde daher die subjektive Methode der Beobachtung des dekodierten Bildes verwendet. Als Störkriterium wurde das Auftreten von mehr als einem Blockfehler oder der Verlust der Synchronisation (Bild wird schwarz oder bleibt stehen) innerhalb von 20 Sekunden gewertet, je nach dem welcher Effekt zuerst auftrat. Wenn man voraussetzt, dass ein Blockfehler mindestens auf eine fehlerbehaftete Sekunde zurückzuführen ist, entspricht das Auftreten von einem Blockfehler innerhalb von 20 Sekunden einer relativen „Fehlerzeit“ von 5% (sog. ESR₅- Kriterium, siehe auch ETSI TR 101 290). Dieses Kriterium ist fast identisch mit dem sog. SFP (subjective failure point), das in der Empfehlung ITU-R BT.1368 beschrieben ist, jedoch leichter zu erfassen.

In der Regel ist der Unterschied im Störpegel vom Auftreten erster Blockfehler bis zum Totalausfall nur ein bis zwei dB. Einige Empfänger zeigen bis zum Totalausfall sogar überhaupt keine Bildfehler. Der totale Verlust der Synchronisation kann jedoch gelegentlich erst nach mehr als 20 Sekunden eintreten. In diesen Fällen wurde die entsprechende Situation dennoch als gestört gewertet.

5 Störsignale

5.1 CDMA700

Das hier CDMA700 genannte System ist ein digital modulierte Einträgerverfahren, das beide Richtungen der Duplexverbindung auf nur einer Frequenz im Zeitschlitzverfahren betreibt. Die Aussendungen sind daher gepulst. Das Signal wurde in zwei Versionen gemessen:

- CDMA700_BS: Signal der Basisstation
- CDMA700_UE: Signal der Teilnehmergeräte (user equipments)

Beide Versionen unterscheiden sich zum einen im Verlauf der Seitenbandaussendungen, zum anderen in der Burstlänge.

Das CDMA700 Signal hat folgende charakteristischen Merkmale:

Parameter	Wert
Prinzip	Digitale Einträgermodulation
Modulationsart	QPSK
Symbolrate	7,68 MCchips/s
Bandbreite (99%)	6,8 MHz
CREST Wert	9 dB
Duplexverfahren	TDD
Rahmenlänge	10 ms
Burstlänge	UE: 3,33 ms, BS: 6,66 ms
Guardlänge	20 µs

Tab. 3: HF- Parameter des CDMA700 Störsignals

Beide CDMA700 Signale wurden mit Hilfe des Messsenders R&S SMU200A erzeugt. Dabei wurde der Verlauf der Seitenbandaussendungen durch gezielte „Verschlechterungen“ (im-pairments) so eingestellt, dass das Signal der Basisstation möglichst den Verlauf der unkritischen Spektrumsmaske für DVB-T Sender nach RRC06 hat. Das Seitenbandspektrum des CDMA700-UE Signals wurde so eingestellt, dass es möglichst genau dem Verlauf des tatsächlichen Spektrums eines im Wittstock-Versuch gemessenen Teilnehmergerätes folgt. Diese realistisch erzeugten Seitenbandspektren erlauben eine repräsentative Aussage über die Störabstände in den Nachbarkanalbereichen.

Um den Rauschpegel des Messsenders weitab von der eingestellten Frequenz auf ein realistisches Maß zu senken, wurde ein abstimmbares Bandpassfilter nachgeschaltet.

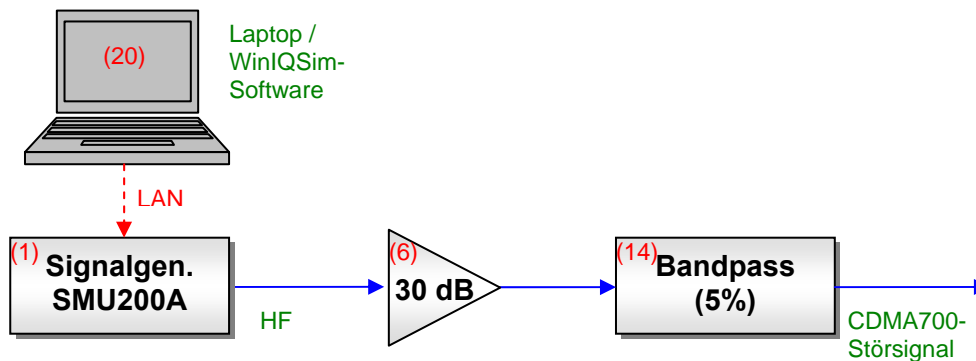


Bild 1: Aufbau zur Erzeugung des CDMA700- Störsignals
Zahlen in Klammern beziehen sich auf Gerätenummern in Anlage 1

Der Leistungsverstärker wurde nur bei den Messungen in der TEM- Zelle verwendet (Messaufbau nach Bild 4 und 5)

5.2 CIFDM

Dieses System (CIFDM = combed interleaved frequency division multiplex) verwendet eine Mehrträgermodulation, jedoch nicht COFDM, und wickelt die Duplexverbindung in der Regel auf zwei unterschiedlichen Frequenzen (TV- Kanälen) ab (FDD). Grundsätzlich kann auch gepulst gesendet und TDD betrieben werden, jedoch stellt der FDD- Betrieb, bei dem die Einheiten dauernd senden, für den DVB-T Empfang den kritischsten Fall dar und wurde deshalb hier verwendet.

Das hier gemessene CIFDM Signal hat folgende charakteristischen Merkmale:

Parameter	Wert
Prinzip	Mehrträgerverfahren
Zahl der Einzelträger	2 x 128
Modulationsart der Einzelträger	16QAM
Symbolrate	92 kHz
Bandbreite (99%)	7,1 MHz
CREST Wert	12,8 dB
Duplexverfahren	FDD

Tab. 4: HF- Parameter des CIFDM Störsignals

Das CIFDM- Störsignal wurde direkt aus einem Teilnehmerendgerät (UE) bezogen. Dieses wurde so modifiziert, dass es auch ohne Gegenstelle dauernd sendet und auf Knopfdruck jeweils um 8 MHz in der Frequenz verstellt werden konnte.

5.3 Aufnahme der Störspektren

Um die Seitenbandspektren der Störsignale mit hoher Dynamik zu messen, wurde folgender Messaufbau verwendet:

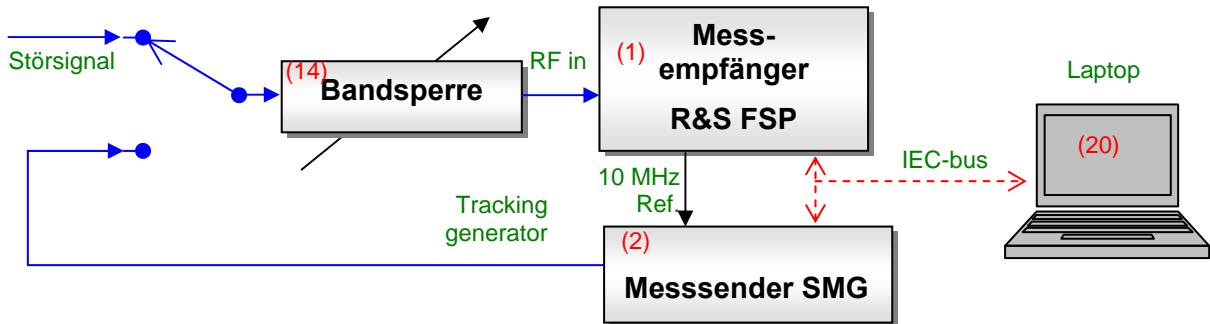


Bild 2: Aufbau zur Darstellung der Störsignalspektren
Zahlen in Klammern beziehen sich auf Gerätenummern in Anlage 1

Die Bandsperrfilter wurde so eingestellt, dass das Signal im Nutzkanal möglichst gut gedämpft ist, während es im hier interessierenden Seitenbandbereich durchgelassen wird. Dadurch kann der Gesamtsignalpegel hoch genug eingestellt werden, so dass die kleinen Seitenbandpegel empfindlich messbar sind, ohne jedoch den Empfänger zu übersteuern. Das so gefilterte Signal wird zunächst gemessen und die Pegelwerte aufgezeichnet. In einem zweiten Durchlauf wird die Filterdämpfungskurve mit einem Tracking-Generator im selben Frequenzbereich gemessen und ebenfalls aufgezeichnet. Mit Hilfe des Computers werden dann beide Kurven addiert und man erhält das Originalspektrum mit sehr hoher Messdynamik.

Die so entstandenen Aufnahmen der Restseitenbandspektren sind in **Anlage 3** dargestellt. Hierin sind zur Orientierung auch die unkritischen Spektrumsmasken für DVB-T Sender nach RRC 06 eingezeichnet.

6 Messaufbau

Für die Störabstandsmessungen der DVB-T Empfänger mit externen Antenneneingängen wurde folgender Messaufbau verwendet:

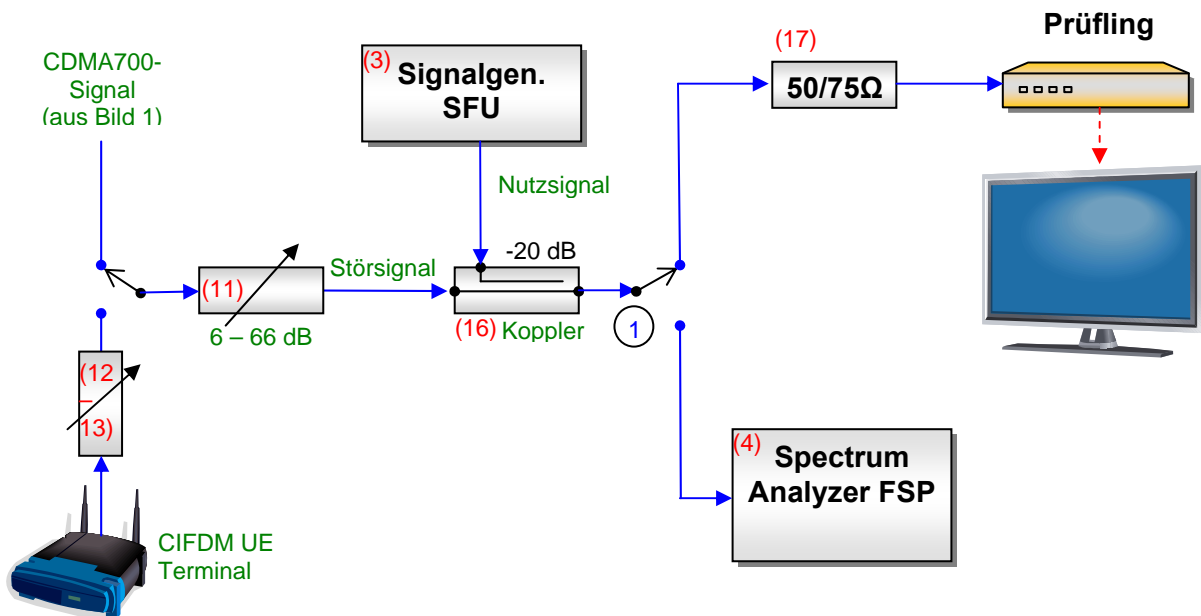


Bild 3: Aufbau zur DVB-T Störabstandsmessung bei externen Antenneneingängen
Zahlen in Klammern beziehen sich auf Gerätenummern in Anlage 1

Das Störsignal wurde über den nicht gedämpften Pfad des Richtkopplers geführt, um möglichst große Störpegel am Prüfling zu erreichen. Das Anpassglied von 50 auf 75 Ohm verursachte einen Pegelverlust von 1,8 dB, der in allen Ergebnistabellen bereits berücksichtigt ist, d. h. auch wenn der Pegel mit dem Spektrumanalysator am Punkt (1) gemessen wurde, sind in den Tabellen die errechneten Pegel am Eingang des Prüflings angegeben.

Für die Störabstandsmessungen der DVB-T Empfänger ohne externen Antenneneingang wurde folgender Messaufbau verwendet:

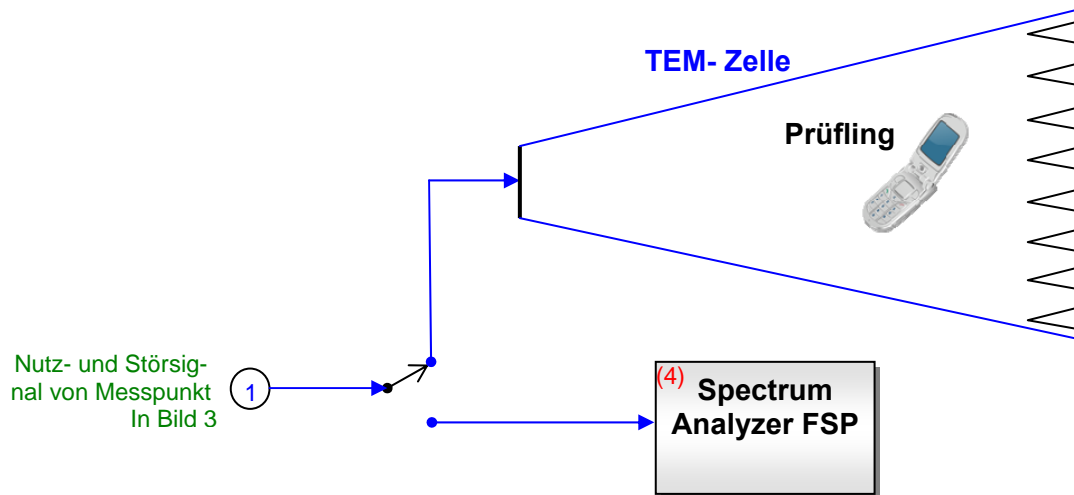


Bild 4: Aufbau zur DVB-T Störabstandsmessung bei Geräten ohne externen Antenneneingang
Zahlen in Klammern beziehen sich auf Gerätenummern in Anlage 1

Die TEM- Zelle ist im Prinzip ein aufgeweiteter Hohlleiter mit einem definierten Abschlusswiderstand von 50 Ohm. In der Mitte herrscht ein homogenes elektrisches Feld. Das Bild des Prüflings konnte bei geschlossener TEM- Zelle durch ein eingebautes Fenster beobachtet werden.

Für die Störabstandsmessungen der aktiven DVB-T Antennen wurde folgender Messaufbau verwendet:

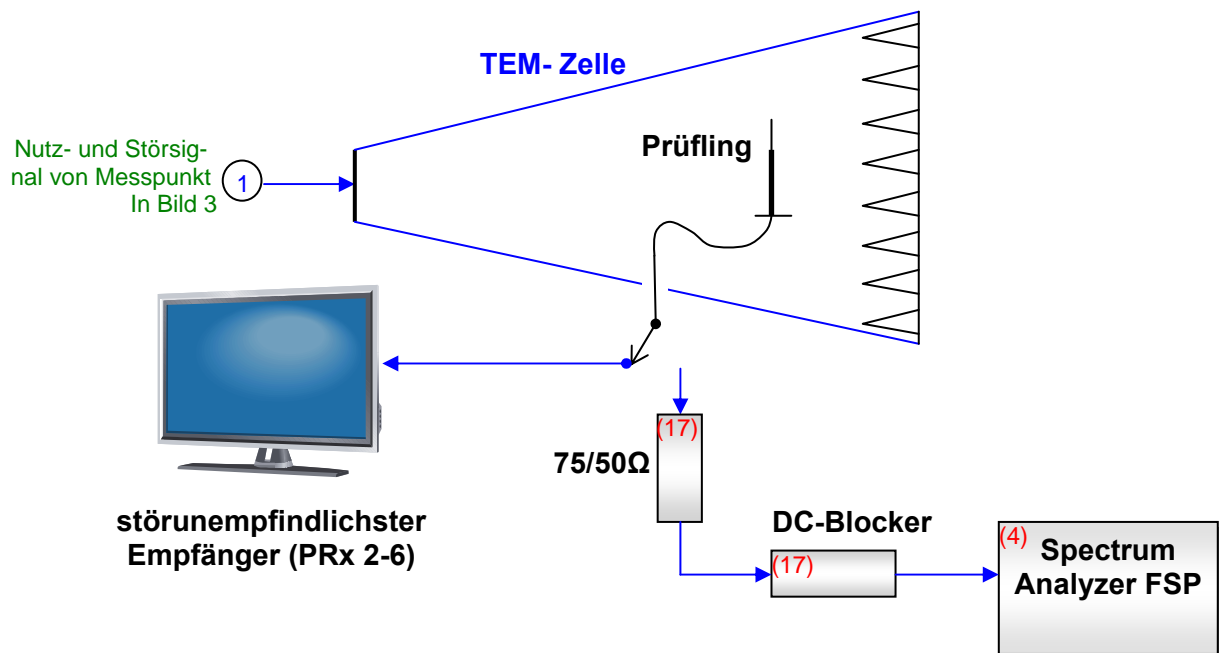


Bild 5: Aufbau zur DVB-T Störabstandsmessung von aktiven Antennen
Zahlen in Klammern beziehen sich auf Gerätenummern in Anlage 1

Für die Störabstandsmessungen auf DVB-C wurde folgender Messaufbau verwendet:

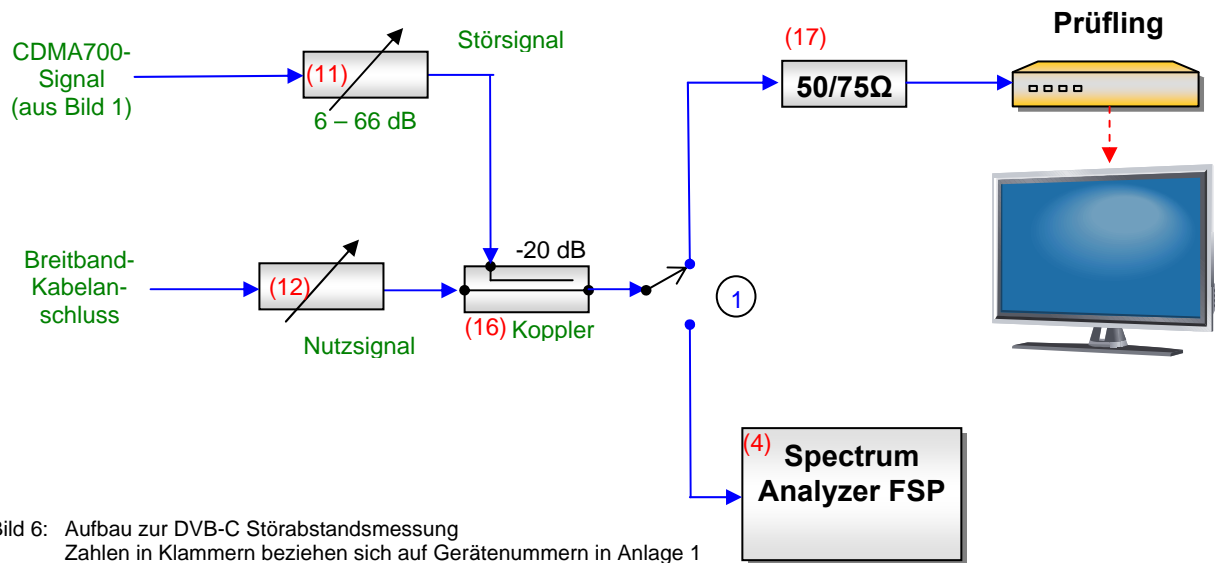


Bild 6: Aufbau zur DVB-C Störabstandsmessung
Zahlen in Klammern beziehen sich auf Gerätenummern in Anlage 1

7 Vermessung der TEM- Zelle

Um die HF- Eigenschaften der TEM- Zelle, insbesondere ihr Wandlungsmaß, zu bestimmen, wurde mit einer Messantenne die Feldstärke bei gleichbleibendem Einspeisepegel im Frequenzbereich 700 bis 900 MHz gemessen.

Es ergab sich ein fast frequenzunabhängiger Wert für das Wandlungsmaß von 5 dB.

Die Ergebnisse sind in **Anlage 4** zusammengestellt.

8 Vermessung der aktiven DVB-T Antennen

Um den Gewinn bzw. den ungestörten Einfluss bei der Verwendung von aktiven Antennen zu ermitteln, wurden zunächst die Ausgangspegel der Antennen in der TEM- Zelle bei Bestrahlung mit gleichmäßiger Feldstärke gemessen. Das Ergebnis zeigt einen sehr stark ausgeprägten Frequenzgang aller Antennen, sowie extrem große Unterschiede der Ausgangsspannungen bzw. Gewinne. Zum Vergleich ist im folgenden Diagramm der Frequenzgang der passiven Messantenne Schwarzbeck UBA9122 (Rheuse) dargestellt.

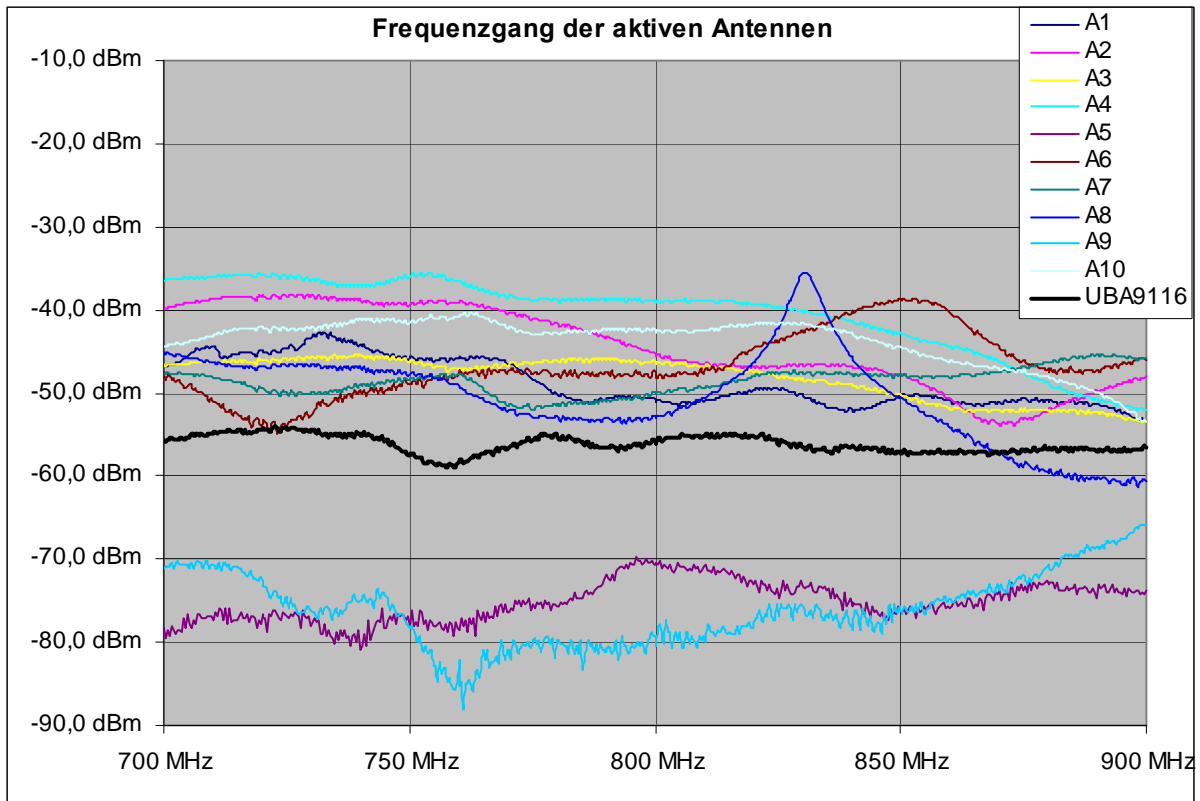


Bild 7: Frequenzgang und Ausgangspegel der aktiven Antennen im Vergleich zur passiven Rhesusantenne UBA9116

Die Antennen A5 und A9 liefern trotz Verstärker wesentlich weniger Pegel als eine abgestimmte passive Antenne.

In Zusammenhang mit der Vermessung des Feldstärkeverlaufs innerhalb der TEM- Zelle ergibt sich für die hier gemessenen aktiven Antennen ein mittleres Wandlungsmaß (K-Faktor) im Bereich 700 – 900 MHz von 22 dB.

Die Einzelwerte hierzu sind in **Anlage 4** aufgeführt.

Ein überraschender Effekt aller gemessenen aktiven Antennen war, dass sie das DVB-T Signal insgesamt durch Rauschen und Verzerrungen derart verschlechtern, dass die Empfängerempfindlichkeit teilweise drastisch verschlechtert wurde, was die folgende Tabelle zeigt:

Antenne	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A10
Empfindlichkeit	-82 dBm	-75 dBm	-82 dBm	-75 dBm	-87 dBm	-80 dBm	-78 dBm	-81 dBm	-79 dBm
Verschlechterung	6 dB	13 dB	6 dB	13 dB	1 dB	8 dB	10 dB	7 dB	9 dB

Tab. 6: Verschlechterung der Empfindlichkeit durch aktive Antennen

Trotzdem die Antennen durch ihre z. T. hohe Verstärkung eine Verschlechterung der Empfindlichkeit teilweise ausgleichen, bleibt der Vorteil ihres Einsatzes zumindest bei den meisten Exemplaren fraglich. Im Fall der Antenne 4 war die erreichbare Empfindlichkeit bei ausgeschaltetem Verstärker sogar besser als bei eingeschaltetem. Insgesamt lieferte keine der aktiven Antennen einen Empfangsvorteil gegenüber einer abgestimmten passiven Antenne.

Die hohe Verstärkung führte außerdem dazu, dass zwei Antennen in der TEM- Zelle zu schwingen begannen und daher auf einigen Frequenzen kräftig abstrahlten. Bei Verstärkungswerten von z. T. 40 dB ist anzunehmen, dass diese Neigung zur Eigenerregung auch im freien Umfeld geschieht. Die Abstrahlungen waren über den ganzen UHF- Bereich sowie den GSM900- Bereich verteilt. Der Effekt hängt stark von der Lage des Anschlusskabels zur Antenne ab. Ein Beispiel (Antenne A6) ist in **Anlage 4** dargestellt.

9 Störabstandsmessungen

9.1 DVB-T Empfänger

Zunächst wurde der Mindesteingangsspegel ermittelt, bei dem der Empfänger ohne Störung noch einwandfrei arbeitet. Dieser Pegel ist in den Ergebnistabellen „Empfindlichkeit“ genannt. Bei einem um 10 dB erhöhten Nutzpegel sowie bei einem Nutzpegel von -25 dBm wurde dann der Störpegel ermittelt, der ein Störkriterium nach Abschnitt 4 gerade erzeugt. Die Differenz von Nutz- und Störpegel wurde als Störabstand oder C/I festgehalten.

Die Messung wurde im Gleichkanalfall (beide Signale auf Kanal N = 59 = 778 MHz) begonnen und dann in Schritten von 8 MHz bis zu einem Frequenzabstand von 80 MHz (N+10) wiederholt.

Bei insgesamt 29 gemessenen Empfängern, 3 verschiedenen Störsignalen, 4 verschiedenen Nutzsignalen bzw. Nutzpegeln und 10 verschiedenen Frequenzoffsets ergeben sich insgesamt ca. 3500 gemessene Störabstände, die auf die unterschiedlichsten Arten ausgewertet werden können und darstellbar sind. Zur Verringerung des Messaufwandes sowie zur Vermeidung sehr vieler redundanter Ergebnisse wurden nicht alle möglichen Kombinationen gemessen. So wurde z. B. nur das in Deutschland am häufigsten verwendete DVB-T System B2 (8k 16QAM 2/3) bei niedrigem Nutzpegel mit allen 14 Settop-Boxen gemessen. Für die weiteren Messungen wurden 6 repräsentative Boxen ausgesucht.

Die vollständigen Detailergebnisse sind in den **Anlagen 5 bis 7** dargestellt.

Im folgenden Teil des Berichtes soll der Versuch einer repräsentativen Auswahl erfolgen, und zwar in Form einer groben Zusammenfassung der Ergebnisse für die verschiedenen Nutz- und Störsignale. Dabei sind in den Zellen nacheinander die Werte für den „besten“, einen typischen und den „schlechtesten“ Empfänger aufgeführt. „Bester“ Empfänger ist in diesem Zusammenhang der stör~~un~~empfindlichste, „schlechtesten“ ist der störemmpfindlichste Empfänger.

Tabellen 6 bis 8 enthalten die Störabstände (C/I) für das in Deutschland häufigsten verwendete DVB-T System B2 (8k 16QAM 2/3) im Gauss- Kanal bei kleinem Nutzpegel, was dem Versorgungsrand eines DVB-T Senders entspricht. Wegen des niedrigen Nutzpegels befinden sich die Empfänger weitgehend im linearen Bereich, so dass zur Berteilung der Störsituation das C/I entscheidend ist.

CDMA700 Basisstation -> 16QAM (kleiner Pegel)	Gleichkanal	N+1	N+9	alle anderen Kanäle
Empfänger	C/I [dB]	C/I [dB]	C/I [dB]	C/I [dB]
Settop-Boxen	13/14/15	-46/-40/-20	-53/-46/-34	-79/-70/-50
USB/PCMCIA-Rx	13/14/14	-39/-32/-23	-58/-52/-51	-59/-52/-50
IDTV	13/14/16	-42/-38/-32	-58/-54/-18	-90/-72/-55
Handys	13/13/13	-35/-31/-27	<-74/-67/-60	-74/-67/-61

Tabelle 6: Minimale, mittlere und maximale Störabstände von CDMA700 Basisstationen auf DVB-T Empfang (8k 16QAM 2/3) bei niedrigem Nutzpegel

CDMA700 User Terminal -> 16QAM (kleiner Pegel)	Gleichkanal	N+1	N+9	alle anderen Kanäle
Empfänger	C/I [dB]	C/I [dB]	C/I [dB]	C/I [dB]
Settop-Boxen	17/17/16	-21/-20/-15	-53/-44/-31	-79/-69/-50
USB/PCMCIA-Rx	17/17/16	-21/-20/-18	-50/-46/-42	-53/-46/-39
IDTV	16/17/18	-22/-20/-18	-53/-51/-15	-90/-70/-52
Handys	14/15/16	-21/-20/-19	-63/-60/-56	-69/-56/-52

Tabelle 7: Minimale, mittlere und maximale Störabstände von CDMA700 Teilnehmergeräten auf DVB-T Empfang (8k 16QAM 2/3) bei niedrigem Nutzpegel

CIFDM User Terminal -> 16QAM (kleiner Pegel)	Gleichkanal	N+1	N+9	alle anderen Kanäle
Empfänger	C/I [dB]	C/I [dB]	C/I [dB]	C/I [dB]
Settop-Boxen	10/7/6	-33/-32/-22	-53/-47/-43	-55/-54/-51
USB/PCMCIA-Rx	5/6/8	-35/-28/-24	-53/-52/-46	-54/-51/-41
IDTV	3/6/7	-33/-31/-27	-54/-52/-28	-56/-55/-51
Handys	5/6/7	-29/-28/-27	-54/-54/-54	-54/-54/-54

Tabelle 8: Minimale, mittlere und maximale Störabstände von CIFDM Teilnehmergeräten auf DVB-T Empfang (8k 16QAM 2/3) bei niedrigem Nutzpegel

Die folgenden Diagramme zeigen die jeweils mittleren Störabstände aus den Tabellen 6 bis 8 für alle Empfängerarten zum Vergleich.

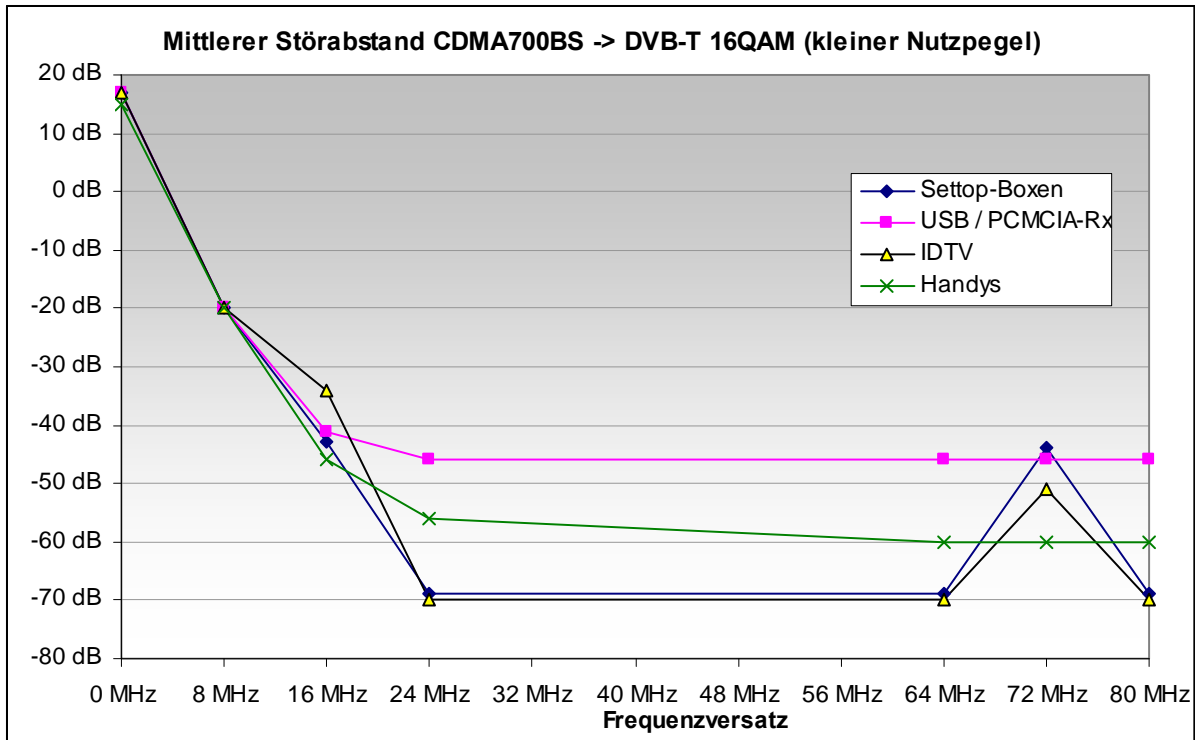


Bild 8: Mittlere Störabstände von CDMA700 Basisstationen auf DVB-T Empfang (8k 16QAM 2/3) bei niedrigem Nutzpegel

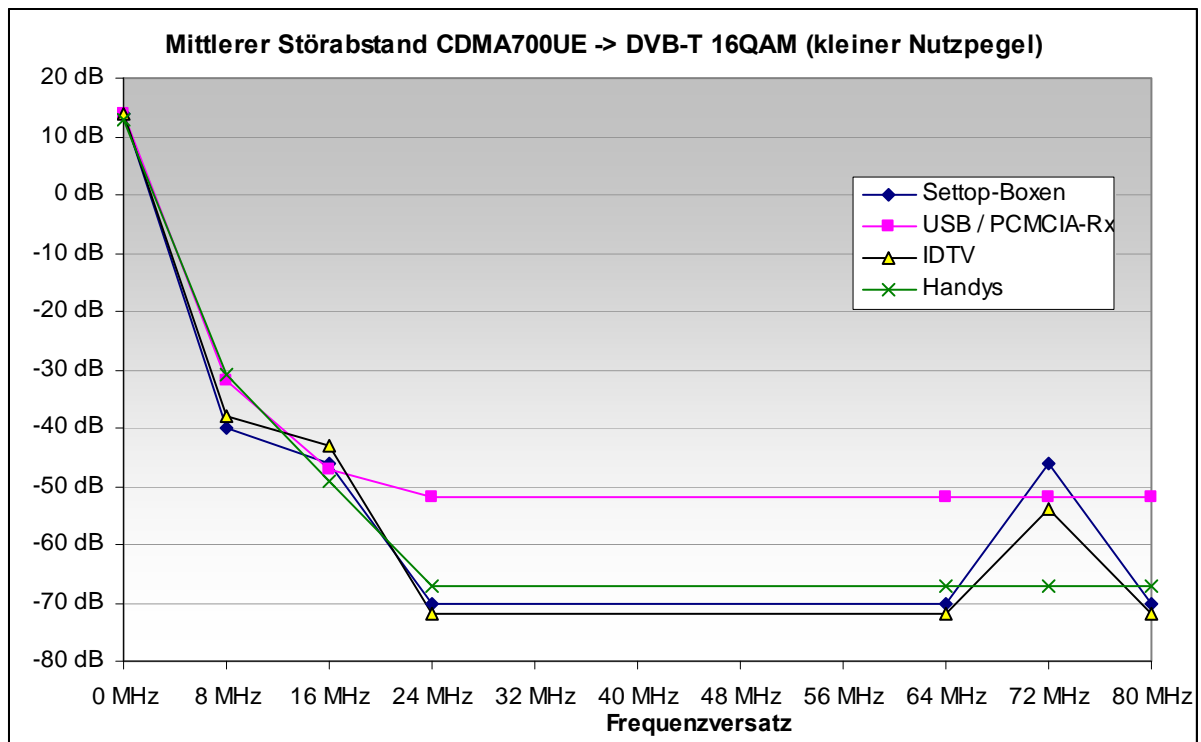


Bild 9: Mittlere Störabstände von CDMA700 Teilnehmergeräten auf DVB-T Empfang (8k 16QAM 2/3) bei niedrigem Nutzpegel

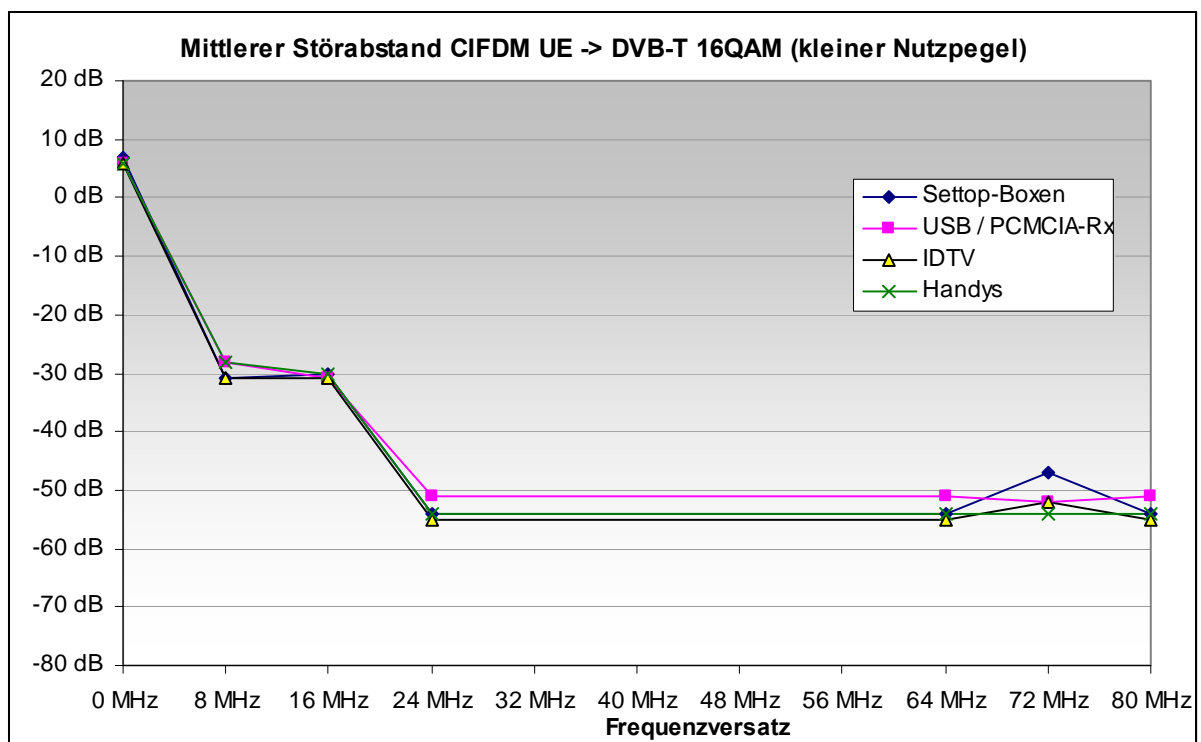


Bild 10: Mittlere Störabstände von CIFDM Teilnehmergeräten auf DVB-T Empfang (8k 16QAM 2/3) bei niedrigem Nutzpegel

Die Ergebnisse zeigten deutlich die unterschiedlichen Bauweisen der Empfänger. Die meisten Settop-Boxen arbeiten mit einer HF-Zwischenfrequenz und sind im Abstand von 9 Kanälen (N+9) besonders empfindlich auf Störungen. Geräte mit kleinen Bauformen wie Handys und USB-Empfänger arbeiten meist mit einer Direktmischung ins Basisband. Sie haben zwar nicht die besondere Störempfindlichkeit bei N+9, benötigen dafür aber durchweg teilweise wesentlich höhere Störabstände.

Gründe für die unterschiedlichen Störabstände von CDMA700BS und UE Signalen sind zum einen die verschiedenen Pegel der Seitenbandaussendungen und zum anderen in den unterschiedlich langen Bursts..

Auf den ersten Blick überraschend sind die sehr guten Werte der Handys, die trotz ihrer kleinen Bauform viel unempfindlicher sind als z. B. USB Empfänger. Dies liegt wahrscheinlich an der notwendigen Unterdrückung der eingebauten GSM- Sender, die den DVB-T Empfang ja nicht stören sollen.

Ferner zeigte sich, dass das CIFDM- Signal im Gleich- und Nachbarkanal etwa 10 dB höhere Störpegel erlaubt als das CDMA700 Signal. Bei großen Frequenzoffsets vermitteln die Ergebnisse den Eindruck als müssten die CIFDM- Störpegel geringer sein als die CDMA700- Pegel. Dies liegt jedoch nicht an den unterschiedlichen Systemen, sondern daran, dass die Restseitenbandaussendungen des CIFDM Signals weitab vom Nutzkanal bei dem untersuchten Testmuster wesentlich schlechter waren als die des CDMA700 Signals. Im Wirkbetrieb kann auch bei CIFDM von einer etwa gleich guten Unterdrückung der Seitenbandaussendungen ausgegangen werden, so dass hier die gleichen Störabstände zu erwarten sind.

Bei hohen Nutzpegeln und höheren Frequenzabständen befinden sich die Empfänger nicht mehr im linearen Bereich und werden durch die Summe aus Nutz- und Störsignal übersteuert (Blocking). Sie vertragen dann weitgehend unabhängig vom Nutzpegel keine höheren Störpegel. Im Gegensatz zu Tabellen 6 bis 8 sind daher in den folgenden Tabellen 9 bis 11 die bei hohem Nutzpegel möglichen maximalen Störpegel angegeben und nicht das C/I. Zur Berteilung der Störsituation in der Versorgungsmitte eines DVB-T Senders dürfen diese Störpegel, unabhängig vom Nutzpegel, zum störungsfreien Empfang nicht überschritten werden.

CDMA700 Basisstation -> 16QAM (Pegel=-25dBm)	Gleichkanal	N+1	N+9	alle anderen Kanäle
Empfänger	Pi [dBm]	Pi [dBm]	Pi [dBm]	Pi [dBm]
Settop-Boxen	-39/-39/-40	-2/-5/-10	+17/+2/-21	+17/+5/-5
USB/PCMCIA-Rx	-38/-39/-40	-2/-7/-11	+4/-2/-6	+4/-1/-6
IDTV	-38/-39/-44	+2/-5/-17	>13/-2/-12	>13/+1/-12
Handys	-37/-37/-37	+2/+1/0	+22/+20/+19	+22/+20/+19

Tabelle 9: Maximale Störpegel von CDMA700 Basisstationen auf DVB-T Empfang (8k 16QAM 2/3) bei hohem Nutzpegel für unempfindlichsten, mittleren und empfindlichsten Empfänger

CDMA700 User Terminal -> 16QAM (Pegel=-25dBm)	Gleichkanal	N+1	N+9	alle anderen Kanäle
Empfänger	Pi [dBm]	Pi [dBm]	Pi [dBm]	Pi [dBm]
Settop-Boxen	-42/-42/-42	-3/-10/-15	+7/-10/-22	+8/-2/-13
USB/PCMCIA-Rx	-41/-42/-43	-6/-15/-21	+1/-8/-14	+4/-7/-14
IDTV	-41/-42/-43	-3/-12/-24	>13/+5/-15	>13/+5/-15
Handys	-38/-39/-40	-5/-5/-4	>20/+19/+17	>20/+20/+20

Tabelle 10: Maximale Störpegel von CDMA700 Teilnehmergerät auf DVB-T Empfang (8k 16QAM 2/3) bei hohem Nutzpegel für unempfindlichsten, mittleren und empfindlichsten Empfänger

CIFDM User Terminal -> 16QAM (Pegel=-25dBm)	Gleichkanal	N+1	N+9	alle anderen Kanäle
Empfänger	Pi [dBm]	Pi [dBm]	Pi [dBm]	Pi [dBm]
Settop-Boxen	-32/-34/-37	-4/-8/-14	+8/-2/-15	+10/+1/-9
USB/PCMCIA-Rx	-35/-32/-30	0/-7/-11	+4/-4/-8	+4/-4/-7
IDTV	-30/-32/-33	+2/-6/-15	+14/+4/-8	+16/+6/-7
Handys	-31/-31/-31	0/0/1	>18/>18/>18	>18/>18/>18

Tabelle 11: Maximale Störpegel von CIFDM Teilnehmergerät auf DVB-T Empfang (8k 16QAM 2/3) bei hohem Nutzpegel für unempfindlichsten, mittleren und empfindlichsten Empfänger

Die Ergebnisse zeigen, dass auch hier die Handys mit ca. +20 dBm die höchsten Störpegel vertragen, etwa gleichauf gefolgt von den Settop-Boxen und IDTVs mit etwa 0 dBm. Die USB/PCMCIA-Empfänger sind schon ab ca. -5 dBm in der Sättigung.

Anmerkung: Die Handys und CRx 4-4 wurden in der TEM-Zelle gemessen. Für diese Auswertung wurden die tatsächlich am Empfängereingang anstehenden Störpegel unter der Annahme eines Gesamtwandlungsmaßes von TEM-Zelle und Empfangsantenne von 10 dB berechnet (siehe auch Abschnitt 7). Bei dieser Annahme ergibt sich für die Empfänger derselbe Gleichkanal-Störabstand wie für die direkt am Antenneneingang gemessenen Empfänger.

Der Empfang des DVB-T Systems C1 (64QAM $\frac{1}{2}$) benötigte im Durchschnitt im Gleich- und Nachbarkanal 2 dB mehr Störabstand als das System B2 (16QAM $\frac{2}{3}$). Bei größeren Frequenzabständen war kein genereller Unterschied mehr messbar. Der benötigte Nutzpegel ist bei 64QAM jedoch ebenfalls etwa 2 dB höher, so dass sich etwa der gleiche Störpegel ergibt.

Der Empfang mit statischem Rayleigh-Fading benötigte bei allen Frequenzoffsets etwa 2 dB mehr Störabstand als der Empfang unter Gauss-Bedingungen. Auch hier sorgen die etwa 2 dB höheren Mindestnutzpegel für etwa die gleichen maximalen Störpegel.

9.2 Aktive DVB-T Antennen

Um zu beurteilen in wie weit aktive Antennen das Großsignalverhalten der DVB-T Empfänger beeinflussen, wurde bei kleinem und großem Nutzpegel (10 dB über Empfindlichkeit und ca. -25 dBm) der Störabstand bzw. maximale Störpegel ermittelt. Hierzu wurde der störungsempfindlichste Empfänger PRx 2-6 (ein hochwertiger LCD-Fernseher) verwendet.

Die folgenden zwei Diagramme zeigen beispielhaft die Ergebnisse für das Störsignal CDMA700 Basisstation und dem Nutzsignal 8k 16QAM $\frac{2}{3}$. Der Empfangskanal in der TEM-Zelle ist immer Gauss. Die als Vergleich eingezeichnete gestrichelte Linie ist die Störabstandskurve des Empfängers alleine (bzw. mit passiver Antenne). Je weiter die Störabstandskurven der Antennen von dieser Referenz nach oben abweichen, umso schlechter ist das Großsignalverhalten der Antenne.

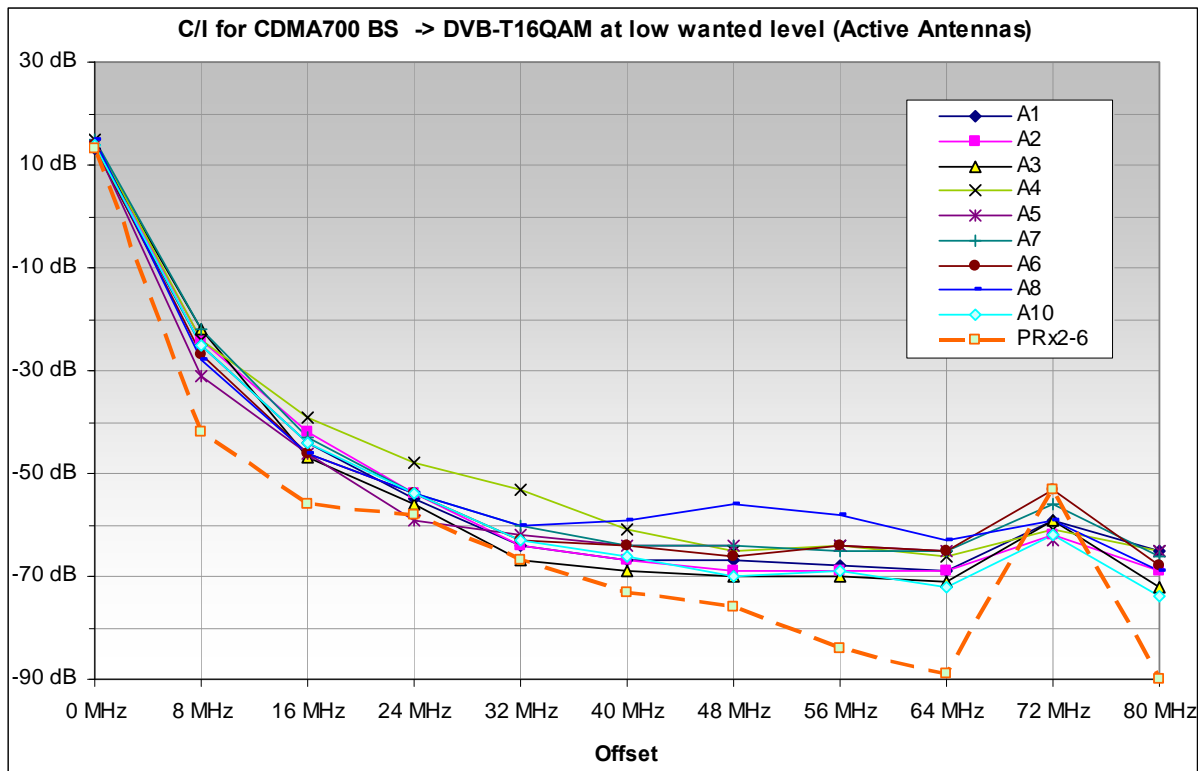


Bild 11: Störabstände von CDMA700 Basisstationen auf DVB-T Empfang (8k 16QAM 2/3) bei niedrigem Nutzpegel und Verwendung von aktiven Antennen

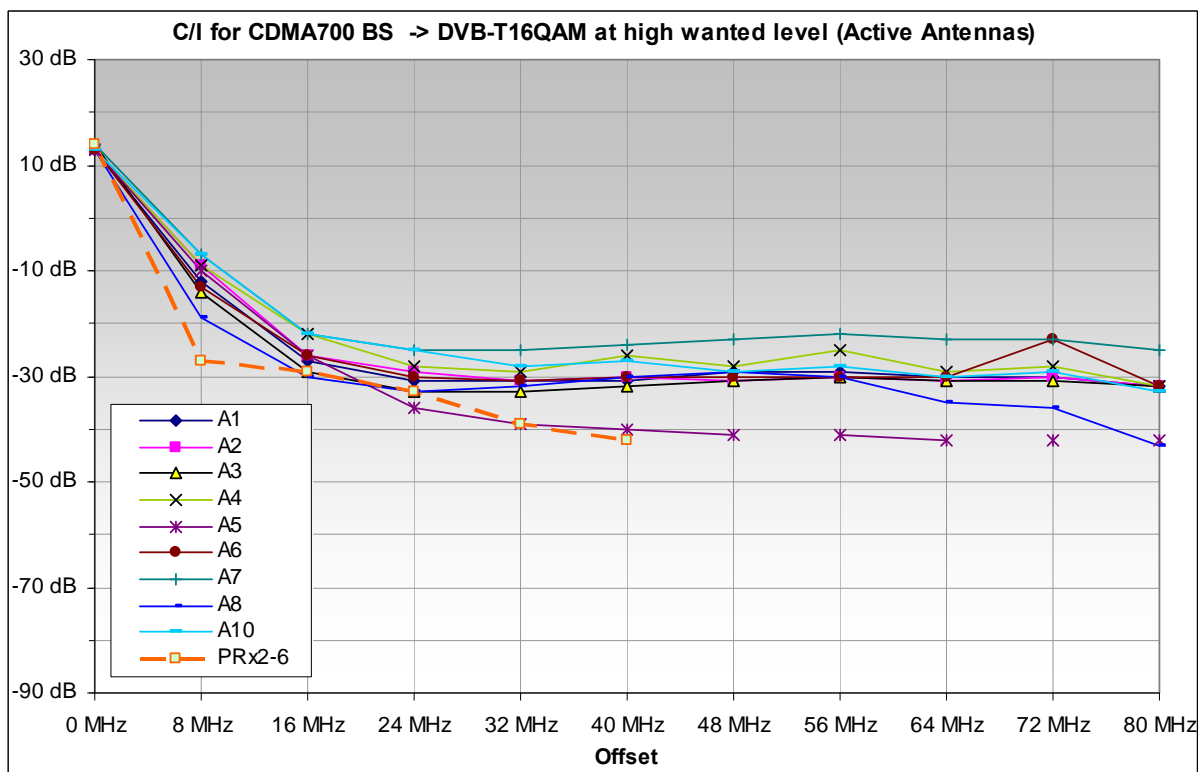


Bild 12: Störabstände von CDMA700 Basisstationen auf DVB-T Empfang (8k 16QAM 2/3) bei hohem Nutzpegel und Verwendung von aktiven Antennen

Die Bilder zeigen deutlich, dass die Störabstände eines so hochwertigen Empfängers bei Verwendung von aktiven Antennen z. T. wesentlich geringer werden. Dies trifft sogar bei niedrigen Nutzpegeln zu. Die Verschlechterung beträgt im Mittel über alle Kanäle etwa 10 dB bei geringen Nutzpegeln und 15 dB bei hohen. Der insgesamt erreichbare Störabstand liegt jedoch immer noch im Bereich der USB/PCMCIA- Empfänger. Für diese Empfängerklasse ist hier also keine wesentliche zusätzliche Verschlechterung der Störabstände zu erwarten. Hochwertige Settop- Boxen oder IDTVs werden durch aktive Antennen jedoch etwa auf das Niveau von USB- Empfängern herabgesetzt.

Die detaillierten Ergebnisse auch der anderen Störsignale sind in den **Anlagen 5 bis 7** jeweils am Ende aufgeführt.

9.3 DVB-C Empfänger

Anders als bei DVB-T liegen die Nutzpegel beim DVB-C Empfang in relativ engen Grenzen: Sie sind einerseits ca. 10 dB über der Empfindlichkeitsgrenze und andererseits nie so hoch, dass der Empfänger in die Übersteuerung kommt. Beim Kabelempfang kann darüber hinaus davon ausgegangen werden, dass ein einstrahlender Störpegel nur zu Störungen führen kann, wenn Nutz- und Störsignal auf der gleichen Frequenz liegen. Die Selektivität eines DVB-C Empfängers gegenüber Nachbarkanalsignalen muss in jedem Fall ausreichen, um die dort im Kabel eingespeisten weiteren Programmsignale zu unterdrücken. Ein von außen einstrahlender Störpegel müsste also nach Überwindung des Schirmungsmaßes von üblicherweise 85 dB im Kabel deutlich höher als der Nutzpegel sein, um Störpotential zu haben.

Die Störabstandsmessungen fanden daher nur im Gleichkanal statt und wurden bei einem Nutzpegel durchgeführt, der 8 - 10 dB über der jeweiligen Empfindlichkeitsgrenze lag.

Der mittlere Störabstand aller drei Empfänger im Gleichkanal betrug **22 dB** bei 64QAM und **30 dB** bei 256QAM Nutzsignalmodulation.

Die Einzelergebnisse sind in **Anlage 8** aufgeführt.

Nicht untersucht wurde die mögliche Direkteinstrahlung des BWA700- Signals in das Gehäuse eines DVB-C Empfängers. Hier sind je nach Immunität des Empfängers durchaus Störungen möglich, wenn dieser sich in unmittelbarer Nähe des aktiven BWA700 Terminals befindet. Dieser Störmechanismus müsste jedoch erst messtechnisch untersucht werden, um verwertbare Aussagen zu erhalten, besonders da es keine Mindestanforderungen für die Immunität der Empfänger gegenüber Einstrahlungen auf der abgestimmten Frequenz (Gleichkanal) gibt..

10 Wertung der Ergebnisse

Zusammenfassend erlauben die Ergebnisse der hier vorgestellten Störabstandsmessungen folgende Aussagen:

- Der begrenzte Störabstand von DVB-T Empfängern führt bei entsprechend geringem räumlichem Abstand zu einem BWA700- Sender (Basisstation und Teilnehmergerät) zum Ausfall des Empfanges. Besonders in der Versorgungsmitte eines DVB-T Senders sind dann wegen Übersteuerung des Empfängers alle Kanäle betroffen.
- Die möglichen Verträglichkeitsabstände hängen wesentlich vom konkreten Störszenario ab und können keinesfalls pauschal angegeben werden. Entscheidend hierfür sind Faktoren wie Nähe zum Nutzsender, portabler oder fester Empfang, Frequenzversatz zwischen Nutz- und Störsignal, sowie der verwendete Empfängertyp.
- USB/PCMCIA- Empfänger haben generell die schlechteste Immunität gegenüber derartigen Störungen und sind am ehesten übersteuert. Settop- Boxen sowie in moderne Flachbildfernseher integrierte Empfänger sind wesentlich störresistenter. Am

unempfindlichsten gegen BWA700- Störungen haben sich die Handys mit eingebautem DVB-T Empfänger gezeigt.

- Aktive Antennen verschlechtern nicht nur die Empfindlichkeit einer nachgeschalteten Settop-Box, sondern auch deren Störresistenz. Obwohl sie daher in keinem Fall zu empfehlen sind, ist ihr Einsatz dennoch sehr weit verbreitet.
- Das hier gemessene CIFDM- System erlaubt im Gleich- und Nachbarkanal etwa 10 dB höhere Störpegel als das CDMA- System.
- Die maximalen Störpegel sind bei den hier gemessenen Variationen des Nutzsignals (Rayleigh- Fading bzw. 64QAM statt 16QAM) etwa gleich hoch. Der jeweils schlechtere Störabstand wird durch das benötigte höhere Nutzsignal in etwa ausgeglichen.
- Das Timing der TDD- Störsignale, also die Länge der Bursts, hat auf den Störabstand keinen großen Einfluss. Vielmehr ist der innerhalb einer relativ großen Mittelungszeit herrschende maximale Störpegel entscheidend. Aus dem gleichen Grund verbessert sich die Verträglichkeitssituation auch nicht bei dynamischer Leistungsregelung (TPC).

Die Ergebnisse dieser Messungen können zur Bewertung der Verträglichkeitssituation verwendet werden. Unter Annahme bestimmter Konstellationen (Störszenarien) kann mit Hilfe der hier gewonnenen Störabstände die mögliche Mindestentfernung berechnet werden, unter denen DVB Empfang bei gleichzeitigem Betrieb von BWA700 Systemen noch ungestört möglich ist.

Thomas Hasenpusch, Aug8-2

Markus Albertshofer, Aug8-1b