

**Projektgruppe**  
**"Untersuchung der EMV-Szenarien Kabel/Funk**  
**durch Mobilfunkanwendungen im**  
**Frequenzbereich 470 MHz bis 862 MHz"**  
**(PG ESKM)**  
**der AG EMV des ATRT**

**Abschlussbericht**

**August 2011**



## Inhaltsverzeichnis

|   |            |
|---|------------|
| <b>Management Summary</b> .....   | <b>III</b> |
| <b>1 Einführung</b> .....   | <b>1</b>   |
| 1.1 Das Mandat der Projektgruppe .....  | 1          |
| 1.2 Ausgangslage .....  | 1          |
| <b>2 Verträglichkeitsszenarien EMV Kabel/Mobilfunk (Mandat Teil1)</b> .....                                 | <b>7</b>   |
| 2.1 Beschreibung relevanter Störmodelle.....  | 7          |
| 2.2 Tunerkonzepte .....   | 15         |
| 2.3 Technische Parameter von Breitband-Kabelnetzen .....  | 21         |
| 2.3.1 Einleitung.....   | 21         |
| 2.3.2 Analoge Verbreitung .....   | 21         |
| 2.3.3 Digitale Verbreitung .....  | 22         |
| 2.3.4 DVB-C für DOCSIS .....  | 25         |
| 2.4 Störungen von DVB-C .....   | 25         |
| 2.4.1 Messungen Kolberg.....  | 25         |
| 2.4.2 Klassifizierung der Störungen in Breitband-Kabelnetzen.....   | 32         |
| 2.5 Technische Parameter Mobilfunk .....  | 35         |
| 2.6 Relevante EMV Kabel/Funk-Verträglichkeitsszenarien .....  | 37         |
| 2.6.1 Mobilfunk auf Breitband-Kabelnetze.....   | 37         |
| 2.6.2 Mobilfunk-Downlink auf Breitband-Kabelnetze .....   | 54         |
| 2.6.3 Breitband-Kabelnetze auf Mobilfunk-Endgeräte .....  | 57         |
| 2.7 Bewertung der Verträglichkeitsszenarien .....   | 59         |
| 2.7.1 Kanalaraster .....  | 59         |
| 2.7.2 Einordnung der Mobilfunk-Leistungen .....   | 61         |
| 2.7.3 Mobilfunk-Basisstationen und Mobilfunk-Endgeräte.....   | 64         |
| 2.8 Wahrscheinlichkeitsberechnung.....  | 68         |
| 2.8.1 Direkteinstrahlung in DVB-C-Endgeräte .....   | 68         |
| 2.8.2 Direkteinstrahlung in Kabel-Systemkomponenten.....  | 71         |
| 2.9 Lösungsansätze .....  | 77         |
| <b>3 Maßnahmen für störungsfreie Nutzungen im Frequenzbereich 790 MHz bis 862 MHz (Mandat Teil 2)</b> ..... | <b>78</b>  |
| <b>4 Anhänge</b> .....  | <b>90</b>  |
| 4.1 Deutsche Zusammenfassung des Kolberg-Reports .....  | 90         |

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 4.2 | Gesammelte Lösungsansätze der PG ESKM..... | 92  |
| 4.3 | Abbildungsverzeichnis.....                 | 96  |
| 4.4 | Tabellenverzeichnis.....                   | 99  |
| 4.5 | Abkürzungsverzeichnis.....                 | 101 |
| 4.6 | Referenzen und Standards.....              | 103 |
| 4.7 | Zusammensetzung der Projektgruppe.....     | 105 |

## Management Summary

Auf der Weltfunkkonferenz der Internationalen Fernmeldeunion (ITU) im Jahr 2007 (WRC-07) wurde beschlossen, in der ITU-Region 1, der u.a. auch Europa angehört, im bisher für Rundfunkdienste genutzten Frequenzbereich 790 MHz bis 862 MHz auch die Nutzung von mobilen Funkdiensten zuzulassen. Im Frühjahr 2010 wurde der genannte Frequenzbereich in Deutschland zur technologieneutralen Nutzung versteigert, jedoch ohne vorherige Verträglichkeitsuntersuchungen gegenüber Frequenznutzungen in Kabelnetzen. Alle Lizenznehmer haben den Einsatz von LTE-800-Technik (LTE = Long Term Evolution / 800 = 800-MHz-Bereich) für funkgestützte Breitbanddienste vorgesehen.

In dem vorliegenden Bericht wird die Verträglichkeit zwischen Diensten in LTE-800-Technik und Frequenznutzungen in Breitband-Kabelnetzen im Bereich 790 MHz bis 862 MHz behandelt. Zunächst erfolgt eine Beschreibung der möglichen Störszenarien. Auf Basis theoretischer Betrachtungen und praktischer Messungen werden konkrete Störsituationen analysiert. Der einzige Störmechanismus, der – unter Beteiligung aller Interessengruppen – messtechnisch untersucht wurde, war die Direkteinstrahlung eines LTE-800-Endgerätesignals in IDTV, STB und Kabelmodems, die an einem Breitband-Kabelnetz betrieben wurden.

Darauf aufbauend erfolgt eine theoretische Abschätzung der Störwahrscheinlichkeiten, getrennt nach:

- Direkteinstrahlung in Endgeräte (IDTV, STB und Kabelmodem)
- Einstrahlung in Kabelnetz-Systemkomponenten, inklusive der an das Kabelnetz angeschlossenen Endgeräte

Die zur Minderung bzw. Beseitigung möglicher Störungen diskutierten Lösungsansätze, sowie deren technische und ökonomische Bewertung, führen zu einer Reihe von Empfehlungen an die Bundesnetzagentur, die zur Koexistenz von Diensten in LTE-800-Technik und Nutzungen in Breitband-Kabelnetzen im Frequenzbereich 790 MHz bis 862 MHz beitragen sollen.



# 1 Einführung

## 1.1 Das Mandat der Projektgruppe

### **Mandat für eine Projektgruppe "Untersuchung der EMV-Szenarien Kabel/Funk durch Mobilfunkanwendungen im Frequenzbereich 470<sup>1</sup> MHz bis 862 MHz" der AG EMV des ATRT**

Der erste Teil des Mandates soll die Erstellung eines an den deutschen Gegebenheiten orientierten Arbeitspapiers umfassen, in dem alle für die EMV Kabel/Funk relevanten Verträglichkeitsszenarien im Rahmen von Ende-zu-Ende-Betrachtungen untersucht werden. Dabei sind die Funktionsmechanismen Einstrahlung, Einkopplung und Eingangsstörfestigkeit für die Einflüsse im Gleichkanal und in den Nachbarkanälen zu berücksichtigen. Als Ziel gilt es, Lösungsansätze für die Verträglichkeitsszenarien aufzuzeigen.

Der zweite Teil des Mandates soll präventive bzw. korrektive Maßnahmen für eine störungsfreie Nutzung in dem Frequenzbereich behandeln. Es soll erkennbar werden, welche Lösungsansätze für die Verträglichkeitsszenarien Kabel/Funk bestehen und welcher Aufwand für eine Störvermeidung erforderlich wäre.

## 1.2 Ausgangslage

Auf der Weltfunkkonferenz der ITU (International Telecommunications Union) im Jahre 2007 (WRC-07) wurde beschlossen, den Frequenzbereich 790 MHz bis 862 MHz in der ITU-Region 1 für die Nutzung durch den Mobilfunk und speziell für IMT zu öffnen. Die Zuweisung durch die WRC-07 erfolgte allerdings ohne Untersuchungen in Bezug auf die Verträglichkeit zwischen dem terrestrischen Funkdienst „Mobilfunk“ und der kabelgebundenen Verteilung von Signalen, da dies eine EMV-Thematik ist, für die sich die WRC nicht zuständig sieht. Auch CEPT sah die Problematik in dem eigenen Scope nicht abgedeckt.

National wird der Entscheidung der Weltfunkkonferenz in der Zweiten Verordnung zur Änderung der Frequenzbereichszuweisungsplanverordnung entsprochen, wodurch dieser Frequenzbereich im Rahmen der sogenannten „Digitalen Dividende“ bundesweit für Mobilfunkanwendungen genutzt werden kann.

Um dieses Ziel zu erreichen, hatte die Bundesnetzagentur diesen Frequenzbereich für den „Drahtlosen Netzzugang zum Angebot für Telekommunikationsdienste“ gewidmet und ein entsprechendes Vergabeverfahren durchgeführt, auf dessen Basis wiederum entsprechende Frequenzuteilungen erfolgt sind.

---

<sup>1</sup> Untere Grenze in Abhängigkeit von der FreqBZPV (790 MHz bis 862 MHz)

Der Bundesrat hatte jedoch bei seiner Zustimmung zur Zweiten Verordnung zur Änderung der Frequenzbereichszuweisungsplanverordnung am 12.6.2009 unter B. Ziffer 4 hervorgehoben<sup>2</sup>:

*„Vor der tatsächlichen Frequenzvergabe und Nutzung der Digitalen Dividende ist für die Störproblematiken für drahtlose Produktionsmittel und sowohl für leitungsgebundene als auch für nicht leitungsgebundene Rundfunkübertragung eine befriedigende Lösung aufzuzeigen...“.*

Ein Eingangsdokument des IRT (TG4(07)127) zum sechsten Meeting der CEPT-Gruppe TG4 im Dezember 2007 verwies bereits auf die Notwendigkeit, mögliche Störungen von Mobilfunknetzen auf Breitband-Kabelnetze zu untersuchen. Die TG4 sah die Zuständigkeit für die Untersuchungen eher bei den nationalen Verwaltungen.

Die Bundesnetzagentur machte in einem Eingangsdokument zum zwanzigsten Meeting der SE42<sup>3</sup> den Vorschlag, das gesamte Thema der Einstrahlung von Mobilfunk-Signalen in den Kabelempfang von digitalen TV-Signalen oder in Consumer-Electronics-Endgeräte über ein Standardisierungs-Mandat (ein Standardisierungsauftrag von der EU-Kommission) an CEN, CENELEC oder ETSI zu adressieren.

Anlass für diesen Vorschlag war ein Bericht von Cable Europe<sup>4</sup>, in dem nach ersten Messungen in Deutschland (ANGA/IRT) und Österreich die Gefahr der potentiellen Störung von Breitband-Kabelnetzen durch Mobilfunksignale im Frequenzbereich 790 MHz bis 862 MHz herausgearbeitet worden war.

Auf der 23. Tagung des ECC wurde der o.g. Vorschlag aufgegriffen<sup>5</sup> und die Empfehlung an die Europäische Kommission ausgesprochen, den Standardisierungsgremien einen entsprechenden Auftrag zu erteilen. Vor diesem Hintergrund kann zukünftig erwartet werden, dass nach der Entwicklung neuer Standards entsprechende Consumer-Electronics-Endgeräte in den Markt gebracht werden.

Aktuell ergeben sich die folgenden Fragen:

- Welche Störrisiken sind für die derzeit existierenden Consumer-Electronics-Endgeräte bzw. Dienste (Services) zu erwarten?
- Wie lange wird es dauern, bis diese Consumer-Electronics-Endgeräte und Dienste (Services) ausgetauscht bzw. vollständig – z.B. durch nachträgliche / zusätzliche Maßnahmen – gegen mögliche Störungen geschützt sind?
- Welche nachträglichen/zusätzlichen Maßnahmen zum Schutz sowohl der existierenden, wie auch zukünftiger Consumer-Electronics-Endgeräte sind technisch möglich und kommerziell sinnvoll?

Die von den Funkdiensten zu nutzenden Frequenzen werden von den nationalen Regulierungsbehörden (in Deutschland ist dies die Bundesnetzagentur (BNetzA))

---

<sup>2</sup> Bundesrat Drucksache 204/09 (Beschluss)

<sup>3</sup> ECC Dokument SE42(09)094

<sup>4</sup> ECC Dokument SE42(09)078 Annex 1

<sup>5</sup> ECC Dokument ECC(09)INFO11

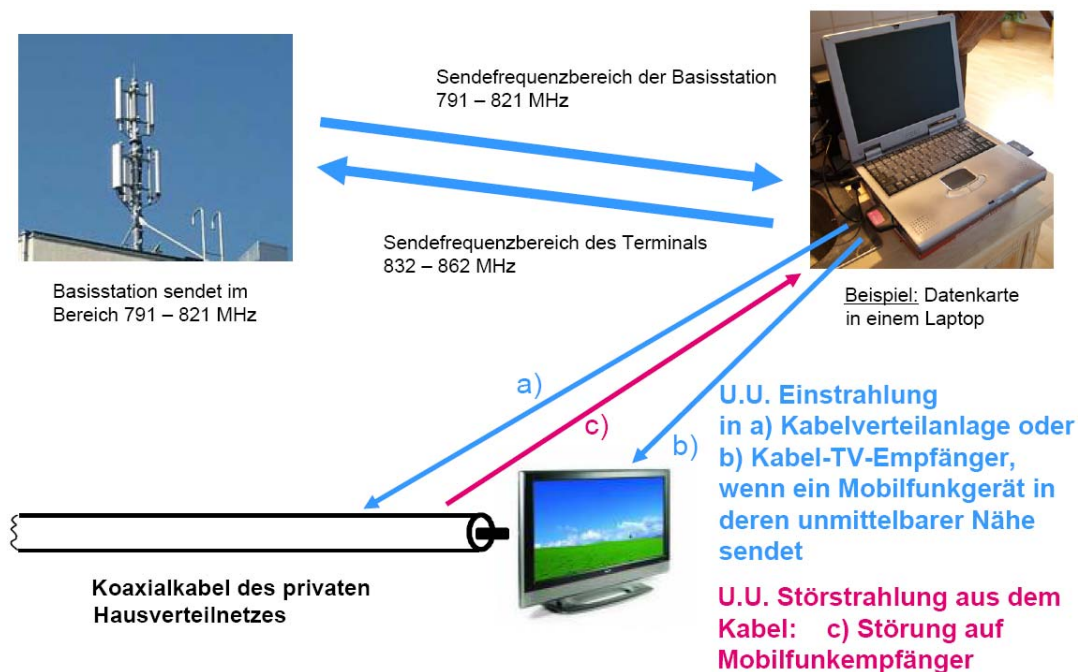


entsprechend den international vereinbarten Frequenzzuweisungen zugeteilt. Demgegenüber unterliegen die Frequenznutzungen im Kabel keiner Regulierung durch die Bundesnetzagentur. Man geht davon aus, dass Kabeldienste und Funkdienste entsprechend den Regeln der „Elektromagnetischen Verträglichkeit“ (EMV) ausreichend entkoppelt sind, so dass sie sich nicht gegenseitig beeinträchtigen. Der Grad der Entkopplung wird dabei durch internationale und europäische Standards mit der Definition für Einstrahlungsfestigkeit und Schirmungsmaß einheitlich festgelegt. Im Rahmen der Harmonisierung unter der EMV-Direktive und der entsprechenden nationalen Regulierung müssen alle Komponenten der Breitband-Kabelnetze sowie angeschlossene Endgeräte diese Vorgaben einhalten.

Trotzdem ist eine gegenseitige Beeinflussung von Geräten in und an Breitband-Kabelnetzen einerseits und LTE-800-Basisstationen und LTE-800-Mobilfunk-Endgeräte andererseits möglich. Das gilt für den Fall, dass ein Mobilfunk-Sender auf einer der verwendeten Frequenzen (Gleichkanal, Nachbarkanal, Spiegelfrequenz und Oszillatorfrequenz) eines an das Breitband-Kabelnetz angeschlossenen Consumer-Electronics-Endgerätes sendet, wodurch es zu Beeinträchtigungen des kabelgebundenen Empfangs kommen kann.

Andererseits sind durch die Störstrahlung von Breitband-Kabelnetzen auch Störungen eines Mobilfunk-Endgerätes möglich. Durch die von der Bundesregierung erlassene „Verordnung zum Schutz von öffentlichen Telekommunikationsnetzen und Sende- und Empfangsfunkanlagen, die in definierten Frequenzbereichen zu Sicherheitszwecken betrieben werden, (Sicherheitsfunk-Schutzverordnung (SchuTSEV))“ werden Grenzwerte für die Abstrahlung von Signalen aus Breitband-Kabelnetzen in bestimmten Frequenzbereichen in Deutschland vorgegeben.

Beide Beeinträchtigungsszenarien sind in **Abbildung 1-1** verdeutlicht.

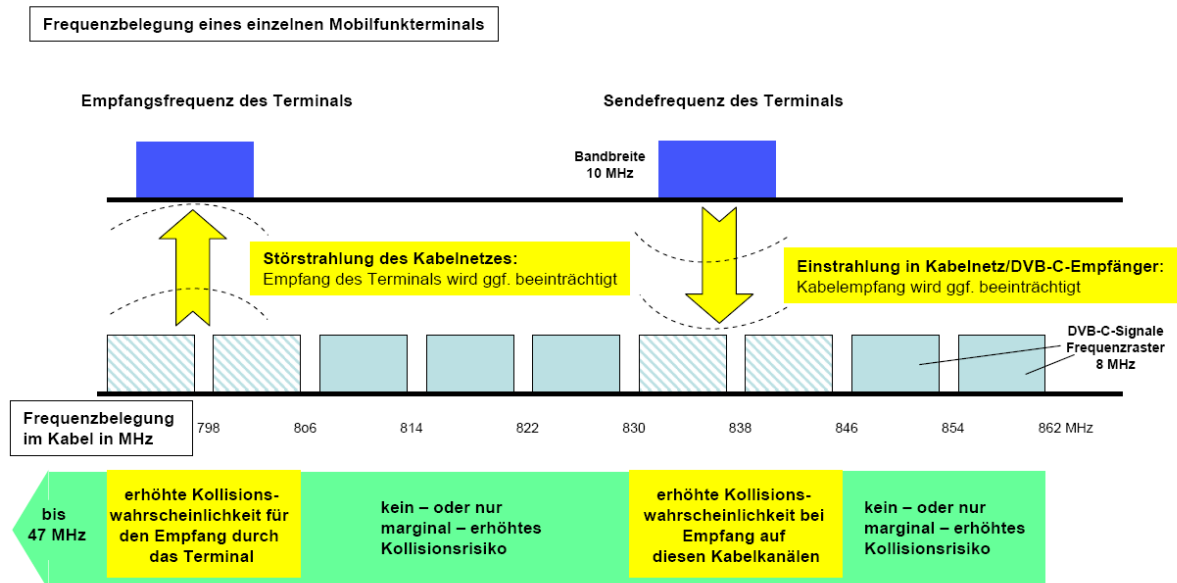


**Abbildung 1-1** Beeinträchtigungsszenarien zwischen Kabel und Funk

Die Beeinträchtigungen können vor allem dann auftreten, wenn die räumliche Entkopplung zwischen dem Breitband-Kabelnetz mit den angeschlossenen Endgeräten und dem Mobilfunk-Endgerät oder der LTE-800-Mobilfunk-Basisstation gering ist, d.h. wenn beide in geringem Abstand voneinander betrieben werden, oder wenn die Feldstärke am Ort des Breitband-Kabelnetzes oder der angeschlossenen Endgeräte auf Grund der Sendeleistung des Mobilfunk-Endgerätes oder der LTE-800-Mobilfunk-Basisstation den festgelegten Grenzwert überschreitet. Störungen treten immer dann auf, wenn die übertragene hochfrequente Leistung den Signal-Rausch-Abstand (signal to noise ratio, SNR) für das jeweilige Nutzsignal so verschlechtert, dass es von dem an das Breitband-Kabelnetz angeschlossenen Endgerät nicht mehr fehlerfrei interpretiert werden kann.

Der kritischste Fall ist die zeitgleiche Nutzung überlappender Frequenzen durch Kabelempfänger und LTE-800-Mobilfunk-Sender (sendende Basisstation / sendendes Mobilfunk-Endgerät), der sogenannte „Gleichkanalfall“. Eine Beeinträchtigung kann auch bei Nutzung der Nachbarkanal-, Spiegel- oder Oszillatorfrequenzen auftreten, jedoch findet diese Beeinflussung erst bei erhöhten Sendeleistungen gegenüber dem Gleichkanalfall statt.

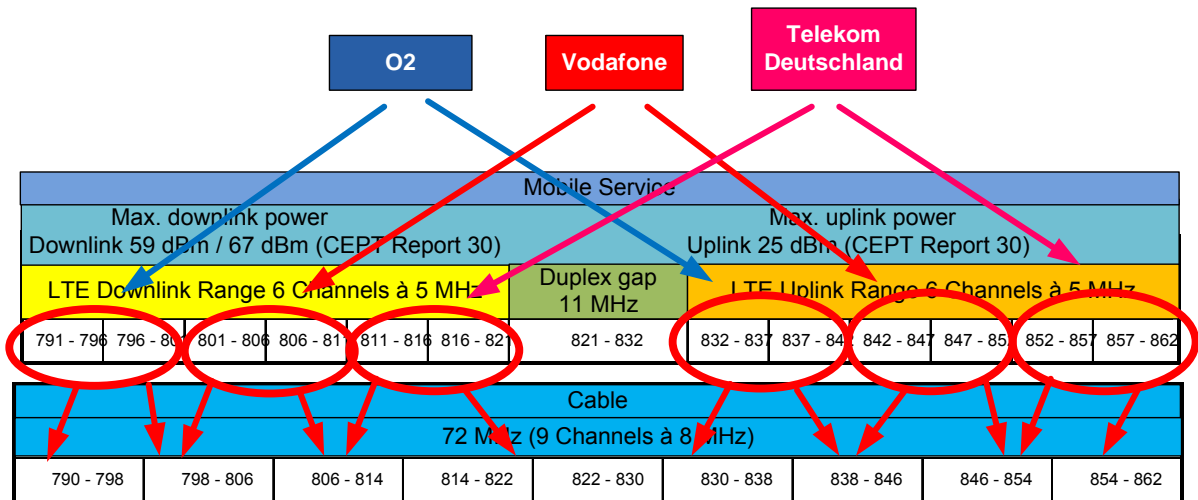
Das Prinzip dieser Kollisionsszenarien bzgl. der Frequenzrelationen ist aus der nachfolgenden **Abbildung 1-2** ersichtlich.



**Abbildung 1-2** Kollisionsszenarien bezogen auf Mobilfunk mit 10-MHz-Downlink und 10-MHz-Uplink

Die **Abbildung 1-2** zeigt das Kollisionsrisiko bezogen auf einen Mobilfunkanbieter in Deutschland. Durch die Bundesnetzagentur wurde ein Band von 72 MHz im Bereich von 790 MHz bis 862 MHz für die Nutzung von Mobilfunk vergeben. Das Kollisionsrisiko ist hier auf DVB-C-Kanäle bezogen. In einem einzelnen DVB-C-Kanal können mehrere verschiedene TV-Programme übertragen werden. Durch die Downlink- und Uplink-Signale können durch einen Mobilfunkbetreiber je vier DVB-C-Kanäle gestört werden, was entsprechend mehrere TV-Programme betreffen würde, wenn die Orts- und Zeitwahrscheinlichkeit zusammentreffen.

Die **Abbildung 1-3** zeigt die Verteilung der Funkfrequenzen der Digitalen Dividende auf einzelne Mobilfunknetzbetreiber, wie sie sich aus dem Ergebnis der Frequenzversteigerung im zweiten Quartal 2010 ergibt, sowie die möglicherweise gestörten Kabelkanäle.



© ANGA Verband Deutscher Kabelnetzbetreiber e.V.

**Abbildung 1-3** Situation nach der Versteigerung der Mobilfunkfrequenzen in Deutschland und die Beeinflussung der Kabelkanäle

Aufgrund der beschriebenen Kollisionsrisiken zwischen Funk- und Kabelnutzungen bestehen im nationalen und internationalen Bereich Anforderungen an die Mindestqualität (und hier besonders an die Schirmung) von Breitband-Kabelnetzen und der daran angeschlossenen Endgeräte, die in einer vorhandenen Umgebung mit Funknutzungen eine ausreichende Entkopplung der Breitband-Kabelnetze erlaubt. Dazu wurde für die Innerband-Störfestigkeit von Geräten in Breitband-Kabelnetzen ein Wert von  $106 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$  ( $200 \text{ mV}/\text{m}$ ) festgelegt. Dies betrifft jedoch nicht die mit Tunern ausgestatteten Endgeräte. Allerdings geht diese Festlegung davon aus, dass eine primäre Nutzung des relevanten Frequenzbereichs durch Rundfunkanwendungen gegeben ist, die durch einen "high power, high tower"-Ansatz charakterisiert werden können. Diese Annahme gilt bei der Nutzung durch Mobilfunk nicht mehr.

## **2 Verträglichkeitsszenarien EMV Kabel/Mobilfunk (Mandat Teil1)**

Die Grundlage für die nachfolgenden Verträglichkeitsbetrachtungen zwischen TV-Kabelnetzen, Tuner basierten Geräten, die auch an TV-Kabelnetze angeschlossen werden können und Mobilfunkanwendungen bilden insbesondere die Normen:

- DIN EN 55020: 2007 - Ton- und Fernseh-Rundfunkempfänger und verwandte Geräte der Unterhaltungselektronik - Störfestigkeitseigenschaften - Grenzwerte und Prüfverfahren (CISPR 20:2002);
- DIN EN 50083-2: 2007 - Kabelnetze für Fernsehsignale, Tonsignale und interaktive Dienste, Teil 2: Elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten;
- DIN EN 50083-8: 2002 - Kabelnetze für Fernsehsignale, Tonsignale und interaktive Dienste, Teil 8: Elektromagnetische Verträglichkeit von Kabelnetzen.

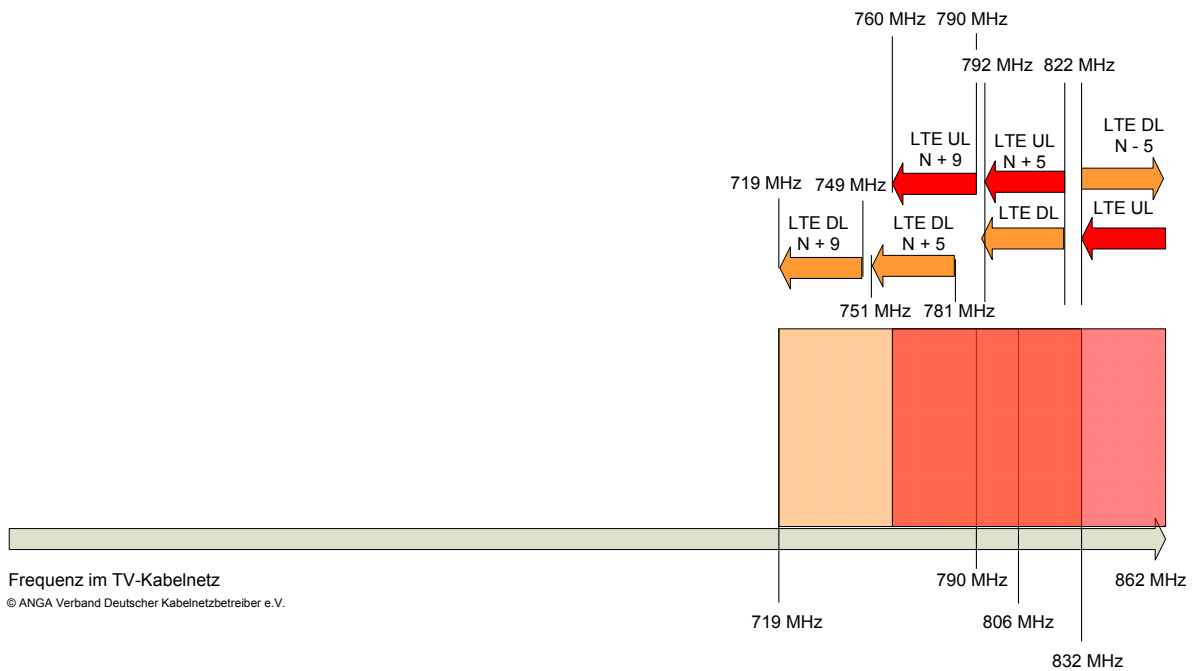
Es ist festzustellen, dass alle in diesem Bericht durchgeführten Berechnungen und Verträglichkeitsbetrachtungen auf den o.a. Normenständen basieren.

### **2.1 Beschreibung relevanter Störmodelle**

Dieses Kapitel behandelt die verschiedenen Möglichkeiten wie Störungen durch die Nutzer wahrgenommen werden. Aus Sicht von Netzbetreibern, Diensteanbietern und Geräteherstellern ist es entscheidend, die Art der Störungen zu bewerten.

In diesem Zusammenhang ist die Videoübertragung ein empfindlicher Service. Das Sinnesorgan Auge stellt sehr schnell Störungen eines laufenden Bildinhaltes fest. Fehler im Video-Bereich, die durch den internen Fehlerschutz nicht behoben werden können, kann man nachträglich nicht mehr korrigieren. Eine erneute Übertragung der fehlerhaften Bildelemente macht keinen Sinn, wie es zum Beispiel bei einer E-Mail-Übertragung oder FTP (File Transfer Protokoll)-Dateiübertragung gängige Praxis ist.

Ebenfalls sind Störungen in der Sprachübertragung für den Nutzer leicht aufzudecken. Stimmt in einem Videostream das gesprochene Wort mit den Bewegungen der Lippen (Lippensynchronität) nicht überein, erkennt der Nutzer dies sehr schnell. Störungen des Tones werden, wenn sie dauerhaft auftreten, als lästig empfunden. Sie spielen nicht nur in der reinen Videoübertragung eine Rolle, sondern auch bei Sprach (voice)-Anwendungen, wie z.B. Telefonie, Videokonferenzen usw., die über ein Breitband-Kabelnetz angeboten werden. Störungen lassen sich zuerst bei Zischlauten, wie zum Beispiel der Buchstabe „z“ im Wort „zwei“ erkennen. Darüber hinausgehende Beeinträchtigungen, wie Rauschen, Knacken bis hin zur Unverständlichkeit von Worten führen erst recht zu Verärgernungen bei den Nutzern.



**Abbildung 2-1** Beeinträchtigung des Kabelempfangs durch ein ECN-Netzwerk im Bereich 790 MHz bis 862 MHz, bezogen auf die nachfolgenden Störmodelle (UL = Uplink, DL = Downlink)

Mit Bezug auf die **Abbildung 2-1** ergeben sich die grundsätzlichen Störmodelle, die im Rahmen der Bearbeitung des Mandates für den Frequenzbereich 790 MHz bis 862 MHz auftreten können. Bei der Bearbeitung der Störungen sind folgende Szenarien zu unterscheiden:

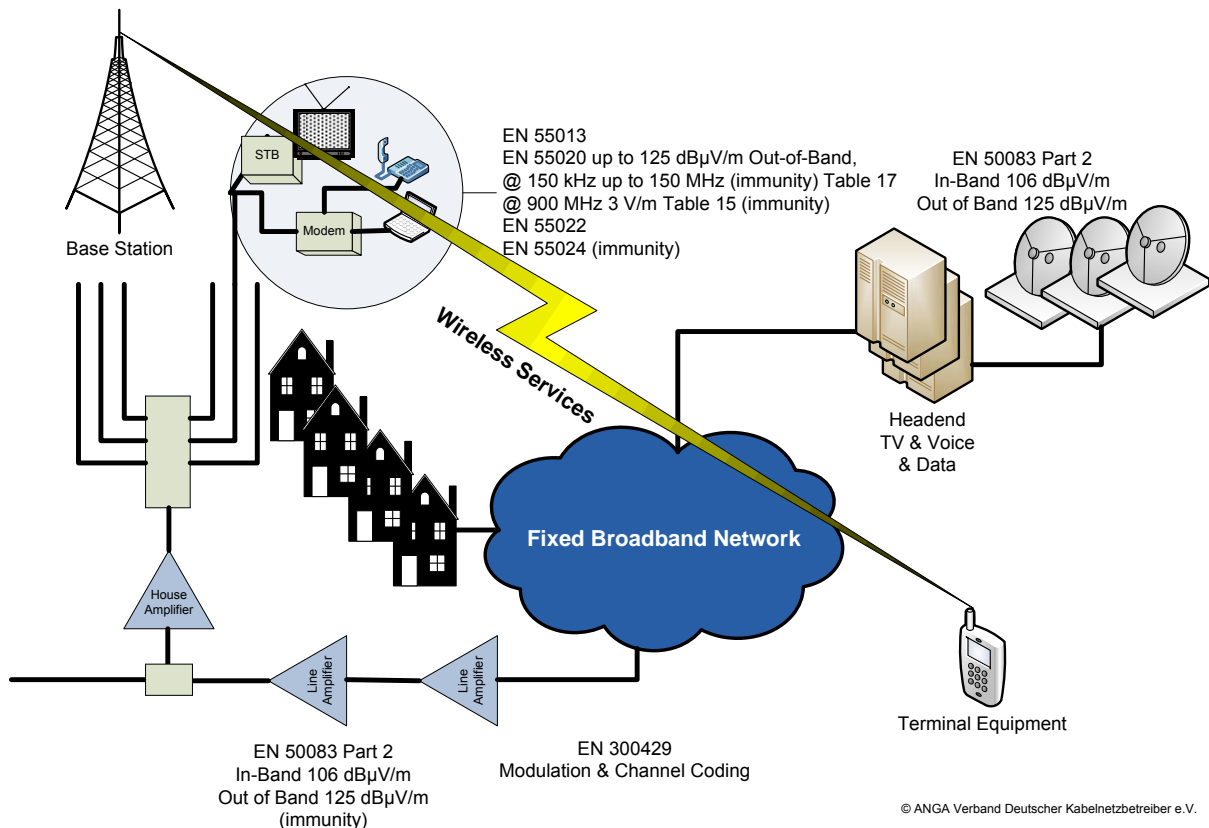
- Gleichkanalbetrieb  $\Rightarrow$  (N+0)  
Störender und gestörter Dienst nutzen zeitgleich die gleiche Frequenz zur Übertragung. Bezogen auf das Kanalraster im Kabel liegt bei Störungen auf Grund des Gleichkanalbetriebs die Sendefrequenz des Mobilfunkdienstes im gleichen Kanal wie der Kabeldienst.
- Nachbarkanalbetrieb  $\Rightarrow$  (N+1, N-1)  
Störender und gestörter Dienst nutzen zeitgleich benachbarte Frequenzen. Bezogen auf das Kanalraster im Kabel liegt bei Störungen auf Grund des Nachbarkanal-Betriebs die Sendefrequenz des Mobilfunkdienstes im benachbarten Kanal des Kabeldienstes.
- Oszillatorfrequenz  $\Rightarrow$  (N+5)  
Bezogen auf das Kanalraster im Kabel liegt bei Störungen auf Grund der Problematik Oszillatorfrequenz die Sendefrequenz des Mobilfunkdienstes etwa 5 x 8 MHz über dem Kanal des Kabeldienstes.
- Spiegelfrequenz  $\Rightarrow$  (N+9)  
Bezogen auf das Kanalraster im Kabel liegt bei Störungen auf Grund der Problematik Spiegelfrequenz die Sendefrequenz des Mobilfunkdienstes etwa 9 x 8 MHz über dem Kanal des Kabeldienstes.

Darüber hinaus sind Auswirkungen auf die einzelnen Triple-Play-Angebote zu berücksichtigen. Diese wirken sich im Zusammenhang mit den oben angeführten Frequenzeffekten auf Internet-Dienste und auf Sprach-Dienste mit Einbeziehung typischer Consumer-Electronics-Endgeräte aus.

Für die Betrachtung der einstrahlenden Störfeldstärken ist zwischen der Innerbandstörfestigkeit und der Außerbandstörfestigkeit zu unterscheiden. Relevant für die Betrachtungen, die hier vorgenommen werden, ist die Innerbandstörfestigkeit. Sie bedeutet, dass die Störfeldstärken, die auf die einzelnen Bauteile oder die Kabelnetzinfrastruktur einwirken, in den relevanten Übertragungskanälen liegen. Diese ist in den Normen DIN EN 55020, 50083-2 und 50083-8 beschrieben.

Der Standard für DVB-C (DIN EN 300 429) selber sagt nichts zu dem Thema Einstrahlungsfestigkeit aus. In seiner genauen Spezifikation beschreibt er den technischen Aufbau von Tunern, unabhängig von der praktischen Realisierung, die Modulationsformen und den entsprechenden Fehlerschutz. Der Standard DIN EN 300 429 wird ebenfalls bei der Signalübertragung von Internetdaten über Kabel, wie es das EuroDOCSIS-System beschreibt, als physikalisches Übertragungsprotokoll genutzt.

Der Empfang der DVB-C-Signale findet in den Consumer-Electronics-Endgeräten bzw. in den Tunern statt, während das DVB-C-Signal an der Kopfstelle in das Breitband-Kabelnetz eingespeist wird. Die entsprechenden Festlegungen bezüglich der Einstrahlungsfestigkeit werden in dem Standard DIN EN 50083-2 "Kabelnetze für Fernsehsignale, Tonsignale und interaktive Dienste - Teil 2: Elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten" geregelt. Dieser Standard ist im Official Journal (OJ) der EU gelistet. Hinsichtlich der Netzqualität legt die Norm DIN EN 50083-8 einen Grenzwert fest.



**Abbildung 2-2** Bezugskette der TV-Kabelübertragung mit den relevanten Normen

**Abbildung 2-2** gibt einen Überblick über die Bezugskette der TV-Kabelübertragung mit dem Hinweis auf die entsprechenden relevanten Normen zur Funkstörfestigkeit und der Einstrahlungsfestigkeit.

Die entsprechenden Teile der Normenreihen DIN EN 50083 und DIN EN 60728 behandeln Kabelnetze für Fernseh-, Ton- und interaktive Multimediasignale, einschließlich der Geräte, Systeme und Installationen

- für Kopfstelleneingang, Aufbereitung und Verteilung von Fernseh- und Ton-Signalen und ihren zugehörigen Datensignalen und
- für Aufbereitung, Übergabe und Übertragung aller Arten von interaktiven Multimediasignalen, über alle anwendbaren Übertragungsmedien.

Sie beinhalten alle Arten von Netzen wie

- Kabelfernsehnetze (GGA-Netze),
- GA- und SAT-GA-Systeme,
- Einzelempfangsanlagen



und jede Art von Geräten, Systemen und Installationen, die in solchen Netzen vorhanden sind. Die Anwendbarkeit dieser Normen reicht von Antennen, speziellen Eingängen von Signalquellen in der Kopfstelle oder anderen Schnittstellen zum Netz, bis zum Anschluss des jeweiligen Consumer-Electronics-Endgerätes.

Consumer-Electronics-Endgeräte (z. B. Tuner, Empfänger, Decoder, Multimedia-Endgeräte usw.) und auch jegliche Koaxial- und Lichtwellenleiter-Kabel und deren Armaturen sind nicht Gegenstand dieser Norm. Diese werden mit ihren technischen Randbedingungen in den Normen DIN EN 55013 und DIN EN 55020 beschrieben, die beide ebenfalls im Official Journal (OJ) der EU gelistet sind.

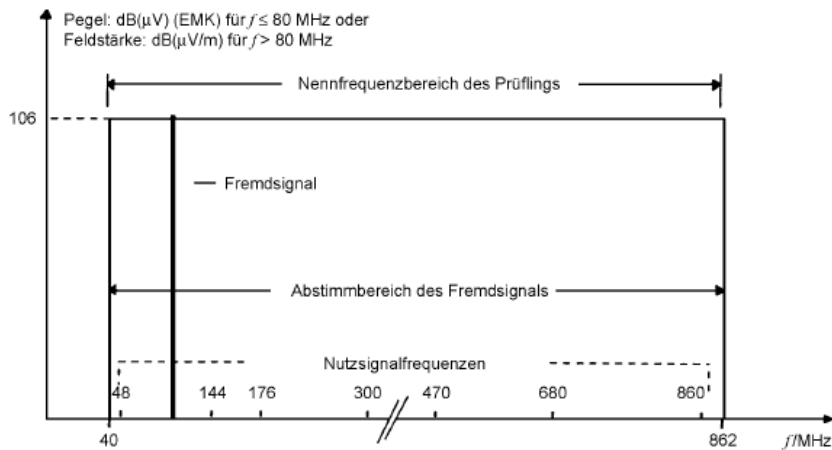


Bild 9 – Frequenzraster zur Messung der Innerbandstörfestigkeit von aktiven Bauteilen zum Empfang von AM-Signalen mit einem Nennfrequenzbereich unterhalb 950 MHz (Beispiel: Breitbandverstärker, Bandbreite 40 MHz bis 862 MHz)

Abbildung 2-3 Innerbandstörfestigkeit (Auszug aus DIN EN 50083-2, Bild 9)

**Abbildung 2-3** beschreibt die Grenzwerte für Feldstärken, die für die Innerbandstörfestigkeit in der DIN EN 50083-2 festgelegt ist. Der Grenzwert liegt derzeit bei 106 dB(µV/m). Die Abbildung veranschaulicht ein Beispiel der Testmöglichkeit anhand eines BK-Verstärkers, zeigt aber deutlich die verschiedenen Bedingungen des Tests bezogen auf das Fremdsignal. Die Messungen im Störfrequenzbereich von 80 MHz bis 3 GHz müssen mit dem in der DIN EN 61000-4-3 (erweitert bis 3 GHz mit passenden Antennen) beschriebenen Verfahren mit einem Strahlungsfeld durchgeführt werden.

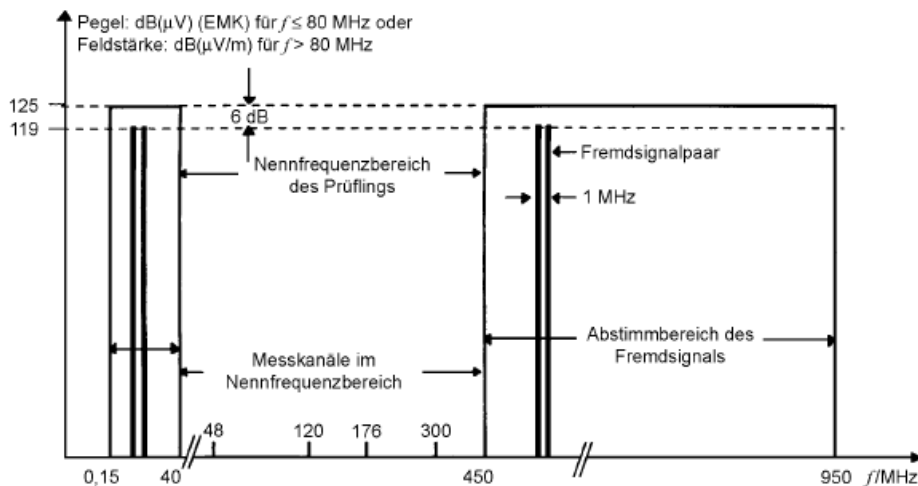


Bild 7 – Frequenzraster zur Messung der Außerbandstörfestigkeit von aktiven Bauteilen zum Empfang von AM-Signalen mit einem Nennfrequenzbereich unterhalb von 950 MHz (Beispiel: VHF-Breitbandverstärker, Bandbreite 40 MHz bis 450 MHz)

Abbildung 2-4 Darstellung der Außerbandstörfestigkeit gemäß DIN EN 50083-2

**Abbildung 2-4** zeigt die Darstellung der Außerbandstörfestigkeit gemäß Norm DIN EN 50083-2. Das Störsignal wird durch zwei diskrete Träger (zwei Fremdsignale) simuliert, deren Feldstärkepegel um 6 dB unter dem in der **Abbildung 2-4** angegebenen Bezugspegel liegen und die einen Abstand von 1 MHz zueinander aufweisen. Als Bezugsfrequenz für die beiden Fremdsignale ist das arithmetische Mittel der beiden Einzelfrequenzen zu wählen. Die Außerbandstörfestigkeit liegt tatsächlich bei 119 dB( $\mu$ V/m), da der Feldstärkepegel um 6 dB gegenüber dem Bezugspegel abgesenkt ist.

**Abbildung 2-3** und **Abbildung 2-4** zeigen, dass die Fremdsignale natürlich nicht den Signalen eines LTE-Signals im Downlink oder Uplink entsprechen. Aus diesen Gründen können die vorgegebenen maximalen Feldstärkewerte nur bezogen auf die in den Normen angegebenen Verhältnisse übertragen werden. Um hier einen genaueren Einblick in die Auswirkungen der eingestrahlten Signale zu bekommen, muss ein Schutzabstand definiert werden.

Im Vergleich zu dem Wert der Normenreihe DIN EN 50083 für die TV-Kabelnetze von derzeit 106 dB( $\mu$ V/m), der in 3 m Abstand zu den Gebäude-Außenwänden gemessen wird, ist in der DIN EN 55020 (CISPR 20) für die Störfestigkeit gegenüber eingestrahlten Feldern nur der Frequenzbereich 150 kHz bis 150 MHz festgeschrieben. Der Grenzwert variiert hierbei zwischen 109 dB( $\mu$ V/m) und 125 dB( $\mu$ V/m) je nach betrachtetem Frequenzbereich.

**Tabelle 2-1** Tabelle 17 aus der Norm DIN EN 55020

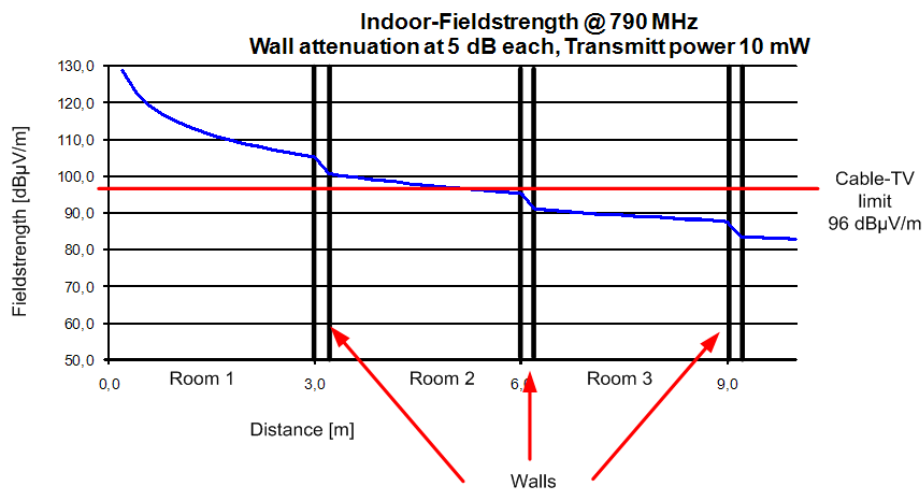
**Tabelle 17 – Grenzwerte der Einstrahlungs-Störfestigkeit gegenüber elektromagnetischen Fremdfeldern für Fernseh-Rundfunkempfänger in der Betriebsart Empfang**

| Frequenz<br>MHz  | Pegel<br>dB(μV/m)                   |
|--|-------------------------------------|
| 0,15 bis 47<br>ausgenommen sind die Frequenzbänder:<br>$(f_c - 1,5)$ bis $(f_c + 1,5)$<br>$(f_s - 0,5)$ bis $(f_s + 0,5)$<br>$(f_i - 2)$ bis $(f_v + 2)$ <sup>a)</sup><br>$(f_v - 2)$ bis $(f_i + 2)$ <sup>b)</sup>  | 125<br><br>101<br>101<br>101<br>101 |
| Für nichteuropäische Staaten und die Russische Föderation<br>47 bis 150 <sup>c)</sup><br>mit Ausnahme des abgestimmten Kanals ± 0,5  | 109 <sup>d)</sup>                   |
| Für europäische Staaten<br>47 bis 87<br>87 bis 108<br>108 bis 144<br>144 bis 150<br>mit Ausnahme des abgestimmten Kanals ± 0,5   | 109<br>125<br>109<br>125            |
| ANMERKUNG $f_i$ ist die Ton-Zwischenfrequenz,<br>$f_v$ ist die Bild-Zwischenfrequenz,<br>$f_s$ ist die Inter-carrierton-Zwischenfrequenz,<br>$f_c$ ist die Farbhilfsträgerfrequenz.  |                                     |
| a) Für Systeme B, D, G, K, I, L, M.<br>b) Nur für System L.<br>c) Die Frequenz 47 MHz kann abhängig von der Verwendung dieses Frequenzbandes auf nationaler Ebene verändert sein.<br>d) Für Fernseh-Rundfunkempfänger mit Empfangsfunktion in diesem Frequenzbereich. Für Fernseh-Rundfunkempfänger ohne Empfangsfunktion in diesem Frequenzbereich muss ein Pegel von 125 dB(μV/m) angewendet werden. |                                     |

Empfänger und Multifunktionsgeräte müssen in der Monitor-Betriebsart auch die Anforderung 125 dB(μV/m) im Frequenzbereich 150 kHz bis 150 MHz erfüllen. Für den Frequenzbereich  $f_c \pm 1,5$  MHz gilt der Grenzwert 101 dB(μV/m).

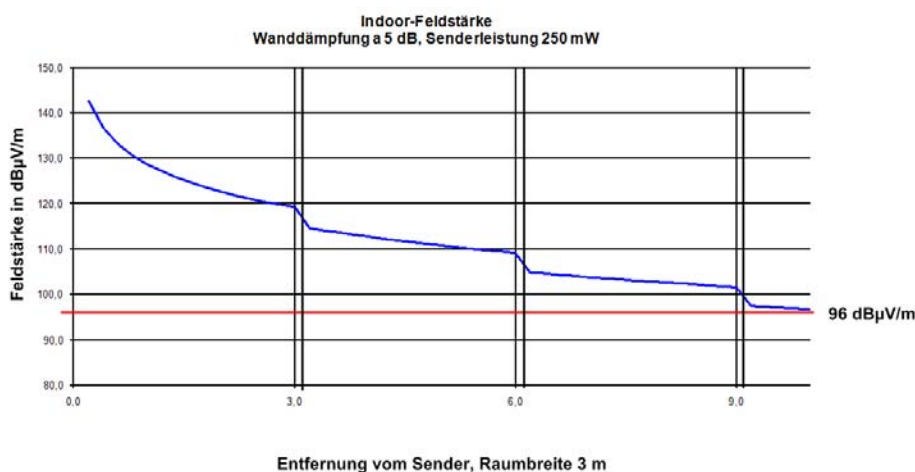
**Tabelle 2-1** zeigt die der Norm DIN EN 55020 entnommene Tabelle 17, welche die Schirmung von Tunern oder ähnlichen Geräten beschreibt.

Die folgende Abbildung zeigt den theoretischen Verlauf der Feldstärke, wie er innerhalb einer Wohnung auftreten kann. Dabei ist als Grenzwert 96 dB(μV/m) eingetragen. Er ergibt sich, wenn mit einer Wanddämpfung von 10 dB gerechnet wird. In 3 m Abstand zur Gebäude-Außenwand dürfen gemäß Norm bis zu 106 dB(μV/m) auftreten.



**Abbildung 2-5** Verlauf der Feldstärke innerhalb einer typischen Wohnung, bezogen auf den Kabel-TV-Grenzwert 96 dB( $\mu$ V/m) bei einem Sender mit 10 mW

**Abbildung 2-5** zeigt den berechneten Feldstärkeverlauf, wenn ein Sender mit 10 mW auf einer Frequenz von 790 MHz innerhalb einer Wohnung sendet. Dabei wird unterstellt, dass die Räume jeweils 3 m breit sind und die Wände in der Wohnung jeweils eine Dämpfung von 5 dB haben. Erst nach 6 m erreicht die berechnete Feldstärke einen Wert, den Breitband-Kabelnetze mit normgemäßer Schirmung einhalten können. Im Vergleich dazu gilt bei den Consumer-Electronics-Endgeräten in diesem Bereich keine Schirmung.



**Abbildung 2-6** Verlauf der Feldstärke innerhalb einer Wohnung bei einer Senderleistung von 250 mW und einer Frequenz von 790 MHz

**Abbildung 2-6** zeigt den Verlauf der Feldstärke innerhalb einer Wohnung, bezogen auf 250 mW Sendeleistung im Uplink. Dabei wurde eine Wanddämpfung von 5 dB angenommen und eine mittlere Raumgröße von 3 m. Erst in ca. 11 m Entfernung vom Sender erreicht die Sendefeldstärke die Grenze von 96 dB( $\mu$ V/m). Bei einer

Wanddämpfung von weniger als 5 dB würde sich das Signal noch über eine deutlich weitere Strecke ausbreiten.

## 2.2 Tunerkonzepte

Jedes Empfänger-(Tuner)-Design wird von verschiedenen Aspekten bestimmt, wie z.B. Platz und Kosten. Weitere Aspekte sind die technische Leistungsfähigkeit (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).

Derzeit im Markt befindliche DVB-C-Endgeräte weisen unterschiedliche Systemkonzepte bei den Tunern (Front-Ends) auf. Diese verschiedenen Konzepte zeigen eine unterschiedliche Sensitivität im Hinblick 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 Empfangskonzepten ohne Trackingfilter)
- Gleichkanalstörungen (hauptsächlich bei DVB-C, da der Dienst im gleichen Frequenzbereich liegen wird)

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

- Heterodyne Konzepte („Superhet“,  $ZF > 0$ )  
Dabei gibt es die folgenden grundsätzlichen Umsetzungen:
  - mit einer ZF von 36 bzw. 44 MHz und Front-end-Trackingfilter
  - mit einer niedrigen ZF (3 – 5 MHz); Supradyne-Konzept
  - mit doppelter ZF (zwei Stufen) und ohne Front-end-Trackingfilter
- Homodyne Konzepte (Direktkonversion,  $ZF$  gleich oder nahe 0)  
Dieses wird mit oder ohne Trackingfilter am Eingang umgesetzt.

Einige der aufgezeigten Tuner-Versionen unterstützen auch analoge TV-Standards (wie PAL, NTSC, ...).

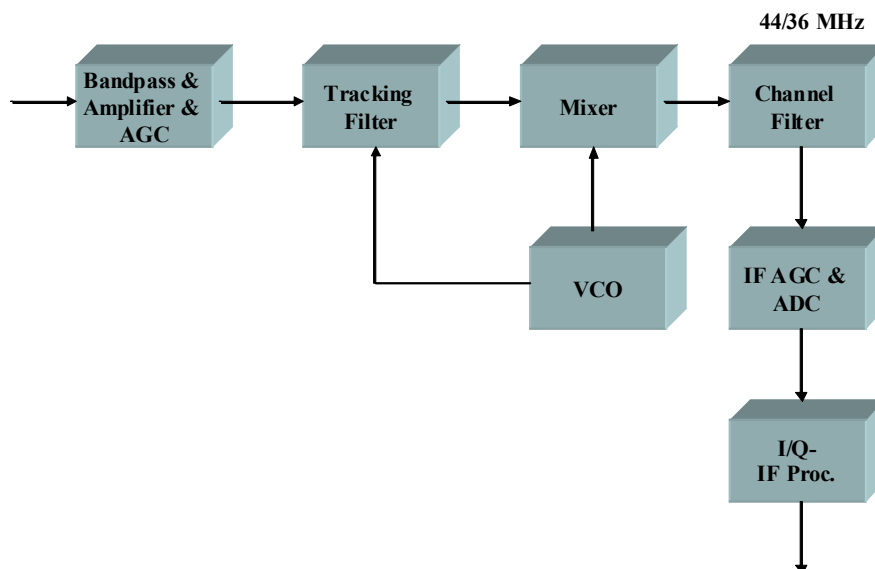
Heutzutage findet man mehr und mehr „Silicon“-Tuner in Set-Top-Boxen und iDTVs; dies begann zunächst bei DVB-C-Empfängern. Diese Tuner haben grundsätzliche

Vorteile gegenüber traditionellen geschirmten Tunern mit diskreten Bauteilen („Can“-Tuner):

- geringere Leistungsaufnahme
- Flexibilität für den globalen Markt (Ein-Tuner-Lösung), führt zu Skaleneffekten
- geringe Produktionstoleranzen, 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 2-7** zeigt das klassische Superhetprinzip mit einer ZF (Zwischenfrequenz) von 36 bzw. 44 MHz, nach dem sogenannte Can-Type-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-Type-Tuner.



**Abbildung 2-7** Klassisches Superhetkonzept

**Abbildung 2-78** zeigt ein Konzept mit Doppelkonversion. Die 1. ZF liegt dabei im GHz-Bereich, sodass die Spiegelfrequenzen ebenfalls im GHz-Bereich und damit oberhalb des UHF-Bereichs liegen (andere Nutzungen, abgeschwächte Wellenaus-

breitung). Daher kann auf ein Trackingfilter verzichtet werden, was allerdings zu etwas größeren Problemen bzgl. Linearität und Sättigung führt. Ferner ist dieses Konzept aufgrund seiner zwei (externen) ZF-Filter kostenintensiv.

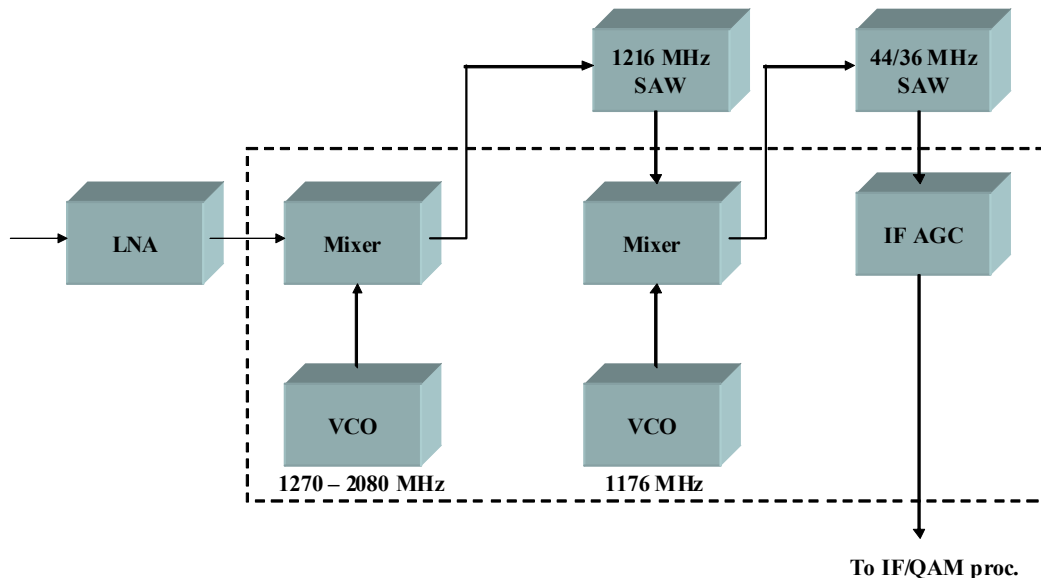


Abbildung 2-8 Superhetkonzept mit Doppelkonversion

Das klassische Superhetkonzept mit direkter oder mit Doppelkonversion war bisher typisch für Set-Top-Boxen und iDTVs, dies ändert sich aktuell allerdings gerade.

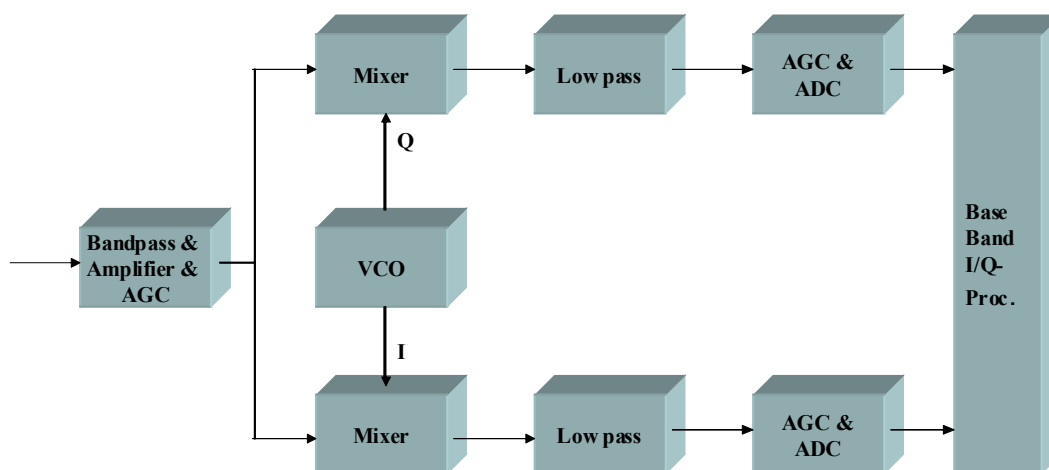


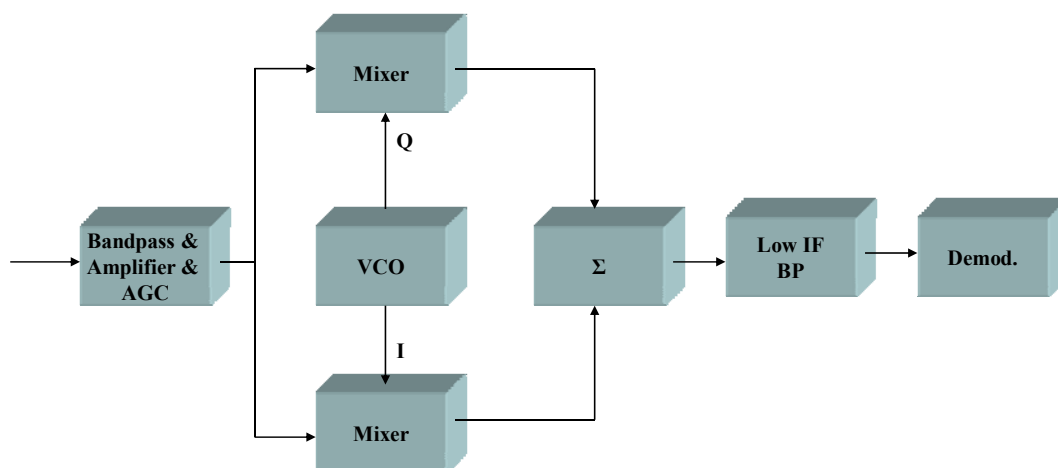
Abbildung 2-9 Konzept mit Direktkonversion

Abbildung 2-9 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 Geräten, 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.

**Abbildung 2-10** zeigt ein Konzept mit niedriger Zwischenfrequenz. Es gehört in die Klasse der Superhetkonzepte. Die Unterdrückung der Spiegelfrequenzkomponente geschieht mittels komplexer Mischung und Kompensation. Dieses Konzept besitzt ebenfalls den Vorteil, dass kein separates ZF-Filter (SAW-Filter) benötigt wird. Das ZF-Filter auf der niedrigen Frequenz wird digital realisiert.

Die Güte der Spiegelfrequenzunterdrückung hängt dabei maßgeblich von der Linearität der Eingangsstufen ab. Ferner ist dieses Konzept sensibel bezüglich Sättigung und Nichtlinearität.



**Abbildung 2-10** Tunerkonzept mit niedriger ZF (Supradyne)

### Entstehung von Spiegel- und Oszillatorfrequenzstörungen

Spiegelfrequenzstörungen entstehen in der ZF-Lage der Empfänger. Die Nutzung einer Zwischenfrequenz hat den Vorteil eines deutlich größeren Selektionsvermögens des jeweiligen Empfängers und einer damit einhergehenden höheren Störfestigkeit gegenüber benachbarten Signalen der gewünschten Empfangsfrequenz. Hierzu wird die Bandbreite in der ZF-Lage mittels geeigneter Verfahren, wie zum Beispiel der Einsatz von Oberflächenwellenfiltern (OFW, engl. SAW) nahezu ideal an die Bedürfnisse der jeweiligen Signale angepasst. So beträgt die Bandbreite bei analogem PAL nach Standard B/G 7 MHz. Bei der benötigten PAL-Bandbreite von 7 MHz liegt der ZF-Übertragungskanal demnach bei einer Bildträger-ZF von 38,9 MHz in dem Bereich von 33,15 MHz bis 40,15 MHz.



Für digitale Signale (DVB-C) wird eine ZF-Bandbreite von 8 MHz benötigt. Bei einer ZF-Mittelfrequenz von 36 MHz liegt der ZF-Übertragungskanal in dem Bereich von 32 MHz bis 40 MHz.

Das Prinzip des Empfangs eines Senders in der HF-Lage soll am Beispiel eines digitalen Senders im UHF-Bereich verdeutlicht werden. Um zum Beispiel einen Sender bei 770 MHz zu empfangen, wird im Tuner des Empfangsgerätes ein Oszillator auf die Empfangsfrequenz plus der ZF von 36 MHz abgestimmt:

$$f_{\text{Sender}} + f_{\text{ZF}} = f_{\text{Oszillator}} \quad \rightarrow \quad 770 \text{ MHz} + 36 \text{ MHz} = 806 \text{ MHz}$$

Im Tuner wird dann von dieser Oszillatorfrequenz die Sendefrequenz durch Abmischung subtrahiert und man erhält das gewünschte ZF-Signal von 36 MHz. Wenn der Empfang eines anderen Senders gewünscht ist, muss der Oszillator im Tuner des Empfangsgerätes dementsprechend eingestellt werden, dabei immer mit dem Ziel, durch die Abmischung den gewünschten Sender in die ZF-Lage von 36 MHz zu bringen.

Spiegelfrequenzstörungen entstehen immer dann, wenn sich ein starkes Signal in einem Bereich befindet, das eine um 68 MHz bis 76 MHz höhere Sendefrequenz hat als das gewünschte Signal und das Empfangsgerät keine ausreichende Schirmung bzw. Selektivität besitzt. In dem o. g. Beispiel wäre das ein Signal in dem Bereich von 838 MHz bis 846 MHz. Durch das Anliegen eines starken Signals in diesem Bereich wird von diesem Signal - ebenfalls durch Abmischung - die eingestellte Oszillatorfrequenz subtrahiert. Bei dem genannten Beispiel entstehen dadurch -zusätzlich zu dem gewünschten Signal- je nach Lage des störenden Signals in der ZF-Lage zusätzliche Signale, die das eigentliche Nutzsignal stören. Eine Ausfilterung dieser zusätzlichen Störsignale ist nicht möglich, da sie sich ja ebenfalls in der ZF-Lage befinden.

Ein Rechenbeispiel soll dies verdeutlichen:

$$f_{\text{Störer}} - f_{\text{Oszillator}} = f_{\text{ZF}} \quad \rightarrow \quad 838 \text{ MHz} - 806 \text{ MHz} = 32 \text{ MHz}$$

oder

$$f_{\text{Störer}} - f_{\text{Oszillator}} = f_{\text{ZF}} \quad \rightarrow \quad 846 \text{ MHz} - 806 \text{ MHz} = 40 \text{ MHz}$$

### Fazit:

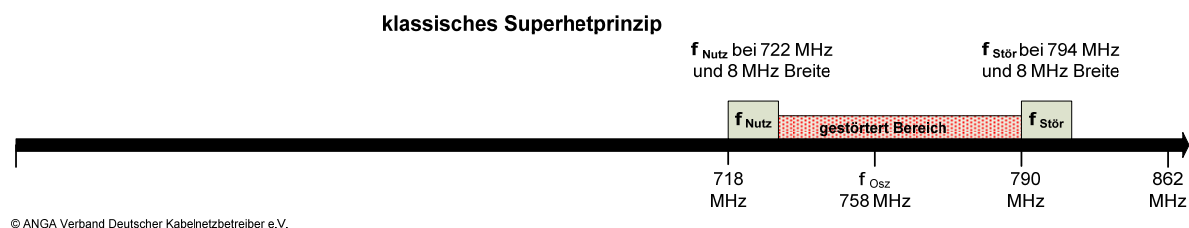
Aufgrund heutiger Tuner-Konzepte und oftmals nicht ausreichender Schirmung der Consumer-Electronics-Endgeräte ist es derzeit nicht möglich, die oben beschriebenen Spiegelfrequenzstörungen gänzlich zu vermeiden. Zwar besteht die Möglichkeit Frequenzen oberhalb des gewünschten Empfangsbereiches mittels externer Filter zu unterdrücken, bei nicht ausreichender Schirmung der Tuner / Consumer-Electronics-Endgeräte ist dieses Vorgehen jedoch wirkungslos.

**Tabelle 2-2** Bewertung der Tunerkonzepte bzgl. der Störempfindlichkeit

| Tunerkonzept                        | Spiegelfrequenzkomponente                                  | Nachbarkanalunterdrückung                           | Nichtlinearität & Sättigung | Gesamtbewertung  |
|-------------------------------------|--|---|-----------------------------|------------------|
| Heterodyne (36 MHz ZF)              | (N+9)-Kanal; Unterdrückung durch Vorfilter                 | Bestimmt durch 36 MHz-ZF-Filter                     | Weniger kritisch            | Weniger kritisch |
| Heterodyne (1,2 GHz ZF & 36 MHz ZF) | Oberhalb 2,4 GHz; praktisch nicht vorhanden                | Bestimmt durch 36 MHz-ZF-Filter                     | Kritisch                    | Kritisch         |
| Heterodyne (4 MHz ZF)               | (N+1)-Kanal; Unterdrückung durch Kompensation; Kritisch!!! | Bestimmt durch Tiefpass & Kompensation; Kritisch!!! | Sehr kritisch               | Sehr kritisch    |
| Homodyne                            | ./.  | Bestimmt durch Tiefpass                             | Kritisch                    | Kritisch         |

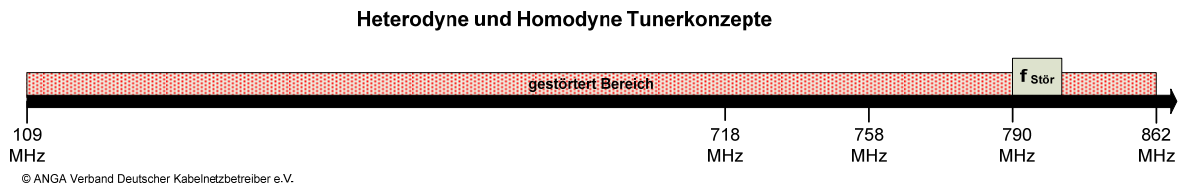
**Tabelle 2-3** Kurzübersicht der Störanfälligkeit der Tunerkonzepte

| Tunerkonzept                      | Gesamtbewertung |
|-----------------------------------|-----------------|
| Heterodyne (ZF: 36 MHz)           | ☹️              |
| Heterodyne (ZF: 1,2 GHz & 36 MHz) | ☹️ ☹️           |
| Heterodyne (ZF: 4 MHz)            | ☹️ ☹️ ☹️        |
| Homodyne                          | ☹️ ☹️           |



**Abbildung 2-11** Störung eines Tuners durch die Spiegelfrequenzen eines Störsignals

**Abbildung 2-11** stellt dar, wie in einem 862-MHz-Netz die Frequenzen vom Gleichkanalfall bis hin zu den Spiegelfrequenzen gestört werden können. Damit zeigt sich, dass sich der Gleichkanalfall auch auf die darunter liegenden Frequenzen auswirkt.



**Abbildung 2-12** Störung durch Nichtlinearitäten und Sättigung bei Tunern

**Abbildung 2-12** zeigt den Fall der Sättigung (Overload), in dem durch eine Gleichkanalstörung der gesamte Frequenzbereich gestört wird.

Die letzten Entwicklungen sind "RF-to-bits"-Chip-Architekturen. In vielen Fällen findet man diese bereits in Multistandard-Empfängern, z.B. für DVB-C und DVB-T. Weitergehende Untersuchungen zur Störempfindlichkeit dieser Empfängertypen liegen derzeit noch nicht vor.

## 2.3 Technische Parameter von Breitband-Kabelnetzen

### 2.3.1 Einleitung

Störungen durch LTE-800-Mobilfunk-Basisstationen und Mobilfunk-Endgeräte werden immer ortsbezogen auftreten. Bei vorbeugenden Maßnahmen zur Minimierung von potentiellen Störungen sowie bei der Bearbeitung der Störungen muss zwischen ländlichen und städtischen Gebieten unterschieden werden, da die Infrastrukturen auf beiden Seiten – Breitband-Kabelnetze wie auch Mobilfunknetze – verschieden sind bzw. sein werden. Orte, an denen Mobilfunkinfrastrukturen – zum Beispiel LTE – aufgebaut und Mobilfunk-Endgeräte in Betrieb genommen werden, müssen jeweils untersucht werden.

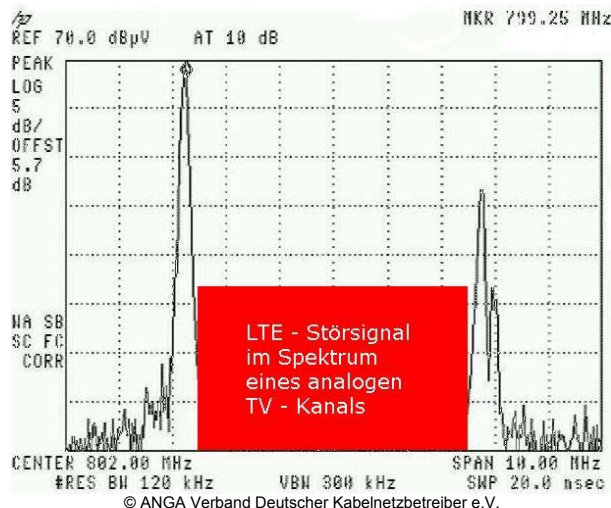
Die Projektgruppe hat erkannt, dass es verschiedene Störszenarien in den Kabelnetzen geben kann. Unter den Szenarien versteht man Gleichkanal-, Nachbarkanal-, Oszillatorfrequenz- und Spiegelfrequenzstörungen. Letztere treten bei Superhet-Tuner-Konzepten mit einer ZF von 36 MHz typischerweise bei N+9 auf. Neuere Tunerkonzepte ("Silicon"-Tuner) hingegen zeigen eine etwas größere Empfindlichkeit bezüglich der Linearität und der Übersteuerung des Eingangssignals.

### 2.3.2 Analoge Verbreitung

Das PAL-G-Signal belegt in dem für das Mandat relevanten Frequenzbereich oberhalb von 790 MHz einen 8-MHz-Kanal. Im Abstand von 1,25 MHz zur unteren Bandgrenze liegt der Bildträger. Von diesem 4,43 MHz entfernt befindet sich der Farbträger, dessen Modulationsträger bei der Übertragung unterdrückt wird. Der Spitzenwert des Farbspektrums ist ca. 16 dB gegenüber dem Spitzenwert des Bildträgers gedämpft.

Die beiden Tonträger sind 13 dB (Kanal 1) bzw. 20 dB (Kanal 2) gegenüber dem Bildträger gedämpft. Der Abstand vom Bildträger beträgt 5,5 MHz bzw. 5,742 MHz.

Störungen des Bildes bei analoger Übertragung kündigen sich schon sehr frühzeitig durch Intermodulation (Kreuzmodulation) im Bildinhalt an. Mit zunehmender Leistung des abgestrahlten Störsignals werden die Störungen immer stärker sichtbar.



**Abbildung 2-13** Beispiel eines analogen Fernsehkanals, der von einem LTE-Signal überlagert wird

Die **Abbildung 2-13** zeigt die Struktur eines analogen TV-Signals. Deutlich ist der Bildträger zu erkennen und am Ende die zwei Tonträger. In diesem Beispiel liegt die Beeinflussung des analogen Signals im Bereich von 799,50 MHz bis 804,50 MHz. Hierdurch ergeben sich Störungen des gesamten Luminanz(Y)-Bereichs sowie des Farbhilfsträgers bei der Frequenz 803,68 MHz (799,25 MHz + 4,43 MHz). Durch die Verfälschung der Signale treten die vormals genannten Kreuzmodulationen auf, die der Nutzer als ein verrauschtes Bild erkennen wird.

### 2.3.3 Digitale Verbreitung

Im Gegensatz zu der analogen Übertragung treten in der digitalen Übertragung die Fehlfunktionen nicht schleichend, sondern plötzlich auf.

Offensichtliche Fehlfunktionen des gesamten Übertragungsweges (Breitband-Kabelnetz inklusive der angeschlossenen Consumer-Electronics-Endgeräte) sollten vermieden werden. Bezüglich der Videoübertragung wurden von der ITU Grenzwerte festgelegt, die für die verschiedenen Verfahren der Videocodierung (MPEG-2, MPEG-4) für den Nutzer akzeptable Fehlerraten bedeuten. Dabei erfolgt auch eine Unterscheidung der verschiedenen Anwendungen bzw. Dienste, wie SD (standard definition), HD (high definition), Live-TV, Premium-Dienst und andere.

| Net min. transfer rate                                   | LiveTV SD   | VoD SD & Premium Content | LiveTV HD |
|--|-------------|--------------------------|-----------|
| MPEG-2 - Main Profile at Main Level (MP@ML)              | 2,5 Mbit/s  | 3,18 Mbit/s              | 15 Mbit/s |
| MPEG-4 AVC (Main Profile at Level 3.0) (also SMPTE VC-1) | 1,75 Mbit/s | 2,1 Mbit/s               | 10 Mbit/s |

| Maximum paketloss         | „loss period“ in Pakete | Error rate            | Paketloss            |
|---------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|
| MPEG-2 @ 3 Mbit/s (SD)    | 6 IP Pakete             | 1 failure per hour    | $5,85 \cdot 10^{-6}$ |
| MPEG-4 @ 1,75 Mbit/s (SD) | 4 IP Pakete             |                       | $6,68 \cdot 10^{-6}$ |
| MPEG-2 @ 15 Mbit/s (HD)   | 24 IP Pakete            | 1 failure per 4 hours | $1,17 \cdot 10^{-6}$ |
| MPEG-4 @ 10 Mbit/s (HD)   | 17 IP Pakete            |                       | $1,24 \cdot 10^{-6}$ |

| Delay and Jitter |                 | Duration time of a failure |
|------------------|-----------------|----------------------------|
| Delay            | Jitter          | $\leq 16\text{ms}$         |
| $< 200\text{ms}$ | $< 50\text{ms}$ |                            |

Abbildung 2-14 ITU-T Study Group 13 on IPTV, Quality Parameters

Die **Abbildung 2-14**, die in der ITU Study Group für IPTV erstellt wurde, zeigt für Live SD (Standard Definition), für VoD (Video on Demand) und Premium Content und für Live HD (High Definition) die jeweils erforderlichen Qualitätsparameter. Bei einem Live HD MPEG-4 Stream darf zum Beispiel nur ein Fehler pro 4 Stunden auftreten.

**Abbildung 2-14** beschreibt die Netto-Datenrate. Gerade der Fehlerschutz in den DVB-C-Systemen (FEC (Forward Error Correction) und der Reed Solomon Code) führt zu einem stabilen Verhalten der DVB-C-Signale. Dieser Fehlerschutz ist aber nicht endlos belastbar. Wird ein gewisser Schwellwert überschritten, so bilden sich in den Bildern sogenannte Klötzchen bis hin zum „Einfrieren“ des gesamten Bildes.

Der typische Pegel für ein DVB-C-Signal an einer TAD (Teilnehmer-Anschlussdose) liegt bei einem 64-QAM-Signal bei  $52 \text{ dB}(\mu\text{V}) \pm 5 \text{ dB}$ . Damit ist der niedrigste Pegel in den Netzen mit  $47 \text{ dB}(\mu\text{V})$  anzunehmen. Bei 256-QAM-Signalen wird mit einem ca. 6 dB höheren Pegel gearbeitet.

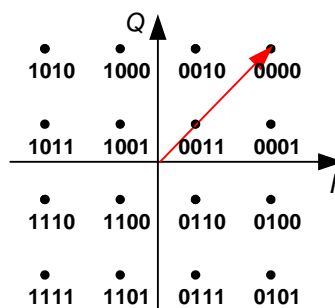


Abbildung 2-15 Beispiel des Konstellationsdiagramms einer 16-QAM-Übertragung

**Abbildung 2-15** zeigt das Beispiel des Konstellationsdiagramms einer 16-QAM-Modulation. Dies wurde gewählt um das grundsätzliche Verfahren darzustellen. Eine 64-QAM hat 8 Zustände oder eine 256-QAM hat 64 Zustände in den jeweiligen I/Q-Quadranten. Dabei wird das Signal immer jeweils um eine 2er-Potenzstufe erhöht. Bei der 16-QAM-Übertragung werden jeweils vier Zustände in einem Quadranten durch Veränderung der Phase gegenüber der Referenzphase und der entsprechenden Amplitude dargestellt. Jede Bitfolge ist einem bestimmten diskreten Amplituden-Phasen-Zustand zugeordnet. Bei konstanter Trägeramplitude wird die Fläche für die eindeutige, fehlerfreie Zuordnung der Amplituden/Phasenlage zum Symbol mit steigender Stufenzahl  $n$ , auf  $1/n$  reduziert. Der notwendige, minimale Signal-Störabstand nimmt daher mit jeder 2er-Potenzstufe um 3 dB zu. Bei DVB-C wird ein Roll-Off-Faktor von 0,15 verwendet.

**Tabelle 2-4** Vergleich der Leistungsfähigkeit der Systeme DVB-S, DVB-C und DVB-T

|   | <b>DVB-S</b>  | <b>DVB-C</b>                 | <b>DVB-T</b>  |
|---|---------------|------------------------------|---|
| Norm  | ETS 300 421   | ETS 300 429                  | ETS 300 744   |
| Modulationsart                              | QPSK          | 64-QAM<br>256-QAM            | COFDM<br>2k-Modus: 2048 Träger<br>8k-Modus: 8192 Träger |
| Bandbreite                                  | 33 (- 36) MHz | (7 -) 8 MHz                  | (7 -) 8 MHz   |
| typ. Symbolrate                             | 27,5 MSym/s   | 6,9 MSym/s                   | 13,37 MSym/s  |
| typ. Nutzdatenrate<br>(abh. von Fehlercode) | 38,015 Mbit/s | 38,15 Mbit/s<br>50,87 Mbit/s | 14 – 24 Mbit/s  |
| Sonstiges                                   |               | Roll-Off-Faktor 0,15         | 16-QAM oder 64-QAM<br>veränderbares Guard-Intervall     |

**Tabelle 2-4** zeigt eine Übersicht der in der DVB-Familie genutzten Übertragungsstandards bzgl. der üblichen Modulationen und der möglichen übertragenen Bandbreite. Diese Tabelle gibt deutlich den direkten Zusammenhang der verschiedenen Übertragungswege untereinander wieder.

**Tabelle 2-5** Kennwerte von DVB-C-Signalen mit 64-QAM

| <b>Kennwert</b>                 | <b>nominal</b> | <b>Signalqualität am<br/>ÜP</b> | <b>Signalqualität an der<br/>TAD</b> |
|---------------------------------|----------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| MER<br>(Modulation Error Ratio) | typisch        | >35,4 dB                        | 33,1 dB                              |
|                                 | minimal        | 32,4 dB                         | 29,2 dB                              |
| BER (Bit Error Rate)            | typisch        | $<10^{-9}$                      | $<10^{-9}$                           |
|                                 | minimal        | $10^{-8}$                       | $10^{-8}$                            |
| PER (Packet Error Rate)         | typisch        | $<10^{-9}$                      | $<10^{-9}$                           |
|                                 | minimal        | $10^{-8}$                       | $10^{-8}$                            |

**Tabelle 2-5** zeigt die entscheidenden Kennwerte eines DVB-C-Signals. Im Rahmen einer Beeinflussung der Signale von außen dürfen diese nicht unter den minimalen Grenzwert fallen. Die Consumer-Electronics-Endgeräte, die nach der TAD angeschlossen sind, haben einen noch geringeren Schwellwert als der Schwellwert direkt an der TAD.

### 2.3.4 DVB-C für DOCSIS

DVB-C wird ebenfalls bei der Übertragung der DOCSIS (Data over Cable Service Interface Specification) -Signale genutzt. In der Norm DIN EN 60728-1 wurde ein minimaler Pegel für die DOCSIS-Übertragung von 43 dB( $\mu$ V) festgelegt. Dadurch ist die Beeinflussung noch stärker als auf Kanälen zur reinen Videoübertragung, die einen Mindestpegel von 47 dB( $\mu$ V) haben. DOCSIS verpackt die Internetsignale und die Telefongespräche in das DVB-C-Signal und dieses wird entsprechend zu den Nutzern übertragen. Werden diese Kanäle gestört, kann es im besten Fall dazu kommen, dass die Dienstgüte der Internetübertragung verschlechtert wird. In Bezug auf Telefongespräche, die in dem gleichen Kanal übertragen werden, kann es entweder zu Unterbrechungen oder zum Gesprächsabbruch kommen. Ebenfalls kann es durch die Störungen zu fehlerhaften oder gar keinen Verbindungen zu den Call Servern und der entsprechenden Voice-Infrastruktur kommen. Heutige Kabelmodems werden meist als integrierte Geräte für Internet- und Telefondienste hergestellt. Damit sind diese räumlich nicht zu entkoppeln.

## 2.4 Störungen von DVB-C

### 2.4.1 Messungen Kolberg

Im Dezember 2009 wurden im EMV-Testzentrum der Bundesnetzagentur in Kolberg Messungen an 15 Endgeräten (Fernsehempfängern, Set-Top-Boxen und Kabelmodems) unter dem Einfluss eines LTE-800-Signals vorgenommen, also im Frequenzbereich 790 MHz bis 862 MHz. Der Testplan wurde innerhalb dieser Gruppe zusammen mit der Bundesnetzagentur entwickelt und zu den Messungen wurden alle relevanten Partner eingeladen.

Der Measurement Report wurde auf der Webseite der PG ESKM der Öffentlichkeit zur Kenntnis gegeben. **Abbildung 2-16** zeigt das Deckblatt des Reports mit den Logos der beteiligten Firmen und Organisationen.

Eine Zusammenfassung dieses Reports ist im Abschnitt 4.1 dieses Abschlussberichts zu finden.



---

## Measurement Report

G531/01077/09

**Immunity of integrated TV receivers, set top boxes and data modems connected to broadband cable and TV networks against radiation from LTE user equipment**

Version: 28 January 2010

Author:  
Thomas Hasenpusch  
Federal Network Agency  
Germany  
[Thomas.Hasenpusch@BNetzA.de](mailto:Thomas.Hasenpusch@BNetzA.de)

**Abbildung 2-16** Deckblatt des Measurement Reports

Für die Messungen wurde von einem Signalgenerator das Signal eines LTE-800-Endgeräts synthetisch generiert, d.h. Außerbandaussendungen sind wesentlich geringer als bei real zu erwartenden Signalen. Die Schwierigkeit bestand darin, dass es zum Zeitpunkt der Messungen (Dezember 2009) auf dem Markt noch keine LTE-800-Endgeräte verfügbar waren, die für die Erzeugung von Signalen verwendet werden konnten. Beim Messaufbau in Kolberg wurden alle zu dem Zeitpunkt vorhandenen Informationen genutzt und plausible LTE-800-Sendesignale produziert.<sup>6</sup> Die beste-

---

<sup>6</sup> Unter anderem auch die von CEPT/ECC in ECC/TG4(09)305 festgelegten Signale.



henden 3GPP-Spezifikationen<sup>7</sup> lassen darüber hinaus für LTE-800 eine Vielzahl von Optionen zu.

Um zu erkennen, bei welchen Feldstärken die Fehler beim Fernsehempfang auftreten<sup>8</sup>, wurde die elektromagnetische Feldstärke am Ort des zu prüfenden Gerätes gemessen. Bei Datenübertragung wurde eine automatische Auswertung durchgeführt und ein Versuch als gestört bezeichnet, wenn zumindest ein Datenpaket durch eine automatische Fehlerkorrektur nicht wiederherstellbar war. Es wird darauf hingewiesen, dass auch ein LTE-800-Basisstationssignal untersucht werden sollte, diese Signaldaten konnten aber bei den Messungen nicht zur Verfügung gestellt werden.

## **Ergebnisse der Messungen**

### **Störungen im gleichen Kanal (790 MHz bis 862 MHz)**

Zunächst wurden die Kabel-Empfänger auf jenen Kanal eingestellt, in dem auch das Störsignal gesendet wird. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich LTE-Sendefrequenzen und Kabelkanäle überlappen und daher Störsignale in der Regel zwei Kanäle beeinflussen. Die Feldstärke am Ort des zu messenden DVB-C-Empfängers, die Störungen verursacht, hängt in starkem Maße von dem Empfänger selbst und der Bestrahlungsrichtung ab. Der geringste gemessene Wert lag bei 100 dB( $\mu$ V/m) und der höchste Wert bei 149 dB( $\mu$ V/m), jeweils bezogen auf 10 MHz Bandbreite<sup>9</sup>. Da im realen Einsatz Reflexionen auftreten, ist der jeweils geringste gemessene Wert je Endgerät (der empfindlichste Einstrahlwinkel) für die Störfestigkeit eines Empfängers anzunehmen. Berücksichtigt man die maximal zulässigen Sendeleistung entsprechend der Frequenzuteilung 23 dBm + 2 dB, so zeigen nur zwei getestete Endgeräte bei allen getesteten Einstrahlwinkeln ausreichende Störfestigkeit.

Eine besonders empfindliche Anwendung beim Kabelkunden ist der Durchschleif-Betrieb mehrerer Endgeräte. Dazu wird das Signal vom Kabelanschluss in der Wohnung in die Set-Top-Box (oder den Festplattenrecorder usw.) geführt und von dort in den Fernseher (Tuner) weitergeleitet. In dieser Betriebsart traten Störungen bereits bei bis zu 30 dB geringerer Feldstärke als bei integrierten Endgeräten (also bereits bei 70 dB( $\mu$ V/m) bis 119 dB( $\mu$ V/m)) auf. Diese Konstellation ist derzeit in der Praxis

---

<sup>7</sup> Die LTE-Spezifikationen sind in der Serie 36 der ETSI 3GPP Spezifikationen enthalten. Bezüglich der maximalen Leistung der LTE-Endgeräte wird TS 36.101, Tabelle 6.2.2-1 referenziert.

<sup>8</sup> Die Auswertung der TV-Signale wurde gemäß ITU-R Empfehlung BT.1368 vorgenommen. Da letztendlich das Empfinden des Zusehers maßgeblich ist, ist diese Messmethode bei Qualitätsmessungen von Audio- und Videosignalen international üblich.

<sup>9</sup> Diese Messung entspricht auch den Auktionsbedingungen nach Fußnote 2

der Regelfall<sup>10</sup>. Bei diesem Szenario zeigte kein getestetes Gerät ausreichende Störfestigkeit.

Die Störfestigkeit von Ton- und Fernseh-Rundfunkempfängern ist in DIN EN 55020 festgelegt. Grenzwerte der Einstrahlungsfestigkeit werden in dieser Norm nur für den Bereich 150 kHz bis 150 MHz festgelegt. Für den Frequenzbereich der Digitalen Dividende gibt es keine vorgegebenen Grenzwerte. Für die Störfestigkeit von Gehäusen sind ab 900 MHz Messmethoden und Grenzwerte vorgesehen. Es sei darauf hingewiesen, dass in diesem Bereich heute keinerlei Signale im Rundfunk empfangen werden. Die für Messungen vorgesehenen Signale entsprechen aber nicht der Struktur der LTE-800-Signale. Die bestehenden Normen sind daher nicht ausreichend, um die Störfestigkeit von Ton- und Fernseh-Rundfunkempfängern gegen LTE-800-Signale im Bereich der Digitalen Dividende zu bestimmen.

Daraus kann geschlossen werden, dass es bei den nach den für die Frequenzvergabe vorgesehenen Auktionsbedingungen zulässigen Sendefeldstärken von LTE-800-Endgeräten zu Störungen von Endgeräten an Breitband-Kabelnetzen kommen kann. Die Präsidentenkammerentscheidung der Bundesnetzagentur geht aber mit dem Verweis auf die Sicherstellung der elektromagnetischen Verträglichkeit über die sich daraus ergebenden Probleme hinweg.

### **Störungen anderer Kanäle (718 MHz bis 862 MHz)**

Störungen können aber nicht nur im Frequenzband des Störsenders, sondern auch in anderen Kanälen auftreten. Die Ursache dafür liegt in der heute weltweit eingesetzten Technologie der Can-Type-Tuner. Konkret wurden bei den Messungen in Kolberg Störungen 5 bzw. 9 Kanäle (40 MHz bzw. 72 MHz) entfernt von der Störfrequenz festgestellt, wie dies schon in den Messungen von Cable Europe aufgezeigt wurde. Um diese Störungen auszulösen, muss die Feldstärke um 8 dB höher sein als im Gleichkanalfall. Im ungünstigsten Fall treten diese daher bereits bei 108 dB( $\mu\text{V}/\text{m}$ ) auf. Auch wenn man die Messergebnisse generell um 8 dB erhöht, liegt eine beträchtliche Anzahl der Werte unter der für LTE-800-Endgeräte zulässigen Sendeleistung von 23 dBm (entsprechend einer Feldstärke von 130 dB( $\mu\text{V}/\text{m}$ ) in 1 m Entfernung), so dass in der Realität beim Einsatz von LTE-800 auch Störungen auftreten können, welche die an Breitband-Kabelnetze angeschlossene Endgeräte unterhalb von 790 MHz negativ beeinflussen können. Im schlechtesten Fall sind neben den neun Kabelkanälen im Frequenzbereich 790 MHz bis 862 MHz auch weitere neun Kabelkanäle unterhalb von 790 MHz vom Störrisiko betroffen. Auch bezüglich der

---

<sup>10</sup> Um diese Messergebnisse zu interpretieren, sind die Störfestigkeit von Kabel-Endgeräten und die Sendefeldstärke eines LTE-Endgerätes, das eine Störung verursacht, von Bedeutung. Es könnte etwa sein, dass Störungen auftreten, weil die getesteten Geräte nicht die geforderte Störfestigkeit aufweisen. Andererseits könnte es auch sein, dass die notwendigen LTE-Uplink Sendefeldstärken, welche zu Störungen führen, in der Realität nie erreicht werden.

Störrisiken auf andere Kanäle ist die Anwendung des Durchschleifverfahrens kritisch. Störungen treten hier bereits bei 30 dB geringerer Feldstärke auf.

### **Interpretation der Messergebnisse**

Alle bisherigen Messungen (siehe Fußnote 11) sind exemplarisch erfolgt und weisen darauf hin, dass weitere detailliertere Untersuchungen erforderlich sind. Die Messungen in Kolberg fanden unter Beteiligung aller relevanten Interessengruppen (Mobilfunkanbieter, Breitband-Kabelnetzbetreiber, Geräteindustrie, Rundfunkanbietern und Regulierer) statt und sind erstmals unter reproduzierbaren Rahmenbedingungen erfolgt. Die Kolberg-Messungen enthalten keine Bewertung/Interpretation und können als Grundlage für Diskussionen in anderen Arbeitsgruppen verwendet werden. Allerdings sind folgende Einschränkungen bei der Interpretation der Messergebnisse zu beachten:

- Einflüsse durch die Sendeleistung von LTE-800-Mobilfunk-Basisstationen wurden nicht berücksichtigt.<sup>11</sup>
- Die Messungen haben sich auf Endgeräte konzentriert. Durch direkte Einstrahlungen in das Breitband-Kabelnetz kann es zu zusätzlichen Störeinflüssen im gleichen Kanal kommen.<sup>12,13</sup>
- Der Versuchsaufbau hat den Störmechanismus durch LTE-800-Endgeräte offengelegt. In einer Umgebung mit mehreren LTE-800-Endgeräten kann sich das Störrisiko erhöhen.
- Die Ergebnisse aus der Kolberg-Messung können nicht 1:1 ins Feld gespiegelt werden. In einer realen Umgebung sind Kabel-Endgeräte nicht nur durch direkte Strahlung, sondern auch durch Reflexionen beeinflusst.
- Die Messungen hatten sich auf ein eher hochwertiges Endgerätesegment konzentriert. Man muss davon ausgehen, dass die Störfestigkeit bei anderen Endgerätesegmenten unterschiedlich sein wird.

Nach den vorliegenden Untersuchungen muss man davon ausgehen, dass es zu Störungen kommen kann, wenn LTE-800-Endgeräte zeitgleich im gleichen Frequenzband senden, in dem TV-Geräte, Set-Top-Boxen oder Modems empfangen. Da die jeweils 10 MHz breiten LTE-800-Mobilfunkkanäle im Allgemeinen zwei Kabelkanäle überlappen, können auch jeweils zwei Kabelkanäle gleichzeitig gestört werden. Das Risiko von Störungen wird dabei vom räumlichen Abstand zwischen

---

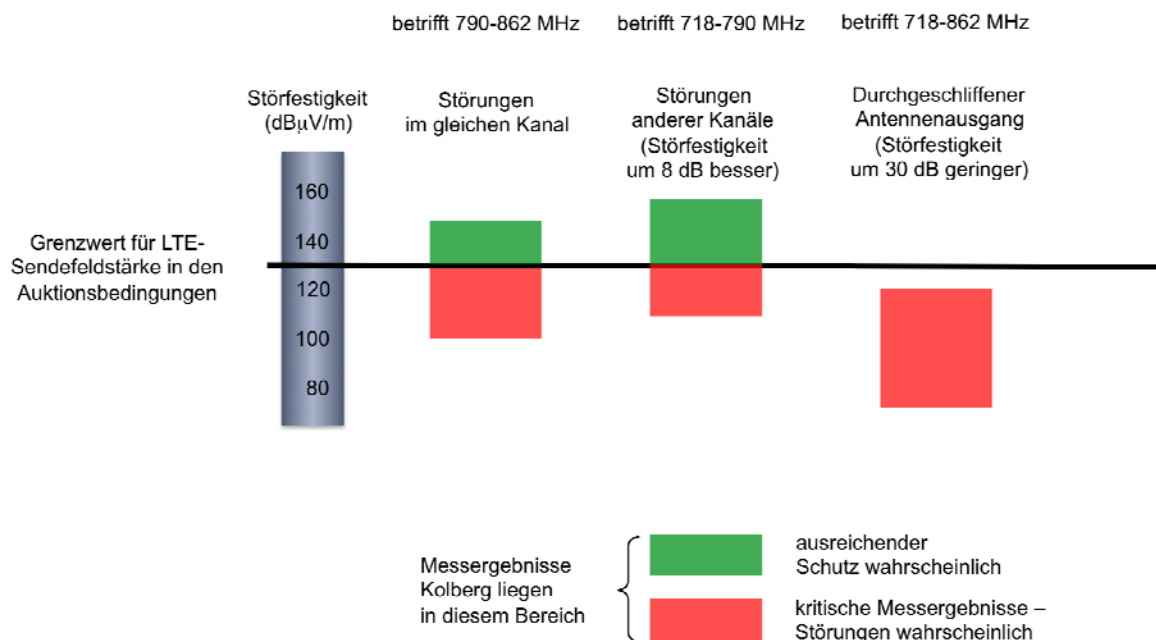
<sup>11</sup> Im Gutachten im Auftrag der österreichischen Wirtschaftskammer, Fachverband Telekom und Rundfunk, wurde auch die Sendeleistung der LTE-800-Basisstationen betrachtet. Hier ist zur Vermeidung von Beeinflussungen ein Abstand von 430 Metern (Basisstation zu Kabelnetzen) erforderlich.

<sup>12</sup> Siehe Gutachten von SBR Juconomy Consulting AG zur Nutzung der Digitalen Dividende durch Mobilfunknetzbetreiber und den technisch-ökonomischen Konsequenzen für den Betrieb von Kabelnetzen; Februar 2010

<sup>13</sup> Die Störfestigkeit von Kabelnetzen ist in EN 50083-8 (Tabelle 2 immunity limits) festgelegt und verlangt einen Schutz gegen Feldstärke von 106 dB( $\mu$ V/m) für den Frequenzbereich 0,15 MHz bis 950 MHz. Für die aktuelle Versuchsanordnung ist dieser Wert daher um die Wanddämpfung von etwa 8 dB zu reduzieren. Das Kabelnetz muss somit gegen eine Feldstärke von 98 dB( $\mu$ V/m) geschützt sein.

LTE-800-Endgerät und dem an das Breitband-Kabelnetz angeschlossene Endgerät sowie anderen in diesem Bericht beschriebenen Faktoren abhängig sein.

Die Messungen in Kolberg haben auch das Risiko von Störungen in entfernten Kanälen bestätigt. Diese Störungen treten aber erst bei um 8 dB höheren Feldstärken auf. Es wurden bei 86 % aller gemessenen Endgeräte Messszenarien identifiziert, bei denen die Störfeldstärke unter 130 dB( $\mu$ V/m) liegt und daher mit Störungen anderer Kanäle (40 MHz bzw. 72 MHz entfernt von der Störfrequenz) zu rechnen ist. Kommen Set-Top-Boxen zum Einsatz steigt das Störrisiko sowohl im gleichen Kanal als auch bei entfernten Kanälen dramatisch an (bis zu 30 dB). **Abbildung 2-17** fasst die Messergebnisse zusammen.



**Abbildung 2-17** Zusammenfassung der Kolberg-Messungen

### Zumutbarkeit von Maßnahmen in Breitband-Kabelnetzen und Mobilfunknetzen für die jeweiligen Betreiber

In den Kolberg-Messungen wurde bestätigt, dass sich Störeinflüsse reduzieren oder sogar vermeiden lassen, wenn das Mobilfunk-Endgerät bestimmte Werte für die Sendeleistung nicht überschreitet. Diese würden deutlich unter dem derzeitigen Höchstwert von 23 dBm + 2 dB liegen. Damit kann die bisher bestehende Kompatibilität der Anwendungen von Breitband-Kabelnetzen und Mobilfunk weitgehend auch unter den neuen Bedingungen sichergestellt werden, d. h. Mobilfunkanbieter könnten das Spektrum für LTE-800 nutzen und gleichzeitig das Störrisiko für Breitband-Kabelnetze verringern. Während diese Lösung aus technischer Sicht für den Betrieb

von Breitband-Kabelnetzen eine tragfähige Lösung wäre, lässt sich diese Frage für den Mobilfunk nicht ohne Weiteres beantworten, da die technischen Nutzungseigenschaften der Frequenzen auch deren wirtschaftlichen Wert bestimmen. Dabei ist insbesondere zu berücksichtigen, dass die Frequenzen nach den erklärten Zielen der Breitbandstrategie der Bundesregierung in erster Linie zur Versorgung der sog. "Weißen Flecken" dienen, also der Gebiete, die bisher nicht mit breitbandigen Anschlüssen versorgt sind. Soweit in diesen Gebieten keine Breitband-Kabelnetze vorhanden sind, dürften die mit der Frequenzvergabe angestrebten Ziele erreichbar sein und der Betrieb der Mobilfunknetze in den primär zu versorgenden Gebieten keine wesentliche Einschränkung erfahren. In Ballungsräumen ist die mögliche Einschränkung für den Betrieb der Breitband-Kabelnetze deutlich höher. Insofern variieren die Effekte der wirtschaftlichen und technischen Konsequenzen für die Betreiber von Breitband-Kabelnetzen regional.

Gerade in Ballungsräumen sind die ökonomischen Bedingungen für Kommunikationsdienste attraktiv, so dass es für die Mobilfunkanbieter interessant ist, die neue Technologie dort auszubauen. Demgegenüber sind die möglichen Auswirkungen für den Betrieb von Breitband-Kabelnetzen gravierend. Deren Betreiber müssten im Falle massenhaft auftretender Störungen entweder auf die Nutzung der Kanäle 61 bis 69, sowie ggf. auch auf die Kanäle 53 bis 60, verzichten oder ihre Netze und Endgeräte gegen die erhöhten Einstrahlungen schützen. Zur Verbesserung der Störfestigkeit bei Endgeräten werden Neuinvestitionen bei Set-Top-Boxen und TV-Geräten mit Digital-Tunern notwendig sein, mit denen die Betreiber der Breitband-Kabelnetze und/oder deren Endkunden belastet würden.<sup>14</sup> Dabei ist zu bedenken, dass die Digitalisierung der Endgeräte derzeit in vollem Gange ist. Es wird erwartet, dass bis Ende 2011 mehr als 29 Millionen hochauflösende TV-Geräte, davon rund 16,5 Millionen mit integriertem HDTV-Empfänger oder HDTV-Set-Top-Box, in deutschen Haushalten stehen.<sup>15</sup> Hier sind jedenfalls im Sinne des Verbraucherschutzes die Investitionszyklen bei Endgeräten zu beachten. Bei der Abschätzung der Zumutbarkeit der Maßnahmen für die Breitband-Kabelnetzbetreiber muss die langfristige Einschränkung des Geschäftsmodells durch eine gegebenenfalls eingeschränkte Nutzung der Kanäle 61 bis 69 und unter Umständen auch der Kanäle 53 bis 60 bewertet werden.

Bei der Abwägung der Zumutbarkeit muss jedenfalls auch das Verursacherprinzip berücksichtigt werden.

---

<sup>14</sup> Als Abhilfemaßnahme kann die Schirmung der Endgeräte verbessert werden. Diese Maßnahme würde allerdings die gesamte Endgerätepopulation betreffen und einen erheblichen Aufwand nach sich ziehen. Jedenfalls wird es sich um einen langjährigen Prozess handeln, der europaweit harmonisiert werden muss.

<sup>15</sup> Siehe <http://www.infosat.de/Meldungen/?msgID=57763>

## 2.4.2 Klassifizierung der Störungen in Breitband-Kabelnetzen

Aus den DVB-Spezifikationen ist das Kriterium „quasi error free“ (QEF) bekannt. Es besagt, dass bei einer Bitfehlerrate (BER) von  $\leq 2 \times 10^{-4}$  vor dem Reed-Solomon-Decoder ein störungsfreies Signal decodiert werden kann, da dieser aus einem Signal mit derartiger Bitfehlerrate die Bitfehlerrate auf  $10^{-12}$  reduziert. Diese Bitfehlerrate im dekomprimierten Bild kann vernachlässigt werden.

Die Annahme von zeitlich konstanten Fehlerraten nach der QAM-Demodulation ist zutreffend für die Betrachtung von Breitband-Kabelnetzen als „geschlossene Systeme“. Hier hat man es mit einer Kanalcharakteristik nach „Gauß“ zu tun. Aus der Fehlerrate können direkt Rückschlüsse auf den erforderlichen Signal-Rauschabstand gezogen werden.

Störeinstrahlungen durch ein mobiles LTE-800-Endgerät können zu einem burstartigen Verlauf der BER führen. Man hat es in der Regel mit dem Verhalten eines Rayleigh-Kanals zu tun. Trotz eines zeitlichen Mittelwertes der BER von deutlich unter  $2 \times 10^{-4}$  können nicht akzeptable Störungen auftreten. Daher ist ein zeitlicher Mittelwert der BER nicht aussagekräftig genug. Für die Beurteilung von DVB-C-Kanälen mit Einstrahlungen durch mobile LTE-800-Endgeräte müssen daher andere Parameter als die BER oder das S/N 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.

Aus der DVB-T-Messtechnik ist das sogenannte ESR<sub>5</sub>-Kriterium bekannt. Es bietet den Vorteil der Automatisierbarkeit und damit der Auswertung von zeitlich langen Messreihen. Das ESR<sub>5</sub>-Kriterium ist dann erfüllt, wenn in einem Intervall von 20 Sekunden höchstens eine Sekunde lang Fehler auftreten, was 5% entspricht. Diese Fehler sind unkorrigierbare Paketfehler, die vom Viterbi-Decoder signalisiert werden und zu kleinen, sichtbaren Bildstörungen („Klötzchen“) führen. Transportstromfehler, die zu Synchronisationsproblemen führen, dürfen dabei nicht auftreten, da sonst das ESR<sub>5</sub>-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 ESR<sub>5</sub>-Kriterium erfüllt ist.

Es wird empfohlen, das ESR<sub>5</sub>-Kriterium in einer modifizierten Form für die Beurteilung von durch mobile LTE-800-Endgeräte gestörten DVB-C-Systemen anzuwenden.

Obwohl das zuvor beschriebene ESR<sub>5</sub>-Kriterium eine leistungsfähige Methode darstellt, um Störungen auf DVB-Empfänger zu quantifizieren, stehen solche Messmethoden nicht immer zur Verfügung. Bei auftretenden Störungen wenden sich die Nutzer an Hotlines, die ihrerseits die Meldungen – aus Sicht des Nutzers – klassifizieren müssen.

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 (**Abbildung 2-18**). Im Ton gibt es kurze Aussetzer. Ist die Störung vorbei, funktioniert der Empfänger sofort wieder störungsfrei.



**Abbildung 2-18** 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 (**Abbildung 2-19**). 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 2-19 Fernsehbild mit starken Störungen

## Bildausfall

Der Bildschirm ist schwarz oder das zuletzt empfangene Bild ist eingefroren, der Ton ist ausgefallen (**Abbildung 2-20**). Ist die Störung vorbei, braucht der Empfänger längere Zeit (z.B. 5 bis 20 Sekunden) bis er wieder ein störungsfreies Bild liefern kann.

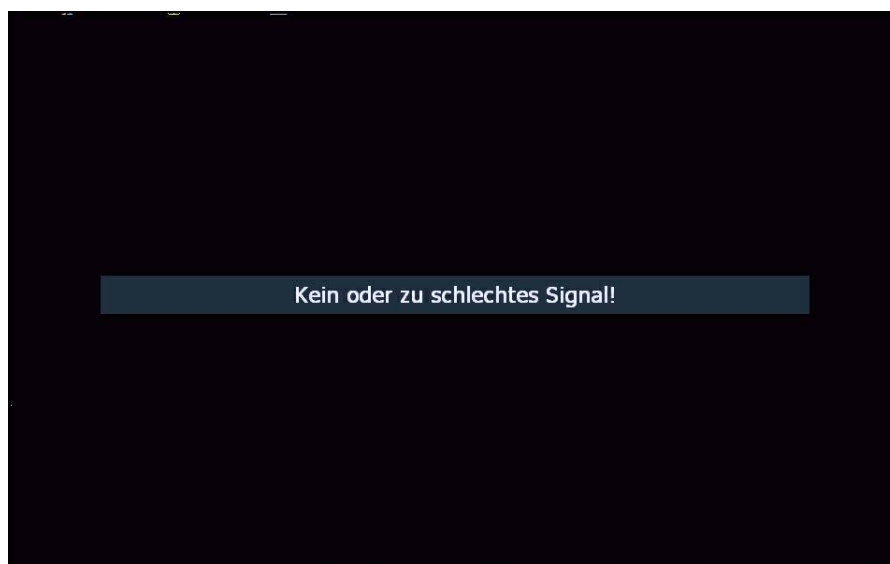


Abbildung 2-20 Fernsehbild bei Bildausfall

Die nachfolgende **Tabelle 2-6** ist ein Vorschlag für die Einordnung des Störausmaßes.



Tabelle 2-6 Mögliche 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       |

\*1): Abhängig von der Mentalität des Endkunden

## 2.5 Technische Parameter Mobilfunk

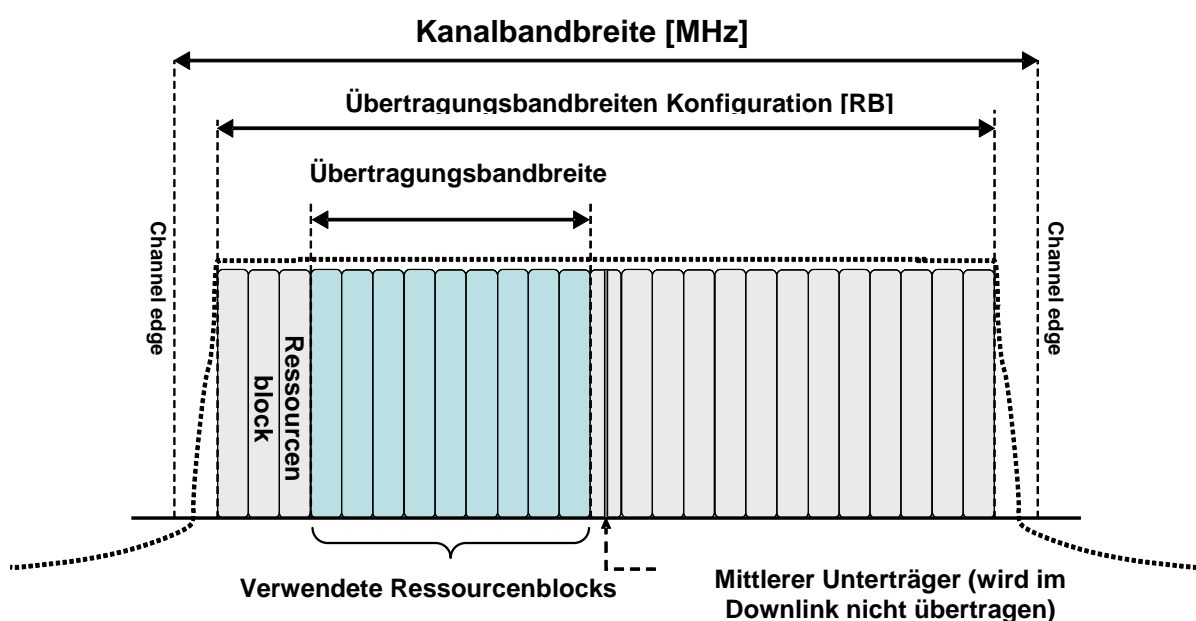
Die Bundesregierung hat im Rahmen der Änderung der Frequenzbereichszuweisungsplanverordnung den Frequenzbereich 790 MHz bis 862 MHz für Mobilfunkanwendungen ausgewiesen. Diese Frequenzen wurden technologie- und diensteneutral vergeben. Die nachfolgenden Ausführungen konzentrieren sich auf den von großen Teilen der Industrie favorisierten 3GPP-Standard LTE. Die im Folgenden aufgeführten, technischen Parameter, entsprechen im Wesentlichen dem Stand der Standardisierung in 3GPP für LTE und dem CEPT Report 30.

Der Bandplan für den Frequenzbereich 790 MHz bis 862 MHz ist von der CEPT erarbeitet worden. Um die Koexistenz zum terrestrischen Rundfunk im Band unterhalb von 790 MHz zu unterstützen, ist eine Umkehrung der Duplexrichtung vorgesehen, d.h. die Mobilstationen senden im oberen Frequenzbereich (832 MHz bis 862 MHz), die Basisstationen im unteren Frequenzbereich (791 MHz bis 821 MHz). Die Duplexlücke hat somit eine Größe von 11 MHz, der korrespondierende Duplexabstand beträgt 41 MHz. Es ist anzumerken, dass sich diese Beschlüsse auf die DVB-T-Übertragung beziehen und die Gleichkanalstörung im Kabel nicht durch den CEPT Report 30 abgedeckt ist. (Siehe dazu auch Fußnote **Fehler! Textmarke nicht definiert.**, Begleitbeschluss des Bundesrates vom 12. Juni 2009.)

## Kanalbandbreiten

In den 3GPP-Spezifikationen<sup>16,17</sup> werden für beide Übertragungsrichtungen (Uplink und Downlink) verschiedene Kanalbandbreiten definiert. Es gilt die Bezeichnung "Evolved Universal Terrestrial Radio Access" (E-UTRA).

Wie in **Abbildung 2-21** dargestellt, unterscheidet man zwischen der Kanalbandbreite ( $BW_{\text{Kanal}}$ ) und der tatsächlichen Übertragungsbandbreite. Hier sind unterschiedliche Konfigurationen ( $N_{\text{RB}}$ ) möglich.



**Abbildung 2-21** Definition von der Mobilfunk-Kanalbandbreite und Übertragungsbandbreite für einen E-UTRA Träger

## Mobilfunk-Kanalbandbreiten für das 800-MHz-Band (790 MHz bis 862 MHz)

Da zum Zeitpunkt des Beginns dieser Untersuchungen das CEPT-Frequenzband 790 MHz bis 862 MHz noch nicht im Standard implementiert war, wurde ein vergleichbares in den USA genutztes UHF-Band (E-UTRA Band 17: DL: 704 MHz bis 716 MHz, und UL: 734 MHz bis 746 MHz), wie in **Abbildung 2-21** beschrieben, betrachtet. Für dieses Band hat 3GPP Kanalbandbreiten von 1,4, 3, 5 und 10 MHz spezifiziert. Für Sendepfad (TX) und Empfangspfad (RX) sind die gleichen Kanalbandbreiten vorgesehen, es besteht also Symmetrie.

<sup>16</sup> 3GPP TS 36.101 V8.5.1 (2009-03)

<sup>17</sup> 3GPP TS 36.104 V8.5.0 (2009-03)

## Maximale Ausgangsleistung für Mobilfunk-Endgeräte

Für alle spezifizierten Leistungsklassen der Mobilfunk-Endgeräte ist in dem 3GPP-Standard eine zulässige Ausgangsleistung von 23 dBm bei einer Toleranz von 2,7 dB definiert. Es handelt sich um die Leistung über die gesamte Kanalbandbreite. Als Messdauer ist mindestens ein Subframe (1ms) vorzusehen.

## 2.6 Relevante EMV Kabel/Funk-Verträglichkeitsszenarien

### 2.6.1 Mobilfunk auf Breitband-Kabelnetze

In der **Tabelle 2-7** sind die erforderlichen Angaben für das Sendesignal eines Mobilfunk-Endgerätes zusammengefasst. Um den Einfluss eines beliebigen Funksignals auf den Empfang in Breitband-Kabelnetzen abschätzen zu können, müssen zuerst alle relevanten Parameter auf eine gemeinsame Basis umgerechnet werden. So wird der Pegel eines Sendesignals normalerweise auf die Kanalbandbreite bezogen, während die Pegelangabe des Störabstandes auf eine standardkonforme Messbandbreite bezogen ist. Für die nachfolgenden Betrachtungen wird daher die Sendeleistung auf die standardkonforme Messbandbreite umgerechnet.

**Tabelle 2-7** Berechnung der äquivalenten Strahlungsleistung eines Mobilfunk-Endgerätes

|  |                 |                                   |
|--|-----------------|-----------------------------------|
| Uplink-Frequenz  | $f$             | 832 - 862 MHz                     |
| Sendeleistung <sup>18</sup>  | $P_G$           | 23 dBm                            |
| LTE-800-Kanalbandbreite  | $B_C$           | 5 MHz                             |
| Antennengewinn   | $G_A$           | 0 dBi = -2,15 dBd                 |
| Strahlungsleistung, bezogen auf $\lambda/2$ -Dipol, bei Kanalbandbreite    | $P = P_G + G_A$ | 20,85 dBm<br>111 dB(pW)<br>122 mW |
| Messbandbreite im Bereich 30 MHz bis 950 MHz                               | $B$             | 120 kHz                           |
| Korrekturwert für die Messbandbreite                                       | $k_B$           | -16,2dB                           |
| Äquivalente Strahlungsleistung, bezogen auf die Messbandbreite von 120 kHz | $P_e = P + k_B$ | 4,7 dBm<br>94,7 dB(pW)<br>2,9 mW  |

In **Tabelle 2-8** sind die Auswirkungen eines Signals gemäß **Tabelle 2-7** auf den Empfang in Breitband-Kabelnetzen unter der Annahme angegeben, dass das Mobilfunk-Endgerät mit hoher Sendeleistung sendet und im Breitband-Kabelnetz nur der

<sup>18</sup> Der Wert entspricht der in 3GPP TS 36.101 gegebenen max. Leistung eines Mobilfunk-Endgerätes, als EIRP oder TRP zzgl. einer Toleranz von +2 dB (3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception, Release 8)

minimale Pegel für analoge Fernsehkanäle von 60 dB( $\mu$ V) (60 dB( $\mu$ V) gilt für 7-MHz-Kanäle, bei 8-MHz-Kanäle sind es 57 dB( $\mu$ V), was auch im Bereich 790 MHz bis 862 MHz relevant ist) anliegt. Die Anforderungen an die Störfestigkeit von Geräten in Breitband-Kabelnetzen sind in der harmonisierten Norm DIN EN 50083-2 festgelegt und dienen als Grundlage für diese Störabschätzung. Bei der Berechnung des Störadius, bezogen auf die störende Feldstärke wurde von Freiraumausbreitungsbedingungen ausgegangen, was bei einer maximalen Wellenlänge von etwa 38 cm auch als gerechtfertigt angesehen werden kann. Da sich Mobilfunk-Endgeräte und Breitband-Kabelnetze in relativer räumlicher Nähe befinden können, ist diese Annahme hier zulässig. Da die Feldstärke einer Strahlungsquelle in diesem Fall proportional mit zunehmender Entfernung des Empfängers von der Sendeantenne abnimmt, erscheint es sinnvoll und vor allem auch anschaulich, einen Wert für die Mindestentfernung der Störquelle vom Empfänger anzugeben.

Die Berechnung des Störradius in **Tabelle 2-8** geht von der Annahme aus, dass ein Störsignal genauso groß wie das bereits vorhandene Störsignal sein darf, das in diesem Frequenzbereich ausschließlich durch das Grundrauschen des Empfängers bestimmt wird. Dies führt zu einer Verringerung des C/N-Wertes um 3 dB und hat bei einem Analogsignal näherungsweise eine ähnlich große Verschlechterung des Störabstands im Empfangssignal zur Folge. Bei einem Digitalempfänger kann eine Verringerung des C/N-Wertes um 3 dB jedoch einen überproportionalen Anstieg der Fehlerwahrscheinlichkeit zur Folge haben, wenn er bereits entsprechend nah an der Empfangsgrenze betrieben wird. Ein vorher fehlerfreies Signal kann durch die Störung völlig unbrauchbar werden, so dass kein Empfang mehr möglich ist. Aus diesem Grund wurde für den Fall des Empfangs von DVB-C-Signalen in **Tabelle 2-10** nur eine Erhöhung des Störpegels um 0,5 dB angenommen. Dies bedingt, dass das Störsignal etwa 10 dB geringer sein muss als das bereits vorhandene Grundrauschen. Daraus resultiert etwa eine Verdopplung der Fehlerhäufigkeit an der Empfangsgrenze.

**Tabelle 2-8** Berechnung der Störwirkung eines Mobilfunk-Endgerätes auf eine TV-Kabelanlage gemäß DIN EN 50083-8

|  |                   |                    |
|--|-------------------|--------------------|
| Einstrahlungsfestigkeitsgrenzwert von Breitband-Kabelnetzen <sup>19</sup>                  | $E_O$             | 106 dB( $\mu$ V/m) |
| Gebäudedämpfung  | $d_w$             | 8 dB               |
| In-Haus-Einstrahlungsfestigkeitsgrenzwert  | $E_I = E_O - d_w$ | 98 dB( $\mu$ V/m)  |
| Störradius gemäß Freiraumausbreitung, bezogen auf $\lambda/2$ -Dipol bei 3 dB Störeinfluss | $R$               | 4,8 m              |

<sup>19</sup> Nach DIN EN 50083-8 ist der Wert auf eine Messbandbreite von 120 kHz als Quasi-Spitzenwert bezogen (siehe CISPR 16-1 [4]).

**Tabelle 2-9** Umrechnung der Tabelle aus DIN EN 50083 Teil 8 Annex C von der Bezugsfrequenz 166 MHz auf 850 MHz, einschließlich Berücksichtigung eines 8-MHz-Kanalrasters und einem angepassten Schirmungsmaß Klasse A von 75 dB

|   |              |
|---|--------------|
| Höchstwert der Feldstärke außerhalb des Gebäudes  | 107 dB(μV/m) |
| Gebäudedämpfung   | - 8 dB       |
| Höchstwert der Feldstärke innerhalb des Gebäudes  | 99 dB(μV/m)  |
| Kopplungsfaktor (Bezug 850 MHz)   | -25 dB/m     |
| Schirmungsmaß für passive Geräte (DIN EN 50083-2, Klasse A)   | -75 dB       |
| Höchstwert des Störsignalpegel im Breitband-Kabelnetz   | -1 dB(μV)    |
| Mindestabstand zwischen Träger und dem unerwünschten Störsignal (DIN EN 60728-1)  | + 57 dB      |
| Toleranzzuschlag  | + 1 dB       |
| Minimaler Signalpegel im Breitband-Kabelnetz an der Teilnehmer-Anschlussdose (analoges PAL Signal) (DIN EN 60728-1) <sup>20</sup> | 57 dB(μV)    |

In der **Tabelle 2-9** wurde der Frequenzbereich theoretisch von 166 MHz (DIN EN 50083-8 Annex C) auf 850 MHz umgerechnet. Damit verändert sich der entsprechende Bezugswert für den  $\lambda/2$ -Dipol. Daraus ergibt sich ein veränderter Kopplungsfaktor, der zu einer geringeren Änderung des Feldstärkewertes in der gesamten Berechnung führt. (Aufgrund von Kommastellenrechnung hat sich die 106 dB(μV/m) in 107 dB(μV/m) geändert.) Gültig in den Normen DIN EN 50083 Teil 2 und Teil 8 ist aber der Wert 106 dB(μV/m), siehe dazu ebenfalls **Tabelle 2-11** (Immunity Limits).

<sup>20</sup> 57 dB(μV) nur für Systeme mit 8 MHz Kanalraster (DIN EN 60728-1, Kapitel 5.9.1 und Tabelle 4)

**Tabelle 2-10** Berechnung der Störwirkung eines Mobilfunk-Endgerätes auf eine Kabelinfrastruktur mit Berücksichtigung der Empfangseigenschaften eines DVB-C-Empfängers.

|  |                                   |                     |
|--|-----------------------------------|---------------------|
| DVB-C-Empfangsfrequenz   | $F$                               | 832 MHz bis 862 MHz |
| Modulationsverfahren   |                                   | 64-QAM              |
| Pegel an der Antennensteckdose <sup>21</sup> (Mindestwert)   | $U_{min}$                         | 47 dB( $\mu$ V)     |
| SNR bezogen auf die DIN EN 60728-1 <sup>21</sup>   | $MER$ (Bezug auf weißes Rauschen) | 25 dB               |
| Äquivalente Rauschspannung am Empfängereingang $U_r$ ( $75 \Omega$ ) <sup>22</sup>                   | $U_r$                             | 10,6 dB( $\mu$ V)   |
| Antennenfaktor $k_A$ für $\lambda/2$ -Dipol ( $75 \Omega$ ) @ 850 MHz<br>$E = U + k_A$ <sup>23</sup> | $k_A$                             | 24,88 dB(1/m)       |
| Schirmdämpfung <sup>24</sup>   | $A_S$                             | 75 dB               |
| Korrekturwert für Messbandbreite @ 8 MHz   | $k_B$                             | -18,24 dB           |
| Äquivalente Rauschfeldstärke an der Geräteaußenseite   | $E_N = U_r + k_A + k_B + A_S$     | 92 dB( $\mu$ V/m)   |
| Pegelreserve   | $P_r = U_{min} - MER - U_r$       | 10,4 dB             |
| Zulässiger Störeinfluss (0,5 dB)   | $N_p$                             | -9 dB               |
| Maximal zulässige Störfeldstärke   | $E_p = E_N + P_r + N_p$           | 93,4 dB( $\mu$ V/m) |
| Störradius gemäß Freiraumausbreitung, bezogen auf $\lambda/2$ -Dipol                                 | $r$                               | 8 m                 |

**Tabelle 2-10** zeigt die Empfangsempfindlichkeit eines an ein Breitband-Kabelnetz angeschlossenen Empfängers. Auf dieser Basis ist ein Störradius auf einen  $\lambda/2$ -Dipol berechnet. Durch den Bezug auf den  $\lambda/2$ -Dipol ist ein entsprechender Kopplungsfaktor auf die betrachtete Frequenz in die Rechnung einbezogen. **Tabelle 2-10** betrachtet die Ende-zu-Ende-Einflüsse, während die vorherigen Tabellen sich auf einzelne Komponenten beziehen.

<sup>21</sup> Nach DIN EN 60728-1

<sup>22</sup> Der Wert berücksichtigt eine Empfängerrauschzahl von 7 dB und eine Signalbandbreite von 7,6 MHz.

<sup>23</sup> Für die Berechnung des Antennenfaktors ist folgende Formel anzuwenden:  $k_a = -33,7 + 20 \log f$ , mit  $f$  in MHz

<sup>24</sup> Nach DIN EN 50083-2 im Bereich von 470 bis 950 MHz 75 dB für passive Geräte nach Klasse A, 65 dB für Klasse B

**Tabelle 2-11** Tabelle 2 aus DIN EN 50083-8

| Frequenzbereich      | Feldstärke         |
|----------------------|--------------------|
| 0,15 MHz bis 950 MHz | 106 dB( $\mu$ V/m) |
| 950 MHz bis 3000 MHz | 106 dB( $\mu$ V/m) |

**Tabelle 2-11** zeigt die Tabelle 2 aus der DIN EN 50083-8 in der für den Frequenzbereich von 150 kHz bis 3 GHz ein Grenzwert der Störeinstrahlungsfestigkeit von 106 dB( $\mu$ V/m) festgeschrieben ist. Für die Störfestigkeit selber wird in den Standards (Teil 2 und Teil 8) für den Feldstärkewert kein Bezug auf eine Bandbreite angegeben. Erst bei der Betrachtung von Störsignalen ist ein Bandbreitenbezug erforderlich.

Die minimale Eingangsspannung am Empfänger bzw. der Teilnehmer-Anschlussdose ist in der Norm bezogen auf das erforderliche C/N (Weißes Rauschen). Ein moduliertes Uplink-Mobilfunk-Signal mit variierender Spitzenleistung entspricht aber nicht einem weißen Rauschen (Average-Wert), sondern hat unterschiedliche spektrale Anteile im Signal. Für die Betrachtung der Störung von Breitband-Kabelnetzen durch LTE-800 ist allerdings der Peak-Wert des Störsignals entscheidend.<sup>25</sup> In **Tabelle 2-8** und **Tabelle 2-10** wird zum Beispiel von einem Average-Wert im Sendesignal ausgegangen. Bei LTE-800 wird das Mobilfunk-Endgerät in der Regel aber nur in wenigen Subframes im SC-FDMA-Verfahren senden, d.h. ein Endgerät wird nur kurzfristig mit maximaler Leistung (gepulst) und die Basisstation im OFDM-Verfahren senden. Bei den Messungen muss der Crest-Faktor berücksichtigt werden.<sup>26</sup> Da für den DVB-C-Empfänger die Spitzenleistung kritisch ist, muss entsprechend ein Crest-Faktor für die SC-FDMA-Übertragung von 7 dB<sup>27</sup> und für die OFDM-Übertragung von 11 dB<sup>28</sup> berücksichtigt werden. Um hier genauere Werte betrachten zu können, müssten dazu Messungen mit realen Signalen der Mobilfunk-Basisstation und der Mobilfunk-Endgeräte durchgeführt werden.

Obwohl der In-Haus-Einstrahlungsfestigkeitsgrenzwert in **Tabelle 2-8** und die äquivalente Rauschspannung am Empfängereingang in **Tabelle 2-10** in ihrer Bedeutung gleich sind, unterscheiden sie sich in ihren Werten. Der Grund liegt darin, dass der Wert für den Störradius in **Tabelle 2-8** alleine aus der Norm abgeleitet ist, während

<sup>25</sup> Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil I Nr. 26, ausgegeben zu Bonn am 18. Mai 2009, „Sicherheitsfunk-Schutzverordnung – SchuTSEV, Anlage 3, Kap. 4.5: „Es ist zu beachten, dass es sich bei den in Anlage 2 angegebenen Feldstärkengrenzwerten um Spitzenwerte-Grenzwerte handelt. Um die bei praktischen Messungen mit dem Spitzenwert-Detektor auftretende Unsicherheit zu minimieren, wird für die Messungen jedoch ein Quasispitzenwert-Detektor verwendet.“

<sup>26</sup> LTE, der nächste Mobilfunkstandard (Teil 2 die Luftschnittstelle) in: Bulletin SEV/AES 21/2008 Autoren Dr. Rudolf Tanner und Prof. Dr. Rolf Hofstetter

<sup>27</sup> ANGA / IRT Studie April 2009, Messung Media Broadcast zum LTE Uplink

<sup>28</sup> Der Crest-Faktor bei DVB-T-(OFDM-) Sendeanlagen und seine Auswirkung auf die Dimensionierung der Leistungskomponenten (Quelle <http://www.rohde-schwarz.de>)

die Werte in **Tabelle 2-10** genauer berechnet sind und sowohl den frequenzabhängigen Antennenfaktor als auch die verwendete Modulationsart in den unterschiedlichen Frequenzbereichen berücksichtigen.

Bei dem Parameter Schirmdämpfung wurde den Berechnungen ein Schirmungsmaß von 75 dB zugrunde gelegt, wie es entsprechend der harmonisierten Norm DIN EN 50083-2 für passive Geräte in Breitband-Kabelnetzen (in der Norm sind die Endgeräte nicht eingeschlossen) gefordert wird.

**Tabelle 2-12** Grenzwerte für die passive Schirmung nach Klasse A und Klasse B laut Grenzwerttabelle 10 der DIN EN 50083-2

| Frequenzbereich       | Schirmungsmaß           |                         |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
|                       | Grenzwerte für Klasse A | Grenzwerte für Klasse B |
| 5 MHz bis 30 MHz      | 85 dB                   | 75 dB                   |
| 30 MHz bis 300 MHz    | 85 dB                   | 75 dB                   |
| 300 MHz bis 470 MHz   | 80 dB                   | 75 dB                   |
| 470 MHz bis 950 MHz   | 75 dB                   | 65 dB                   |
| 950 MHz bis 3 000 MHz | 55 dB                   | 50 dB                   |

**Tabelle 2-12** zeigt die Grenzwerte der Schirmung gemäß der harmonisierten Norm DIN EN 50083-2 für passive Komponenten, aufgeteilt nach Klasse A und Klasse B. Beide Varianten können und werden in den Breitband-Kabelnetzen eingesetzt. Wichtig ist, dass die Grenzwerte für das Schirmungsmaß im Frequenzbereich 470 MHz bis 950 MHz bei Klasse A 75 dB und bei Klasse B 65 dB betragen. Ein Schirmungsmaß von 85 dB gibt es nur bei Klasse A bis 300 MHz. Für den hier zu untersuchenden Frequenzbereich gelten Schirmungsmaße bei Klasse A von 75 dB und bei Klasse B von 65 dB, bezogen auf einzelne Komponenten. Der jeweils minimale Wert für das Schirmungsmaß ist in einem System der bestimmende Wert. Werden zum Beispiel in einem System Komponenten mit einem Schirmungsmaß von 75 dB eingesetzt, dann kann der Wert im Gesamtsystem (also einschließlich der Endgeräte) nicht besser werden.

In der Berechnung wird der Wert für die Schirmdämpfung jedoch für das gesamte System angenommen (Breitband-Kabelnetz und Consumer-Electronics-Endgeräte), unabhängig davon, welches konkrete Gerät oder Bauteil für den Wert verantwortlich



ist. Komponenten von Breitband-Kabelnetzen können für sich allein teilweise höhere Schirmungsmaße (z.B. 85 dB) haben. Ein Wert von 85 dB (@ 166 MHz) wird ebenfalls in DIN EN 50083-8 Annex C angenommen, aber Ein- oder Abstrahlung erfolgt an den Stellen mit der geringsten Schirmung, vorzugsweise an den Kontaktstellen. Der hier betrachtete Frequenzbereich liegt bei 850 MHz und dort gilt für Klasse A der Wert von 75 dB und für Klasse B 65 dB. Berücksichtigt man tatsächlich im Einsatz befindliche Kabel in den Wohnungen der Teilnehmer, so ist ein Schirmungsmaß von 75 dB für das Breitband-Kabelnetz ohne Betrachtung der Consumer-Electronics-Endgeräte vorgesehen und kann im Gesamtsystem eher als sehr optimistisch eingeschätzt werden.<sup>29</sup> Dieser Wert von 75 dB erfordert im Gesamtsystem (Breitband-Kabelnetz und Consumer-Electronics-Endgeräte) einen sehr hohen Schirmungswert, der von allen Geräten und Komponenten im Netz eingehalten werden muss.

Aus dieser Betrachtung der Werte der **Tabelle 2-12** (Schirmungsmaß 75 dB für Breitband-Kabelnetze) ergibt sich die **Tabelle 2-13** mit Störradien, bezogen auf die gesamte Bezugskette Breitband-Kabelnetze zusammen mit den angeschlossenen Consumer-Electronics-Endgeräten. In dieser Tabelle sind die realistischen Schirmungswerte eingetragen und wurden berechnet für die beispielhaft gewählten Sendeleistungen der Mobilfunk-Endgeräte bei 8 dBm, 14 dBm und die maximale Sendeleistung von 25 dBm, die in der Auktion der Bundesnetzagentur festgeschrieben ist. Für das Gesamtsystem wurden Schirmungsmaße von 55 dB, 65 dB und 75 dB berechnet. Dabei ist anzumerken, dass das Schirmungsmaß 75 dB für zukünftige Lösungen vorgesehen ist, nachdem man die verschiedenen Standards geändert hat.

Die nachfolgende **Tabelle 2-13** zeigt die Auswirkung auf den Störradius bei den an das Breitband-Kabelnetz angeschlossenen Consumer-Electronics-Endgeräten in Abhängigkeit von der genutzten Systemschirmung im gesamten Breitband-Kabelnetz (für Endgeräte gilt z.B. ein Schirmungsmaß von 50 dB) und der möglichen Mobilfunkleistungen. In den Gesprächen der Projektgruppe hat man sich auf die Werte für das Schirmungsmaß und die Werte für die Mobilfunkleistungen geeinigt.

Um die Mobilfunkleistungen besser bewerten zu können, sind in der darauf folgenden **Tabelle 2-14** die angenommenen Dämpfungswerte für die Wände angegeben. Zusätzlich ist eine durchschnittliche Raumgröße von 16 m<sup>2</sup> angenommen worden.

---

<sup>29</sup> Agentschap Telecom: LTE and Cable TV Measurements by the Netherlands Administration "De interferentie nader in kaart gebracht" Rijksdienst voor Radiocommunicatie © 2000 (Seite 17 ff) Originalverweis: De EMC aspecten voor kabeltelevisie bij de invoering van Digitale Video Broadcasting, RDR, 28 september 1998. Dort werden Schirmungen zwischen 35 dB und 56 dB gemessen und Untersuchung der Bakom kamen zu ähnlichen Ergebnissen bei der Nutzung von Set-Top-Boxen.

**Tabelle 2-13** Berechnung der Störradien abhängig von den Schirmungen im Breitband-Kabelnetz mit angeschlossenen Consumer-Electronics-Endgeräten und der Strahlungsleistung der Mobilfunk-Endgeräte, basierend auf dem Link Budget

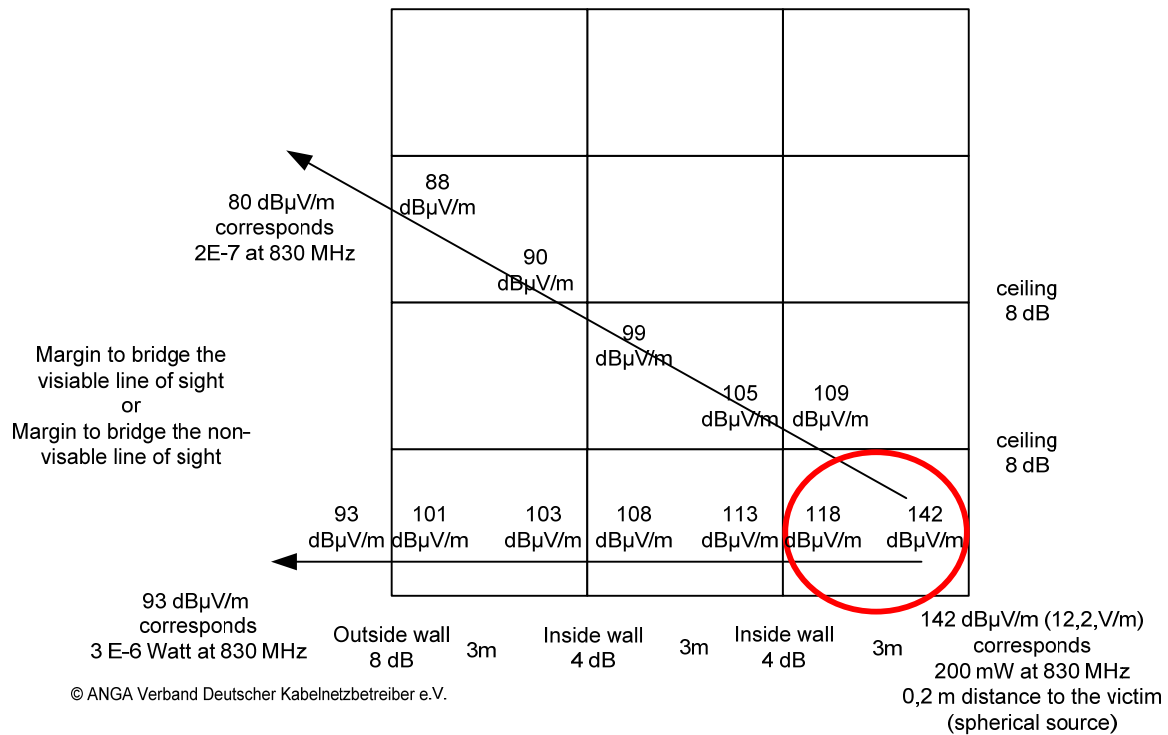
| <b>Systemschirmungsmaß im Breitband-Kabelnetz mit angeschlossenen Consumer-Electronics-Endgeräten</b> | <b>Strahlungsleistung eines Mobilfunk-Endgerätes<br/>8 dBm</b> | <b>Strahlungsleistung eines Mobilfunk-Endgerätes<br/>14 dBm</b> | <b>Strahlungsleistung eines Mobilfunk-Endgerätes<br/>25 dBm<sup>30</sup></b> |
|---|--|---|--|
| <b>System-Schirmungsmaß<br/>55 dB<sup>31</sup></b>  | 14 m   | 28 m  | 99 m   |
| <b>System-Schirmungsmaß<br/>65 dB</b>   | 5 m  | 9 m   | 33 m   |
| <b>System-Schirmungsmaß<br/>75 dB</b>   | 1 m  | 3 m   | 10 m   |

**Tabelle 2-14** Beschreibung durchschnittlicher Raumgrößen und der realistischen Dämpfungen

|                           |           |
|---------------------------|-----------|
| Raumgröße                 | 4 m x 4 m |
| Innenwanddämpfung         | 4 dB      |
| Außenwanddämpfung         | 8 dB      |
| Dachdämpfung (Dachziegel) | 2 dB      |
| Betondach                 | 8 dB      |

<sup>30</sup> Verweis auf Fußnote 27 CEPT Report 30 bzgl. der Steigerung der Strahlungsleistung der Mobilfunk-Endgeräte in schwieriger Umgebung auf 25 dBm

<sup>31</sup> Messungen in Kolberg ergaben, dass die Nutzung von Durchschleifeingängen einen um 30 dB schlechteren Wert aufgezeigt haben



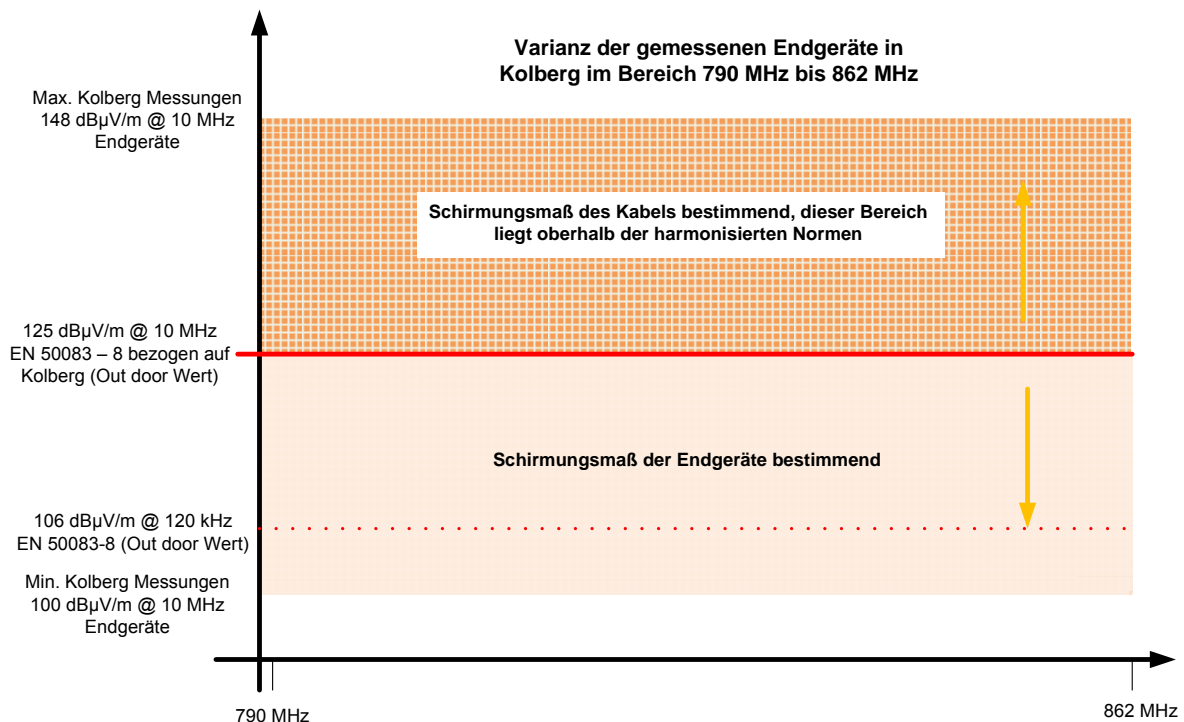
**Abbildung 2-22** Betrachtung der Feldstärke-Entwicklung eines Mobilfunk-Endgeräts bei Sendung aus einem Gebäude bei 200 mW Sendeleistung

**Abbildung 2-22** zeigt, wie sich die Feldstärke entwickelt, wenn ein Mobilfunk-Endgerät aus einem von der LTE-800-Basisstation abgewandten Raum in Betrieb genommen wird. In diese Betrachtung ist auch die Dämpfung der Luft mit einbezogen und es ist von einer Freifeldausbreitung ausgegangen worden. Da in der Rechnung von einem Abstand Mobilfunk-Endgerät zur LTE-800-Basisstation von unter 100 m ausgegangen wird, kommt das Okumura-Hata Modell nicht zur Geltung. Die entsprechenden Entwicklungen der Feldstärke innerhalb der Wohnungen haben sich an den Richtungen der eingetragenen Pfeile ausgerichtet. Es wurde dabei keine Reflexion innerhalb der Gebäude berücksichtigt.

Die nachfolgende **Tabelle 2-15** zeigt, dass die Sendeleistung bei einer Sichtverbindung schon deutlich über 0 dBm in GSM-Netzen liegen muss. Daher ist nicht damit zu rechnen, dass eine Leistung von 0 dBm in städtischen Gebieten ohne eine Sichtverbindung ausreichend ist. Hier müssten eher Werte von 5 dBm bis 7 dBm angenommen werden. Damit werden die erwarteten Werte für einen In-Haus-Betrieb am oberen Ende der Leistungsskala sein.

**Tabelle 2-15** Minimale Sendeleistungen von GSM Mobilfunk-Endgeräten  
(Quelle: Mobilfunk in Liechtenstein - Studie zur Immissionsituation,  
enorm GmbH Mühldorfstrasse 8, D-81671 München)

| dBm-Wert | Leistung P           |                   | Größenordnung   | RX <sub>lev</sub> nach Spec. GSM |
|----------|----------------------|-------------------|---|----------------------------------|
| -174 dBm | -                    | -                 | ca. Rauschleistung bei 300 K Temperatur   | -                                |
| -110 dBm | -                    | -                 | untere Grenze Spezifikation   | 0-1                              |
| -104 dBm | 0,04 pW              | -                 | Mindestempfindlichkeit GSM Spezifikation BTS  | 6-7                              |
| -102 dBm | 0,0633 pW            |                   | Mindestempfindlichkeit Spezifikation Mobilgerät<br>63 x 10 <sup>-15</sup> W   | 8-9                              |
| -100 dBm | 0,1 pW               | 10 <sup>-10</sup> |   | 10-11                            |
| -95 dBm  | 0,317 pW             |                   | Mindestempfangpegel für PLMN- Listung   | 15-16                            |
| -90 dBm  | 1pW =<br>0,001 nW    | 10 <sup>-9</sup>  |   | 20-21                            |
| -80 dBm  | 0,01 nW              | 10 <sup>-8</sup>  |   | 30-31                            |
| -75 dBm  | 0,317 nW             |                   | Testempfangspegel Nachbarzellen GSM   | 35-36                            |
| -70 dBm  | 0,1 nW               | 10 <sup>-7</sup>  | Testempfangspegel Servicezelle GSM nach<br>ETSI Spec.0508-8g0<br>ca. Grenzwert der Störfeldstärke<br>27 [dB(µV/m)] 20dBpW ERP f<1.000 MHz | 40-41                            |
| -60 dBm  | 1nW =<br>0,001 µW    | 10 <sup>-6</sup>  |   | 50-51                            |
| -50 dBm  | 0,01 µW              | 10 <sup>-5</sup>  | ca. Grenzwert der Störfeldstärke<br>40 [dB(µV/m)] 33dBpW ERP f>1.000 MHz  | 60-61                            |
| -48 dBm  | 0,0158 µW            |                   |   | 63                               |
| -40 dBm  | 0,1 µW               | 10 <sup>-4</sup>  |   | 63                               |
| -30 dBm  | 1µW =<br>0,001 mW    | 10 <sup>-3</sup>  |   | 63                               |
| -23 dBm  | 0,005 mW             |                   |   | 63                               |
| -20 dBm  | 0,01 mW              | 10 <sup>-2</sup>  |   | 63                               |
| -13 dBm  | 0,05 mW              |                   |   | 63                               |
| -10 dBm  | 0,1 mW               | 10 <sup>-1</sup>  |   | 63                               |
| -3 dBm   | 0,5 mW               |                   |   | 63                               |
| 0 dBm    | 1 mW                 | 10 <sup>0</sup>   | typ. minimale Sendeleistung Endgerät DCS<br>1800 bei opt. Sichtverbindung   | 63<br>RS 15                      |
| 5 dBm    | 3,17 mW              |                   | typ. minimale Sendeleistung Endgerät GSM 900<br>bei opt. Sichtverbindung  | 63<br>LS 19                      |
| 7 dBm    | 5 mW                 |                   |   | 63                               |
| 10 dBm   | 10 mW                | 10 <sup>1</sup>   | FreqNP 226: Durchsagefunk CT2- Std: max.<br>zul. äquivalente Strahlungsleistung: 10 mW<br>ERP   | 63                               |
| 17 dBm   | 50 mW                |                   |   | 63                               |
| 20 dBm   | 100 mW               | 10 <sup>2</sup>   |   | 63                               |
| 21 dBm   | 125 mW               |                   | typ. Sendeleistung Endgerät   | 63                               |
| 24 dBm   | 250 mW               |                   | 1/8 max. als ca. mittl. Sendeleistung<br>GSM 900 Endgerät Klasse 3  | 63                               |
| 27 dBm   | 500 mW               |                   |   | 63                               |
| 30 dBm   | 1W =<br>1.000 mW     | 10 <sup>3</sup>   | +/- 2,5 dB, max. Sendeleistung<br>DCS 1800 Endgerät Klasse 1  | 63<br>RS 0                       |
| 33 dBm   | 2W =<br>2.000 mW     |                   | +/- 2,5 dB, max. Sendeleistung<br>GSM 900 Endgerät Klasse 3<br>( also th. zw. 1,12 und 3,55 W )   | 63<br>LS 5                       |
| 40 dBm   | 10W =<br>10.000 mW   | 10 <sup>4</sup>   | typ. Sendeleistung UMTS Basisstation  |                                  |
| 43 dBm   | 20W =<br>20.000 mW   |                   | typ. Sendeleistung GSM Basisstation   |                                  |
| 47 dBm   | 50W =<br>50.000 mW   |                   |   |                                  |
| 50 dBm   | 100W =<br>100.000 mW | 10 <sup>5</sup>   |   |                                  |
| 60 dBm   | 1kW =<br>1.000 W     | 10 <sup>6</sup>   | typ. Sendeleistung UKW Rundfunksender   |                                  |
| 90 dBm   | 1MW =<br>1.000 kW    | 10 <sup>9</sup>   |   |                                  |



**Abbildung 2-23** Varianz der in Kolberg gemessenen Endgeräte mit der Bewertung der limitierenden Faktoren Breitband-Kabelnetz und Consumer-Electronics-Endgeräte

**Abbildung 2-23** zeigt die Varianz der in Kolberg gemessenen Consumer-Electronics-Endgeräte. Diese liegt bei Bezug auf die Signalbandbreite 10 MHz zwischen 100 dB( $\mu$ V/m) und 148 dB( $\mu$ V/m). Außerdem ist bei der Betriebsart Durchschleifeingang zu berücksichtigen, dass sich die Schirmung der Consumer-Electronics-Endgeräte um bis zu 30 dB vermindern kann. Bezogen auf die 10 MHz liegt die Einstrahlungsfestigkeit der Breitband-Kabelnetze bei 125 dB( $\mu$ V/m). Im Bereich unterhalb der 125 dB( $\mu$ V/m) ist das Endgerät der limitierende Faktor in dem System, während oberhalb von 125 dB( $\mu$ V/m) das Breitband-Kabelnetz zum limitierenden Faktor wird. Daher kann es kein Gesamtsystem geben, das eine höhere Einstrahlungsfestigkeit als 125 dB( $\mu$ V/m) hat, auch wenn die Consumer-Electronics-Endgeräte dieses eventuell schaffen würden. Wenn man davon ausgeht, dass mit 75 dB Schirmung die 106 dB( $\mu$ V/m) in den Breitband-Kabelnetzen in dem Frequenzbereich eingehalten werden, kommt man auf einen realistischen Grenzwert von 50 dB Schirmung, wenn man annimmt, dass das schwächste geschirmte Endgerät 25 dB unterhalb der Kabelschirmung liegt. Damit sind die in der **Tabelle 2-13** genutzten Schirmungen von 55 dB und 65 dB durchaus in dem zu erwartenden Rahmen der Systemschirmungen. Betrachtet man zusätzlich den Anschluss der Set-Top-Box über den Durchschleifeingang, wird der von der Niederländischen Administration (siehe Fußnote 29) angenommene Wert von 36 dB Schirmungsmaß realistisch. Dieser Cross-Check zeigt, dass die hier angenommenen Werte nicht einem "worst case"-Szenario entsprechen, sondern mehr die im Feld installierte Realität widerspiegeln.

Bezogen auf die oben genannten Schirmungsmaße ergeben sich die folgenden Schaubilder in Bezug auf die Störungen.

| Realitätsnaher Parameter 64 QAM Belegung im Breitband-Kabel<br>@ Systemschirmung 65 dB (Breitband-Netz mit Endgeräten)  |            |   |
|---|------------|---|
|   |            |   |
| Parameter (Co-Channel)  | Störradius | Referenz  |
| Störradius aus Tabelle 2-11 (@ 25 dBm)  | 33 m       | Tabelle 2-11 PGESKM   |
| Dämpfung der Wand zum Nachbarraum mit 4 dB  | 21 m       | Reduzierung des Störradius zur <b>Nachbarwohnung</b>                      |
| Reduzierung der Sendeleistung auf 14 dBm  | 6 m        | Reduzierung des Störradius zur <b>Nachbarwohnung</b>                      |
| Reduzierung der Sendeleistung auf 8 dBm<br>Hinweis: mit 8 dBm Leistung beträgt die Sendeleistung nach der Gebäudedämpfung nur 0 dBm bei der Annahme, daß es keine Dämpfungen im Raum gibt | 3 m        | Reduzierung des Störradius zur <b>Nachbarwohnung</b> (theoretischer Wert) |

**Abbildung 2-24** Berechnung der möglichen Störradien, bezogen auf das 64-QAM-System mit Blickwinkel auf die Störungen in benachbarten Wohnungen (unter Einbeziehung der Wanddämpfungen)

**Abbildung 2-24** gibt die errechneten Störradien an, bezogen auf die Sendeleistungen 25 dBm, 14 dBm und 8 dBm, auf. Das System-Schirmungsmaß mit 65 dB ist als sehr gut zu betrachten und wird sich am oberen Limit der Netzqualität (inkl. Consumer-Electronics-Endgeräte) wiederfinden. Für die verschiedenen Leistungen wurde der Störradius jeweils um 4 dB Wanddämpfung zu den Nachbarräumen reduziert angenommen und die Radien jeweils darauf berechnet. Im gleichen Raum können die Störradien natürlich höher liegen.

| Realitätsnahe Parameter 64 QAM Belegung im Breitband-Kabel<br>@ Systemschirmung 65 dB (auf die <b>Spiegelfrequenz</b> bezogen)  |            |   |
|---|------------|---|
|   |            |   |
| Parameter (Speigelfrequenz)   | Störradius | Referenz  |
| Störradius aus Tabelle 2-11 (@ 25 dBm)  | 13 m       | Tabelle 2-11 PGESKM   |
| Dämpfung der Wand mit 4 dB  | 8 m        | Reduzierung des Störradius zur <b>Nachbarwohnung</b>                      |
| Reduzierung der Sendeleistung auf 14 dBm  | 2 m        | Reduzierung des Störradius zur <b>Nachbarwohnung</b>                      |
| Reduzierung der Sendeleistung auf 8 dBm<br><small>Hinweis: mit 8 dBm Leistung beträgt die Sendeleistung nach der Gebäudedämpfung nur 0 dBm bei der Annahme, dass es keine Dämpfungen im Raum gibt</small> | 1 m        | Reduzierung des Störradius zur <b>Nachbarwohnung</b> (theoretischer Wert) |

**Abbildung 2-25** Berechnung der möglichen Störradien im Falle der Spiegelfrequenz, bezogen auf ein Breitband-Kabelnetz bei verschiedenen Sendeleistungen und einem System-Schirmungsmaß von 65 dB

**Abbildung 2-25** zeigt unter den gleichen Bedingungen wie die **Abbildung 2-24** die Störradien. Der Unterschied ist hier, dass zusätzlich eine Dämpfung von 8 dB im Vergleich zum Gleichkanal angenommen wurde, die sich bei der Beeinflussung der Oszillator- und Spiegelfrequenzen ergibt. Diese Frequenzen liegen bis zu 72 MHz unterhalb der tatsächlichen Störfrequenz durch die Mobilfunkanwendungen. Aus den Messungen in Kolberg ergibt sich ein Unterschied von 8 dB. Auch hier sind Auswirkungen in den Nachbarräumen zu erwarten.

| Realitätsnahe Parameter 64 QAM Belegung im Breitband-Kabel<br>@ Systemschirmung 75 dB   |            |   |
|---|------------|---|
|   |            |   |
| Parameter (Co-Channel)  | Störradius | Referenz  |
| Störradius aus Tabelle 2-11 (@ 25 dBm)  | 10 m       | Tabelle 2-11 PGESKM   |
| Dämpfung der Wand mit 4 dB  | 7 m        | Reduzierung des Störradius zur <b>Nachbarwohnung</b>                      |
| Reduzierung der Sendeleistung auf 14 dBm  | 2 m        | Reduzierung des Störradius zur <b>Nachbarwohnung</b>                      |
| Reduzierung der Sendeleistung auf 8 dBm<br><small>Hinweis: mit 8 dBm Leistung beträgt die Sendeleistung nach der Gebäudedämpfung nur 0 dBm bei der Annahme, dass es keine Dämpfungen im Raum gibt</small> | 1 m        | Reduzierung des Störradius zur <b>Nachbarwohnung</b> (theoretischer Wert) |

**Abbildung 2-26** Berechnung der möglichen Störradien, bezogen auf ein Breitband-Kabelnetz bei verschiedenen Sendeleistungen und einem System-Schirmungsmaß von 75 dB

**Abbildung 2-26** zeigt die möglichen Störradien in Analogie zu der **Abbildung 2-24**, nur bei einer deutlich höheren System-Schirmungsmaß von 75 dB. Dieser Wert wird in der Realität nur sehr schwer zu erreichen sein. Selbst bei diesem Wert können die Nachbarwohnungen noch durch die Mobilfunkanwendungen gestört werden.

| Realitätsnaher Parameter 64 QAM Belegung im Breitband-Kabel<br>@ System-Schirmung 75 dB (auf die <b>Spiegelfrequenz</b> bezogen)   |            |   |
|--|------------|---|
|  |            |   |
| Parameter (Spiegelfrequenz)  | Störradius | Referenz  |
| Störradius aus Tabelle 2-11 (@ 25 dBm)   | 4 m        | Tabelle 2-11 PGESKM   |
| Dämpfung der Wand mit 4 dB   | 3 m        | Reduzierung des Störradius zur <b>Nachbarwohnung</b>                      |
| Reduzierung der Sendeleistung auf 14 dBm   | 0,7 m      | Reduzierung des Störradius zur <b>Nachbarwohnung</b>                      |
| Reduzierung der Sendeleistung auf 8 dBm<br>Hinweis: mit 8 dBm Leistung beträgt die Sendeleistung nach der Gebäudedämpfung nur 0 dBm bei der Annahme, dass es keine Dämpfungen im Raum gibt | 0,4 m      | Reduzierung des Störradius zur <b>Nachbarwohnung</b> (theoretischer Wert) |

**Abbildung 2-27** Berechnung der möglichen Störradien im Falle der Spiegelfrequenz, bezogen auf ein Breitband-Kabelnetz bei verschiedenen Sendeleistungen und einem System-Schirmungsmaß von 75 dB

**Abbildung 2-27** nutzt die gleiche Grundlage wie in **Abbildung 2-25**, jedoch noch die zusätzliche Dämpfung von 8 dB der Spiegelfrequenz- und Oszillatorfrequenzstörung. Auch bei höheren Sendeleistungen sind hier Störungen in der benachbarten Wohnung zu erwarten.

Die bisherigen Messungen in Kolberg haben sich auf die Betrachtung der einzelnen Consumer-Electronics-Endgeräte, wie z.B. TV-Empfänger, Set-Top-Box und Kabelmodem bezogen. Der TV-Empfänger kann eine Ursache für auftretende Störungen durch Mobilfunksignale innerhalb seines eigenen Empfangsfrequenzbereichs sein, da von den relevanten Normen keine Anforderungen für diesen Fall vorgesehen sind, sondern lediglich eine Störfestigkeit von 3 V/m (= 130 dB( $\mu$ V)/m) gegenüber GSM-Mobilfunksignalen bei 900 MHz. Dabei ist zu bemerken, dass dieser Frequenzbereich nicht durch Nutzsignale belegt sein kann, da in dem Frequenzbereich die Tuner nicht arbeiten. Dieser Wert bezieht sich nur auf die Einstrahlung in die Gehäuse direkt ("out of band"-Situation). Die Norm CISPR 20 (DIN EN 55020, Punkt 4.7: Anforderung zur Störfestigkeit am Gehäuse) beschreibt diese Werte.



**Tabelle 2-16** Störfestigkeitsanforderungen an Gehäuse außerhalb der genutzten Frequenzbereiche (Out-of-Band-Anforderungen); Quelle CISPR 20 Tabelle 15

| Parameter  | Prüfspezifikation   | Prüfaufbau   | Anwendbarkeit   | Bewertungskriterium |
|--|---|--|---|---------------------|
| Elektromagnetisches HF-Feld, amplitudenmodulierter Träger  | siehe 4.7.1<br>1 kHz AM, 80 %<br>Modulationsgrad                              | siehe 4.7.1 und<br>5.8   | Netzversorgt:<br>– FM-Ton-<br>Rundfunkempfänger mit<br>Antennenanschluss<br>– Fernseh-<br>Rundfunkempfänger mit<br>Antennenanschluss  | A                   |
| Elektromagnetisches HF-Feld, pulsmodulierter Träger <sup>a)</sup>  | 900 MHz, 3 V/m,<br>ED (Einschaltdauer)<br>1/8,<br>Wiederholfrequenz<br>217 Hz | IEC 61000-4-3<br>Es gelten die<br>Messbedingungen<br>nach 5.8.4<br>und Tabelle 23,<br>Filter B.2 ersetzt<br>durch B.4. | – angeschlossenes Video-<br>gerät mit Empfangsteil<br>und Antennenanschluss<br>– angeschlossenes Video-<br>gerät<br>– angeschlossenes Audio-<br>gerät<br>– andere verwandte Geräte<br>der Unterhaltungselektronik<br>(z. B. Audioverstärker)<br>– Camcorder in der Betriebsart<br>Wiedergabe<br>– Satellitenfernseh-<br>Rundfunkempfänger<br>– Satelliten-Ton-<br>Rundfunkempfänger |                     |
| Entladung statischer Elektrizität  | 8 kV Luftentladung<br>4 kV Kontaktentladung                                   | IEC 61000-4-2  | alle in den Anwendungs-<br>bereich fallende Geräte  | B                   |
| <sup>a)</sup> Als ein alternatives Verfahren kann ein nichthomogenes Feld mit einer Feldstärke $\geq 3$ V/m und Eigenschaften, die denjenigen der Prüfspezifikation ähnlich sind (z. B. erzeugt mit einer GSM-Mobiltelefon-Nachbildung), in einem geschirmten Raum angewendet werden.<br><br>Die Nachbildung muss auf einem nicht metallischen Ständer mit einer Höhe von 80 cm in einer Entfernung von 1 m zum Prüfling angeordnet werden (siehe Bild 11). Die Vorderseite des Prüflings muss parallel zur Sichtverbindung zur Antenne angeordnet werden. Die Position muss im Prüfbericht beschrieben werden.<br><br>Bei Meinungsverschiedenheiten muss die Prüfung in Übereinstimmung mit der IEC 61000-4-3 durchgeführt werden, wobei die Messbedingungen nach 5.8.4 und Tabelle 23 gelten und Filter B.2 durch B.4 ersetzt ist. |   |  |   |                     |

**Tabelle 2-17** Leistungen von Mobilfunk-Endgeräten gemäß CEPT Report 30 Tabelle 14: FDD or TDD TS In-block-emission-limit

|                             |                      |
|-----------------------------|----------------------|
| Maximum mean in-block power | 23 dBm <sup>32</sup> |
|-----------------------------|----------------------|

<sup>32</sup> It is recognised that this value is subject to a tolerance of up to +2dB, to take account of operation under extreme environmental conditions and production spread.

**Tabelle 2-17** zeigt die Tabelle 14 aus dem CEPT Report 30, in dem die maximale mittlere In-Block-Sendeleistung mit 23 dBm angegeben wird. In der Fußnote 32 wird nochmals deutlich darauf hingewiesen, dass die Sendeleistung produktionsbedingt oder in schwierigen Umgebungen auf 25 dBm (die Normung innerhalb von ETSI sieht 25,7 dBm vor) ansteigen kann.

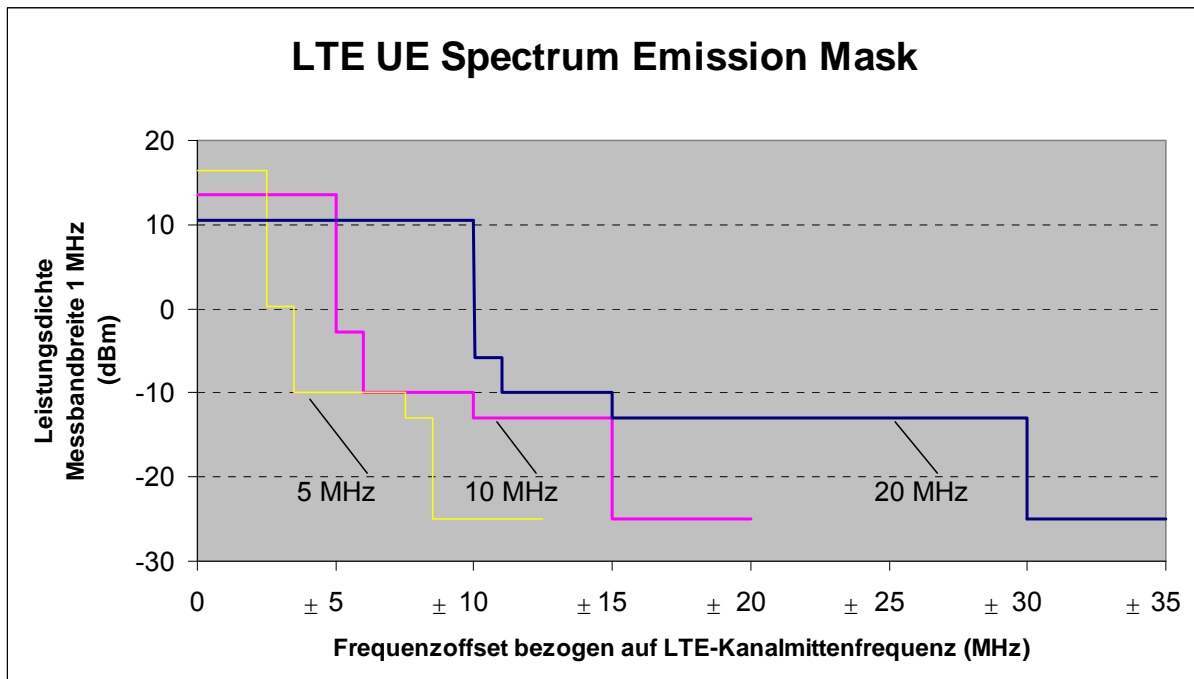
**Tabelle 2-18** Leistungen von LTE-800-Mobilfunk-Basisstationen CEPT Report 30: Table A1.1: Assumptions related to ECN base station

| ECN base station               |   |
|--------------------------------|---|
| EIRP (noise limited scenario)  | Urban: 64 dBm/(10 MHz)<br>Rural: 67 dBm/(10 MHz)                |
| EIRP (uplink limited scenario) | UL/DL balanced: 59 dBm/(10 MHz)                                 |
| Cell radius                    | Urban: 2698 m<br>Rural: 3460 m                                  |
| Antenna height                 | Urban: 30 metres<br>Rural: 60 metres                            |
| Antenna elevation pattern      | ITU-R F.1336 (section A1.2) or as in Figure A1.5 (section A1.3) |
| Antenna tilt                   | 0°  |

**Tabelle 2-18** zeigt die Berechnungsparameter einer LTE-800-Mobilfunk-Basisstation im CEPT Report 30. Anders als im Falle der Mobilfunk-Endgeräte ist für diese ein Bezug der Leistung zur Bandbreite angeben.

Signale außerhalb des Mobilfunknutzkanals (Out of band emission und spurious emission) werden durch das Sendefilter gedämpft, da das Spektrum des standardkonformen Mobilfunksignals entsprechende Emissionsmasken und Adjacent Channel Leakage Ratio (ACLR) einhalten muss. Diese Annahmen beschreiben die Anforderungen an die Linearität des Ausgangsverstärkers.

**Abbildung 2-28** zeigt graphisch die Spektrumsmaske für die Signal-Bandbreiten 5 MHz bis 20 MHz, wobei die Messbandbreiten aus dem CEPT Report 30 bezogen auf 30 kHz sind, während die **Abbildung 2-28** auf die einheitliche Messbandbreite von 1 MHz bezogen ist.



**Abbildung 2-28** Darstellung der Spektrumsmaske für das Mobilfunk-Endgerät entsprechend 3GPP TS 36.101, bezogen auf die einheitliche Messbandbreite von 1 MHz

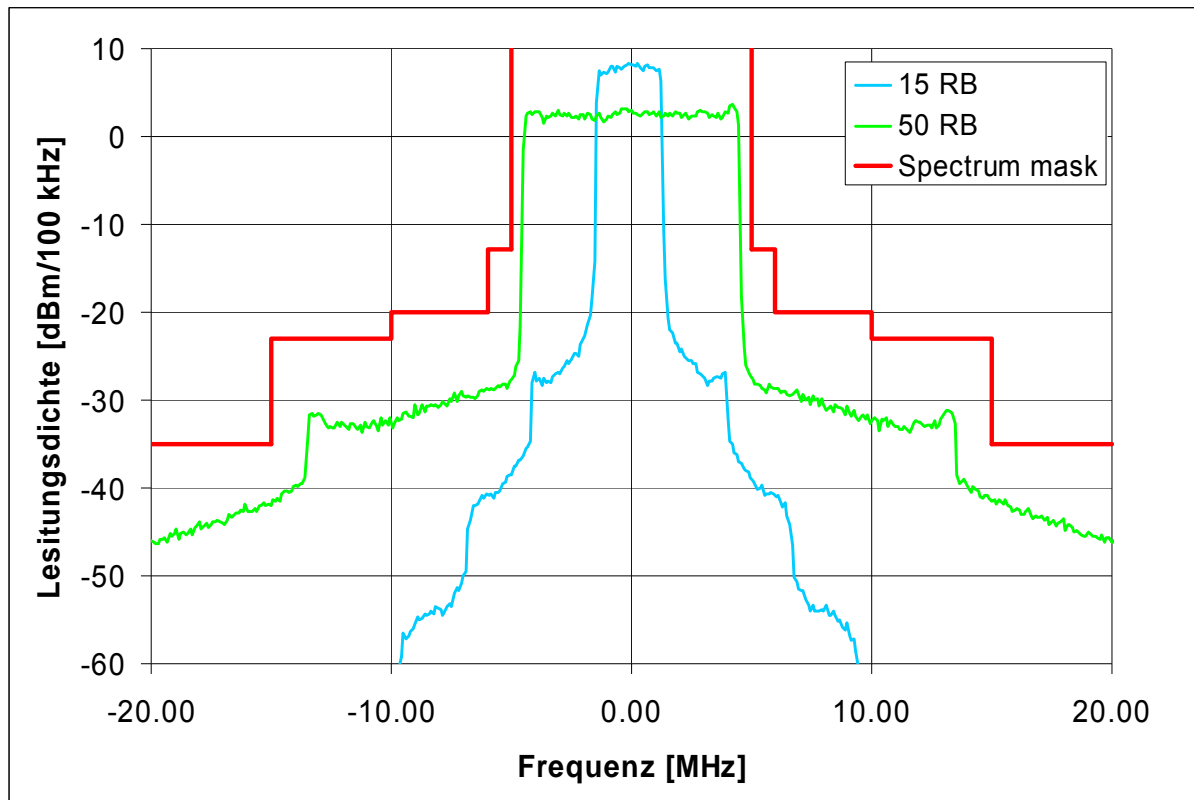
Da die Spektrumsmaske lediglich eine Obergrenze darstellt, entspräche eine Integration über die Spektrumsmaske zur Bestimmung der Ausstrahlung im Nachbarband dem "Worst Case". In den 3GPP-Spezifikationen ist zusätzlich der Parameter „Adjacent Channel Leakage Ratio“ (ACLR) definiert, der das Verhältnis von der Leistung im zugewiesenen Frequenzband zu den ungewünschten Ausstrahlungen in dem entsprechenden Mobilfunk-Nachbarband definiert. Andere Betriebsarten werden in dem Standard nicht betrachtet.

Direkt im Nachbarkanal liegt das ACLR des Mobilfunk-Endgerätes unabhängig von der Bandbreite bei 30 dB. Dies bedeutet, dass die Außerband-Aussendung bei LTE-800 im Nachbarband mindestens 30 dB unkritischer ist als die Nutzaussendung im Gleichkanal. Wenn das direkte Mobilfunksignal eine z.B. 20 dB höhere Leistung hat, als für eine Störungsfreiheit erforderlich wäre, würden also auch "Out-of-Band"-Emissionen noch keine Störungen des Kabelempfangs verursachen können. Diese Aussage konnte aber durch die Messungen in Kolberg nicht verifiziert werden, da dort nur ein synthetisches LTE-800-Uplinksignal verwendet wurde.

Diese Annahmen müssten durch Messungen mit realistischen Endgeräten verifiziert werden. (To-do-Messungen mit einem realistischen Endgerät für diesen Fall).

Wie bereits oben erwähnt, wird ein Mobilfunk-Endgerät jedoch typischerweise nicht sämtliche zur Verfügung stehende Ressource Blocks zugewiesen bekommen. Hierdurch würde sich auch die Leistungsdichte der ungewünschten Ausstrahlungen des Mobilfunk-Endgerätes reduzieren. Dieses prinzipielle Verhalten ist anhand einer

rechnergestützten Simulation eines Mobilfunk-Endgeräteherstellers (Referenz: nicht bekannt) in **Abbildung 2-29** dargestellt.



**Abbildung 2-29** Leistungsdichte eines Mobilfunk-Endgerätes in Abhängigkeit von der Anzahl der zugewiesenen Resource Blocks (Referenz: nicht bekannt)

Bei einem Mobilfunksignal von 9 MHz Bandbreite (50 RB à 180 kHz) erreichen die zulässigen Außerbandaussendungen eine Bandbreite von 15 MHz, bezogen auf die obere Frequenzgrenze des Nutzkanals. Dies hat zur Folge, dass – vorausgesetzt es erfolgt eine Einstrahlung in das Breitband-Kabelnetz – neben dem Gleichkanal zwei weitere Kabelkanäle gestört werden können. Nachdem die Außerbandaussendungen symmetrisch im Mobilfunksendekanal sind, können also bei einem Mobilfunksignal mit 9 MHz Bandbreite insgesamt bis zu vier Kabelkanäle gestört werden. Zwei weitere Kanäle sind von frequenzmäßig geringeren Anteilen des Mobilfunkspektrums betroffen. Wie stark sich diese Störungen auswirken ist zu klären, ferner welchen Schutz die im Kabel eingesetzten Modulatoren zulassen.

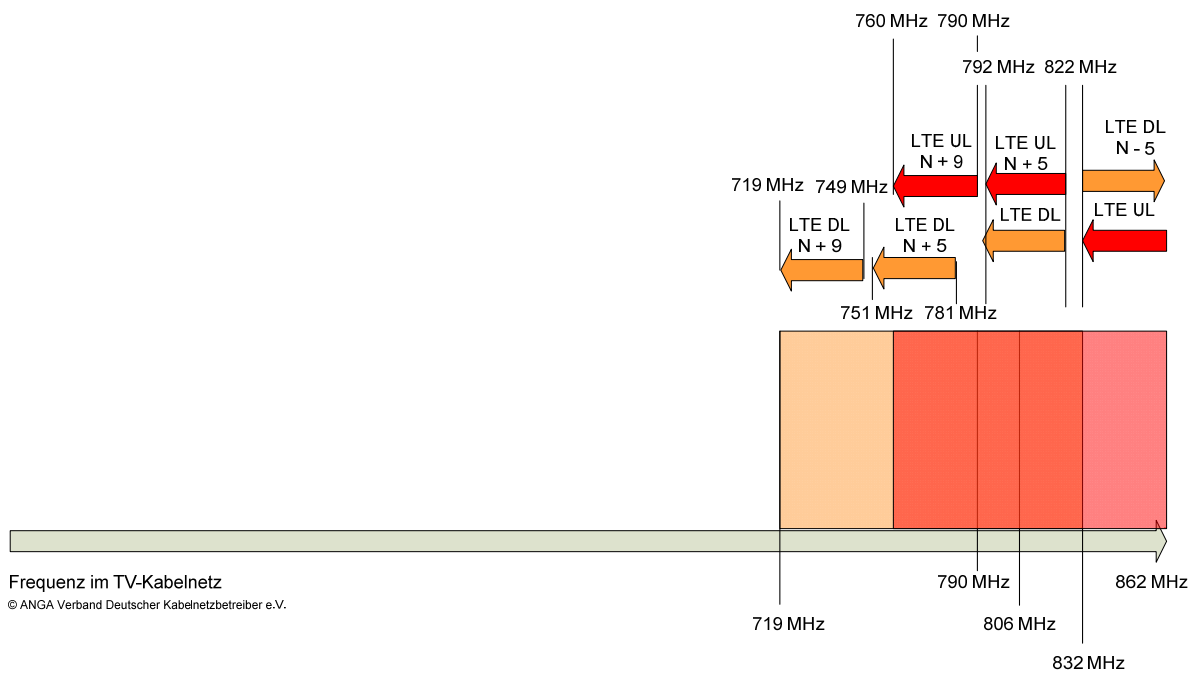
## 2.6.2 Mobilfunk-Downlink auf Breitband-Kabelnetze

**Tabelle 2-19** zeigt, welche Anforderungen durch Bundesnetzagentur in der Frequenzuteilung für den 800-MHz-Bereich definiert wurden. Bis 5 MHz in den nächsten Kanal gilt ein Wert von 22 dBm für Basisstationen. Dies entspricht nahezu der

maximalen zulässigen Leistung eines Mobilfunk-Endgerätes (23 dBm + 2,7 dB). Im Unterschied zum Mobilfunk-Endgerät ist diese Leistung 24 Stunden am Tag und 7 Tage die Woche existent.

**Tabelle 2-19** Übergangsanforderungen – BEM für Außerblock-EIRP-Grenzwerte von Basisstationen je Antenne über FDD-Downlink-Frequenzen  
 (Quelle: Frequenzuteilung 800 MHz, Bundesnetzagentur)

| Frequenzbereich von Außerblockaussendungen | Maximale mittlere Außerblock-EIRP | Messbandbreite |
|--|-----------------------------------|----------------|
| -10 bis -5 MHz (untere Blockgrenze)        | 18 dBm                            | 5 MHz          |
| -5 bis 0 MHz (untere Blockgrenze)          | 22 dBm                            | 5 MHz          |
| 0 bis +5 MHz (obere Blockgrenze)           | 22 dBm                            | 5 MHz          |
| +5 bis +10 MHz (obere Blockgrenze)         | 18 dBm                            | 5 MHz          |
| Übrige FDD-Downlink-Frequenzen             | 11 dBm                            | 1 MHz          |



**Abbildung 2-30** Beeinflussung von Breitband-Kabelnetzen durch Gleichkanalstörungen, Oszillatorfrequenzstörungen sowie Spiegelfrequenzstörungen und deren jeweiligen Überlappungen bezogen auf einen Can-Type-Tuner

Für einen Can-Type-Tuner zeigt **Abbildung 2-30** die Problematik der Gleichkanalstörungen und der in den Frequenzbereichen zusätzlichen Oszillator- und Spiegelfrequenzen. Die dunkelroten Pfeile zeigen die Gleichkanalstörungen, während die hellroten Pfeile die Oszillator- und Spiegelfrequenzstörungen darstellen.

Unter der Annahme, dass die Kanalmittefrequenz des LTE-800-Signals und die des Kabelkanals übereinstimmen, reicht das 10-MHz-LTE-Signal beim Kabelempfang in den oberen und unteren Nachbarkanal. Da das Spektrum als symmetrisch betrachtet wird, gilt für den unteren Teil des Spektrums das gleiche Bild, wobei die Frequenzen dann ein negatives Vorzeichen haben. Nach **Abbildung 2-32** haben aber die einzelnen Mobilfunkkanäle einen unterschiedlichen Überlappungsbereich mit den im CENELEC-Raster standardisierten Kabelkanälen. Deshalb muss genau genommen jeder Kanal gesondert betrachtet werden.

Derzeit wird mit DVB-C2 eine neue Generation für das digitale Kabelfernsehen erarbeitet. Dies bleibt in diesem Ergebnisbericht unberücksichtigt, weil noch keine Geräte/Baugruppen dafür verfügbar sind und somit auch auf keine Messergebnisse zurückgegriffen werden kann. Aus den technischen Spezifikationen von DVB-C2 ist erkennbar, dass die Übertragungskapazität gegenüber DVB-C signifikant größere Werte aufweist. Dies ermöglicht den Kabelnetzbetreibern mehr Programme/Dienste anzubieten. Die theoretische Möglichkeit die Verbesserungen von DVB-C2 zu DVB-C ausschließlich für die Erhöhung der Störfestigkeit einzusetzen, ist nicht vorgesehen.

In der nachfolgenden **Tabelle 2-20** sind die erforderlichen Angaben für das Sendesignal der LTE-800-Mobilfunk-Basisstation zusammengefasst und der daraus berechnete Störradius angegeben.

Dabei wurde einerseits der maximale Antennengewinn der LTE-800-Mobilfunk-Basisstation mit Bezug in Richtung der Gebäudeaußenwand, andererseits aber nur eine empfohlene maximale Sendeleistung<sup>33</sup> für städtische Gebiete sowie für ländliche Gebiete angesetzt.

Der Feldstärke-Störfestigkeitsgrenzwert von 106 dB( $\mu\text{V}/\text{m}$ ) basiert auf der Annahme eines notwendigen C/I von 57 dB<sup>34</sup> für das analoge TV Kabelsignal (DIN EN 50083-8 und DIN EN 60728-1).

---

<sup>33</sup> Nach aktuellem Stand ist die maximale In-Band-Sendeleistung grundsätzlich nicht beschränkt.

<sup>34</sup> Siehe auch Fußnote 20

**Tabelle 2-20** Berechnung der Störwirkung einer LTE-800-Basisstation auf Breitband-Kabelnetze (ohne angeschlossene Endgeräte) gemäß DIN EN 50083-8 und CEPT Report 30

| Frequenz   | $f$                           | 791-821 MHz           |                    |
|--|-------------------------------|-----------------------|--------------------|
|  |                               | Städtische Umgebung   | Ländliche Umgebung |
| Sendeleistung (E.I.R.P) bei 10 MHz Kanalbandbreite <sup>35</sup>   | $P_G$                         | 59 dBm                | 67 dBm             |
| Leistungsreduzierung für 5 MHz Kanalbandbreite   | $p_B$                         | -3 dB                 |                    |
| Antennengewinn, bezogen auf $\lambda/2$ -Dipol   | $G_d$                         | -2,15 dB <sub>d</sub> |                    |
| Messbandbreite im Bereich 30 MHz bis 950 MHz   | $B$                           | 120 kHz               |                    |
| Korrekturwert für Messbandbreite   | $k_B$                         | -16,2dB               |                    |
| Äquivalente Strahlungsleistung (E.R.P.), bezogen auf die Messbandbreite von 120 kHz  | $P_e = P_G + p_B + G_d + k_B$ | 37,65 dBm             | 45,65 dBm          |
| Feldstärke-Einstrahlungsfestigkeitsgrenzwert von Breitband-Kabelnetzen <sup>36</sup> an der Gebäudeaußenwand   | $E_O$                         | 106 dB( $\mu$ V/m)    |                    |
| Störradius bei Freiraumausbreitung, bezogen auf Gebäudeaußenwand und $\lambda/2$ -Dipol, (bei Annahme des maximalen Antennengewinns der LTE-800-Basisstation in Richtung der Gebäudeaußenwand) | $r$                           | 85 m                  | 210m               |

Wie aus den Werten der Störradien in **Tabelle 2-20** zu erkennen ist, kann die Störfeldstärke von 106 dB( $\mu$ V/m), für die Breitband-Kabelnetze ausgelegt sein müssen, in städtischer Umgebung - abhängig von der verwendeten Sendeleistung - in nennenswerten Bereichen rund um einen Mobilfunksender erreicht bzw. überschritten werden. Betroffen wäre der Frequenzbereich 790 MHz bis 862 MHz und der Bereich 719 MHz bis 790 MHz (Spiegelfrequenz und Oszillatorfrequenz).

### 2.6.3 Breitband-Kabelnetze auf Mobilfunk-Endgeräte

Jedes Breitband-Kabelnetz hat eine aus physikalischen Gründen nicht vollständig zu vermeidende Störstrahlung. Auch bei Einhaltung dieser nach den Vorschriften in Deutschland zulässigen Störstrahlungsgrenzwerte ergibt sich eine Mindestentfernung, ab der für ein LTE-800-Mobilfunk-Endgerät erst ein ungestörter Empfang der Mobilfunk-Basisstation gewährleistet ist.

<sup>35</sup> Draft CEPT Report 30, Report from CEPT to the European Commission in response to the Mandate on "The identification of common and minimal (least restrictive) technical conditions for 790-862 MHz for the digital dividend in the European Union"

<sup>36</sup> Nach DIN EN 50083-8 ist der Wert auf eine Messbandbreite von 120 kHz als Quasi-Spitzenwert bezogen (in Übereinstimmung mit CISPR 16-1-1).

In der nachfolgenden **Tabelle 2-21** sind die erforderlichen Angaben für die Empfindlichkeit eines Mobilfunk-Terminals zusammengefasst; außerdem ist der daraus berechnete Störradius eines Breitband-Kabelnetzes angegeben. Die Berechnung in der Tabelle geht dabei davon aus, dass für Mobilfunk-Endgeräte eine Desensibilisierung von 2 dB akzeptabel ist.

**Tabelle 2-21** Berechnung der Störwirkung eines Breitband-Kabelnetzes (ohne angeschlossene Endgeräte) gemäß DIN EN 50083-8 auf ein Mobilfunk-Endgerät

|   |                          |                            |
|---|--------------------------|----------------------------|
| Frequenz  | $f$                      | 800-MHz-Bereich            |
| Angenommene zulässige mittlere Störleistung bei 5 MHz Kanalbandbreite <sup>37</sup> | $P_I$                    | -97 dBm                    |
| Messbandbreite im Bereich 30 MHz bis 950 MHz  |                          | 120 kHz                    |
| Korrekturwert für Messbandbreite  | $k_B$                    | -16,2dB                    |
| Äquivalente zulässige Störleistung, bezogen auf Messbandbreite 120 kHz              | $P_e = P_I + k_B$        | -113,2 dBm<br>-23,2 dB(pW) |
| Zulässige Strahlungsleistung <sup>38</sup> vom Breitband-Kabelnetz (E.R.P)          | $P_N$                    | 20 dB(pW)                  |
| Zulässige Strahlungsleistung vom Breitband-Kabelnetz (E.I.R.P),                     | $P_{Ni}$                 | 22,15 dB(pW)               |
| Wanddämpfung  | $a_W$                    | 8 dB                       |
| Zulässige Strahlungsleistung innerhalb des Gebäudes (E.I.R.P)                       | $P_{zul} = P_{Ni} + a_W$ | 30,15 dB(pW)               |
| Erforderliche Freiraumdämpfung <sup>39</sup>  | $L_{bf} = P_{zul} - P_e$ | 53,35 dB                   |
| Störradius bei Freiraumausbreitung im Gebäude                                       | $r$                      | 13,9 m                     |

Aus der Größe des errechneten Störradius in **Tabelle 2-21** kann abgeleitet werden, dass ein Mobilfunk-Endgerät an der Grenze des Versorgungsgebietes oder bei ungünstigen Ausbreitungsverhältnissen innerhalb eines Gebäudes mit großer Wahrscheinlichkeit bis zu einem Abstand von 13,9 m von einem Breitband-Kabelnetz mit Störungen rechnen muss, selbst wenn dieses normgemäß aufgebaut ist und die Grenzwertvorgaben für die Störstrahlung eingehalten werden.

Die o.a. Betrachtungen gehen davon aus, dass die Grenzwerte für die Störstrahlung von Breitband-Kabelnetzen gemäß DIN EN 50083-8 (ohne angeschlossene Endgeräte) außerhalb des Gebäudes gelten. Für den Fall, dass allerdings ein öffentlicher Mobilfunkdienst (z.B. LTE-800 im Frequenzbereich 790 MHz bis 862 MHz) durch ein Breitband-Kabelnetz gestört wird, gelten in Deutschland gemäß § 4 der „Verordnung zum Schutz von öffentlichen Telekommunikationsnetzen und Sende- und Empfangsfunkanlagen, die in definierten Frequenzbereichen zu Sicherheitszwecken betrieben werden (Sicherheitsfunk-Schutzverordnung – SchuTSEV)“ die darin enthaltenen Grenzwerte auch innerhalb von Gebäuden. Im Störungsfall kann daher nicht in allen

<sup>37</sup> 3GPP TS 36.101 V8.5.1 (2009-03), Tabelle 7.3.1-1

<sup>38</sup> Nach DIN EN 50083-8 ist der Wert auf eine Messbandbreite von 120 kHz als Quasi-Spitzenwert bezogen (in Übereinstimmung mit CISPR 16-1-1).

<sup>39</sup>  $L_{bf} = -27,56 + 20 \cdot \log(f) + 20 \cdot \log(r)$  mit  $f$  in MHz und  $r$  in m (Rec. ITU-R P.525-2)

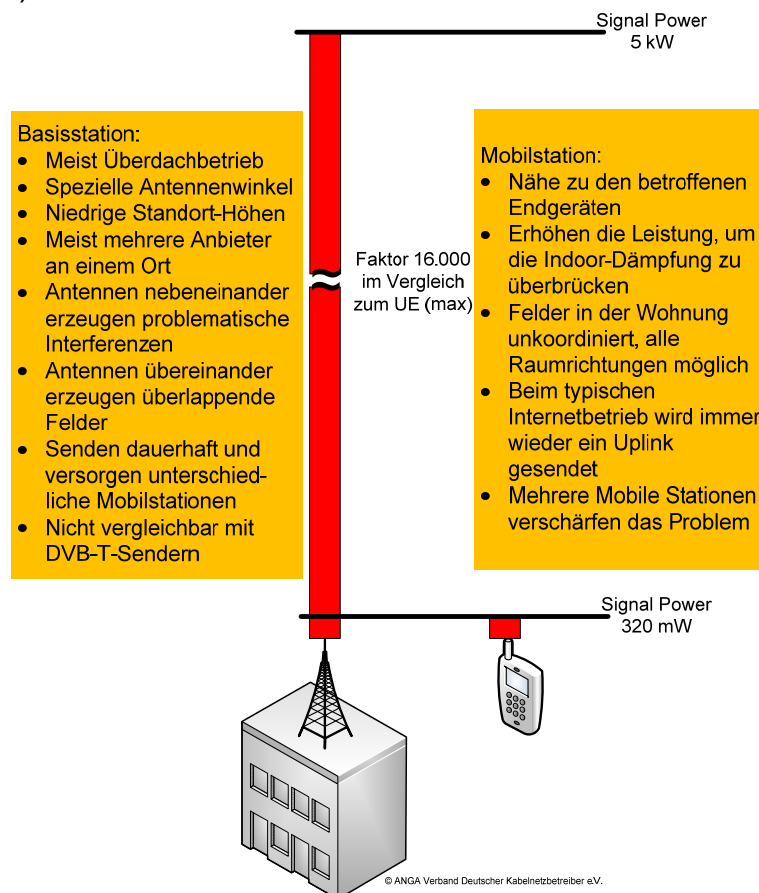


Fällen eine Wanddämpfung von 8 dB für eine Gebäudeaußenwand unterstellt werden.

## 2.7 Bewertung der Verträglichkeitsszenarien

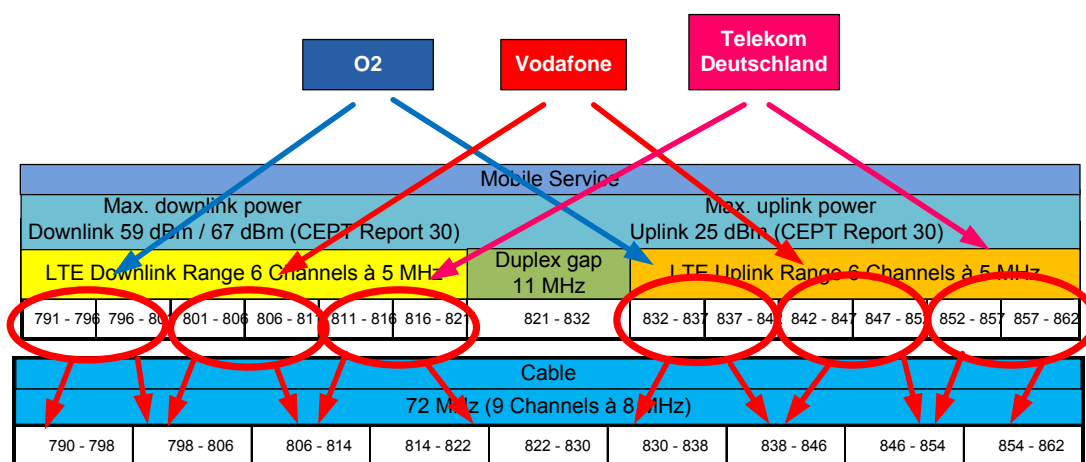
### 2.7.1 Kanalraster

Die Bedingungen für einen Gleichkanalempfang treten auf, wenn im Breitband-Kabelnetz und im Mobilfunksystem LTE-800 der gleiche Frequenzbereich genutzt wird. Dies gilt grundsätzlich in beide Richtungen einer möglichen Beeinflussung. Bei Anwendung des vorgeschlagenen harmonisierten CEPT-Bandplans für das 800-MHz-Band (der harmonisierte FDD-Bandplan ist für diesen Bericht relevant) senden Mobilfunk-Endgeräte nur im Frequenzbereich 832 MHz bis 862 MHz. Die Kanäle im Frequenzbereich 791 MHz bis 821 MHz können von Basisstationen gestört werden. Die betrachteten Störszenarien sind daher auch nur für die geografischen Gebiete relevant, in denen die genannten Frequenzbereiche bzw. entsprechende angrenzende Frequenzen (z.B. die Oszillatorfrequenzen (N+5) und Spiegelfrequenzen (N+9)) im Breitband-Kabelnetz genutzt werden. Damit wird die Problematik der möglichen Störungen auf den Frequenzbereich ab 718 MHz erweitert (siehe dazu auch **Abbildung 2-30**).



**Abbildung 2-31** Vergleich der LTE-800-Downlink-Leistung und der LTE-800-Uplink-Leistung

**Abbildung 2-31** zeigt den Vergleich der Downlink- und Uplink-Leistungen bei LTE-800. Im CEPT Report 30 wurde für die LTE-Uplink-Leistung max. 25 dBm angenommen (siehe auch Fußnote 32) und für die LTE-800-Basisstation wurden die Sendeleistungen 64 dBm und 67 dBm zugelassen. Hohe Sendeleistungen können nötig sein, um einerseits räumlich weit entfernte Mobilfunk-Endgeräte zu erreichen oder andererseits einen hohen Datendurchsatz zu ermöglichen. Im CEPT Report 30 Chapter A1.1.2.2 ECN cell radius steht dazu folgender Text: "In environments where the cell is noise-limited, however, the BS EIRP can be increased (e.g., up to 64 or 67 dBm) to provide greater DL throughput (but the cell size would remain unchanged due limits in the UL link-budget)."



© ANGA Verband Deutscher Kabelnetzbetreiber e.V.

**Abbildung 2-32** Kanalplan für den Frequenzbereich 790 MHz bis 862 MHz mit einer Darstellung der Uplink-Beeinflussung von TV-Kabelkanälen.

Außerdem wird aus **Abbildung 2-32** erkennbar, dass aufgrund der unterschiedlichen Kanalbandbreiten die gegenseitigen Beeinflussungsmöglichkeiten in jedem Kanal anders sind<sup>40</sup>, jedoch durch die jeweiligen 10-MHz-Mobilfunkblöcke immer zwei Kabelkanäle von den Störungen betroffen sind. Für den Uplink-Bereich wurden die jeweiligen direkten Frequenzüberlappungen dargestellt. Die Messungen in Kolberg zeigten, dass schon eine geringe Überlappung der Kanäle zu einer Störung führt<sup>41</sup>.

<sup>40</sup> Dieser Umstand macht die Zuordnung eines Fehlerfalls zu einem bestimmten Mobilfunkbetreiber nahezu unmöglich. Dies muss bei der Störbearbeitung beachtet werden

<sup>41</sup> Measurement Report G531/01077/09 Immunity of integrated TV receivers, set top boxes and data modems connected to broadband cable and TV networks against radiation from LTE user equipment Figure 12: Minimum LTE field strength at the location of the DUT with frequency offset causing disturbance to iDTVs

## 2.7.2 Einordnung der Mobilfunk-Leistungen

### Einstrahlung in die Koaxialkabelstruktur

Die oben angestellte theoretische Betrachtung kommt in **Tabelle 2-10** zu dem Ergebnis, dass ein Mobilfunk-Endgerät, das auf der gleichen Frequenz sendet, auf der auch ein räumlich benachbarter Kabelempfänger gerade empfängt, bei einem System-Schirmungsmaß von 75 dB einen theoretischen Abstand von mindestens 8,1 m von diesem haben müsste, um ihn nicht zu beeinträchtigen. Diese eher optimistische Betrachtung (realistische Werte für das System-Schirmungsmaß sind 55 dB oder zukünftig 65 dB) muss jedoch angesichts der tatsächlichen Betriebsverhältnisse im Kabelumfeld und im Mobilfunk relativiert werden.

**Tabelle 2-13** zeigt, dass heute eine System-Schirmdämpfungsmaß von 55 dB als der realistische Fall in den Breitband-Kabelnetzen angesehen werden kann. Der angestrebte Fall sollte ein System-Schirmdämpfungsmaß von 65 dB sein.

- Wird die Störung auf den Kabelempfang in einer Nachbarwohnung betrachtet, so muss eine Wanddämpfung von mindestens 4 dB berücksichtigt werden, die den erforderlichen Mindestabstand zwischen Mobilfunk-Endgerät und dem Breitband-Kabelnetz auf 21 m reduziert, bei einem System-Schirmdämpfungsmaß von 65 dB.

Es ist darauf hinzuweisen, dass LTE anders als UMTS arbeitet und die Endgeräte nicht mit einem einheitlichen Empfangspegel an der Basisstation ankommen müssen.

### UMTS (Telstra-Studie an einem lokalen Netz in Australien)

Eine Untersuchung der Firma Telstra an einem von ihr in Australien im 850-MHz-Bereich betriebenen UMTS-Netz hat ergeben, dass in den betrachteten 24 Stunden und in den betrachteten räumlichen Gebieten 90% aller Verbindungen im ländlichen Umfeld mit einer mittleren Leistung von 14 dBm und im städtischen Umfeld mit 8 dBm abgewickelt werden. Leider ist es eine Bewertung der Relevanz dieser Ergebnisse nahezu unmöglich, wie die folgenden Punkte beispielhaft zeigen:

**a)** Das Nutzungsszenario der angegebenen Geräte wurde nicht ermittelt. (Reine Sprachdienste oder Breitbandanwendungen).

In der Studie findet sich leider keine Angabe, ob es sich um Outdoor- oder Indoor-Einsätze der entsprechenden Geräte handelte. Darüber hinaus wurde nicht zwischen Geräten für mobilen Datenverkehr (mit der Möglichkeit des Anschlusses einer externen Antenne) sowie Geräten ohne diese (z.B. Handys) unterschieden. Beide Punkte sind aber entscheidende Aspekte in Bezug auf die Sendeleistung eines Terminals, insbesondere da es sich bei den Störungen auf Breitband-Kabelnetze überwiegend um Indoor-Aussendungen handeln wird.

**b)** Die Datenbasis für die Auswertung ist unsicher.

Dies betrifft insbesondere die Parameter bzw. Werte, die das Mobilfunk-Endgerät an die jeweilige Basisstation zurückmeldet und wie genau diese sind. Die maximale TRP der Mobilfunk-Endgeräte wird nur mit einer Toleranz von +/- 2dB angegeben, um z.B. Umwelteinflüsse und Schwankungen in der Produktion zu berücksichtigen. Daher wird die Genauigkeit der von Telstra verwendeten Daten allenfalls in ähnlicher Größenordnung liegen.

Die Daten sagen darüber hinaus nichts über die in eine Richtung abgestrahlte Leistung aus, die entscheidend von der Antennencharakteristik abhängt, (selbst die TRP liefert nur die über die Kugeloberfläche um die Antenne integrierte Leistung). Schließlich wird bei Geräten mit externem Antennenanschluss allenfalls die an der Antennenbuchse evtl. anliegende Leistung an die Basisstation zurückmeldet, keinesfalls aber die wirkliche EIRP.

**c)** Die Basis der Ermittlung der Werte ist völlig unklar.

Die Darstellung der Daten lässt für jeden einzelnen Datenpunkt eine Mittelung über einen gewissen Zeitraum erahnen. Damit würden aber z.B. Einflüsse des TPC, d.h. die Steuerung der Sendeleistung in Abhängigkeit vom Funkkanal, gerade ignoriert. Entscheidend für Störungen auf den Rundfunkdienst sind momentane, auch kurzzeitige Spitzenwerte; diese können z.B. einen Verlust der Synchronisation des Empfängers bedeuten.

Des Weiteren ist keine durchschnittliche Dauer der Verbindungen angegeben. Nach den Erfahrungen z.B. im Funkversuch Baldern wird bei der Verbindungserstellung zunächst ein größeres Signal gesendet, das dann von der Mobilfunk-Basisstation (BS) mittels TPC herunter geregelt wird. Wenn der Anteil der Dauerverbindungen innerhalb der (relativ kurzen) Messdauer relativ hoch war, so hätte dies einen nicht vernachlässigbaren Einfluss auf die angegebene Leistung.

Die Studie gibt an, dass die Daten in einem 24-Stunden-Intervall in einem einzelnen Netz erhoben wurden. Leider fehlen Angaben zum konkreten Tag und zur Jahreszeit, auch ob es z.B. zusätzliche Ereignisse gab. Unbestritten sind Nutzerverhalten und Nutzungsorte an Wochenenden anders als in der Woche, was z.B. wichtig ist in Bezug auf die Entfernung zur BS und die daraus resultierenden Leistungen. Erst die Erhebung dieser Daten über ein Jahr wäre statistisch relevant, im Übrigen auch in Bezug auf die Wellenausbreitung der Signale.

**d)** Die Netzabdeckung und die Akzeptanz der von Telstra angebotenen Dienste ist unklar.

Dies betrifft auch die Aufteilung der Tarife bei Telstra, z.B. ob Datentarife angeboten werden und in welchem Umfang sie von den Kunden genutzt werden. Die Nutzung der Terminals für Sprache oder für Daten hat wiederum einen Einfluss auf viele der oben genannten Parameter wie z.B. Sendeleistung und Gesprächsdauer, auch zur mobilen breitbandigen Internetanbindung und speziell in ländlichen Räumen.

Ignoriert man die unter a) bis d) genannten Punkte, so ergäben sich unter Berücksichtigung der oben genannten Sendeleistungen der Mobilfunk-Endgeräte folgende Störradien, in Summe zu einer – nur im Einzelfall evtl. möglichen – Erhöhung des Signalpegels im Breitband-Kabelnetz um 10 dB, einem nicht realistischen System-schirmungsmaß, sowie einer zusätzlichen Wanddämpfung von 4 dB.

- Bei einer angenommenen Sendeleistung des Mobilfunk-Endgerätes von 14 dBm im ländlichen Umfeld würde sich der erforderliche Mindestabstand auf 6 m bei einer System-Schirmdämpfungsmaß von 65 dB reduzieren.
- Bei einer angenommenen Sendeleistung des Mobilfunk-Endgerätes von 8 dBm im städtischen Umfeld würde sich der erforderliche Mindestabstand auf 3 m bei einem System-Schirmdämpfungsmaß von 65 dB reduzieren.

## LTE

Grundsätzlich gibt es bei LTE drei Parameter, mit denen z.B. der Datendurchsatz des Uplinks beeinflusst werden kann: die Signalstruktur im Zeitbereich, die Signalstruktur im Frequenzbereich sowie die Sendeleistung des Mobilfunk-Endgerätes.

Im Zeitbereich können Terminals „abschalten“, wenn keine Kommunikation (Übertragung) benötigt wird. Im Frequenzbereich können ein, zwei oder mehrere RB zugewiesen werden.

Im Unterschied zu UMTS müssen bei LTE die an einer Basisstation ankommenden Signale mehrerer Endgeräte aber nicht mehr in etwa gleich groß sein. Daher muss z.B. die Sendeleistung nicht zwangsmäßig reduziert werden, sie kann – in Abhängigkeit vom aktuellen Funkkanal – auch beibehalten oder sogar erhöht werden. Eine solche höhere Leistung kann z.B. dazu verwendet werden, um das für eine bessere Modulationsart und damit eine höhere Datenrate notwendige höhere C/N zu erreichen.

Aktuelle Studien gehen schließlich davon aus, dass zukünftig bis zu 90% des Datenverkehrs von Indoor abgewickelt werden, aufgrund der Wanddämpfungen mit den entsprechenden Auswirkungen auf die Sendeleistung der Mobilfunk-Endgerätes. Man möchte z.B. LTE als „Funk“-DSL einsetzen und darüber auch IPTV anbieten. Damit ist die Sendezeit der Modems deutlich höher anzusetzen als bei klassischer Telefonie über GSM.

## Fazit:

- Eine Bewertung der Relevanz der Ergebnisse der Telstra-Studie ist nahezu unmöglich, u.a. weil die Zeitvarianz der vom Mobilfunk-Endgerät gesendeten Signale vernachlässigt wird. Kurzzeitige Spitzenwerte dieser Signale sind aber von großer Bedeutung für potentielle Störungen des Rundfunkempfangs.

- Die Studie von Telstra basiert ausschließlich auf UMTS. Eine entsprechende Übertragung auf LTE-Netze ist aber aus vielerlei Gründen unmöglich.
- Alle aktuellen Dokumente – z.B. der CEPT Report 30 und die EU Kommissionsentscheidung 2010/267/EU – ermöglichen deutlich höhere Leistungen als 25 dBm, u.a. mit der Zielrichtung des Einsatzes von Breitband-Terminals in ländlichen Gebieten. Dies wird u.a. durch eine externe Antennenbuchse möglich, wie es z.B. das in Australien eingesetzte W35 der Firma Ericsson<sup>42</sup> hat. Auch in Wittstock wurde über den Einsatz externer Antennen berichtet, z.B. von Yagi-Antennen auf dem Dach des Hauses.
- Mit einer Sendeleistung von 30 dBm ergäben sich aber Störradien von deutlich über 40 m, bzw. von über 25 m bei Berücksichtigung einer entsprechenden Wanddämpfung von 4 dB und Systemschirmdämpfung von 65 dB.

### 2.7.3 Mobilfunk-Basisstationen und Mobilfunk-Endgeräte

Im CEPT Report 30 werden für die LTE-800-Mobilfunk-Basisstationen und -Endgeräte folgende Annahmen getroffen.

**Tabelle 2-22** Werte für LTE-800-Mobilfunk-Basisstationen gemäß CEPT Report 30

|  |  |
|--|--|
| EIRP                                   | between 59 dBm@10 MHz<br>and 67 dBm@10 MHz   |
| Antenna gain<br>(feeder loss included) | 15 dBi   |
| Antenna height                         | 30 m in urban environment<br>60m in rural environment  |
| Antenna pattern                        | Either based on existing antenna<br>characteristics or modelled using<br>ITU-R Recommendation F.1336 |

<sup>42</sup> Diese Terminals wurden u.a. im Funkversuch in Baldern genutzt. Mit den dabei von Vodafone ebenfalls ausgegebenen externen Antennen wurden mühelos Sendeleistungen von 30 dBm erreicht.

**Tabelle 2-23** Annahmen für Mobilfunk-Endgeräte gemäß CEPT Report 30)

|  |  |
|--|--|
| EIRP                                   | 23 dBm   |
| Antenna gain<br>(feeder loss included) | 0 dBd (2.15 dBi)   |
| Antenna height                         | 1.5 m above ground level   |
| Antenna pattern                        | Either based on existing antenna characteristics or modelled using ITU-R Recommendation F.1336 |

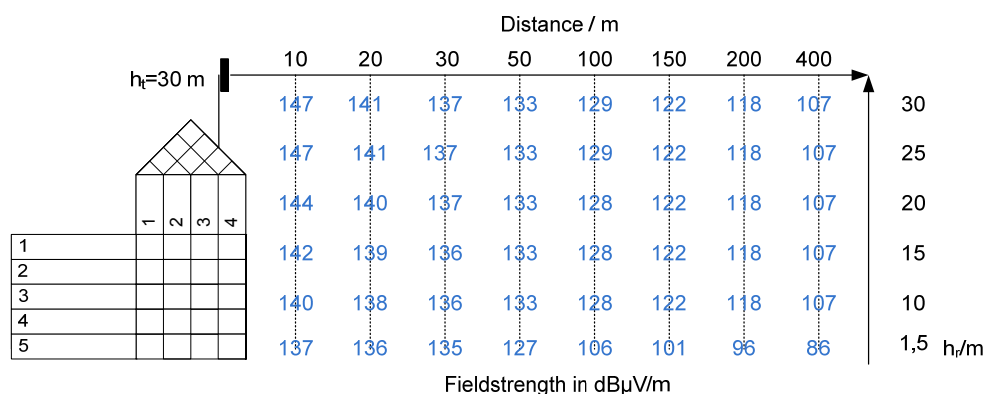
In der Musterfrequenzzuteilung der Bundesnetzagentur vom 11. Oktober 2010 ([www.bnetza.de](http://www.bnetza.de)) finden sich für die Teilnehmerstationen oder Teilnehmergeräte die folgenden technischen Bedingungen:

Maximale mittlere blockinterne Sendeleistung: 23 dBm

Für spezifische Anwendungen, z. B. feste Endgeräte in ländlichen Gebieten, kann der Grenzwert in Tabelle 5 erleichtert werden, sofern dies den Schutz anderer Dienste, Netze und Anwendungen sowie die Erfüllung grenzübergreifender Verpflichtungen nicht beeinträchtigt.

Hinweis zu den 23 dBm:

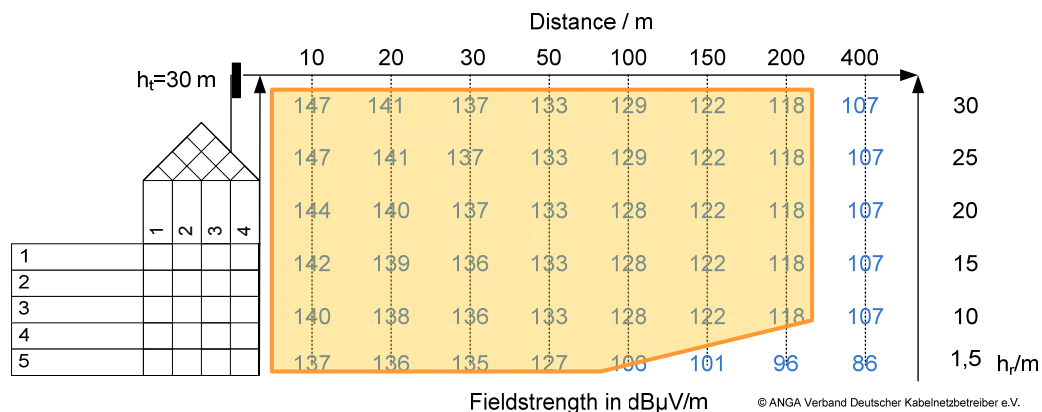
Dieser Leistungsgrenzwert ist als EIRP für feste oder eingebaute Mobilfunk-Endgeräte bzw. als TRP für mobile oder ortsungebundene Mobilfunk-Endgeräte spezifiziert. Für isotrope Antennen sind EIRP und TRP äquivalent. Für diesen Wert gilt eine Toleranz bis +2 dB, um extremen Umweltbedingungen und Exemplarstreuungen Rechnung zu tragen.



Berechnung nach der Okumura-Hata-Modell (CEPT Report 30) mit  $h_t=30\text{ m}$  und  $h_r$  variabel von 1,5 m bis 30 m  
© ANGA Verband Deutscher Kabelnetzbetreiber e.V.

**Abbildung 2-33** Berechnung der Feldstärke nach dem Okumura-Hata-Modell für ein Signal mit einer Leistung (EIRP) von 62,5 dBm / 5 MHz

**Abbildung 2-33** zeigt die Berechnung der Feldstärken nach dem Okumura-Hata-Modell, welches für die Berechnungen im CEPT-Report 30 verwendet wurde. Die Leistung der LTE-800-Basisstation beträgt 62,5 dBm / 5 MHz. Die Höhen des Empfängers wurden variiert von 1,5 m bis auf 30 m. Die Feldstärke wurde auf eine reine Sichtverbindung berechnet. Diese Darstellung zeigt den Verlauf der Feldstärke, der von einer Basisstation ausgeht. Die Höhe des Senders wurde den Werten des CEPT-Reports 30 entnommen. Das Okumura-Hata-Modell beschreibt die Ausbreitung der Funkwellen bezogen auf die Entfernung zum Sender und zur Höhe des Senders. Genaue Berechnungsmodelle sind im CEPT-Report 30 beschrieben.



**Abbildung 2-34** Der farblich markierte Bereich kennzeichnet den Bereich, bei dem im Gleichkanal und zusätzlich bei N+5 und N+9 mit Störungen durch die Basisstationen gerechnet werden muss

**Abbildung 2-34** zeigt in dem farblich markierten Bereich, basierend auf den Ergebnissen der **Abbildung 2-33**, in dem mit Störungen durch die LTE-800-Basisstation im Gleichkanal, sowie bei N+5 und N+9 gerechnet werden muss. Der Grenzwert für ein Breitband-Kabelnetz liegt derzeit bei 106 dB( $\mu\text{V}/\text{m}$ ) in 3 m Abstand von der Gebäudeaußenwand. Hierbei wurde eine Gebäudewanddämpfung von 8 dB berücksichtigt und ebenfalls eine 8 dB Grenze für die Störungen bei N+5 und N+9 eingerechnet. Wenn man von den minimalen Feldstärkewerten der Kolberg-Messungen ausgeht, sieht die heutige Störungssituation noch deutlich dramatischer aus. Das Störrisiko könnte sich außerdem durch die bei den Kolberg-Messungen aufgezeigten Eigenschaften von Durchschleifeingängen bei Set-Top-Boxen erhöhen.

Eine entsprechende Antennencharakteristik würde auf der einen Seite dem Mobilfunk-Endgerät eine entsprechend veränderte Empfangssituation vorspiegeln und damit zur Erhöhung seiner Sendeleistung führen. Auf der anderen Seite würde ebenfalls der Datendurchsatz begrenzt werden.

In dem Beispiel nach **Abbildung 2-34** wird im Nahbereich und für eine Höhe von max. 10 m eine Feldstärke von 0,2 V/m (= 106 dB( $\mu\text{V}/\text{m}$ )) unterschritten, erst ab einem Abstand zwischen 30 m und 50 m wird diese überschritten. Bei großem Abstand



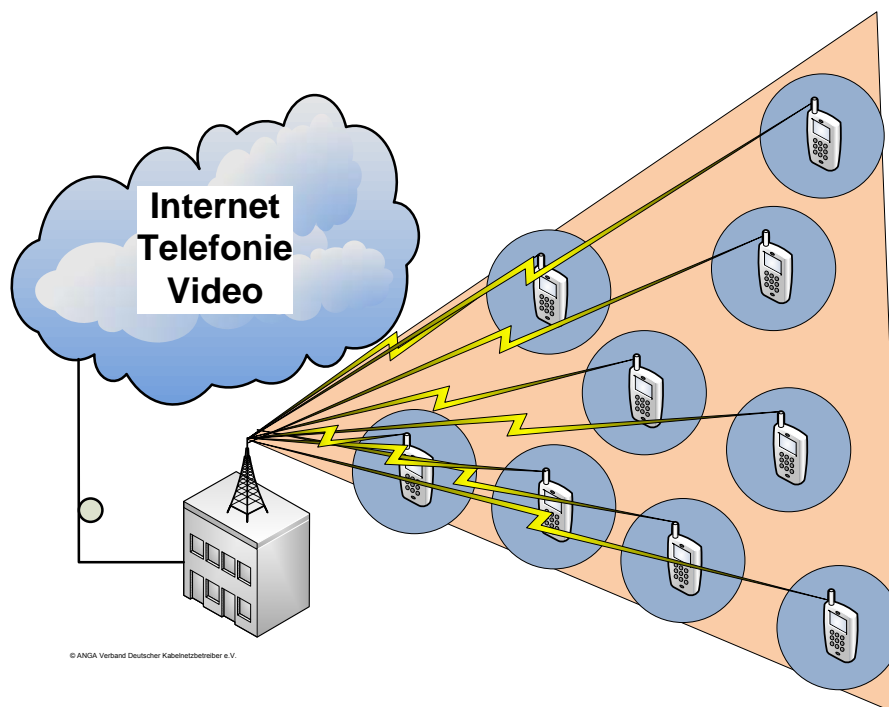
zur LTE-800-Basisstation ist das Modell der Freiraumdämpfung allerdings nur bedingt realistisch, da Abschattungen auftreten. (Beamforming ist bei LTE-800 zur Zeit nicht angedacht.)

### Störrisiko durch mehrere Mobilfunknetze

Im Frequenzbereich 790 MHz bis 862 MHz werden derzeit in Deutschland drei Mobilfunknetze aufgebaut. Da im Fall der Überlappung der Versorgungsbereiche verschiedener Anbieter mehrere Kanäle im Downlink und Uplink in Betrieb sind, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit einer zeitlichen und räumlichen Frequenzkollision mit Breitband-Kabelnetzen. Außerdem können sich bei einer größeren Anzahl von Senderstandorten (auch verschiedener Anbieter) Summeneffekte ergeben, die zu einer Übersteuerung (Overloading) der Tuner bei den Nutzern führen würden. Die direkte Zuweisung einer Störung zu einem Mobilfunknetzbetreiber wird in diesem Fall schwierig. Dabei muss für die Basisstationen von einem 24 Stunden pro Tag / 7 Tage pro Woche–Dauerbetrieb ausgegangen werden, während die Aussendungen der Mobilfunk-Endgeräte durch das Nutzerverhalten bestimmt sind.

### Störrisiko durch mehrere Mobilfunk-Endgeräte

Bisher wurde bei den Betrachtungen nur von einer Basisstation und einem Mobilfunk-Endgerät ausgegangen. **Abbildung 2-35** zeigt die Möglichkeit, dass mehrere Mobilfunk-Endgeräte in einer Zelle Kontakt mit der Basisstation aufnehmen und kommunizieren. Dadurch kann die Verkehrsauslastung der Basisstationen sehr hoch werden, so dass die Basisstationen mit konstant hoher Leistung arbeiten. Diese Situation erhöht das Störrisiko durch Basisstationen.



**Abbildung 2-35** Erhöhung der Störproblematik durch gleichzeitigen Betrieb mehrerer Mobilfunk-Endgeräte in einer Zelle

Durch den gleichzeitigen Betrieb mehrerer LTE-800-Mobilfunk-Endgeräte innerhalb der Zelle wird sich die Summenstörleistung an einem Empfangsort erhöhen, was zu einem größeren Störpotenzial für Breitband-Kabelnetze und Kabelempfänger führt.

## 2.8 Wahrscheinlichkeitsberechnung

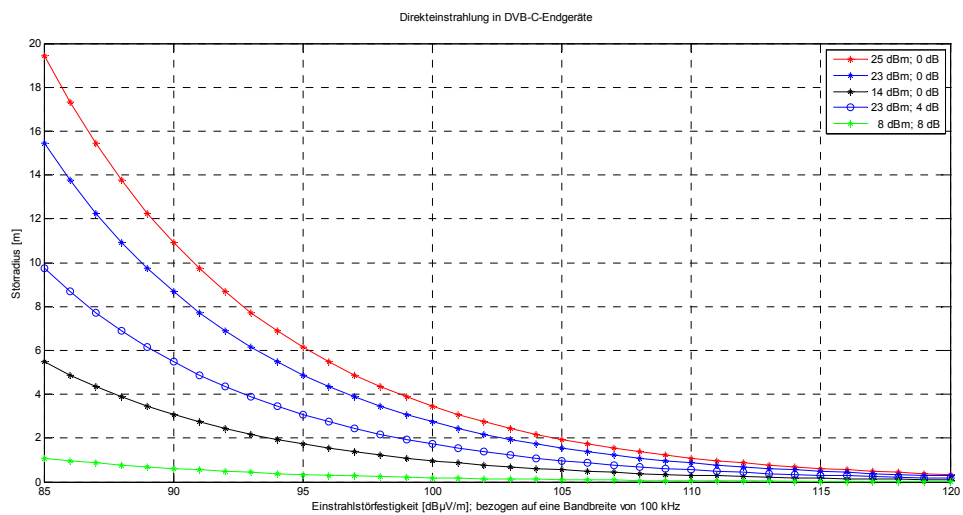
- Alle Angaben bezüglich der Wahrscheinlichkeiten beziehen sich auf den Gleichkanalfall.
- Es wird angenommen, dass LTE-800- Mobilfunk Basisstationen oder -Endgeräte in diesem Kanal senden und gleichzeitig dieser Kanal für den DVB-C-Empfang genutzt wird (Bedingte Wahrscheinlichkeit).
- Variable sind: LTE-800-Sendeleistung, Einstrahlungsfestigkeit der DVB-C-Endgeräte und das Schirmungsmaß der Kabelkomponenten
- Bei den Variablen wird eine Gleichverteilung angesetzt.
- Eine Betrachtung der zeitlichen Wahrscheinlichkeiten erfolgt aus Komplexitätsgründen nicht.
- Berechnung der Feldstärke mittels  $\lambda/2$  – Dipol
- Berücksichtigung der isotropen Strahlungscharakteristik:  $G_A = - 2,15$  dB

### 2.8.1 Direkteinstrahlung in DVB-C-Endgeräte

Annahmen:

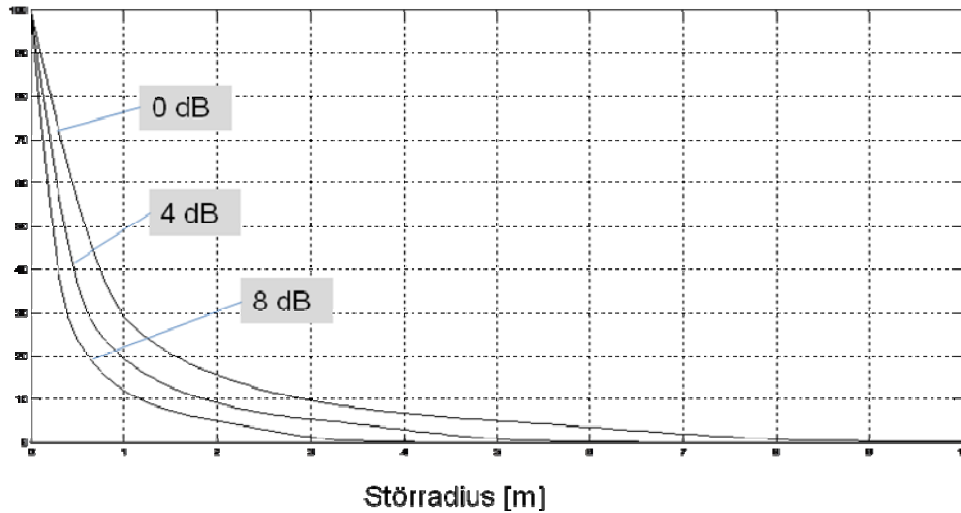
- Einstrahlungsfestigkeit: 90 dB( $\mu$ V/m) bis 130 dB( $\mu$ V/m)
  - 100 Werte (dB) gleichmäßig verteilt (min. bis max.)
  - Nicht gemittelte Werte
  - Alle Werte mit gleicher Wahrscheinlichkeit
- Sendeleistung der Mobilfunk-Endgeräte
  - 8 dBm, 14 dBm, 23 dBm, 25 dBm
  - 25 dBm mit 10%
  - Die anderen Leistungen mit 30%
  - Insgesamt 10 Werte
- 1000 Werte für die Störradien
  - Gleichkanalbetrachtung
  - Gesamtes LTE-Spektrum befindet sich im DVB-C-Kanal

**Abbildung 2-36** Einstrahlstörfestigkeit und LTE-Sendeleistungen



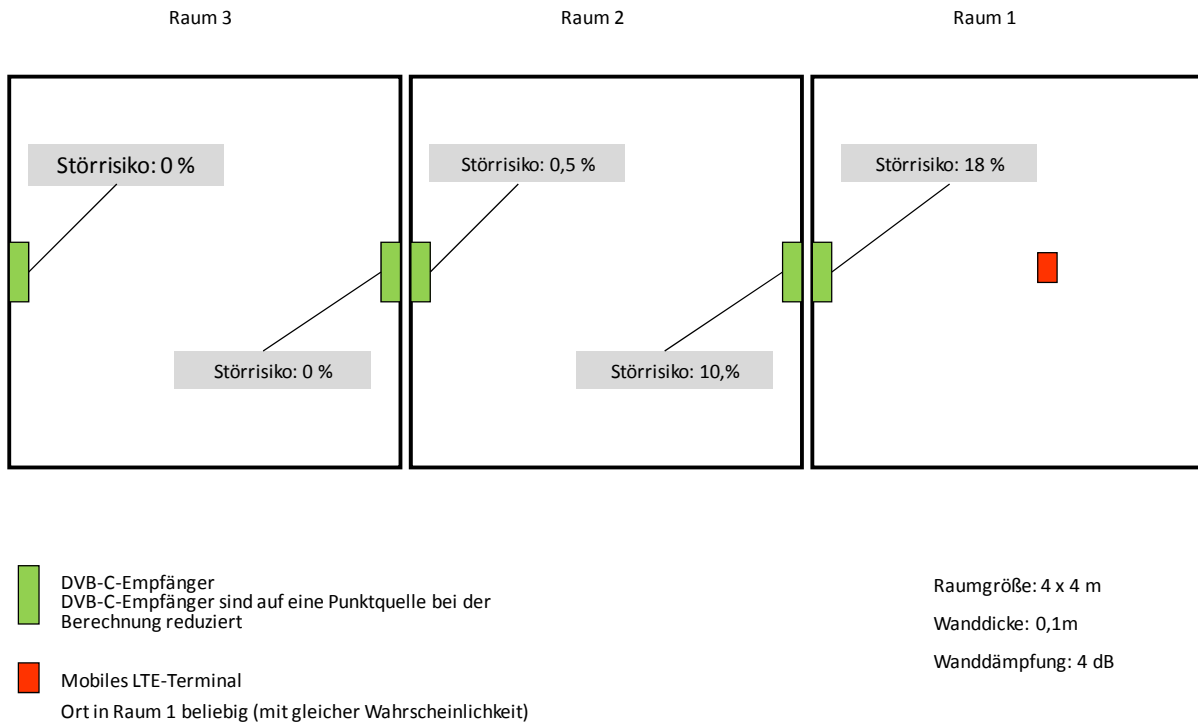
**Abbildung 2-37** Störradien in Abhängigkeit von der Einstrahlstörfestigkeit der DVB-C-Endgeräte (ausgewählte Kurven)

Störwahrscheinlichkeit  $W_1(r, D_w)$  [%]



**Abbildung 2-38** Bedingte Störwahrscheinlichkeit bei Direkteinstrahlung in DVB-C-Endgeräte (Gleichkanal) in Abhängigkeit von der Wanddämpfung

Die dargestellten Störwahrscheinlichkeiten sind bedingte Wahrscheinlichkeiten. Bedingung: LTE sendet in dem Kanal, der gleichzeitig für DVB-C genutzt wird.



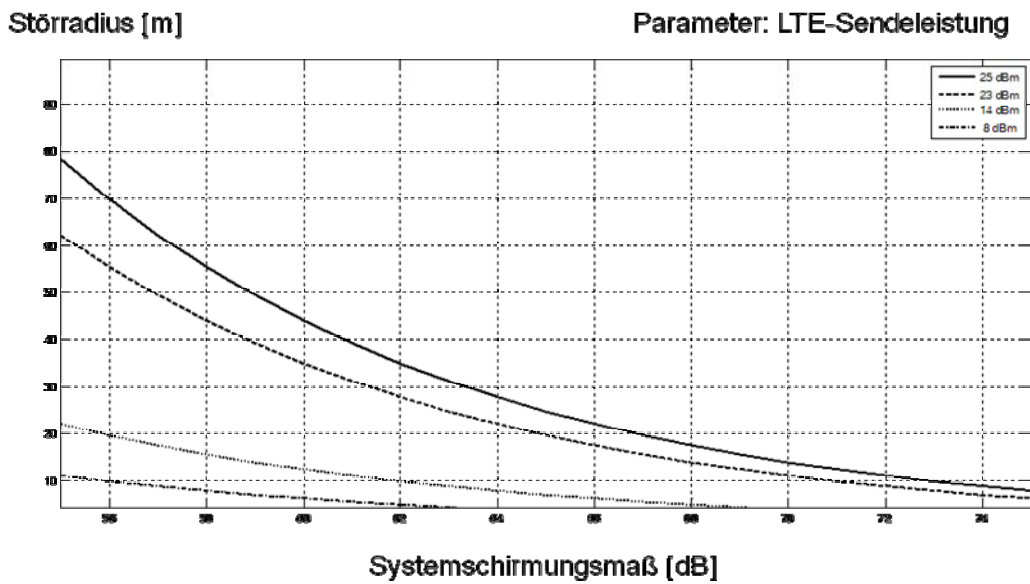
**Abbildung 2-39** Störisiko bei Direkteinstrahlung in DVB-C-Endgeräte (Gleichkanal)

## 2.8.2 Direkteinstrahlung in Kabel-Systemkomponenten

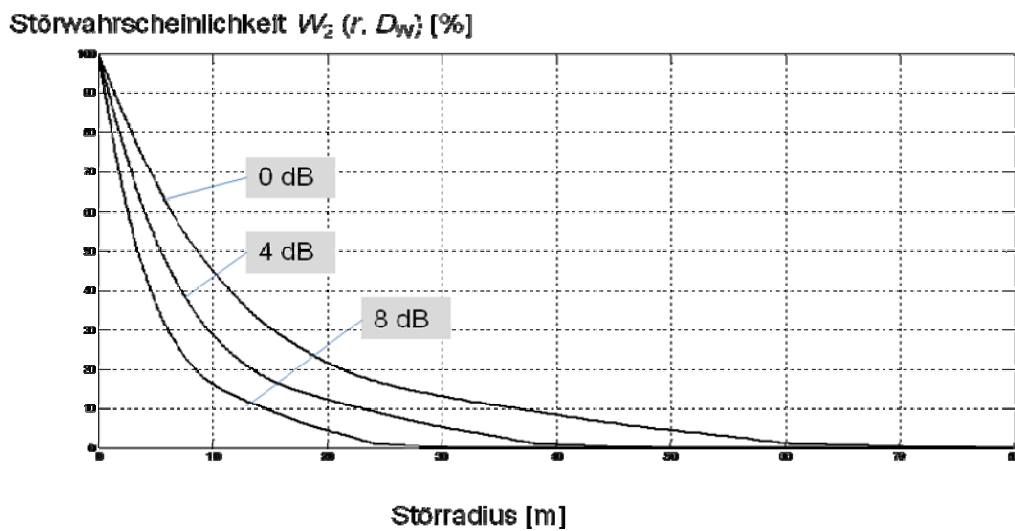
Annahmen:

- Schirmungsmaß: 55 dB bis 75 dB
  - 100 dB-Werte gleichmäßig verteilt (min. bis max.)
  - Alle Werte mit gleicher Wahrscheinlichkeit
- Sendeleistung der Mobilfunk-Endgerätes
  - 8dBm, 14 dBm, 23 dBm, 25 dBm
  - 25 dBm mit 10%
  - Die anderen Leistungen mit 30%
  - Insgesamt 10 Werte
- 1000 Werte für die Störradien
- DVB – C – Pegel: 47 dB( $\mu$ V)
- 64 – QAM
- Gleichkanalbetrachtung
- Gesamtes LTE – Spektrum im DVB – C – Kanal

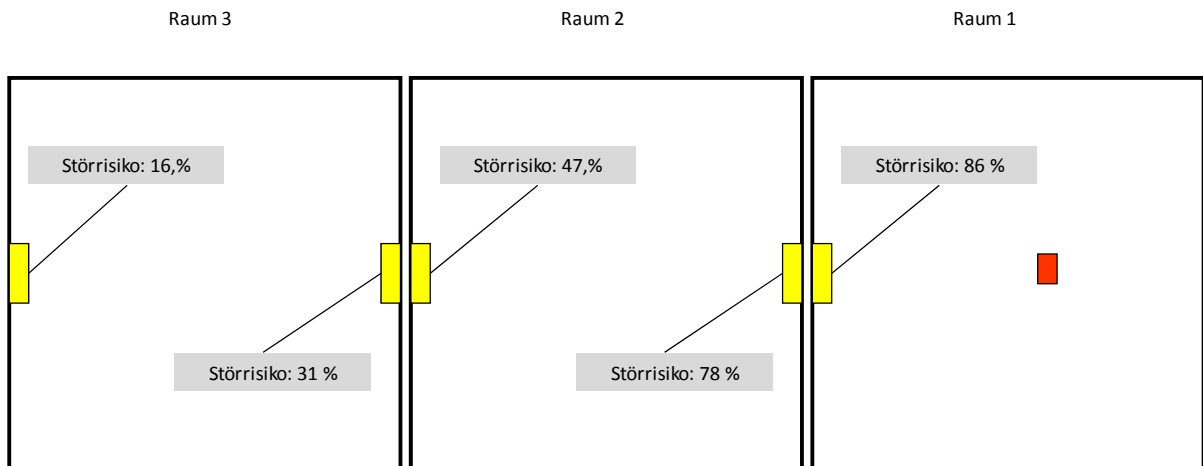
**Abbildung 2-40** Parameter für Einstrahlung in Kabel-Systemkomponenten



**Abbildung 2-41** Einstrahlung in Systemkomponenten in Abhängigkeit des System-Schirmungsmaßes bei 0 dB Wanddämpfung (Gleichkanal) Range ist 55 dB bis 75 dB



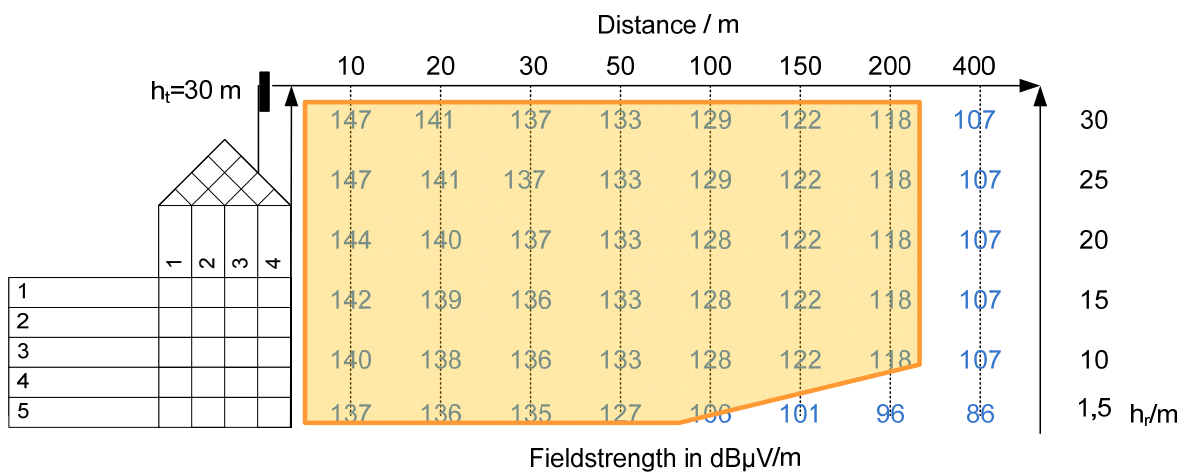
**Abbildung 2-42** Bedingte Störwahrscheinlichkeit im Gleichkanalfall bei Einstrahlung in Kabel-Systemkomponenten bei 0 dB, 4 dB und 8 dB Wanddämpfung



- DVB-C Systemkomponenten  
 DVB-C-Empfänger sind auf eine Punktquelle bei der Berechnung reduziert
- Mobiles LTE-Terminal  
 Ort in Raum 1 beliebig (mit gleicher Wahrscheinlichkeit)

Raumgröße: 4 x 4 m  
 Wanddicke: 0,1m  
 Wanddämpfung: 4 dB

**Abbildung 2-43** Störriisiko bei Einstrahlung in Kabel-Systemkomponenten inkl. DVB-C Endgeräte (Gleichkanal)



**Abbildung 2-44** Feldstärkeverteilung einer LTE-800-Basisstation [dB(µV/m)] nach dem Okumara-Hata-Modell

| Entfern. [m] | 10  | 20  | 30  | 50  | 100 | 150 | 200 | 400 |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Höhe [m]     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 30           | 139 | 133 | 129 | 125 | 121 | 114 | 110 | 99  |
| 25           | 139 | 133 | 129 | 125 | 121 | 114 | 110 | 99  |
| 20           | 136 | 132 | 129 | 125 | 120 | 114 | 110 | 99  |
| 15           | 134 | 131 | 128 | 125 | 120 | 114 | 110 | 99  |
| 10           | 132 | 130 | 128 | 125 | 120 | 114 | 110 | 99  |
| 1,5          | 129 | 128 | 127 | 119 | 98  | 93  | 88  | 78  |

**Abbildung 2-45** Feldstärkeverteilung einer LTE-800-Basisstation [Angaben in dB( $\mu$ V/m)]

| Entfern. [m] | 10 | 20 | 30 | 50 | 100 | 150 | 200 | 400 |
|--------------|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| Höhe [m]     |    |    |    |    |     |     |     |     |
| 30           | 75 | 60 | 50 | 40 | 30  | 12  | 2   | 0   |
| 25           | 75 | 60 | 50 | 40 | 30  | 12  | 2   | 0   |
| 20           | 67 | 57 | 50 | 40 | 27  | 12  | 2   | 0   |
| 15           | 62 | 55 | 47 | 40 | 27  | 12  | 2   | 0   |
| 10           | 57 | 52 | 47 | 40 | 27  | 12  | 2   | 0   |
| 1,5          | 50 | 47 | 45 | 25 | 0   | 0   | 0   | 0   |

**Abbildung 2-46** Störwahrscheinlichkeit einer LTE-800-Basisstation bei Direkteinstrahlung in DVB-C-Endgeräte (8 dB Wanddämpfung) (Gleichkanal) [Angabe in %]



| Entfern. [m] | 10  | 20  | 30  | 50  | 100 | 150 | 200 | 400 |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Höhe [m]     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 30           | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 75  |
| 25           | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 75  |
| 20           | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 75  |
| 15           | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 75  |
| 10           | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 75  |
| 1,5          | 100 | 100 | 100 | 100 | 70  | 45  | 20  | 0   |

**Abbildung 2-47** Störwahrscheinlichkeit einer LTE-800-Basisstation bei Einstrahlung in Systemkomponenten (8 dB Wanddämpfung) (Gleichkanal) [Angabe in %]

### Fazit:

Das für den Kabelkunden relevante Störrisiko kann von der, auf den Gleichkanal bezogenen berechneten bedingten Störwahrscheinlichkeit abweichen.

### Das Störrisiko besteht nicht,

- wenn es kein örtliches Zusammentreffen von LTE-800-Netzen und Breitband-Kabelnetzen gibt.
- wenn ausreichende frequenztechnische Entkopplung zwischen beiden Systemen besteht.
- wenn es keine Störung durch eine LTE-800-Basisstation gibt und die Nutzung von Diensten in Breitband-Kabelnetzen zeitlich nicht mit dem Betrieb eines LTE-800-Endgerätes zusammenfällt.

### Das Störrisiko verringert sich,

- wenn das Gesamtsystem (Breitband-Kabelnetz und Endgeräte) ausreichende Störfestigkeit aufweist.
- wenn im Mobilfunk die kleinstmögliche Sendeleistung zum Einsatz kommt.

## Das Störrisiko erhöht sich,

- wenn auch potenzielle Störungen in den Nachbarkanälen (n+1), Oszillatorfrequenzkanälen (n+5) und / oder Spiegelfrequenzkanäle (n+9) betrachtet werden.
- wenn Consumer-Electronics-Endgeräte mit Silicon-Tunern verwendet werden, da diese anfälliger gegen Störeinstrahlung sind.

## Das Störrisiko wird durch das Nutzungsverhalten relativiert,

- weil den Kabelkunden nicht nur die 9 Kanäle im Frequenzbereich 790 MHz bis 862 MHz, sondern zahlreiche weitere Kanäle im jeweiligen Breitband-Kabelnetz zur Verfügung stehen.
- wenn der Nutzer im Störfall nicht auf eine alternative Nutzungsmöglichkeit zurückgreifen kann.
- weil den Mobilfunkbetreibern zahlreiche weitere Übertragungskapazitäten in den Bereichen 900 MHz, 1,8 GHz, 2,1 GHz und 2,6 GHz zur Verfügung stehen.
- wenn der Nutzer eine ausreichende räumliche Entkopplung zwischen den Endgeräten beider Systeme herstellen kann.

## Die Abschätzung des realen Störrisikos ist nur eingeschränkt möglich,

- weil unter Umständen Kopfstellen von Kabelnetzen oder Gemeinschafts-Antennenanlagen (GA) durch LTE-800 gestört werden.
- weil das Verhalten von Consumer-Electronics-Endgeräten mit Durchschleif-Eingängen bisher nicht berücksichtigt wurde.
- weil für die bisher durchgeführten Messungen noch keine realen LTE-Signale zur Verfügung standen.

## Physikalisch-technische Stellschrauben

Es wurden die folgenden physikalisch-technische Stellschrauben identifiziert, welche die Probleme erleichtern oder verstärken können (**Abbildung 2-48**):

- Mobilfunkleistung
- Schirmungsmaß der Kabel-Systemkomponenten
- Räumlicher Abstand zwischen Störer und gestörten Endgeräten / Kabel-Systemkomponenten
- Störabstände bezogen auf die Signale



**Abbildung 2-48** Beschreibung der identifizierten physikalisch-technischen Stellschrauben

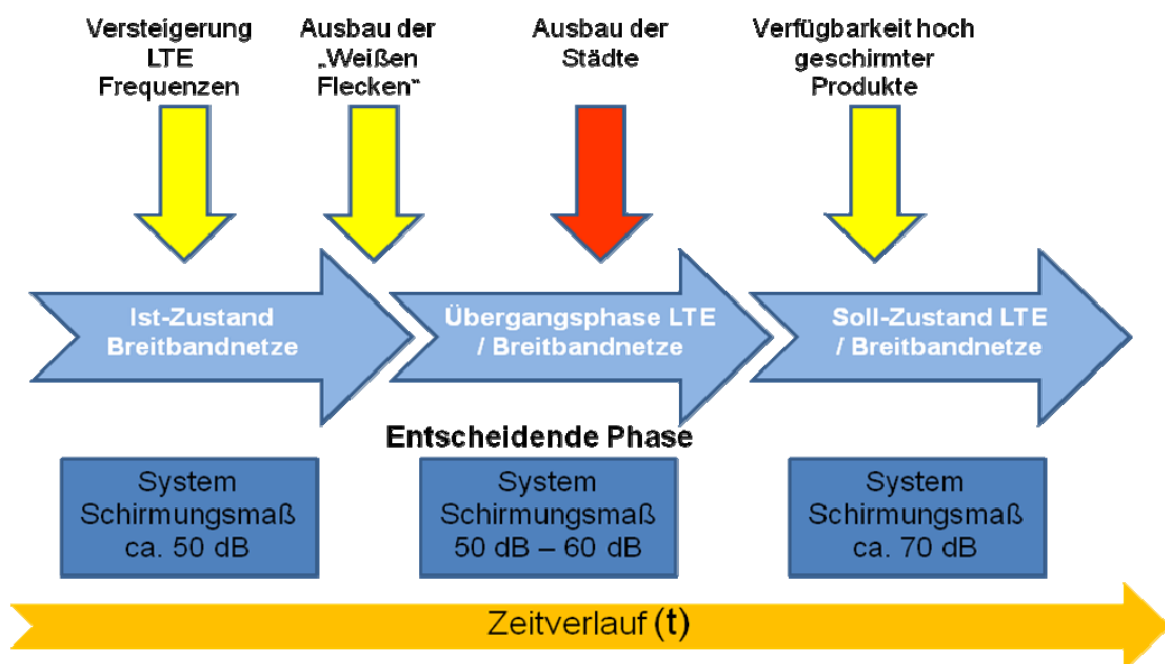
## 2.9 Lösungsansätze

Im Rahmen des Mandats hatte der Vorsitzende die Mitglieder der Projektgruppe um Vorschläge für Lösungsansätze der behandelten Thematik gebeten. Diese dienten als Grundlage für intensive Diskussionen in der Projektgruppe. Die daraus im Konsens erarbeiteten Lösungsvorschläge, Kommentare und Bewertungen sowie Empfehlungen an die Bundesnetzagentur sind im Kapitel 3 dargestellt.

Die Gesamtheit der vorgeschlagenen Lösungsansätze ist aus der Anlage dieses Abschlussberichtes ersichtlich.

### 3 Maßnahmen für störungsfreie Nutzungen im Frequenzbereich 790 MHz bis 862 MHz (*Mandat Teil 2*)

Bei den nachfolgenden Lösungsvorschlägen sind folgende Phasen zu unterscheiden:



**Abbildung 3-1** Entwicklung der Breitband-Kabelnetze als Reaktion auf den LTE-800-Ausbau im Frequenzbereich 790 MHz bis 862 MHz

#### ➤ Phase IST-Zustand

- Man kann heute von einem Systemschirmungsmaß (Breitband-Kabelnetz mit angeschlossenen Consumer-Electronics-Endgeräten oder Kombinationen von Consumer-Electronics-Endgeräten) von 50 dB ausgehen.
- Die Nutzung der Durchschleif-Eingänge ist heute eine häufig genutzte Variante zur Verbindung von Set-Top-Boxen, Video-Aufnahmegeräten, Set-Top-Boxen mit unterschiedlichen Verschlüsselungen und Fernsehgeräten. Gemäß den Ergebnissen der Kolberg-Messungen kann eine solche Konfiguration das Schirmungsmaß des Gesamtsystems verschlechtern.
- Durch den gerade beginnenden Netzausbau der LTE-Netze im 800-MHz-Bereich ist in der derzeitigen Phase mit hohen Leistungen bei den Mobilfunk-Basisstationen und den Mobilfunk-Endgeräten zu rechnen.
- Aktuell werden nicht in allen Breitband-Kabelnetzen Nutzungen im Frequenzbereich 790 MHz bis 862 MHz angeboten.
- Die Phase IST-Zustand wird voraussichtlich drei Jahre dauern. Diese Einschätzung ergibt sich im Wesentlichen aus dem notwendigen Zeitraum für die

Einführung neuer Standards und die Implementierung neuer Endgeräte und Kabelnetzkomponenten.

➤ **Übergangsphase**

- Die Standardisierung für höher geschirmte Tuner basierte Consumer-Electronics-Endgeräte und eine verbesserte Kabelinfrastruktur ist beendet. Die Industrie wird erste, an den neuen Standards orientierte Produkte liefern können. Die Mobilfunkbetreiber werden mehr Basisstationen aufgebaut haben und die Mobilfunk-Endgeräte für LTE im 800-MHz-Bereich werden noch weiter verbreitet sein.
- Es besteht weiterhin ein Störrisiko, da die Zahl der Mobilfunk-Endgeräte, die sich in der Nähe von Breitband-Kabelnetzen befinden können, gestiegen ist. In den Breitband-Kabelnetzen können aber erst nach und nach die Anforderungen der neuen Standards umgesetzt werden. Ähnliches gilt für Consumer-Electronics-Endgeräte nach neuer Norm, deren Marktdurchdringung von der Investitionsbereitschaft der Nutzer abhängt.
- Die Breitband-Kabelnetze werden im Bereich 790 MHz bis 862 MHz verstärkt mit Diensten belegt sein.
- Es ist in dieser Phase mit einem Schirmungsmaß des Gesamtsystems (Breitband-Kabelnetz mit angeschlossenen Consumer-Electronics-Endgeräten) von 60 dB zu rechnen.

➤ **Phase SOLL-Zustand**

- Der Ausbau der Mobilfunkinfrastruktur für LTE im 800-MHz-Bereich wird abgeschlossen sein. Die Zahl der Mobilfunk-Endgeräte wird signifikant angestiegen sein.
- Das Schirmungsmaß der Breitbandverteilstetze und der Tuner basierten Consumer-Electronics-Endgeräte wird deutlich angestiegen sein.
- Es kann von einem Systemschirmungsmaß (Breitband-Kabelnetz und angeschlossene Consumer-Electronics-Endgeräte) von 70 dB ausgegangen werden.
- Es ist auf Grund der engeren Vermaschung der LTE-800-Mobilfunk-Basisstationen von einer geringeren Leistung der Mobilfunk-Endgeräte auszugehen.
- Es werden immer mehr integrierte Tuner basierte Consumer-Electronics-Endgeräte mit der Schnittstelle CI+ in den Markt kommen, so dass in vielen Fällen der Gebrauch einer Set-Top-Box nicht mehr zwingend ist. Die Problematik der Verkettung von Consumer-Electronics-Endgeräten wird damit etwas entschärft. Dieses betrifft nicht die Tuner basierten Consumer-Electronics-Endgeräte zur Aufzeichnung der empfangenen Signale.
- Verbesserte Anschlusskabel sind durch die Maßnahmen der Marktaufsicht etabliert.

Als Fazit ist erkennbar, dass in der Übergangsphase das Störrisiko am höchsten sein wird. Dies ergibt sich aus dem Umstand, dass dann eine Vielzahl von Mobilfunk-Endgeräten im Markt aktiv sein wird und noch keine nennenswerte Anzahl von höher geschirmten Consumer-Electronics-Endgeräten im Markt verfügbar ist. Es besteht deshalb die Notwendigkeit, in dieser Phase Verfahren und Maßnahmen zur Vermeidung oder Linderung von Störungen zu etablieren.

## Lösungsvorschläge

Die nachfolgende Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Im Bedarfsfall ist die Kombination mehrerer Lösungsansätze in Betracht zu ziehen.



**Abbildung 3-2** Zusammenspiel der Lösungsansätze zur Vermeidung und Linderung der Störungen

Aus Sicht der Bundesnetzagentur sind alle Marktbeteiligten in gleicher Weise aufgefordert, bei den nachfolgenden Lösungsvorschlägen auch durch eigene Initiative zur Umsetzung beizutragen. Es wird nicht in allen Fällen der Bedarf für eine Federführung der Bundesnetzagentur gesehen.

## A Standardisierung und Regulierung

### A 1

Robustere Standards für Consumer-Electronics-Endgeräte und bei Bedarf für die Breitband-Kabelnetze im Bereich von 790 MHz bis 862 MHz entwickeln.  
[Quelle: Concise Report der JWG (WG 10 / TC 210) ]

Kommentar:

*Es wurden bereits erste Normenentwürfe mit erhöhten Anforderungen an die Störfestigkeit von für Kabel-TV Empfang ausgelegte TV-Geräte / Set Top Boxen (nach EN 55020) und an die Störfestigkeit von Geräten für TV-Kabelnetze (nach EN 50083-2) erarbeitet und im Januar 2011 dem einstufigen UAP-Verfahren unterworfen.*

*Geplant war ein Abschluss der Arbeiten im 3. Quartal 2011. Es kommt derzeit zu Verzögerungen durch Kommentare des EMC-Consultant, durch die Rücknahme eines ersten UAP-Verfahrens und möglicherweise durch neue Anforderungen durch die Anforderungen der ECC. Damit ist der Abschluss der Normungsaktivitäten im Quartal 3/4 2011 zu erwarten.*

Technische Bewertung:

Verbesserung der Koexistenzfähigkeit von kabelgebundenen und drahtlosen Systemen in dem Frequenzbereich 790 MHz bis 862 MHz durch mögliche zukünftige Standardisierung.

Ökonomische Bewertung:

Der neue Standard für Empfangsgeräte bindet alle EU-Mitgliedsstaaten und der assoziierte Staaten (egal ob sie LTE einführen oder nicht), weil das CE-Kennzeichen dort verpflichtend ist. Es wird zu zusätzlichem technischen und messtechnischen Aufwand kommen, der sich in Herstellungskosten niederschlagen wird.

**Der Bundesnetzagentur wird empfohlen, die Entwicklung der Standards auch weiterhin aktiv zu begleiten.**

## **A 2**

Weiterentwicklung eines Konzeptes zu Pilotsignalen und Aufnahme in die Standards. [Quelle: Concise Report der JWG (WG 10 / TC 210)]

Kommentar :

*Pilotsignale haben sich innerhalb von Systemen bewährt. Es ist aber zu klären, ob sie über Systemgrenzen hinweg realisierbar sind.*

Technische Bewertung:

Eine kompetente Einschätzung der technischen Vor- und Nachteile ist erst nach genauerer Spezifizierung des Konzeptes möglich. Grundsätzlich ist eine weitere Analyse zu befürworten.

Ökonomische Bewertung:

Die ökonomische Bewertung ist erst nach Vorliegen eines Konzeptes und dessen technischer Bewertung möglich.

**Der Bundesnetzagentur wird empfohlen, die Weiterentwicklung eines Konzeptes zu Pilotsignalen aktiv zu begleiten.**

## A 3

Empfänger-Anschlusskabel (konfektioniert) inklusive der Einzelkomponenten (Stecker und Kabel) der EMV-Richtlinie unterwerfen und damit in die CE-Kennzeichnung und die Marktaufsicht der Bundesnetzagentur einbinden.

Kommentar:

*Die aktuelle Revision der EMV-Richtlinie hat diesen Punkt nicht aufgenommen.*

Technische Bewertung:

Durch das CE-Regime werden verpflichtende Anforderungen vorgeschrieben und können von der Marktaufsicht der Bundesnetzagentur überprüft werden.

Ökonomische Betrachtung:

Das CE-Kennzeichen ist mit Mehrkosten für Material, für Messungen und für Verwaltung verbunden.

**Der Bundesnetzagentur wird empfohlen, sich aktiv dafür einzusetzen, dass die Empfänger-Anschlusskabel inklusive der Einzelkomponenten zukünftig der EMV-Richtlinie unterworfen werden.**

## B Vorbeugende Maßnahmen

### B 1

Transparente und effektive Störungsbearbeitung in Kooperation mit der Bundesnetzagentur organisieren.

Kommentar:

*Das Konzept sollte Informationen über die LTE-800-Ausbaustände berücksichtigen.*

Technische und ökonomische Bewertung:

Gewährleistet effektive Handlungsabläufe.

**Der Bundesnetzagentur wird empfohlen, mit den betroffenen Mobilfunknetzbetreibern, den Rundfunkprogrammanbietern, den Landesmedienanstalten, den Kabelnetzbetreibern und den Endgeräteherstellern ein Konzept für die Störungsbearbeitung auch unter Berücksichtigung auch der potentiellen Störung durch mehrere LTE-800-Basisstationen (Netze) / mehrere LTE-800-Endgeräte zu entwickeln und deren Umsetzung sicherzustellen.**

### B 2

Es wird ein Mindestabstand von 3 m zwischen Mobilfunk-Endgeräten und Breitband-Kabelnetzen sowie Consumer-Electronics-Endgeräten mit Tunern empfohlen. Bei auftretenden Störungen ist dieser Abstand versuchsweise zu vergrößern und/oder die Position der Geräte zueinander zu variieren.



Kommentar:

*Bietet eine Hilfestellung für den Nutzer.*

Technische Bewertung:

Eine räumliche Entkopplung der betroffenen Komponenten verringert den Störeinfluss.

Ökonomische Bewertung:

Kostenneutrale Maßnahme

**Der Bundesnetzagentur wird empfohlen, diese vorbeugenden Maßnahmen entsprechend bekannt zu machen.**

### **B 3**

Informeller Austausch von Ausbaudaten der Netze zwischen den Mobilfunknetzbetreibern und den betroffenen Unternehmen. Dabei handelt es sich beim Mobilfunk primär um die Standorte für LTE-800-Mobilfunk-Basisstationen und die dort verwendeten Frequenzen, während es bei den Breitband-Kabelnetzen die Standorte der Netze und deren Belegung sind.

Kommentar:

*Ein solches Verfahren ist bei PMSE und bei DVB-T Senderkoordinierung gängige Praxis und hat sich bewährt.*

Technische und ökonomische Bewertung:

Gewährleistet effektive Handlungsabläufe und ist kostenneutral, da schon in anderem Kontext verwendet.

**Der Bundesnetzagentur wird empfohlen, diesen Informationsaustausch kooperativ zu unterstützen.**

### **B 4**

Filterung der Nebenaussendungen bei Mobilfunk-Endgeräten gemäß Standard sicherstellen.

Kommentar:

*Marktaufsicht der Bundesnetzagentur*

Technische und ökonomische Bewertung:

Abläufe der Marktaufsicht sind schon etabliert und daher kostenneutral.

**Der Bundesnetzagentur wird empfohlen, im Rahmen der Marktaufsicht die Einhaltung dieser Anforderungen sicherzustellen.**

## B 5

Der Nutzer ist darauf hinzuweisen, dass der Ort mit der besten Empfangssituation für das Mobilfunk-Endgerät in der Regel auch das geringste Störpotential auf andere kabelgebundene Dienste (z.B. DVB-C) aufweist, da dort die Mobilfunk-Endgeräte mit tendenziell geringerer Sendeleistung arbeiten.

Kommentar:

*Wichtige Information für den Nutzer*

Technische Bewertung:

Eine verbesserte Empfangssituation führt in der Regel zu einer geringeren Sendeleistung des mobilen Endgerätes und damit zu einem reduzierten Störrisiko.

Ökonomische Bewertung:

Kostenneutrale Maßnahme

**Der Bundesnetzagentur wird empfohlen, diese vorbeugende Maßnahme umfassend bekannt zu machen.**

## B 6

Informationen über die Einstrahlstörfestigkeit von Consumer-Electronics-Endgeräten den Nutzern verfügbar machen und stetig aktualisieren.

Kommentar:

*Information der Nutzer über die Störungsresistenz von Endgeräten sollte in möglichst verbraucherfreundlicher Art erfolgen. Eine Information durch die Hersteller erfolgt auf freiwilliger Basis.*

Technische und ökonomische Bewertung:

Eine präventive Bereitstellung der Information wäre eine verbraucherfreundliche Maßnahme und ist wahrscheinlich kostengünstiger als eine ausschließlich individuelle Information seitens der Hersteller.

**Der Bundesnetzagentur wird empfohlen, zu prüfen, ob es rechtlich zulässig ist, derartige Informationen den Verbrauchern über die Webseite der Bundesnetzagentur zugänglich zu machen.**

## B 7

In städtischen Ballungsgebieten sollte LTE / UMTS zunächst vorrangig in anderen Frequenzbereichen als 800 MHz zum Einsatz kommen.

Kommentar:

*Unterstützung einer angemessenen Übergangsphase für die Einführung von Endgeräten mit höherer Einstrahlstörfestigkeit (entsprechend überarbeitetem harmonisierten Standard z.B. EN 55020).*

Technische Bewertung:

Es wird in der Zukunft eine höhere Durchdringung des Marktes mit Consumer-Electronics-Endgeräten, die eine erhöhte Einstrahlungsfestigkeit in dem Bereich 790 MHz bis 862 MHz aufweisen, erwartet. Damit wird das Störrisiko verringert.

Ökonomische Bewertung:

Verringerung der Ausbauflexibilität der Mobilfunkbetreiber.

**Der Bundesnetzagentur wird empfohlen den Einsatz von LTE-800 in städtischen Ballungs-Gebieten messtechnisch zu begleiten.**

### **B 8**

Weitere ausführlichere Messungen und Untersuchungen durchführen, die insbesondere folgende Aspekte berücksichtigen, die noch nicht durch die bisherigen Messungen der Bundesnetzagentur abgedeckt wurden :

- Auswirkung von Signalen realer Mobilfunk-Endgeräte (z.B. Handys, Datensticks, Modems) und realer LTE-800-Basisstationen.
- Auswirkung von mehreren Mobilfunk-Endgeräten im Umfeld von Breitband-Kabelnetzen. Bisherige Untersuchungen haben nur jeweils ein Gerät berücksichtigt.
- Auswirkung auf alle unterschiedlichen Consumer-Electronics-Endgeräte, wie TV, Set-Top-Boxen, Videorecorder und Kabelmodems im Gleichkanalbetrieb, (N+5)-Betrieb und (N+9)-Betrieb.
- Nicht genutzte Durchschleif-Eingänge bei Consumer-Electronics-Endgeräten im Störfall mit einem Abschlusswiderstand versehen.
- Untersuchungen der Auswirkungen im Hinblick auf die Ergebnisse der JWG (WG 10 / TC 210), insbesondere im Hinblick auf neue Standards und deren Marktrelevanz.

Kommentar:

*Diese Punkte sollten zusammen mit der Bundesnetzagentur untersucht werden, um die erforderliche Klarheit zu erlangen.*

Technische Bewertung:

Bringt mehr Kenntnisse über die physikalischen Zusammenhänge der Störmechanismen.

Ökonomische Bewertung:

Erheblicher kostenrelevanter Messaufwand.

**Der Bundesnetzagentur wird empfohlen, die angeführten Messungen unverzüglich zu veranlassen und umfassend zu unterstützen.**

## B 9

Informationsunterlage für die Nutzer mit folgenden Schwerpunkten erstellen:

- Die Nutzer werden darüber informiert, dass es einen neuen LTE-800-Mobilfunkdienst gibt, der unter Umständen Anwendungen über das Breitband-Kabelnetz (wie TV, Internet oder Telefonie) stören kann. Die wesentlichen Störmechanismen (Mobilfunk-Basisstation / Mobilfunk-Endgerät) und Abhilfemaßnahmen sollten hier aufgezeigt werden.
- Nutzer über die bundeseinheitliche Telefonnummer für die Störungsannahme der Bundesnetzagentur (**0180 3 23 23 23**) informieren.

Kommentar:

*Diese Informationsunterlage sollte nach Erstellung von der Wohnungswirtschaft, den Netzbetreibern und der Bundesnetzagentur entsprechend veröffentlicht werden.*

Technische und ökonomische Bewertung:

Diese Informationsunterlage wäre eine verbraucherfreundliche Maßnahme.

**Der Bundesnetzagentur wird empfohlen, durch eine Redaktionsgruppe diese Informationsunterlage schnellstmöglich erarbeiten zu lassen.**

## B 10

Die im JWG Report genannten „mitigation techniques“, wie Reduzierung der Sendeleistungen (Uplink und Downlink), zusätzliche Reduzierung der Außerband-Aussendungen (z.B. durch steilere Filter) und/oder Änderung weiterer Parameter, in die Bearbeitung von Kollisions- oder Störungsfällen einbeziehen.

Kommentar:

*Maßnahmen der Bundesnetzagentur bei Kollisions- oder Störungsfällen.*

Technische Bewertung:

Die Verringerung der geplanten Sendeleistungen führt zu geringeren Versorgungsradien und zu einer Verschlechterung der Dienstqualität (Datendurchsatz). Steilere Filter dienen dazu, das Störrisiko zu minimieren.

Ökonomische Bewertung:

Geringere Versorgungsradien führen zu höherer Basisstationsdichte und zu damit zu erhöhten Kosten für den Netzausbau. Zusätzliche Filter sind kostenrelevant.

**Der Bundesnetzagentur wird empfohlen alle aufgezeigten „mitigation techniques“ zu berücksichtigen.**

## **B 11**

Wo Breitband-Kabelnetze das Spektrum über 790 MHz nicht schon nutzen, Kabelkanäle im Bereich von K61 bis K69 zeitlich möglichst spät belegen, da einzelne Kanäle einer erhöhten Störwahrscheinlichkeit unterliegen können. Hierbei sollte die Verfügbarkeit höher geschirmter Systemkomponenten beachtet werden.

Technische Bewertung:

Es wird in der Zukunft eine höhere Durchdringung des Marktes mit Consumer-Electronics-Endgeräten, die eine erhöhte Einstrahlstörfestigkeit in dem Bereich 790 MHz bis 862 MHz aufweisen, erwartet. Damit wird das Störrisiko verringert.

Ökonomische Bewertung:

Verringerung der Ausbauflexibilität für die Betreiber von Breitband-Kabelnetzen.

**Der Bundesnetzagentur wird vorgeschlagen, entsprechende Informationen über die lokale Nutzung durch LTE-800 den Kabelnetzbetreibern, die den Frequenzbereich ausbauen wollen, auf Anfrage zur Verfügung zu stellen.**

## **C Betriebliche Maßnahmen**

### **C 1**

Werden bei der Nutzung von Mobilfunk-Endgeräten für mobile Breitbandanwendungen in Gebäuden externe Antennen verwendet, ist zu berücksichtigen, dass dadurch Störungen von DVB-C und/oder DVB-T hervorgerufen werden können.

Kommentar:

*Externe Antennen sollten nur im Ausnahmefall zum Einsatz kommen.*

**Der Bundesnetzagentur wird empfohlen, auf diese Problematik besonders hinzuweisen.**

### **C 2**

Abhilfemaßnahmen über die Hotlines der Bundesnetzagentur, der Endgerätehersteller, der Kabelnetzbetreiber und der Mobilfunkbetreiber bei Störungen durch LTE im 800-MHz-Bereich verfügbar machen.

Kommentar:

*Verbesserungen der Störungsbearbeitung*

**Der Bundesnetzagentur wird empfohlen, dieses Konzept umzusetzen.**

### **C 3**

Kostenübernahme für im Kollisions- oder Störfall erforderliche Maßnahmen verbindlich regeln.

Kommentar:

*Die Frage der Kostenübernahme ist durch die Bundesnetzagentur zu regeln.*

**Der Bundesnetzagentur wird empfohlen, die Regeln für die Kostenübernahme zu erarbeiten und entsprechend bekannt zu machen.**

## C 4

Aufbau und Einsatz einer Task Force nach folgenden Kriterien:

- Durch eine Vorbereitungsgruppe unter Leitung der Bundesnetzagentur in einem festgelegten Zeitrahmen eine Task Force „Behandlung von Störungen durch die Auswirkungen der Digitalen Dividende“ etablieren und mit Experten der Bundesnetzagentur, der Gerätehersteller, der Netzbetreiber und des Verbraucherschutzes besetzen.
- Als Aufgabenstellung der Task Force die Behandlung gehäufter Störungen in allen drei Einführungsphasen festlegen, mit dem Grundsatz, dass Problemlösungen der Task Force grundsätzlich ergebnisoffen im Sinne einer Lösung für den durch Störungen betroffenen Nutzer sind.
- Die Arbeitsergebnisse der Task Force werden durch die Bundesnetzagentur umgesetzt.
- Entsprechenden Second Level Support (SLS) und Third Level Support (TLS) für die Task Force sicherstellen, damit die Störungen fachgerecht bewertet und abgestellt werden können.
- Kontinuierliche Gesamtbeurteilung der Störsituation durch die Task Force. Abhängig von den Ergebnissen gegebenenfalls der Bundesnetzagentur Änderungen für die zukünftigen Bedingungen der Frequenzzuteilung und des Betriebes der Mobilfunknetze vorschlagen.

Kommentar:

*Ein derartiges Konzept hat sich bei zahlreichen anderen Problemstellungen bestens bewährt.*

**Der Bundesnetzagentur wird empfohlen, den Aufbau und Einsatz der Task Force durchzuführen.**

## D Kollisions- und Störungsfallbearbeitung

### D 1

Im Kollisions- oder Störungsfall durch geeignete Maßnahmen die Störfeldstärke durch LTE-800-Basisstationen am Ort von Breitband-Kabelnetzen reduzieren.

Kommentar:

*Dies kann zum Beispiel durch Verringerung der Strahlungsleistung der entsprechenden LTE-800-Basisstation oder unter Umständen durch eine einfache Veränderung der Antennenposition an dieser Basisstation erreicht werden.*

**Der Bundesnetzagentur wird empfohlen, geeignete Maßnahmen zu veranlassen.**

## **D 2**

Bezüglich der Mobilfunk-Endgeräte sollte die Möglichkeit der fallweisen Verbesserung der Koexistenz durch Anpassung der Sendeleistung sowie durch Änderung der spektralen Leistungsverteilung untersucht werden, unter Berücksichtigung der bekannten Systemparameter der beteiligten Systeme.

Kommentar:

*Im Abschlussbericht wurden für die LTE-800- Endgeräte Sendeleistungen von 8 dBm bis 25 dBm (EIRP) betrachtet.*

**Der Bundesnetzagentur wird empfohlen, die Machbarkeit einer solchen Maßnahme zu prüfen.**

## **D 3**

Bei Einstrahlungsstörungen sollten zuerst die genutzten Empfänger-Anschlusskabel überprüft werden, die an ein Breitband-Kabelnetz angeschlossen sind, bevor Consumer-Electronics-Endgeräte mit höherer Einstrahlstorfestigkeit verwendet werden.

Kommentar:

*Kollisions- und Störungsfallbearbeitung durch Bundesnetzagentur.*

**Der Bundesnetzagentur wird empfohlen, diese Möglichkeiten umfassend bekannt zu machen.**

## **D 4**

Organisation eines transparenten und effektiven Informationsaustauschs zur Störungsbearbeitung zwischen der Bundesnetzagentur, Endgeräteherstellern, Kabelnetzbetreibern, Landesmedienanstalten, Mobilfunkbetreibern und Programm Anbietern entwickeln.

**Der Bundesnetzagentur wird empfohlen, mit den Endgeräteherstellern, Kabelnetzbetreibern, Landesmedienanstalten, Mobilfunkbetreibern und Programm Anbietern ein Konzept für die Störungsbearbeitung zu entwickeln und deren Umsetzung sicherzustellen.**

## 4 Anhänge

### 4.1 Deutsche Zusammenfassung des Kolberg-Reports

#### Zusammenfassung

Dieses Dokument beschreibt gemeinsam durchgeführte Messungen an ausgewählten integrierten TV-Empfängern (iDTV), Set-Top-Boxen und Datenmodems zur Bestimmung des Störpotentials von LTE-800-Uplinksignalen im Frequenzbereich 790 MHz bis 862 MHz. Die Messungen wurden von den oben genannten Organisationen gemeinsam in der EMV-Messhalle der Bundesnetzagentur in Kolberg im Dezember 2009 durchgeführt.

Der einzige Störmechanismus, der hier untersucht wurde, war die Direkteinstrahlung eines LTE-800-Uplinksignals in iDTV, Set-Top-Boxen und Datenmodems, die in einem voll beschalteten Breitband-Kabelnetz (HFC-Netz) betrieben werden. In die Empfänger wurde ein störungsfreies Nutzsignal eingespeist und sie wurden der Störfeldstärke eines generierten LTE-800-Uplinksignals ausgesetzt.

Aus Zeitgründen wurden nur die Frequenzoffsets, die als kritisch eingeschätzt wurden, untersucht.

Die folgenden kabelgebundenen Dienste wurden untersucht:

- Digitalfernsehen (DVB-C)
- Analoges Fernsehen (PAL)
- Internetzugang (EuroDOCSIS)

Es wurden insgesamt 15 Empfänger bewertet. Als Störkriterium wurde die subjektive Betrachtung eines TV-Bildes (DVB-C und PAL) und eines Internetdienstes (EuroDOCSIS), am Beispiel eines IP-basierten Videostreams, herangezogen.

Die wichtigsten Ergebnisse waren:

- Die minimale LTE-Feldstärke am Ort des zu messenden Empfängers, die Störungen verursacht, hängt in starkem Maße von dem Empfänger selbst und der Bestrahlungsrichtung ab. Im Durchschnitt streuen die Störfestigkeitswerte der geprüften Empfänger von 114 dB( $\mu$ V/m) (0,5 V/m) bis 148 dB( $\mu$ V/m) (25 V/m) (AV burst/10MHz, Gleichkanal). Der Mittelwert wurde über alle Richtungen und Polarisationen für einen einzelnen Empfänger berechnet. Die minimale störende LTE-Feldstärke betrug 100 dB( $\mu$ V/m) oder 0,1 V/m. Dieser Wert gilt für eine Emission aus der für den Empfänger empfindlichsten Richtung. In der unempfindlichsten gemessenen Position arbeitete ein Empfänger im Gleichkanalbetrieb noch bei einer LTE-Feldstärke von 150 dB( $\mu$ V/m) oder 31 V/m störungsfrei.



- Die minimale LTE-Feldstärke am Ort des zu messenden Empfängers, die Störungen verursacht, ist während der Datenübertragung des LTE-Endgerätes 14 dB bis 21 dB geringer als im „Idle Mode“, in dem nur der Kontrollkanal belegt ist. Im letzten Fall streut die gemessene LTE-Feldstärke von 135 dB( $\mu$ V/m) bis mehr als 150 dB( $\mu$ V/m).
- Wenn das LTE-Signal 40 MHz (N+5) oder 72 MHz (N+9) oberhalb der abgestimmten Empfangsfrequenz liegt (Oszillator- und Spiegelfrequenz), ist die minimale LTE-Feldstärke am Ort des zu messenden Empfängers, die Störungen verursacht, bei DVB-C-Empfängern mit Can-Type-Tunern nur etwa 8 dB höher als im Gleichkanal. Die Störfestigkeit im Nachbarkanal ist im Allgemeinen höher als bei N+5 und N+9. Der geprüfte iDTV mit Silicon-Tuner hat diesen Effekt nicht aufgezeigt.
- Die minimale LTE-Feldstärke am Ort des zu messenden Empfängers, die Störungen verursacht, ist für 64-QAM und 256-QAM Kanäle (DVB-C und EuroDOCSIS 2.0) etwa gleich. Dies gilt unter der Voraussetzung, dass 256-QAM Kanäle einen um 6 dB höheren Pegel als 64-QAM Kanäle haben.
- Analoger PAL-Empfang ist nicht störepfindlicher bezüglich LTE als DVB-C.
- Der durchgeschleifte Antennenausgang kann genutzt werden, um TV-Empfänger über Set-Top-Boxen mit der Teilnehmer-Anschlussdose eines Breitband-Kabelnetzes zu verbinden. An diesen Ausgang angeschlossene Consumer-Electronics-Endgeräte zeigten bereits bei bis zu 30 dB niedrigerer LTE-Feldstärke Störungen, als wenn sie direkt mit dem Breitband-Kabelnetz verbunden sind.
- Es konnte keine direkte Beziehung zwischen dem Nutzpegel und der minimalen LTE-Feldstärke am Ort des zu messenden Consumer-Electronics-Endgeräts, die Störungen verursacht, ermittelt werden.

Die Messungen wurden durch ein Mandat des ATRT, der die Bundesnetzagentur berät, veranlasst, um die Koexistenz von mobilen LTE-800- und Kabeldiensten zu untersuchen. Die Ergebnisse dieses Messberichtes können als eine Grundlage von Verträglichkeitsstudien genutzt werden, um das erwähnte Mandat zu erfüllen. Weiterhin können diese Ergebnisse als Beitrag für die nationale und europäische Standardisierungsarbeit dienen.

## 4.2 Gesammelte Lösungsansätze der PG ESKM

- Robustere Standards für Endgeräte und bei Bedarf für die Breitband-Kabelnetze im Bereich von 790 MHz bis 862 MHz entwickeln, basierend auf den Ergebnissen des Concise Reports der JWG (WG 10 / TC 210).
- Pilotsignale in die Standards aufnehmen, basierend auf den Ergebnissen des Concise Reports der JWG (WG 10 / TC 210).
- Empfänger-Anschlusskabel in die CE Kennzeichnung und die Marktaufsicht der Bundesnetzagentur einbinden.
- Im Einzelfall die Sendeleistungen der Mobilfunk-Endgeräte auf 14 dBm und der LTE-800-Mobilfunk-Basisstationen auf 45 dBm begrenzen.
- Transparente und effektive Störungsbearbeitung organisieren. Dies kann durch eine entsprechende Datenbank der LTE-800-Mobilfunk-Basisstationen erheblich erleichtert werden.
- Mindestabstände zwischen LTE-800-Mobilfunk-Einheiten (Endgeräten und Basisstationen) und Breitband-Kabelnetzen sowie Endgeräten mit Tunern einhalten.
- Außenantennen (z.B. Dachantennen) bei Nutzung von Mobilfunk-Endgeräten für mobile Breitbandanwendungen in Gebäuden nach Genehmigung durch die Bundesnetzagentur verwenden. Beim Einsatz dieser externen Antenne sicherstellen, dass die integrierte Antenne deaktiviert ist.
- Die Nutzung externer Indoor-Antennen untersagen, wenn dadurch 25 dBm überschritten werden.
- Standorte für LTE-800-Mobilfunk-Basisstationen und den dort verwendeten Frequenzen zwischen Mobilfunkbetreibern, Kabelnetzbetreibern und Bundesnetzagentur abstimmen.
- Nebenaussendungen der Mobilfunk-Endgeräte optimal filtern.
- 16-QAM-Übertragung bzw. 64-QAM-Übertragung von LTE-800-Mobilfunk-Basisstationen in der Nähe von Breitband-Kabelnetzen vermeiden, weil durch die ansteigende Strahlungsleistung das Störpotential erheblich vergrößert wird. Im Einzelfall diese Übertragung untersagen.

- Mobile Indoor-Nutzungen mit LTE-800-Mobilfunk-Endgeräten stets auf der Seite der Wohnung durchführen, die der zugehörigen Mobilfunk-Basisstation zugewandt ist, damit diese Geräte mit möglichst geringer Sendeleistung arbeiten.
- Inhalt eines 180-kHz-Resource-Blocks im Bedarfsfall mit einer geänderten spektralen Effizienz in einem 2-MHz-Block übertragen, um die Leistung für das zu übertragende Signal reduzieren zu können und damit das Störpotential zu verringern.
- Unzureichend geschirmte, nutzereigene Endgeräte, die an ein Breitband-Kabelnetz angeschlossen sind, gegen Endgeräte mit ausreichend hohem Schirmungsmaß austauschen, die sich bei den Messungen der Bundesnetzagentur in Kolberg als besonders gut herausgestellt haben. Der die Störung verursachende Mobilfunkbetreiber muss die anfallenden Kosten tragen.
- Antennenstandorte für LTE-800-Mobilfunk-Basisstationen untersagen, auf denen Antennen mehrerer Mobilfunkbetreiber übereinander angeordnet sind, um durch die fehlende räumliche Entkopplung der Funkstrecken Leistungserhöhungen bei den LTE-800-Mobilfunk-Basisstationen und den Mobilfunk-Endgeräten zu vermeiden.
- In den ersten 3 Jahren LTE im 800-MHz-Bereich nur für die benannten „weißen Flecken“ (white spots) anbieten. In anderen Gebieten könnten LTE im 2,6-GHz-Bereich und die UMTS-Frequenzen zum Einsatz kommen.
- Vor einer generellen Freigabe der Übertragung von Mobilfunksignalen im 800-MHz-Band ausführlichere Messungen und Untersuchungen durchführen, die insbesondere folgende Aspekte berücksichtigen, die noch nicht durch die bisherigen Messungen der Bundesnetzagentur abgedeckt wurden:

Auswirkung von Signalen realer mobiler Endgeräte (z.B. Handys, Datensticks, stationäre Modems) und realer LTE-800-Basisstationen.

Auswirkung von mehreren Mobilfunk-Endgeräten im Umfeld von Breitband-Kabelnetzen. Bisherige Untersuchungen haben nur jeweils ein Gerät berücksichtigt.

Auswirkung auf alle unterschiedlichen Endgeräte, wie TV, Set-Top-Boxen (STB), Videorecorder und Kabelmodems im Gleichkanalbetrieb, (N+5)-Betrieb und (N+9)-Betrieb.

Untersuchungen der Auswirkungen im Hinblick auf die Ergebnisse der JWG (WG 10 / TC 210), insbesondere im Hinblick auf neue Standards und deren Marktrelevanz.

- Informationsunterlage für die Nutzer mit folgenden Schwerpunkten erstellen:

Die Nutzer werden darüber informiert, dass es einen neuen Mobilfunkdienst gibt, der unter Umständen Anwendungen über das Breitband-Kabelnetz (wie TV, Internet oder Telefonie) stören kann. Der wesentliche Störmechanismus ist dabei die Einstrahlung in die Endgeräte der Nutzer.

Die Nutzer werden über die möglichen Störungen der Kabeldienste (wie TV, Internet und Telefonie) durch LTE-800-Mobilfunk-Basisstationen informiert. Im ungünstigsten Fall können diese Störungen 24 h / 7 Tage die Woche andauern.

Die Nutzer werden über temporäre Störungen der Kabeldienste (wie TV, Internet oder Telefonie) durch Mobilfunk-Endgeräte in der eigenen Wohnung oder einer Nachbarwohnung informiert.

Den Nutzern wird veranschaulicht, wie sich die Störungen durch den Mobilfunkdienst auf dem eigenen Bildschirm auswirken bzw. durch zeitweiligen Ausfall des Internetzugangs oder dem plötzlichen Abbruch von Telefongesprächen bemerkbar machen.

Die Nutzer werden informiert, wie die Mobilfunk-Endgeräte und/oder Mobilfunk-Basisstationen für LTE im 800-MHz-Bereich die bestehende private Infrastruktur stören können und welche Geräte ausgetauscht werden sollten, falls es zu Störungen kommt.

Es wird eine Kontaktadresse bekannt gegeben, bei der die Nutzer Hilfe bekommen können.

- Mindestens 1 m Abstand zwischen Mobilfunk-Endgeräten und an Breitband-Kabelnetze angeschlossene Endgeräte mit Tunern einhalten.
- Indoor-Betrieb der Mobilfunk-Endgeräte mit kleinstmöglicher Leistung.
- Endgeräte mit Schnittstelle CI+, eingebautem HD-fähigen DVB-C-Tuner und integriertem Festplattenrecorder einführen.
- Sendeleistungen in urbanen Gebieten von LTE-800-Mobilfunk-Endgeräten auf 14 dBm bzw. von LTE-800-Mobilfunk-Basisstationen auf 45 dBm netzspezifisch begrenzen.

- Für Endgeräte mit Tunern ein Label entwickeln, das die ausreichende Störsicherheit gegenüber LTE im 800-MHz-Bereich und die Einhaltung der Vorgaben aus den harmonisierten Normen dokumentiert.
- Über die Hotlines der Mobilfunkbetreiber, Kabelnetzbetreiber und Gerätehersteller Abhilfemaßnahmen bei Störungen durch LTE im 800-MHz-Bereich verfügbar machen.
- Bedarfsgerecht Teile der Breitband-Kabelinfrastruktur (inklusive nutzereigener Endgeräte) austauschen und/oder die Sendeleistung im Mobilfunknetz reduzieren.
- Kostenübernahme für im Störfall erforderliche Maßnahmen verbindlich regeln.
- Einen Runden Tisch einberufen, um die Vorgaben zur Linderung der Störungen in einer Gruppe unter Leitung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie zu diskutieren. Den Runden Tisch zeitlich begrenzen und am Ende das Konzept für eine Task Force „Behandlung von Störungen durch die Auswirkungen der Digitalen Dividende“ festlegen.
- Vorgenannte Task Force etablieren, die auf gehäufte Störungen in bestimmten Gebieten in allen Phasen reagieren kann. Sie wird mit Experten der Bundesnetzagentur, des Verbraucherschutzes, der Gerätehersteller und der Netzbetreiber besetzt. Problemlösungen der Task Force sind grundsätzlich ergebnisoffen im Sinne einer Lösung für den gestörten Nutzer. Die Task Force muss mit Weisungsbefugnis ausgestattet sein.
- Entsprechenden Second Level Support (SLS) und Third Level Support (TLS) für die Task Force sicherstellen, damit die Störungen fachgerecht bewertet und abgestellt werden können.
- Kontinuierliche Gesamtbeurteilung der Störsituation durch die Task Force. Abhängig von den Ergebnissen gegebenenfalls der Bundesnetzagentur Änderungen für die zukünftigen Bedingungen der Frequenzuteilung und des Betriebes der Mobilfunknetze vorschlagen.

### 4.3 Abbildungsverzeichnis

|                       |  |    |
|-----------------------|--|----|
| <b>Abbildung 1-1</b>  | Beeinträchtigungsszenarien zwischen Kabel und Funk.....  | 4  |
| <b>Abbildung 1-2</b>  | Kollisionsszenarien bezogen auf Mobilfunk mit 10-MHz-Downlink und 10-MHz-Uplink.....   | 5  |
| <b>Abbildung 1-3</b>  | Situation nach der Versteigerung der Mobilfunkfrequenzen in Deutschland und die Beeinflussung der Kabelkanäle.....   | 6  |
| <b>Abbildung 2-1</b>  | Beeinträchtigung des Kabelempfangs durch ein ECN-Netzwerk im Bereich 790 MHz bis 862 MHz, bezogen auf die nachfolgenden Störmodelle (UL = Uplink, DL = Downlink) ..... | 8  |
| <b>Abbildung 2-2</b>  | Bezugskette der TV-Kabelübertragung mit den relevanten Normen .....  | 10 |
| <b>Abbildung 2-3</b>  | Innerbandstörfestigkeit (Auszug aus DIN EN 50083-2, Bild 9) .....  | 11 |
| <b>Abbildung 2-4</b>  | Darstellung der Außerbandstörfestigkeit gemäß DIN EN 50083-2 .....   | 12 |
| <b>Abbildung 2-5</b>  | Verlauf der Feldstärke innerhalb einer typischen Wohnung, bezogen auf den Kabel-TV-Grenzwert 96 dB( $\mu$ V/m) bei einem Sender mit 10 mW .....                        | 14 |
| <b>Abbildung 2-6</b>  | Verlauf der Feldstärke innerhalb einer Wohnung bei einer Senderleistung von 250 mW und einer Frequenz von 790 MHz.....   | 14 |
| <b>Abbildung 2-7</b>  | Klassisches Superhetkonzept.....   | 16 |
| <b>Abbildung 2-8</b>  | Superhetkonzept mit Doppelkonversion .....   | 17 |
| <b>Abbildung 2-9</b>  | Konzept mit Direktkonversion .....   | 17 |
| <b>Abbildung 2-10</b> | Tunerkonzept mit niedriger ZF (Supradyne) .....  | 18 |
| <b>Abbildung 2-11</b> | Störung eines Tuners durch die Spiegelfrequenzen eines Störsignals.....  | 20 |
| <b>Abbildung 2-12</b> | Störung durch Nichtlinearitäten und Sättigung bei Tunern .....   | 21 |
| <b>Abbildung 2-13</b> | Beispiel eines analogen Fernsehkanals, der von einem LTE-Signal überlagert wird.....   | 22 |
| <b>Abbildung 2-14</b> | ITU-T Study Group 13 on IPTV, Quality Parameters .....   | 23 |
| <b>Abbildung 2-15</b> | Beispiel des Konstellationsdiagramms einer 16-QAM-Übertragung .....  | 23 |
| <b>Abbildung 2-16</b> | Deckblatt des Measurement Reports.....   | 26 |
| <b>Abbildung 2-17</b> | Zusammenfassung der Kolberg-Messungen .....  | 30 |
| <b>Abbildung 2-18</b> | Fernsehbild mit leichten Störungen .....   | 33 |
| <b>Abbildung 2-19</b> | Fernsehbild mit starken Störungen .....  | 34 |
| <b>Abbildung 2-20</b> | Fernsehbild bei Bildausfall.....   | 34 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Abbildung 2-21</b> Definition von der Mobilfunk-Kanalbandbreite und Übertragungsbandbreite für einen E-UTRA Träger .....   | 36 |
| <b>Abbildung 2-22</b> Betrachtung der Feldstärke-Entwicklung eines Mobilfunk-Endgeräts bei Sendung aus einem Gebäude bei 200 mW Sendeleistung .....   | 45 |
| <b>Abbildung 2-23</b> Varianz der in Kolberg gemessenen Endgeräte mit der Bewertung der limitierenden Faktoren Breitband-Kabelnetz und Consumer-Electronics-Endgeräte .....   | 47 |
| <b>Abbildung 2-24</b> Berechnung der möglichen Störradien, bezogen auf das 64-QAM-System mit Blickwinkel auf die Störungen in benachbarten Wohnungen (unter Einbeziehung der Wanddämpfungen) .....                              | 48 |
| <b>Abbildung 2-25</b> Berechnung der möglichen Störradien im Falle der Spiegelfrequenz, bezogen auf ein Breitband-Kabelnetz bei verschiedenen Sendeleistungen und einem System-Schirmungsmaß von 65 dB .....                    | 49 |
| <b>Abbildung 2-26</b> Berechnung der möglichen Störradien, bezogen auf ein Breitband-Kabelnetz bei verschiedenen Sendeleistungen und einem System-Schirmungsmaß von 75 dB .....   | 49 |
| <b>Abbildung 2-27</b> Berechnung der möglichen Störradien im Falle der Spiegelfrequenz, bezogen auf ein Breitband-Kabelnetz bei verschiedenen Sendeleistungen und einem System-Schirmungsmaß von 75 dB .....                    | 50 |
| <b>Abbildung 2-28</b> Darstellung der Spektrumsmaske für das Mobilfunk-Endgerät entsprechend 3GPP TS 36.101, bezogen auf die einheitliche Messbandbreite von 1 MHz .....  | 53 |
| <b>Abbildung 2-29</b> Leistungsdichte eines Mobilfunk-Endgerätes in Abhängigkeit von der Anzahl der zugewiesenen Resource Blocks (Referenz: nicht bekannt).....   | 54 |
| <b>Abbildung 2-30</b> Beeinflussung von Breitband-Kabelnetzen durch Gleichkanalstörungen, Oszillator-frequenzstörungen sowie Spiegelfrequenzstörungen und deren jeweiligen Überlappungen bezogen auf einen Can-Type-Tuner ..... | 55 |
| <b>Abbildung 2-31</b> Vergleich der LTE-800-Downlink-Leistung und der LTE-800-Uplink-Leistung.....  | 59 |
| <b>Abbildung 2-32</b> Kanalplan für den Frequenzbereich 790 MHz bis 862 MHz mit einer Darstellung der Uplink-Beeinflussung von TV-Kabelkanälen.....   | 60 |
| <b>Abbildung 2-33</b> Berechnung der Feldstärke nach dem Okumura-Hata-Modell für ein Signal mit einer Leistung (EIRP) von 62,5 dBm / 5 MHz.....   | 65 |
| <b>Abbildung 2-34</b> Der farblich markierte Bereich kennzeichnet den Bereich, bei dem im Gleichkanal und zusätzlich bei N+5 und N+9 mit Störungen durch die Basisstationen gerechnet werden muss .....                         | 66 |
| <b>Abbildung 2-35</b> Erhöhung der Störproblematik durch gleichzeitigen Betrieb mehrerer Mobilfunk-Endgeräte in einer Zelle.....  | 68 |
| <b>Abbildung 2-36</b> Einstrahlstörfestigkeit und LTE-Sendeleistungen .....   | 69 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Abbildung 2-37</b> Störradien in Abhängigkeit von der Einstrahlstörfestigkeit der DVB-C-Endgeräte (ausgewählte Kurven).....  | 69 |
| <b>Abbildung 2-38</b> Bedingte Störwahrscheinlichkeit bei Direkteinstrahlung in DVB-C-Endgeräte (Gleichkanal) in Abhängigkeit von der Wanddämpfung .....                | 70 |
| <b>Abbildung 2-39</b> Störrisiko bei Direkteinstrahlung in DVB-C-Endgeräte (Gleichkanal) .....  | 70 |
| <b>Abbildung 2-40</b> Parameter für Einstrahlung in Kabel-Systemkomponenten .....   | 71 |
| <b>Abbildung 2-41</b> Einstrahlung in Systemkomponenten in Abhängigkeit des System-Schirmungsmaßes bei 0 dB Wanddämpfung (Gleichkanal) Range ist 55 dB bis 75 dB .....  | 72 |
| <b>Abbildung 2-42</b> Bedingte Störwahrscheinlichkeit im Gleichkanalfall bei Einstrahlung in Kabel-Systemkomponenten bei 0 dB, 4 dB und 8 dB Wanddämpfung .....         | 72 |
| <b>Abbildung 2-43</b> Störrisiko bei Einstrahlung in Kabel-Systemkomponenten inkl. DVB-C Endgeräte (Gleichkanal).....   | 73 |
| <b>Abbildung 2-44</b> Feldstärkeverteilung einer LTE-800-Basisstation [dB( $\mu$ V/m)] nach dem Okumara-Hata-Modell .....   | 73 |
| <b>Abbildung 2-45</b> Feldstärkeverteilung einer LTE-800-Basisstation [Angaben in dB( $\mu$ V/m)] .....   | 74 |
| <b>Abbildung 2-46</b> Störwahrscheinlichkeit einer LTE-800-Basisstation bei Direkteinstrahlung in DVB-C-Endgeräte (8 dB Wanddämpfung) (Gleichkanal) [Angabe in %] ..... | 74 |
| <b>Abbildung 2-47</b> Störwahrscheinlichkeit einer LTE-800-Basisstation bei Einstrahlung in Systemkomponenten (8 dB Wanddämpfung) (Gleichkanal) [Angabe in %] .....     | 75 |
| <b>Abbildung 2-48</b> Beschreibung der identifizierten physikalisch-technischen Stellschrauben.....   | 77 |
| <b>Abbildung 3-1</b> Entwicklung der Breitband-Kabelnetze als Reaktion auf den LTE-800-Ausbau im Frequenzbereich 790 MHz bis 862 MHz .....                              | 78 |
| <b>Abbildung 3-2</b> Zusammenspiel der Lösungsansätze zur Vermeidung und Linderung der Störungen .....  | 80 |



## 4.4 Tabellenverzeichnis

|                     |   |    |
|---------------------|---|----|
| <b>Tabelle 2-1</b>  | Tabelle 17 aus der Norm DIN EN 55020.....   | 13 |
| <b>Tabelle 2-2</b>  | Bewertung der Tunerkonzepte bzgl. der Störempfindlichkeit.....  | 20 |
| <b>Tabelle 2-3</b>  | Kurzüberblick der Störanfälligkeit der Tunerkonzepte.....   | 20 |
| <b>Tabelle 2-4</b>  | Vergleich der Leistungsfähigkeit der Systeme DVB-S, DVB-C und DVB-T.....  | 24 |
| <b>Tabelle 2-5</b>  | Kennwerte von DVB-C-Signalen mit 64-QAM.....  | 24 |
| <b>Tabelle 2-6</b>  | Mögliche Einordnung des Störausmaßes .....  | 35 |
| <b>Tabelle 2-7</b>  | Berechnung der äquivalenten Strahlungsleistung eines Mobilfunk-Endgerätes .....   | 37 |
| <b>Tabelle 2-8</b>  | Berechnung der Störwirkung eines Mobilfunk-Endgerätes auf eine TV-Kabelanlage gemäß DIN EN 50083-8 .....  | 38 |
| <b>Tabelle 2-9</b>  | Umrechnung der Tabelle aus DIN EN 50083 Teil 8 Annex C von der Bezugsfrequenz 166 MHz auf 850 MHz, einschließlich Berücksichtigung eines 8-MHz-Kanalrasters und einem angepassten Schirmungsmaß Klasse A von 75 dB...39   | 39 |
| <b>Tabelle 2-10</b> | Berechnung der Störwirkung eines Mobilfunk-Endgerätes auf eine Kabelinfrastruktur mit Berücksichtigung der Empfangseigenschaften eines DVB-C-Empfängers.....  | 40 |
| <b>Tabelle 2-11</b> | Tabelle 2 aus DIN EN 50083-8 .....  | 41 |
| <b>Tabelle 2-12</b> | Grenzwerte für die passive Schirmung nach Klasse A und Klasse B laut Grenzwerttabelle 10 der DIN EN 50083-2 .....   | 42 |
| <b>Tabelle 2-13</b> | Berechnung der Störradien abhängig von den Schirmungen im Breitband-Kabelnetz mit angeschlossenen Consumer-Electronics-Endgeräten und der Strahlungsleistung der Mobilfunk-Endgeräte, basierend auf dem Link Budget ...44 | 44 |
| <b>Tabelle 2-14</b> | Beschreibung durchschnittlicher Raumgrößen und der realistischen Dämpfungen.....  | 44 |
| <b>Tabelle 2-15</b> | Minimale Sendeleistungen von GSM Mobilfunk-Endgeräten (Quelle: Mobilfunk in Liechtenstein - Studie zur Immissionssituation, enorm GmbH Mühldorfstrasse 8, D-81671 München) .....  | 46 |
| <b>Tabelle 2-16</b> | Störfestigkeitsanforderungen an Gehäuse außerhalb der genutzten Frequenzbereiche (Out-of-Band-Anforderungen); Quelle CISPR 20 Tabelle 15 .....  | 51 |
| <b>Tabelle 2-17</b> | Leistungen von Mobilfunk-Endgeräten gemäß CEPT Report 30<br>Tabelle 14: FDD or TDD TS In-block-emission-limit.....  | 51 |
| <b>Tabelle 2-18</b> | Leistungen von LTE-800-Mobilfunk-Basisstationen CEPT Report 30:<br>Table A1.1: Assumptions related to ECN base station .....  | 52 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabelle 2-19</b> Übergangsanforderungen – BEM für Außerblock-EIRP-Grenzwerte von Basisstationen je Antenne über FDD-Downlink-Frequenzen (Quelle: Frequenzzuteilung 800 MHz, Bundesnetzagentur)..... | 55 |
| <b>Tabelle 2-20</b> Berechnung der Störwirkung einer LTE-800-Basisstation auf Breitband-Kabelnetze (ohne angeschlossene Endgeräte) gemäß DIN EN 50083-8 und CEPT Report 30 .....                       | 57 |
| <b>Tabelle 2-21</b> Berechnung der Störwirkung eines Breitband-Kabelnetzes (ohne angeschlossene Endgeräte) gemäß DIN EN 50083-8 auf ein Mobilfunk-Endgerät ...   | 58 |
| <b>Tabelle 2-22</b> Werte für LTE-800-Mobilfunk-Basisstationen gemäß CEPT Report 30 .....  | 64 |
| <b>Tabelle 2-23</b> Annahmen für Mobilfunk-Endgeräte gemäß CEPT Report 30) .....   | 65 |

## 4.5 Abkürzungsverzeichnis

|                  |  |
|------------------|--|
| 3GPP             | 3rd Generation Partnership Project   |
| ACLR             | Adjacent Channel Leakage Ratio   |
| ANGA             | ANGA Verband Deutscher Kabelnetzbetreiber e.V.   |
| ATRT             | Ausschuss für technische Regulierung in der Telekommunikation<br>(ein beratender Ausschuss für die Bundesnetzagentur)  |
| BER              | Bit Error Ratio (Bitfehlerrate)  |
| CEN              | Comité Européen de Normalisation   |
| CENELEC          | Comité Européen de Normalisation Electrotechnique, engl. European<br>Committee for Electrotechnical Standardization  |
| CEPT             | Conférence Européenne des Administrations des Postes et des<br>Télécommunications, deutsch: Europäische Konferenz der Verwaltungen<br>für Post und Telekommunikation |
| CISPR            | Comité international spécial des perturbations radioélectriques,<br>deutsch: Internationales Sonderkomitee für Funkstörungen   |
| DIN              | Deutsches Institut für Normung e. V.   |
| DVB-C            | Digital Video Broadcasting – Cable   |
| ECC              | Electronic Communications Committee  |
| ECN              | Electronic Communication Network   |
| EIRP             | Equivalent Isotropic Radiated Power  |
| EMV              | elektromagnetische Verträglichkeit   |
| ESR <sub>5</sub> | Erroneous-Second Ratio (5 %)   |
| ETSI             | European Telecommunications Standards Institute  |
| FDD              | Frequency Division Duplexing   |
| GA               | Gemeinschaftsantennenanlage  |
| GGA              | Große Gemeinschaftsantennenanlagen   |
| GSM              | Global System for Mobile Communications  |
| HDTV             | High Definition Television (hochauflösendes Fernsehen)   |
| HF               | High Frequency (Hochfrequenz)  |
| IDTV             | Integrated Digital Television  |
| IEC              | International Electrotechnical Commission  |
| IMT              | International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000), Telekom-<br>munikationsstandard der dritten Generation  |
| IRT              | Institut für Rundfunktechnik GmbH  |

|            |   |
|------------|---|
| ITU        | International Telecommunication Union (Internationale Fernmeldeunion)                 |
| LTE        | 3GPP Long Term Evolution (Mobilfunkstandard als UMTS-Nachfolger)                      |
| MER        | Modulation Error Ratio  |
| MPEG       | Moving Picture Experts Group  |
| NTSC       | National Television Systems Committee   |
| OFDM       | Orthogonal Frequency-Division Multiplexing  |
| PAL        | Phase-Alternating-Line  |
| PMSE       | Program Making and Special Event  |
| QAM        | Quadrature Amplitude Modulation   |
| RF         | Radio Frequency   |
| SAT-GA     | Satelliten-Gemeinschaftsantennenanlagen   |
| SAW Filter | Surface Acoustic Wave Filter, (Oberflächenwellen-Filter)                              |
| SC-FDMA    | Single Carrier Frequency Division Multiplex Access                                    |
| STB        | Set-Top-Box   |
| TAD        | Teilnehmeranschlussdose   |
| TDD        | Time Division Duplexing   |
| TRP        | Total radiated power  |
| TV         | Television (Fernseh-...)  |
| UHF        | Ultra High Frequency  |
| UMTS       | Universal Mobile Telecommunications System (Mobilfunkstandard der dritten Generation) |
| VHF        | Very High Frequency   |
| WRC        | World Radio Conference  |
| ZF         | Zwischenfrequenz  |

## 4.6 Referenzen und Standards

### 3GPP TS 36.101 V8.5.1 (2009-03)

3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception (Release 8)

### 3GPP TS 36.104 V8.5.0 (2009-03)

3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 8)

### DIN EN 55013: 2006-10

Ton- und Fernseh-Rundfunkempfänger und verwandte Geräte der Unterhaltungselektronik — Funkstöreigenschaften — Grenzwerte und Messverfahren (CISPR 13:2001 (modifiziert))

### DIN EN 55016-1-1: 2010-09

Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit; Teil 1-1: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Messgeräte (CISPR 16-1-1:2010)

### DIN EN 55020: 2007-09

Ton- und Fernseh-Rundfunkempfänger und verwandte Geräte der Unterhaltungselektronik — Störfestigkeitseigenschaften — Grenzwerte und Prüfverfahren (CISPR 20:2002)

### DIN EN 55022: 2008-05

Einrichtungen der Informationstechnik — Funkstöreigenschaften — Grenzwerte und Messverfahren (CISPR 22:1997 (modifiziert))

### DIN EN 55024: 2003-10

Einrichtungen der Informationstechnik — Störfestigkeitseigenschaften — Grenzwerte und Messverfahren (CISPR 24:1997 (modifiziert))

### DIN EN 60728-1:2008

Kabelnetze für Fernsehsignale, Tonsignale und interaktive Dienste, Teil 1: Systemanforderungen in Vorwärtsrichtung, DKE

### DIN EN 50083-2:2007

Kabelnetze für Fernsehsignale, Tonsignale und interaktive Dienste, Teil 2: Elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten, DKE

### DIN EN 50083-8:2002

Kabelnetze für Fernsehsignale, Tonsignale und interaktive Dienste, Teil 8: Elektromagnetische Verträglichkeit von Kabelnetzen, DKE

ITU-R Recommendation BT.1368

Planning criteria for digital terrestrial television services in the VHF/UHF bands

ITU-R Recommendation F.1336

Reference radiation patterns of omnidirectional, sectoral and other antennas in point-to-multipoint systems for use in sharing studies in the frequency range from 1 GHz to about 70 GHz

ITU-R Recommendation P.525

Calculation of free-space attenuation

## 4.7 Zusammensetzung der Projektgruppe

| Name               | Firma                | Mail   |
|--------------------|----------------------|--|
| Hr. Artymiak       | VPRT                 | <a href="mailto:artymiak@vpert.de">artymiak@vpert.de</a>   |
| Hr. Belz           | Tele Columbus        | <a href="mailto:volker.belz@telecolumbus.de">volker.belz@telecolumbus.de</a>                                 |
| Hr. Berger         | FRK                  | <a href="mailto:berger@kabelverband-frk.de">berger@kabelverband-frk.de</a>                                   |
| Hr. Berner         | LFK                  | <a href="mailto:w.berner@lfk.de">w.berner@lfk.de</a>   |
| Hr. Blume          | Philips              | <a href="mailto:volker.blume@philips.com">volker.blume@philips.com</a>                                       |
| Hr. Bobrowski      | VZBV                 | <a href="mailto:Bobrowski@vzbv.de">Bobrowski@vzbv.de</a>   |
| Hr. Braun          | ANGA                 | <a href="mailto:thomas.braun@anga.de">thomas.braun@anga.de</a>   |
| Fr. Chardon        | ZVEI                 | <a href="mailto:Chardon@tv-plattform.de">Chardon@tv-plattform.de</a>   |
| Hr. Charissé       | ANGA                 | <a href="mailto:Peter.Charisse@anga.de">Peter.Charisse@anga.de</a>   |
| Hr. Ecker          | Kabelsignal          | <a href="mailto:alouis.ecker@kabelsignal.at">alouis.ecker@kabelsignal.at</a>                                 |
| Hr. Eder           | Stmwivt Bayern       | <a href="mailto:Bernhard.Eder@stmwivt.bayern.de">Bernhard.Eder@stmwivt.bayern.de</a>                         |
| Hr. Eibeck         | Primacom             | <a href="mailto:thomas.eibeck@primacom.de">thomas.eibeck@primacom.de</a>                                     |
| Hr. Eling          | Unity Media          | <a href="mailto:reinhard.eling@unitymedia.de">reinhard.eling@unitymedia.de</a>                               |
| Hr. Engelke        | ANGA                 | <a href="mailto:carsten.engelke@anga.de">carsten.engelke@anga.de</a>   |
| Hr. Exler          | Kathrein             | <a href="mailto:ralf.exler@kathrein.de">ralf.exler@kathrein.de</a>   |
| Hr. Fehr           | APWPT                | <a href="mailto:matthias.fehr@t-online.de">matthias.fehr@t-online.de</a>                                     |
| Hr. Fligg          | Vodafone             | <a href="mailto:klaus.fligg@vodafone.com">klaus.fligg@vodafone.com</a>                                       |
| Hr. Freese         | Blankom              | <a href="mailto:ernst.freese@blankom-digital.de">ernst.freese@blankom-digital.de</a>                         |
| Hr. Freyer         | Consultant (Vorsitz) | <a href="mailto:freyer.cgn@ish.de">freyer.cgn@ish.de</a>   |
| Hr. Garbe          | Uni Hannover         | <a href="mailto:garbe@geml.uni-hannover.de">garbe@geml.uni-hannover.de</a>                                   |
| Hr. Gauger         | ZVEI                 | <a href="mailto:egauger@gauger-consult.de">egauger@gauger-consult.de</a>                                     |
| Hr. Geiss          | EU Commission        | <a href="mailto:andreas.geiss@ec.europa.eu">andreas.geiss@ec.europa.eu</a>                                   |
| Hr. Göring         | DKE                  | <a href="mailto:hans-guenter.goering@vde.com">hans-guenter.goering@vde.com</a>                               |
| Hr. Gorol          | IRT                  | <a href="mailto:gorol@irt.de">gorol@irt.de</a>   |
| Hr. Gräf           | O2                   | <a href="mailto:peter.graef@o2.com">peter.graef@o2.com</a>   |
| Hr. Gustrau        | NSN                  | <a href="mailto:joerg.gustrau@nsn.com">joerg.gustrau@nsn.com</a>   |
| Hr. Hartung        |                      | <a href="mailto:ci-hartung@t-online.de">ci-hartung@t-online.de</a>   |
| Hr. Hechel         | Metz                 | <a href="mailto:roland.hechel@metz.de">roland.hechel@metz.de</a>   |
| Hr. Herkommer      | KabelBW              | <a href="mailto:martin.herkommer@kabelbw.de">martin.herkommer@kabelbw.de</a>                                 |
| Hr. Hess           | ZVEH'                | <a href="mailto:g.hess@anas-suhl.de">g.hess@anas-suhl.de</a>   |
| Hr. Hilbich        | Sennheiser           | <a href="mailto:norbert.hilbich@sennheiser.com">norbert.hilbich@sennheiser.com</a>                           |
| Hr. Huenninghausen | KDG                  | <a href="mailto:heribert.huenninghausen@kabeldeutschland.de">heribert.huenninghausen@kabeldeutschland.de</a> |
| Hr. Illemann       | Microtune            | <a href="mailto:frank.illemann@microtune.com">frank.illemann@microtune.com</a>                               |
| Hr. Janik          | Unity Media          | <a href="mailto:viktor.janik@unitymedia.de">viktor.janik@unitymedia.de</a>                                   |
| Hr. Kaefer         | KBW                  | <a href="mailto:Martin.Kaefer@kabelbw.com">Martin.Kaefer@kabelbw.com</a>                                     |
| Hr. Kauki          | Consultant           | <a href="mailto:AKA@Braun-Concept-Consulting.de">AKA@Braun-Concept-Consulting.de</a>                         |
| Hr. Khun-Jush      | Qualcomm             | <a href="mailto:khunjush@qualcomm.com">khunjush@qualcomm.com</a>   |
| Hr. Klein          | FRK                  | <a href="mailto:ruediger.klein@xmedianet.de">ruediger.klein@xmedianet.de</a>                                 |

| <b>Name</b>         | <b>Firma</b>      | <b>Mail</b>  |
|---------------------|-------------------|--|
| Hr. Kopp            | KBW               | <a href="mailto:udo.kopp@kabelbw.com">udo.kopp@kabelbw.com</a>   |
| Hr. Kraemer         | E-Plus            | <a href="mailto:Michael.Kraemer@eplus-gruppe.de">Michael.Kraemer@eplus-gruppe.de</a>                   |
| Hr. Kreher          | Telekom           | <a href="mailto:wolfgang.kreher@telekom.de">wolfgang.kreher@telekom.de</a>                             |
| Hr. Kretzschmann    | LFK               | <a href="mailto:R.Kretzschmann@lfk.de">R.Kretzschmann@lfk.de</a>                                       |
| Hr. Klusmann        | Bitkom            | <a href="mailto:b.klusmann@bitkom.org">b.klusmann@bitkom.org</a>                                       |
| Hr. Kwiatkowski     | TÜV               | <a href="mailto:Kamillo-Thomas.Kwiatkowski@de.tuv.com">Kamillo-Thomas.Kwiatkowski@de.tuv.com</a>       |
| Hr. Lang            | Bcn-Consulting    | <a href="mailto:thomas.lang@bcn-consulting.de">thomas.lang@bcn-consulting.de</a>                       |
| Hr. Lebrun          | Qualcom           | <a href="mailto:glebrun@qualcomm.com">glebrun@qualcomm.com</a>   |
| Hr. Legutko         | Intel             | <a href="mailto:christoph.legutko@intel.com">christoph.legutko@intel.com</a>                           |
| Hr. Lisse           | Cable Europe      | <a href="mailto:volker.lisse@cable-europe.eu">volker.lisse@cable-europe.eu</a>                         |
| Hr. Loewenstein     | O2                | <a href="mailto:Uwe.Loewenstein@o2.com">Uwe.Loewenstein@o2.com</a>                                     |
| Hr. Lorenz          | Media Broadcast   | <a href="mailto:Ronald.Lorenz@media-broadcast.com">Ronald.Lorenz@media-broadcast.com</a>               |
| Hr. Malitte         | Sharp             | <a href="mailto:Andre.Malitte@seeg.sharp-eu.com">Andre.Malitte@seeg.sharp-eu.com</a>                   |
| Hr. Manhart         | Kathrein          | <a href="mailto:Guenther.Manhart@kathrein.de">Guenther.Manhart@kathrein.de</a>                         |
| Hr. Matzel          | ZDF               | <a href="mailto:Matzel.E@zdf.de">Matzel.E@zdf.de</a>   |
| Hr. Merdian         | KDG               | <a href="mailto:Georg.Merdian@kabeldeutschland.de">Georg.Merdian@kabeldeutschland.de</a>               |
| Hr. Merz            | Stk NRW           | <a href="mailto:roland.merz@stk.nrw.de">roland.merz@stk.nrw.de</a>                                     |
| Hr. Mezger          | IRT               | <a href="mailto:mezger@irt.de">mezger@irt.de</a>   |
| Hr. Mietho          | FRK               | <a href="mailto:f.mietho@kabelkom.de">f.mietho@kabelkom.de</a>   |
| Hr. Momcilovic      | KBW               | <a href="mailto:slobodan.momcilovic@kabelbw.com">slobodan.momcilovic@kabelbw.com</a>                   |
| Hr. Moser           | SWR               | <a href="mailto:johannes.moser@swr.de">johannes.moser@swr.de</a>                                       |
| Fr. von Oppenkowski | KDG               | <a href="mailto:Marja.vonOppenkowski@kabeldeutschland.de">Marja.vonOppenkowski@kabeldeutschland.de</a> |
| Hr. Pett            | ZVEI              | <a href="mailto:Pett@ZVEI.Org">Pett@ZVEI.Org</a>   |
| Hr. Plambeck        | Sharp             | <a href="mailto:Joerg.Plambeck@sharp.eu">Joerg.Plambeck@sharp.eu</a>                                   |
| Hr. Pohl            | Tele Columbus     | <a href="mailto:Richard.Pohl@telecolumbus.de">Richard.Pohl@telecolumbus.de</a>                         |
| Hr. Radtke          | Stk. NRW          | <a href="mailto:klaus.radtke@stk.nrw.de">klaus.radtke@stk.nrw.de</a>                                   |
| Hr. Rehfuess        | NSN               | <a href="mailto:ulrich.rehfuess@nsn.com">ulrich.rehfuess@nsn.com</a>                                   |
| Hr. Reiss           | NSN               | <a href="mailto:matthias.reiss@nsn.com">matthias.reiss@nsn.com</a>                                     |
| Hr. Reuter          | DTAG              | <a href="mailto:wendelin.reuter@telekom.de">wendelin.reuter@telekom.de</a>                             |
| Hr. Robijns         | Agentshap Telecom | <a href="mailto:jan.robijns@at-ez.nl">jan.robijns@at-ez.nl</a>   |
| Fr. Roessel         | NSN               | <a href="mailto:sabine.roessel@nsn.com">sabine.roessel@nsn.com</a>                                     |
| Hr. Sauer           | Tele Columbus     | <a href="mailto:Reinhard.Sauer@telecolumbus.de">Reinhard.Sauer@telecolumbus.de</a>                     |
| Hr. Schell          | Kathrein          | <a href="mailto:georg.schell@kathrein.de">georg.schell@kathrein.de</a>                                 |
| Hr. Schmid          | Alcatel           | <a href="mailto:Wolfgang.ws.Schmid@alcatel-lucent.de">Wolfgang.ws.Schmid@alcatel-lucent.de</a>         |
| Hr. Schwaegler      | Kabel BW          | <a href="mailto:Andreas.Schwaegler@kabelbw.com">Andreas.Schwaegler@kabelbw.com</a>                     |
| Hr. Schweyda        | Consult           | <a href="mailto:michael@schweyda.com">michael@schweyda.com</a>   |
| Hr. Silverberg      | ZVEI (Co-Chair)   | <a href="mailto:michael.silverberg@fh-koeln.de">michael.silverberg@fh-koeln.de</a>                     |
| Hr. Singer          | Liwest            | <a href="mailto:g.singer@liwest.at">g.singer@liwest.at</a>   |
| Hr. Sridharan       | Liwest            | <a href="mailto:n.sridharan@liwest.at">n.sridharan@liwest.at</a>                                       |
| Hr. Stadler         | Bitkom            | <a href="mailto:T.Stadler@bitkom.org">T.Stadler@bitkom.org</a>   |



| <b>Name</b>    | <b>Firma</b> | <b>Mail</b>  |
|----------------|--------------|--|
| Hr. Konschak   | Telekom      | <a href="mailto:thomas.konschak@telekom.de">thomas.konschak@telekom.de</a>                   |
| Hr. Tritscher  | WKO          | <a href="mailto:Rene.Tritscher@wko.at">Rene.Tritscher@wko.at</a>                             |
| Hr. Urbanek    | SWR          | <a href="mailto:Winfried.Urbaneck@swr.de">Winfried.Urbaneck@swr.de</a>                       |
| Hr. Weber      | Loewe        | <a href="mailto:Wolfgang.Weber@loewe.de">Wolfgang.Weber@loewe.de</a>                         |
| Hr. Wedemeier  | GDW          | <a href="mailto:wedemeier@gdw.de">wedemeier@gdw.de</a>                                       |
| Hr. Wehner     | Ericsson     | <a href="mailto:axel.wehner@ericsson.com">axel.wehner@ericsson.com</a>                       |
| Hr. Westerkamp | Technicolor  | <a href="mailto:dietrich.westerkamp@technicolor.com">dietrich.westerkamp@technicolor.com</a> |
| Hr. Wiemeler   | Vodafone     | <a href="mailto:michael.wiemeler@vodafone.com">michael.wiemeler@vodafone.com</a>             |
| Hr. Wilharm    | ANGA         | <a href="mailto:andreas.wilharm@anga.de">andreas.wilharm@anga.de</a>                         |
| Hr. Woerl      | Sony         | <a href="mailto:bernd.woerl@eu.sony.com">bernd.woerl@eu.sony.com</a>                         |
| Hr. Wörle      | BLM          | <a href="mailto:harald.woerle@blm.de">harald.woerle@blm.de</a>                               |

Die Liste der Teilnehmer wurde ohne akademische Titel erstellt!

Die Vorsitzenden der ATRT Projektgruppe 7 (PG\_ESKM) danken den Vertretern der Bundesnetzagentur, den Herren Braun, Hasenpusch, Noll, Röske, Schmidt und Schwalbach, für die fachliche Information und Beratung bei der Erstellung des Berichts.