



# EMF-Monitoring in Bayern 2006/2007

Messungen von elektromagnetischen Feldern (EMF)  
in Wohngebieten







# **EMF-Monitoring in Bayern 2006/2007**

**Messungen von elektromagnetischen Feldern (EMF)  
in Wohngebieten**

## Impressum

EMF-Monitoring in Bayern 2006/2007  
Messungen von elektromagnetischen Feldern (EMF) in Wohngebieten  
ISBN (Online-Version): 978-3-936385-32-8

### Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg  
Tel.: 0821 9071 - 0  
Fax: 0821 9071 - 5556  
E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)  
Internet: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)

### Bearbeitung/Text/Konzept:

LfU, Referat 28, Dr. Karl-Peter Müller  
LfU, Referat 29, Dr. Thomas Kurz

### Redaktion:

LfU, Referat 28, Dr. Karl-Peter Müller  
LfU, Referat 29, Dr. Thomas Kurz

### Mitwirkende am EMF-Monitoring:

Allen am EMF-Monitoring 2006/2007 Beteiligten sei herzlich gedankt: Dr. Karl-Peter Müller, Günther Plötz, Christian Wiedemann, Hubert Gail, Stefan Weber, Ulrich Gampl, Dr. Jan Bernkopf sowie den Mitgliedern des Fachbeirats.

### Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt  
DVB-T Projektbüro Bayern, Pfälzer-Wald-Straße 32, 81539 München (Seite 32)

### Stand:

August 2008

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Vorbemerkungen</b>	<b>5</b>
2.1	Notationen und Begriffe	5
2.2	Statistik	6
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>8</b>
3.1	Messgeräte	8
3.2	Messpakete	8
3.3	Reproduzierbarkeit der Messungen	10
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>16</b>
4.1	Vorbemerkungen	16
4.2	Berechnung der Grenzwertausschöpfung	16
4.3	Auswertung der Messdaten	17
4.4	Änderungen	19
4.5	Statistische Signifikanz der Änderungen	20
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>21</b>
5.1	Niederfrequenzbereich (Elektrische und magnetische Felder der Energieversorgung)	21
5.2	Lang-, Mittel- und Kurzwelle bis 10 MHz – Reizwirkungsbereich	23
5.3	Hochfrequenzbereich	25
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>50</b>
<b>A</b>	<b>Einzelergebnisse der Messpunkte</b>	<b>52</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>77</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>78</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>79</b>

# 1 Einleitung

Das Thema „Elektromagnetische Felder“ wird in der Öffentlichkeit seit Jahren diskutiert. Vielerorts wird bei Errichtung insbesondere von Mobilfunkbasisstationen in ihrer Umgebung gemessen. Im konkreten Fall ist das vollkommen ausreichend, um die Immissionen zu erfassen, wenn auch nicht allgemein repräsentativ. Mit dem EMF-Monitoring hat sich das LfU 2002 zum Ziel gesetzt, die elektromagnetischen Felder nach Zufallsstichproben bevölkerungsgewichtet turnusmäßig zu erfassen.

Nach dem ersten Durchgang 2002/2003 fand 2006/2007 die zweite Messreihe statt. Dabei wurde insbesondere auf die Vergleichbarkeit der Datensätze Wert gelegt. Dieser Bericht liefert – gegliedert nach Funkdiensten wie Hörfunk, Fernsehen und Mobilfunk – eine Gegenüberstellung der Situationen 2002/2003 und 2006/2007. Er versucht dabei insbesondere, die messtechnisch gewonnenen Daten mit der technischen Entwicklung der vergangenen Jahre zu korrelieren. Darunter fallen der Ausbau der GSM-Mobilfunknetze, der Aufbau der UMTS-Netze oder auch die Digitalisierung des terrestrischen Fernsehens.

Der Bericht ist folgendermaßen gegliedert: Zunächst gibt Kapitel 2 einen Überblick über die verwendeten Formelzeichen und Begriffe. Anschließend erläutern die Abschnitte 3 und 4 die Durchführung und Auswertung der Messungen. Dabei wird auch auf die Reproduzierbarkeit des ersten Durchlaufs eingegangen. Die Ergebnisse sind dann in Kapitel 5 zusammengestellt. Dieses Kapitel ist nach den zu Grunde liegenden biologischen Wirkungen unterteilt in Niederfrequenz, worunter Immissionen der Energieversorgung fallen, den Reizwirkungsbereich bis 10 MHz, der zusätzlich noch Funkdienste in diesem Frequenzbereich enthält, und Hochfrequenzbereich, der den Wirkungsbereich thermischer Effekte repräsentiert. Der Bericht schließt mit einer Zusammenfassung.

## 2 Vorbemerkungen

### 2.1 Notationen und Begriffe

Die große Frequenzspannweite des Monitorings (10 Hz bis 3,0 GHz) mit dem zugehörigen Grenzwertverlauf, erfordert eine klare Bezeichnung der verwendeten Größen. Dieser Bericht verwendet folgende Konventionen:

- Nicht-ionisierende Strahlung kann unterteilt werden in elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder. Elektrische Felder werden mit dem Formelzeichen  $E$ , magnetische mit dem Formelzeichen  $H$  versehen. Da Messgeräte das magnetische Feld über induzierte Spannungen messen, geben sie üblicherweise die magnetische Induktion  $B$  aus.
- Ausschöpfungsgrade, d.h. geeignet summierte und auf den Grenzwert bezogene Feldstärkewerte, werden generell mit dem Formelzeichen  $Q$  versehen. Ein Index gibt die Bezugsgröße an:  $Q^E$  und  $Q^H$  bezeichnen die Grenzwertausschöpfung der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärke (Summation bis 10 MHz).  $Q^{E^2}$  bezeichnet die Grenzwertausschöpfung in Bezug auf das Quadrat der elektrischen Feldstärke im Hochfrequenzbereich ab 100 kHz. Nähere Informationen dazu finden sich in Kapitel 4.2 bei der Erläuterung der Grenzwertbildung und Summation.
- Quantile der Verteilung erhalten einen numerischen Index. Der Index gibt den Unterschreitungsanteil an.  $Q_{50}$  entspricht dem Median.
- Der gelegentlich auftretende arithmetische Mittelwert enthält anstelle eines numerischen Index das Kürzel AVG:  $Q_{avg}$ .

Der Bericht verwendet folgende Begriffe (ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

- Frequenzbereich: Ein Frequenzbereich ist ein Teilbereich des elektromagnetischen Spektrums.
- Funkdienst: Als Funkdienst wird die drahtlose Übermittlung von Nachrichten mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen bezeichnet, wobei ein gemeinsamer Zweck verfolgt wird.
- Frequenzband: Ein Frequenzband bezeichnet Frequenzbereiche der zur technischen Kommunikation verwendeten elektromagnetischen Wellen. Beispiel: Das Frequenzband für UKW umfasst den Frequenzbereich von 87,5 MHz bis 108 MHz.
- Kanal: Viele Funkdienste teilen das ihnen zur Verfügung stehende Frequenzband weiter auf. Ein solcher Teil wird als Kanal bezeichnet. Am bekanntesten ist das Konzept beim Fernsehen. Dort bezeichnet etwa Kanal 21 den Frequenzbereich zwischen 470 MHz und 478 MHz. Die Kanalmitte ist die Mittenfrequenz des Kanals, hier also 474 MHz. Die Kanalbreite ist der Abstand zwischen linker und rechter Grenzfrequenz des Kanals, hier folglich 8 MHz.
- Bandbreite: Frequenzselektive Immissionsmessungen von Funkdiensten sollten idealerweise aufschlüsseln, welche Immissionen von welchem Kanal stammen. Dazu wird Filterelektronik verwendet. Die Frequenzbreite des Filters sollte möglichst der Kanalbreite entsprechen, was bisweilen aber nicht immer möglich ist. Bei zu schmalen Filter werden nicht die vollen Immissionen eines Kanals erfasst, bei zu breitem Filter kommt es zu Überbewertungen durch Anteile der Nachbarkanäle.
- Messpaket: Bei der Immissionsmessung wird der technisch genutzte Bereich des elektromagnetischen Spektrums in Frequenzbereiche unterteilt und jeweils mit den Einstellungen gemessen, die den dort ansässigen Funkdienst am besten erfassen (siehe auch unter „Bandbreite“). Daraus ergibt sich eine Liste von Einstellungen, mit denen eine festgelegte Liste an Frequenzen (i.d.R. die Mittenfrequenzen eines Kanals) durchlaufen werden. Diese Kombination wird als Messpaket bezeichnet.
- Max-Hold-Modus: Bei einer Immissionsmessung werden i.d.R. über eine gewisse Zeit laufend Spektren gemessen. Der Max-Hold-Modus hält dabei zu jeder erfassten Einzelfrequenz den in diesem Messzeitraum höchsten aufgetretenen Feldstärkewert fest.
- Max-Peak-Detektor, RMS-Detektor: Während der Zeit, zu der die Feldstärke bei einer Frequenz gemessen wird, kann wiederum der höchste auftretende Wert (Max-Peak) oder ein quadratischer Mit-

telwert (RMS) bestimmt werden. Messungen mit RMS-Detektor kommen den ICNIRP-Forderungen nach quadratisch gemittelten Feldstärken näher als solche mit Max-Peak-Detektor.

- Füllsender: Versorgen leistungsstarke Sender eine große Fläche, z.B. von Bergen aus wie bei Hörfunk und Fernsehen, so können u.U. kleine Teile dieser Fläche im Funkschatten liegen, etwa, weil sie durch einen niedrigeren Hügel abgeschattet sind. Häufig wird zur Versorgung solcher Gebiete ein leistungsschwacher Sender (Füllsender) installiert.
- EGSM: GSM-Mobilfunk-Erweiterungsband zwischen 925 MHz und 935 MHz.
- GSM-R: Abkürzung für GSM-Railway, einer GSM-Variante, die von der Deutschen Bahn verwendet wird.

## 2.2 Statistik

### 2.2.1 Lagemaße

Die Tabellen „statistische Lagemaße“ enthalten summierte Grenzwertausschöpfungen gemäß den Gleichungen (4.1) bis (4.3). Zur besseren Lesbarkeit sind sie stets in folgenden Einheiten angegeben:

- Im Reizwirkungsbereich, d.h. bei Verwendung der Gleichungen (4.1) und (4.2), in Promille (‰;  $10^{-3}$ ).
- Im Bereich thermischer Wirkung, bei Verwendung von Gleichung (4.3), in „ppm“ ( $10^{-6}$ ).

Sie enthalten stets folgende Spalten:

- Daten: Kurzbezeichnung der enthaltenen Daten oder Frequenzbereiche.
- $Q_{avg}$ : Arithmetisches Mittel des Ausschöpfungsgrads.
- SD: Standardabweichung des Ausschöpfungsgrads.
- $Q_{25}$ ,  $Q_{50}$ ,  $Q_{75}$ : Quartilwerte des Ausschöpfungsgrads.
- IQR: Quartilabstand  $Q_{75} - Q_{25}$ .
- $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$ ,  $Q_{99}$ : 90 %, 95 % und 99 % Quantile des Ausschöpfungsgrads.

Die Abschnitte 2002/2003 und 2006/2007 enthalten die Lagemaße des ersten und zweiten Monitorings; der Abschnitt „Änderung von 2002/2003 auf 2006/2007“ bezieht sich auf die verbundene Stichprobe der beiden Durchläufe. Dadurch entspricht zwar die Differenz des Mittelwerts dem unter „Änderung“ angegebenen Wert, für die Quantile ergeben sich jedoch unabhängige Zahlenwerte.

### 2.2.2 Signifikanz

Die Tabellen „Bewertung der statistischen Signifikanz“ enthalten folgende Parameter der verbundenen Stichproben 2002/2003 und 2006/2007:

- $Q_{avg}$ : Arithmetischer Mittelwert der Differenzen beider Durchgänge.
- SD: Zugehörige Standardabweichung.
- $N$ : Anzahl berücksichtigter Datenpunkte.
- $t$ :  $t$ -Wert aus gepaartem  $t$ -Test.
- $p$ :  $p$ -Wert der zugehörigen zweiseitigen Student- $t$ -Verteilung.
- $z$ :  $z$ -Wert aus Wilcoxon-Test.
- stat. Sign.: Beurteilung der statistischen Signifikanz auf Basis des Wilcoxon-Tests.

Die Zahlenwerte von  $Q_{avg}$  und SD sind für den Reizwirkungsbereich in Einheiten von  $10^{-3}$  (‰), im thermischen Bereich in Einheiten von  $10^{-6}$  („ppm“) angegeben.

### 2.2.3 Spannweite

Die Tabellen „statistische Spannweite“ geben Auskunft über die höchsten und niedrigsten aufgetretenen Werte. Sie enthalten spaltenweise folgende Daten:

- AVG: Arithmetischer Mittelwert der Einzelmessungen pro Messort.
- MIN, MAX: Niedrigster und höchster Einzelwert je Messort.
- SD: Standardabweichung der Einzelmessungen pro Messort.
- LOG-AVG: Dekadisch logarithmierter Mittelwert der Einzelmessungen ( $= \log_{10}(Q_{\text{avg}})$ ).

Zeilenweise sind folgende Informationen angegeben:

- Höchster Wert der Messorte
- Mittelwert über die Messorte
- Standardabweichung
- Variationskoeffizient

Die Zahlenwerte der Spalten- und Zeilenkombinationen von Maximum, Minimum, Mittelwert und Standardabweichung sind für den Reizwirkungsbereich in Einheiten von  $10^{-3}$  (‰), im thermischen Bereich in Einheiten von  $10^{-6}$  angegeben.

Lesebeispiel: Werden an 400 Messorten jeweils 10 Messungen durchgeführt, so gibt es an jedem Messort einen niedrigsten Wert (der jeweils 10 Messungen). Hierauf bezieht sich die Spalte MIN. Von diesen 400 niedrigsten Werten gibt es wiederum einen größten. Darauf bezieht sich die Zeile „Höchster Wert der Messorte“.

Der in den Tabellen „statistische Lagemaße“ angegebene Mittelwert  $Q_{\text{avg}}$  entspricht in den Spannweitentabellen der Kombination „Mittelwert über die Messorte“ und AVG, die Standardabweichung der Kombination „Standardabweichung“ und AVG.

## 3 Durchführung

### 3.1 Messgeräte

Wie bereits 2002/2003 erfolgten die Messungen im Hochfrequenzbereich mittels eines automatischen Messsystems von Rohde & Schwarz. Es besitzt folgende Messantennen:

- Zwei Ringantennen HFH2-Z2 zur Erfassung der magnetischen Feldstärke im Frequenzbereich von 9 kHz bis 20 MHz. Die Umrechnung in die elektrische Feldstärke erfolgt unter der Annahme von Fernfeldbedingungen per Kalibrierungstabelle.
- HE314A1 für die horizontale Komponente der elektrischen Feldstärke im Bereich zwischen 20 MHz und 500 MHz.
- HE309 für die vertikale Komponente der elektrischen Feldstärke im Bereich zwischen 20 MHz und 1,3 GHz.
- HF214 für die horizontale Komponente der elektrischen Feldstärke zwischen 500 MHz und 1,3 GHz.
- Zwei HF902 für die beiden Komponenten der elektrischen Feldstärke zwischen 800 MHz und 3,0 GHz.
- Kalibrierte Antennenkabel für alle verwendeten Pfade.

Das automatische Messsystem soll einen möglichst gleich bleibenden Ablauf der Messungen an allen 400 Messorten sicherstellen. Um bereits kurzzeitige Feldstärkeänderungen zu erfassen, wurden alle Messpakete (siehe Kapitel 3.2) i.d.R. zehn mal abgearbeitet, wodurch sich eine durchschnittliche Messzeit von 73 min (2002/2003: 62 min) ergab.

Bei Regen wurde wiederum nicht gemessen, um mögliche Dämpfungseffekte auf Grund feuchter Antennen zu vermeiden und das Messsystem zu schützen, ebenso bei Temperaturen von weniger als 0 °C und unterhalb von 5 °C nur im Ausnahmefall, weil die Temperatur während der Messung abfiel. 5 °C ist die Temperatur, bis zu der das System spezifiziert ist.

Im Niederfrequenzbereich kam wieder ein Narda EFA-300 field analyzer zum Einsatz, der in zwei Frequenzbereichen (5 Hz bis 2 kHz mit einer Auflösung von 1 Hz und 40 Hz bis 32 kHz mit einer Auflösung von 10 Hz) die elektrische und magnetische Feldstärke getrennt erfasst. An jedem Messort wurden drei jeweils über etwa ein bis zwei Minuten im Max-Hold-Modus ermittelte RMS-Werte in beiden Frequenzen (2002/2003: nur unterer Frequenzbereich) gespeichert. Dadurch steht für jede Frequenz der höchste während des Messzeitraums aufgetretene Feldstärkewert zur Verfügung.

### 3.2 Messpakete

Der Hochfrequenzbereich wurde wegen seiner großen Frequenzspannweite nach Funkdiensten zu Messpaketen zusammengefasst. Jedes Messpaket ist von seinen Messparametern (Auflösebandbreite, Sweepzeit, etc.) auf die Charakteristika des zu Grunde liegenden Funkdiensts abgestimmt. Die schon 2002/2003 verwendeten Messpakete blieben unverändert; bisweilen wurden zusätzlich abgeänderte Versionen derselben Messbereiche verwendet (siehe dazu auch Kapitel 4.4).

Die einzelnen Messpakete sind in Tab. 3-1 und Tab. 3-2 aufgeführt.

Tab. 3-1: Übersicht über die verwendeten Messpakete (Teil 1). Auf „\_mon“ endende Messpakete beziehen sich auf den Durchlauf 2002/2003. Bei den mit (\*) gekennzeichneten Messpaketen handelt es sich um optionale Messpakete, die an den Messorten nur bei Bedarf zugeschaltet wurden.

Messpaket	Funkdienst	f/MHz	Detektor	Peaks
LWMW_mon	Lang- und Mittelwellenrundfunk	0,6 – 1,6	MaxPeak	10
LWMW_mon05				20
KW_mon	Kurzwellenrundfunk	1,6 – 30	MaxPeak	10
KW_mon05				20
TV1U_mon (*)	Verschiedene (u.a. Militär)	30 – 47	MaxPeak	10
TV1U_mon05 (*)				20
TV1_mon	Fernsehen (bis 2008)	48 – 68	MaxPeak	6
TV1_mon05				
TV1O_mon (*)	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS-Funk)	68,5 – 87	MaxPeak	10
TV1O_mon05 (*)				20
UKW_mon	Hörfunk	87,5 – 108	MaxPeak	206
UKW_mon05				
BOS_mon (*)	BOS-Funk	108,5 – 174	MaxPeak	10
BOS_mon05 (*)				20
TV3_mon	Fernsehen	175 – 223	MaxPeak	14
TV3_mon05				
DVBT3-4_RMS_mon		175 – 223	RMS	7
DAB_mon	Hörfunk	223 – 230	MaxPeak	4
DAB1_mon05				4
DAB1_RMS_mon		223 – 230	RMS	4
DATA_mon (*)	Verschiedene	230 – 470	MaxPeak	10
DATA_mon05 (*)				20
TV4_mon	Fernsehen	471 – 500	MaxPeak	7
TV4_mon05				
DVBT4_RMS_mon05				
TV5_mon	Fernsehen	501 – 790	MaxPeak	73
TV5_mon05				73
DVBT5_RMS_mon		501 – 862	RMS	45
GSM900UL_mon (*)	Mobilfunk	790 – 915	MaxPeak	10
GSM900UL_mon05 (*)		862 – 920		20
GSM900DL_mon	Mobilfunk	921 – 960	MaxPeak	196
GSM900DL_mon05				
RADAR1_mon (*)	Verschiedene	961 – 1450	MaxPeak	10
RADAR1_mon05 (*)				20

Tab. 3-2: Übersicht über die verwendeten Messpakete (Teil 2). Auf „\_mon“ endende Messpakete beziehen sich auf den Durchlauf 2002/2003. Bei den mit (\*) gekennzeichneten Messpaketen handelt es sich um optionale Messpakete, die an den Messorten nur bei Bedarf zugeschaltet wurden.

Messpaket	Funkdienst	f/MHz	Detektor	Peaks
DAB2_mon	Verschiedene	1400 – 1720	MaxPeak	10
DAB2_mon05				20
DAB2_RMS_mon05	Hörfunk	1450 – 1490	RMS	23
GSM1800UL_mon (*)	Mobilfunk	1725 – 1820	MaxPeak	10
GSM1800UL_mon05 (*)				20
GSM1800DL_mon	Mobilfunk	1820 – 1876	MaxPeak	281
GSM1800DL_mon05				
DECT_mon (*)	DECT-Telefonie	1880 – 1900	MaxPeak	10
DECT_mon05				
UMTS_mon (*)	Mobilfunk	2000 – 2200	MaxPeak	13
UMTS_RMS_mon05				RMS
RADAR2_mon (*)	Verschiedene (u.a. WLAN)	2200 – 3000	MaxPeak	10
RADAR2_mon05 (*)				20

### 3.3 Reproduzierbarkeit der Messungen

#### 3.3.1 Messpunktauswahl 2006/2007

Für den ersten Durchlauf in den Jahren 2002/2003 wurde ein bevölkerungs- und flächengewichteter Ansatz gewählt. Anwohner der Messpunkte beklagten oft, die Messung sei nicht repräsentativ, weil sie durch zu großen Abstand von Sendeanlagen nicht das Immissionsmaximum erfasse. Tatsächlich ist aber gerade diese Beschwerde statistisch nicht sinnvoll, weil nicht jeder Bürger gegenüber einer Mobilfunk-Basisstation wohnt. Mit dem damals festgelegten Konzept, Messpunkte zwar zufällig, aber bevölkerungsgewichtet auszuwählen, wurde eine bevölkerungsrepräsentative Erfassung der Immissionen ermöglicht. Da das Konzept ferner unabhängig von der damaligen Infrastruktur von HF-Sendeanlagen oder Spannungsversorgungsleitungen war, sind die damals ausgewählten Punkte auch heute wieder repräsentativ und spiegeln die mittlere Immissionssituation unter veränderten Bedingungen wider.

Wo immer möglich, wurde versucht, dieselben Punkte wie 2002/2003 zu verwenden. Obwohl damit zu rechnen war, dass einige Messpunkte auf Grund baulicher Veränderungen nicht mehr anfahrbar sein würden, konnten doch 400 der insgesamt 403 Messpunkte wieder verwendet werden. Die drei verbliebenen Punkte befinden sich in Gößweinstein, Neukirchen vorm Wald und Altötting. Rechtliche Schwierigkeiten führten jeweils dazu, dass neue Alternativen gewählt werden mussten. Bei den Vorbereitungen zur Messaktion 2002 wurden an jedem gelosten Ort etwa 2 x – 3 x so viele Alternativen gezogen wie benötigt. Dadurch standen für den zweiten Durchlauf noch Reserven bereit, die dann auch allesamt erfolgreich verwendet werden konnten. An einem Ort ist dadurch aber die Reserve erschöpft, sodass im Falle einer abermaligen Verlegung des Messpunkts neue Alternativen mit dem 2002 verwendeten Verfahren zu ermitteln sind.

### 3.3.2 Örtliche Reproduzierbarkeit

Die Antennenaufbauten wurden 2002/2003 an allen Messpunkten fotografisch dokumentiert. Die Genauigkeit, mit der die Standorte reproduziert werden konnten, beschränkte sich 2006/2007 jeweils auf die Qualität der Fotos, die von Messpunkt zu Messpunkt bisweilen erheblich schwankte.

Abb. 3-1 zeigt exemplarisch eine der Fotodokumentationen. Der Antennenstandpunkt ist durch Gehwegkante und Straßenschild ausreichend genau festgelegt und konnte 2006/2007 dementsprechend gut reproduziert werden. Bei solchen Messpunkten konnte die Ortsunsicherheit durchaus auf wenige zehn Zentimeter begrenzt werden. In anderen Fällen (Abb. 3-2) glich die Fotodokumentation eher einem Antennen-Suchspiel und führte durchaus zu Ortsunsicherheiten von zehn Metern.

Meist waren die Fotos durchaus ausreichend, um den Standort auf etwa 0,5 m genau wiederzufinden. Auch 2006/2007 wurden erneut Fotos aller Antennenstandorte aufgenommen: zum einen, um bei einem dritten Monitoring weitere und eventuell bessere Bilder zur Verfügung zu haben, zum anderen natürlich zur Dokumentation der Standortabweichungen.



Abb. 3-1: Beispiel einer guten Fotodokumentation. Links: Monitoring 2002/2003. Rechts: Zweiter Durchlauf 2006/2007.



Abb. 3-2: Beispiel einer ungenügenden Fotodokumentation aus dem Jahr 2002.

### 3.3.3 Zeitliche Reproduzierbarkeit

Vor Beginn des zweiten Durchlaufs wurde darauf geachtet, die Messpunkte wieder in ähnlicher Reihenfolge wie 2002/2003 anzufahren, um zu vermeiden, dass die zeitliche Differenz bei manchen Punkten nur drei Jahre (2003 bis 2006), dafür bei anderen fast fünf Jahre (2002 bis 2007) beträgt. Dennoch war es nicht möglich, alle Messpunkte in der exakt richtigen Reihenfolge anzufahren, geschweige denn noch die Tageszeit zu berücksichtigen.

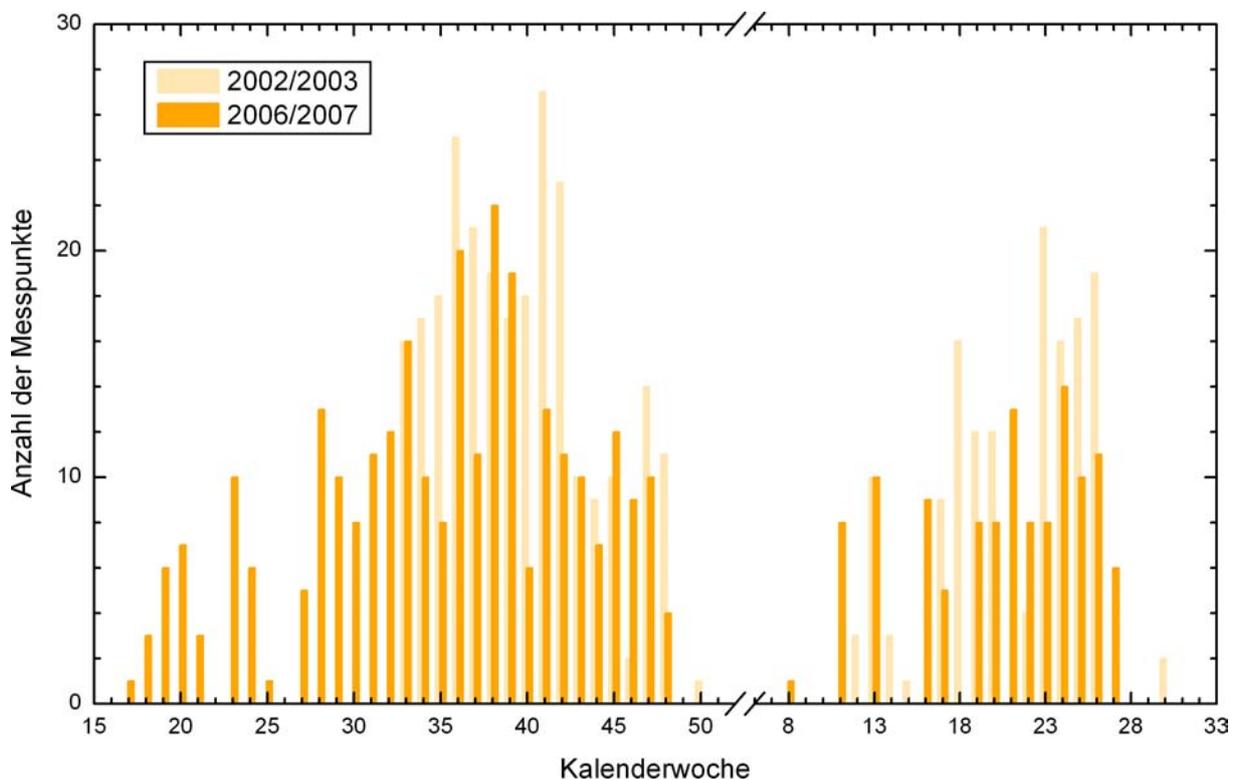


Abb. 3-3: Jahreszeitliche Verteilung der Messzeiten nach Kalenderwochen (Vergleich 2002/2003 mit 2006/2007).

In Abb. 3-3 ist die zeitliche Abfolge der beiden Messdurchläufe dargestellt. Im Jahr 2002 begannen die Messungen in Kalenderwoche 33 und dauerten bis zur 30. Woche des Folgejahrs, unterbrochen durch eine Winterpause von KW 51/2002 bis KW 11/2003.

Der zweite Durchlauf begann 2006 bereits in KW 17 und dauerte bis KW 27 in 2007, dauerte also etwa drei Monate (13 Wochen) länger. Dieser Unterschied ist zum Teil auf Verlängerungen des Messprogramms (durch Einführung zusätzlicher Messpakete) zurückzuführen, liegt aber auch in Schlechtwetterperioden begründet.

Abb. 3-4 zeigt die Verteilung der Zeitunterschiede. Aufgetragen ist die Anzahl der Messpunkte in Abhängigkeit der Abweichung vom 4-Jahres-Abstand. Der Mittelwert liegt bei  $-5$ , d.h. im Mittel lagen drei Jahre und 47 Wochen zwischen den Messungen. Tendenziell weicht aber die Mehrheit der Messpunkte nach oben ab, dafür in nur geringem Ausmaß, wohingegen die wenigen Messpunkte mit kürzeren Zeitunterschieden größere Abweichungen vom Mittelwert besitzen. Diese Asymmetrie ist u.a. darauf zurück zu führen, dass einige Messpunkte im Raum Regensburg, die nach der Rangfolge des ersten Monitorings erst im Frühjahr 2007 vorgesehen gewesen wären, auf Oktober/November 2006 vorgezogen wurden. In dieser Region erfolgte die Umstellung des terrestrischen Fernsehens auf DVB-T (siehe auch Kapitel 5.3.2.1) am 06. Dezember 2006; die Option auf eine Vorher-Nachher-Messung sollte eröffnet werden, wurde aber letztlich aus Zeitgründen nicht umgesetzt.

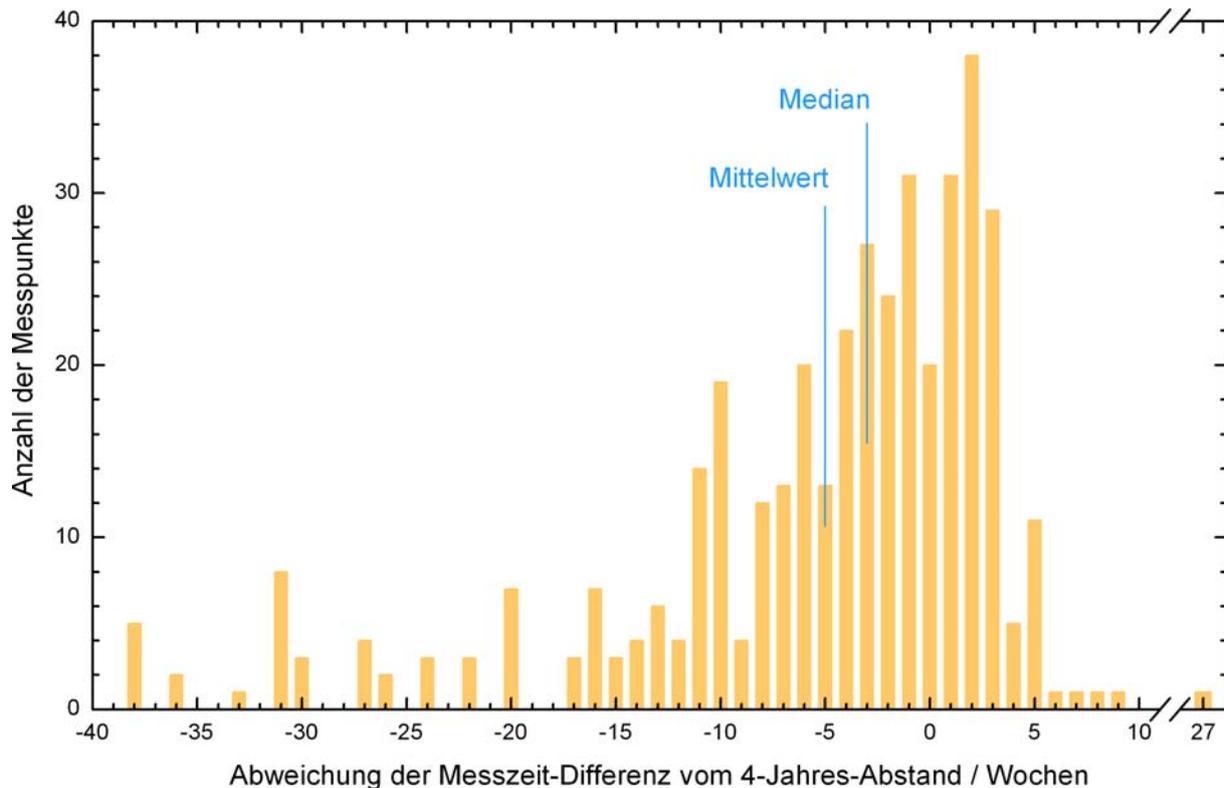


Abb. 3-4: Verteilung der Zeit-Differenzen zwischen erstem und zweitem Monitoring, normiert auf den Abstand von vier Jahren.

Die Standardabweichung liegt bei 9 Wochen. 83 % der Messpunkte befinden innerhalb des Intervalls von plus/minus einer Standardabweichung um den Mittelpunkt.

### 3.3.4 Technische Reproduzierbarkeit

In der schnelllebigen Zeit heutiger Funktechniken ergeben sich laufend Änderungen bei den Sendernetzen. So erzwingt beispielsweise die Umstellung des analogen PAL-Fernsehens auf den digitalen DVB-T-Standard auch eine Anpassung der Messparameter. Werden diese Messeinstellungen geeignet gewählt, so sind die Immissionen verschiedener Funkdienste direkt miteinander vergleichbar. Leider wurden im Durchlauf 2002/2003 – mitunter aus Zeitgründen während der Messdurchläufe – nicht immer optimale Parameter gewählt, die eine Vergleichbarkeit zur aktuellen Messreihe erschweren. Es wurde daher versucht, die alten Daten so zu korrigieren, dass der Vergleich der Jahre 2002/2003 und 2006/2007 nicht in Widersprüche („Äpfel mit Birnen verglichen“) verfällt, sondern möglichst unverfälschte Zu- oder Abnahmen der Immissionen ergibt. Diese Korrekturen werden in Kapitel 4.4 besprochen.

### 3.3.5 Reproduzierbarkeit im Hinblick auf die Auswertung

Für den zweiten Monitoring-Durchlauf stand die 2003 verwendete Auswertesoftware nicht mehr zur Verfügung, sodass die Auswertung neu programmiert wurde. Unabhängig von der Verfügbarkeit hätte es aber ohnehin tiefer Eingriffe in die damalige Software bedurft, um neue Technologien wie DVB-T oder UMTS sinnvoll zu integrieren.

Verschiedene Auswertungen derselben Daten führen i.d.R. zu geringfügig voneinander abweichenden Absolutwerten. Das liegt daran, dass bei der Auswertung zwei Freiheitsgrade bestehen: der Peak-Such-Algorithmus, und dabei insbesondere das Kriterium, wann dicht nebeneinander liegende Peaks

als zwei getrennte gewertet werden, und die Handhabung der Schwellenwerte. Je nach Wahl dieser Parameter führen unterschiedliche Auswertungen zu geringfügig abweichenden *Absolutwerten*; insbesondere können sich die Absolutwerte des Monitorings 2002/2003, wie sie in diesem Bericht genannt werden, von denen des damaligen Berichts unterscheiden. Wurden aber sowohl das Monitoring 2002/2003 als auch dasjenige 2006/2007 mit denselben Algorithmen ausgewertet, so lassen sich aber Vergleiche der Absolutwerte vornehmen, deren Ergebnisse weitgehend unabhängig von der konkreten Auswertung sind.

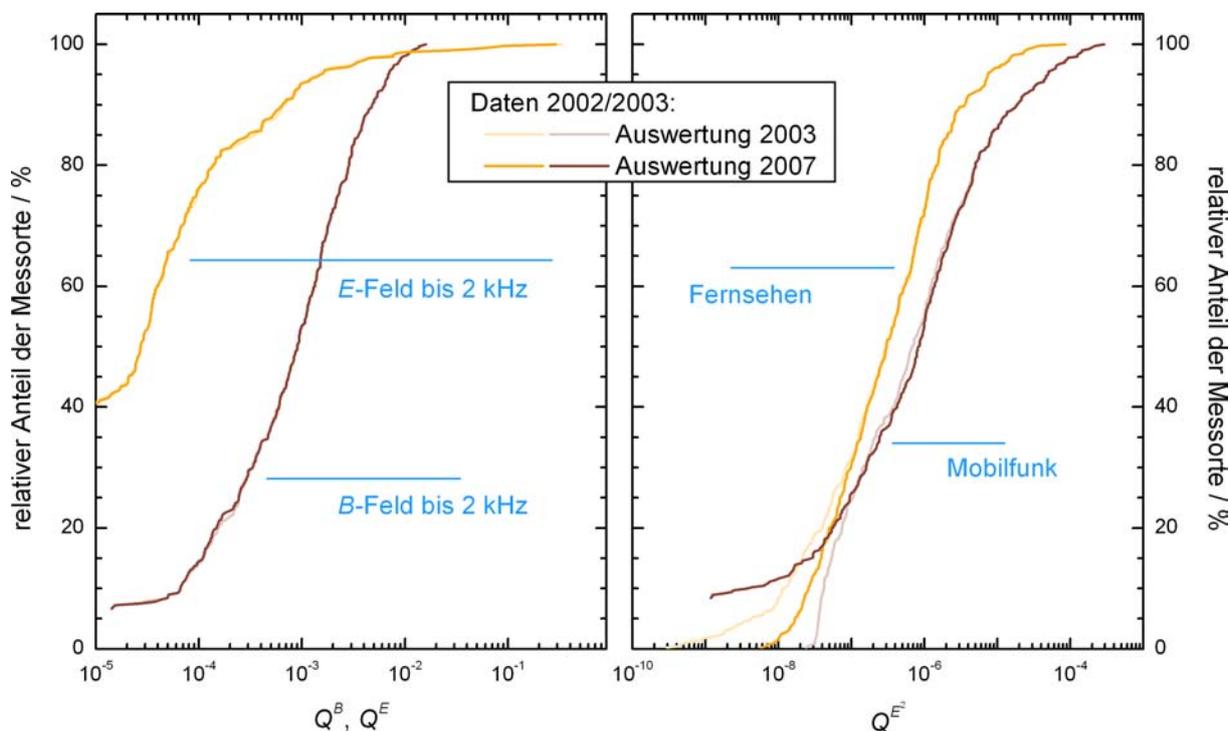


Abb. 3-5: Vergleich der Verteilungsfunktionen der Niederfrequenz-Ausschöpfungsgrade ( $f \leq 2$  kHz; links) und der Hochfrequenz-Ausschöpfungsgrade (exemplarisch für Fernsehfunk und Mobilfunk; rechts) des Monitorings 2002/2003 in den beiden Auswertungen 2003 und 2007.

Im Hochfrequenzbereich ergeben sich weitere Unterschiede der Absolutwerte durch die Definition der Schwellenwerte (Abb. 3-6). In der Auswertung 2002/2003 lagen die Schwellenwerte, d.h. diejenigen Signalpegel, die erreicht sein müssen, um einen Peak vom Rauschen zu unterscheiden, nur knapp über der Rauschschwelle, in manchen Frequenzbereichen sogar noch darin. Hinzu kommt, dass die Empfindlichkeit des Antennensystems eine ausgeprägte Frequenzabhängigkeit besitzt. Dadurch weist auch der Rauschpegel eine Frequenzabhängigkeit auf, welcher in der Auswertung 2003 nicht Rechnung getragen wurde. Die neue Auswertung legt die Schwellenwerte frequenzabhängig über das Rauschen. Die Frequenzabhängigkeit kommt durch Addition von Kabeldämpfung und Antennenfaktoren zu dem kaum frequenzabhängigen Grundrauschen des Spektrumanalysators zu Stande. Die Schwellenwerte wurden dann aus dem Gesamtrauschen des Systems ohne angeschlossene Antennen und einem Aufschlag von 1 dB ermittelt.<sup>1</sup>

Im Niederfrequenzbereich wurden die Schwellenwerte, die der Gerätehersteller im Handbuch angibt, verwendet.

<sup>1</sup> Für jedes Messpaket wurden mehrfache Messungen durchgeführt, bei denen aus dem Spektrum (Grundlinie des Spektrumanalysators bei den gewählten Einstellungen) das Maximum gesucht wurde. Das größte dieser Maxima diente anschließend als Basis für den Schwellenwert eines Messpakets.

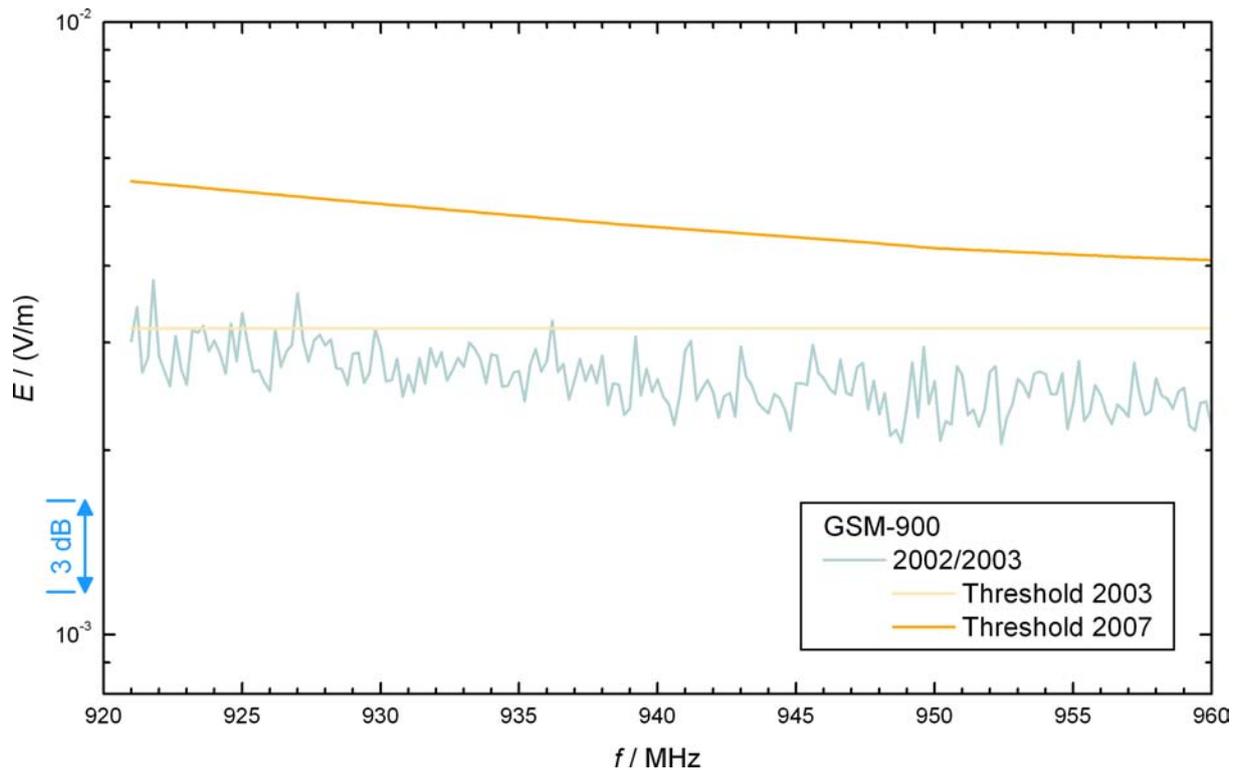


Abb. 3-6: Beispielhaftes GSM-900-Spektrum aus dem Monitoring 2002/2003. Die Schwellenwerte der Auswertung aus dem Jahr 2003 (helle orange Linie) berücksichtigen einerseits nicht die Frequenzabhängigkeit der Antennenempfindlichkeit und liegen andererseits teilweise nur knapp über bzw. sogar im Rauschen. Beides wurde in der Auswertung 2007 geändert (dunkle Orange Linie).

## 4 Auswertung

### 4.1 Vorbemerkungen

Das EMF-Monitoring deckt mit dem Frequenzbereich zwischen 10 Hz und 3 GHz rund acht Frequenzdekaden ab, in denen pro Messort einige zehntausend einzelne Messwerte anfallen. Sie werden in mehreren Schritten (z.B. Mittelwertbildung, Summation innerhalb der Frequenzbänder, Gruppierung zu Funkdiensten) sukzessive reduziert, sodass sich die Ergebnisse in übersichtlichen Diagrammen verdichten lassen.

Um ferner die Immissionen großer Frequenzbereiche sinnvoll miteinander vergleichen zu können, werden alle gewonnenen elektrischen und magnetischen Feldstärken auf die jeweiligen ICNIRP-Grenzwerte [4] bezogen und nach Frequenzbändern aufsummiert. Gemäß den Wirkungsmodellen werden dabei die Teilbereiche thermischer Wirkung (100 kHz bis 300 GHz) und Reizwirkung (bis 10 MHz) unterschieden. Man beachte, dass es einen Überlappungsbereich gibt, in dem beide Wirkungsmodelle mit unterschiedlichen Grenzwerten berücksichtigt werden müssen.

### 4.2 Berechnung der Grenzwertausschöpfung

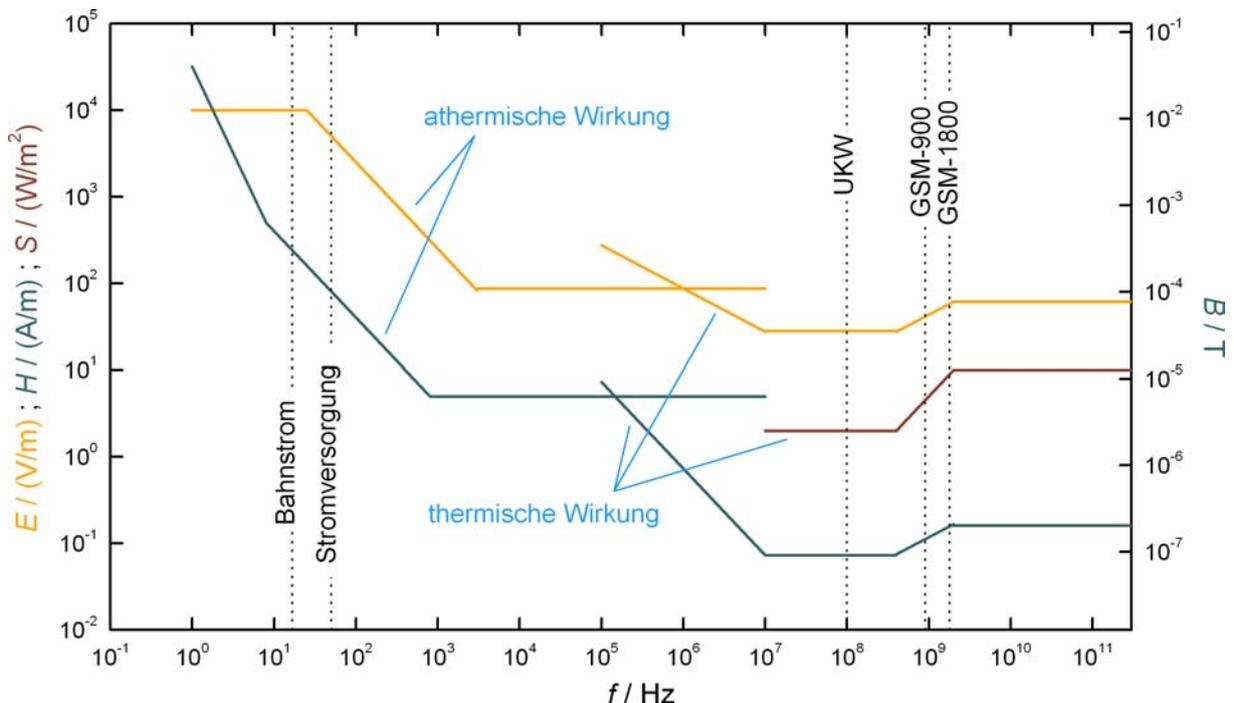


Abb. 4-1: Grenzwerte der elektrischen (orange) und magnetischen Feldstärke (türkis), sowie der Leistungsflussdichte (braun) zwischen 1 Hz und 300 GHz. [4]

Die Grenzwertausschöpfung in einem Frequenzband berechnet sich, indem jede Einzelimmission ( $E_f$ ,  $H_f$ ) bei einer Frequenz  $f$  auf den Grenzwert ( $E_{f,lim}$ ,  $H_{f,lim}$ ) bei dieser Frequenz bezogen wird. Die Frequenzabhängigkeit der Grenzwerte ist in Abb. 4-1 dargestellt.

Für den Frequenzbereich der Reizwirkungen gilt für die elektrische Feldstärke folgende Summationsformel:

$$Q^E = \sum_{f=1 \text{ Hz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{E_f}{E_{f,\text{lim}}} \quad (4.1)$$

Analog gilt für die magnetische Feldstärke:

$$Q^H = \sum_{f=1 \text{ Hz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{H_f}{H_{f,\text{lim}}} \approx \sum_{f=1 \text{ Hz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{B_f}{B_{f,\text{lim}}} = Q^B \quad , \quad (4.2)$$

wobei  $H_f$  die magnetische Feldstärke bei der Frequenz  $f$  und  $H_{f,\text{lim}}$  den zugehörigen Grenzwert bezeichnet. Die Rechnung gilt in sehr guter Näherung auch für die magnetische Induktion  $B$ , da die Permeabilitätszahl von Luft um weniger als ein Promille von der des Vakuums abweicht.

Im Frequenzbereich *thermischer* Wirkungen können i.d.R. Fernfeld-Bedingungen angenommen werden, d.h.  $E \sim H$ . Für die Berechnung der Grenzwertausschöpfung wurden generell die Grenzwerte der elektrischen Feldstärke zu Grunde gelegt. Ab 10 MHz sind zwar die Grenzwerte der elektrischen und magnetischen Feldstärke, sowie die der Leistungsflussdichte vollkommen gleichwertig; zwischen 100 kHz und 10 MHz sind jedoch die Grenzwerte für die elektrische Feldstärke strenger als diejenigen für die magnetische Feldstärke; sie werden daher in diesem Bericht verwendet.

Die Summation basiert auf den jeweils absorbierten Energien:

$$Q^{E^2} = \sum_{f=100 \text{ kHz}}^{3 \text{ GHz}} \frac{E_f^2}{E_{f,\text{lim}}^2} \quad (4.3)$$

(Der Frequenzbereich zwischen 3 GHz und 300 GHz wurde bisher im EMF-Monitoring mangels Anwendungen nicht untersucht. Künftig sollte der Messbereich aber im Hinblick auf neue Funktechniken, wie z.B. WiMAX, nach oben auf 6 GHz ausgedehnt werden.)

Es sei noch erwähnt, dass in manchen Messberichten die Wurzel aus  $Q^{E^2}$  gezogen und ebenfalls als Grenzwertausschöpfung angegeben wird. Dabei handelt es sich um einen Beurteilungswert, der sich auf eine fiktive effektive Feldstärke bezieht. Diese Vorgehensweise ist physikalisch nicht sinnvoll und unterbleibt in diesem Bericht.

### 4.3 Auswertung der Messdaten

Mittels der Gleichungen (4.1) bis (4.3) können die gewonnenen Einzelfeldstärken auf überschaubare Beurteilungsgrößen reduziert werden. Ein Computerprogramm durchläuft dazu für jeden Messort folgenden Algorithmus:

1. Addition von Kabeldämpfung und Antennenfaktor zu den gemessenen Spannungswerten, d.h. Übergang von dB zu dB $\mu$ V/m.
2. Schwellenwertbetrachtung. Die quasi-kontinuierlichen Frequenzbereiche reduzieren sich dadurch auf eine Liste von Frequenzen und zugehörigen Feldstärken, die die Schwelle überschreiten.
3. Linearisierung der Daten: Umrechnung von dB $\mu$ V/m in V/m.
4. Berechnung der Grenzwertausschöpfung für jeden einzelnen Feldstärkewert.

5. Innerhalb jedes Messpakets (siehe Tab. 3-1 und Tab. 3-2), Summation der einzelnen Ausschöpfungsgrade gemäß den Gleichungen (4.1) bis (4.3). Auf diese Weise entstehen pro Messort, Messpaket und Durchlauf im Hochfrequenzbereich jeweils ein Paket-Ausschöpfungsgrad (für die elektrische Feldstärke), im Niederfrequenzbereich jeweils zwei Paket-Ausschöpfungsgrade (für die elektrische und magnetische Feldstärke).
6. Bildung von durchschnittlichen Paket-Ausschöpfungsgraden durch Berechnung des arithmetischen Mittels der zuvor bestimmten paketweisen Ausschöpfungsgrade über die Gesamtzahl aller Durchläufe (typ. 10) am Messort.
7. Gruppierung (Summation) der durchschnittlichen Paket-Ausschöpfungsgrade nach Funkdiensten (siehe ebenfalls Tab. 3-1 und Tab. 3-2). Pro Messort entsteht nun je *ein* Ausschöpfungsgrad für jeden Funkdienst (Hörfunk, Fernsehfunke, etc.).
8. Bildung eines Gesamtausschöpfungsgrads jeweils für die Teilbereiche Reizwirkung und thermische Wirkung.

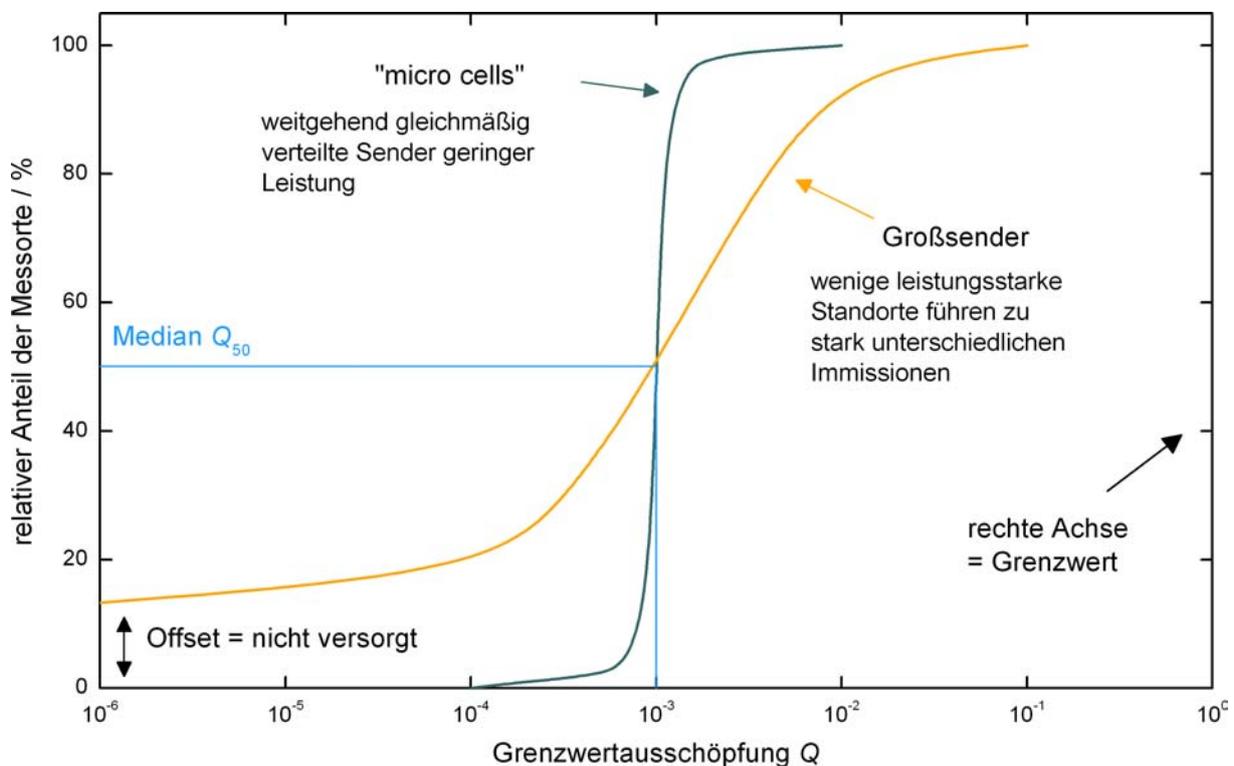


Abb. 4-2: Beispiel einer Verteilungsfunktion. Sie gibt an, welcher Anteil an Messorten höchstens den jeweils zugehörigen Ausschöpfungsgrad erreicht. Die Steilheit der Kurve ist ein Maß für die Gleichverteilung der Immissionen.

Die Visualisierung der Messergebnisse erfolgt in Form von Verteilungsfunktionen (Beispiel in Abb. 4-2). Diese Darstellung zeigt, wie sich die Immissionen über die Gesamtzahl der Messorte (403, bei fehlenden Daten oder der Betrachtung einzelner Bebauungszonen ggf. weniger) verteilen. Die Werte bei 0 % (sofern vorhanden) und 100 % auf der y-Achse geben den jeweils niedrigsten bzw. höchsten Ausschöpfungsgrad an, der für die jeweilig dargestellte Kategorie aufgetreten ist. Tritt kein 0 % Wert auf, so wird ein Teil der Messorte (im Rahmen der Auflösung des Messsystems) nicht versorgt. Je steiler die Kurve ist, desto gleichmäßiger verteilen sich die Immissionen auf die Messorte.

Besonderes Augenmerk liegt auf der 50 % Marke, die als *Median* bezeichnet wird. Sie stellt einen mittleren Ausschöpfungsgrad dar, nämlich denjenigen, den die eine Hälfte der Messorte unter-, die andere Hälfte überschreitet. Der Median unterscheidet sich aber numerisch bisweilen gravierend vom

arithmetischen Mittelwert, bietet aber den Vorteil, weit weniger von einzelnen Ausreißern beeinflusst zu werden. Soweit nicht anders angegeben, wird er daher für die Angabe des *mittleren Ausschöpfungsgrads* verwendet. Der Median-Ausschöpfungsgrad wird als  $Q_{50}$ , das arithmetische Mittel des Ausschöpfungsgrads als  $Q_{avg}$  bezeichnet.

Die Zu- oder Abnahmen der Mediane von 2002/2003 auf 2006/2007 sind im Text prozentual angegeben, bezogen auf den Median des Monitorings 2002/2003. Die Unsicherheiten dieses Werts liegen im Bereich einiger Prozentpunkte.

#### 4.4 Änderungen

Bei folgenden Funkdiensten war von 2002/2003 auf 2006/2007 ein Übergang zu geänderten Auswertemodalitäten zweckmäßig, da durch das Auswerteverfahren aus folgenden Gründen eine Überbewertung erfolgte:

- DAB (DigitalRadio): Die Messung erfolgte 2002/2003 mittels Peak-Detektor, was zu einer Überbewertung der Immissionen um den *crest factor* führt. Zudem bestand 2002/2003 ein Fehler in der Messsoftware RFEX, der die Kanäle 12C und 12D falsch bewertete. Als Korrektur wurden für die neue Auswertung des Durchlaufs 2002/2003 die Immissionen des meist leeren Kanals 12C dem Kanal 12D zugeordnet. Die Ergebnisse wurden um den crest factor 8 dB reduziert (etwa Faktor 0,16). Beide Probleme traten 2006/2007 nicht mehr auf: Der RFEX-Bug war in der verwendeten Version inzwischen korrigiert worden. Ein neues Messpaket maß ferner die DAB-Immissionen zusätzlich mit einem RMS-Detektor.
- DECT: 324 der insgesamt 403 Messorte wurden 2002/2003 mit einer unzutreffenden DECT-Frequenzliste gemessen, sodass der damalige Datenbestand aus nur 79 Datensätzen besteht. Zudem überbewertet der Peak-Detektor DECT massiv, da von den 24 Zeitschlitzen eines Frames im Normalbetrieb (Standby oder Einzelgespräch) nur einer belegt ist. Unter Berücksichtigung des ebenfalls nicht belegten Schutzintervalls zwischen zwei Zeitschlitzen ergibt sich hier ein Reduktionsfaktor von -14 dB (Faktor 0,0368), um den die Immissionen nach unten korrigiert wurden. Dies betrifft sowohl die Daten 2002/2003 als auch diejenigen 2006/2007. Für künftige Monitoring-Durchläufe sollte ein Messpaket hinzugefügt werden, das DECT mittels RMS-Detektor misst.
- Analoges Fernsehen: Wiederum besteht eine Überbewertung, die durch die verwendeten Zeilensynchronimpulse zu Stande kommt. Eine Korrektur um -4 dB (Faktor 0,40) auf einen mittleren Bildinhalt wurde sowohl 2002/2003 als auch 2006/2007 vorgenommen. Im nächsten Monitoring entfällt das Problem, da die Fernsehbänder bis dahin vollständig digitalisiert sind. Ein vernachlässigbarer Fehler entsteht ferner im VHF-Band I. Es wird wie die anderen TV-Frequenzbänder mit festem Frequenzraster gemessen. Da in Osteuropa (im besonderen in Tschechien) ein von Westeuropa abweichendes Kanalraster zum Einsatz kommt, werden Immissionen osteuropäischer Fernsehsender falsch bewertet.
- GSM-Mobilfunk: Die hier auftretenden Überbewertungen werden bei der Diskussion der Mobilfunk-Ergebnisse ab Seite 37 besprochen. Eine Korrektur war nicht möglich.
- UMTS: An den nur 14 Messorten, an denen 2002/2003 UMTS-Immissionen testweise gemessen wurden, erfolgte durch Peak-Detektor eine Überbewertung. Die wenigen Daten wurden um -10 dB (Faktor 0,10) reduziert. 2006/2007 wurde mit RMS-Detektor gemessen, der das Problem umgeht.

Keine Korrektur erfolgte in den LW-, MW-, KW- und UKW-Bändern des Hörfunks. Die nächste Messreihe sollte hier jedoch zusätzlich im RMS-Modus durchlaufen werden, im Hinblick auf die Digitalisierung einiger dieser Bänder (Stichwort: DRM).

Die durchgeführten Korrekturen entsprechen den Rechenvorschriften der ICNIRP [4], wonach die Bildung der Grenzwentausschöpfung aus den Effektivwerten erfolgt. Die pauschalen Korrekturfaktoren sind dabei als gute Schätzung zu verstehen.

#### 4.5 Statistische Signifikanz der Änderungen

Bei Betrachtung der Differenzen der beiden Messreihen 2002/2003 und 2006/2007 stellt sich grundsätzlich die Frage, ob die beobachtete Zu- oder Abnahme zufällig bedingt ist oder als statistisch signifikant gewertet werden kann. Zur Klärung dieser Frage werden zwei statistische Testverfahren angewandt, der  $t$ -Test und der Wilcoxon signed-rank test.

Der  $t$ -Test berechnet zunächst den  $t$ -Wert

$$t = \frac{Q_{\text{avg}}}{SD_d / \sqrt{N}} \quad , \quad (4.4)$$

aus dem an Hand der zweiseitigen Studentischen  $t$ -Verteilung mit  $N - 1$  Freiheitsgraden ein  $p$ -Wert ermittelt werden kann (Tabellenwerke). Letzterer ist dann ein Maß für die Irrtumswahrscheinlichkeit. Nach Ronald A. Fisher ist  $p < (0,01 - 0,05)$  ein gängiges Kriterium für statistische Signifikanz. Der  $t$ -Test ist anwendbar, wenn die Grundgesamtheit, aus der die Stichprobe stammt, normalverteilt ist. Da diese Annahme für die Monitoring-Ergebnisse nicht zutrifft, erfolgt die Einschätzung der statistischen Signifikanz auf Basis des Wilcoxon-Tests; die Parameter des  $t$ -Tests sind jedoch der Vollständigkeit halber angegeben.

Der Wilcoxon-Test ist ein nichtparametrischer Test und somit unabhängig vom Verteilungstyp. Er sortiert i.W. die von Null verschiedenen Differenzen aufsteigend nach ihrem Betrag und ordnet dieser sortierten Liste mit Eins beginnende fortlaufende Rangnummern zu.  $T^+$  ist dann die Rangsumme der positiven Differenzen. Aus ihr lässt sich näherungsweise der  $z$ -Wert

$$z \approx \frac{T^+ - \frac{N(N+1)}{4}}{\sqrt{\frac{N(N+1)(2N+1)}{24}}} \quad (4.5)$$

berechnen. Er ist normalverteilt, sodass sich durch Nachschlagen in der Standardnormalverteilungstabelle die Irrtumswahrscheinlichkeit ermitteln lässt. Statistische Signifikanz mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner als 1 % tritt für  $|z| > 2,58$  ein. Dieses Kriterium ist hier das Maß für die Beurteilung der statistischen Signifikanz.

## 5 Ergebnisse

Nun werden die Ergebnisse der zweiten Messaktion 2006/2007 des EMF-Monitorings dargestellt und diskutiert. Die Auswertung gruppiert sich nach den aktuellen ICNIRP-Grenzwertrichtlinien in thermische und Reizwirkungen. Letzterer Bereich wird nach Nutzungsaspekten nochmals in niederfrequente elektrische und magnetische Felder als Nebenprodukt der Energieversorgung und mittel- und hochfrequente elektromagnetische Felder, die zur Informationsübertragung genutzt werden, unterschieden.

### 5.1 Niederfrequenzbereich (Elektrische und magnetische Felder der Energieversorgung)

Durch Bereitstellung und „Verbrauch“ elektrischer Energie entstehen elektrische bzw. magnetische Wechselfelder mit Frequenzen von  $16^{2/3}$  Hz und 50 Hz. Bei den elektrischen Feldern treten dabei i.d.R. auch nur diese Frequenzen auf; Nennenswerte Immissionen von Oberwellen sind meistens nur in geringem Umfang zu beobachten. Dagegen lassen sich bei magnetischen Feldern meist etliche Vielfache von  $16^{2/3}$  Hz und 50 Hz beobachten. Im Monitoring 2002/2003 wurden diese bis 2,0 kHz gemessen. 2006/2007 wurde der Frequenzbereich auf 32 kHz erweitert, obwohl hier noch keine Funkemissionen erwartet werden. Tatsächlich ergaben sich an über 80 % aller Messorte hier keinerlei Immissionen bei der magnetischen Feldstärke. An den restlichen knapp 20 % wurden zwar Immissionen gefunden, allerdings nicht durch Funkdienste verursachte. Vielmehr erstreckte sich hier das Oberwellenspektrum noch über 2,0 kHz hinaus. Was die elektrische Feldstärke angeht, so wurden an nur drei Messorten Immissionen über 2,0 kHz gefunden. Bei zweien davon handelt es sich um die beiden Messpunkte mit den höchsten Ausschöpfungsgraden der elektrischen Feldstärke, die wiederum ein ausgedehntes Oberwellenspektrum aufweisen.

Abb. 5-1 zeigt die Verteilungsfunktion des magnetischen Felds. Man beachte, dass im Monitoring 2002/2003 an etlichen Messorten keine Daten vorliegen, sodass für einen direkten Vergleich nur 345 der 403 Messpunkte übrig bleiben. Im Gesamttrend zeigt sich 2006/2007 eine gute Reproduktion der damaligen Verteilungskurve; die wenigen Messorte mit Ausschöpfungen bei Frequenzen oberhalb von 2,0 kHz fallen in der Praxis nicht ins Gewicht, wie die Deckung der Messdaten für  $f \leq 2,0$  kHz (runde Datenpunkte) und der Gesamtwerte bis 32 kHz (durchgezogene Linie) zeigt. Es ist insbesondere nicht von praktischer Bedeutung, ob für den Vergleich der Messprogramme die vollen Daten (mit der Annahme  $Q^B = 0$  bei  $2,0 \text{ kHz} < f \leq 32 \text{ kHz}$  in 2002/2003) oder die auf 2,0 kHz eingeschränkten Daten für 2006/2007 herangezogen werden; der Unterschied liegt bestenfalls in der zweiten Stelle.

Magnetische Felder entstehen durch den „Verbrauch“ elektrischer Energie; sie sind direkt proportional zur Stromstärke. Nach Auskunft des AG Energiebilanzen e.V. stieg der Bruttostromverbrauch<sup>1</sup> in Deutschland im Zeitraum 2002 bis 2006 von 587,4 TWh auf 617,0 TWh [7]. Dies entspricht einer Zunahme um +5,0 %. Die Stromkreislängen erhöhten sich in diesem Zeitraum von 1 641 500 km um 2 % auf 1 671 300 km [5; 6]. Dagegen zeigt der Median des Ausschöpfungsgrads im EMF-Monitoring im Frequenzbereich bis 32 kHz einen Anstieg um +31 % von 0,9 ‰ auf 1,2 ‰, und im Mittelwert von 1,8 ‰ auf 2,3 ‰ (+26 %). Die Änderung ist sowohl auf Basis eines *t*-Tests als auch des Wilcoxon-Tests als statistisch signifikant zu bezeichnen.

Da niederfrequente magnetische Felder mit der Auslastung der Stromnetze korrelieren, ist auch ein zeitlicher Zusammenhang zu typischen Lastzeiten zu erwarten. Fasst man die Ausschöpfungsgrade

<sup>1</sup> einschließlich Netzverlusten

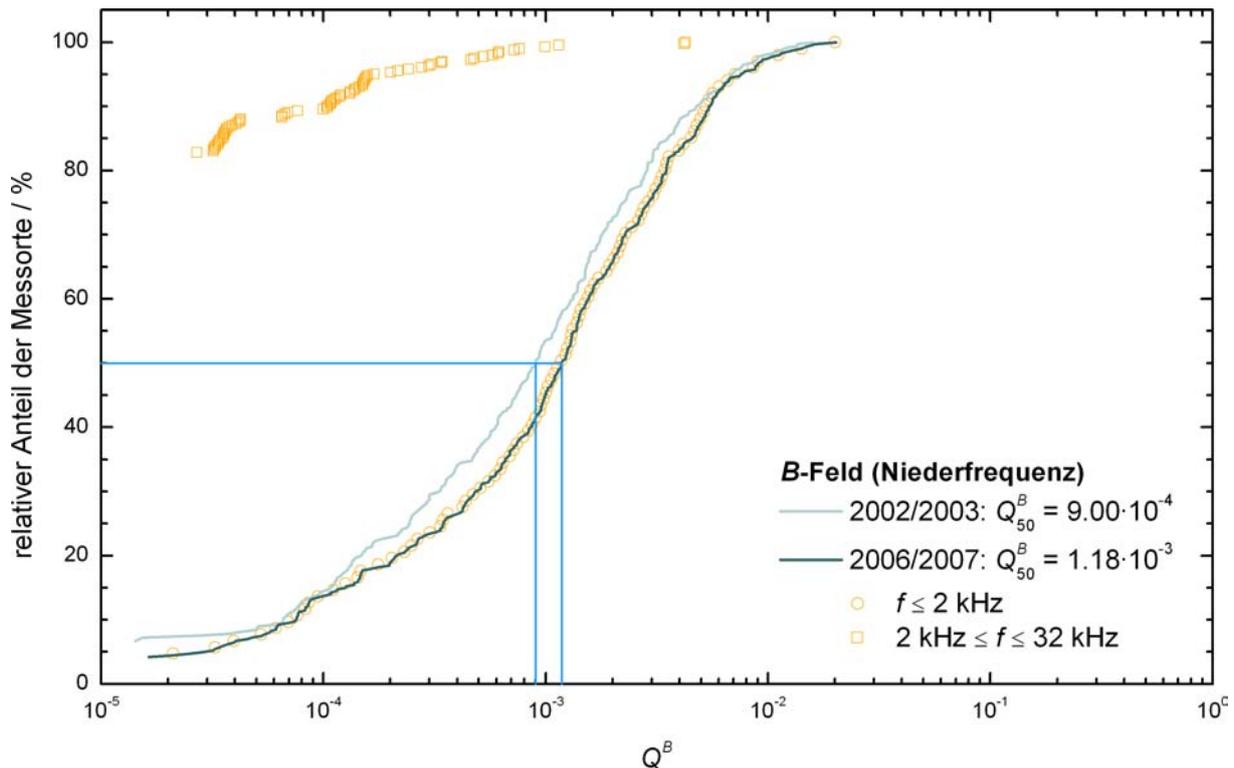


Abb. 5-1: Verteilungsfunktionen des Ausschöpfungsgrads der magnetischen Feldstärke (Niederfrequenz bis 32 kHz). Durchgezogene Linien: Summenausschöpfung der Spektren bis 2,0 kHz (2002/2003) bzw. 32 kHz (2006/2007). Datenpunkte: Anteilige Ausschöpfung bis und über 2,0 kHz.

der magnetischen Feldstärke stundenweise zusammen, so erhält man Abb. 5-2.<sup>2</sup> Wie jedoch schon im Ergebnisbericht des Monitorings 2002/2003 angesprochen, sind die Standardabweichungen der einzelnen Stunden meist größer als die Mittelwerte.

Schwieriger als bei der magnetischen Feldstärke gestaltete sich die Auswertung der elektrischen Feldstärke (Abb. 5-3). Betrachtet man die gesamte Grenzwertausschöpfung bis 2,0 kHz bzw. 32 kHz (durchgezogene Linien), so ergibt sich eine deutliche Zunahme des Medians um +1 300 % (Faktor 14). Dieser enorme Anstieg kommt zu Stande, weil die Messungen des  $E$ -Felds an praktisch allen Messorten ähnliche Beiträge bei den Frequenzen 100 Hz, 200 Hz und 300 Hz lieferten, die 2002/2003 noch unter der Nachweisschwelle des Messgeräts lagen (Inset in Abb. 5-3). Bemerkenswert ist dabei, dass diese drei Peaks sogar dann beobachtbar sind, wenn die Grundwelle (50 Hz Netzfrequenz) unter der Geräteschwelle liegt. Ein ähnliches Resultat ergaben auch Tests, bei denen die  $E$ -Feld-Sonde von mehreren Lagen Aluminium-Folie umwickelt war, was für ein internes Problem des Geräts und nicht für einen tatsächlichen Effekt spricht.

Das Monitoring 2002/2003 ergab, dass Oberwellen bei der elektrischen Feldstärke nur selten zu beobachten sind. Eine mögliche korrigierte Abschätzung des  $E$ -Felds 2006/2007 kann daher gewonnen werden, indem die Spektren bei einer Frequenz von beispielsweise 80 Hz abgeschnitten werden (Datenpunkte in Abb. 5-3 und jeweils dritte Zeile in Tab. 5-1). Der direkte Vergleich der *alten* Daten rechtfertigt diese Vorgehensweise: Deutliche Abweichungen ergeben sich erst bei hohen Ausschöpfungsgraden. Hiervon ist vor allem das oberste Fünftel der Messorte und der Mittelwert betroffen. Der Median unterscheidet sich dagegen erst in der dritten gültigen Stelle.

Aus der Korrektur folgt für 2006/2007 ein Median von 0,05 ‰, was eine Zunahme um +77 % bedeutet.

<sup>2</sup> Die gezeigte Grafik weicht von der des Endberichts 2002/2003 [1] ab, weil hier für Abb. 5-2 nur die Netzfrequenz von 50 Hz berücksichtigt wurde. Ferner erfolgte keine Mittelung; jede Einzelmessung wurde individuell den jeweiligen Zeitfenstern zugeordnet.

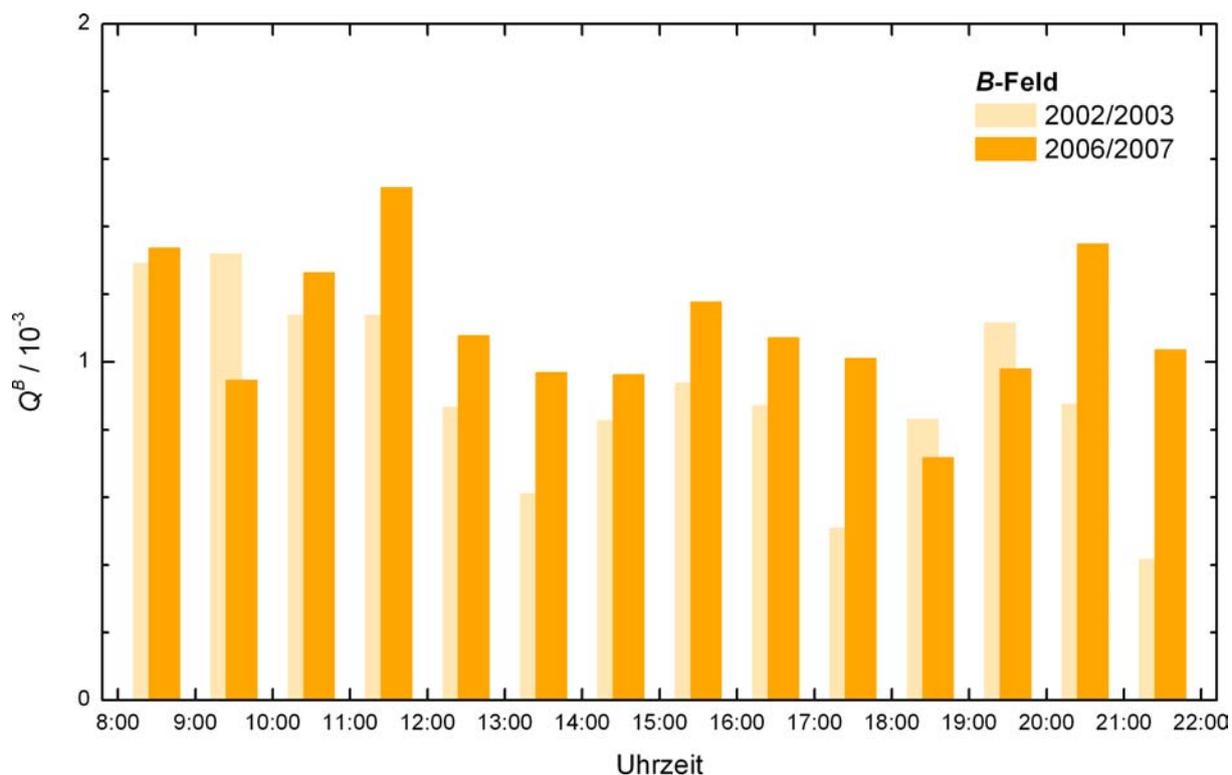


Abb. 5-2: Tageszeitliche Verteilung der mittleren Ausschöpfungsgrade der magnetischen Feldstärke. Berücksichtigt wurden nur Felder von 50 Hz.

Elektrische Felder entstehen durch die Bereitstellung der Energieversorgung. Hierfür sind keine bedeutsamen Änderungen seit 2002 bekannt. Zwar lagen einzelne Messorte 2002/2003 noch am Siedlungsrand und 2006/2007 bereits inmitten eines Neubaugebiets, doch rechtfertigt das nicht eine solche Zunahme. Vielmehr ist die Erklärung, dass die gewonnenen Messwerte überwiegend an der Nachweisgrenze des Geräts ( $Q^E = 0,02 \text{ ‰}$ ) liegen. Die Unterschiede könnten daher im Prinzip auch durch Rahmenbedingungen wie Wetter – die Messung der elektrischen Feldstärke reagiert deutlich empfindlicher auf Luftfeuchtigkeit als die des magnetischen Felds – oder auch ungewollt kleinere Abstände zu Stromaggregat und/oder Stromkabeln, die die Spannungsversorgung der Hochfrequenz-Messungen sicher stellen, entstanden sein. Schließlich kommt auch eine veränderte Kalibrierung der Feldsonde in Betracht, die sich 2004 zur Überprüfung beim Hersteller befand.

## 5.2 Lang-, Mittel- und Kurzwelle bis 10 MHz – Reizwirkungsbereich

Für den Gesamtbereich der Reizwirkungen bis 10 MHz ist der Beitrag der elektrischen Feldstärke im Niederfrequenzbereich (10 Hz bis 32 kHz) nur von untergeordneter Bedeutung: Selbst der fragliche hohe Beitrag von einigen  $10^{-4}$  im Monitoring 2006/2007 läge noch knapp eine Größenordnung unter den Beiträgen des LW/MW-Frequenzbands, welches die Gesamtausschöpfung dominiert (Abb. 5-4). Da hier nur marginale Unterschiede zum Durchlauf 2002/2003 bestehen (siehe dazu die Diskussion im Hochfrequenz-Abschnitt, Kapitel 5.3.1), ergibt sich bei der elektrischen Feldstärke nur eine Zunahme um +5 % von 3,09 ‰ auf 3,23 ‰, die zudem nicht als statistisch signifikant gewertet werden kann (Tab. 5-5). Zur besseren Vergleichbarkeit wurden für das niederfrequente  $E$ -Feld des Monitorings 2006/2007 nur die eingeschränkten Daten bis 80 Hz verwendet.

Gemäß Kapitel 4.2 sind unterhalb von 10 MHz die Ausschöpfungsgrade der elektrischen und magnetischen Feldstärke getrennt zu erfassen und zu berechnen. Für den Teilbereich Niederfrequenz wurde auch so verfahren; bei den Bändern LW, MW und dem KW-Teilband bis 10 MHz (gesamtes KW-Band:

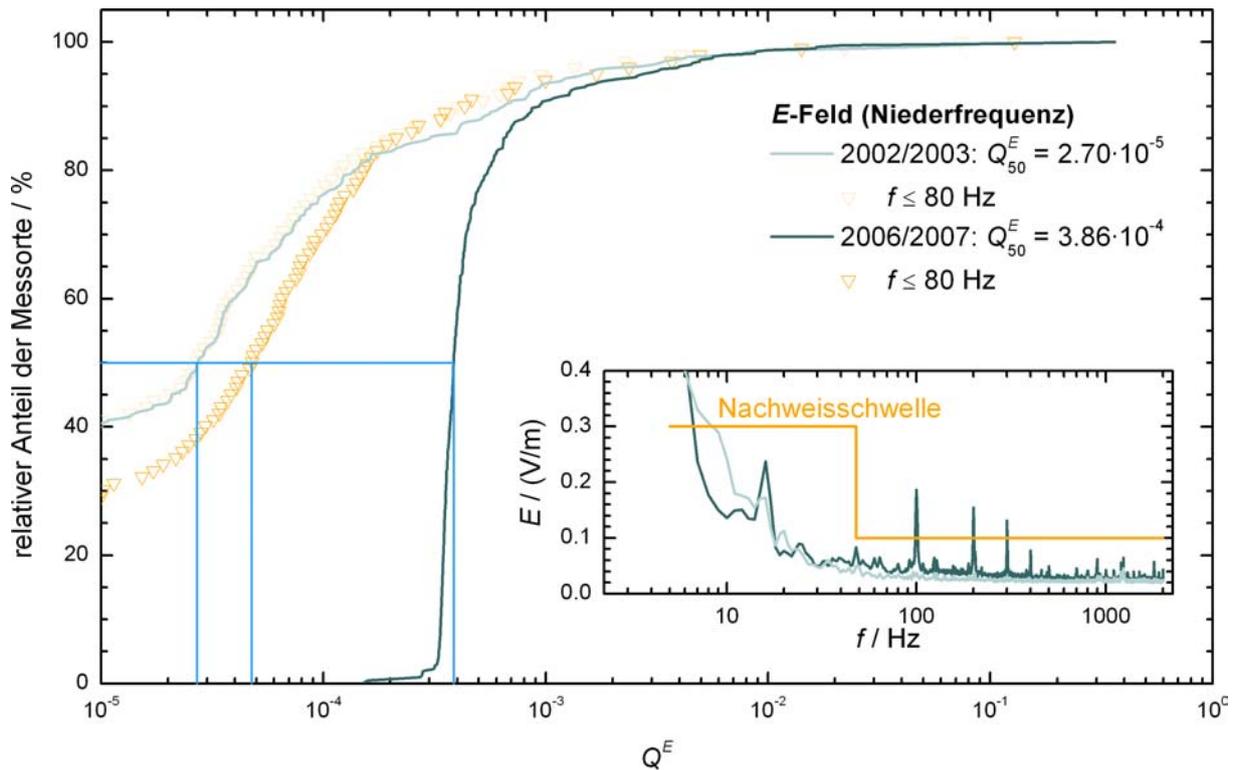


Abb. 5-3: Verteilungsfunktionen des Ausschöpfungsgrads der elektrischen Feldstärke (Niederfrequenz bis 32 kHz). Durchgezogene Linien: Summenausschöpfung der Spektren bis 2,0 kHz (2002/2003) bzw. 32 kHz (2006/2007). Datenpunkte: Anteilige Ausschöpfung bis 80 Hz. Inset: Gemittelte  $E$ -Feld-Spektren an einem Messpunkt in Bobingen. Die orange Linie gibt die Nachweisschwelle des Messgeräts an (Quelle: Narda Safety Solutions EFA-300 Handbuch).

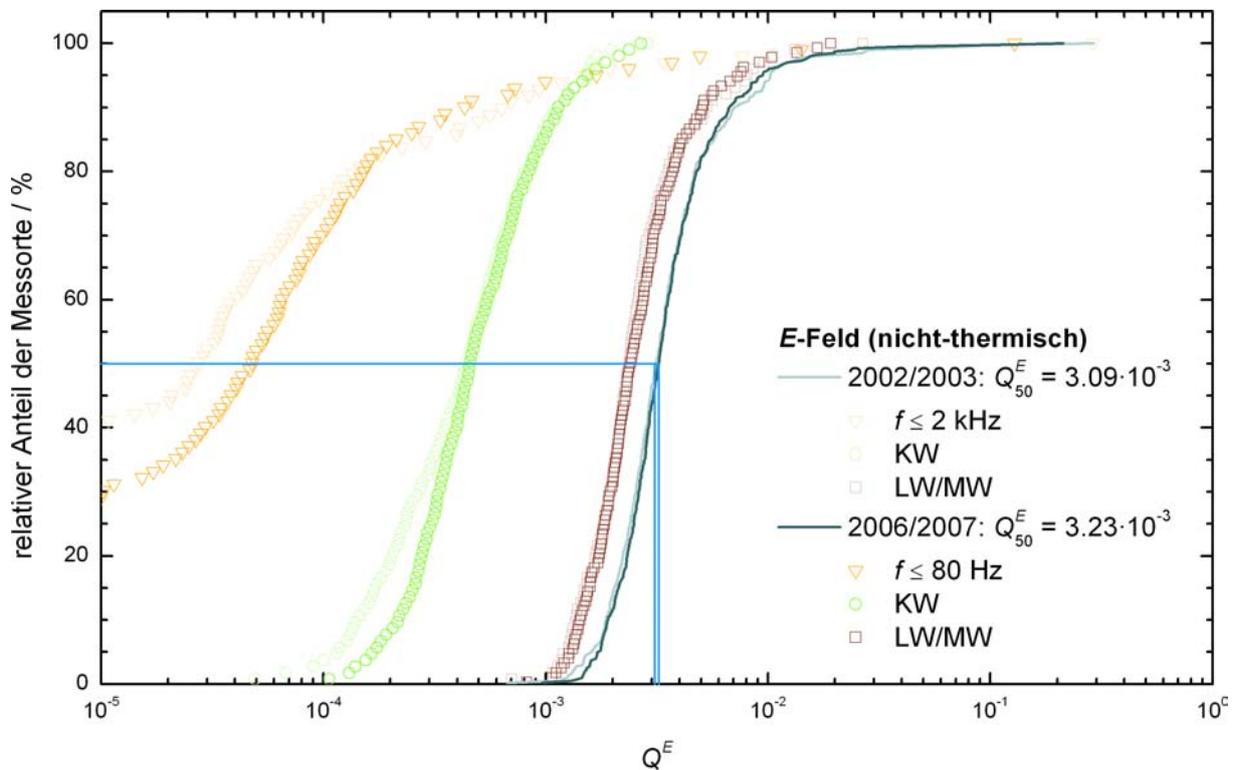


Abb. 5-4: Verteilung der Ausschöpfungsgrade der elektrischen Feldstärke im Reizwirkungsbereich bis 10 MHz. Durchgezogene Linie: Gesamt-Ausschöpfungsgrad. Datenpunkte: Anteile von Niederfrequenz, LW/MW und KW.

Tab. 5-1: Statistische Lagemaße niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder. Basis: Gleichung (4.1) und (4.2), Erläuterung in Kapitel 2.2.1.

Daten	$Q_{avg}$	SD	$Q_{25}$	$Q_{50}$	$Q_{75}$	IQR	$Q_{90}$	$Q_{95}$	$Q_{99}$
2002/2003									
B bis 2,0 kHz	1,80	2,48	0,24	0,90	2,25	2,01	4,79	6,88	11,86
E bis 2,0 kHz	1,59	15,86	0,00	0,03	0,09	0,09	0,63	1,42	27,61
E bis 80 Hz	0,88	6,46	0,00	0,03	0,08	0,08	0,40	0,94	23,89
2006/2007									
B bis 32 kHz	2,27	2,94	0,34	1,23	3,13	2,79	5,62	7,87	14,52
E bis 32 kHz	2,01	19,25	0,35	0,39	0,48	0,13	0,94	2,85	16,35
E bis 80 Hz	0,82	7,06	0,00	0,05	0,12	0,12	0,44	1,72	14,26
Änderung von 2002/2003 auf 2006/2007									
B bis 32 kHz	0,47	2,04	-0,08	0,12	0,87	0,95	2,50	3,93	6,22
E bis 32 kHz	0,42	5,69	0,32	0,35	0,39	0,08	0,60	1,18	7,75
E bis 80 Hz	-0,06	4,82	-0,02	0,00	0,06	0,07	0,15	0,45	4,01

Tab. 5-2: Bewertung der statistischen Signifikanz für die Änderung niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder von 2002/2003 auf 2006/2007; Erläuterung in Kapitel 2.2.2.

Daten	$Q_{avg}$	SD	$N$	$t$ -Wert	$p$ -Wert	$z$	stat. Sign.
B bis 32 kHz	0,47	2,04	345	4,28	0,0001	5,70	ja
E bis 32 kHz	0,42	5,69	392	1,47	0,14	14,79	ja
E bis 80 Hz	-0,06	4,82	392	-0,25	0,80	3,79	ja

3,0 MHz – 30 MHz) kann jedoch aus technischen Gründen nur die magnetische Feldstärke gemessen werden. Unter der Annahme von Fernfeldbedingungen, deren Anwendbarkeit nur an wenigen Messpunkten in Nähe des LW-Senders Aholming bei Deggendorf fraglich ist, lässt sich daraus auch die elektrische Feldstärke errechnen<sup>3</sup>, wie sie zuvor verwendet wurde. Auf Grund unterschiedlicher Grenzwerte zwischen  $B$ - und  $E$ -Feld ergeben sich jedoch für die beiden Felder deutlich unterschiedliche Grenzwertausschöpfungen, obwohl dieselben Daten zu Grunde liegen.

Der Anteil LW/MW erreicht bei der *magnetischen* Feldstärke nur einen Median-Ausschöpfungsgrad von 0,12 ‰ ( $E$ -Feld: 2,42 ‰). Dagegen erreicht die Niederfrequenz 2006/2007 eine Grenzwertausschöpfung von 1,18 ‰ und dominiert dadurch die Gesamtmissionen (Abb. 5-5). Insgesamt erhöht sich dadurch der Median von 1,05 ‰ auf 1,35 ‰, entsprechend einer Zunahme von +28 %. Diese ist auch als statistisch signifikant zu betrachten.

### 5.3 Hochfrequenzbereich

Die nachfolgenden Abschnitte besprechen die Ergebnisse im Hochfrequenzbereich von  $f = 100$  kHz bis 3,0 GHz. Die Beurteilungsgrundlage für die Grenzwertausschöpfung bildet die thermische Wirkung der elektromagnetischen Strahlung. Für die zu Grunde liegenden Summationsformeln, siehe Gleichung (4.3) (Seite 17).

<sup>3</sup> Die Umrechnung in elektrische Feldstärke ist durch die Antennenfaktoren gegeben.

Tab. 5-3: Niederfrequenz: Statistische Spannweite. Erläuterung in Kapitel 2.2.3.

	messortbezogen über die Einzelmessungen				
	AVG	MIN	MAX	SD	LOG-AVG
<b>2002/2003: B-Feld bis 2,0 kHz</b>					
höchster Wert der Messorte	15,9	13,2	19,8	5,00	-1,80
Mittelwert über die Messorte	1,80	1,48	2,15	0,38	-3,07
Standardabweichung	2,48	2,12	2,95	0,63	0,61
Variationskoeffizient	1,37	1,43	1,37	1,68	-0,20
<b>2006/2007: B-Feld bis 32 kHz</b>					
höchster Wert der Messorte	20,2	19,3	20,9	1,94	-1,69
Mittelwert über die Messorte	2,27	1,88	2,65	0,22	-2,99
Standardabweichung	2,94	2,60	3,37	0,30	0,65
Variationskoeffizient	1,31	1,38	1,27	1,36	-0,22
<b>2002/2003: E-Feld bis 2,0 kHz</b>					
höchster Wert der Messorte	289	230	289	33,6	-0,54
Mittelwert über die Messorte	1,59	1,26	1,87	0,19	-3,95
Standardabweichung	15,86	12,5	17,2	2,01	0,78
Variationskoeffizient	9,99	9,96	9,18	10,65	-0,20
<b>2006/2007: E-Feld bis 32 kHz</b>					
höchster Wert der Messorte	364	322	503	39,5	-0,44
Mittelwert über die Messorte	2,01	1,75	2,57	0,21	-3,30
Standardabweichung	19,25	17,1	26,2	2,06	0,35
Variationskoeffizient	9,57	9,74	10,2	9,74	-0,11

Tab. 5-4: Statistische Lagemaße elektrischer und magnetischer Felder im Reizwirkungsbereich. Basis: Gleichung (4.1) und (4.2), Erläuterung in Kapitel 2.2.1.

Daten	$Q_{avg}$	SD	$Q_{25}$	$Q_{50}$	$Q_{75}$	IQR	$Q_{90}$	$Q_{95}$	$Q_{99}$
<b>2002/2003</b>									
B bis 10 MHz	1,97	2,50	0,39	1,05	2,46	2,07	5,10	7,00	12,09
E bis 10 MHz	5,26	16,05	2,41	3,09	4,38	1,97	7,11	10,25	29,54
<b>2006/2007</b>									
B bis 10 MHz	2,44	2,97	0,49	1,35	3,28	2,79	5,79	7,97	14,75
E bis 10 MHz	4,89	12,11	2,50	3,23	4,46	1,97	6,77	9,47	24,49
<b>Änderung von 2002/2003 auf 2006/2007</b>									
B bis 10 MHz	0,47	2,03	-0,09	0,11	0,89	0,98	2,50	3,93	6,30
E bis 10 MHz	-0,36	5,73	-0,66	0,12	0,70	1,36	1,57	2,66	5,37

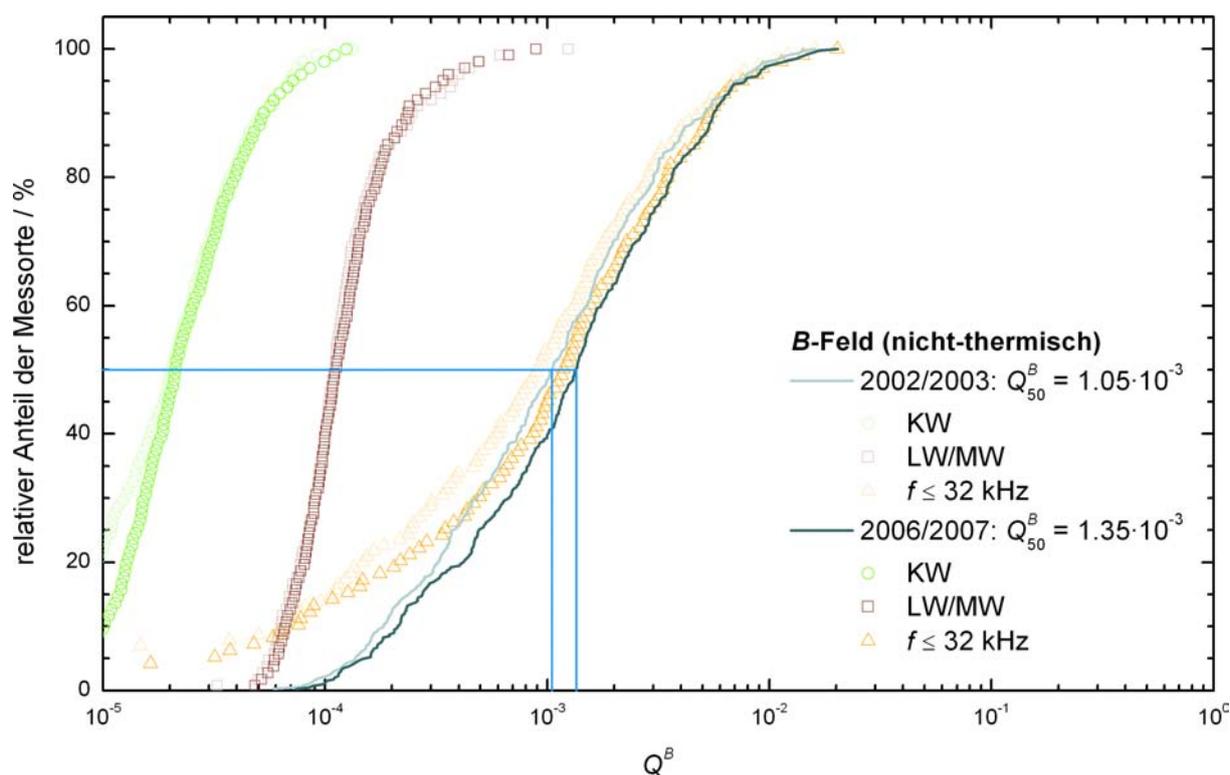


Abb. 5-5: Verteilung der Ausschöpfungsgrade der magnetischen Feldstärke im Reizwirkungsbereich bis 10 MHz. Durchgezogene Linie: Gesamt-Ausschöpfungsgrad. Datenpunkte: Anteile von Niederfrequenz, LW/MW und KW.

Tab. 5-5: Bewertung der statistischen Signifikanz für die Änderung elektrischer und magnetischer Felder im Reizwirkungsbereich von 2002/2003 auf 2006/2007; Erläuterung in Kapitel 2.2.2.

Daten	$Q_{\text{avg}}$	SD	$N$	$t$ -Wert	$p$ -Wert	$z$	stat. Sign.
$B$ bis 10 MHz	0,47	2,03	345	4,29	0,0001	5,61	ja
$E$ bis 10 MHz	-0,36	5,73	392	-1,26	0,21	1,08	nein

Die Ergebnisse wurden jeweils kapitelweise zu den Bereichen Hörfunk (LW, MW, KW, UKW, DAB), Fernsehfunk (PAL, DVB-T), Mobilfunk (GSM, UMTS) und Sonstige zusammengefasst.

### 5.3.1 Hörfunk

#### 5.3.1.1 Allgemeine Bemerkungen und Spektren

Neben UKW-Radio werden nach wie vor auch die Langwelle- (LW), Mittel- (MW) und Kurzwelle-Bänder (KW) für Radiübertragungen genutzt. Vielfach kommen nach wie vor analoge Übertragungsverfahren (Amplitudenmodulation) zum Einsatz. Mitte der 1990er-Jahre kam Digitalradio auf Basis der Technik DAB (Digital Audio Broadcasting) hinzu. Die Möglichkeit, Radio über DVB-T auszustrahlen, wurde von den Rundfunkanstalten 2006/2007 in Bayern *nicht* genutzt, sodass eine klare Trennung der Hörfunk- und Fernseh-Frequenzbereiche erfolgen kann.

Bedeutende Änderungen wurden seit 2002 in keinem der Radiobänder vorgenommen; selbst beim wichtigsten Dienst, UKW, wurden bestenfalls Sender mit lokaler und geringer regionaler Reichweite neu zugeschaltet oder geändert.

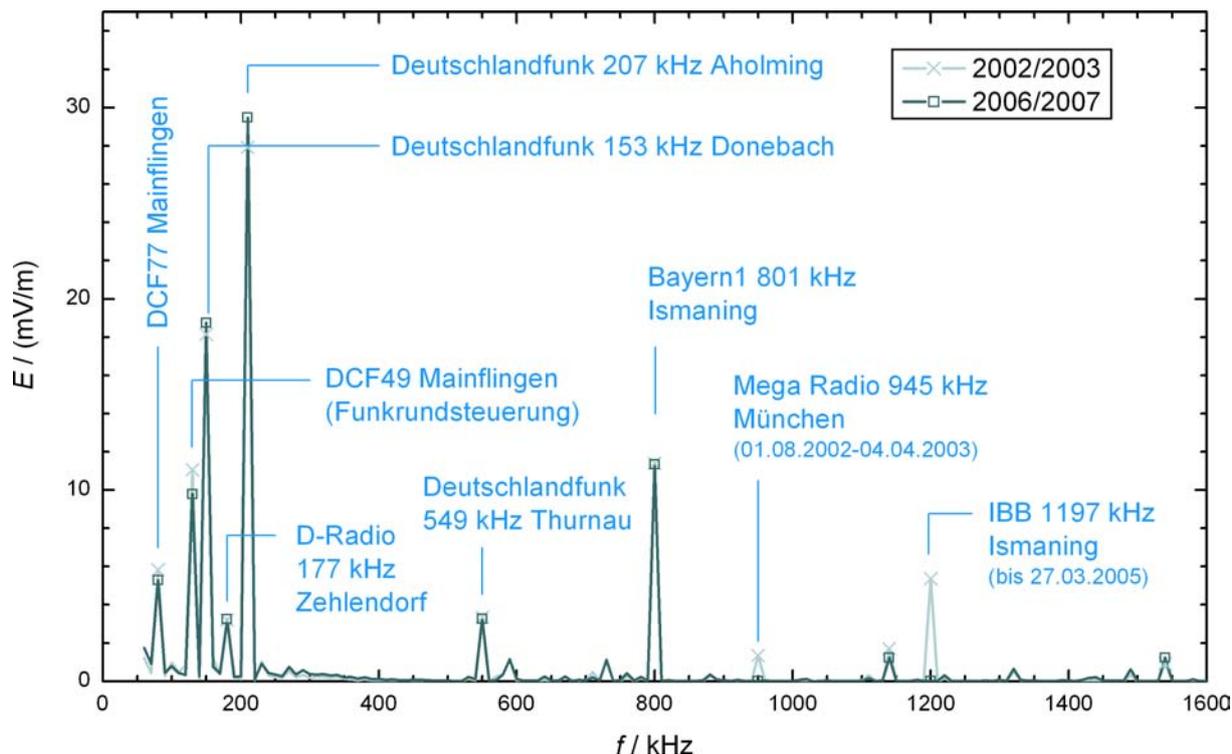


Abb. 5-6: Über alle 403 Messpunkte gemittelt bayernweites LW-/MW-Spektrum der Messreihen 2002/2003 und 2006/2007.

Auf Grund der hohen Reichweiten von LW- und MW-Sendern sind die zu empfangenden Stationen in ganz Bayern gleich, was es erlaubt, aus allen 403 Messpunkten ein gemittelt Spektrum zu errechnen (Abb. 5-6). Man erhält so ein charakteristisches Abbild der LW-/MW-Situation 2002/2003 und 2006/2007. Man erkennt eine sehr gute Übereinstimmung der beiden Durchläufe, was auch für die Reproduzierbarkeit des Monitorings spricht. Sie liegt darin begründet, dass Änderungen bei diesen Funkdiensten extrem selten sind. Die auffallenden Abweichungen bilden i.W. die Sender Ismaning auf 1197 kHz, der Ende März 2005 abgeschaltet wurde, und das private Radioprogramm *Mega Radio* auf 945 kHz in München, das sogar nur während des ersten Monitorings auf Sendung war.

Dominierend sind im LW-Bereich die beiden DLF-Sender Aholming (Nähe Deggendorf) und Donebach (ca. 35 km nordöstlich von Heidelberg), die mit einer ERP-Leistung von jeweils bis zu 500 kW arbeiten. Im MW-Bereich dominiert die Sendeanlage Ismaning (Nähe München), von wo mit 100 kW ERP das Programm Bavarian Open Radio (zum Zeitpunkt des Monitorings 2006/2007: Radio Bayern 1) verbreitet wird.

Da die Messpunkte bevölkerungsgewichtet ausgewählt wurden, entfallen auf den Raum München (mit Sender Ismaning) weit mehr Messpunkte als auf den Raum Deggendorf (Sender Aholming). Trotzdem werden im Mittel über ganz Bayern stärkere Immissionen vom Aholminger Sender als vom Ismaninger Sender gemessen.

Dagegen sind andere Funkdienste, beispielsweise UKW-Radio, insbesondere aber auch GSM-Mobilfunk, stark ortsabhängig. Die Mittelung eines Spektrums über Bayern ergäbe hier nur einen breiten „Wellensalat“, wohingegen jedes einzelne Spektrum eines Orts für diesen charakteristisch ist.

### 5.3.1.2 Ergebnisse

Betrachtet man die in Abb. 5-7 dargestellten Verteilungsfunktionen, so fallen insgesamt nur geringe Veränderungen auf. Während sich der LW-/MW-Bereich fast identisch reproduziert, tendiert die Kurzwelle zu eher niedrigeren, UKW zu eher höheren Grenzwertausschöpfungen. DAB ist auf Grund der

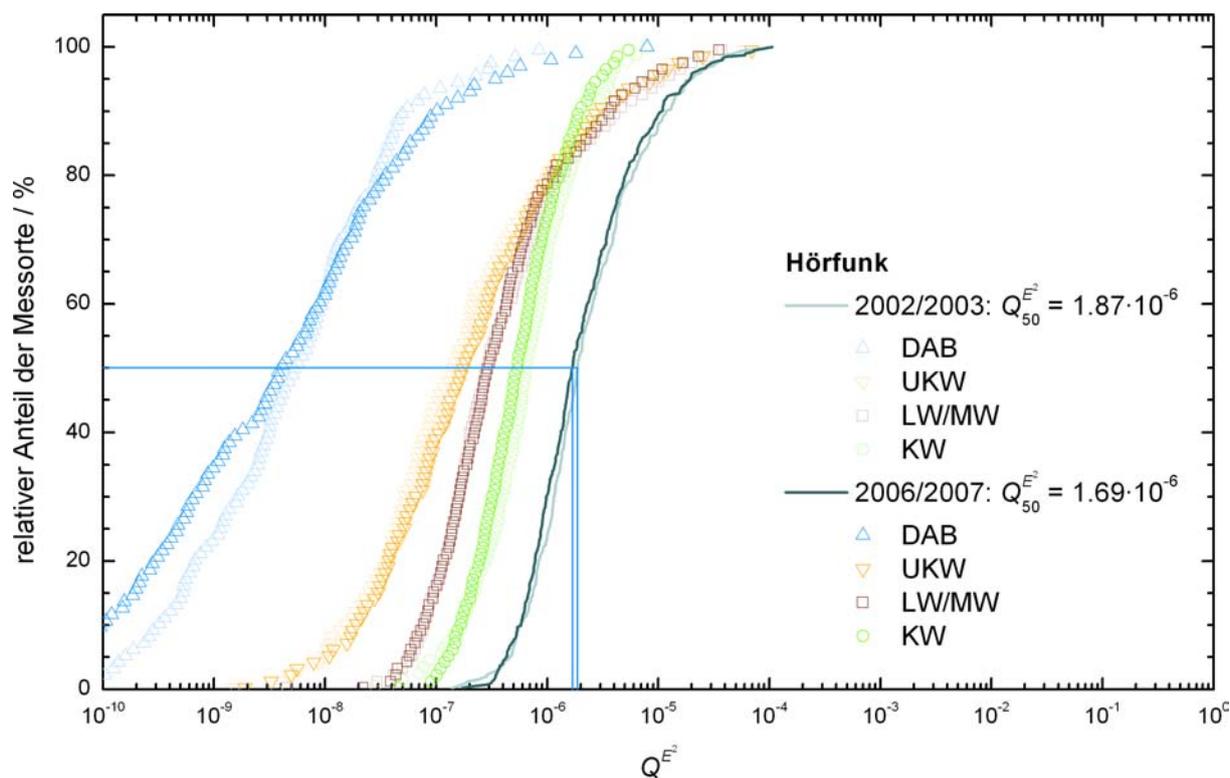


Abb. 5-7: Verteilungsfunktion der Grenzwertausschöpfungen beim Hörfunk. Durchgezogene Linien: Hörfunk gesamt. Datenpunkte: Aufschlüsselung nach einzelnen Hörfunk-Frequenzbändern.

Tab. 5-6: Statistische Lagemaße im Bereich des Hörfunks. Basis: Gleichung (4.3), Erläuterung in Kapitel 2.2.1.

Daten	$Q_{avg}$	SD	$Q_{25}$	$Q_{50}$	$Q_{75}$	IQR	$Q_{90}$	$Q_{95}$	$Q_{99}$
<b>2002/2003</b>									
gesamt	5,11	9,85	1,04	1,87	4,35	3,31	11,81	19,66	47,43
LW/MW	2,07	5,72	0,14	0,28	0,90	0,76	4,42	10,85	32,92
KW	1,10	1,26	0,35	0,64	1,26	0,92	2,69	3,67	6,45
UKW	1,90	7,93	0,04	0,15	0,69	0,64	3,16	7,30	36,26
DAB	0,04	0,13	< 0,01	0,01	0,02	0,02	0,05	0,17	0,69
<b>2006/2007</b>									
gesamt	4,91	10,74	0,89	1,69	4,09	3,20	10,80	19,24	60,69
LW/MW	1,77	5,35	0,14	0,29	0,77	0,63	3,68	7,60	29,42
KW	0,88	0,99	0,28	0,54	1,06	0,78	2,00	2,85	5,12
UKW	2,16	9,24	0,05	0,18	0,73	0,68	2,92	9,03	53,80
DAB	0,09	0,51	< 0,01	< 0,01	0,02	0,02	0,10	0,34	1,80
<b>Änderung von 2002/2003 auf 2006/2007</b>									
gesamt	-0,20	5,61	-1,02	-0,07	0,61	1,63	2,02	3,51	12,29
LW/MW	-0,30	3,35	-0,11	0,00	0,07	0,18	0,27	0,62	3,06
KW	-0,21	1,42	-0,57	-0,09	0,33	0,89	1,00	1,78	3,21
UKW	0,26	4,29	-0,02	0,01	0,09	0,11	0,44	1,56	8,73
DAB	0,06	0,47	0,00	0,00	0,01	0,01	0,05	0,15	1,32

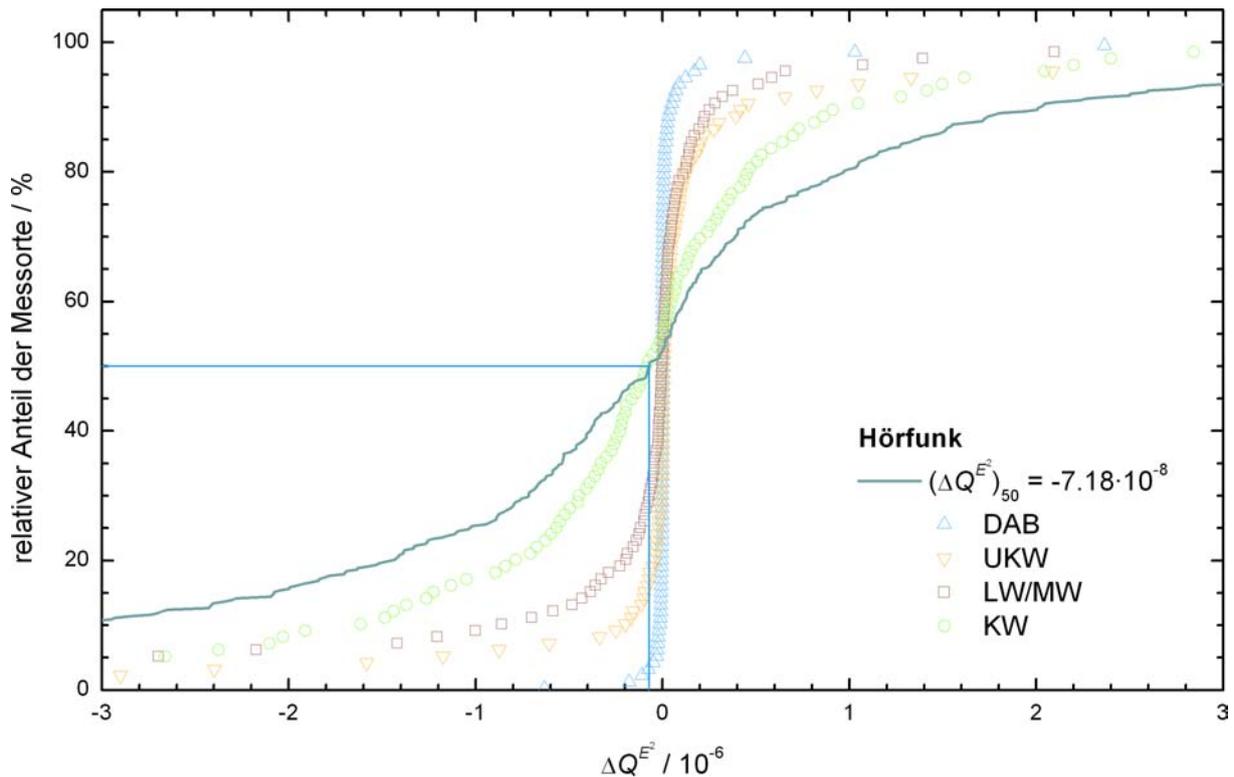


Abb. 5-8: Verteilungsfunktion der Änderung der Grenzwertausschöpfung von 2002/2003 auf 2006/2007. Durchgezogene Linie: Hörfunk gesamt. Datenpunkte: Aufschlüsselung nach Hörfunkdiensten. Positive (negative) Werte bedeuten Zunahmen (Abnahmen) seit 2002/2003.

Tab. 5-7: Bewertung der statistischen Signifikanz für die Änderung von 2002/2003 auf 2006/2007 im Bereich Hörfunk; Erläuterung in Kapitel 2.2.2.

Daten	$Q_{\text{avg}}$	SD	$N$	$t$ -Wert	$p$ -Wert	$z$	stat. Sign.
gesamt	-0,20	5,61	403	-0,70	0,48	-2,24	nein
LW/MW	-0,30	3,35	403	-1,79	0,07	-1,56	nein
KW	-0,21	1,42	403	-3,02	0,0027	-2,89	ja
UKW	0,26	4,29	403	1,23	0,22	4,13	ja
DAB	0,06	0,47	403	2,37	0,02	0,74	nein

unterschiedlichen Messverfahren (siehe Kapitel 4.4) nur begrenzt vergleichbar, trägt aber ohnehin nur zu einem geringen Teil zu den gesamten Hörfunk-Immissionen bei (2006/2007 im Schnitt mit 2 %).

Zumindest unter dem Gesichtspunkt der Inbetriebnahme neuer lokaler Kleinsender (Füllsender oder Lokalsender, siehe Kapitel 5.3.1.1) erscheint die Zunahme im UKW-Bereich plausibel.

Die Differenzen der beiden Messreihen (Tab. 5-6 und Verteilungsfunktionen in Abb. 5-8) ergeben sowohl im Mittelwert als auch im Median einen leichten Rückgang der Immissionen. Statistische Tests (Tab. 5-7) ergeben jedoch keine Signifikanz dieser Änderung, d.h. sie kann zufällig bedingt sein. Bedenkt man, dass sich der Median von 2002/2003 bis 2006/2007 von  $1,87 \cdot 10^{-6}$  auf  $1,69 \cdot 10^{-6}$  nur um  $-0,18 \cdot 10^{-6}$  (-10 %) geändert hat, die mittlere Standardabweichung der zehn Messungen je Messort aber bei  $0,25 \cdot 10^{-6}$  lag (Tab. 5-8), so wird klar, dass die Änderung in den Bereich der Messunsicherheit fällt. Lediglich die Teilbereiche KW und UKW zeigen jeder für sich statistisch signifikante Änderungen.

Tab. 5-8: Hörfunk: Statistische Spannweite. Erläuterung in Kapitel 2.2.3.

	messortbezogen über die Einzelmessungen				
	AVG	MIN	MAX	SD	LOG-AVG
<b>2002/2003</b>					
höchster Wert der Messorte	95,6	80,1	124	3,06	-4,02
Mittelwert über die Messorte	5,11	3,80	6,92	0,25	-5,64
Standardabweichung	9,85	8,30	12,0	0,39	0,51
Variationskoeffizient	1,93	2,18	1,73	1,52	-0,09
<b>2006/2007</b>					
höchster Wert der Messorte	106	86,6	126	5,28	-3,97
Mittelwert über die Messorte	4,91	3,67	6,55	0,25	-5,68
Standardabweichung	10,74	8,65	12,75	0,47	0,50
Variationskoeffizient	2,19	2,35	1,95	1,90	-0,09

Praktisch nicht unterscheidbar sind die Verteilungen der drei Siedlungsklassen (Abb. 5-9). Die Mediane der städtischen, Siedlungs- und Randlagen wichen 2002/2003 um  $\pm 0\%$ ,  $-17\%$  bzw.  $+10\%$  von dem Median der Gesamtverteilung des Hörfunks ab, d.h. Siedlungslagen weisen eher etwas niedrigere, Randlagen etwas höhere Hörfunk-Immissionen auf als die Gesamtheit aller Messorte. 2006/2007 reproduziert sich diese Tendenz: städtische, Siedlungs- und Randlagen weichen nun um  $\pm 0\%$ ,  $-13\%$  bzw.  $+8\%$  vom Median der Gesamtverteilung ab.

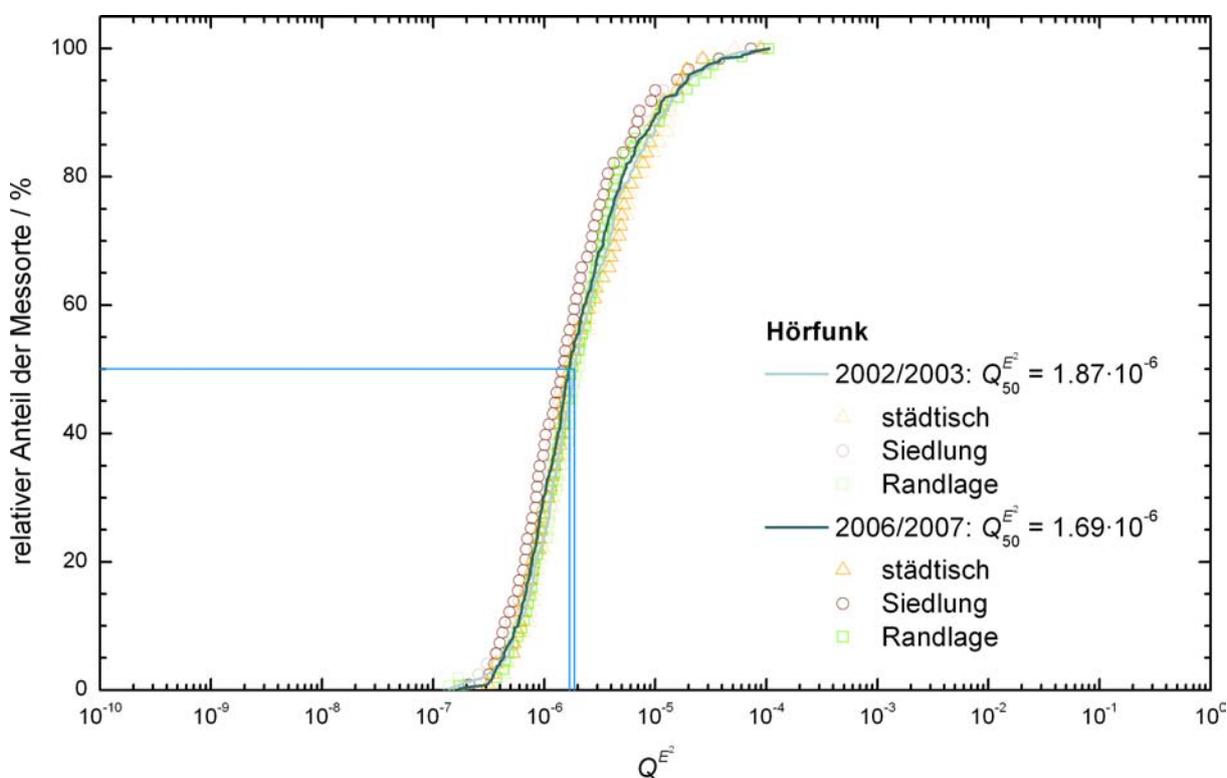


Abb. 5-9: Verteilungsfunktion der Grenzwertausschöpfungen beim Hörfunk. Durchgezogene Linien: Hörfunk gesamt. Datenpunkte: Aufschlüsselung nach Bebauungsklassen.

## 5.3.2 Fernsehfunk

## 5.3.2.1 Umstellung auf DVB-T

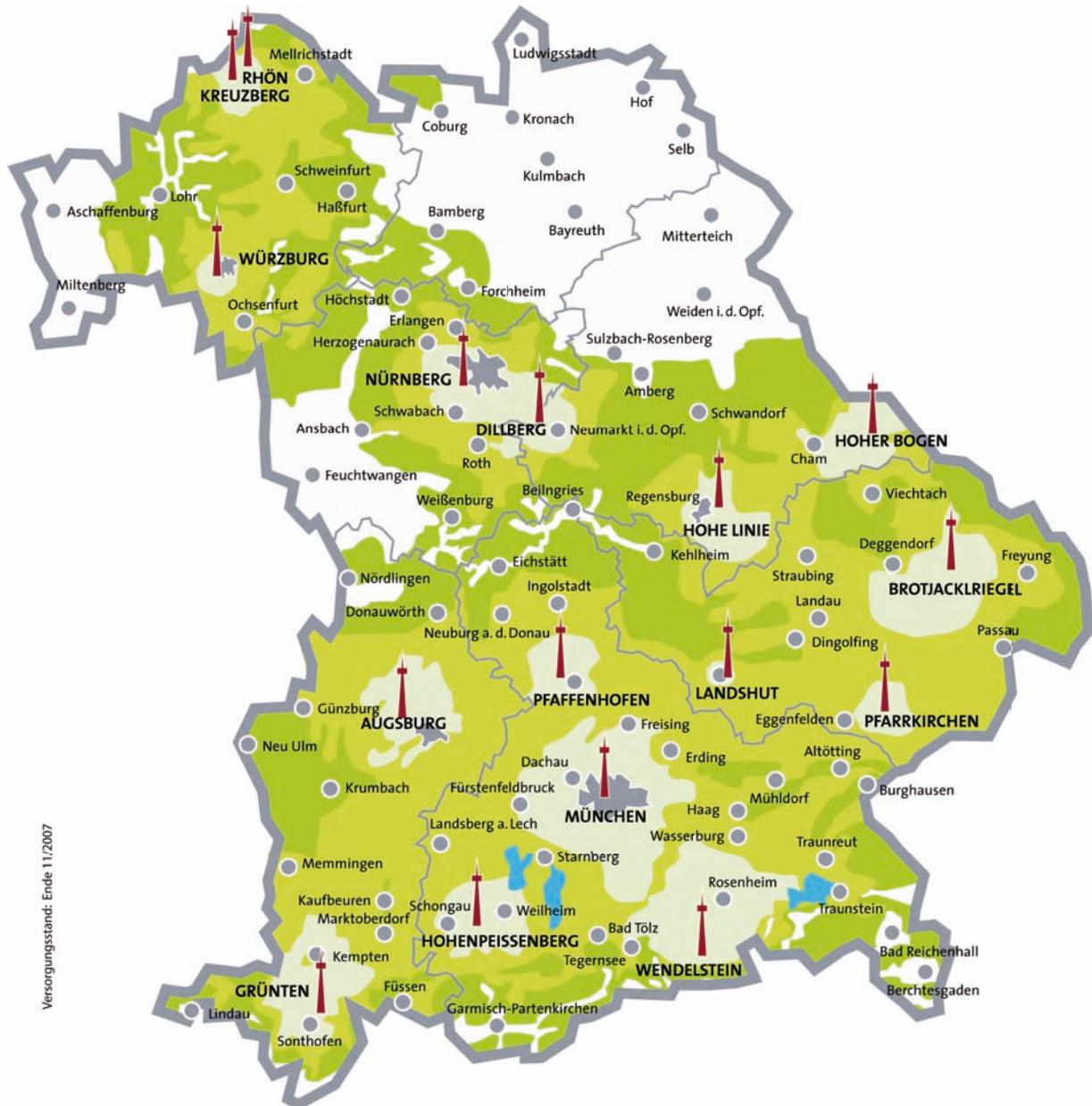


Abb. 5-10: Ausbaubereiche und Sendeanlagen von DVB-T. Stand: Dezember 2007. Quelle: DVB-T-Projektbüro Bayern.

Der Bereich Fernsehen befand sich während des Monitorings 2006/2007 in der Umstellungsphase von analogem auf digitales Fernsehen. Diese Umstellung erfolgt nicht sprunghaft landesweit, sondern anfangs als Inselösungen, die später in Richtung Flächendeckung ergänzt werden. Auch beim Ausbaustand im Dezember 2007 (Abb. 5-10) sind noch einige Lücken vorhanden. In diesen noch nicht umgestellten Regionen bleiben die analogen Abstrahlungen noch erhalten. Für das Monitoring ergibt sich daher folgendes Bild:

- Beim ersten EMF-Monitoring 2002/2003 war DVB-T in Bayern nicht in Betrieb; alle Immissionen in den TV-Bändern stammten von analogem Fernsehen nach dem PAL-Standard.

- Beim zweiten Durchlauf 2006/2007 waren einige Startinseln auf DVB-T umgestellt. Insgesamt ergab sich eine Mischsituation aus analog und digital betriebenen Fernsehkanälen.
- Beim dritten Durchlauf (2010 oder später) wird analoges Fernsehen komplett abgeschaltet sein, so dass alle Immissionen auf digitales Fernsehen zurückgehen.

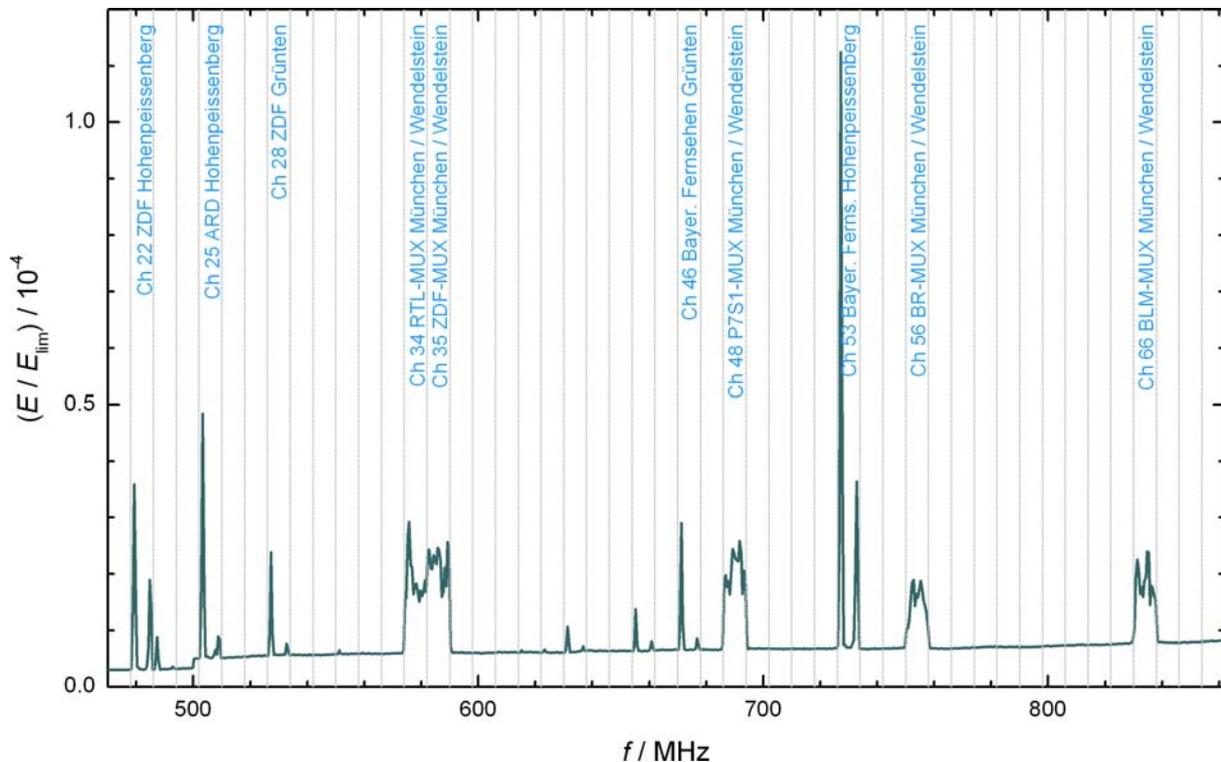


Abb. 5-11: Spektrum des UHF-Frequenzbereichs in Bobingen während des Monitorings 2006/2007. Während des Mischbetriebs von analogem und digitalem Fernsehen muss die Gesamt-Grenzwertausschöpfung kanalweise aus den Einzelimmissionen zusammengesetzt werden.

Da die Messung von analogen und digitalen TV-Signalen unterschiedliche Messparameter erfordert, mussten bei der Kampagne 2006/2007 alle TV-Bänder zweimal mit unterschiedlichen Einstellungen durchlaufen und jeder einzelne Kanal korrekt zugeordnet werden. DVB-T war zu unterschiedlichen Messzeiten in folgenden Regionen empfangbar:

- Während des gesamten zweiten Monitorings in den Regionen Rhein/Main von den Sendern Frankfurt und Feldberg/Taunus, sowie in den Großräumen München, Nürnberg und Südostbayern von den Sendern München, Nürnberg, Dillberg und Wendelstein.
- Seit Ende Mai 2006 in Unterfranken von den Standorten Würzburg und Kreuzberg/Rhön.
- Seit Ende September 2006 in Südostbayern zusätzlich vom Sender Salzburg/Gaisberg.
- Seit Dezember 2006 in Ostbayern in den Großräumen Regensburg, Deggendorf von den Sendern Hohe Linie, Hoher Bogen, Brotjackriegel und Pfarrkirchen.
- Die restlichen in der Karte eingezeichneten Senderstandorte Augsburg, Grönten, Hohenpeissenberg, Pfaffenhofen und Landshut gingen im Dezember 2007 in Betrieb und waren für das Monitoring 2006/2007 noch nicht von Belang.

### 5.3.2.2 Vergleich von analogem und digitalem Fernsehen

Durch ein effizienteres und robusteres Modulationsverfahren kann das digitale Fernsehen grundsätzlich mit weniger Sendeleistung dieselbe Empfangsreichweite erzielen. Weiter betriebene Standorte

können so mit geringeren Leistungen auskommen, darüber hinaus wurde eine Vielzahl kleiner Füllsender abgeschaltet. Aus Immissionssicht ergibt sich folgendes Bild:

In den Ausbaugebieten, in denen öffentlich-rechtliche und private Anbieter vertreten sind, werden insgesamt meist sechs Kanäle betrieben. In München resultiert daraus beispielsweise eine Gesamt-ERP-Leistung von 520 kW<sup>4</sup> gegenüber etwas mehr als 400 kW<sup>5</sup> beim analogen Fernsehen. Hier sind also in etwa gleichbleibende Leistungsflussdichten und Grenzwertausschöpfungen oder geringe Zunahmen zu erwarten.

Dagegen wird im ländlichen Raum (beispielsweise Unterfranken, Ostbayern und Schwaben) nur die Grundversorgung der öffentlich-rechtlichen Programmanbieter angeboten. Hierfür sind nach wie vor pro Standort drei Kanäle notwendig, die mit DVB-T allerdings nur noch mit höchstens halber Sendeleistung, bisweilen noch darunter betrieben werden.<sup>6</sup> Hinzu kommt die ersatzlose Abschaltung von Füllsendern. Insgesamt ist daher in der Fläche, die schon mit DVB-T versorgt wird, eine Verringerung der Immissionen zu erwarten.

### 5.3.2.3 Ergebnisse

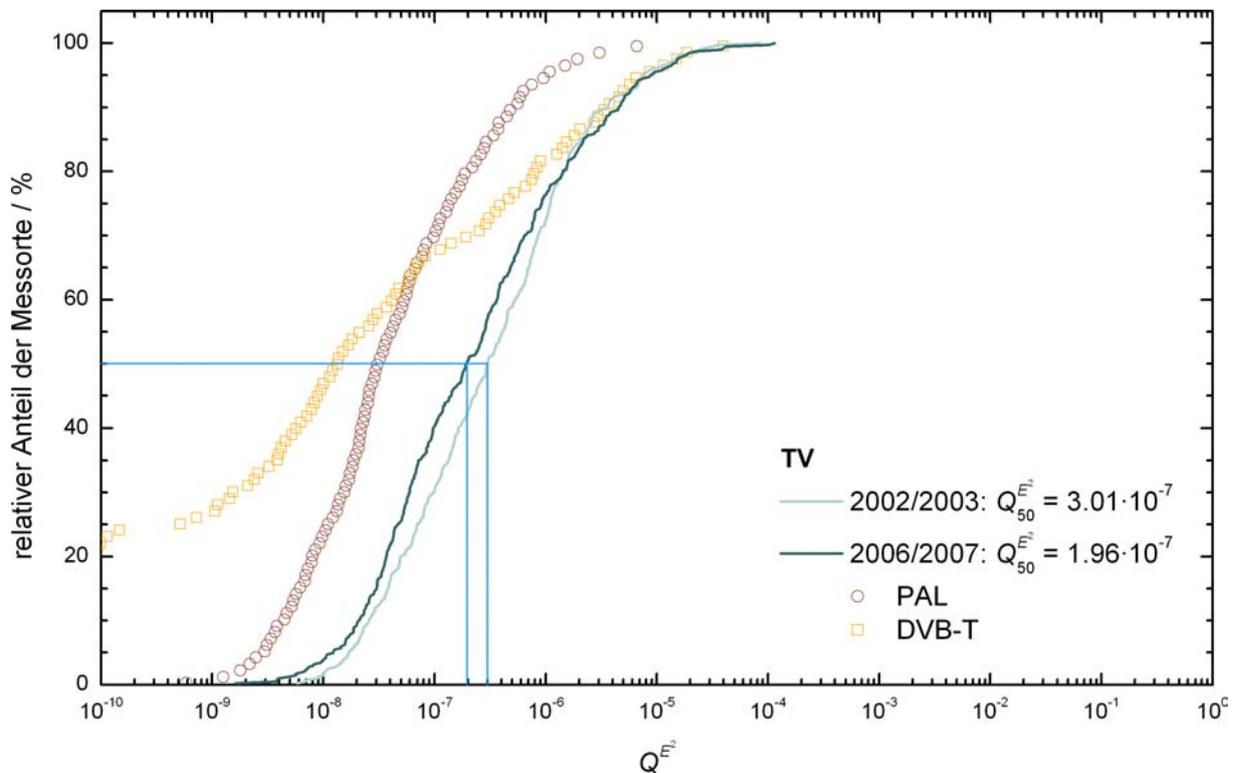


Abb. 5-12: Verteilungsfunktion der Grenzwertausschöpfungen beim Fernsehen. Durchgezogene Linien: Fernsehen gesamt. Datenpunkte: Aufschlüsselung nach analogem und digitalem Fernsehen.

Die Umverteilung von analogem zu digitalem Fernsehen zeigt sich deutlich in der Änderungsverteilung (Abb. 5-13). Bei 80 % der Messorte ergeben sich Abnahmen der durch analoges Fernsehen verursachten Immissionen; die restlichen 20 % zeigen Zunahmen. Seit 2002/2003 wurde der Fokus jedoch bereits auf die Umstellung des terrestrischen Fernsehens gerichtet; ein relevanter Ausbau des

<sup>4</sup> DVB-T: fünf Kanäle mit je 100 kW, ein sechster Kanal mit 20 kW

<sup>5</sup> ZDF und Bayerisches Fernsehen mit Bildträger-Leistungen von jeweils 200 kW.

<sup>6</sup> Der Sender Rhön etwa strahlte zu analogen Zeiten das Programm des ZDF mit 350 kW ERP ab, das äquivalente digitale Bouquet nur noch mit 100 kW.

Tab. 5-9: Statistische Lagemaße im Bereich des Fernsehens. Basis: Gleichung (4.3), Erläuterung in Kapitel 2.2.1.

Daten	$Q_{avg}$	SD	$Q_{25}$	$Q_{50}$	$Q_{75}$	IQR	$Q_{90}$	$Q_{95}$	$Q_{99}$
2002/2003									
gesamt	1,78	5,81	0,07	0,30	1,10	1,03	3,61	7,49	24,34
2006/2007									
gesamt	2,15	8,76	0,05	0,20	0,92	0,87	4,58	8,71	37,31
PAL	0,35	2,25	0,01	0,03	0,14	0,13	0,52	1,02	4,87
DVB-T	1,80	8,52	< 0,01	0,01	0,39	0,39	3,53	7,15	21,59
Änderung von 2002/2003 auf 2006/2007									
gesamt	0,37	8,16	-0,40	-0,01	0,16	0,56	2,27	5,32	17,46
PAL	-1,43	5,71	-0,86	-0,16	-0,01	0,85	0,02	0,13	0,58
DVB-T	1,80	8,52	0,00	0,01	0,39	0,39	3,53	7,15	21,59

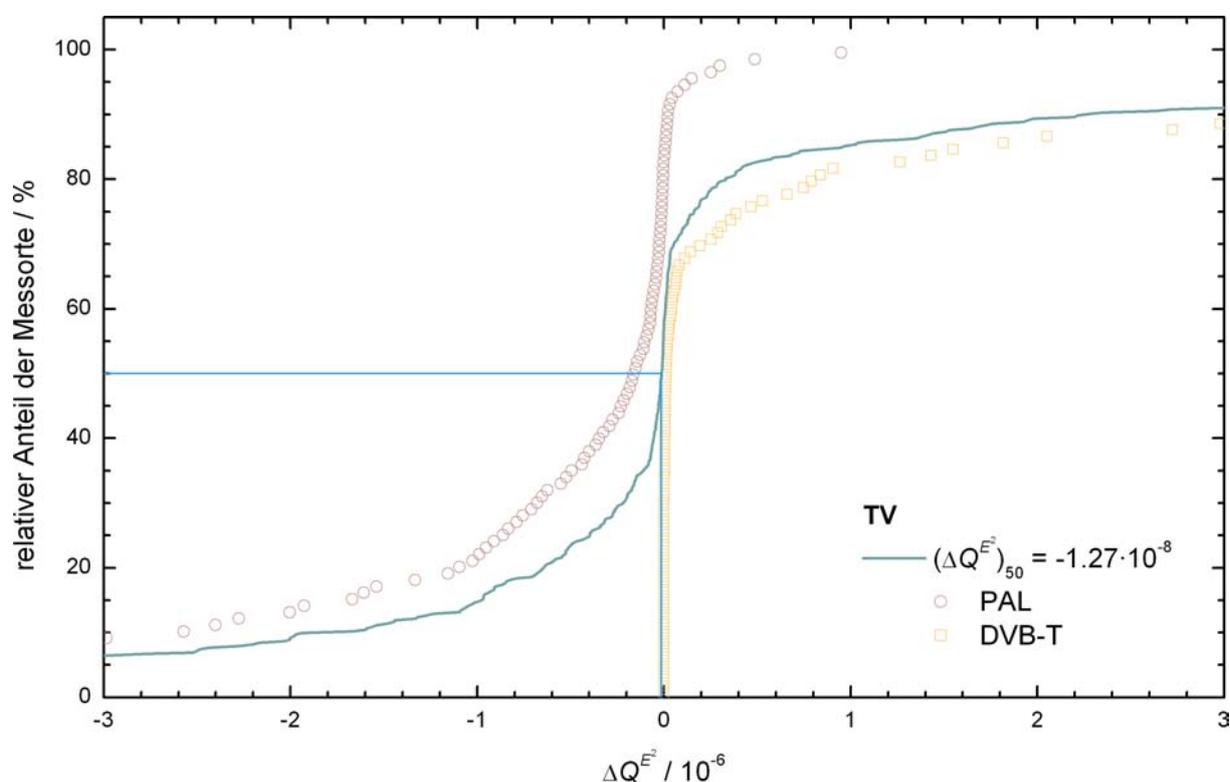


Abb. 5-13: Tendenz der Immissionen im Bereich Fernsehen. Durchgezogene Linie: Fernsehen insgesamt. Datenpunkte: Aufschlüsselung nach analogem und digitalem Fernsehen.

Tab. 5-10: Bewertung der statistischen Signifikanz für die Änderung von 2002/2003 auf 2006/2007 im Bereich des Fernsehfunks; Erläuterung in Kapitel 2.2.2.

Daten	$Q_{avg}$	SD	$N$	$t$ -Wert	$p$ -Wert	$z$	stat. Sign.
gesamt	0,37	8,16	403	0,90	0,19	-2,00	nein
PAL	-1,43	5,71	403	-5,02	< 0,0001	-13,76	ja
DVB-T	1,80	8,52	403	4,23	< 0,0001	16,51	ja

Tab. 5-11: Fernsehfunk: Statistische Spannweite. Erläuterung in Kapitel 2.2.3.

	messortbezogen über die Einzelmessungen				
	AVG	MIN	MAX	SD	LOG-AVG
<b>2002/2003</b>					
höchster Wert der Messorte	85,3	73,2	98,0	4,37	-4,07
Mittelwert über die Messorte	1,78	1,31	2,31	0,09	-6,51
Standardabweichung	5,81	4,63	7,05	0,33	0,81
Variationskoeffizient	3,27	3,54	3,05	3,50	-0,12
<b>2006/2007</b>					
höchster Wert der Messorte	114	104	124	2,31	-3,94
Mittelwert über die Messorte	2,15	1,93	2,47	0,05	-6,63
Standardabweichung	8,76	8,10	9,55	0,18	0,89
Variationskoeffizient	4,08	4,20	3,86	3,72	-0,13

analogen Fernsehens fand nicht mehr statt. Es ist daher anzunehmen, dass diese Zunahmen vorrangig durch Messunsicherheiten und elektromagnetische Störungen zu Stande kommen. Letztere äußerten sich an etlichen Messorten durch mehr oder minder starke „Spikes“ in Signalen vor allem des VHF-Bands, die trotz ihrer Kurzzeitigkeit von Sekundenbruchteilen bisweilen auf Grund des MaxPeak-Detektors zu signifikanten Erhöhungen der Signale führten.

Die Zunahmen der Immissionen durch digitales Fernsehen liegen bei zwei Dritteln der Messorte unterhalb von  $0,1 \cdot 10^{-6}$  Grenzwertausschöpfung. Erst an den restlichen 33 % der Messorte treten nennens-

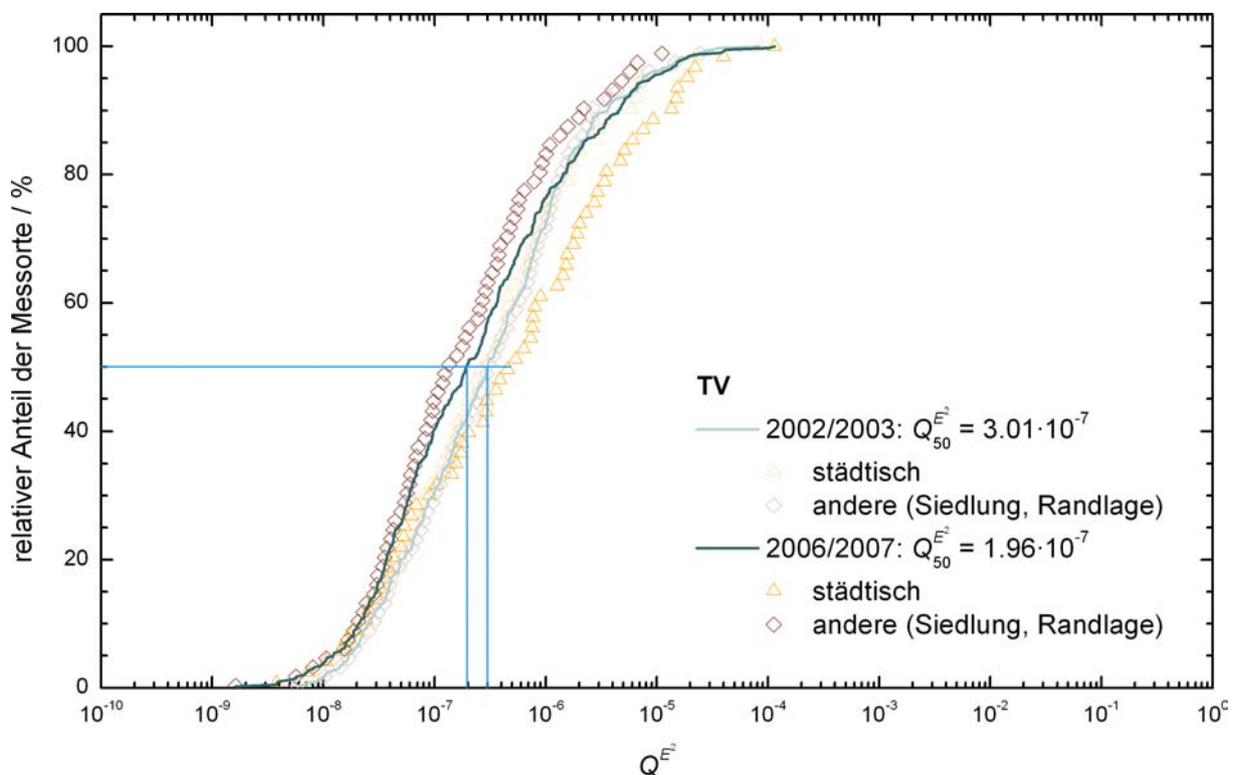


Abb. 5-14: Verteilungsfunktionen der Grenzwertausschöpfungen beim Fernsehen. Durchgezogene Linie: Gesamtverteilung über Bayern. Datenpunkte: Aufschlüsselung nach Bebauungsklassen.

werte Zunahmen auf – an den Messorten der damaligen Inseln München, Südostbayern, Nürnberg und Würzburg. Der Großraum Regensburg konnte vor der dortigen Umstellung abgewickelt werden.

In der Summe lagen 75 % der Messorte 2002/2003 noch bei  $1,10 \cdot 10^{-6}$ . 2006/2007 ist dieser Quartilwert auf  $0,92 \cdot 10^{-6}$  zurück gegangen (Verteilungsfunktionen in Abb. 5-12 und Tab. 5-9 der statistischen Kenndaten). Dabei handelt es sich aber nicht notwendigerweise um dieselben Messorte. Den messortbezogenen Vergleich zeigt die Differenzfunktion (Abb. 5-13, unterer Abschnitt von Tab. 5-9), welche die Änderung *pro Messort* erfasst. Sie wechselt das Vorzeichen bereits bei knapp 60 % der Messorte. Demzufolge hätte aus Immissionssicht bis Mitte 2007 mehr als jeder Zweite von der Umstellung des Fernsehens profitiert.

Der *t*-Test und der Wilcoxon-Test bestätigen die statistische Signifikanz für die Abnahme der Immissionen des analogen Fernsehens und die Zunahme des digitalen Fernsehens. Der Gesamttrend wird jedoch übereinstimmend als nicht signifikant bewertet. Interessant dürften die Ergebnisse einer dritten Messreihe sein, da die Fernsehübertragungen dann vollständig auf DVB-T basieren. Sie könnte die Frage klären, ob DVB-T bei Flächendeckung tatsächlich – auch statistisch signifikant – zu geringeren Immissionen führt als analoges Fernsehen.

Abb. 5-14 zeigt die Aufschlüsselung nach Bebauungsklassen; Siedlungen und Randlagen wurden hierbei zu einer Kategorie zusammengefasst. Demnach sind 2006/2007 die Werte in städtischen Lagen mit niedrigen Ausschöpfungsgraden kaum unterscheidbar von Siedlungs- oder Randlagen mit ebenfalls niedrigen Ausschöpfungsgraden. Geht man aber zu größeren Grenzwertausschöpfungen über, so verschiebt sich die Relation zu Ungunsten der Zentrumsbebauung: die 40 % der städtischen Messorte mit den höchsten Ausschöpfungsgraden liegen im Mittel einen Faktor vier über demselben Anteil an Siedlungs- und Randlagen. Dagegen bestand 2002/2003 über die gesamte Spannweite der Ausschöpfungsgrade kein nennenswerter Unterschied zwischen diesen Bebauungsklassen.

Die zuvor (Kapitel 5.3.2.2) besprochenen Ausbauszenarien von DVB-T mit Grundversorgung in ländlichen und Vollversorgung in Ballungsgebieten spiegeln sich auch in den Bebauungsklassen wider: Die Verteilungsfunktionen städtischer Lagen haben sich seit dem letzten Monitoring eher erhöht (Median: Zunahme von  $0,29 \cdot 10^{-6}$  auf  $0,52 \cdot 10^{-6}$ ), während die Immissionen ländlicher Regionen zurückgegangen sind (Median: Abnahme von  $0,30 \cdot 10^{-6}$  auf  $0,13 \cdot 10^{-6}$ ).

### 5.3.3 Mobilfunk

#### 5.3.3.1 Entwicklung des Mobilfunks

Zwischen den beiden Monitoring-Durchläufen hat die Nutzung des Mobilfunks weiter zugenommen. Im Jahr 2002 gab es etwa 59 Millionen Mobilfunkteilnehmer, vier Jahre später waren es bereits 84 Millionen [2]. Als Konsequenz wurden sowohl Netzverdichtungen vorgenommen als auch Versorgungslücken geschlossen. Steigendes Gesprächsaufkommen führt ferner dazu, dass bei GSM Gesprächskanäle öfter und mit mehr genutzten Zeitschlitzten in Betrieb sind. Bei UMTS korreliert das Gesprächsaufkommen mit der abgestrahlten Sendeleistung. Somit ist insgesamt mit deutlichen Erhöhungen der Mobilfunk-Immissionen zu rechnen.

#### 5.3.3.2 Ergebnisse: Mobilfunk insgesamt

Der Vergleich der Mobilfunk-Immissionen der beiden Monitoringdurchläufe ist in Tab. 5-12 und Abb. 5-15 dargestellt. Sie lassen deutliche Zuwächse der Grenzwertausschöpfungen erkennen. So lag der Median 2002/2003 noch bei  $0,85 \cdot 10^{-6}$ , 2006/2007 bereits bei  $1,85 \cdot 10^{-6}$ , was mehr als eine Verdoppelung bedeutet. Die Aufschlüsselung in die beiden GSM-Bänder GSM-900 und GSM-1800 zeigt, dass dies gleichermaßen gilt. Ein *t*-Test, dessen Parameter in Tab. 5-13 zusammengefasst sind, bestätigt die

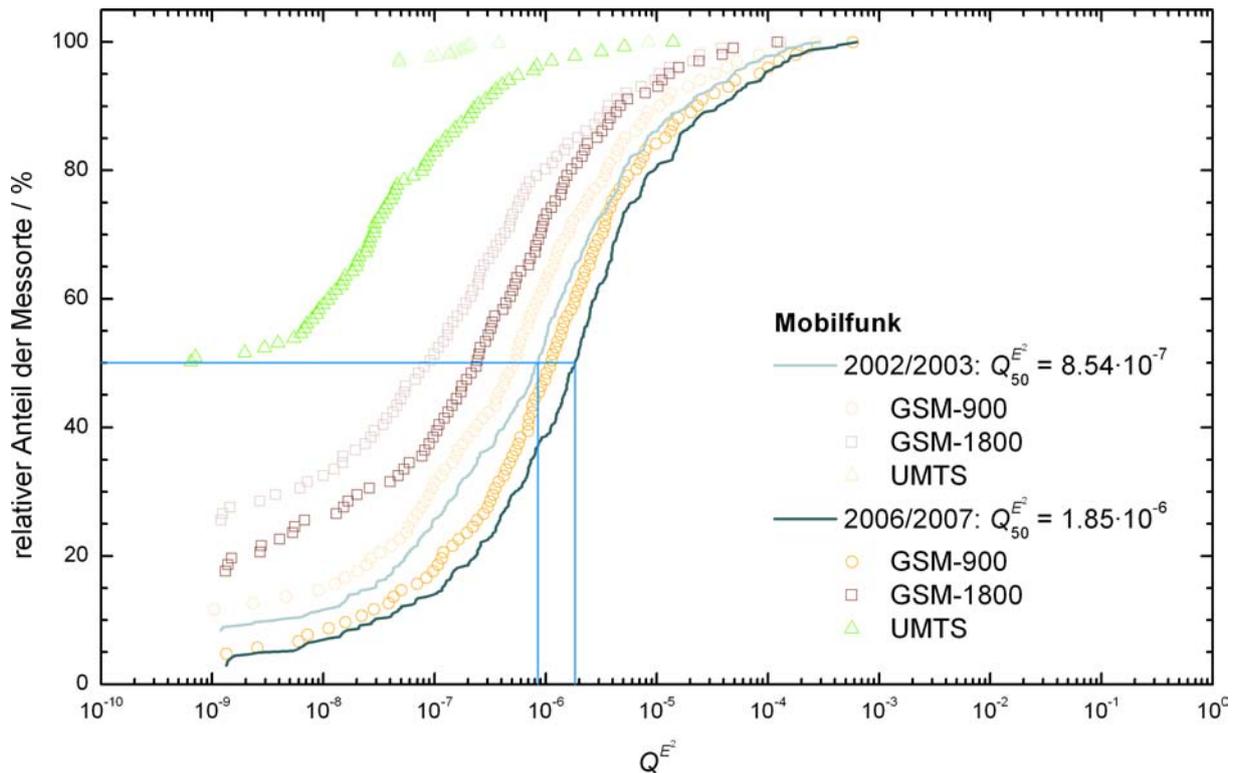


Abb. 5-15: Verteilungsfunktion der Grenzwertausschöpfungen beim Mobilfunk. Durchgezogene Linien: Mobilfunk gesamt. Datenpunkte: Aufschlüsselung nach einzelnen Mobilfunk-Frequenzbändern. (Uplinks nicht enthalten.)

Tab. 5-12: Statistische Lagemaße im Bereich des Mobilfunks. Basis: Gleichung (4.3), Erläuterung in Kapitel 2.2.1.

Daten	$Q_{avg}$	SD	$Q_{25}$	$Q_{50}$	$Q_{75}$	IQR	$Q_{90}$	$Q_{95}$	$Q_{99}$
<b>2002/2003</b>									
gesamt	9,13	29,33	0,10	0,85	3,75	3,65	18,70	49,15	144,93
GSM-900	6,71	24,88	0,06	0,54	2,32	2,26	10,63	33,16	134,11
GSM-1800	2,40	9,99	< 0,01	0,09	0,58	0,58	3,71	10,63	38,34
UMTS	0,03	0,42	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,18
<b>2006/2007</b>									
gesamt	17,90	60,39	0,37	1,85	6,07	5,70	35,90	93,60	307,44
GSM-900	14,60	55,08	0,23	1,12	3,95	3,72	23,05	84,35	225,50
GSM-1800	3,02	11,44	0,01	0,24	1,22	1,22	4,72	12,99	49,10
UMTS	0,20	1,09	< 0,01	< 0,01	0,04	0,04	0,24	0,57	4,62
<b>Änderung von 2002/2003 auf 2006/2007</b>									
gesamt	8,72	42,79	0,00	0,38	2,14	2,14	13,61	43,61	261,56
GSM-900	7,92	40,03	0,00	0,22	1,60	1,60	9,42	39,44	221,75
GSM-1800	0,62	8,87	0,00	0,02	0,33	0,33	1,75	6,00	28,01
UMTS	0,18	1,17	0,00	0,00	0,04	0,04	0,23	0,54	4,62

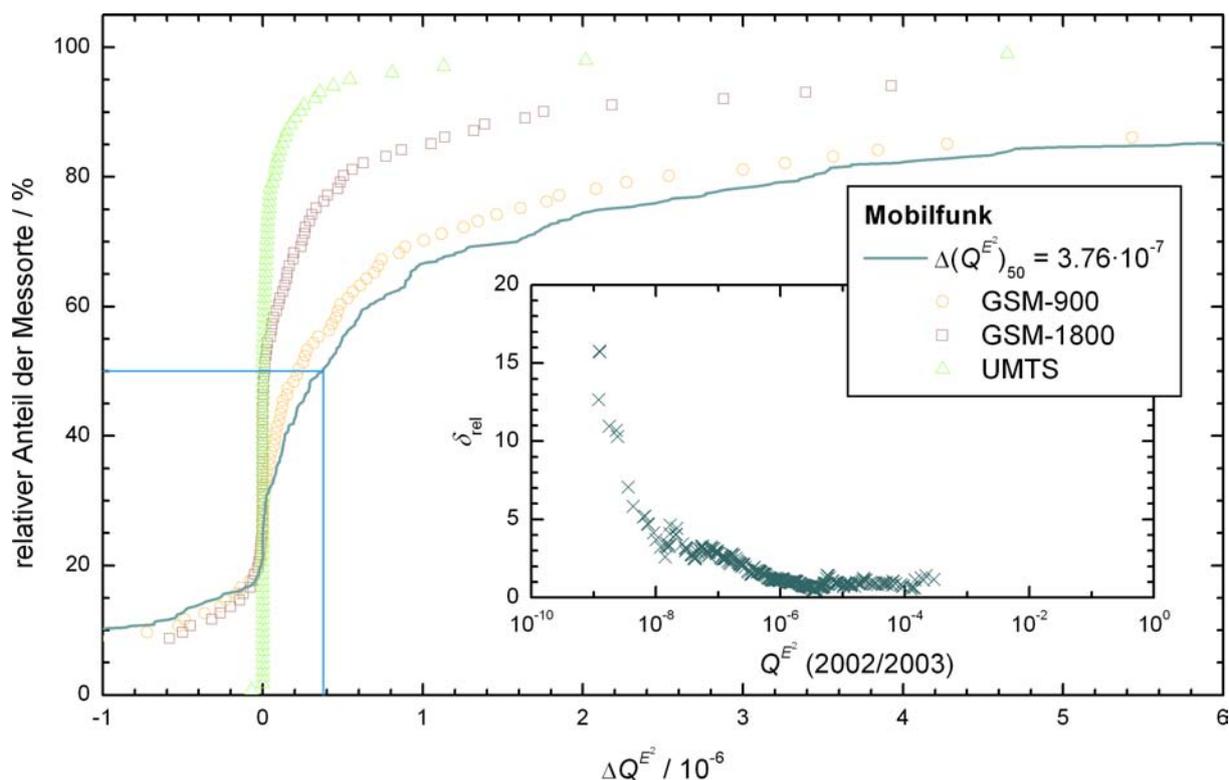


Abb. 5-16: Verteilungsfunktion der Änderung der Grenzwertausschöpfung von 2002/2003 auf 2006/2007. Durchgezogene Linie: Mobilfunk gesamt. Datenpunkte: Aufschlüsselung nach Mobilfunk-Frequenzbändern. Positive (negative) Werte bedeuten Zunahmen (Abnahmen) seit 2002/2003. Inset: Normierte Differenz-Verteilungsfunktion in Abhängigkeit der Verteilung 2002/2003 (siehe Text).

Tab. 5-13: Bewertung der statistischen Signifikanz für die Änderung von 2002/2003 auf 2006/2007 im Bereich Mobilfunk; Erläuterung in Kapitel 2.2.2.

Daten	$Q_{avg}$	SD	$N$	$t$ -Wert	$p$ -Wert	$z$	stat. Sign.
gesamt	8,72	42,79	403	4,09	0,0001	9,76	ja
GSM-900	7,92	40,03	403	3,97	0,0001	9,36	ja
GSM-1800	0,62	8,87	403	1,41	0,16	6,06	ja
UMTS	0,18	1,17	403	3,06	0,0024	11,55	ja

statistische Signifikanz für die Zunahmen beim gesamten Mobilfunk und beim Teilbereich GSM-900, lässt aber eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 16 % bei GSM-1800 offen. Der Wilcoxon-Test führt dagegen auch für GSM-1800 zur Signifikanz.

Die Bewertung der Ergebnisse ist auf Grund der Verwendung des MaxPeak-Detektors schwierig, weil – anders als etwa bei analogem Fernsehen oder DAB – keine pauschale Rückrechnung auf RMS-Werte möglich ist. Bei GSM hat dies folgende Gründe:

- Zeitstruktur des GSM-Signals. GSM-Ausstrahlungen erfolgen in Zeitschlitzten mit einer Dauer von 547  $\mu$ s. Zwar sind auf jeweils einer Frequenz (RT0; BCCH-Träger) pro Sektor alle Zeitschlitzte belegt, sodass der mit MaxPeak-Detektor gemessene Wert und ein RMS-Wert annähernd gleich sind, doch auf den restlichen Frequenzen (RT1, RT2, etc.; Gesprächskanäle) werden Zeitschlitzte nur dann gesendet, wenn sie benötigt werden. Diese Frequenzen können in Achteln der Zeit, während der sie gemessen werden, „on air“ gewesen sein, werden aber dennoch voll gezählt. Der genaue Anteil schwankt zeitlich und ist nicht bekannt.

Tab. 5-14: Mobilfunk: Statistische Spannweite. Erläuterung in Kapitel 2.2.3.

	messortbezogen über die Einzelmessungen				
	AVG	MIN	MAX	SD	LOG-AVG
<b>2002/2003</b>					
höchster Wert der Messorte	290	174	473	37,2	-3,54
Mittelwert über die Messorte	9,13	6,21	13,5	0,65	-6,04
Standardabweichung	29,3	19,4	46,9	2,88	1,05
Variationskoeffizient	3,21	3,13	3,48	4,41	-0,17
<b>2006/2007</b>					
höchster Wert der Messorte	632	472	736	44,2	-3,20
Mittelwert über die Messorte	17,90	11,8	24,0	1,20	-5,79
Standardabweichung	60,4	43,2	76,4	4,02	1,08
Variationskoeffizient	3,38	3,65	3,18	3,35	-0,19

- Überbewertung im Frequenzbereich. Insbesondere bei T-Mobile und Vodafone kommt zum Tragen, dass die Gesprächskanäle auf mehrere Frequenzen verteilt werden können (synthesizer frequency hopping). Ein Zeitschlitz kann sich dabei zunächst auf Frequenz A befinden, während der nächste Zeitschlitz auf Frequenz B liegt. Da dieser Wechsel sehr rasch erfolgt (wenige Millisekunden), die Hopping-Zeit also klein gegenüber der Messzeit ist, können Frequenzen mehrfach erfasst werden, obwohl sie nie gleichzeitig aktiv waren. Die Frequenzzahl schwankt regional und ist wiederum nicht bekannt.

Das Messverfahren überbewertet also GSM-Signale. Zwar betrifft sie vor allem die Absolutwerte der Grenzwertausschöpfung, doch ist sie auch für den Vergleich der beiden Messdurchläufe nicht vernachlässigbar, weil sich die Rahmenbedingungen in der Zwischenzeit geändert haben. Die Zunahme der Mobilfunkimmissionen resultiert somit aus der Überlagerung von Überbewertung mit netzseitigen Faktoren:

- Synthesizer frequency hopping: Das synthesizer frequency hopping hat ausschließlich Überbewertungen der Immissionen zur Folge. Die Vergleichbarkeit der Datensätze wird insofern erschwert, als synthesizer frequency hopping 2002/2003 und 2006/2007 unterschiedliche Nutzungsgrade aufwies. Rückfragen bei den Netzbetreibern ergaben, dass 2002/2003 insgesamt 13 711, 2006/2007 dagegen bereits 25 365 Hopping-Frequenzen im Einsatz waren. Dies entspricht einer Zunahme von 85 %.
- Gesprächsminuten: In der Summe aller Netzbetreiber wurden 2002 63 Mrd. Telefonminuten verbucht; vier Jahre später waren es 107 Mrd. Minuten [2] – ein Plus von 70 %. Mit zunehmender Zahl von Gesprächen sind auch die Gesprächskanäle öfter in Betrieb.
- Basisstationen: Hier müssen zwei Szenarien unterschieden werden. Vor allem in ländlichen Gebieten gab es 2002/2003 noch deutliche Versorgungslücken, die inzwischen geschlossen wurden. Dieser Trend zeigt sich etwa im  $Q_{25}$ -Quartil: 2002/2003 lag die Grenzwertausschöpfung des ersten Quartils bei  $0,10 \cdot 10^{-6}$ , 2006/2007 bei  $0,37 \cdot 10^{-6}$  (Mobilfunk gesamt). In Städten dagegen war auch 2002/2003 schon ein sehr guter Versorgungsgrad erreicht. Da aber die (Gesprächs-)Kapazität je Basisstation eng begrenzt ist, bedingte die Zunahme der Gesprächsminuten weiteren Ausbau. So stieg die Anzahl der GSM-Basisstationen aller Netzbetreiber um +32 % von 8 489 auf 11 187. (Quelle: Netzbetreiber)
- Erweiterungsband: Im Februar 2006 hatte die Bundesnetzagentur das EGSM-Band – ein zehn Megahertz breites Band am unteren Ende der GSM-900-Frequenzen – zur Nutzung durch e-plus und O<sub>2</sub> freigegeben. Die beiden Betreiber nahmen diese Frequenzen rasch in Betrieb (siehe Abb. 5-17)

und trugen damit zu einer Erhöhung der GSM-900-Immissionen bei. Da sie in gleichem Umfang GSM-1800-Frequenzen abgeben mussten, fehlt dieser Anteil dort und verringerte die GSM-1800-Immissionen.

- Marktanteile: Schließlich kam es auch zu Umverteilungen der Marktanteile der Netzbetreiber. Im Zeitraum zwischen den beiden Monitoring-Durchläufen gab es Umverteilungen insbesondere von T-Mobile und Vodafone zu e-plus und O<sub>2</sub> [3]. Dies verändert zusammen mit der Inbetriebnahme des EGSM-Bands auch die Verteilung der Immissionen zwischen GSM-900 und GSM-1800. Auf die Gesamtbetrachtung des Mobilfunks dürfte dies, wie auch die Umverteilung ins EGSM-Band, jedoch nur marginale Auswirkungen haben.

Für die Gesamtbeurteilung ist UMTS ohne Relevanz, weil seine Ausschöpfungsgrade mindestens eine Dekade unter denen der GSM-Netze liegen.

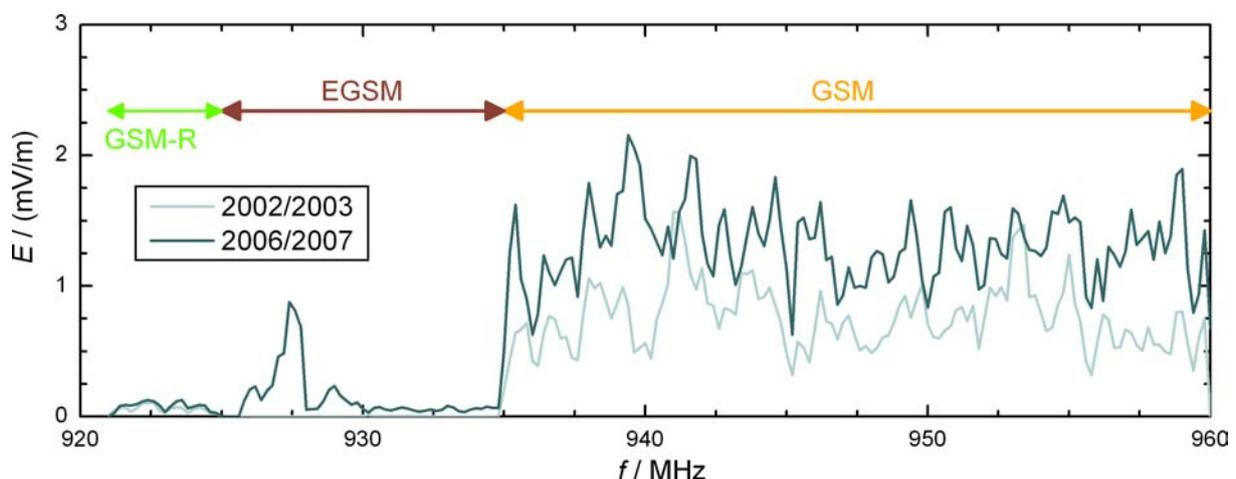


Abb. 5-17: Über alle 403 Messpunkte gemittelt bayernweites GSM-900-Spektrum. Deutlich zu sehen ist die Inbetriebnahme des EGSM-Erweiterungsbands zwischen 925 MHz und 935 MHz.

Schlüsselt man die Zu- und Abnahmen wieder messortbezogen auf, so ergibt sich Abb. 5-16 (und der untere Teil von Tab. 5-12). Den geringsten Beitrag zur gesamten Mobilfunk-Zunahme liefert UMTS: an fünf von sechs Messorten ergaben sich Zunahmen der Grenzwertausschöpfung von  $10^{-7}$  oder darunter. Abnahmen sind erwartungsgemäß nicht zu beobachten, weil die UMTS-Netze 2002/2003 weder vollständig aufgebaut noch in Betrieb waren (mehr dazu im nächsten Abschnitt). Dagegen zeigen einige Messorte bei GSM-900 und GSM-1800 deutliche Rückgänge der Immissionen; darin spiegeln sich vor allem Unsicherheiten in Bezug auf Telefonieverhalten und aktive Gesprächskanäle wider. Die Abnahme betrifft sowohl bei GSM-900 als auch bei GSM-1800 immerhin rund 20 % der Messorte. Gleichmaßen wurden bei den GSM-Netzen auch hohe Zuwächse bei einzelnen Messorten beobachtet.

Der Inset von Abb. 5-16 wählt daher eine andere Darstellung, bei der die Differenz nicht je Messort gebildet wurde, sondern die Gesamtheit der 400 Messpunkte berücksichtigt. Dabei wurde die Differenz zwischen der 2002/2003 niedrigsten und der 2006/2007 niedrigsten Immission, der jeweils zweitniedrigsten, usw. errechnet und auf den jeweiligen Ausschöpfungsgrad aus dem Monitoring 2002/2003 bezogen. Es vergleicht also die Verteilungsfunktionen der beiden Durchläufe miteinander. Dabei fällt auf, dass die höchsten Zuwachsraten bei den niedrigsten Grenzwertausschöpfungen zu verzeichnen sind, während die Verteilung bei hohen Grenzwertausschöpfungen eine Sättigung von  $\delta_{rel} \approx 1$  erreicht. Man beachte, dass es sich bei dem Wert  $\delta_{rel}$  um eine normierte Differenz handelt, und somit  $\delta_{rel} = 1$  einer Verdoppelung entspricht. Das Ergebnis deutet darauf hin, dass die Mobilfunkzunahmen eher dort erfolgt sind, wo 2002/2003 schlechte Empfangsbedingungen – und damit niedrige Grenzwertausschöpfungen – vorherrschten.

### 5.3.3.3 UMTS

Vergleichende Aussagen zum Monitoring 2002/2003 sind auf Grund der kleinen Datenbasis 2002/2003 schwierig; damals war UMTS als optionales Messpaket nur an wenigen Messpunkten erfasst worden (vgl. auch Kapitel 4.4), weil damals kaum UMTS-Versorgung gegeben war. Die UMTS-Lizenzversteigerung fand im Jahr 2000 statt. Die Netzbetreiber hatten anschließend bis Ende 2003 Zeit, um eine Bevölkerungsabdeckung von 25 % zu erreichen. Während des Monitorings 2002/2003, das im Juli 2003 endete, war der Netzaufbau noch mitten im Gange; die Nutzung der wenigen Basisstationen kann vernachlässigt werden, da die UMTS-Netze erst Anfang bis Mitte 2004 für Privatkunden zur Nutzung freigegeben wurden. Bis Ende 2005 sahen die Lizenzbedingungen eine Bevölkerungsabdeckung von 50 % vor, was wiederum in gutem Einklang mit den Daten von 2006/2007 steht.

Insgesamt kommt der Zuwachs in den UMTS-Ausschöpfungsgraden ausschließlich durch den Aufbau der Netze und deren Nutzung zu Stande. Mitte 2007 lag die mittlere Auslastung eines der UMTS-Netze laut Auskunft des Netzbetreibers bei etwa 20 %. Nimmt man an, dass die maximale Kapazität einer UMTS-Basisstation bei 80 % liegt (Quelle: Netzbetreiber) und berücksichtigt ferner, dass die Netzbetreiber von zwei möglichen Frequenzen derzeit fast überall nur eine verwenden, so besteht beim derzeitigen Ausbaustand ein Spielraum von einem Faktor acht. Selbst dann liegt UMTS noch deutlich unter den GSM-1800- oder gar GSM-900-Immissionen. Weil die Sendeleistungen von UMTS und GSM nicht wesentlich unterschiedlich sind, kommen dafür folgende Ursachen (auch kumulativ) in Frage:

- UMTS ist auf Grund der höheren Frequenz von der Freiraumdämpfung stärker betroffen als GSM. Das gleiche Argument ist auch zwischen den beiden GSM-Bändern anwendbar.
- Die UMTS-Netze sind noch deutlich dünner ausgebaut als GSM.
- UMTS ist im RMS-Modus gemessen worden und anders als GSM nicht überbewertet.

### 5.3.3.4 Bebauungsabhängigkeiten

Ein sehr differenziertes Bild ergibt die Bebauungsabhängigkeit von UMTS (Abb. 5-18). Während nur noch etwa 20 % der städtischen Messpunkte ohne UMTS-Versorgung auskommen, liegt dieser Anteil bei Siedlungsgebieten bereits bei 50 %, bei Randlagen sogar um 70 %. In dieser Reihenfolge fallen auch die gemessenen Ausschöpfungsgrade, sodass das Monitoring insgesamt die UMTS-Versorgung, die vor allem in ländlichen Gegenden noch deutliche Lücken aufweist, sehr gut widerspiegelt.

In der Gesamtheit des Mobilfunks zeigen sich die Zunahmen gleichermaßen in allen Bebauungsklassen. Zuvor wurde angesprochen, dass hohe Zunahmen vor allem in Gegenden vorkommen, die 2002/2003 niedrige Ausschöpfungsgrade aufwiesen. Dieses Bild festigt sich auch in den Bebauungsabhängigkeiten. In Randlagen beträgt die Zunahme +197 %, in städtischen Lagen dagegen nur 90 %. Siedlungsgebiete liegen mit +132 % dazwischen. Alle Angaben beziehen sich auf den Median.

Bei den Absolutwerten zeigte sich 2002/2003, dass Randlagen niedrigere Ausschöpfungsgrade als Siedlungsgebiete, und Siedlungsgebiete wiederum niedrigere Ausschöpfungsgrade als städtische Lagen aufweisen. Trotz der unterschiedlichen Zunahmen ergab sich diese Systematik auch wieder im Durchlauf 2006/2007.

### 5.3.4 Sonstige

Zu sonstigen Funkdiensten zählen Behördenfunk, ISM-Bänder, Radar- und Flugfunk. Darüber hinaus wurden DECT und Mobilfunk-Uplinks diesem Bereich zugeordnet. DECT kann nur isoliert betrachtet werden, weil 2002/2003 auf Grund eines Softwarefehlers nur Daten an 80 Messorten vorliegen. Die Zuordnung zur Mobilfunk- oder Sonstige-Summe würde bedeuten, dass entweder die gesamte Daten-

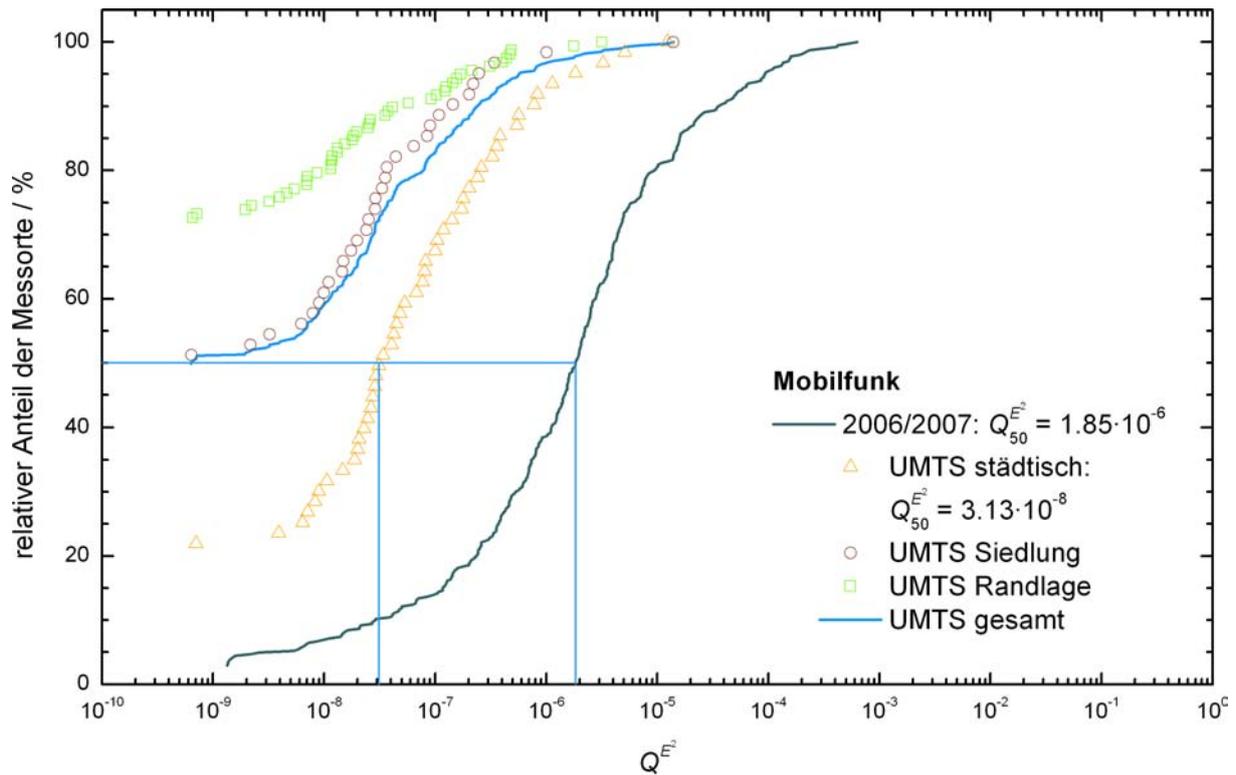


Abb. 5-18: Baugebietabhängigkeit von UMTS 2006/2007. Zum Vergleich: Die durchgezogene Linie gibt die Verteilung des gesamten Mobilfunks an.

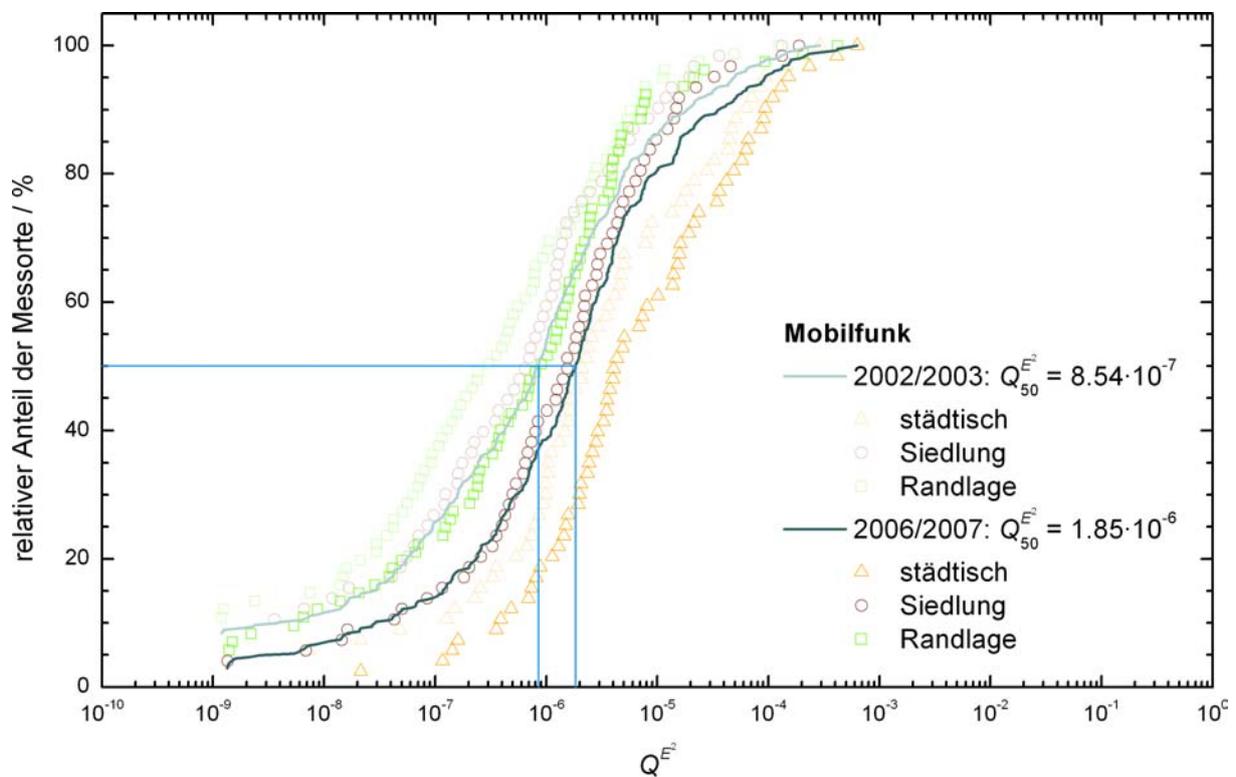


Abb. 5-19: Verteilungsfunktion der Grenzwertausschöpfungen beim Mobilfunk. Durchgezogene Linien: Mobilfunk gesamt. Datenpunkte: Aufschlüsselung nach Baugebietsklassen. (Uplinks nicht enthalten.)

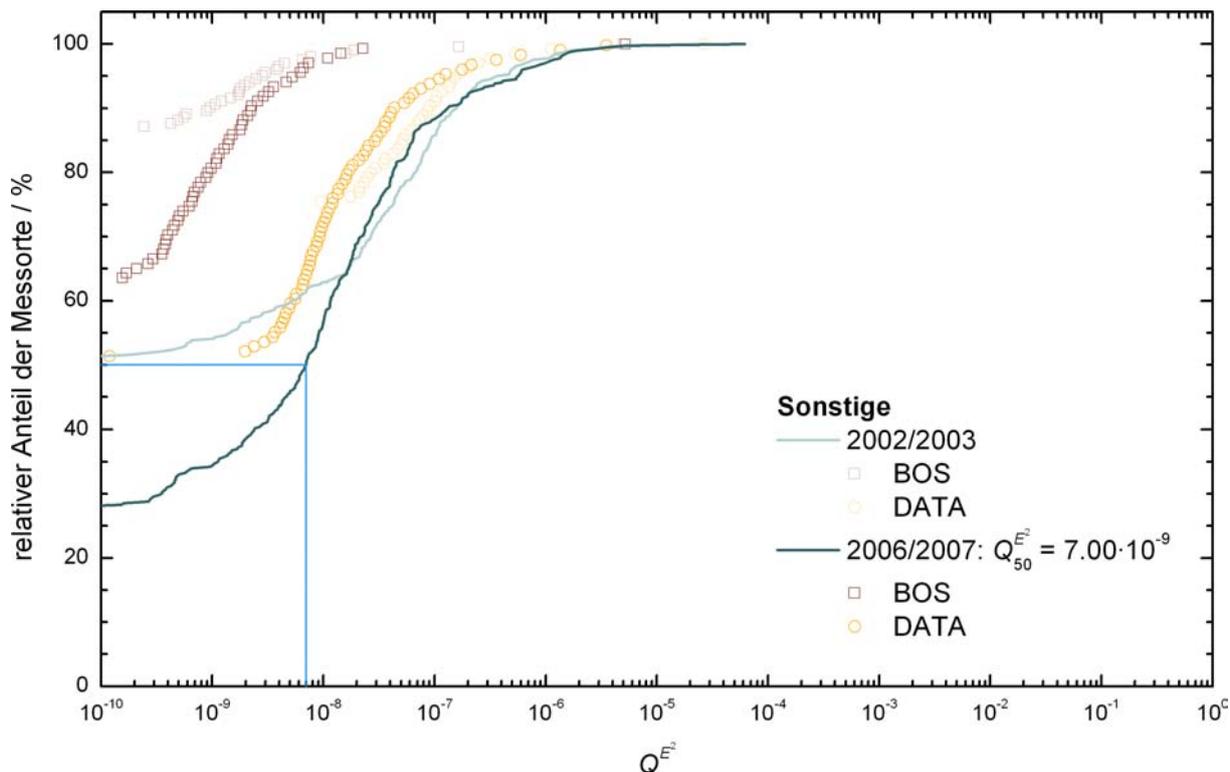


Abb. 5-20: Verteilungsfunktion der Grenzwertausschöpfungen sonstiger Funkdienste. Durchgezogene Linien: Sonstige gesamt. Datenpunkte: Aufschlüsselung nach einzelnen Funkdiensten.

Tab. 5-15: Statistische Lagemaße im Bereich sonstiger Funkdienste. Basis: Gleichung (4.3), Erläuterung in Kapitel 2.2.1.

Daten	$Q_{avg}$	SD	$Q_{25}$	$Q_{50}$	$Q_{75}$	IQR	$Q_{90}$	$Q_{95}$	$Q_{99}$
<b>2002/2003</b>									
gesamt	0,16	1,39	< 0,01	< 0,01	0,04	0,04	0,16	0,36	1,64
BOS	0,01	0,25	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02
DATA	0,11	1,35	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,09	0,16	1,06
<b>2006/2007</b>									
gesamt	0,25	3,11	< 0,01	0,01	0,03	0,03	0,13	0,56	1,92
BOS	0,02	0,26	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02
DATA	0,20	3,04	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	0,04	0,13	1,35

basis auf 80 Messpunkte reduziert würde oder die fehlenden DECT-Immissionen mit Null angesetzt werden. Beides sind keine angemessenen Lösungen. Im nächsten Monitoring-Durchgang können die DECT-Daten 2006/2007 in eine Summe mit einfließen, wenn ein Vergleich mit dem Monitoring 2002/2003 nicht mehr erforderlich ist. Auch Mobilfunk-Uplinks wurden aus einer Summenbildung herausgenommen.

Die Hauptbeiträge zur Summe sonstiger Funkdienste stammen von BOS (Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben) und dem Messpaket DATA. Letzteres umfasst den Frequenzbereich zwischen VHF-III und UHF. Der Frequenzbereich ist beim Kabelfernsehen durch die Sonderkanäle S11-S20 (oberer Sonderkanalbereich) und S21-S41 (erweiterter Sonderkanalbereich) in Benutzung. Durch nicht hinreichende Schirmung von Hausverteilanlagen können einerseits hierdurch Störabstrahlungen

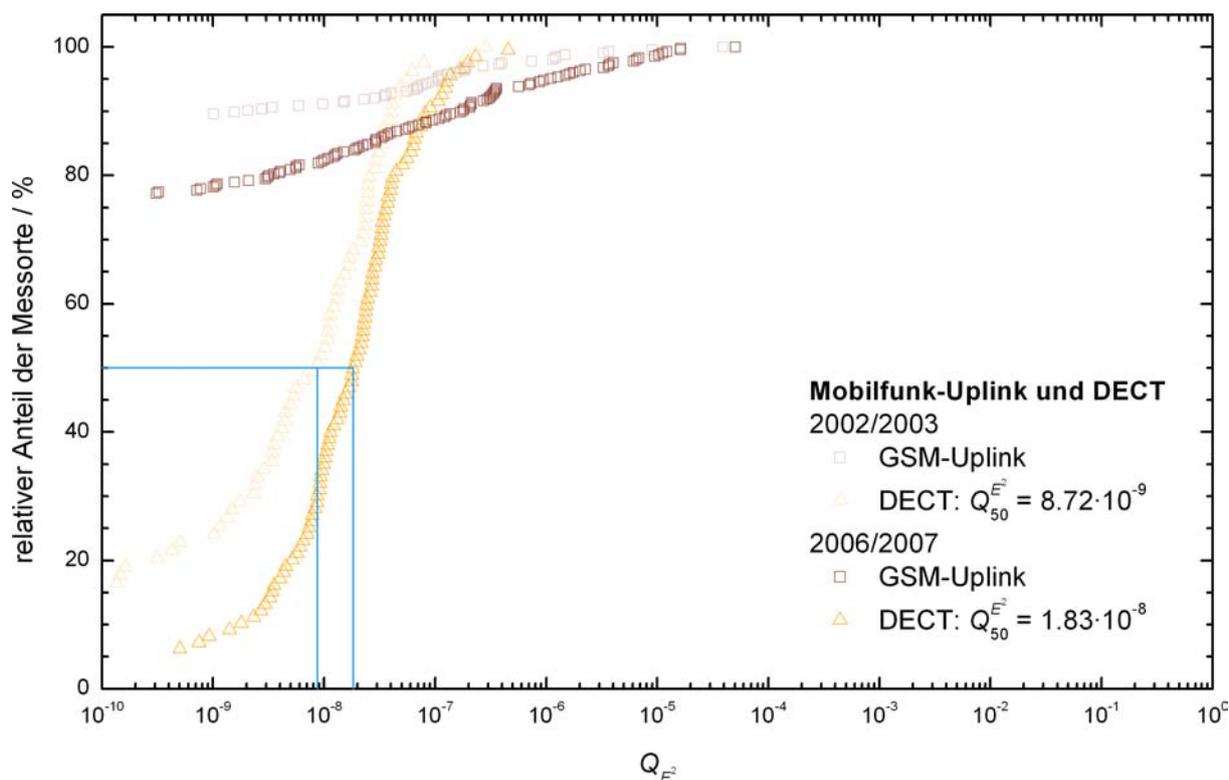


Abb. 5-21: Verteilungsfunktion der Grenzwertausschöpfungen nicht-ortsfester Funkanlagen: Aufschlüsselung nach Mobilfunk-Uplinks (Handy-Immissionen) und DECT.

Tab. 5-16: Statistische Lagemaße von DECT und Mobilfunk-Uplinks. Basis: Gleichung (4.3), Erläuterung in Kapitel 2.2.1.

Daten	$Q_{avg}$	SD	$Q_{25}$	$Q_{50}$	$Q_{75}$	IQR	$Q_{90}$	$Q_{95}$	$Q_{99}$
2002/2003									
DECT	0,02	0,04	< 0,01	0,01	0,02	0,02	0,04	0,06	0,21
Uplink	0,20	2,18	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,11	3,26
2006/2007									
DECT	0,04	0,07	0,01	0,02	0,04	0,03	0,09	0,13	0,33
Uplink	0,45	3,04	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,18	1,09	11,26

erfolgen (sog. Kabellecks). Andererseits enthält der Frequenzbereich das ISM-Band um 433 MHz, das beispielsweise für Funkthermometer oder Funkschalter zur freien Nutzung verfügbar ist. Es ist anzunehmen, dass die stärkere Verbreitung solcher Funkdienste für die Erhöhung des Versorgungsgrads des Messpakets DATA von etwa 30 % auf knapp 50 % verantwortlich ist.

Zu keinem der Teilbereiche lässt sich ein Median angeben, weil sie 2006/2007 nur an etwa 40 % bis 50 % der Messorte beitragen. Für die Gesamtverteilung ergibt sich 2006/2007 ein Median von  $0,01 \cdot 10^{-6}$ ; 2002/2003 lässt sich wiederum kein Median angeben. Der Mittelwert hat sich um +61 % von  $0,16 \cdot 10^{-6}$  auf  $0,25 \cdot 10^{-6}$  erhöht.

Trotz der geringen Datenbasis bei DECT 2002/2003 lässt sich die damalige Verteilung gut mit der heutigen vergleichen (Abb. 5-21). Demzufolge hat sich der Median des Ausschöpfungsgrads von  $0,01 \cdot 10^{-6}$  auf  $0,02 \cdot 10^{-6}$  in etwa verdoppelt. Dies war bereits während der Messreihe 2006/2007 zu erwarten: Nur an 16 der 403 Messpunkte (4,0 %) waren keine DECT-Immissionen zu messen, d.h. der Verbrei-

tungsgrad ist inzwischen so hoch, dass 96 % der Bevölkerung DECT-Immissionen erfahren – entweder durch eigene DECT-Nutzung oder durch solche von Nachbarn. Dagegen lag dieser Anteil 2002/2003 noch bei 85 %, ist aber insgesamt mit Vorsicht zu sehen, weil DECT-Messungen nur für 80 Messpunkte existieren.

DECT kommt dem Konzept vieler leistungsschwacher Einzelsender bereits recht nahe. Erstreckt sich die Verteilung der Ausschöpfungsgrade bei Mobilfunk über fast sechs Dekaden, so liegt die Spannweite von DECT bei nur knapp drei Dekaden. 60 % der Messpunkte liegen sogar innerhalb der Größenordnung von  $10^{-8}$ . Der steile Verlauf der Verteilungsfunktion spiegelt die „Mikrozellen“ wider.

Bei den Mobilfunk-Uplinks lassen sich wiederum keine Mediane angeben, die zunehmende Nutzung zeigt sich jedoch im Versorgungsgrad, der von etwa 10 % auf etwas mehr als 20 % angestiegen ist. Diese Verdopplung steht in guter Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Downlinks.

### 5.3.5 Gesamtbetrachtung der Hochfrequenz

Zum Abschluss der Diskussion über die Hochfrequenz sollen nun die Summenausschöpfungsgrade im Bereich thermischer Wirkungen besprochen werden. In die Summe fließen alle bislang besprochenen Funkdienste ein, inklusive DECT<sup>7</sup> und Mobilfunk-Uplinks. Die Daten können als „mittlere Hochfrequenz-Belastung“ in Bayern verstanden werden.

Die Verteilungsfunktionen (Abb. 5-23 und Tab. 5-18) ergeben im Median eine statistisch signifikante Zunahme von  $5,13 \cdot 10^{-6}$  auf  $6,24 \cdot 10^{-6}$ , was relativ betrachtet +22 % bedeutet. Der Mittelwert hat um +57 % von  $16,4 \cdot 10^{-6}$  auf  $25,7 \cdot 10^{-6}$  zugenommen. Da der Mittelwert auf Ausreißer sensitiv ist, liegt dieser Unterschied vor allem darin begründet, dass die höchste Grenzwertausschöpfung der 403 Messorte 2002/2003 bei  $298 \cdot 10^{-6}$  lag, sich aber 2006/2007 auf  $674 \cdot 10^{-6}$  mehr als verdoppelt hat (Tab. 5-20). Vergleicht man mit Tab. 5-14, so wird ersichtlich, dass diese höchste Grenzwertausschöpfung von Mobilfunk verursacht wird.

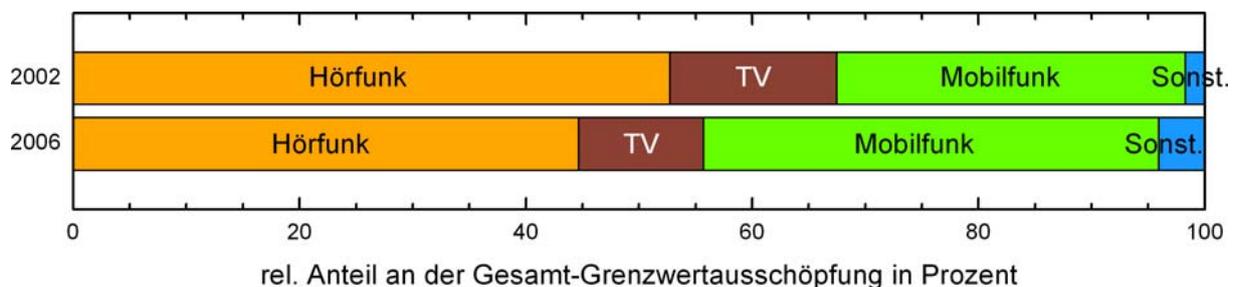


Abb. 5-22: Relative Anteile der Funkdienste an der jeweiligen Gesamt-Grenzwertausschöpfung (Mittelung über alle Messorte).

Errechnet man dagegen die relativen Anteile der einzelnen Funkdienste an der jeweiligen Gesamtmission (an *jedem* Messort) und mittelt diese Anteile über alle Messorte, so erhält man Abb. 5-22. Wie schon im Ergebnisbericht zur ersten Messreihe [1] dargestellt, hatte der Teilbereich Hörfunk 2002/2003 den größten Anteil an den Gesamtmissionen (53 %), gefolgt von Mobilfunk (31 %) und Fernsehfunk (15 %)<sup>8</sup>. 2006/2007 liegt Hörfunk immer noch vorn, sein Anteil liegt aber nur noch bei 45 %, wohingegen Mobilfunk auf 40 % angestiegen ist. Das Fernsehen profitiert von seinen Abnahmen und den Zunahmen anderer Funkdienste und kommt so nur noch auf einen Anteil von 11 %.

<sup>7</sup> Bei Orten mit fehlerhafter DECT-Messung 2002/2003 wurde  $Q = 0$  verwendet.

<sup>8</sup> Durch die Umrechnung der TV-Immissionen auf RMS-Werte weichen die Zahlenwerte leicht vom Monitoring-Bericht 2002/2003 ab.

Tab. 5-17: Relative Anteile der Funkdienste an der jeweiligen Gesamt-Grenzwertausschöpfung (Mittelung über alle Messorte). Aufschlüsselung nach Bebauungsklassen.

	Hörfunk	Fernsehfunk	Mobilfunk
<b>2002/2003</b>			
alle Messorte	53 %	15 %	31 %
städtisch	41 %	11 %	45 %
Siedlung	56 %	13 %	30 %
Randlage	59 %	19 %	21 %
<b>2006/2007</b>			
alle Messorte	45 %	11 %	40 %
städtisch	29 %	14 %	52 %
Siedlung	45 %	8 %	42 %
Randlage	56 %	11 %	30 %

Schlüsselt man diese Daten noch weiter nach Bebauungsklassen auf (Tab. 5-17), so bestätigt sich die Verlagerung der Immissionsanteile vom Hörfunk hin zu Mobilfunk. Bereits 2002/2003 zeigte sich eine Erhöhung der Mobilfunk-Immissionsanteile mit zunehmender Bevölkerungsdichte. Dieser Trend bestätigt sich auch 2006/2007, wobei insbesondere in städtischen Lagen inzwischen mehr als die Hälfte aller Immissionen durch Mobilfunk verursacht wird. Beim Fernsehen bestätigt sich die bereits in Kapitel 5.3.2 angesprochene Umverteilung: In städtischen Lagen hat der relative Anteil des Fernsehens an den Gesamtimmisionen um drei Prozentpunkte leicht zugenommen, in Siedlungs- und Randlagen dagegen abgenommen.

In den Verteilungsfunktionen nach Bebauungsklassen (Abb. 5-24) zeigen sich nur geringe Unterschiede zwischen Randlagen und Siedlungslagen; erst städtische Lagen sind deutlich zu größeren Ausschöpfungsgraden verschoben. Dies dürfte daran liegen (vgl. Tab. 5-17), dass die Gesamtimmisionen in Siedlungs- und Randlagen durch die Hörfunkanteile dominiert sind, Hörfunk aber wiederum kaum eine Abhängigkeit von den Bebauungsklassen zeigt (Abb. 5-9). In Stadtlagen dominiert dagegen Mobilfunk, der auch einzeln betrachtet in Stadtlagen höhere Ausschöpfungsgrade liefert als in anderen Gebieten (Abb. 5-19).

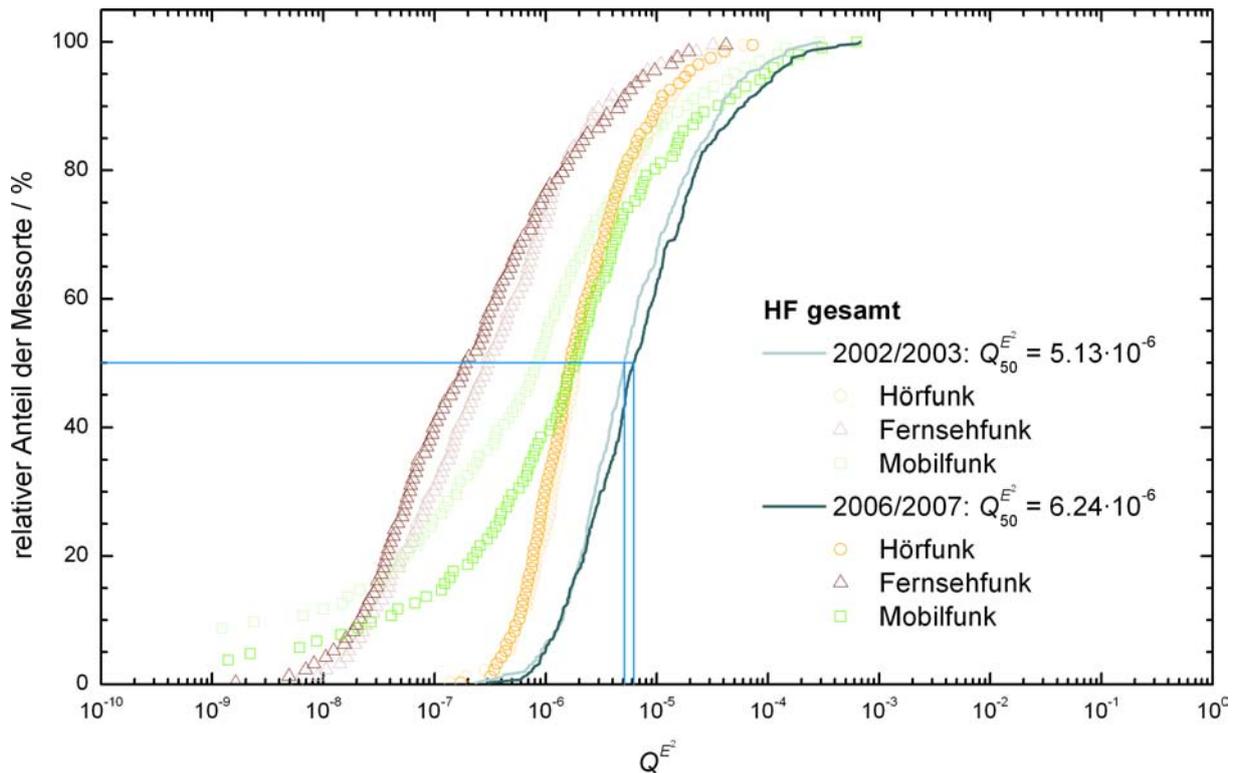


Abb. 5-23: Verteilungsfunktionen der Grenzwertausschöpfungen im Hochfrequenzbereich. Durchgezogene Linien: Gesamte Hochfrequenz ab 100 kHz inclusive DECT und Mobilfunk-Uplinks. Datenpunkte: Anteile der wichtigsten Funkdienste.

Tab. 5-18: Statistische Lagemaße im gesamten Hochfrequenzbereich ab 100 kHz. Basis: Gleichung (4.3), Erläuterung in Kapitel 2.2.1.

Daten	$Q_{avg}$	SD	$Q_{25}$	$Q_{50}$	$Q_{75}$	IQR	$Q_{90}$	$Q_{95}$	$Q_{99}$
<b>2002/2003</b>									
gesamt	16,4	33,0	2,41	5,13	14,6	12,2	38,2	65,0	170
Hörfunk	5,11	9,85	1,04	1,87	4,35	3,31	11,8	19,7	47,4
Fernsehfunk	1,78	5,81	0,07	0,30	1,10	1,03	3,61	7,49	24,3
Mobilfunk	9,13	29,3	0,10	0,85	3,75	3,65	18,7	49,1	145
<b>2006/2007</b>									
gesamt	25,7	66,2	2,62	6,24	18,1	15,4	60,7	114	320
Hörfunk	4,91	10,7	0,89	1,69	4,09	3,20	10,8	19,2	60,7
Fernsehfunk	2,15	8,76	0,05	0,20	0,92	0,87	4,58	8,71	37,3
Mobilfunk	17,9	60,4	0,37	1,85	6,07	5,70	35,9	93,6	307
<b>Änderung von 2002/2003 auf 2006/2007</b>									
gesamt	9,28	45,9	-1,23	0,43	4,60	5,83	17,4	50,2	266
Hörfunk	-0,20	5,61	-1,02	-0,07	0,61	1,63	2,02	3,51	12,3
Fernsehfunk	0,37	8,16	-0,40	-0,01	0,16	0,56	2,27	5,32	17,5
Mobilfunk	8,72	42,8	0,00	0,38	2,14	2,14	13,6	43,6	262

Tab. 5-19: Bewertung der statistischen Signifikanz für die Änderung der Gesamtexposition von 2002/2003 auf 2006/2007 im Hochfrequenzbereich; Erläuterung in Kapitel 2.2.2.

Daten	$Q_{avg}$	SD	N	t-Wert	p-Wert	z	stat. Sign.
gesamt	9,28	45,92	403	4,06	0,0001	4,72	ja

Tab. 5-20: Hochfrequenz ab 100 kHz: Statistische Spannweite. Erläuterung in Kapitel 2.2.3.

	messortbezogen über die Einzelmessungen				
	AVG	MIN	MAX	SD	LOG-AVG
<b>2002/2003</b>					
höchster Wert der Messorte	298	182	490	39,3	-3,53
Mittelwert über die Messorte	16,4	11,4	24,8	1,06	-5,21
Standardabweichung	33,0	23,0	54,5	3,50	0,57
Variationskoeffizient	2,02	2,01	2,20	3,30	-0,11
<b>2006/2007</b>					
höchster Wert der Messorte	674	545	806	50,8	-3,17
Mittelwert über die Messorte	25,7	17,6	37,5	1,71	-5,12
Standardabweichung	66,2	48,1	89,4	4,84	0,62
Variationskoeffizient	2,58	2,73	2,38	2,83	-0,12

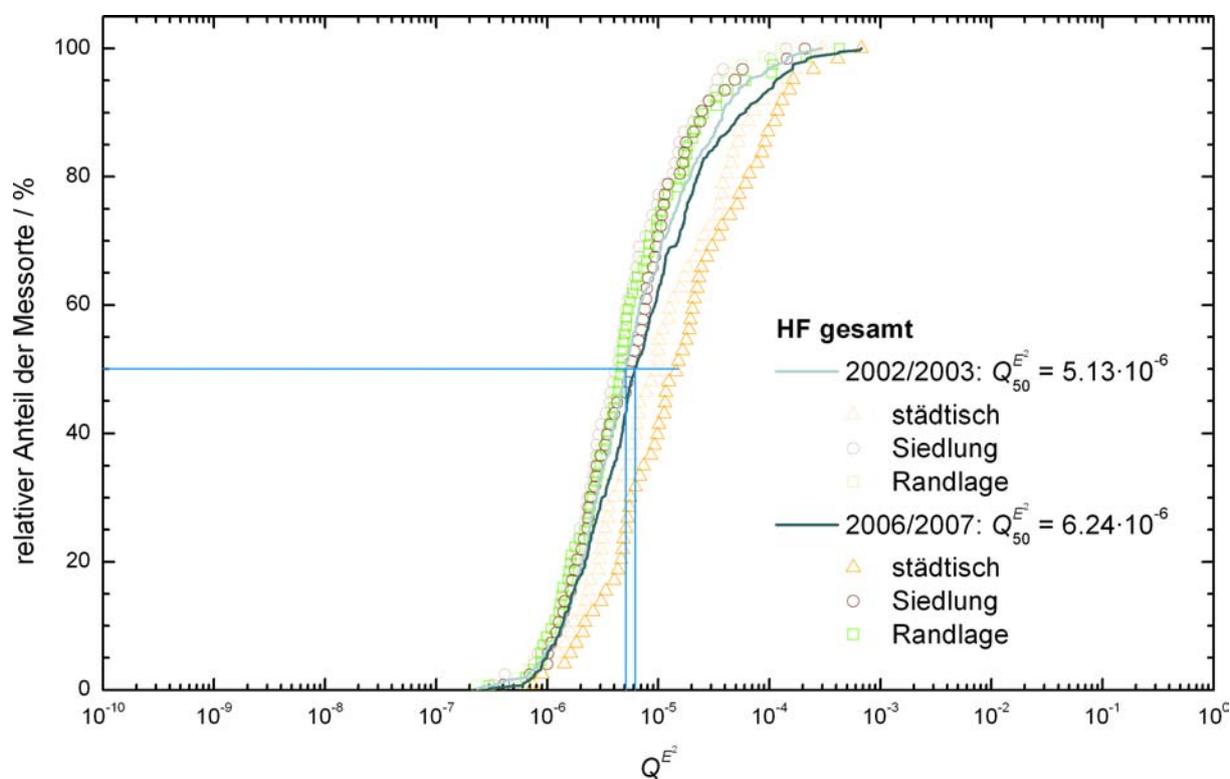


Abb. 5-24: Verteilungsfunktionen der Grenzwertausschöpfungen im gesamten Hochfrequenzbereich. Durchgezogene Linie: Gesamtverteilung über Bayern. Datenpunkte: Aufschlüsselung nach Bebauungsklassen.

## 6 Zusammenfassung

Technisch erzeugte elektromagnetische Felder sind im Zeitalter der Kommunikation allgegenwärtig. Dazu tragen Rundfunk- und Fernsehsender schon seit Jahrzehnten bei. Mit dem Boom des Mobilfunks um die Jahrtausendwende erfolgte eine weitere Zunahme der Funkanwendungen. Darüberhinaus entstehen durch die Bereitstellung und Verwendung elektrischer Energie quasi als Nebenprodukt auch niederfrequente elektrische und magnetische Felder. Das LfU hat sich mit dem EMF-Monitoring 2002 zum Ziel gesetzt, diese Felder nach Zufallsstichproben bevölkerungsgewichtet turnusmäßig zu erfassen.

Entsprechend ihrer Frequenz wirken elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder unterschiedlich auf biologisches Gewebe. Demzufolge orientiert sich die Grenzwertgebung im Niederfrequenzbereich an den Feldstärken, die über Influenz und Induktion *Reizwirkungen* im Körper hervorrufen. Bei hochfrequenter Strahlung wird ein Teil der *Energie vom Gewebe absorbiert* und in Wärme umgewandelt. Der Grenzwert richtet sich hier deshalb nach der *Energie*. In beiden Fällen bedeutet ein Ausschöpfungsgrad von  $Q = 1$  das Erreichen der höchsten zulässigen Immission. Im EMF-Monitoring wurden die Grenzwerte überall und meist auch deutlich unterschritten.

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder mit möglichen Reizwirkungen kommen durch die Erzeugung, Verteilung und Nutzung von elektrischem Strom zu Stande. Darüber hinaus sind für die Reizwirkung noch Lang-, Mittel- und Kurzwellensender bis 10 MHz relevant. Der Median des Ausschöpfungsgrads für nicht-thermische Magnetfelder (Median heißt, die Hälfte der Werte liegen oberhalb, die Hälfte unterhalb), deren dominierender Beitrag die Niederfrequenz ist, lag im ersten Monitoring 2002/2003 bei 1,05 Promille. Beim zweiten Durchgang 2006/2007 ergab sich eine Erhöhung um 28 Prozent auf 1,35 Promille. Der in den vergangenen Jahren gestiegene Stromverbrauch wird hier ersichtlich. Der Mittelwert lag bei 2,44 Promille (2002/2003: 1,97 Promille).

Im nicht-thermischen Bereich des elektrischen Felds im Frequenzbereich bis 10 MHz betragen die Medianwerte des Ausschöpfungsgrads 2002/2003 3,09 Promille und 2006/2007 3,23 Promille. Der Niederfrequenzanteil trägt hier nur untergeordnet bei. Dessen Median lag mit 0,03 Promille (2002/2003) und 0,05 Promille (2006/2007) zwei Größenordnungen unter den Gesamtwerten.

Für den Hochfrequenzbereich mit thermischer Wirkung sind eine Vielzahl an Funkdiensten von Bedeutung. Es erscheint daher sinnvoll, eine Gruppierung in Hörfunk, Fernsehfunk und Mobilfunk vorzunehmen.

Zum Hörfunk zählen neben UKW auch die im heutigen Internet-Zeitalter nicht mehr so bedeutenden Lang-, Mittel und Kurzwellensender, sowie das erst in neuerer Zeit eingeführte Digitalradio DAB. Alle haben in den letzten Jahren nur marginale Änderungen erfahren, was sich in der geringen Änderung des Medians des Ausschöpfungsgrads von 1,87 Millionstel auf 1,69 Millionstel niederschlägt. Dieser Rückgang ist aber statistisch nicht signifikant, d.h. er liegt noch im Rahmen der statistischen Unsicherheit.

Anders dagegen die Situation bei Fernsehsendern: Kabel und Satellit haben seit den 1980er-Jahren den terrestrischen Empfangsweg mit meist nur drei empfangbaren Programmen weitgehend verdrängt. Um die terrestrische Verbreitung zu erhalten, ist seit 2002 im Pilotprojekt Berlin und seit 2005 auch in Bayern eine Digitalisierung im Gange, die eine deutliche Verbesserung des Programmangebots ermöglicht. Das verwendete Verfahren DVB-T ermöglicht durch effizientere Informationsübertragung auch eine Senkung der Immissionen. Für den Median des Ausschöpfungsgrads bedeutet das einen Rückgang von 0,30 Millionstel auf 0,20 Millionstel (–35 Prozent). Im Monitoring 2006/2007 war die Umstellung noch nicht vollständig beendet, dennoch waren vor allem in Siedlungs- und Randlagen

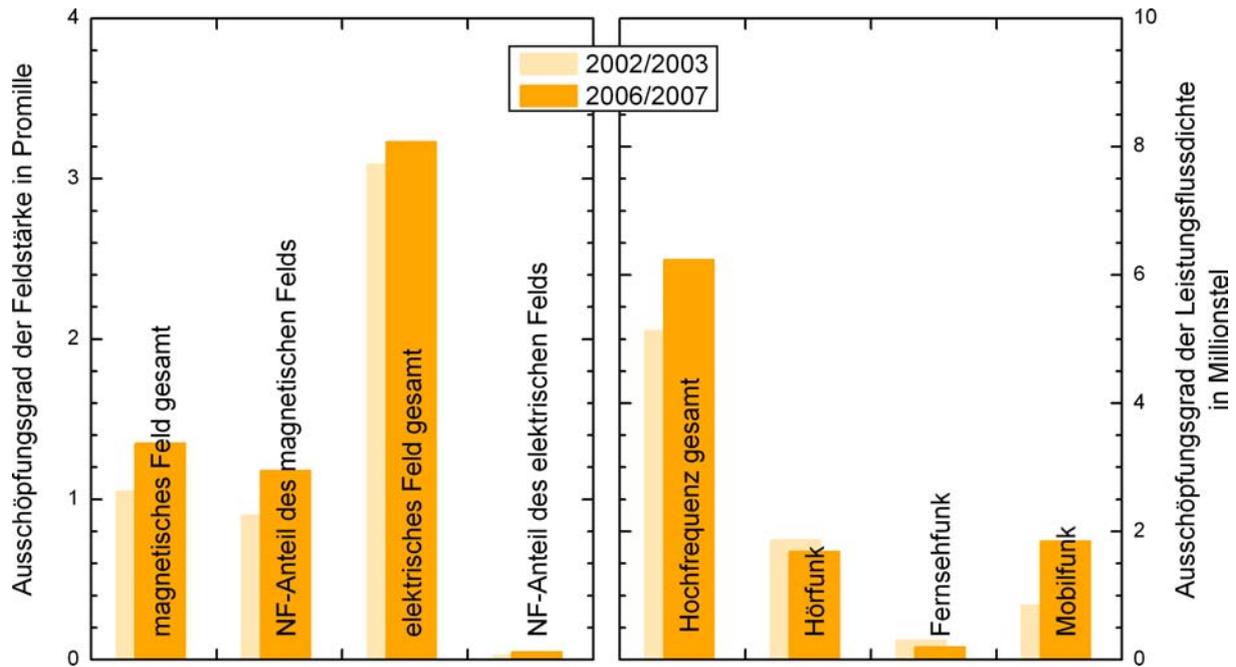


Abb. 6-1: Zusammenfassung der Messergebnisse. Links: Ausschöpfungsgrade der magnetischen und elektrischen Feldstärke des nicht-thermischen Bereichs bis 10 MHz. Rechts: Ausschöpfungsgrade der Leistungsflussdichte im thermischen Bereich ab 100 kHz. Angegeben ist jeweils der Median des Ausschöpfungsgrads.

niedrigere Immissionen zu beobachten, während städtische Lagen von einer leichten Zunahme betroffen waren, die im dortigen Ausbau mit bis zu sechs Kanälen begründet liegen könnte.

Beim Mobilfunk hat in den letzten Jahren ein deutlicher Ausbau stattgefunden. Viele Netzbetreiber haben Versorgungslücken auf dem Land geschlossen und Netzverdichtungen in städtischen Gebieten vorgenommen, dort vor allem wegen des gestiegenen Gesprächsaufkommens. Dieser Ausbau schlägt sich auch in den Medianen des Ausschöpfungsgrads nieder: von 2002/2003 auf 2006/2007 ist auf sehr niedrigem Niveau ein Anstieg um 117 Prozent von 0,85 Millionstel auf 1,85 Millionstel zu verzeichnen. Gerade in städtischen Lagen ist Mobilfunk damit inzwischen die dominierende Immissionsquelle, wohingegen bei Siedlungs- und Randlagen, sowie in der bayernweiten Gesamtbetrachtung, der Hauptanteil der Immissionen noch immer von Hörfunk verursacht wird. Es ist allerdings auch zu bedenken, dass aus messtechnischen Gründen die Mobilfunk-Immissionen – anders als diejenigen des Hörfunks – überbewertet sind und die tatsächlichen Immissionen im zeitlichen Mittel unter den hier angegebenen Werten liegen.

Insgesamt, d.h. unter Einbeziehung aller erfassten Funkdienste, zeigt sich im Bereich thermischer Wirkungen eine Zunahme des Ausschöpfungsgrads von 5,13 Millionstel auf 6,24 Millionstel. Dies entspricht einer mittleren Zunahme der Hochfrequenzimmissionen in Bayern um 22 Prozent, allerdings auf einem sehr niedrigem Grundniveau.

## A Einzelergebnisse der Messpunkte

Die nachfolgenden Tabellen enthalten die zusammengefassten Ergebnisse der einzelnen Messorte der Jahre 2002/2003 und 2006/2007. Sie sind getrennt nach Reizwirkungsbereich und thermischem Bereich.

Die Tabellen im Reizwirkungsbereich enthalten folgende Spalten:

- MP: Messpunkt-Nummer.
- NF *B*: Ausschöpfungsgrad des magnetischen Felds bis 32 kHz.
- Reizw. *B*: Ausschöpfungsgrad des magnetischen Felds bis 10 MHz.
- NF *E*: Ausschöpfungsgrad des elektrischen Felds bis 32 kHz.
- Reizw. *E*: Ausschöpfungsgrad des elektrischen Felds bis 10 MHz.

Die Tabellen im thermischen Bereich enthalten die quadrierten Ausschöpfungsgrade der elektrischen Feldstärke für die Funkdienste Hörfunk, Fernsehen, Mobilfunk, Sonstige (mit Uplinks und DECT), sowie die Gesamt-Ausschöpfung der Hochfrequenz.

Mit Ausnahme der Messpunkt-Nummer sind alle Zahlenwerte in Einheiten von  $10^{-3}$  (Reizwirkungsbereich) bzw.  $10^{-6}$  (thermischer Bereich) abgedruckt.

Tab. A-1: Reizwirkungsbereich: Messpunkte 1 – 34.

MP	NF <i>B</i>		Reizw. <i>B</i>		NF <i>E</i>		Reizw. <i>E</i>	
	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006
1	2,7	1,5	2,8	1,6	0,0	0,0	2,3	2,3
2	8,9	11,4	9,1	11,6	0,0	0,1	4,5	2,8
3	4,4	4,6	4,5	4,7	0,1	0,0	3,7	1,9
4	8,5	8,7	8,6	8,8	0,0	0,0	1,8	2,4
5	0,4	0,8	0,5	0,9	0,1	0,0	1,5	1,6
6	1,9	2,7	2,0	2,9	0,0	0,2	1,5	2,8
7	3,2	8,8	3,3	8,9	0,1	0,1	2,0	2,7
8	1,5	0,9	1,6	1,0	0,0	0,0	2,4	2,3
9	2,1	3,5	2,2	3,6	0,0	0,1	2,2	2,4
10	4,0	3,5	4,1	3,6	0,1	0,1	2,2	2,4
11	0,6	0,7	0,8	0,8	0,0	0,4	4,8	2,9
12	0,1	0,1	0,2	0,2	0,0	0,2	1,8	2,7
13	3,3	2,8	3,4	2,9	0,1	0,0	4,0	2,3
14	0,1	0,4	0,3	0,5	0,0	0,0	2,9	1,7
15	0,4	0,4	0,4	0,5	0,0	0,0	1,9	1,8
16	5,0	3,1	5,1	3,2	0,3	0,3	2,2	2,2
17	1,1	1,4	1,2	1,5		0,1	1,9	1,9
18	1,7	0,4	1,8	0,6	0,0	0,0	3,1	2,6
19	8,7	20,2	8,7	20,3	0,0	0,0	1,8	1,9
20	2,7	4,0	2,8	4,1	0,0	0,0	1,9	2,0
21	1,4	1,7	1,5	1,8	0,0	0,0	1,5	1,5
22	1,1	0,6	1,2	0,7	0,0	0,1	2,3	3,1
23	3,0	6,2	3,2	6,3	0,0	0,0	3,0	2,5
24	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	2,0	1,8
25	1,2	1,3	1,2	1,5	0,0	0,1	1,6	5,4
26	6,8	7,9	6,9	8,0	0,0	0,0	2,4	2,3
27	3,9		4,0	5,3	0,1	0,0	2,6	2,7
28	0,8	1,3	0,9	1,4	0,0	0,0	1,4	1,8
29	0,9	0,3	1,0	0,5	0,0	0,0	3,6	3,1
30	1,7	2,6	1,8	2,8	0,3	0,0	2,3	2,9
31	1,5	1,4	1,6	1,5	0,1	0,2	2,2	1,7
32	5,5	1,1	5,6	1,3	0,0	0,1	3,8	4,1
33	0,7	1,4	0,9	1,5	0,2	0,0	4,5	2,1
34	1,2	0,6	1,2	0,7	0,0	0,0	1,3	1,6

Tab. A-2: Reizwirkungsbereich: Messpunkte 35 – 68.

MP	NF <i>B</i>		Reizw. <i>B</i>		NF <i>E</i>		Reizw. <i>E</i>	
	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006
35	0,1	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	1,8	2,4
36	1,5	1,6	1,6	1,8	1,3	0,1	3,9	5,0
37	0,8	2,9	0,9	3,0	0,8	0,2	3,2	2,2
38	0,1	0,2	0,2	0,3	0,0	0,0	1,9	1,9
39	1,5	4,0	1,6	4,1	0,1	0,1	1,9	3,0
40	0,1	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	1,3	1,6
41	2,6	4,2	2,7	4,2	0,0	0,0	2,5	1,8
42	0,1	0,0	0,2	0,1	0,2	0,0	2,8	1,5
43	1,4	2,0	1,5	2,1	0,0	0,0	2,3	2,3
44	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1	2,0	2,2
45	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	1,9	1,6
46	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	0,3	1,8	1,9
47	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	3,0	2,4
48	10,4	10,0	10,6	10,1	0,0	0,1	3,3	2,0
49	1,5	0,8	1,7	1,0	0,0	0,0	4,9	3,2
50	3,2	5,1	3,7	5,4	0,0	0,1	10,1	6,6
51	0,8	0,1	1,0	0,3	0,0	0,0	4,6	2,7
52	1,6	1,3	1,8	1,5	0,0	0,0	5,2	4,1
53	1,8	4,2	2,1	4,4	0,0	0,0	6,7	4,9
54	0,6	0,7	0,7	1,0	0,0	0,0	3,6	7,1
55	0,3	0,3	0,6	0,4	0,0	0,0	6,4	3,8
56	2,8	0,5	3,2	0,7	0,1	0,1	9,4	5,0
57	0,4	0,2	0,8	0,5	0,1	0,0	8,2	5,3
58	1,5	1,2	1,7	1,3	0,1	0,1	3,9	2,9
59	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	3,5	2,6
60	2,7	4,3	2,9	4,4	0,0	0,0	3,4	2,3
61	0,1	0,1	0,3	0,2	0,0	0,0	3,5	2,8
62	13,5	5,0	13,8	5,2	0,0	1,1	6,1	6,9
63	3,6	3,5	3,9	3,7	0,0	0,0	5,4	3,5
64	2,9	3,0	3,2	3,3	0,0	0,0	6,8	5,3
65	2,8	5,6	3,0	5,7	90,5	46,0	94,5	101,5
66	2,4	1,3	2,7	1,5	0,0	0,1	6,5	5,0
67	1,1	0,6	1,2	0,7	0,0	0,0	3,4	2,2
68	4,8	1,3	5,0	1,4	0,0	0,0	4,5	3,4

Tab. A-3: Reizwirkungsbereich: Messpunkte 69 – 102.

MP	NF <i>B</i>		Reizw. <i>B</i>		NF <i>E</i>		Reizw. <i>E</i>	
	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006
69	0,2	0,8	0,4	0,9	0,0	0,0	3,7	2,7
70	1,3	0,9	1,6	1,1	0,0	0,0	7,0	3,7
71	2,9	2,2	3,0	2,3	0,1	0,1	3,4	3,4
72	0,1	0,3	0,4	0,5	0,0	0,0	5,7	4,5
73	11,0	15,7	11,2	15,9	0,2	0,2	4,6	3,4
74	9,5	5,9	9,6	6,0	0,0	0,0	3,1	2,1
75	2,4	5,8	2,6	6,0	0,8	0,4	4,6	5,7
76	1,7	2,2	1,9	2,3	0,0	0,0	3,9	2,6
77	5,4	5,7	5,5	5,8	3,3	6,1	6,7	9,6
78	1,4	1,3	1,6	1,4	0,0	0,0	3,4	2,9
79	1,7	1,5	2,0	1,7	1,2	2,3	5,8	6,2
80	1,6	3,5	2,1	3,9	0,0	0,0	12,4	8,2
81	0,9	0,6	1,1	0,8	0,0	0,0	4,1	5,2
82		1,3	0,1	1,4	0,0	0,1	3,1	3,0
83		0,8	0,1	0,9	0,0	0,0	2,2	3,2
84	0,9	2,6	1,0	2,8	0,1	0,1	2,8	3,1
85	0,6	2,7	0,8	2,9	0,0	1,5	2,7	5,4
86	0,1	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	1,8	1,7
87	0,1	0,2	0,6	0,5	0,0	0,0	9,6	6,0
88	0,3	0,2	0,4	0,4	0,0	0,0	3,0	3,3
89	0,6	0,6	0,7	0,8	0,0	0,0	3,5	3,2
90	0,1	0,2	0,3	0,4	0,1	0,1	4,5	2,6
91	0,1	0,5	0,3	0,6	0,0	0,1	4,4	3,0
92	1,5	2,3	1,7	2,4	0,0	0,0	2,6	2,8
93	0,0	0,2	0,1	0,3	0,0	0,0	2,1	1,8
94	1,4	5,3	1,5	5,5	0,1	0,0	3,5	3,4
95	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	2,4	2,4
96	0,7	1,1	0,8	1,1	7,7	3,6	9,4	5,3
97	2,3	1,5	2,4	1,7	0,0	0,0	2,2	3,0
98	0,0	0,1	0,1	0,2	0,5	0,0	2,2	1,5
99	1,8	0,9	2,0	1,0	0,0	0,0	3,6	3,1
100	0,0	0,0	0,1	0,1	1,6	0,7	4,2	3,2
101	0,1	0,2	0,4	0,4	1,0	0,8	5,8	4,5
102	0,1	0,0	0,2	0,2	0,0	0,5	1,5	4,5

Tab. A-4: Reizwirkungsbereich: Messpunkte 103 – 136.

MP	NF <i>B</i>		Reizw. <i>B</i>		NF <i>E</i>		Reizw. <i>E</i>	
	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006
103	0,2	0,5	0,3	0,6	1,7	1,0	2,9	3,6
104	0,1	1,6	0,2	1,8	0,0	0,1	2,6	2,9
105	0,8	1,1	0,8	1,1	0,0	0,1	1,6	1,8
106	0,3	0,8	0,4	0,9	0,0	0,0	2,2	2,1
107	0,4	0,1	0,5	0,3	0,0	0,1	2,9	4,6
108		0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	2,4	2,4
109		0,9	0,1	1,1	0,0	0,0	2,4	4,1
110	0,4	0,5	0,6	0,6	0,3	0,1	4,4	2,4
111	4,5	3,3	4,7	3,5	0,0	0,1	4,4	3,5
112	0,2	1,4	0,4	1,6	0,1	0,1	4,2	3,7
113	2,8	6,6	3,0	6,8	0,1	0,0	4,7	3,6
114	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,0	2,8	3,4
115	0,3	2,0	0,4	2,2	0,0	0,0	2,5	2,9
116		0,7	0,2	0,8	0,0	0,0	4,1	3,4
117	1,1	3,6	1,3	3,7	0,0	0,0	3,9	3,7
118		0,7	0,2	0,9	0,2	0,3	4,6	4,7
119	1,6	0,9	1,8	1,1	0,0	0,1	6,0	4,0
120	2,9	2,4	3,0	2,6	0,0	0,1	3,3	3,7
121	2,1	2,1	2,2	2,2	0,0	0,1	1,4	2,3
122	3,5	5,1	3,7	5,3	0,0	0,1	4,8	5,2
123	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	2,6	2,7
124		0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	2,2	2,6
125		0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	3,1	4,4
126	1,1	5,0	1,2	5,1	0,0	0,0	2,2	2,0
127		0,5	0,1	0,6	0,0	0,1	2,8	3,6
128	0,7	0,7	0,8	0,9	0,0	0,0	2,0	4,4
129		4,6	0,1	4,8	0,1	0,1	3,1	4,1
130	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	1,9	2,8
131		0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	1,9	1,8
132	0,1	0,4	0,2	0,6	0,1	0,2	2,9	4,3
133	6,8	5,2	6,9	5,3	0,0	0,0	2,9	2,9
134	0,7	1,4	0,8	1,6	0,1	0,2	2,6	2,9
135	0,8	1,2	0,9	1,4	0,2	0,8	3,5	3,9
136	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4	0,2	2,3	2,6

Tab. A-5: Reizwirkungsbereich: Messpunkte 137 – 170.

MP	NF <i>B</i>		Reizw. <i>B</i>		NF <i>E</i>		Reizw. <i>E</i>	
	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006
137	3,0	4,5	3,2	4,6	0,0	0,0	3,0	3,2
138	5,1	6,7	5,2	6,8	0,1	0,0	2,7	2,8
139	3,8	5,6	3,9	5,8	0,0	0,7	3,1	4,1
140	0,4	0,4	0,5	0,7	0,1	0,1	3,4	6,6
141	0,0	0,0	0,1	0,2	0,9	0,2	3,9	3,0
142		0,4	0,2	0,6	0,6	0,0	4,7	3,4
143	1,0	1,1	1,1	1,2	0,0	0,0	1,9	1,9
144	6,5	1,8	6,6	1,8	0,1	0,0	2,8	1,8
145	7,8	3,3	7,8	3,5	0,0	0,3	1,9	5,9
146	1,4	1,2	1,5	1,3	0,0	0,0	2,4	3,2
147	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	2,4	2,8
148	0,8	14,2	1,0	14,4	0,1	0,1	3,8	4,4
149	0,5	0,6	0,6	0,7	0,2	0,0	2,5	2,6
150	0,0	0,0	0,2	0,1		0,0	3,7	2,5
151	0,9	1,2	1,0	1,4	0,4	0,0	2,5	3,2
152	0,1	0,1	0,3	0,2	0,0	0,0	3,5	2,8
153	0,3	1,4	0,3	1,5	0,1	0,1	1,6	2,5
154	1,7	1,4	1,8	1,5	0,0	0,0	1,9	2,1
155	6,9	2,5	7,0	2,6	0,8	0,3	3,6	2,4
156	3,0	2,6	3,1	2,7	0,0	0,0	1,7	1,8
157	3,0	1,1	3,1	1,2	0,0	0,0	2,1	2,6
158	15,9	7,7	16,0	7,8	0,5	0,5	2,7	2,8
159	0,9	3,4	1,1	3,4	0,1	0,0	4,2	2,0
160	0,2	0,2	0,4	0,3	0,0	0,0	4,2	2,4
161	1,5	1,0	1,6	1,2	0,0	0,0	2,5	2,9
162	0,5	1,1	0,7	1,2	0,0	0,0	3,2	2,8
163	0,2	0,9	0,3	1,0	0,1	0,1	3,9	2,9
164	1,8	2,1	1,9	2,2	0,0	0,0	2,3	2,3
165	0,7	1,3	0,9	1,4	0,0	0,0	4,1	3,9
166	0,1	0,1	0,3	0,3	0,0	0,0	3,2	3,5
167	0,3		0,5	3,8	0,8	0,1	4,2	2,9
168		1,0	0,2	1,2	0,0	0,1	3,3	3,6
169	2,2	0,9	2,3	1,1		0,0	2,2	3,2
170		1,5	0,1	1,6	0,0	0,0	3,2	2,5

Tab. A-6: Reizwirkungsbereich: Messpunkte 171 – 204.

MP	NF <i>B</i>		Reizw. <i>B</i>		NF <i>E</i>		Reizw. <i>E</i>	
	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006
171	0,9	5,4	1,0	5,6	0,0	0,0	2,8	3,2
172	1,8	0,6	1,9	0,8	0,0	0,0	2,9	3,7
173		4,8	0,1	4,9	0,0	0,0	3,1	3,4
174	3,1	2,2	3,2	2,4	0,0	0,0	2,5	4,0
175		0,5	0,2	0,7	0,0	0,0	4,5	3,3
176	1,2	1,6	1,3	1,6	0,0	0,0	0,7	1,0
177	0,7	1,3	0,9	1,4	0,2	0,1	5,6	1,3
178	0,3	0,3	0,5	0,5	0,0	0,1	4,0	4,0
179	0,5	5,2	0,7	5,3	0,0	0,0	3,0	2,5
180	0,5	1,1	0,6	1,2	0,0	0,1	2,9	2,5
181	1,0	1,3	1,2	1,4	0,0	0,0	3,1	2,5
182	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1	0,1	4,2	4,6
183	0,9	0,6	1,0	0,7	0,0	0,0	2,7	2,7
184	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	2,3	3,7
185		0,5	0,1	0,6	0,1	0,1	3,3	2,1
186	0,0	0,1	0,1	0,3	0,9	0,2	3,2	2,9
187	1,1	3,5	1,3	3,7	0,0	0,2	3,5	3,4
188		3,8	0,2	4,0	0,0	0,1	4,1	3,5
189		1,2	0,2	1,3	0,4	0,2	4,4	3,5
190		0,4	0,1	0,5	0,0	0,0	2,5	2,3
191	0,3	2,3	0,5	2,5	1,9	4,9	5,3	9,5
192	0,1	0,4	0,2	0,6	0,0	0,1	2,6	3,5
193	0,5	0,7	0,6	0,8	0,0	0,0	2,9	3,8
194	0,5	1,0	0,6	1,1	0,0	0,0	2,4	3,2
195		0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	2,1	2,7
196	4,2	0,8	4,3	1,0	0,0	0,1	3,5	2,9
197	1,1	0,7	1,2	0,8	0,1	0,0	3,5	2,3
198	0,6	0,3	0,8	0,5	0,0	0,1	4,0	3,2
199	0,0	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	2,7	2,0
200	0,2	0,3	0,3	0,4	0,0	0,0	2,9	2,0
201	0,6	0,6	0,7	0,8	0,0	0,0	3,7	3,4
202	1,5	1,6	1,6	1,7	0,7	0,1	2,7	2,5
203	3,2	3,0	3,3	3,2	0,7	1,0	3,2	4,2
204	2,9	6,0	3,0	6,3	0,0	0,2	3,0	5,4

Tab. A-7: Reizwirkungsbereich: Messpunkte 205 – 238.

MP	NF <i>B</i>		Reizw. <i>B</i>		NF <i>E</i>		Reizw. <i>E</i>	
	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006
205	4,0	4,7	4,1	4,9	0,0	0,0	2,1	2,8
206	1,6	1,6	1,7	1,7	0,0	0,0	2,0	2,7
207	0,7	0,4	0,8	0,5	0,0	0,0	1,9	1,7
208	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,1	3,5	3,8
209	2,0	1,4	2,1	1,5	0,1	0,0	2,0	1,8
210	0,8	1,1	0,9	1,3	0,1	0,1	2,8	3,8
211	0,6	0,6	0,8	0,8	0,1	0,1	3,4	3,0
212	0,6	1,3	0,8	1,6	0,0	0,3	4,5	7,2
213	2,3	1,9	2,5	2,0	0,0	0,0	3,5	1,9
214	0,6	1,6	0,7	1,7	0,1	0,2	1,8	2,0
215	0,3	1,0	0,5	1,1	0,1	0,1	2,9	1,8
216	4,0	6,0	4,1	6,3	0,0	0,1	3,3	5,6
217	1,0	1,2	1,2	1,4	0,0	0,1	3,9	3,5
218	0,2	0,1	0,3	0,3	0,1	0,2	3,4	2,7
219	0,4	0,3	0,5	0,5	0,3	0,7	3,6	3,8
220	0,1	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	1,7	2,3
221		1,0	0,3	1,2	0,0	0,1	5,8	5,7
222	11,5	7,5	11,7	7,7	0,0	0,3	5,0	4,6
223	3,8	11,3	5,1	12,2	0,0	0,1	27,7	19,9
224	7,1	12,2	8,3	13,2	0,6	19,6	26,6	40,3
225	0,2	0,3	0,6	0,7	0,0	0,2	8,7	10,1
226	1,3	2,0	1,5	2,2	0,0	0,0	2,9	3,4
227	2,1	1,6	2,6	2,1	0,0	0,1	10,3	11,1
228	1,2	3,5	1,7	4,0	0,0	0,1	10,3	11,7
229		0,2	0,2	0,5	0,0	0,0	3,5	4,6
230		1,6	0,2	1,8	0,0		3,6	4,1
231	1,5	1,0	1,6	1,1	1,6		4,3	3,5
232	1,4	1,4	1,9	1,9	0,0	0,0	10,6	8,9
233	7,1	13,1	7,7	13,8	0,4	2,4	14,2	16,5
234	4,7	4,7	5,5	5,5	2,7	8,0	20,3	25,5
235	2,0	3,8	2,2	4,0	0,1	0,1	4,6	4,6
236	0,6	2,2	0,8	2,4	0,0	0,2	4,1	3,7
237	1,1	1,7	1,5	2,1	0,0	0,4	7,5	8,4
238	0,8	4,2	1,2	4,6	0,7	2,6	9,6	12,2

Tab. A-8: Reizwirkungsbereich: Messpunkte 239 – 272.

MP	NF B		Reizw. B		NF E		Reizw. E	
	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006
239	2,2	2,6	2,3	2,8	4,2	1,8	7,1	4,6
240	0,2	0,1	0,3	0,3	0,1	0,0	3,6	4,0
241	0,7	1,3	0,8	1,5	0,0	0,0	3,2	2,9
242	6,4	7,6	6,5	7,8	0,0	0,0	2,1	5,0
243	5,0	2,8	5,1	3,0	0,0	0,0	2,6	3,8
244	0,1	0,2	0,3	0,4	0,0	0,0	4,1	5,1
245	0,1	0,4	0,3	0,6	0,0	0,0	4,6	4,4
246		3,4	0,3	3,6	0,4	0,1	6,8	6,1
247	6,1	2,7	6,3	3,0	4,4	3,7	9,7	8,8
248		1,7	0,4	2,1	3,4	15,3	11,1	24,4
249		4,9	0,2	5,1	0,0	0,1	4,2	4,7
250		5,8	0,2	6,0	0,0	0,0	3,9	2,5
251		1,1	0,2	1,3	0,0	0,0	3,5	3,7
252	0,3	0,3	0,4	0,5	0,0	0,4	2,5	4,9
253	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	1,8	1,9
254	4,8	4,8	5,2	5,3	0,0	0,1	8,2	10,0
255	0,0	1,0	0,4	1,3	0,0	0,0	8,6	7,8
256	6,6	9,4	6,7	9,5	288,7	128,4	291,5	212,3
257	0,2	2,6	0,3	2,8	0,0	0,0	2,6	3,1
258	0,9	0,1	1,1	0,2	0,6	0,2	3,7	2,5
259	1,9	1,6	2,1	1,9	0,0	0,0	4,5	4,6
260		0,2	0,1	0,3	0,0	0,0	1,6	2,0
261	1,9	4,1	2,2	4,3	0,0	0,1	6,4	5,7
262	6,2	10,5	6,6	10,7	0,8	0,7	7,9	6,6
263	3,1	8,8	3,3	9,1	0,1	0,1	5,7	6,6
264	1,3	2,1	1,4	2,2	0,7	1,7	1,3	3,8
265	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	1,5	2,5
266		0,4	0,2	0,6	0,0	0,0	4,4	6,0
267	0,1	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	2,9	2,7
268	0,3	0,7	0,4	0,9	0,0	0,0	2,1	3,9
269	0,1	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	2,0	2,3
270	0,1	1,2	0,3	1,2	0,1	0,1	2,7	1,5
271	0,4	1,0	0,5	1,1	0,0	0,1	2,4	3,3
272	0,6	0,7	0,7	0,8	0,0	0,0	2,2	3,1

Tab. A-9: Reizwirkungsbereich: Messpunkte 273 – 306.

MP	NF <i>B</i>		Reizw. <i>B</i>		NF <i>E</i>		Reizw. <i>E</i>	
	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006
273	0,6	0,6	0,6	0,7	0,1	0,1	1,3	1,5
274	0,4	1,2	0,5	1,4	0,0	0,5	3,6	4,2
275		0,3	0,2	0,4	0,0	0,1	3,4	3,3
276	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	2,4	2,7
277	0,5	0,3	0,6	0,5	0,0	0,1	2,4	2,8
278	3,9	9,0	4,0	9,1	0,0	0,0	2,7	2,5
279		5,6	0,1	5,8	0,0	0,1	2,8	3,7
280	5,4	0,1	5,5	0,3	0,4	1,0	3,6	5,0
281	0,2	0,3	0,3	0,5	0,0	0,1	2,7	4,5
282		2,1	0,2	2,3	1,0	3,9	4,4	8,4
283	3,8	4,8	4,0	5,0	0,0	0,0	3,3	3,3
284	6,4	2,0	6,6	2,2	0,1	0,2	3,7	3,4
285		2,6	0,2	2,7	0,0	0,0	3,5	2,2
286	3,8	1,9	3,9	2,1	0,0	0,1	2,9	3,6
287	0,9	1,9	1,0	2,0	1,0	0,7	3,4	2,9
288		0,7	0,1	0,8	0,4	0,3	3,2	2,8
289		3,0	0,1	3,2	0,9	2,0	3,7	6,3
290		2,0	0,1	2,1	0,0	0,0	2,9	2,7
291	9,0	9,0	9,2	9,2	0,0	0,0	4,4	3,8
292	0,0	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	2,6	4,0
293	0,4	0,4	0,5	0,5	0,0	0,0	2,5	3,6
294		0,1	0,2	0,3	0,0	0,0	4,0	3,6
295	12,1	14,8	12,4	15,0	0,1	0,1	5,4	5,5
296	1,0	2,3	1,1	2,4	0,0	0,0	2,5	3,1
297		0,1	0,1	0,4	0,0	0,0	2,6	4,6
298	0,6	0,7	0,7	0,8	0,0	0,1	2,2	1,9
299		1,5	0,1	1,6	0,0	0,1	2,5	2,6
300		0,2	0,1	0,3	0,6	0,6	2,9	3,3
301	1,0	0,4	1,1	0,5	0,0	0,0	2,5	2,6
302	0,5	1,4	0,6	1,6	0,1	0,0	3,2	3,5
303	1,1	1,9	1,2	2,0	0,0	0,0	2,8	1,5
304	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	1,3	1,4
305		1,3	0,3	1,7	0,0	0,0	5,5	9,5
306	1,3	0,8	1,6	1,2	0,1	0,1	6,9	7,1

Tab. A-10: Reizwirkungsbereich: Messpunkte 307 – 340.

MP	NF <i>B</i>		Reizw. <i>B</i>		NF <i>E</i>		Reizw. <i>E</i>	
	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006
307	0,1	0,1	0,5	0,5	1,4	0,4	9,5	8,4
308	2,9	0,0	3,0	0,2	45,7	0,0	47,9	4,7
309	0,1	0,2	0,2	0,4	0,0	0,1	3,9	4,8
310	0,3	0,0	0,4	0,1	0,0	0,0	1,5	1,6
311	1,6	3,2	1,8	3,4	0,0	0,1	4,2	4,7
312	1,3	4,7	1,4	4,8	0,0	0,1	2,6	2,9
313	0,8	0,1	0,9	0,2	0,0	0,1	1,9	2,0
314	0,6	0,7	0,8	0,9	0,0	0,0	3,3	3,3
315	1,6	0,5	1,7	0,6	0,0	0,0	3,4	3,1
316	0,7	2,1	0,8	2,3	0,1	0,0	1,8	4,9
317	2,4	3,7	2,6	3,8	1,5	0,2	6,1	2,8
318	0,9	1,0	1,0	1,1	0,0	0,0	2,0	2,2
319	0,2	0,2	0,4	0,4	0,0	0,1	2,4	3,7
320	7,5	5,6	8,0	6,1	0,0	0,0	10,2	11,4
321	0,2	0,1	0,7	0,8	0,1	0,0	10,7	14,2
322		1,9	0,5	2,9	0,0	0,4	11,7	19,9
323	0,7	0,9	1,2	1,2	0,0	0,0	10,2	7,2
324	0,7	0,9	0,9	1,1	1,2	0,6	3,9	4,3
325	0,1	0,1	0,2	0,2	25,8	14,2	27,5	15,5
326	6,0	6,7	6,0	6,8	0,0	0,0	1,2	1,5
327	0,3	0,5	0,3	0,6	0,0	0,0	1,3	1,7
328	0,0	0,1	0,1	0,2	0,5	0,0	2,3	1,9
329	0,4	1,0	0,5	1,1	0,0	0,0	1,8	2,0
330	0,1	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	2,0	2,3
331	2,3	2,8	2,4	2,9	0,0	0,1	2,1	2,1
332		0,4	0,1	0,5	0,0	0,0	2,8	2,1
333	1,3	1,3	1,3	1,4	0,2	0,1	1,7	2,5
334	3,0	3,0	3,1	3,1	0,0	0,0	2,6	3,5
335		9,3	0,1	9,5	0,0	0,0	2,6	3,3
336	5,4	3,2	5,5	3,4	0,0	0,0	2,9	3,6
337	1,2	1,4	1,3	1,5	0,0	0,0	2,1	2,3
338	0,3	0,3	0,4	0,4	0,0	0,0	1,5	1,9
339		1,2	0,2	1,5	0,0	0,1	5,2	6,7
340		2,4	0,2	2,6	0,0	0,0	5,4	5,8

Tab. A-11: Reizwirkungsbereich: Messpunkte 341 – 374.

MP	NF <i>B</i>		Reizw. <i>B</i>		NF <i>E</i>		Reizw. <i>E</i>	
	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006
341	0,9	1,8	1,2	2,1	0,0	0,0	5,9	6,5
342	0,1	0,1	0,3	0,3	0,1	0,2	5,0	5,6
343		0,3	0,2	0,5	0,0	0,0	3,5	4,0
344		0,0	0,2	0,2	3,1	2,4	6,5	6,5
345	1,3	0,9	1,4	1,0	0,2	0,1	1,8	2,1
346		0,5	0,2	0,7	0,0	0,1	4,8	4,8
347		1,5	0,4	1,9	0,6	0,2	9,6	8,3
348	2,0	3,6	2,2	3,8	0,0	0,0	5,3	4,9
349	1,8	1,4	2,1	1,6	10,2	3,7	16,0	9,1
350	2,1	6,4	2,3	6,6	0,0	0,0	3,9	4,3
351	7,7	5,4	7,8	5,6	0,1	0,0	3,0	3,2
352	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0	0,3	2,3	4,1
353	0,2	1,7	0,4	1,9	0,0	0,1	3,1	3,9
354	0,0	3,2	0,1	3,5	0,0	0,0	3,0	6,8
355	0,4	1,1	0,5	1,3	0,0	0,0	2,3	3,1
356	4,4	2,9	4,5	3,0	0,1	0,0	2,0	3,0
357	1,2	0,1	1,6	0,4	0,1	0,1	8,7	8,4
358	1,4	1,4	1,6	1,6	0,0	0,1	4,0	4,1
359	0,3	0,2	0,4	0,3	0,0	0,1	2,7	2,8
360	0,1	0,6	0,2	0,8	0,0	0,1	3,2	4,7
361	0,5	0,6	0,6	0,7		0,0	2,6	3,3
362	2,3	2,2	2,9	2,9	0,0	0,0	13,0	14,7
363	0,9	1,1	1,1	1,2		0,0	4,6	2,1
364	0,2	1,0	0,3	1,1	0,2	0,0	2,4	2,2
365	0,0	0,0	0,1	0,1		0,0	3,1	2,5
366	3,5	1,0	3,7	1,3	68,0	7,7	72,1	15,2
367	0,0	0,1	0,1	0,3	0,1	0,0	2,9	4,3
368	0,2	0,8	0,2	0,9	0,0	0,1	1,2	2,6
369	0,5	1,0	0,6	1,2	0,0	0,0	3,1	3,3
370	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	3,0	3,2
371	0,0	0,0	0,2	0,1	0,3	0,2	2,7	3,1
372	0,4	0,7	0,6	0,9	0,0	0,0	4,1	3,5
373	1,8	3,3	1,9	3,5	0,2	0,4	3,7	3,7
374	0,5	0,8	0,7	1,0	0,0	0,2	2,9	4,3

Tab. A-12: Reizwirkungsbereich: Messpunkte 375 – 403.

MP	NF <i>B</i>		Reizw. <i>B</i>		NF <i>E</i>		Reizw. <i>E</i>	
	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006
375	0,1	1,3	0,3	1,4	0,5	0,5	3,3	3,1
376	2,8	3,1	2,9	3,2	0,0	0,0	2,8	2,9
377	0,2	2,9	0,4	3,1	8,1	0,0	10,8	3,4
378	1,9	2,0	2,0	2,2	0,0	0,1	2,1	4,4
379	0,2	1,0	0,4	1,2	0,0	0,0	2,7	4,4
380	2,7	3,6	2,8	3,7	0,1	0,0	2,7	2,6
381	2,2	3,3	2,3	3,5	0,0	0,0	2,7	2,7
382	0,5	6,8	0,6	6,9	0,0	0,1	2,3	2,6
383	0,1	6,3	0,4	6,6	0,0	0,1	4,5	7,8
384	0,6	3,3	0,7	3,5	3,7	0,1	6,3	3,1
385		1,0	0,2	1,1	0,0	0,1	4,0	3,5
386		1,8	0,2	2,0	0,0	0,1	3,4	3,3
387	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	2,0	1,8
388	1,1	3,5	1,4	3,6	0,0	0,0	5,1	4,2
389	2,3	2,2	2,5	2,3	0,1	0,0	2,7	2,5
390	0,2	0,1	0,4	0,3	0,2	0,2	2,8	3,1
391	1,0	1,9	1,1	2,0	7,7	5,0	10,3	9,0
392	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	3,3	3,1
393	1,1	6,4	1,3	6,6	0,0	0,1	4,7	4,0
394	0,0	0,0	0,3	0,3	0,0	0,0	7,3	5,8
395	0,1	0,1	0,2	0,2	0,0	0,1	3,1	2,5
396	13,6	16,3	14,0	16,6	0,0	0,3	6,9	5,8
397	1,9	5,2	2,5	5,6	0,0	0,1	13,6	8,0
398		2,7	0,2	2,9	0,0	0,2	3,6	3,7
399	0,8	5,4	0,9	5,5	0,0	0,1	2,5	2,8
400	3,6	5,3	3,7	5,4	0,0	0,3	3,2	2,9
401		3,6	0,1	3,7		0,0	2,6	2,6
402		2,2	0,1	2,4		0,0	2,1	3,6
403		2,3	0,4	2,5		0,0	8,2	4,1

Tab. A-13: Thermischer Bereich: Messpunkte 1 – 34.

MP	Hörfunk		Fernsehen		Mobilfunk		Sonst+Upl		HF gesamt	
	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006
1	1,6	0,9	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	1,6	1,3
2	4,5	1,2	0,0	0,0	0,2	0,3	0,0	0,1	4,7	1,6
3	2,3	0,2	0,3	0,0	0,4	0,4	0,0	16,4	3,0	17,0
4	0,5	1,0	0,4	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	1,0	1,4
5	0,6	0,4	0,0	0,0	8,3	10,2	0,0	0,0	8,9	10,6
6	0,2	1,1	4,8	0,0	7,6	3,7	0,3	0,0	12,9	4,8
7	0,5	0,5	0,0	0,0	0,1	0,4	0,0	0,0	0,7	0,9
8	0,7	0,5	0,0	0,1	44,8	152,5	0,0	0,0	45,6	153,1
9	0,9	0,6	0,0	0,0	0,4	0,7	0,0	0,1	1,3	1,4
10	0,6	0,8	0,0	0,0	3,8	1,6	0,0	0,1	4,4	2,5
11	4,2	0,5	0,2	0,3	0,1	0,2	0,0	0,0	4,5	1,0
12	1,1	0,7	0,8	0,4	0,2	0,4	0,0	0,1	2,1	1,5
13	2,8	0,8	0,1	0,0	7,7	17,4	0,0	0,0	10,6	18,2
14	3,1	0,4	0,0	0,0	0,7	0,4	0,0	0,2	3,8	1,0
15	1,3	1,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,4	1,9
16	1,0	4,0	0,2	0,3	1,0	16,2	0,0	0,5	2,2	21,1
17	1,7	1,4	6,9	4,9	13,5	23,6	0,0	0,4	22,0	30,4
18	1,0	0,6	0,2	0,1	3,5	21,7	0,2	0,0	4,9	22,4
19	0,4	0,5	1,3	0,5	0,6	1,5	0,0	0,9	2,3	3,5
20	1,2	1,1	0,3	0,3	11,9	4,4	0,2	0,3	13,6	6,1
21	0,2	0,4	0,5	0,0	5,6	2,2	0,1	0,0	6,5	2,7
22	0,8	0,6	35,3	0,4	0,6	2,2	0,6	0,1	37,3	3,3
23	1,9	1,0	0,5	0,2	91,2	90,1	0,5	0,1	94,0	91,4
24	2,1	0,8	0,0	0,1	3,0	3,9	0,1	0,3	5,2	5,2
25	0,8	0,7	26,3	0,1	0,2	0,4	5,6	5,4	32,9	6,6
26	1,0	0,6	1,6	0,3	50,4	136,0	0,2	0,1	53,2	137,1
27	1,1	2,5	1,4	1,0	1,8	2,2	0,0	0,1	4,4	5,8
28	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4
29	1,8	1,4	0,0	0,0	0,1	0,5	0,0	0,1	1,9	2,0
30	1,8	2,4	0,4	0,6	1,3	1,1	0,1	0,1	3,5	4,2
31	0,4	0,3	0,0	0,0	1,5	2,0	0,0	0,0	1,9	2,4
32	2,8	2,2	0,7	0,8	10,2	14,8	0,0	0,0	13,6	17,8
33	7,1	0,4	9,1	0,0	0,1	0,2	0,8	0,0	17,1	0,6
34	11,6	19,8	0,4	0,5	3,1	7,1	0,0	1,1	15,1	28,5

Tab. A-14: Thermischer Bereich: Messpunkte 35 – 68.

MP	Hörfunk		Fernsehen		Mobilfunk		Sonst+Upl		HF gesamt	
	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006
35	0,7	1,0	0,1	0,1	0,0	7,7	0,0	0,0	0,8	8,8
36	0,8	0,5	0,0	0,0	0,1	0,7	0,0	0,0	0,9	1,3
37	2,6	2,6	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	2,7
38	0,5	0,6	0,0	0,0	0,7	4,0	0,0	0,0	1,2	4,7
39	0,7	1,1	0,0	0,0	1,0	4,5	0,0	0,2	1,7	5,8
40	2,4	3,4	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	3,6
41	6,4	10,1	0,3	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	10,7
42	4,2	0,7	0,0	0,0	0,9	0,6	0,0	0,1	5,1	1,4
43	0,6	0,9	0,1	0,1	11,6	14,3	0,0	0,0	12,3	15,4
44	1,6	2,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	1,9	2,6
45	1,1	0,5	0,3	0,3	0,0	3,7	0,0	0,0	1,5	4,5
46	0,2	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3
47	0,7	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	1,1
48	1,1	0,6	0,2	1,5	71,1	63,4	0,0	0,4	72,4	66,0
49	3,5	1,7	0,3	0,5	1,7	2,0	0,0	0,1	5,5	4,2
50	34,1	17,7	0,8	0,9	0,6	25,5	0,0	0,1	35,4	44,2
51	13,3	9,7	6,6	19,4	32,6	15,2	0,1	0,1	52,5	44,5
52	7,6	5,2	10,9	15,0	46,8	3,5	0,1	0,0	65,4	23,8
53	9,7	5,5	0,3	0,3	3,7	4,3	0,0	0,1	13,8	10,2
54	1,3	1,4	0,4	2,4	0,0	0,1	0,0	6,9	1,8	10,8
55	9,6	5,0	1,1	4,5	1,8	5,0	0,0	0,0	12,5	14,5
56	27,2	9,7	0,4	0,8	0,7	0,8	0,0	0,0	28,3	11,3
57	15,9	7,6	0,7	5,7	2,7	3,6	0,0	0,0	19,3	17,0
58	1,8	1,0	0,5	2,0	1,0	1,5	0,0	0,1	3,3	4,5
59	2,5	1,9	22,6	13,6	4,6	4,0	0,0	0,0	29,8	19,4
60	1,6	0,9	0,4	2,1	10,6	6,8	0,1	0,3	12,7	10,2
61	1,3	0,7	0,2	1,0	31,3	23,0	0,0	0,0	32,8	24,7
62	10,9	11,0	5,9	39,7	21,6	14,0	0,2	0,2	38,6	64,8
63	1,8	0,6	0,2	0,5	182,3	79,0	0,0	2,7	184,2	82,8
64	13,8	11,9	14,4	114,1	0,8	0,9	0,0	0,1	29,0	126,9
65	4,1	1,5	1,1	5,8	1,6	2,4	0,0	0,2	6,8	9,8
66	11,8	8,7	0,7	11,5	1,0	3,8	0,2	0,6	13,6	24,5
67	1,7	0,9	0,8	3,5	0,9	2,0	0,1	12,4	3,5	18,8
68	5,9	3,6	2,4	9,3	4,6	48,5	0,0	0,0	12,9	61,5

Tab. A-15: Thermischer Bereich: Messpunkte 69 – 102.

MP	Hörfunk		Fernsehen		Mobilfunk		Sonst+Upl		HF gesamt	
	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006
69	2,0	1,4	0,7	1,3	0,1	0,4	0,0	0,1	2,9	3,1
70	13,6	5,1	1,2	13,9	2,4	2,8	0,0	0,1	17,3	21,9
71	5,6	1,7	0,7	1,7	0,0	0,2	0,1	3,5	6,4	7,1
72	6,9	6,5	1,9	5,0	6,1	132,8	0,0	0,1	14,9	144,4
73	2,7	1,6	0,1	0,7	1,1	2,0	0,0	0,0	4,0	4,3
74	1,1	0,6	0,1	1,8	217,8	159,0	0,0	0,2	219,0	161,6
75	9,9	9,3	22,8	101,8	4,8	7,4	0,1	0,1	37,6	118,6
76	2,7	1,1	1,6	2,9	0,2	0,7	0,0	0,1	4,5	4,8
77	3,4	2,5	3,6	15,3	291,0	632,4	0,1	0,5	298,1	650,6
78	1,2	0,9	0,9	8,6	1,5	1,9	0,0	0,0	3,7	11,4
79	5,8	6,7	1,6	18,8	8,4	19,9	0,1	0,1	15,8	45,4
80	47,6	37,8	15,7	11,1	0,1	1,0	0,0	0,0	63,3	50,0
81	4,3	5,1	0,4	3,8	0,0	0,3	0,0	0,1	4,7	9,4
82	2,6	0,9	1,0	3,3	0,1	53,0	0,0	0,4	3,7	57,7
83	0,5	0,8	3,0	0,8	0,9	2,6	0,1	0,5	4,5	4,6
84	0,9	1,2	0,5	0,7	0,0	0,1	0,0	0,2	1,4	2,2
85	0,8	0,9	0,9	0,8	0,0	1,1	0,1	9,6	1,7	12,4
86	0,3	0,3	0,5	0,4	0,0	0,2	16,4	0,0	17,2	0,9
87	35,5	15,6	1,8	1,4	0,2	10,2	0,0	0,1	37,6	27,3
88	4,2	4,3	1,6	8,7	3,6	4,9	0,0	0,1	9,4	17,9
89	2,7	2,1	24,4	41,8	4,6	4,7	0,0	0,1	31,7	48,7
90	7,2	13,1	0,5	1,2	23,9	26,7	0,0	1,4	31,6	42,5
91	8,0	4,0	7,5	6,7	1,0	1,6	0,0	0,0	16,5	12,3
92	1,5	1,1	0,1	0,0	0,3	0,3	39,3	0,0	41,2	1,4
93	1,1	0,4	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,6
94	2,7	1,4	0,2	0,1	0,1	0,4	0,0	0,0	3,0	1,8
95	1,1	0,6	0,2	0,0	1,2	0,7	0,0	0,0	2,5	1,4
96	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,3	1,7
97	0,3	0,4	0,0	0,3	143,4	21,4	2,5	1,1	146,2	23,1
98	1,8	0,5	0,0	0,0	5,0	8,1	0,0	0,0	6,8	8,6
99	1,2	0,7	0,4	0,1	1,2	1,5	0,0	0,0	2,8	2,3
100	1,8	1,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	1,4
101	3,6	1,9	0,0	0,0	0,3	0,4	0,0	0,1	4,0	2,4
102	0,6	0,9	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	1,0

Tab. A-16: Thermischer Bereich: Messpunkte 103 – 136.

MP	Hörfunk		Fernsehen		Mobilfunk		Sonst+Upl		HF gesamt	
	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006
103	0,5	0,7	0,2	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	1,5	0,7
104	1,2	2,1	0,0	0,0	1,2	2,9	0,1	0,0	2,5	5,1
105	0,5	0,3	0,0	0,1	0,2	0,5	0,0	0,1	0,7	0,9
106	1,0	0,8	1,2	1,1	1,5	2,1	0,0	0,0	3,7	4,0
107	0,9	1,7	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	1,0	1,9
108	2,5	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,8
109	0,5	0,8	0,6	0,0	0,4	3,5	0,0	0,0	1,5	4,3
110	4,3	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	4,4	0,6
111	8,1	15,5	0,9	1,8	1,3	1,6	0,0	0,1	10,3	19,0
112	13,2	11,1	6,7	3,4	4,7	13,8	0,0	0,0	24,6	28,3
113	31,3	27,2	7,3	2,2	5,7	4,5	0,1	0,0	44,4	33,9
114	8,4	2,4	0,5	0,4	0,4	7,7	1,2	0,0	10,4	10,5
115	60,7	70,5	0,1	0,1	2,3	2,1	0,0	0,0	63,2	72,7
116	14,1	16,9	2,9	1,4	18,2	9,2	0,0	0,0	35,2	27,5
117	17,1	26,8	0,1	0,2	92,8	50,7	0,0	0,2	110,1	77,9
118	19,9	16,0	0,8	0,5	0,0	0,1	0,0	0,0	20,7	16,6
119	13,1	6,8	0,1	0,6	1,0	85,6	9,0	4,5	23,2	97,5
120	4,3	2,9	0,3	0,8	2,1	1,6	0,0	0,1	6,7	5,3
121	2,1	1,3	0,7	0,2	13,4	14,0	0,0	0,0	16,2	15,5
122	6,5	8,3	0,3	0,2	1,7	2,6	0,0	0,0	8,4	11,1
123	1,8	1,3	0,0	0,0	0,0	6,4	0,0	0,0	1,9	7,7
124	0,9	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,9
125	2,4	3,5	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	3,6
126	1,7	1,8	0,1	0,0	0,3	0,4	0,0	0,0	2,0	2,3
127	1,6	1,5	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	1,7	1,7
128	1,4	7,0	0,1	0,0	0,1	0,5	0,1	0,3	1,6	7,8
129	1,9	2,3	0,0	0,0	8,0	48,9	0,0	0,0	10,0	51,2
130	0,7	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	2,1
131	1,3	0,9	0,5	0,8	0,1	0,5	0,2	0,6	2,1	2,8
132	10,5	6,8	2,4	0,4	2,8	2,5	0,0	0,1	15,7	9,8
133	1,6	1,3	0,4	0,8	0,0	0,1	0,0	0,0	2,1	2,2
134	1,3	1,4	0,4	5,7	0,0	0,3	0,0	0,0	1,8	7,4
135	3,4	1,6	0,1	0,3	5,6	9,6	0,5	0,1	9,8	11,6
136	0,5	0,7	0,3	0,9	5,8	4,8	0,0	0,0	6,6	6,4

Tab. A-17: Thermischer Bereich: Messpunkte 137 – 170.

MP	Hörfunk		Fernsehen		Mobilfunk		Sonst+Upl		HF gesamt	
	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006
137	1,0	2,1	0,1	0,1	0,7	3,0	0,1	0,2	1,8	5,4
138	0,9	1,5	0,2	0,4	0,7	1,2	0,0	0,4	1,9	3,4
139	1,2	1,9	0,0	0,0	3,6	5,6	0,0	0,0	4,9	7,6
140	3,9	5,7	1,2	0,6	0,0	0,1	0,0	0,0	5,1	6,4
141	2,1	1,2	0,2	0,1	0,4	0,2	0,1	0,0	2,8	1,6
142	5,3	2,9	0,6	0,4	0,0	0,7	0,0	0,0	5,9	4,0
143	3,0	1,9	0,2	0,3	0,5	1,1	0,0	0,0	3,7	3,4
144	3,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	1,1
145	0,2	3,8	0,1	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,3	4,1
146	0,7	2,8	0,0	0,1	0,9	0,7	0,0	3,6	1,6	7,2
147	1,8	0,7	0,1	0,1	0,2	0,3	0,0	0,0	2,1	1,1
148	8,3	9,2	1,4	1,6	0,1	0,7	0,0	0,0	9,8	11,5
149	1,7	1,8	1,1	0,2	2,0	1,6	0,0	1,4	4,8	4,9
150	4,2	1,5	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	1,6
151	0,5	1,6	1,6	0,1	0,2	0,3	0,0	0,0	2,3	2,1
152	3,9	1,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	4,0	1,3
153	0,5	0,8	0,0	0,1	0,8	1,1	0,0	0,1	1,3	2,2
154	1,4	1,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	1,4	1,4
155	16,9	88,8	0,0	0,0	198,4	522,8	26,7	62,1	242,0	673,7
156	0,8	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,7
157	1,8	2,2	0,1	0,1	7,8	5,3	0,0	0,0	9,7	7,6
158	5,8	2,9	0,3	0,5	21,2	32,7	0,0	0,1	27,4	36,2
159	8,4	3,1	0,3	0,4	0,5	0,8	0,0	0,0	9,3	4,3
160	9,9	2,7	0,6	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	10,6	2,9
161	1,1	0,6	1,5	0,7	4,6	2,6	0,0	0,0	7,2	3,9
162	1,5	1,3	0,1	0,3	0,0	0,8	0,0	0,0	1,6	2,4
163	1,0	1,0	1,1	0,6	1,3	1,4	0,5	0,6	3,9	3,7
164	4,5	0,5	0,0	0,0	3,7	5,0	0,0	0,0	8,2	5,5
165	6,9	8,1	0,2	0,1	2,9	7,6	0,0	0,0	10,0	15,8
166	3,2	3,0	1,8	0,3	0,9	1,8	0,0	0,0	5,9	5,2
167	1,5	0,8	0,1	0,0	4,5	3,4	0,0	0,0	6,2	4,2
168	2,0	1,8	0,0	0,0	0,3	0,4	0,0	0,0	2,3	2,3
169	2,0	3,3	0,1	0,1	2,5	1,4	0,0	0,0	4,5	4,8
170	1,5	0,6	0,0	0,0	1,3	3,1	0,0	0,0	2,8	3,7

Tab. A-18: Thermischer Bereich: Messpunkte 171 – 204.

MP	Hörfunk		Fernsehen		Mobilfunk		Sonst+Upl		HF gesamt	
	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006
171	1,6	2,6	0,2	15,1	63,2	93,9	0,1	0,3	65,1	111,9
172	1,1	1,9	0,1	3,8	3,3	5,6	0,0	0,0	4,5	11,2
173	1,5	1,9	0,1	1,5	1,7	2,1	0,0	0,0	3,2	5,6
174	1,0	1,8	0,2	4,7	50,7	15,9	1,3	0,1	53,2	22,4
175	4,0	2,7	0,1	3,4	2,6	2,8	0,0	0,0	6,8	8,9
176	7,5	11,3	0,7	0,4	2,4	3,9	0,0	0,1	10,7	15,7
177	2,9	0,6	0,1	0,1	8,9	9,8	0,1	0,1	12,0	10,6
178	4,0	2,0	0,1	0,1	0,0	0,7	0,0	0,0	4,1	2,7
179	1,4	0,5	0,7	0,0	4,3	15,5	1,1	1,4	7,4	17,3
180	1,4	0,4	0,2	0,0	0,4	4,9	0,3	0,7	2,3	6,1
181	1,8	1,2	0,1	0,0	1,0	0,6	0,0	0,0	2,9	1,8
182	4,3	2,9	1,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	3,1
183	0,8	1,1	0,0	0,2	84,5	113,0	0,0	0,0	85,4	114,3
184	3,9	4,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,6	4,0	4,9
185	2,1	0,6	0,1	0,0	0,2	0,3	0,0	0,0	2,3	0,9
186	0,4	0,4	0,2	0,0	1,6	1,9	0,0	0,0	2,3	2,3
187	1,6	0,8	0,1	0,0	0,5	1,3	0,0	0,1	2,2	2,2
188	1,9	0,8	0,1	0,0	7,9	36,3	0,1	0,1	9,9	37,2
189	2,1	1,4	0,0	0,0	0,1	0,7	0,0	0,0	2,2	2,1
190	1,1	1,3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	1,4
191	1,4	4,8	0,2	0,0	0,2	0,4	0,0	0,0	1,8	5,2
192	0,3	0,7	0,0	0,0	1,8	2,2	0,0	0,1	2,1	3,0
193	1,1	2,2	3,8	2,2	0,2	0,9	0,0	0,1	5,1	5,3
194	0,7	1,4	0,7	0,6	0,2	1,8	0,0	0,1	1,7	3,9
195	0,5	0,4	1,4	0,3	0,5	3,9	0,0	0,0	2,4	4,7
196	2,9	1,4	0,0	0,0	0,7	2,4	0,0	0,0	3,7	3,8
197	2,4	0,8	0,4	0,3	0,0	1,9	0,0	0,0	2,8	3,0
198	3,4	1,6	0,4	0,6	2,0	4,0	0,0	0,1	5,8	6,3
199	2,2	0,8	0,2	0,2	0,6	2,5	0,0	0,0	2,9	3,5
200	0,7	0,7	4,4	4,8	0,1	0,1	0,2	0,1	5,3	5,6
201	5,2	3,7	0,0	0,1	10,4	12,4	0,0	0,0	15,6	16,2
202	4,3	3,4	0,3	0,3	0,4	2,2	0,0	0,0	5,0	5,9
203	0,9	2,1	0,0	0,0	0,1	0,5	0,0	0,1	0,9	2,6
204	1,4	2,9	0,0	0,8	0,2	0,4	0,0	10,4	1,6	14,4

Tab. A-19: Thermischer Bereich: Messpunkte 205 – 238.

MP	Hörfunk		Fernsehen		Mobilfunk		Sonst+Upl		HF gesamt	
	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006
205	6,5	6,6	10,9	5,1	2,2	5,5	0,1	0,0	19,7	17,2
206	11,8	12,0	2,3	6,3	1,0	3,5	0,0	0,0	15,1	21,8
207	2,3	1,3	0,1	0,0	0,3	0,5	0,0	0,0	2,7	1,9
208	3,1	3,4	0,9	9,5	1,4	4,5	0,0	0,0	5,4	17,5
209	0,8	0,8	0,0	0,0	2,5	8,2	0,0	0,0	3,3	9,1
210	1,7	3,4	0,0	0,0	6,8	45,7	0,0	0,0	8,5	49,2
211	1,9	1,5	0,0	0,0	2,9	3,4	0,1	0,0	4,8	4,9
212	6,0	9,1	0,1	0,1	1,7	2,5	0,0	0,0	7,8	11,7
213	10,9	10,9	1,1	0,1	10,2	7,1	0,1	0,3	22,3	18,4
214	1,9	0,9	0,6	3,0	0,3	3,3	0,1	0,3	3,0	7,5
215	8,3	2,6	0,8	6,8	5,0	1,7	0,2	0,0	14,3	11,2
216	3,9	6,0	0,0	0,0	2,6	5,4	0,0	0,2	6,5	11,5
217	1,9	1,2	0,1	0,1	0,9	1,4	0,0	0,4	2,9	3,0
218	2,0	1,2	0,0	0,1	0,5	1,4	0,0	0,0	2,5	2,6
219	1,6	1,7	0,1	2,1	2,9	1,5	0,0	0,1	4,6	5,4
220	0,9	1,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,2
221	2,4	1,7	0,1	0,0	1,4	1,6	0,0	0,0	3,9	3,4
222	3,4	1,5	0,1	0,0	5,0	13,7	0,0	0,0	8,6	15,2
223	39,0	19,5	0,1	0,1	0,8	1,2	0,0	0,1	39,9	20,9
224	36,8	19,3	0,1	0,0	0,8	1,7	0,0	0,1	37,7	21,1
225	20,9	33,3	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	21,2	33,5
226	37,7	20,0	0,1	0,2	2,2	1,6	0,0	0,0	40,0	21,8
227	6,3	8,9	1,1	0,2	2,2	2,8	0,0	0,0	9,7	12,0
228	51,7	60,1	2,0	2,0	65,1	101,2	0,2	0,1	119,0	163,4
229	1,2	2,1	0,0	0,0	4,4	8,0	0,0	0,0	5,6	10,1
230	1,3	0,9	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	1,5	1,2
231	0,5	2,3	0,1	0,0	7,5	218,6	0,0	0,0	8,2	221,0
232	5,1	3,0	1,6	0,6	0,4	2,5	0,0	0,0	7,0	6,1
233	17,5	18,9	1,6	0,9	0,2	0,4	0,5	0,3	19,7	20,6
234	17,1	15,8	1,1	0,9	123,9	189,7	0,1	3,4	142,3	209,8
235	1,1	1,5	2,7	1,6	0,2	0,5	0,0	6,2	4,0	9,7
236	1,1	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,9
237	2,8	3,6	1,6	0,6	1,2	2,2	1,1	1,5	6,7	7,9
238	4,2	5,5	0,4	0,2	0,6	4,1	0,0	0,0	5,2	9,8

Tab. A-20: Thermischer Bereich: Messpunkte 239 – 272.

MP	Hörfunk		Fernsehen		Mobilfunk		Sonst+Upl		HF gesamt	
	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006
239	1,1	1,5	0,0	0,1	1,4	15,6	0,0	0,1	2,6	17,3
240	3,9	5,3	0,2	0,5	0,2	3,9	1,5	1,5	5,9	11,2
241	2,8	1,5	14,6	12,6	4,0	6,5	0,1	0,3	21,4	20,8
242	2,0	2,1	0,1	0,0	0,8	0,4	0,0	0,0	3,0	2,5
243	1,2	0,7	0,3	0,1	145,0	412,1	0,0	0,1	146,6	413,0
244	2,7	3,1	2,2	0,9	5,6	1,9	0,0	0,0	10,4	5,9
245	4,7	1,5	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	1,6
246	9,4	4,2	32,0	4,5	56,9	421,0	0,0	1,2	98,5	430,9
247	8,0	4,1	2,6	1,4	4,0	7,6	4,4	2,9	19,1	15,9
248	4,5	6,5	1,1	0,3	0,6	4,0	0,0	0,0	6,2	10,8
249	1,0	1,6	0,0	0,0	4,5	3,6	0,0	0,0	5,6	5,3
250	1,5	1,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,5	1,1
251	3,2	2,6	0,1	0,3	11,3	4,8	0,0	0,1	14,6	7,8
252	0,7	3,8	0,1	0,1	4,8	4,4	0,0	0,0	5,6	8,3
253	0,6	2,8	0,0	0,0	0,1	4,4	0,0	0,0	0,8	7,3
254	3,9	6,1	1,7	0,1	0,3	0,8	0,4	4,7	6,3	11,7
255	4,9	4,2	1,0	0,0	0,5	3,9	0,0	0,1	6,4	8,2
256	1,1	0,9	0,0	0,0	0,3	0,8	0,0	0,0	1,5	1,8
257	1,2	2,7	1,3	0,8	0,1	1,3	0,0	0,4	2,6	5,2
258	1,4	0,7	1,0	0,3	0,0	0,2	0,0	0,0	2,4	1,2
259	1,7	1,2	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	2,0	1,3
260	0,5	0,4	0,0	0,1	3,4	1,4	0,0	0,0	4,0	2,1
261	11,2	4,5	0,6	0,4	26,9	18,4	0,0	0,0	38,7	23,4
262	15,0	6,4	0,1	0,5	15,4	16,2	3,5	1,4	34,0	24,6
263	22,3	18,0	85,3	37,6	63,1	130,5	0,3	0,6	170,9	186,8
264	0,4	0,3	0,0	0,1	0,4	0,6	0,0	0,0	0,8	1,0
265	1,7	3,5	1,4	1,0	0,4	0,9	0,0	0,0	3,5	5,4
266	1,4	2,9	0,1	0,0	0,9	2,3	0,0	0,0	2,4	5,3
267	1,1	1,0	0,9	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0	2,4	1,7
268	0,3	3,2	2,5	0,1	21,5	14,9	0,2	0,0	24,5	18,2
269	0,1	0,9	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	1,0
270	1,0	0,5	0,5	0,2	2,7	2,1	0,1	0,0	4,3	2,7
271	1,0	1,1	0,0	0,0	0,2	0,5	0,0	0,0	1,2	1,6
272	0,5	1,4	0,0	0,0	2,4	3,5	0,2	0,5	3,1	5,5

Tab. A-21: Thermischer Bereich: Messpunkte 273 – 306.

MP	Hörfunk		Fernsehen		Mobilfunk		Sonst+Upl		HF gesamt	
	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006
273	2,5	6,1	0,4	0,1	0,7	10,9	0,1	0,1	3,7	17,1
274	2,1	0,8	0,1	0,1	20,2	24,6	0,0	0,1	22,3	25,6
275	1,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,7
276	1,3	1,4	0,4	0,5	22,7	57,6	1,2	1,9	25,7	61,4
277	2,9	5,0	0,2	17,4	84,5	63,4	0,2	1,0	87,9	86,8
278	0,8	0,8	0,2	3,5	13,5	233,7	3,7	11,3	18,1	249,2
279	0,8	0,8	0,1	0,8	19,5	22,3	0,1	0,0	20,5	23,9
280	4,5	6,5	3,7	5,4	0,2	0,9	0,0	0,0	8,3	12,8
281	4,6	4,7	1,0	7,5	46,5	308,9	0,1	0,1	52,3	321,3
282	2,8	5,3	0,0	0,4	9,0	2,9	0,0	0,3	11,8	8,9
283	1,5	1,6	0,1	1,2	11,4	21,4	0,0	0,9	13,0	25,0
284	5,8	4,9	0,7	22,2	28,1	58,7	0,2	0,2	34,8	85,9
285	2,6	0,9	0,1	2,3	43,2	16,8	0,2	0,1	46,1	20,1
286	1,4	1,5	0,1	2,7	6,9	5,0	0,0	0,0	8,5	9,3
287	0,8	0,5	0,0	1,4	43,3	65,9	0,0	0,0	44,1	67,9
288	1,2	1,5	0,5	6,1	1,7	7,3	0,2	0,2	3,5	15,1
289	1,3	2,3	0,0	1,1	2,1	1,5	0,2	0,0	3,6	4,9
290	0,8	0,4	0,2	0,5	1,0	8,6	0,0	0,1	2,0	9,6
291	3,0	2,0	0,1	1,6	2,3	15,9	0,0	0,0	5,4	19,5
292	0,7	0,9	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,9
293	9,8	4,6	2,6	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	12,4	5,2
294	1,4	1,4	0,4	0,0	12,5	14,1	0,0	0,0	14,2	15,6
295	1,3	6,1	1,2	0,3	1,1	2,9	0,1	0,4	3,7	9,7
296	10,8	10,4	6,0	0,4	1,8	4,0	1,3	0,0	19,9	14,9
297	0,8	1,1	1,6	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	2,5	1,3
298	0,8	0,3	0,2	0,3	0,0	0,1	0,0	0,0	1,0	0,8
299	0,6	1,7	2,4	16,3	0,8	2,5	0,1	0,0	3,9	20,4
300	0,7	1,3	0,7	0,1	0,0	1,0	0,0	0,0	1,5	2,4
301	0,7	0,7	0,2	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	1,2
302	1,3	2,5	0,0	0,0	1,1	5,7	0,0	0,0	2,4	8,3
303	1,9	0,4	0,0	0,0	1,0	3,0	0,0	0,0	2,9	3,4
304	0,4	0,4	0,1	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,5	0,8
305	17,5	60,7	2,6	0,1	0,0	0,1	0,2	0,8	20,3	61,6
306	8,3	8,4	0,1	0,0	3,6	1,2	0,5	0,1	12,4	9,7

Tab. A-22: Thermischer Bereich: Messpunkte 307 – 340.

MP	Hörfunk		Fernsehen		Mobilfunk		Sonst+Upl		HF gesamt	
	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006
307	10,0	11,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,0	0,1	10,4	11,6
308	4,2	3,4	8,2	0,2	2,6	0,6	0,9	0,0	15,8	4,2
309	2,6	3,7	2,6	0,1	0,5	0,8	0,1	0,2	5,9	4,8
310	2,1	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	1,6
311	3,7	4,8	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	4,9
312	0,8	0,7	0,4	0,4	1,1	1,7	0,0	0,0	2,3	2,8
313	0,7	0,9	0,4	1,0	5,2	4,9	0,0	0,0	6,3	6,7
314	95,6	72,8	6,9	6,6	0,2	0,6	0,0	0,0	102,8	80,0
315	2,6	2,6	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	2,7	2,8
316	1,0	1,4	0,1	0,0	0,2	0,7	0,0	0,0	1,3	2,2
317	4,8	1,3	0,2	0,1	0,1	0,4	0,0	1,2	5,1	3,0
318	4,4	7,1	0,7	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	5,1	8,1
319	0,9	1,3	0,2	0,4	1,2	1,3	0,0	0,0	2,3	3,1
320	17,5	20,5	7,2	1,9	33,6	86,2	0,0	0,1	58,4	108,7
321	20,9	22,4	2,6	0,1	0,7	0,7	0,0	0,0	24,3	23,2
322	24,4	37,9	3,7	0,8	2,1	7,1	0,1	1,4	30,3	47,1
323	16,6	9,9	0,3	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	17,0	10,0
324	1,4	3,1	5,2	0,0	16,5	4,2	0,9	0,1	24,0	7,4
325	2,2	0,8	0,8	0,3	7,8	7,3	0,0	0,0	10,9	8,4
326	2,1	2,1	0,9	4,0	0,4	1,3	0,0	0,1	3,4	7,4
327	0,2	0,4	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	1,8	0,4	2,4
328	24,5	28,7	1,8	2,0	0,5	1,1	0,0	0,1	26,8	31,8
329	3,8	3,6	0,3	0,5	124,3	158,7	0,0	0,4	128,4	163,2
330	0,6	0,5	0,4	1,4	3,6	2,7	0,0	0,0	4,5	4,6
331	5,9	3,5	0,3	2,2	1,5	2,4	0,0	0,0	7,7	8,1
332	1,8	0,3	2,4	4,6	0,0	0,1	0,4	0,0	4,6	5,0
333	0,4	0,6	0,3	0,3	17,7	34,3	0,0	0,1	18,4	35,2
334	1,2	1,7	0,2	3,5	1,3	1,5	0,0	0,8	2,8	7,6
335	0,5	0,6	0,8	0,2	5,0	34,4	0,0	0,1	6,3	35,2
336	0,8	1,2	0,1	0,3	1,5	3,9	0,0	0,2	2,3	5,6
337	0,5	0,5	0,0	0,4	0,9	1,4	0,0	0,1	1,4	2,5
338	0,5	1,0	0,2	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	1,6
339	3,9	5,5	0,6	0,0	0,7	0,8	0,1	0,1	5,4	6,5
340	4,6	4,1	0,5	0,1	1,0	2,0	0,1	0,1	6,3	6,2

Tab. A-23: Thermischer Bereich: Messpunkte 341 – 374.

MP	Hörfunk		Fernsehen		Mobilfunk		Sonst+Upl		HF gesamt	
	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006
341	6,2	11,5	1,2	0,5	49,4	93,9	0,0	0,0	56,8	106,0
342	3,7	3,8	0,7	0,2	1,0	1,2	0,0	0,4	5,5	5,6
343	2,5	3,9	7,1	0,4	0,3	0,9	0,2	0,0	10,1	5,1
344	3,1	4,7	4,0	3,0	0,1	0,7	0,1	0,0	7,3	8,3
345	0,4	0,4	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,4	0,8
346	4,7	4,9	1,7	6,6	31,2	42,0	0,1	0,1	37,7	53,6
347	26,6	23,7	0,7	0,5	0,6	1,3	1,2	0,1	29,2	25,5
348	6,5	7,8	3,6	0,1	0,9	2,8	0,0	0,7	10,9	11,3
349	5,1	4,4	0,5	0,1	1,1	2,0	0,0	0,0	6,6	6,6
350	2,1	2,9	0,6	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	2,8	3,3
351	0,6	0,9	0,2	0,0	0,4	0,7	0,0	0,0	1,3	1,6
352	0,6	2,4	0,2	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,9	2,5
353	1,1	1,7	2,1	0,1	4,1	2,5	0,1	0,1	7,5	4,4
354	1,7	8,9	0,4	0,1	5,4	206,3	0,0	0,1	7,4	215,3
355	0,5	1,0	1,0	2,8	0,0	91,4	0,0	0,0	1,6	95,1
356	0,9	0,8	0,1	0,0	0,7	0,8	0,0	0,0	1,7	1,6
357	13,9	16,2	16,4	1,8	0,1	0,0	1,0	0,1	31,4	18,2
358	1,9	2,1	0,8	0,0	0,2	0,4	0,0	0,0	2,9	2,4
359	1,9	2,0	8,5	3,1	1,3	2,6	0,0	0,1	11,7	7,8
360	1,9	4,5	0,0	0,0	1,4	109,7	0,0	16,3	3,3	130,4
361	1,9	2,4	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	2,6
362	31,9	40,7	0,7	0,2	0,1	0,3	0,0	0,1	32,8	41,2
363	9,9	2,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	2,3
364	87,8	105,9	0,8	0,3	2,1	2,0	0,3	0,6	91,0	108,8
365	4,6	2,2	0,3	0,2	0,2	1,4	0,0	0,0	5,1	3,8
366	6,9	4,2	2,1	0,0	0,8	0,3	0,0	0,0	9,8	4,6
367	1,3	1,7	2,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	1,7
368	0,8	2,8	0,2	0,2	0,1	0,7	0,0	0,0	1,2	3,7
369	1,4	1,7	6,8	0,2	1,6	2,0	0,0	0,0	9,9	4,0
370	2,2	1,9	1,3	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	3,5	2,2
371	1,5	3,4	1,3	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	4,5
372	3,6	4,2	1,4	1,9	0,9	1,8	0,1	0,2	6,0	8,1
373	2,0	1,5	1,1	0,1	2,2	37,9	0,0	0,2	5,4	39,8
374	0,8	1,5	0,7	0,2	1,7	3,3	0,0	0,2	3,2	5,2

Tab. A-24: Thermischer Bereich: Messpunkte 375 – 403.

MP	Hörfunk		Fernsehen		Mobilfunk		Sonst+Upl		HF gesamt	
	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006	2002	2006
375	1,1	0,9	0,2	0,3	0,1	0,1	0,0	0,1	1,4	1,3
376	0,8	0,8	1,1	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	2,0	1,4
377	1,1	1,3	12,8	0,0	0,1	51,7	0,6	54,5	14,6	107,6
378	0,5	3,9	1,6	0,1	36,1	7,7	0,0	0,7	38,3	12,3
379	1,8	1,3	0,6	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	1,8
380	1,2	1,4	0,1	0,0	1,1	1,1	0,0	0,0	2,3	2,6
381	1,4	1,0	0,2	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	1,9	1,2
382	1,2	1,0	0,1	0,2	8,2	19,2	0,0	0,0	9,5	20,3
383	6,7	7,2	1,1	1,1	133,1	153,9	0,0	0,0	140,9	162,2
384	3,7	1,2	0,8	0,1	0,5	0,5	0,0	0,0	4,9	1,8
385	3,3	1,2	7,5	0,0	0,1	7,2	0,7	0,0	11,6	8,5
386	2,2	3,3	0,3	0,1	0,4	1,2	0,1	0,0	3,1	4,7
387	1,3	0,7	0,3	1,6	0,8	2,5	0,0	0,0	2,4	4,8
388	3,5	1,6	1,1	0,1	0,1	0,6	0,0	0,0	4,7	2,3
389	0,8	0,6	0,8	0,1	1,0	2,2	0,0	0,0	2,6	3,0
390	0,7	1,2	1,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	1,7	1,5
391	1,8	1,8	15,2	0,9	0,1	0,2	0,3	0,0	17,4	2,9
392	2,3	2,7	4,0	0,8	0,0	0,0	0,2	0,0	6,4	3,5
393	4,2	3,4	0,9	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	5,1	3,8
394	14,1	11,0	0,7	4,7	0,7	1,5	0,0	0,0	15,5	17,3
395	4,2	2,8	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	4,3	2,9
396	13,0	11,2	13,2	0,1	18,8	41,4	1,8	0,4	46,8	53,1
397	40,6	30,5	3,7	1,0	4,6	0,9	0,3	1,5	49,2	33,8
398	2,3	4,8	0,8	0,2	0,2	4,3	0,1	0,0	3,4	9,3
399	1,3	0,7	2,9	0,7	1,5	15,0	1,6	0,1	7,3	16,5
400	1,5	1,1	2,7	1,3	0,0	4,6	0,0	0,0	4,2	7,1
401	1,4	1,2	0,1	0,1	4,2	3,5	0,0	2,0	5,7	6,8
402	0,7	2,2	0,1	0,1	2,3	2,4	0,0	0,1	3,1	4,9
403	16,9	3,9	0,6	5,1	2,1	15,7	0,0	6,5	19,6	31,3

## Abbildungsverzeichnis

3-1	Beispiel der Fotodokumentation eines Messpunkts 2002/2003 und 2006/2007 . . . . .	11
3-2	Ungenügende Fotodokumentation 2002/2003 . . . . .	11
3-3	Jahreszeitliche Verteilung der Messzeiten . . . . .	12
3-4	Verteilung der Zeit-Differenzen zwischen erstem und zweitem Monitoring . . . . .	13
3-5	Vergleich der Verteilungsfunktionen bei den Auswertungen 2003 und 2007 . . . . .	14
3-6	Beispiel der GSM-900-Schwellenwerte in den Auswertungen 2003 und 2007 . . . . .	15
4-1	ICNIRP-Grenzwertverlauf von elektrischer Feldstärke, magnetischer Feldstärke und Leistungsflussdichte . . . . .	16
4-2	Kenndaten der Verteilungsfunktionen . . . . .	18
5-1	Niederfrequenz: Verteilungsfunktion des Ausschöpfungsgrads der magnetischen Feldstärke . . . . .	22
5-2	Niederfrequenz: Tageszeitliche Verteilung der mittleren Ausschöpfungsgrade der magnetischen Feldstärke . . . . .	23
5-3	Niederfrequenz: Verteilungsfunktion des Ausschöpfungsgrads der elektrischen Feldstärke; Beispielspektrum mit Schwellenwerten . . . . .	24
5-4	Reizwirkungsbereich: Verteilungsfunktion des Ausschöpfungsgrads der elektrischen Feldstärke . . . . .	24
5-5	Reizwirkungsbereich: Verteilungsfunktion des Ausschöpfungsgrads der magnetischen Feldstärke . . . . .	27
5-6	Bayernweit gemittelt LW-/MW-Spektrum . . . . .	28
5-7	Hörfunk: Verteilungsfunktion nach Frequenzbändern . . . . .	29
5-8	Hörfunk: Verteilungsfunktion der Änderung der Grenzwertausschöpfung . . . . .	30
5-9	Hörfunk: Verteilungsfunktion nach Bebauungsklassen . . . . .	31
5-10	Ausbaugebiete und Sendeanlagen von DVB-T . . . . .	32
5-11	Beispielspektrum des UHF-Frequenzbands . . . . .	33
5-12	Fernsehen: Nach analogem und digitalem Fernsehen aufgeschlüsselte Verteilungsfunktion . . . . .	34
5-13	Fernsehen: Verteilungsfunktion der Änderung der Grenzwertausschöpfung . . . . .	35
5-14	Fernsehen: Verteilungsfunktion nach Bebauungsklassen . . . . .	36
5-15	Mobilfunk: Verteilungsfunktion nach Frequenzbändern . . . . .	38
5-16	Mobilfunk: Verteilungsfunktion der Änderung der Grenzwertausschöpfung . . . . .	39
5-17	Bayernweit gemittelt GSM-900-Spektrum . . . . .	41
5-18	UMTS: Verteilungsfunktion nach Bebauungsklassen . . . . .	43
5-19	Mobilfunk: Verteilungsfunktion nach Bebauungsklassen . . . . .	43
5-20	Sonstige Funkdienste: Verteilungsfunktion nach Frequenzbändern . . . . .	44
5-21	DECT und Mobilfunk-Uplinks: Verteilungsfunktion nach Frequenzbändern . . . . .	45
5-22	Relative Anteile der Funkdienste an der jeweiligen Gesamt-Grenzwertausschöpfung . . . . .	46
5-23	Hochfrequenz gesamt: Verteilungsfunktion nach Funkdiensten . . . . .	48
5-24	Hochfrequenz gesamt: Verteilungsfunktion nach Bebauungsklassen . . . . .	49
6-1	Zusammenfassung der Messergebnisse . . . . .	51

## Tabellenverzeichnis

3-1 Übersicht der Messpakete (Teil 1)	9
3-2 Übersicht der Messpakete (Teil 2)	10
5-1 Niederfrequenz: Statistische Lagemaße	25
5-2 Niederfrequenz: Statistische Signifikanz	25
5-3 Niederfrequenz: Statistische Spannweite	26
5-4 Reizwirkung: Statistische Lagemaße	26
5-5 Reizwirkung: Statistische Signifikanz	27
5-6 Hörfunk: Statistische Lagemaße	29
5-7 Hörfunk: Statistische Signifikanz	30
5-8 Hörfunk: Statistische Spannweite	31
5-9 Fernsehen: Statistische Lagemaße	35
5-10 Fernsehen: Statistische Signifikanz	35
5-11 Fernsehen: Statistische Spannweite	36
5-12 Mobilfunk: Statistische Lagemaße	38
5-13 Mobilfunk: Statistische Signifikanz	39
5-14 Mobilfunk: Statistische Spannweite	40
5-15 Sonstige Funkdienste: Statistische Lagemaße	44
5-16 DECT und Mobilfunk-Uplinks: Statistische Lagemaße	45
5-17 Relative Anteile der Funkdienste an der jeweiligen Gesamt-Grenzwertausschöpfung, aufgeschlüsselt nach Bebauungsklassen.	47
5-18 Hochfrequenz gesamt: Statistische Lagemaße	48
5-19 Hochfrequenz gesamt: Statistische Signifikanz	49
5-20 Hochfrequenz gesamt: Statistische Spannweite	49
A-1 Ausschöpfungsgrade der Messpunkte 1 – 34 im Reizwirkungsbereich.	53
A-2 Ausschöpfungsgrade der Messpunkte 35 – 68 im Reizwirkungsbereich.	54
A-3 Ausschöpfungsgrade der Messpunkte 69 – 102 im Reizwirkungsbereich.	55
A-4 Ausschöpfungsgrade der Messpunkte 103 – 136 im Reizwirkungsbereich.	56
A-5 Ausschöpfungsgrade der Messpunkte 137 – 170 im Reizwirkungsbereich.	57
A-6 Ausschöpfungsgrade der Messpunkte 171 – 204 im Reizwirkungsbereich.	58
A-7 Ausschöpfungsgrade der Messpunkte 205 – 238 im Reizwirkungsbereich.	59
A-8 Ausschöpfungsgrade der Messpunkte 239 – 272 im Reizwirkungsbereich.	60
A-9 Ausschöpfungsgrade der Messpunkte 273 – 306 im Reizwirkungsbereich.	61
A-10 Ausschöpfungsgrade der Messpunkte 307 – 340 im Reizwirkungsbereich.	62
A-11 Ausschöpfungsgrade der Messpunkte 341 – 374 im Reizwirkungsbereich.	63
A-12 Ausschöpfungsgrade der Messpunkte 375 – 403 im Reizwirkungsbereich.	64
A-13 Ausschöpfungsgrade der Messpunkte 1 – 34 im thermischen Bereich.	65
A-14 Ausschöpfungsgrade der Messpunkte 35 – 68 im thermischen Bereich.	66
A-15 Ausschöpfungsgrade der Messpunkte 69 – 102 im thermischen Bereich.	67
A-16 Ausschöpfungsgrade der Messpunkte 103 – 136 im thermischen Bereich.	68
A-17 Ausschöpfungsgrade der Messpunkte 137 – 170 im thermischen Bereich.	69
A-18 Ausschöpfungsgrade der Messpunkte 171 – 204 im thermischen Bereich.	70
A-19 Ausschöpfungsgrade der Messpunkte 205 – 238 im thermischen Bereich.	71
A-20 Ausschöpfungsgrade der Messpunkte 239 – 272 im thermischen Bereich.	72
A-21 Ausschöpfungsgrade der Messpunkte 273 – 306 im thermischen Bereich.	73
A-22 Ausschöpfungsgrade der Messpunkte 307 – 340 im thermischen Bereich.	74
A-23 Ausschöpfungsgrade der Messpunkte 341 – 374 im thermischen Bereich.	75
A-24 Ausschöpfungsgrade der Messpunkte 375 – 403 im thermischen Bereich.	76

## Literaturverzeichnis

- [1] EMF-Monitoring in Bayern / Bayerisches Landesamt für Umwelt. Bürgermeister-Ulrich-Straße 160, 86179 Augsburg, April 2006. – Forschungsbericht. [http://www.lfu.bayern.de/strahlung/fachinformationen/emf\\_messung\\_bewertung/doc/endbericht\\_emf.pdf](http://www.lfu.bayern.de/strahlung/fachinformationen/emf_messung_bewertung/doc/endbericht_emf.pdf)
- [2] Jahresbericht der Bundesnetzagentur 2006 / Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen. 2007. – Forschungsbericht
- [3] Teilnehmer-Marktanteile der Netzbetreiber / Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen. 2008. – Forschungsbericht
- [4] Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). In: *Health Physics* 74 (1998), April, Nr. 4, S. 494–522
- [5] VDN-Jahresbericht 2003 / Verband der Netzbetreiber VDN e.V. beim VDEW. 2003. – Forschungsbericht
- [6] Daten und Fakten – Stromnetze in Deutschland 2007 / Verband der Netzbetreiber VDN e.V. beim VDEW. 2007. – Forschungsbericht
- [7] Ziesing, Hans-Joachim: Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2007 / Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. 2008. – Forschungsbericht. [http://www.ag-energiebilanzen.de/cms/verwaltung/files.php?path=../../daten/1203946104\\_91.0.94.131.pdf&name=jahresbericht\\_ageb\\_25\\_2\\_2008.pdf&mime=application/pdf](http://www.ag-energiebilanzen.de/cms/verwaltung/files.php?path=../../daten/1203946104_91.0.94.131.pdf&name=jahresbericht_ageb_25_2_2008.pdf&mime=application/pdf)

