



Verträglichkeit zwischen Rundfunk und Mobilfunk im UHF-Band

1 Einleitung

Dieses Dokument fasst den aktuellen Sachstand zur Verträglichkeit zwischen dem Mobilfunkdienst und dem Rundfunkdienst im UHF-Band“ zusammen, erläutert aus Sicht des Rundfunks wesentliche Punkte und arbeitet die wichtigsten offenen Fragen heraus. In Übereinstimmung mit der Forderung des Bundesrates zur Klärung der Verträglichkeit im Vorfeld einer Frequenzversteigerung sehen wir die dringende Notwendigkeit einer umfassenden nationalen Klärung der einzusetzenden Mittel zur Sicherstellung des störungsfreien Rundfunkempfangs, z.B. innerhalb einer Arbeitsgruppe des ATRT der Bundesnetzagentur.

2 Aktueller Stand der Verträglichkeitsanalysen zwischen Rundfunk und Mobilfunk im UHF-Band

2.1 Studien bis Mitte 2008

Im Rahmen des ECC-Mandats von 2007 hat sich die Arbeitsgruppe TG4 der CEPT erstmalig mit dem Thema der Verträglichkeit unterschiedlicher Nutzungen im UHF-Band beschäftigt. Dabei ging es im Bericht 21 zunächst um die Verträglichkeit zwischen DVB-T und Mobile TV (z.B. DVB-H). Da für Mobile TV vorrangig Netze mit relativ geringen Sendeleistungen die Basis der Studien bildeten, wurde später auf diese Ergebnisse als „anwendbar auch für den Mobilfunk-Downlink“ verwiesen. Im zweiten Teil des ECC-Mandats wurde die Verträglichkeit zwischen dem terrestrischen Rundfunk und dem Mobilfunk ansatzweise untersucht (ECC Berichte 22 und 23).

In die Erstellung aller Berichte flossen Studien zur Verträglichkeit ein – meist mit Hilfe des von der CEPT entwickelten Tools „SEAMCAT“ –, vor allem in Bezug auf potentielle Störungen durch feste Senderstandorte (im Falle des Mobilfunks Basisstationen). Alle Berichte kommen zu dem Schluss, dass Störungen auftreten. Sie verweisen zudem darauf, dass nur der Empfang über Dachantenne studiert wurde, nicht aber der portable/mobile Empfang der möglicherweise ebenfalls kritisch sei.

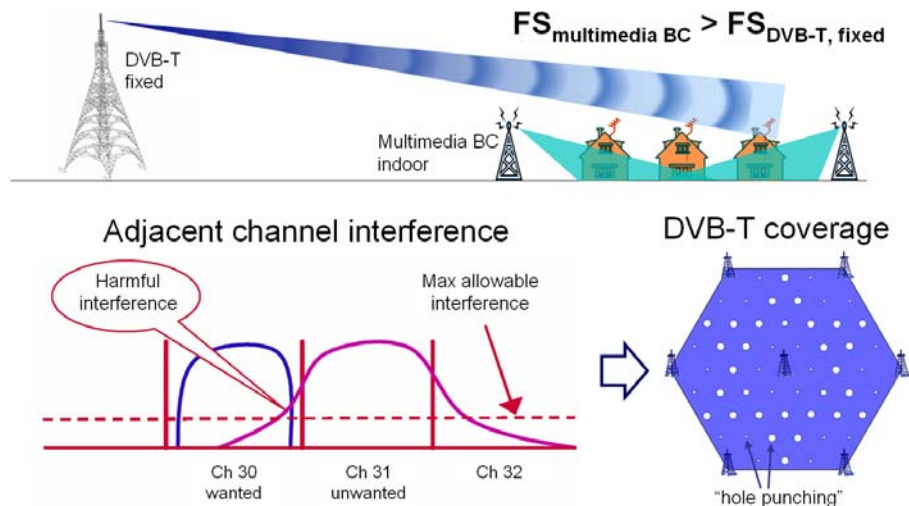


Abbildung 1: Schematische Darstellung der im Bericht 21 betrachteten Störsituation

In Rundfunkgleichwellennetzen gibt es Gebiete, die dadurch versorgt werden, dass Signalanteile von mehreren Rundfunksendern, die jeweils unterhalb der minimalen Feldstärke liegen, zu einem nutzbaren Gesamtsignal addiert werden. Man spricht hier vom Netzgewinn. Die Störung des Mobilfunks auf Empfänger in solchen Gebieten wurde aber nicht adäquat berücksichtigt, da alle Analysen nur in Bezug auf die minimale Feldstärke erfolgten.

Die dem ECC Bericht 21 entnommene schematische Abbildung zur betrachteten Störsituation (siehe Abb. 1) suggeriert zudem, dass Störungen zwischen den sieben DVB-T-Sendern auftreten, d.h. relativ weit weg. Die Sättigung eines DVB-T-Empfängers (siehe „Großsignalverhalten“ unter 4.) kann jedoch überall auftreten wo Mobilfunk-Basisstationen stehen, d.h. auch in der Nähe der DVB-T-Sender (in dem Fall in der Mitte und am Rand des Hexagons).

2.2 Aktuelle Studien (2008/2009)

Im Folgenden wird zunächst die internationale, im zweiten Teil dann die aktuelle nationalen Situation zusammen gefasst. Dabei ist vorab festzustellen, dass es bisher nur auf nationaler Ebene aussagekräftige Studien zu Störungen des Kabelempfangs durch den Mobilfunkdienst im Frequenzbereich 790 MHz bis 862 MHz gibt.

2.2.1 Internationaler Stand

Verträglichkeit

Im Juni 2009 wurde der durch die CEPT Arbeitsgruppe SE42 erarbeitete ECC Bericht 30 zur Kommentierung gestellt, der technische Randbedingungen für die Einführung von Mobilfunktechnologien im Frequenzbereich 790 - 862 MHz beschreibt.

Im Ergebnis der sich ebenfalls stark auf SEAMCAT¹ abstützenden Simulationen wurden Frequenz-Entkopplungsmasken – sogenannte Block-Edge-Masks (BEM) – für Basisstationen (DL) wie auch für Endgeräte (UL) entwickelt. Im Executive

¹ Das von der CEPT entwickelte Tool basiert auf der Monte-Carlo Simulationsmethode. Es erlaubt die statistische Modellierung verschiedener Interferenz-Szenarien von Funksystemen im gleichen oder in benachbarten Frequenzbändern.

Summary des Berichts 30 wird aber bereits ausgeführt, dass die aufgeführten BEM lediglich eine technische Basis darstellen und nur in Zusammenhang mit zusätzlichen Methoden zur Minderung von Störungen, sogenannten „mitigation techniques“, den Schutz des Rundfunkdienstes im angrenzenden Frequenzbereich gewährleisten können.

Dies bedeutet, dass

- auch mit den im Bericht 30 aufgeführten BEM Störungen auftreten werden;
- um diese zu minimieren, müssen auf nationaler Ebene weitere Maßnahmen getroffen werden, z.B. über entsprechende Schutzklauseln;
- dies insbesondere für die Situationen zutrifft, in denen der erste Frequenzblock in unmittelbarer Nachbarschaft zum einem DVB-T Kanal genutzt wird.

Mehrere detaillierte Studien zur Störwirkung von ca. 100 Basisstationen des Mobilfunks auf den DVB-T-Empfang (z.B. in Berlin und der Region Rhein-Main, über die Dachantenne sowie portabel) wurden nicht berücksichtigt.

Detaillierte Ausführungen zum ECC Bericht 30 finden sich im Anhang C.

Verhalten von DVB-T Endgeräten

Die aktuellen Standards für DVB-T beinhalten keine Schutzabstände zwischen DVB-T (Nutzsignal) und Mobilfunk-Technologien wie UMTS oder LTE. Da diese aber wichtige Eingangsparameter für die Analysen der Verträglichkeit zwischen dem Rundfunkempfang und dem Mobilfunk sind, wurden seit 2008 entsprechende Studien in der CEPT-Arbeitsgruppe TG4 ausgewertet. Die Messergebnisse zu Schutzabständen und Sättigungspegeln in Bezug auf Störungen durch mobile Funkdienste – speziell statische UMTS-Signale – wurden im CEPT Bericht 138 zusammengefasst, der seit Juni 2009 zur Kommentierung steht.

Zu diesem Bericht, dessen Ergebnisse zum Teil als Basis für die im ECC Bericht 30 dargestellten technischen Bedingungen zur Einführung des Mobilfunks in dem Teilband 790 MHz bis 862 MHz genutzt wurden, ist folgendes anzumerken:

- In den Bericht wurden im Wesentlichen nur Messungen an einem Empfängertyp (Set-Top Boxen, STB) aufgenommen, die Ergebnisse anderer Messungen wurden ignoriert oder lediglich im Anhang erwähnt.
- Die Ergebnisse der o. g. Messungen wurden gemittelt, trotz Widerspruchs innerhalb der Gruppe. Aus technischer Sicht ist eine solche Mittelung falsch, erst recht da es sich um Messungen an einzelnen Exemplaren handelt.
- Es erging die Empfehlung, nur diese gemittelten Ergebnisse für STB bei den Untersuchungen zur Verträglichkeit zu berücksichtigen und andere zu ignorieren. Dies gilt insbesondere für portable Empfänger und USB-Geräte.
- Die SE42 wurde abschließend unzureichend über Ergebnisse bzgl. des portablen Empfangs sowie des Einflusses zeitlich veränderlicher Störsignale auf den DVB-T-Empfang informiert.

2.2.2 Nationaler Stand

Verträglichkeit

Auf nationaler Ebene sind hier vor allem zwei Studien zu nennen, die vom Heinrich-Hertz-Institut (HHI) und der Hochschule für Wirtschaft und Recht in Berlin im Auftrage des Bundeswirtschaftsministeriums erstellt zu Aspekten der optimalen Nutzung der Digitalen Dividende in Deutschland [1] sowie die der ANGA und des IRT, die sich mit der Verträglichkeit zwischen dem Mobilfunk und dem Kabelempfang beschäftigt.

Die Studie in [1] kommt u.a. zu dem Schluss, dass

- alle DVB-T Empfänger nachträglich durch entsprechende zusätzliche Filter gegen störende Einstrahlungen geschützt werden müssen;
- ein Schutzband von 10 MHz zwischen terrestrischem Rundfunkempfang (bis 790 MHz) und Mobilfunkdienst (oberhalb von 790 MHz) notwendig ist.

Geringere Schutzbänder führten zu wesentlich höheren Kosten bei der Sicherstellung der Verträglichkeit zwischen beiden Diensten. Die aktuellen Kanalrastermodelle der CEPT sehen lediglich ein Schutzband von 1MHz vor.

Aufgrund der teilweise schwierigen (Bauform, Preis) bzw. vielfach nicht möglichen (bei aktiven Antennen) Nachrüstung mit Filtern, empfiehlt das HHI den Austausch der DVB-T-Empfänger gegen neue, entsprechend modifizierte Geräte, z.B. im Zuge der DVB-T2-Einführung. Derzeit existieren jedoch keine konkreten Zeitpläne für eine Migration von DVB-T auf DVB-T2. Gegenwärtig wären von einem solchen Austausch in Deutschland bis zu 17 Millionen Geräte betroffen, wobei die aufzubringenden Kosten, wenn eine entsprechende Kompensation für den Zuschauer ausbleibt, vollständig zu dessen Lasten gingen.

Nahezu zeitgleich zum HHI haben die ANGA und das IRT eine Studie zur Störung von [6] TV-Kabel-Infrastrukturen durch LTE vorgelegt. Das Kernergebnis dieser Studie ist, dass es durch die Einkopplung von Gleichkanalstöranteilen direkt in die Kabelempfänger zu erheblichen Bildstörungen kommen wird. Insbesondere kommt es zu Störungen des PAL bzw. DVB-C-Empfangs durch ein LTE-Uplink-Signal ab einer Sendeleistung von -5 dBm bzw. +4dBm in 2,5m Entfernung vom Kabelempfänger. Selbst wenn sich das LTE-Mobilterminal und der Kabelempfänger in durch eine 15 cm getrennte Stahlbetonwand getrennten Räumen oder Wohnungen befinden, ergeben sich bei einem Abstand von 3m immer noch Störungen beim PAL-Empfang ab einer LTE-Uplink-Sendeleistung von 9dBm und beim DVB-C-Empfang ab 15 dBm. Vor dem Hintergrund, dass ein LTE-Mobilterminal über bis zu 21 dBm Sendeleistung verfügt, treten die Störungen also bereits bei einem Bruchteil der maximalen Sendeleistung auf und stören den Kabelempfang in inakzeptabler Weise.

Verhalten von DVB-T Endgeräten

Messungen der Bundesnetzagentur

Im Juli 2009 hat die Bundesnetzagentur im Zusammenhang mit dem Feldversuch in Wittstock Messungen an DVB-T Endgeräten veröffentlicht [10]. Dabei wurden die benötigten Störabstände zwischen zwei der in Frage kommenden Mobilfunksysteme als Störer und DVB-T sowie DVB-C gemessen. Aus den Ergebnissen kann eine Abschätzung der Verträglichkeitsentfernung gemacht werden (siehe Anhang A), auch wenn dies in den Veröffentlichungen leider fehlt.

Bei den gemessenen DVB-T-Endgeräten handelte es sich um 27 Empfänger verschiedenster Bauarten – zumeist Set-Top-Boxen und/oder ältere Geräte – sowie 10 aktive Antennen. Nur wenige der getesteten Geräte hatten Tuner der neuesten Generation (sogenannte Silicon-Tuner, siehe Anhang C).

Bei einem der beiden getesteten Mobilfunksysteme handelte es sich um das im Feldversuch in Wittstock eingesetzte proprietäre TDD-System. Das abwechselnde Senden und Empfangen auf denselben Frequenzen – wurde bei den Messungen mit den von den Geräten her möglichen bursts von max. 6ms Länge berücksichtigt. Dies liegt aber unter dem Schwellwert von etwa 10ms, ab dem DVB-T-Empfänger deutlich empfindlicher auf entsprechende Zeitstrukturen reagieren. Bei den Messungen des anderen Systems wurden Labormuster für die Messungen verwendet, wodurch die Aussagekraft in Bezug auf einen realen Betrieb beschränkt ist.

Die Aussage, dass keine der gemessenen aktiven Antennen einen Empfangsvorteil gegenüber einer abgestimmten passiven Antenne liefern würde, ist nicht nachvollziehbar (siehe auch Anhang D). Zum einen verbessern aktive Antennen in der Praxis oft deutlich die Empfangssituation, zum anderen kam die RBT (Nürnberg) – im Auftrag des ZDF und der Stiftung Warentest – bei umfangreichen Messungen 2004 und 2006 zu anderen Ergebnissen. Darüber hinaus wurde der gerade in Bezug auf die Verträglichkeit wesentliche Punkt, ab welchem Pegel aktive Antennen selbst in Sättigung gehen oder mit dem Ausgangspegel den nachgeschalteten Empfänger in Sättigung treiben, nicht untersucht.

Anmerkung: Im Dokument zu Abstrahlungsmessungen des Mobilfunk-Endgerätes wird eine „integrierte Antennenanschlussbuchse“ erwähnt. Ein entsprechender Verweis darauf, dass dies auch den Anschluss einer Richtantenne mit hohem Gewinn ermöglicht – was wiederum zu wesentlich höheren abgestrahlten Sendeleistungen in bestimmten Richtungen und damit zu höheren Störwahrscheinlichkeiten führen würde – fehlt aber im gesamten Bericht.

Messungen von IRT und MEDIA BROADCAST

Neben den vom IRT und von MEDIA BROADCAST durchgeführten Messungen, über die bereits in der TG4 berichtet wurde (siehe oben), setzen beide Unternehmen ihre Messaktivitäten aktuell fort.

Aktuelle Messungen an DVB-T Endgeräten zeigen, dass die Zeitstruktur des Störsignals einen wesentlichen Einfluss auf den erforderlichen Störabstand hat, vor allem aufgrund der unterschiedlichen Zeitkonstanten beider Systeme². Eine solche Zeitstruktur des Störsignals tritt grundsätzlich bei TDD auf (s.o.), kann aber auch beim FDD-UL auftreten (z.B. W-CDMA, LTE). Folgendes kann festgestellt werden:

- Typische Empfänger – auch von der BNetzA (s.o.) als störsicherer bewertete – reagieren unterschiedlich auf die verschiedenen Signalstrukturen.
- Grundsätzlich benötigen alle (bisher getesteten) Empfänger einen um mehrere dB höheren Störabstand, mindestens um 6 dB, typischerweise eher zwischen mehr als 10 dB und 15 dB und mitunter auch mehr als 20 dB.

² Konkret sind hiermit die automatische Verstärkungsregelung (AGC) und die Kanalschätzung des DVB-T Empfängers gemeint sowie das Verhältnis von gesendeten Signalen sowie „Sendepausen“.

2.3 Offene Punkte aller bisherigen Studien

Die folgenden Aspekte wurden in keiner der bisher bekannten Studien berücksichtigt:

- **Störungen durch mehrere Mobilfunk-Netze**

Derzeit könnten bis zu 6 Netzen parallel implementiert werden, bei einer Vergabe von Frequenzblöcken a 10 MHz immerhin noch 3 Netze.
- **Störungen durch mehrere Endgeräte**

Je nach Situation können sich mehr als ein LTE-Endgerät in der Umgebung eines DVB-T-Empfängers aufhalten. Alle Geräte tragen dazu bei, dass der DVB-T-Empfänger schneller in die Sättigung geht. Die DVB-T-Nutzung z.B. in Stadien kann dadurch unmöglich werden.
- **Antennen-Konzepte für Basisstationen (z.B. adaptive Antennen, MIMO)**

Die bisherigen Verträglichkeitsrechnungen gehen einzig von sogenannten slant-polarized Antennen aus (vertikale und horizontale Komponenten, mit einer jeweiligen Entkopplung von 3 dB).
- **Studien zu den im ECC bericht 30 genannten mitigation techniques**

Dies betrifft vor allem technische Analysen zur Wirksamkeit und zu Randbedingungen, darüber hinaus Studien zu ökonomischen Aspekten.
- **Pico/Femtocells**

Diese spielen in allen aktuellen Mobilfunk-Analysen eine immer größere Rolle. Es ist zu erwarten, dass sie für denselben Frequenzbereich wie auch die Basis-Netze geplant sind. Damit würde es zu erheblichen Störungen des Rundfunkempfangs in der näheren Umgebung zu kommen („hole-punching“).
- **Aktive Indoor-Repeater**

Zur Verbesserung des LTE-Empfangs in Büros, Wohnungen oder Zügen ist mit dem Einsatz von Repeatern zu rechnen, die die Mobilfunksignale auf der gleichen Frequenz verstärken. An diesen Orten befinden sich vielfach aber auch DVB-T-Empfänger, die dann gestört werden. Vergleichbare GSM-Repeater befinden sich heute zu tausenden im Einsatz.

Darüber hinaus gibt es Punkte, die weiterer Untersuchung bedürfen:

- Weitere Messungen, vor allem
 - an neueren Empfängerkonzepten (Silicon-Tuner)
 - mit zeitlich strukturierten LTE –Signalen
 - von aktiven DVB-T-Antennen (in Bezug auf den Pegel, der die Antenne selbst in Sättigung treibt oder nach nachfolgende DVB-T-Empfänger)
- Weitere Sensitivitätsstudien zum Einfluss verschiedener Parameter auf die Störwahrscheinlichkeit

3 Schutz der Rundfunksignale – Begriff „Störfreiheit“

3.1 Verfahren zur Bestimmung von Störungen

Aus den DVB-Spezifikationen ist das Kriterium „quasi error free“ (QEF) bekannt. Es besagt, dass bei einer Fehlerrate (BER) von 2×10^{-4} nach der Viterbi-Decodierung ein störungsfreies Signal decodiert werden kann, da der auf den Faltungsdecoder folgende Reed-Solomon-Decoder aus einem Signal mit dieser Bitfehlerrate die Bitfehlerrate auf 10^{-12} reduziert.

Eine solche Annahme ist aber nur dann gerechtfertigt, wenn die BER zeitlich im Wesentlichen konstant ist. Dieses gilt für den DVB-T-Empfang mit Dachantennen, bei dem von einem Übertragungskanal der Art Gauss oder Rice auszugehen ist.

Beim portablen oder mobilen Empfang hat man es in der Regel mit dem Verhalten eines Rayleigh-Kanals zu tun. Die BER schwankt in zeitlicher Richtung stark und kann einen burstartigen Verlauf annehmen. Trotz eines zeitlichen Mittelwertes der BER von deutlich unter 2×10^{-4} können beim portablen oder mobilen Empfang nicht akzeptable Störungen auftreten. Daher ist ein zeitlicher Mittelwert der BER nicht aussagekräftig. Für die Beurteilung von DVB-T-Kanälen mit portabler oder mobiler Anwendung müssen daher andere Parameter als die BER herangezogen werden.

Eine Möglichkeit den Störungsgrad des Übertragungskanals einzuordnen ist die Messung des „subjective failure point“ (SFP). Bei dieser subjektiven Beurteilung wird das TV-Programm von einer Testperson auf dem Monitor beobachtet. Das SFP-Kriterium ist dann erfüllt, wenn in einem Intervall von 20 sec. kein sichtbarer Fehler auftritt. Dieses Kriterium hat den Nachteil, dass es nicht automatisiert werden kann. Des Weiteren kann der SFP-Wert in zeitlicher Richtung schwanken.

Im Gegensatz dazu bietet die Anwendung des sogenannten ESR₅-Kriteriums³ den Vorteil der Automatisierbarkeit und damit der Auswertung von zeitlich langen Messreihen (z.B. Messfahrten). Das ESR₅-Kriterium ist dann erfüllt, wenn in einem Intervall von 20 Sekunden höchstens eine Sekunde lang Fehler auftreten (entspricht 5%). Diese Fehler sind unkorrigierbare Paketfehler, die vom Viterbi-Decoder signalisiert werden und zu kleinen, sichtbaren Bildstörungen („Klötzchen“) führen. Transportstromfehler, die zu Synchronisationsproblem führen, dürfen dabei nicht auftreten, da sonst das ESR₅-Kriterium auch für das folgende 20 Sekunden-Intervall nicht erfüllt ist. Die Qualität eines Übertragungskanals kann als gut beurteilt werden, wenn in 99% der Zeit das ESR₅-Kriterium erfüllt ist.

Das ESR₅-Kriterium stellt ein geeignetes Messverfahren dar, um die Störungen durch LTE-Systeme beim portablen und mobilen DVB-T-Empfang zu quantifizieren.

3.2 Subjektive Klassifizierung der Störungen

Obwohl das zuvor beschriebene ESR₅-Kriterium eine leistungsfähige Methode darstellt, um Störungen auf DVB-T-Empfänger zu quantifizieren, stehen solche Messmethoden nicht immer zur Verfügung. Bei auftretenden Störungen wenden sich die Endkunden an Hotlines, die ihrerseits die Meldungen – aus Sicht des Endkunden – klassifizieren müssen.

³ ESR – „erroneous-second ratio“, prozentuale Anteil eines Zeitintervalls der maximal gestört sein darf.

Um in diesen Fällen zu einer ersten Beurteilung der Störbeeinträchtigung zu kommen, ist eine subjektive Klassifizierung hilfreich. Sie beruht auf der Einordnung des Ausmaßes der Klötzchenbildung und der Tonaussetzer. Quantitative Parameter sind dabei die Stördauer und die Störwiederholung.

Leichte Störung

Im Fernsehbild gibt es einige kleine Klötzchen, in denen die korrekte Bildinformation fehlt und die mit zufälligen Inhalten gefüllt sind (Abb. 2). Im Ton gibt es kurze Aussetzer. Ist die Störung vorbei, funktioniert der Empfänger sofort wieder störungsfrei.



Abbildung 2: Fernsehbild mit leichten Störungen

Starke Störung

Im Fernsehbild gibt es viele kleine Klötzchen oder Streifen in denen die korrekte Bildinformation fehlt und die mit zufälligen Inhalten gefüllt sind (Abb. 3). Im Ton gibt es Verzerrungen und längere Aussetzer. Der Empfänger braucht nach dem Ende der Störung einige Sekunden Zeit um ein störungsfreies Bild zu liefern.



Abbildung 3: Fernsehbild mit starken Störungen

Bildausfall

Der Bildschirm ist schwarz oder das zuletzt empfangene Bild ist eingefroren, der Ton ist weg (Abb. 4). Ist die Störung vorbei, braucht der Empfänger längere Zeit (z.B. 5 bis 20 Sekunden) bis er wieder ein störungsfreies Bild liefern kann.

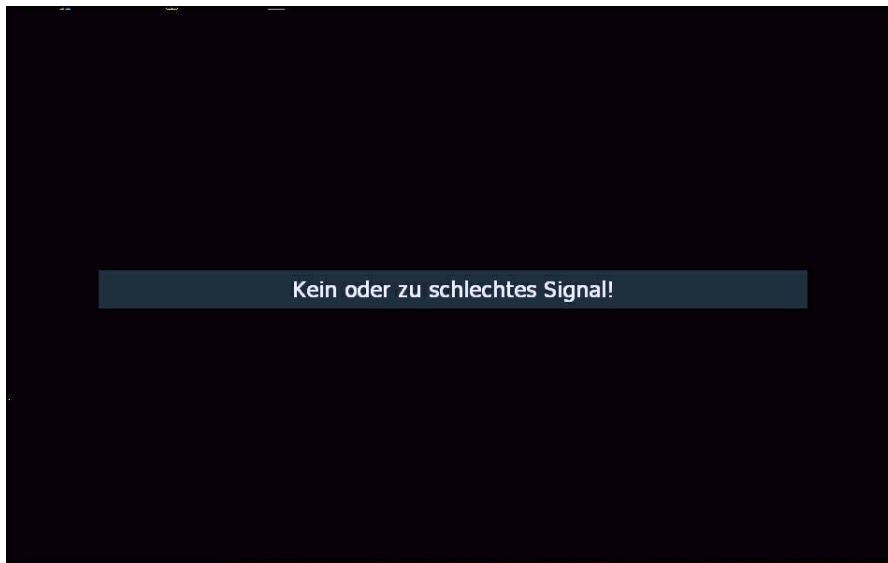


Abbildung 4: Fernsehbild bei Bildausfall

Die nachfolgende Tabelle 1 ist ein Vorschlag für die Einordnung des Störausmaßes.

Störgrad	Stördauer	Störwiederholung	Beschreibung	Beurteilung
1 Keine Störung	./.	./.	keine Klötzchenbildung, keine Tonaussetzer	einwandfrei
2 Minimale Störung	≤ 1 s	24 h	leichte Klötzchenbildung, leichte Tonaussetzer	akzeptabel
3 Leichte Störung	1 – 3 s	12 h	leichte Klötzchenbildung, leichte Tonaussetzer	bedingt akzeptabel *1)
4 Mittlere Störung	1 – 3 s	≤ 1 h	leichte Klötzchenbildung, leichte Tonaussetzer	nicht akzeptabel
5 Starke Störung	1 – 10 s	≤ 30 min.	starke Klötzchenbildung, starke Tonaussetzer	nicht akzeptabel
6 Extreme Störung	dauernd	./.	Bild- und Tonausfall	nicht akzeptabel

Tabelle 1: Mögliche Einordnung des Störausmaßes

*1): Abhängig von der Mentalität des Endkunden

4 Störmechanismus

Der grundsätzliche Störmechanismus zwischen Mobilfunksignalen und dem Rundfunkempfang ist unabhängig von der konkreten Technologie der störenden Signale.

Wie Abb. 5 schematisch veranschaulicht, kann ein Mobilfunk-Signal, das den DVB-T-Empfang bzw. den DVB-C-Empfang stört, aus zwei Quellen stammen:

- von einem Mobilfunk-Endgerät (z.B. LTE-Handy) → rote Pfeile in der Grafik
- von einer Mobilfunk-Basisstation → blaue Pfeile in der Grafik

Die jeweilige Störstrahlung der Mobilfunk-Basisstation bzw. des Endgerätes beeinflusst dabei alle Empfangseinrichtungen in den Haushalten, wie Anschlussdosen, Anschlusskabel, Antennen und Set-Top-Boxen.

Basisstationen stören den Empfang von DVB-T vor allem dort, wo die Feldstärke der Nutzsignale (DVB-T) relativ gering ist. Die ist beim Empfang über die Dachantenne am Versorgungsrand, beim portablen Empfang kann dies hingegen auch (z.B. bei Abschattung oder größerer Gebäudedämpfung) relativ nah am DVB-T-Sender sein.

In der Praxis befinden sich sendende Mobilfunk-Endgeräte (z.B. ein LTE-Handy) in der Nähe der Rundfunkempfangsanlage und werden eine intensivere Störwirkung auf den Kabelempfang sowie auf den portablen Empfang von DVB-T verursachen als Basisstationen. Darüber hinaus werden Basisstationen durch den Netzbetreiber geplant und abgestimmt, d.h. die Parameter sind bekannt. Endgeräte hingegen können überall genutzt werden und die Lokalisierung bzw. Beseitigung von Störungen wird sehr schwer.

Gemäß der am 18.2.09 vom Bundeskabinett beschlossenen Breitbandstrategie der Bundesregierung soll der Frequenzbereich 790 - 862 MHz genutzt werden, um die Versorgung dünn besiedelter Gebiete mit Mobilfunkanwendungen und die Bereitstellung von breitbandigen Internetanschlüssen voranzutreiben. Damit ist zumindest in diesen Gebieten zu erwarten, dass entsprechende Endgeräte nicht nur Terminals sind, sondern auch stationär betrieben werden (vergleichbar z.B. WLAN-Routern).

- Dachantenne – STB, Flachbildschirm
- Stabantenne – STB, Flachbildschirm, USB-Stick, Computer-Karten
- Aktive Antenne – STB, Flachbildschirm, Computer-Karten
- Integrierte Antenne oder Stabantenne – Portable Geräte (DVD-Spieler, Navigationsgeräte, portable Empfänger), Mobiltelefone
- Kabelempfang

Aus diesen Empfangsszenarien ergeben sich bestimmte Störszenarien, in die Parameter wie der Gewinn der Empfangsantenne oder typische Abstände zwischen Störquelle und DVB-T Empfangsgerät entscheidend eingehen.

Zukünftige Endgeräte werden vermehrt Systemkonzepte auf der Basis von Silicon-Chips enthalten und damit eine andere Sensitivität gegenüber unterschiedlichen Störungen aufweisen (siehe Anhang C).

Bei der Analyse der störenden Mobilfunksignale unterscheidet man in Bezug auf die Leistung dieser Störsignale am Eingang des DVB-T-Empfängers zwei Szenarien:

- Kleinsignalverhalten – z.B. Störung durch Signale in benachbarten Kanälen
- Großsignalverhalten - Störungen durch Übersteuerung der Empfänger durch sehr starke Signale, unabhängig von deren Frequenz (Sättigung, „Blocking“).

5.1 Störungen im Kleinsignalverhalten

Im Falle von kleinen Eingangssignalen wird das Verhalten von DVB-T Empfängern üblicherweise durch das Verhalten von Nutzsignal zu Störsignal beschrieben, sogenannte C/N-Werte. Dabei wird normalerweise zwischen Gleichkanal, Nachbarkanal (N+1, wenn der Nutzkanal N ist) sowie weiteren (Nachbar-)Kanälen N+M (M>1) unterschieden. Üblicherweise gibt es verschiedene C/I-Werte für diese Kanäle. Darüber hinaus sind diese abhängig u.a. von den Eigenschaften der Funkübertragungsstrecke sowie vom konkreten Empfänger(Tuner)-Konzept.

Wenn Mobilfunk-Signale auf benachbarten Kanälen vom Filter eines DVB-T-Empfängers nicht ausreichend gedämpft werden können, überlagern sie sich dem DVB-T Nutzsignal und der Empfang ist gestört. Eine solche Störung kann z.B. vorliegen, wenn ein LTE-Endgerät in geringer Entfernung zum Rundfunk-Empfangsgerät auf einem dem aktuellen Rundfunkempfang benachbarten Kanal sendet.

Störungen durch ein LTE-Endgerät

Ein stationäres LTE-Endgerät würde in der Regel in der Wohnung betrieben. Mit Hilfe seiner Antenne empfängt es Signale von der LTE-Basisstation und sendet Anfragen oder Daten zurück. Es befindet sich dabei unter Umständen auch in der Nähe einer DVB-T-Empfangsantenne (siehe Abbildungen 6 und 7).

Ein Signal von einem LTE-Endgerät stört, aufgrund seiner Signalform wesentlich stärker als ein Signal einer LTE-Basisstation bei gleicher Feldstärke an einer DVB-T-Empfangsantenne. Erschwerend kommt hinzu, dass im Falle der räumlichen Nähe des Endgerätes zur DVB-T-Empfangsantenne (Abb. 6) dessen Störfeldstärke vielfach größer ist als die einer Basisstation, trotz der deutlich geringeren Sendeleistung.

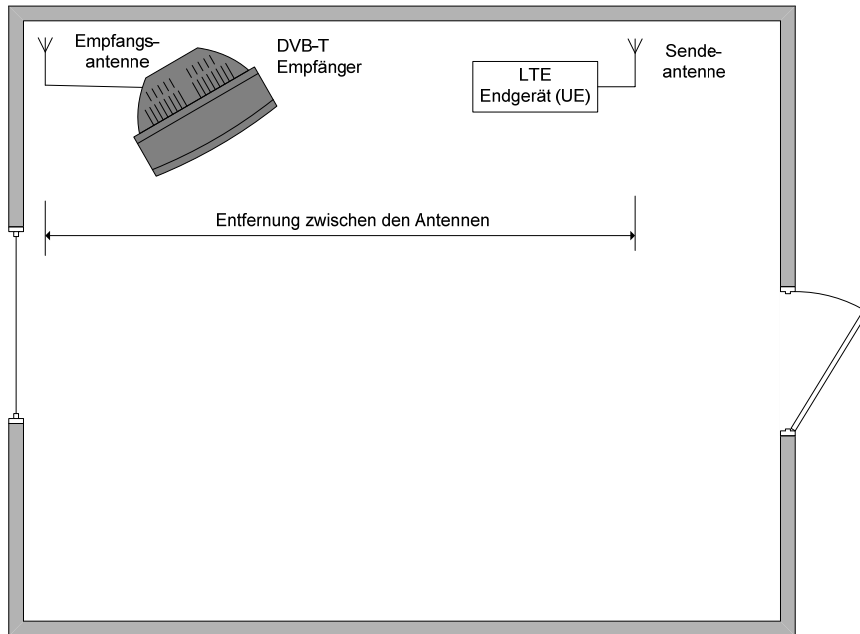


Abbildung 6: Wohnzimmer mit DVB-T-Empfänger und LTE-Endgerät

Störmessungen mit handelsüblichen DVB-T-Empfängern haben ergeben, dass ein LTE-Endgerät, betrieben auf einer Frequenz die mindestens sechs Fernsehkanäle (48 MHz) von der DVB-T-Frequenz entfernt ist, bei ungehinderter Wellenausbreitung je nach Qualität des DVB-T-Empfängers diesen in einem Radius von bis zu weit über 100 m stören kann (siehe Anhang A). Eine Trennwand, z.B. zur Nachbarwohnung (siehe Abb. 7) kann den Störradius des LTE-Endgerätes um etwa 40 % reduzieren.

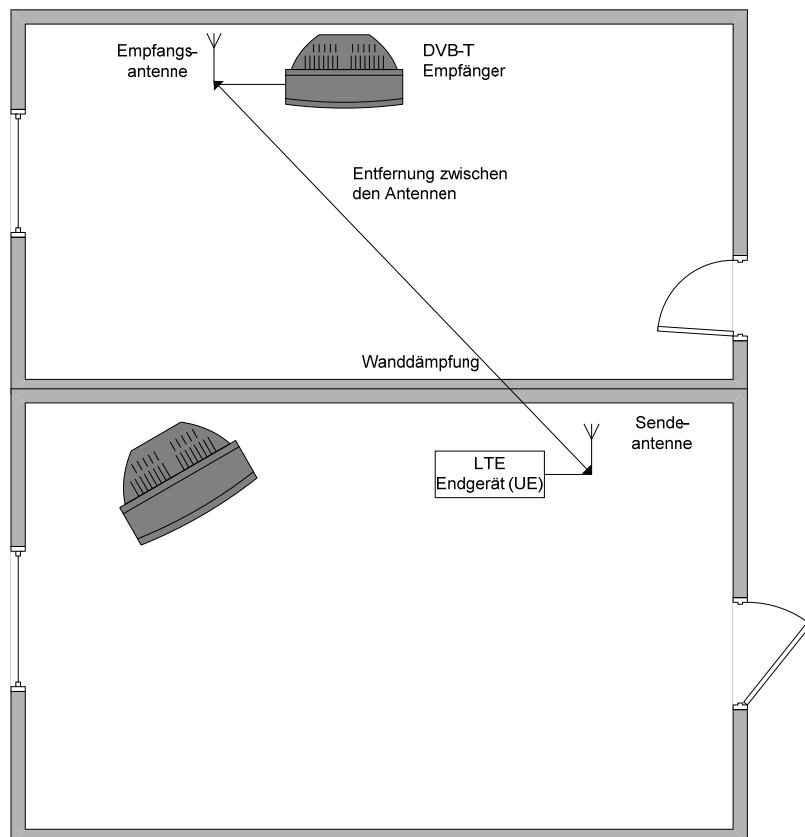


Abbildung 7: Zimmer mit DVB-T-Empfänger und LTE-Endgerät im Nachbarraum

Solange das LTE-Gerät in der eigenen Wohnung betrieben wird, kann die Ursache der Störung eventuell erkannt und u.U. toleriert werden. Wie oben beschrieben, kann das LTE-Signal aber auch den DVB-T-Empfang in den Nachbarwohnungen massiv stören. Für deren Bewohner ist es dann wesentlich schwieriger, die Quelle einer Fernsehstörung zu erkennen oder gar zu beheben.

Störung durch eine LTE-Basisstation

Das LTE-Signal einer Basisstation mit einer typischen Sendeleistung von 20 W und einem Antennengewinn von 10 dB_d (entspricht insgesamt einer EIRP von 53 dBm, siehe Anhang A) kann den DVB-T-Empfang im Freien bis zu einer Entfernung von über 1 km. Bei einem DVB-T-Empfang im Gebäude nimmt der Störradius aufgrund der Gebäudedämpfung um etwa zwei Drittel ab.

Bei dichter städtischer Bebauung nimmt der Störradius wegen der Ausbreitungsdämpfung weiter ab. Allerdings ist im Gegenzug auch mit einer höheren Dichte der installierten LTE-Basisstationen sowie einer stärkeren Absenkung der Antennen zu rechnen. In allen Fällen verbleiben erhebliche Gebiete im Umfeld einer LTE-Basisstation, in denen mit einer Störung des DVB-T-Empfangs zu rechnen ist.

5.2 Störungen durch starke Signale (Großsignalverhalten)

Ab einer bestimmten (empfängerabhängigen) Eingangsleistung wird es für den Empfänger schwerer, beide Signale zu trennen und das Nutzsignal noch entsprechend zu verarbeiten. Dies führt zu einer deutlichen Reduzierung aller C/N-Werte. Schließlich wird ein Punkt erreicht, ab dem die Leistung aller Eingangssignale den Sättigungspunkt überschreitet und der Empfänger nicht mehr in der Lage ist, ein Nutzsignal in einem beliebigen Kanal – auch weit weg vom Kanal des Störsignals – zu verarbeiten.

Der Eingangsverstärker gerät in einen „nichtlinearen Betriebsmodus“ und generiert Intermodulationsprodukte (Mischprodukte DVB-T – LTE) die als starke Störung wirken, im Ergebnis wird der Tuner des DVB-T-Empfängers „übersteuert“ (Sättigung).

Hierfür ist die Summe aller Eingangssignale innerhalb der Empfangsbandbreite entscheidend ist, d.h. aller Nutz- sowie aller Störsignale.

Störungen durch ein LTE-Endgerät

Ein LTE-Endgerät kann durch „Blocking“ (Sättigung von DVB-T Empfängern oder aktiven Antennen) in einem Umkreis von über 10 m stören (siehe Anhang A). Durch die Dämpfung einer typischen Innenwand schrumpft der Störradius um etwa 40 %.

Störungen durch eine LTE-Basisstation

Eine LTE-Basisstation mit 20 W Sendeleistung und einer 10-dB_d-Sendeantenne kann zu Blocking bis in einer Entfernung von über 500 m führen, bei DVB-T-Empfang im Freien. Auch hier wird die Reichweite der Störeinwirkung bei DVB-T-Empfang im Gebäude um zwei Drittel geringer.

6 Zusammenfassung

Studien zu den Berichten 21, 22 und 23 zeigen bereits, dass durch Aussendungen der Basisstation im Nachbarkanal zum Rundfunkempfang größere Störungen desselben auftreten können, bezogen auf das Kleinsignalverhalten.

Verträglichkeit

Eine umfassende Analyse des gegenwärtig zur Kommentierung stehenden ECC Berichts 30 lässt sich wie folgt zusammen fassen:

- Beide im Bericht genannten Komponenten – Basisanforderungen („baseline requirements“) und weitere Maßnahmen („mitigation techniques“) sind notwendige Elemente bei der Gewährleistung des Schutzes des benachbarten Rundfunkdienstes.
- Störungen auf den portablen Empfang werden deutlich unterschätzt.
- Störungen durch Sättigung von Empfangsgeräten werden grundsätzlich falsch bewertet und daher nicht genügend berücksichtigt.
- Die für die Studien genutzten Parameter der DVB-T Empfänger sind als unzureichend einzuschätzen.

Die Studie des HHI [1] ermittelt eine Notwendigkeit für zusätzliche Maßnahmen zur Sicherstellung der Verträglichkeit zwischen dem Rundfunk- und dem Mobilfunkdienst bei kleineren Schutzbändern als 10 MHz. Gegenwärtig ist ein Schutzband von lediglich 1 MHz vorgesehen.

Die Studie von ANGA/IRT [6] belegt Störungen durch den Mobilfunkdienst auf den Kabelempfang bereits bei einem Bruchteil der maximal zulässigen Uplink-Sendeleistungen von LTE-Mobilfunkterminals selbst durch Stahlwände zu Nachbarwohnungen hin.

Messungen an Endgeräten

Aktuelle Messungen an DVB-T Endgeräten zeigen, dass die Zeitstruktur des Störsignals einen wesentlichen Einfluss auf den erforderlichen Störabstand hat. Dieser basiert auf den unterschiedlichen Zeitkonstanten beider Systeme. In den bisherigen Messungen zeigt sich, dass im Falle solcher zeitvarianter Störsignale erheblich größere Störabstände notwendig werden; weitere Messungen sind dringend notwendig.

Offene Punkte

Bisher wurde in Deutschland kein tragfähiges Gesamtkonzept zur Sicherstellung der störungsfreien Koexistenz des Rundfunkdienstes und des Mobilfunkdienstes im UHF-Band entwickelt. In Übereinstimmung mit der Forderung des Bundesrates zur Klärung der Verträglichkeit sehen wir daher die dringende Notwendigkeit einer umfassenden nationalen Klärung der einzusetzenden Mittel zur Sicherstellung des störungsfreien Rundfunkempfangs im Vorfeld einer Frequenzversteigerung.

7 Referenzen

- [1] Studie: „Aspekte der optimalen Nutzung der Digitalen Dividende in Deutschland“; Heinrich-Hertz-Institut und Hochschule für Wirtschaft und Recht, Berlin; im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Mai 2009
- [2] CEPT: „ECC Draft Report 30“, Juni 2009, derzeit zur Kommentierung unter www.ero.dk
- [3] CEPT: „CEPT Report 138“, Juni 2009, derzeit zur Kommentierung unter www.ero.dk
- [4] Bericht des Vorsitzenden der SE42 an die 21. Tagung des ECC, Dokument „ECC(09)050 - SE42 Report to ECC IoM“; Juni 2009
- [5] BNetzA „Funkverträglichkeitsmessungen BWA700 (Störer) gegen DVB-T und DVB-C (gestörte Funkdienste)“, Messbericht G531/00370/08, seit Juli 2009 unter: <http://www.bundesnetzagentur.de/media/archive/16600.pdf>
- [6] ANGA, IRT: “Abschlussbericht – Beeinflussung der Dienste auf TV-Kabel-Infrastrukturen durch bidirektionale terrestrische Anwendungen LTE (Long Term Evolution) im UHF-Bereich“, Berlin/München, 8.4.2009
- [7] SE42(09)088 MB: „Additional Studies on Impact of DL on DVB-T Reception“, SE42, Mai 2009 (Studie zum Rhein-Main-Gebiet)
- [8] NDR and ZDF: “The ESR5 Criterion for the Assessment of DVB-T Transmission Quality”, ITU-R Document 6E/64-E
- [9] TG4(09)284: “DTT Receivers and Recent Tuner Developments”, TG4, Mai 2009

Anhang A: Abschätzungen zu Störentfernungen

Wie in 2.2. ausgeführt, gab es bereits und gibt es aktuell Messkampagnen zur Bestimmung von Schutzabständen für DVB-T Empfänger für den Fall, dass Mobilfunksysteme in deren Nähe betrieben werden sollen. Zusammen mit diesen Messergebnissen lassen sich gemäß den in 5. genannten Störszenarien entsprechende Störentfernungen für diese abschätzen, d.h. in welchem minimalen Abstand von einem Rundfunk-Empfangssystem Mobilfunksysteme betrieben werden dürfen damit es zu keinen Störungen kommt.

Im Folgenden werden beispielhaft Abschätzungen zur Entfernung von der Störquelle für den Fall diskutiert, dass sich diese in der Umgebung eines über die Stabantenne empfangenden DVB-T Endgeräts befindet und dieses im Kleinsignalverhalten gestört sein könnte oder im Großsignalverhalten.

Grundlagen

Das in einem Abstand x von der Störquelle mittels einer Antenne mit einem Gewinn von G_{i_Rx} [dB] empfangene Signal $P_{_empf}$ [dBm] lässt sich wie folgt abschätzen

$$P_{_empf} = P_{_stör} - D + G_{i_Rx}$$

Dabei ist $P_{_stör}$ die Störleistung der Störquelle (EIRP, in dBm) und D die Dämpfung der Funkstrecke (in dB).

Im Folgenden wird zur Vereinfachung Freiraumausbreitung angenommen. Dies ist in erster Näherung zumindest für den Abstand zwischen einem Mobilfunk-Endgerät und dem DVB-T Empfänger möglich. Damit ergibt sich

$$P_{_empf} = P_{_stör} + 27.55 - 20 \log(f) - 20 \log(x) + G_{i_Rx}$$

Dabei ist f die Frequenz des Störers (in MHz, im Folgenden immer 834 MHz) und x (in m) der Abstand zwischen Quelle und Empfänger.

Hieraus kann man umgekehrt die entsprechende minimale Störentfernung $x_{_min}$ berechnen, bei der der Wert der empfangenen Leistung einen Schwellwert $P_{_min}$, ab dem Störungen auftreten würden, gerade erreicht:

$$x_{_min} = 10^{((P_{_stör} - P_{_min}) + 27.55 - 20 \log(f) + G_{i_Rx}) / 20}$$

Der Schwellwert $P_{_min}$ richtet sich nach den Empfängereigenschaften (Schutzabstand) und dem Pegel des empfangenen Nutzsignals (Kleinsignalverhalten) bzw. dem Summenpegel aller Signale am Empfängereingang.

Störung im Kleinsignalverhalten

Mit Hilfe der o.g. genannten Formel für den minimalen Abstand kann man diesen für verschiedene Parametersätze abschätzen, wie in Tabelle A1 gezeigt. Dabei entspricht der in der zweiten Spalte genannte Wert der Differenz aus dem Pegel bei dem der C/I-Wert gemessen wurde und dem C/I-Wert.

Diese Tabelle oder die o.g. Formel kann man nutzen, um beispielsweise minimale Entfernungen für die in [5] veröffentlichten Messergebnisse abzuschätzen. Fünf Beispiele zeigt Tabelle A2 (Sendeleistung des Mobilfunk-Endgerätes 25 dBm).

Antennen- Gewinn	Diff. E_empf-C/I	Sendeleistungen Mobilfunk					
		17 dBm	21 dBm	25 dBm	29 dBm	50 dBm	55 dBm
2,15 dBi	5 dBm	0,1 m	0,2 m	0,4 m	0,6 m	6,5 m	11,6 m
	0 dBm	0,3 m	0,4 m	0,7 m	1,0 m	11,6 m	20,6 m
	-5 dBm	0,5 m	0,7 m	1,2 m	1,8 m	20,6 m	36,6 m
	-10 dBm	0,8 m	1,3 m	2,1 m	3,3 m	36,6 m	65,1 m
	-15 dBm	1,5 m	2,3 m	3,7 m	5,8 m	65,1 m	115,8 m
	-20 dBm	2,6 m	4,1 m	6,5 m	10,3 m	115,8 m	206,0 m
	-25 dBm	4,6 m	7,3 m	11,6 m	18,4 m	206,0 m	366,3 m
9,15 dBi	-30 dBm	8,2 m	13,0 m	20,6 m	32,6 m	366,3 m	651,4 m
	5 dBm	0,3 m	0,5 m	0,8 m	1,3 m	14,6 m	25,9 m
	0 dBm	0,6 m	0,9 m	1,5 m	2,3 m	25,9 m	46,1 m
	-5 dBm	1,0 m	1,6 m	2,6 m	4,1 m	46,1 m	82,0 m
	-10 dBm	1,8 m	2,9 m	4,6 m	7,3 m	82,0 m	145,8 m
	-15 dBm	3,3 m	5,2 m	8,2 m	13,0 m	145,8 m	259,3 m
	-20 dBm	5,8 m	9,2 m	14,6 m	23,1 m	259,3 m	461,1 m
-25 dBm	10,3 m	16,4 m	25,9 m	41,1 m	461,1 m	820,0 m	
-30 dBm	18,4 m	29,1 m	46,1 m	73,1 m	820,0 m	1458,3 m	

Tabelle A1: Abschätzung der minimalen Distanz, bei der ein Endgerät gestört wird

So ergibt sich für den Empfänger Rx1-4 mit einem beim Empfangspegel -70 dBm gemessenen C/I von -50 dB (Frequenzabstand 40/48 MHz) ein minimaler Abstand von 6,5 m. Diesen Wert findet man in Tab. A1 in der Spalte 25 dBm, Zeile -20 dBm (-70 dBm + 50 dB). Auffällig bei manchen Empfängern ist der Wert für 72 MHz.

Empfänger	Rx 1-4		Rx 1-14		PRx 2-1		PRx 2-2		CRx 4-2	
	-70 dBm		-77 dBm		-73 dBm		-81 dBm		-74 dBm	
Offset- frequenz	C/I	Abstand	C/I	Abstand	C/I	Abstand	C/I	Abstand	C/I	Abstand
32 MHz	-52 dB	5,2 m	-67 dB	2,1 m	-61 dB	2,6 m	-56 dB	11,6 m	-49 dB	11,6 m
40 MHz	-50 dB	6,5 m	-67 dB	2,1 m	-62 dB	2,3 m	-54 dB	14,6 m	-50 dB	10,3 m
48 MHz	-50 dB	6,5 m	-71 dB	1,3 m	-61 dB	2,6 m	-58 dB	9,2 m	-51 dB	9,2 m
56 MHz	-52 dB	5,2 m	-71 dB	1,3 m	-62 dB	2,3 m	-55 dB	13,0 m	-52 dB	8,2 m
64 MHz	-53 dB	4,6 m	-72 dB	1,2 m	-59 dB	3,3 m	-59 dB	8,2 m	-52 dB	8,2 m
72 MHz	-53 dB	4,6 m	-46 dB	23,1 m	-22 dB	231,1 m	-54 dB	14,6 m	-52 dB	8,2 m
80 MHz	-52 dB	5,2 m	-73 dB	1,0 m	-59 dB	3,3 m	-60 dB	7,3 m	-52 dB	8,2 m

Tabelle A2: Abschätzung der minimalen Distanz für einige der in [5] angegebenen Empfänger bzw. deren Schutzabstände

Störung im Großsignalverhalten

Mit Tab. A1 kann man ebenso den minimalen Abstand für die Sättigung eines Empfängers oder einer aktiven Antenne bestimmen. Hierbei entspricht der in der zweiten Spalte angegebene Pegel dem Sättigungspegel des DVB-T-Endgeräts. So ergibt sich für einen Sättigungspegel von -15 dBm beim Empfang über einen Dipol (Gewinn 2,15 dBi) ein Mindestabstand von 3,7 m vom Mobilfunk-Endgerät (mit 25 dBm Sendeleistung) bzw. von 116 m von einer Basisstation (Sendeleistung von 55 dBm, Freiraumausbreitung). Für den Empfang mit einer Dachantenne (Gewinn von 9,15 dBi insgesamt) ergäben sich 8,2 m bzw. 260 m.

Im ECC Bericht 30 wird für eine einzelne Basisstation eine Leistung von 57 dBm angegeben. Letztendlich entscheidend ist aber der Summenpegel Signale.

Anhang B: Erläuterungen zum ECC Bericht 30

In Ergänzung zu den Erläuterungen im Abschnitt 2.2.1 werden in diesem einige Punkte noch einmal konkret diskutiert.

Trotz klarer Hinweise, dass der portable Empfang von DVB-T im gesamten Empfangsgebiet gestört sein kann, wird dies im vorliegenden Bericht 30 nicht genügend berücksichtigt, folglich kein adäquater Schutz des portablen Empfangs gewährleistet. Die wichtigsten Gründe für diese Schlussfolgerung sind (siehe auch [5]):

- Die in den Studien verwendeten Parameter von DVB-T-Empfängern (Sättigungspegel, Schutzabstände) sind unzureichend. So wurden u.a. aus dem CEPT Bericht 138 die falschen Werte übernommen, die darüber hinaus auf dem Mittelwert der Messungen lediglich eines Empfängertyps (STB) basieren.
- Alle Simulationen basieren auf Link Budgets aus dem Abkommen GE06, die lediglich für internationale Verhandlungen zum Frequenzschutz erstellt wurden, bei realen DVB-T-Versorgungsplanungen aber nicht genutzt werden.
- Der Netzgewinn von Gleichwellennetzen – in Deutschland ein wesentlicher Aspekt – wurde nicht berücksichtigt. Dieser ermöglicht oft den Empfang, auch wenn die Feldstärke deutlich geringer ist als in den o.g. Link Budgets.
- Das genutzte Wellenausbreitungsmodell ist für diese Zwecke ungeeignet, da es die Störeinträge – u.a. aufgrund eines simplen Höhenabschlags bei einer Empfangshöhe von 1,5m anstelle von 10m – dramatisch unterschätzt.
- Die Dichte der Störnetze wurde, basierend auf einer rauschbegrenzten Netztopologie, als viel zu gering angesetzt. Mobilfunknetze sind jedoch in den Städten kapazitätsbegrenzt und auf dem Land interferenzbegrenzt.

Darüber hinaus gibt es weitere wichtige Punkte:

- Wichtige Studien zu Störungen durch Endgeräte wurden mit einer um 2dB geringeren EIRP erstellt als sich derzeit im Bericht findet (25 dBm). Darüber hinaus wurden mehrere Tabellenüberschriften geändert, was letztendlich zu einer weiteren deutlichen Erhöhung der maximalen EIRP eines Endgerätes führt.
- Für den Mobilfunk wurden oft Parameter mit möglichst geringen Störungen auf DVB-T gewählt, auch wenn deren Realitätsbezug zweifelhaft ist (z.B. die Antennen-Absenkung der Basisstationen). Ergänzende Studien wurden ignoriert.
- Die Summenstörwirkungen von Basisstationen und Terminals, unter Einbeziehung der von den Rundfunkgeräten empfangenen DVB-T-Signale, wurden nicht berücksichtigt (insbesondere wichtig in Bezug auf den Sättigungspegel).
- Zusätzliche Methoden zur Störungs-Reduzierung („mitigation techniques“) werden nur im Anhang 4 aufgelistet. Eine grundlegende Schlussfolgerung ist aber, dass bei nahezu allen Methoden – besonders aber den Maßnahmen auf Rundfunkseite – technische Studien sowie Untersuchungen zu ökonomischen Auswirkungen notwendig sind.
- Mit dem gegenwärtigen Stand von SEAMCAT lässt sich die Sättigung von DVB-T-Empfängern durch mehrere Eingangssignale – die Summe aller Nutzsignale sowie aller Störsignale innerhalb der Empfangsbandbreite des Empfängers – nicht berücksichtigen.

Anhang C: Aktuelle Tunerkonzepte

Jedes Empfänger-Design wird von verschiedenen Aspekten bestimmt, neben Platz und Kosten vor allem durch die technische Performance, z.B. in Bezug auf das Hauptnutzungsszenario (in statischer Umgebung oder in zeitveränderlicher, z.B. portabel, mobil), erwartete Echo-Situationen sowie Interaktionen innerhalb des Gerätes (z.B. in Handys oder Navigationsgeräten).

Dies wird am Beispiel in Abb. C1 illustriert, in dem der Schutzabstand im Spiegelkanal (N+9) für zwei verschiedene Empfänger-Designs schematisch über den Eingangsleistungs-Pegel aufgetragen ist. Während Empfänger 1 zunächst empfindlicher ist, hat Empfänger 2 zwar einen um 5 ... 7 dB geringeren Schutzabstand, dies aber über einen größeren Dynamikbereich.

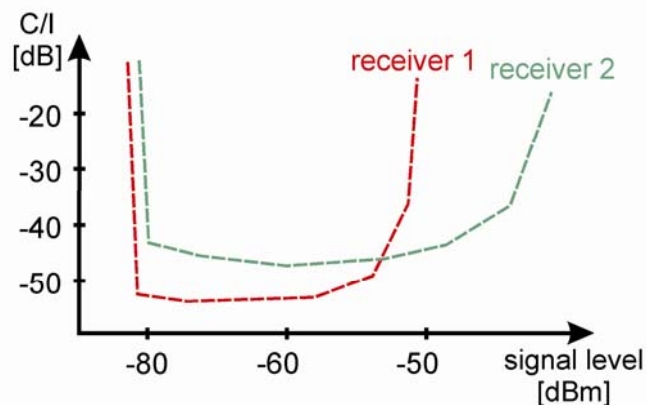


Abbildung C1: Illustration des Schutzabstandes vs. Eingangsleistung für zwei beliebige Empfänger-Entwicklungen (schematisches Beispiel)

Derzeit im Markt befindliche DVB-T-Endgeräte weisen unterschiedliche Systemkonzepte bei den Front Ends (Tuner) auf. Diese verschiedenen Konzepte zeigen eine unterschiedliche Sensitivität auf Störsignale und Störungsarten. Es ist daher notwendig die gesamte Bandbreite der Empfangskonzepte zu beleuchten.

Die Störeinflüsse, welche zu den oben genannten Auswirkungen führen, können wie folgt klassifiziert werden (in Klammern ist die jeweilige Relevanz angegeben):

- Nachbarkanalstörungen (bei allen Tunerkonzepten)
- Begrenzte Spiegelfrequenzunterdrückung (nur bei Empfangskonzepten mit Zwischenfrequenz (ZF))
- Nichtlinearitäten (besonders bei Empfangskonzepten ohne Trackingfilter)
- Sättigung (besonders bei Konzepten ohne Trackingfilter)
- Gleichkanalstörungen (hauptsächlich bei DVB-C, da der Dienst im gleichen Frequenzbereich liegen wird; bei DVB-T beeinflussen diese Störungen wohl nur das Verhalten beim Suchlauf und beim Zappen auf diese Frequenz)

Grundsätzlich lassen sich die Konzepte für TV-Tuner wie folgt klassifizieren:

- Heterodyne Konzept („Superhet“, Zwischenfrequenz > 0)

Dabei gibt es die folgenden grundsätzlichen Umsetzungen:

- mit einer ZF von 36 bzw. 44 MHz und Front-end tracking filter
- mit einer geringen ZF (3 – 5 MHz)

- doppelte ZF (zwei Stufen) und kein front-end tracking filter
- Homodyne Konzept (Direktkonversion, Zwischenfrequenz gleich oder nahe 0)
Dieses wird mit oder ohne Trackingfilter am Eingang umgesetzt.

Einige der o.g. Tuner-Typen unterstützen auch analoge TV-Standards (PAL NTSC).

Heutzutage findet man mehr und mehr Silicon Tuner in STB und iDTV, dies begann zunächst bei DVB-C Empfängern. Diese Tuner haben grundsätzliche Vorteile gegenüber traditionellen geschirmten Tunern mit diskreten Bauteilen („Can“-Tuner):

- geringere Leistungsaufnahme
- Flexibilität für den globalen Markt (Ein-Tuner-Lösung), führt zu Skaleneffekten
- geringe Produktions-Toleranzen, d.h. gleichbleibende Performance / Qualität
- Geringere Fertigungskosten (in allen Phasen der Produktion)
- Geringere Größe (Form-Faktor), damit auch geringere Geräte-Größe

Dies schließt einfache Implementierungen von Mehrfach-Tunern ein, z.B. für Diversity-, Bild-in-Bild- oder PVR-Anwendungen.

Abbildung C2 zeigt das klassische Superhetprinzip mit einer ZF von 36 bzw. 44 MHz, nach dem sogenannte „Can-Tuner“ aufgebaut sind. Die Spiegelfrequenzunterdrückung hängt von der Güte des Trackingfilters ab, die Nachbarkanaldämpfung wird durch das ZF-Filter bestimmt. Bedingt durch das Trackingfilter und die kaskadierte AGC ist dieses Konzept robuster gegen Probleme der Nichtlinearität und der Sättigung. Für dieses Konzept existieren auch „Silicon-Tuner“.

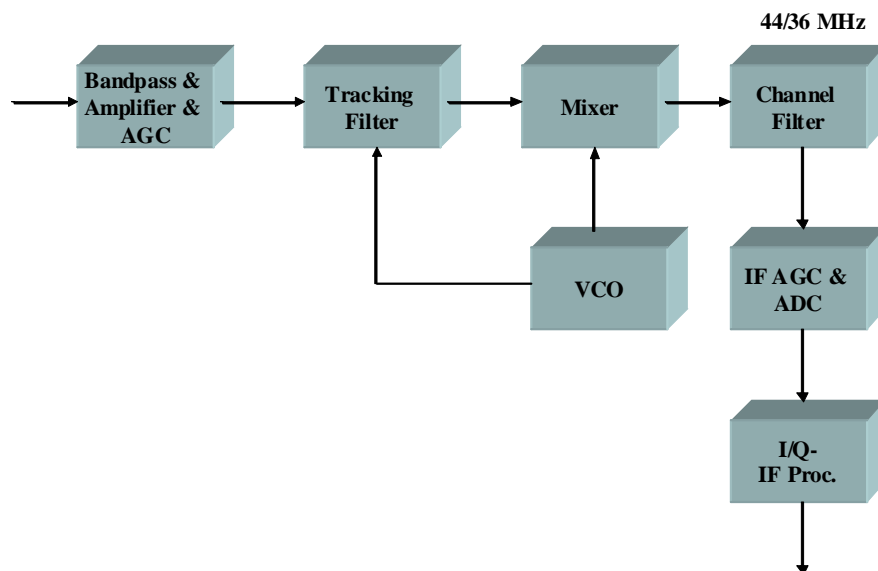


Abbildung C2: Klassisches Superhetkonzept

Abbildung C3 zeigt ein Konzept mit Doppelkonversion. Die 1. ZF liegt dabei im GHz-Bereich, sodass die Spiegelfrequenzen ebenfalls im GHz-Bereich liegen und damit oberhalb des UHF-Bereichs liegen (andere Nutzungen, abgeschwächte Wellenausbreitung). Daher kann auf ein Trackingfilter verzichtet werden, was allerdings zu et-

was größeren Probleme bzgl. Linearität und Sättigung führt. Ferner ist dieses Konzept aufgrund seiner zwei (externen) ZF-Filter kostenintensiv.

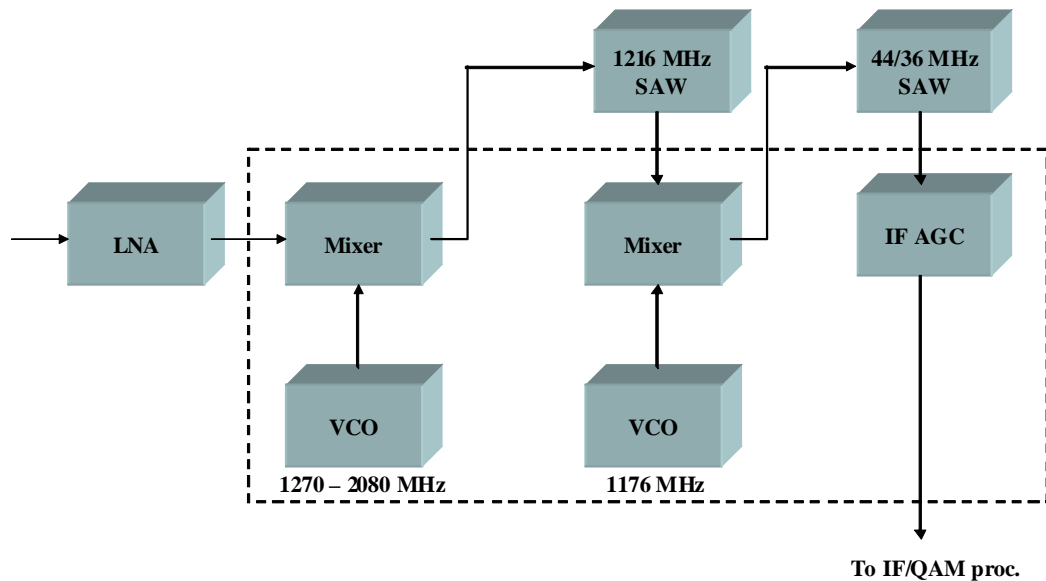


Abbildung C3: Superhetkonzept mit Doppelkonversion

Klassische Superhetkonzepte mit direkter oder mit Doppelkonversion waren bisher typisch für STB und iDTV, dies ändert sich aktuell allerdings gerade.

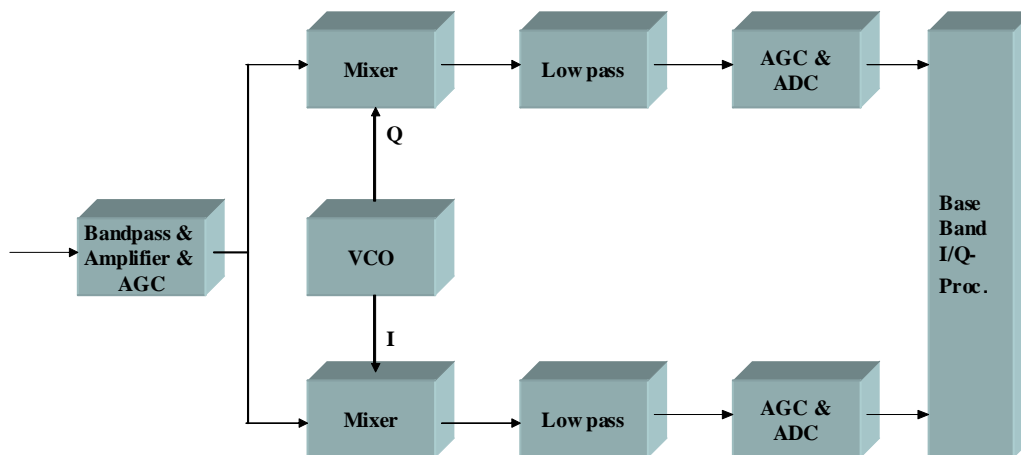


Abbildung C4: Konzept mit Direktkonversion

Abbildung C4 zeigt ein Homodyne-Konzept (Direktkonversion), bei dem kein SAW-Filter für die ZF notwendig ist. Die Nachbarkanaltrennung wird im Wesentlichen durch die Güte der Tiefpässe bestimmt. Das Konzept zeichnet sich dadurch aus, dass es so gut wie keine zusätzlichen separaten Komponenten erfordert. Dadurch entsteht eine sehr kompakte und preiswerte Bauweise.

Dieses Konzept findet zunehmend Anwendung in USB-Sticks und portablen Geräte, aber auch in IDTVs. Mittlerweile sind sie häufig auch als "single chip solution" zu finden mit einem integrierten Demodulator. Das Fehlen des Trackingfilters macht das Konzept jedoch anfälliger gegen Nichtlinearitäten und Sättigung durch Nachbarkanäle außerdem ist die Empfindlichkeit oft geringer. Da dieses Konzept jedoch zunehmend im Einsatz ist und marktrelevante Stückzahlen erreicht hat, muss es unbedingt in die Verträglichkeitsuntersuchungen mit einbezogen werden.

Die letzten Entwicklungen sind "RF-to-bits" Chip-Architekturen, in vielen Fällen findet man diese bereits in multi-Standard Empfängern, z.B. für DVB-C und DVB-T.

25. August 2009

Anhang D: Aktive Antennen

Aktive Antennen bestehen aus einem passiven Strahlerelement (oft deutlich kleiner als die Wellenlänge) mit einem integrierten, rauschangepassten Verstärker. Zur Rauschanpassung werden Antennenelement und Verstärker nicht wie üblich auf 50 Ohm leistungsangepasst, sondern auf ein optimales Rauschverhalten abgestimmt. Die Vorteile solcher aktiven Antenne werden im Zusammenspiel mit den nachgeschalteten Systemkomponenten wirksam (Kaskadenbetrachtung der Rauschzahl).

Durch die Verstärkung werden die Rauschbeiträge des Empfängers und des Verbindungskabel nahezu ausgeblendet. Somit steigt die Signalqualität (C/N) am Empfänger gegenüber der Verwendung einer passiven Antenne deutlich an und führt zu einer verbesserten Empfangssituation.

Als Kriterium zur Bewertung von aktiven Antennen sind jedoch übliche Größen wie Antennengewinn und Ausgangspegel wenig geeignet. Der Gewinn ist eine Größe zur Bewertung des passiven Strahlerelements und beschreibt nicht das Verhalten des gesamten Empfangssystems, der Pegel eines Signals sagt nichts über die eigentliche Signalqualität aus. Daher hat sich bei der Bewertung eines Empfangssystems der Begriff der Güte durchgesetzt.

Die Güte des Empfangssystems ist das logarithmische Maß des Verhältnisses zwischen Antennengewinn und Systemrauschen.

Dabei werden neben dem passiven Antennengewinn alle Verstärkungs-, Dämpfungs- und Rauschbeiträge der Komponenten einer Empfangsanlage berücksichtigt.

Über die erreichbare Systemgüte können somit aktive und passive Antennen bewertet und miteinander verglichen werden.