

EMF-Monitoring in Bayern 2011/2012

Messungen von elektromagnetischen Feldern (EMF)
in Wohngebieten



strahlung



Bayerisches Landesamt für
Umwelt



EMF-Monitoring in Bayern 2011/2012

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

168 Seiten, 69 Abbildungen, 59 Tabellen, Augsburg 2013

**UmweltSpezial
Elektrosmog**

Impressum

EMF-Monitoring in Bayern 2011/2012
Messungen von elektromagnetischen Feldern (EMF) in Wohngebieten

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
Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung/Text/Konzept:

LfU, Referat 25, Dr. Thomas Kurz

Redaktion:

LfU, Referat 25, Dr. Thomas Kurz
LfU, Referat 25, Marcus de Ridder
LfU, Referat 25, Dr. Christian Becker

Mitwirkende am EMF-Monitoring:

Allen am EMF-Monitoring 2011/2012 Beteiligten sei herzlich gedankt: Marcus de Ridder, Adrian Blumenschein, Markus Schuster, Jürgen Hartl, Anna-Maria Lukas, Andrea Wellhöfer sowie den Mitgliedern des Fachbeirats.

Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Druck:

Druckerei Joh. Walch GmbH & Co. KG, Im Gries 6, 86179 Augsburg
Gedruckt auf Papier aus 100 % Altpapier.

Stand:

August 2013

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

1	Einleitung	5
2	Vorbemerkungen	7
2.1	Aufbau des Berichts	7
2.2	Statistische Begriffe	7
2.3	Notation	7
2.4	Erklärungen zu den Diagrammen	8
2.5	Erläuterung zu den Tabellen <i>Statistische Spannweite</i>	13
2.6	Unterschiede zum letzten Bericht	13
3	Durchführung	15
3.1	Messgeräte	15
3.2	Automatische Messpakete	16
3.3	Reproduzierbarkeit der Messungen	17
3.4	Messdauer	19
4	Auswertung	24
4.1	Nachweisschwellen der einzelnen Frequenzbereiche	24
4.2	Vorgehensweise bei der Auswertung	28
4.3	Summation	29
4.4	Auswertesoftware	31
5	Spektrale Betrachtung von Lang- und Mittelwelle	32
6	Ergebnisse für die nicht-thermische Wirkung (Stimulationswirkungen)	35
6.1	Elektrische Feldstärke	35
6.2	Magnetische Feldstärke	43
7	Ergebnisse für die thermische Wirkung	51
7.1	Hörfunk	51
7.2	Terrestrisches Fernsehen	56
7.3	Mobilfunk	62
7.4	BOS-Funk	72
7.5	Sonstige Funkdienste	75
7.6	Gesamtmissionen	76
8	Statistische Signifikanz der beobachteten Änderungen	82
9	Ergebnisse am Referenzmesspunkt	85
9.1	Motivation zur Einführung des Referenzmesspunkts	85
9.2	Beurteilung der Signifikanz der Änderungen zwischen den Messreihen auf Basis der Ergebnisse am Referenzmesspunkt	87
10	Gebietsabhängigkeiten	90
10.1	Festlegung der Gebietsarten	90
10.2	Diskussion der Ergebnisse	92
11	Zusammenfassung	106
A	Einzelergebnisse der Messpunkte	109

B	Berücksichtigung der ICNIRP-Referenzwerte aus dem Jahr 2010	144
B.1	Vorbemerkungen	144
B.2	Elektrisches Feld	144
B.3	Magnetisches Feld	147
C	Alternative Darstellung von Immissionsanteilen	150
D	Umgang mit fehlenden Daten	153
D.1	Die Entstehung von Lücken in den Datensätzen und der Umgang damit	153
D.2	Betrachtung der Immissionen niederfrequenter Magnetfelder	154
E	Messpakete	155
E.1	Hörfunk	155
E.2	Fernsehen	155
E.3	Mobilfunk	155
E.4	Sonstige Funkdienste	156
F	Ausblick und Hinweise für die nächste Messreihe	158
F.1	Grenzwerte	158
F.2	Messtechnik und Konzeptionelles	158
F.3	Niederfrequente Felder	159
F.4	Stimulationswirkungen im Frequenzbereich des Hörfunks	159
F.5	Thermische Wirkung im Frequenzbereich des Hörfunks	159
F.6	Mobilfunk	160
F.7	BOSNet	160
F.8	Allgemeines zur Auswertung	160
	Abbildungsverzeichnis	161
	Tabellenverzeichnis	164
	Literaturverzeichnis	166

1 Einleitung

Mit dem Ziel, einen Überblick über die Immissionssituation durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder zu erhalten und deren Langzeitentwicklung zu beobachten, wurde im Jahre 2001 mit den Vorbereitungen zum "EMF-Monitoring in Bayern" begonnen. Dessen erste Messreihe fand in den Jahren 2002/2003 statt [1]. Inzwischen liegen die Daten der dritten Messreihe vor. Sie erlauben nunmehr umfangreiche Vergleiche, sowohl mit der Ausgangslage als auch mit den Ergebnissen der zweiten Messreihe während der Jahre 2006/2007 [2].

Insbesondere bei den Funktechniken hat sich eine rasante Weiterentwicklung ergeben:

- Besonders dynamisch war die Entwicklung beim Mobilfunk. Bereits während der ersten Messreihe wurden vereinzelt UMTS-Sender in Betrieb genommen. Zwischenzeitlich wurde gerade in städtischen Gegenden der UMTS-Ausbau abgeschlossen, wohingegen während der dritten Messreihe insbesondere im ländlichen Raum der Aufbau der nächsten Mobilfunkgeneration LTE vorangetrieben wurde.
- Beim terrestrischen Fernsehen kam es zu einer Umstellung von der analogen auf digitale Übertragung. Die Umstellung war in Bayern während der zweiten Messreihe im Gange und ist seit Ende 2008 abgeschlossen.
- Beim Hörfunk wurde die Sendeleistung für das Digitalradio DAB ab 2008 sukzessive von 1 kW auf nun 10 kW angehoben. Auf der anderen Seite ergaben sich Leistungsabsenkungen und Senderabschaltungen hauptsächlich beim Mittel- und Kurzwellenrundfunk.
- In einer Umstellungsphase befanden sich während der aktuellen Messreihe auch die verschiedenen Analogfunknetze der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS). Diese Einrichtungen werden künftig ein gemeinsames Digitalfunknetz betreiben und nutzen, welches die bislang separaten Analogfunknetze der einzelnen Organisationen ablösen wird.

Der Bereich der Energieversorgung hat bislang keine so offensichtliche Entwicklung erfahren. Bis hier in größerem Ausmaß Neu- und Umbauten von Stromtrassen vollzogen sein werden (Stichwort: Energiewende), aus denen sich mögliche Auswirkungen auf niederfrequente elektrische und magnetische Felder ergeben, werden noch einige Jahre vergehen.

Auch innerhalb der dritten Messreihe des EMF-Monitorings lag der Schwerpunkt auf Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit. Die Messpunkte, die für die erste Messreihe nach statistischen Kriterien bevölkerungsgewichtet festgelegt wurden, konnten wieder größtenteils beibehalten und der Geräteaufbau nach Fotodokumentation der vergangenen Jahre bestmöglich reproduziert werden. Dennoch machten die angesprochenen Änderungen bei den Funktechniken wieder einige behutsame Änderungen am Messprogramm erforderlich.

Der vorliegende Bericht gibt einen Überblick über die Ergebnisse der dritten Messreihe und vergleicht die Daten mit denen voriger Messreihen. Nach den einleitenden Hinweisen (Kapitel 2), einer wiederholenden Zusammenfassung über das Messprojekt (Kapitel 3) und der Auswertung (Kapitel 4) präsentieren die Kapitel 6 und 7 die aktuellen Ergebnisse, getrennt nach den Wirkungsmodellen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder. Die anschließenden Kapitel diskutieren die statistische Signifikanz der Änderungen der Immissionen, zeigen auf, welche Unterschiede im Hinblick auf verschiedene Gebietsklassen bestehen, und stellen den Referenzmesspunkt vor, eine Neuerung in der dritten Messreihe. Ziel des Referenzmesspunkts war eine Aussage über die statistische Streuung, die wiederholte Messungen an ein und demselben Messpunkt aufweisen.

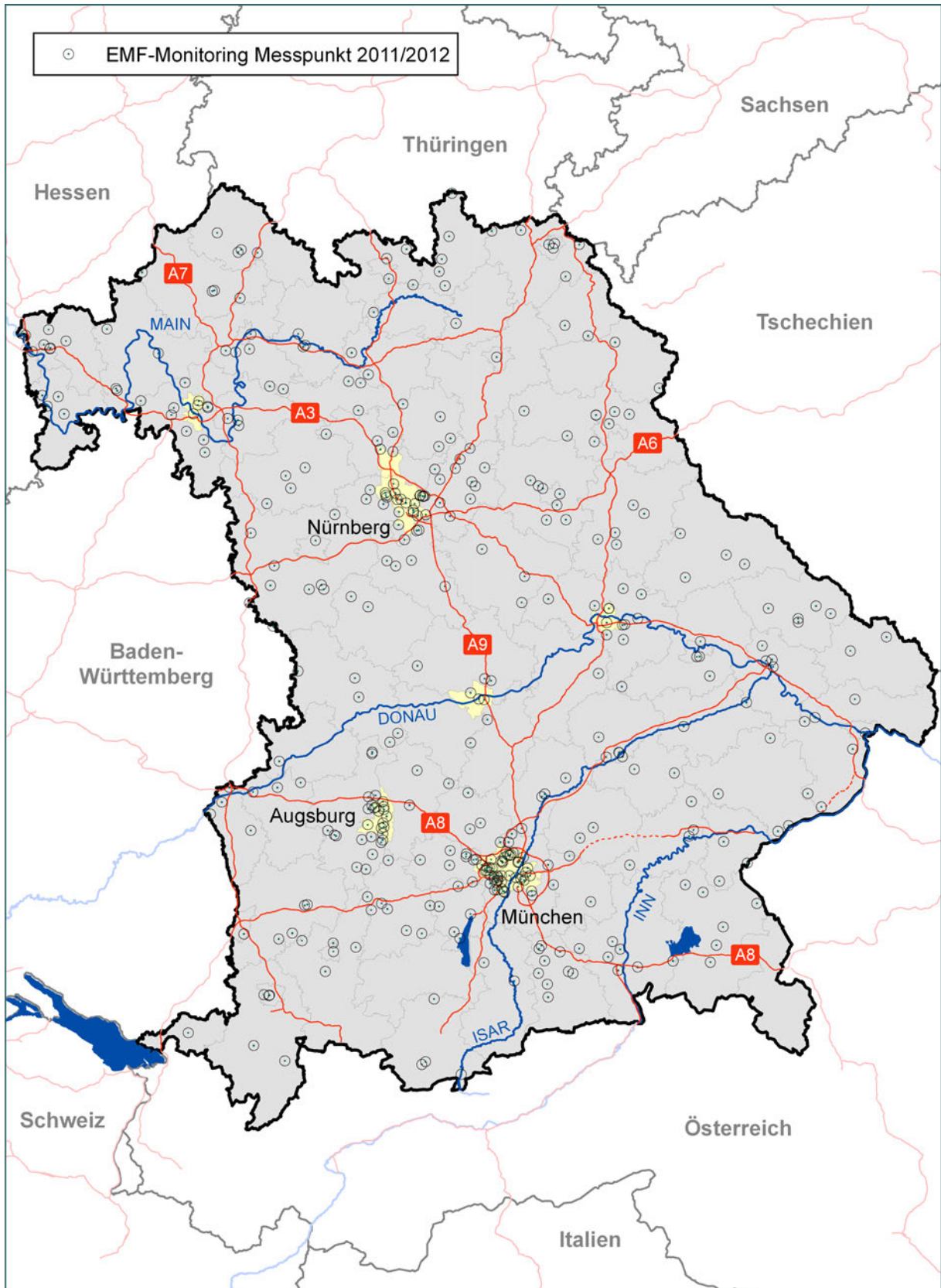


Abbildung 1-1: Lage der 403 EMF-Monitoring-Messpunkte in Bayern. Kartendaten © OpenStreetMap-Mitwirkende.

2 Vorbemerkungen

2.1 Aufbau des Berichts

Der vorliegende Bericht besteht im wesentlichen aus vier großen Blöcken:

- Die Kapitel 1 bis 4 geben einen Überblick über das Messprojekt. Kapitel 1 stellt zunächst die Motivation für eine dritte Messreihe dar. Kapitel 2 enthält allgemeine Erläuterungen zum Bericht, den verwendeten Notationen und Formelzeichen und erläutert, wie Übersichtsgrafiken und Tabellen zu lesen sind. Kapitel 3 geht auf die Durchführung der Messreihe ein und erklärt, welche Unterschiede und Gemeinsamkeiten es zu den vorangegangenen Messreihen gibt. Kapitel 4 befasst sich schließlich mit der Auswertung und beschreibt den Weg von den Messdaten zu den Statistiken im Bericht.
- Die Ergebnisse sind Gegenstand der Kapitel 5 bis 10. Kapitel 5 beginnt mit einer Betrachtung des Lang- und Mittelwellenrundfunks. Die anschließenden Kapitel 6 und 7 behandeln die Ergebnisse und orientieren sich bei der Darstellung an den ICNIRP-Wirkungsmodellen *Stimulationswirkungen* und *thermische Wirkung*. Angaben zur statistischen Signifikanz (Kapitel 8), die Vorstellung des Referenzmesspunkts mit den dortigen Ergebnissen (Kapitel 9) und eine Aufschlüsselung der Ergebnisse nach Gebietsklassen (Kapitel 10) ergänzen den Ergebnisblock.
- Die Zusammenfassung in Kapitel 11 fasst die Erkenntnisse der dritten Messreihen allgemeinverständlich zusammen.
- Ergänzende Informationen sind in die Anhänge A bis E ausgelagert. Hier finden sich neben den Einzelergebnissen aller Messpunkte u. a. auch Hinweise zu den neuen ICNIRP-Referenzwerten aus dem Jahr 2010 und zum Umgang mit fehlenden Daten. Der Bericht schließt mit einer Zusammenstellung wichtiger Aussagen und Fragestellungen des EMF-Monitorings. Sie soll vor allem die Planung und Durchführung der vierten Messreihe erleichtern.

Zur Darstellung der Daten kommen im Bericht einheitliche Tabellen und Grafiken zum Einsatz. Jeder Ergebnisabschnitt besteht aus einer Tabelle *statistische Spannweite*, einer Übersichtsseite mit verschiedenen Diagrammen und Histogrammen und einer Diskussion der Ergebnisse in Textform.

2.2 Statistische Begriffe

Der Bericht verwendet folgende Begriffe aus der Statistik:

- *Quantile* sind ein Lagemaß, das einen Unterschreitungsanteil ausdrückt. *Perzentile* sind spezielle Quantile, bei denen die Verteilung in 100 gleiche Teile zerlegt wird. Im vorliegenden Bericht werden sie im Zusammenhang mit den Ausschöpfungsgraden an Messpunkten verwendet. Im Prinzip ist der p -Perzentil-Wert derjenige Ausschöpfungsgrad, den p % aller Messpunkte unterschreiten und $(100 - p)$ % aller Messpunkte überschreiten.
- Der *Interquartilsabstand* (IQR) ist die Differenz aus den Perzentilen P75 und P25.
- Der *Variationskoeffizient* c_v ist das Verhältnis von Standardabweichung zu (arithmetischem) Mittelwert.
- Der *Quartilsdispersionskoeffizient* c_q ist das Verhältnis von Interquartilsabstand zu Median.

2.3 Notation

Für niederfrequente Felder müssen elektrische und magnetische Feldstärke getrennt gemessen und betrachtet werden. Ab einer Frequenz von etwa 30 kHz können die beiden Felder als gekoppelte elektromagnetische Welle angesehen werden; es genügt dann die Angabe einer der beiden Feldstärken.

Für die Tabellen und Abbildungen dieses Berichts werden zur Bezeichnung der physikalischen Größen folgende Formelzeichen verwendet (siehe auch Tabelle 2-1):

- Elektrische Felder werden mit dem Formelzeichen E , magnetische mit dem Formelzeichen H beschrieben. Da Messgeräte das magnetische Feld über induzierte Spannungen messen, geben sie üblicherweise die magnetische Induktion B aus.
- Ausschöpfungsgrade, d. h. auf den Grenzwert bezogene und geeignet summierte Feldstärkewerte, werden generell mit dem Formelzeichen Q versehen. In einigen Abbildungen, in denen aus Platzgründen keine Langbezeichnung untergebracht werden konnte, gibt ein zusätzlicher Index 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 4.3 bei der Erläuterung der Grenzwertbildung und Summation.
- Quantile der Verteilung erhalten einen numerischen Index. Der Index gibt den Unterschreitungsanteil an. Q_{P50} entspricht dem Median.
- Der Interquartilsabstand ($Q_{P75} - Q_{P25}$) wird in Tabellen abkürzend als *IQR* bezeichnet. Analog wird für die Standardabweichung das Kürzel *SD* verwendet.
- Der arithmetische Mittelwert ist mit dem Index *avg* versehen: Q_{avg} .

2.4 Erklärungen zu den Diagrammen

In dem vorliegenden Bericht wurde, sofern sinnvoll möglich, eine einheitliche Darstellung für die Übersichtsdiagramme jedes Teilaspekts (Niederfrequenz-Immissionen, Hörfunk, Fernsehen, Mobilfunk, etc.) gewählt. I. d. R. sind diese Ergebnisse auf zwei Seiten grafisch zusammengefasst.

2.4.1 Übersichtsseiten

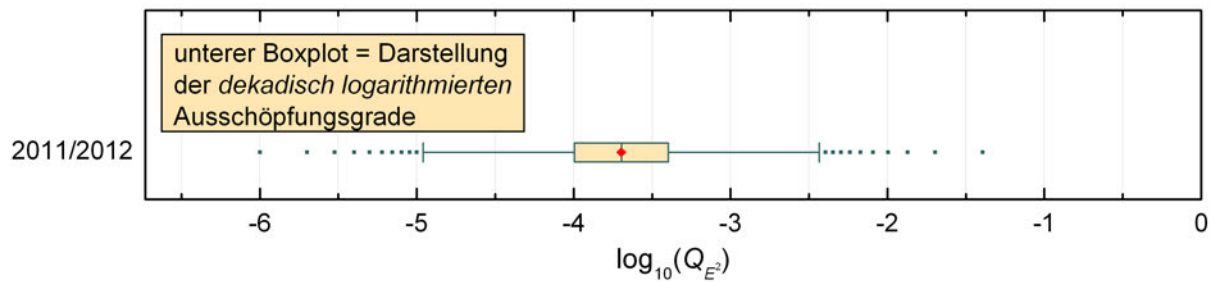
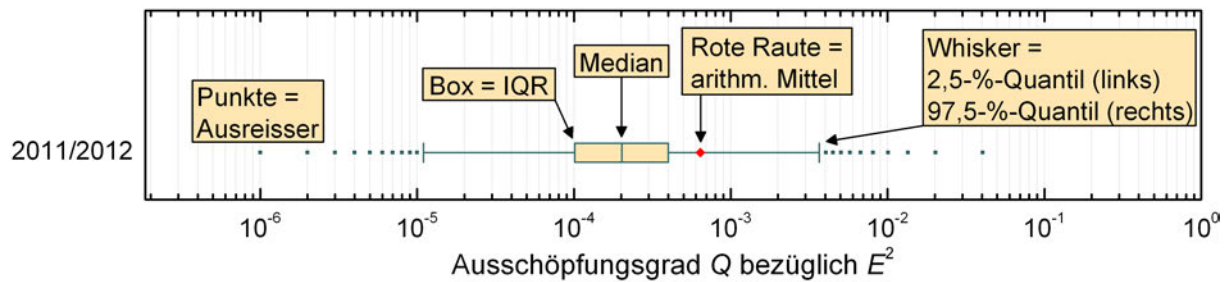
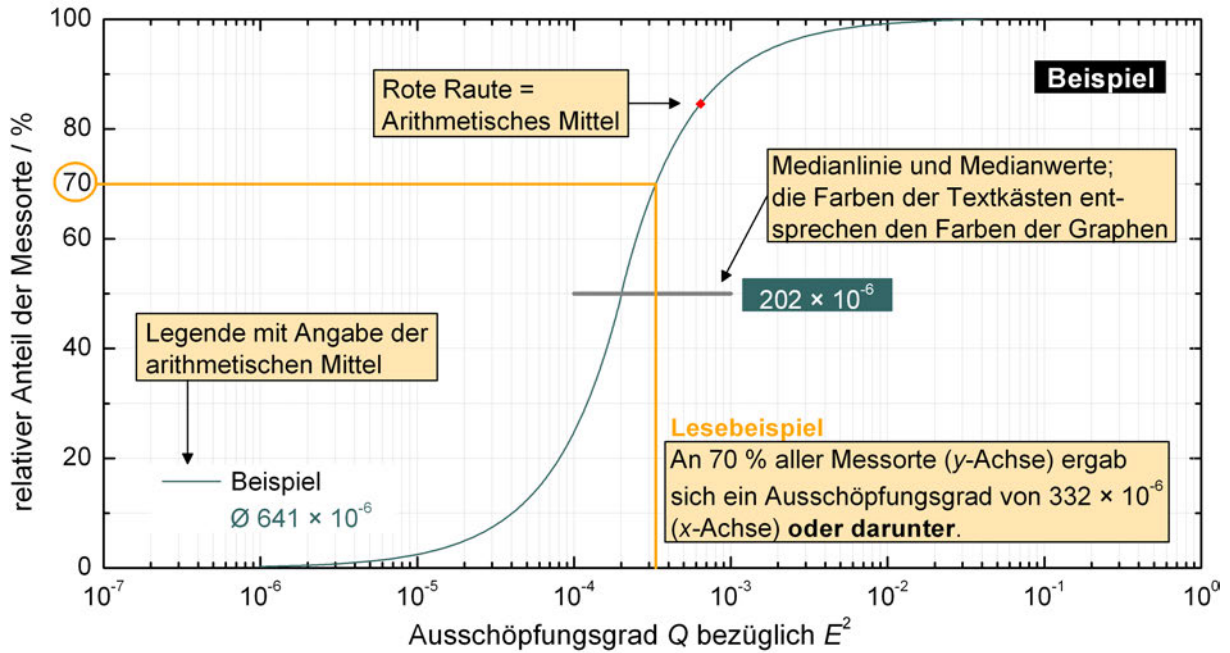
Einheitliche Übersichtsseiten sollen alle wesentlichen Informationen zum jeweiligen Teilaspekt auf einen Blick zeigen. Ein kommentiertes Beispiel für eine solche Übersichtsseite zeigt Abbildung 2-1. Übersichtsseiten sind wie folgt aufgebaut:

2.4.1.1 Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade

Im oberen Diagramm sind die Verteilungen der Ausschöpfungsgrade gezeigt. Die durchgezogenen Linien stellen dabei jeweils die Gesamtimmisionen des betrachteten Teilaspekts dar, i. d. R. für alle drei Messreihen, die durch schwächer werdende Farbgebung (**kräftigste Farbe: aktuelle Messreihe**; **mittlere Farbe: zweite Messreihe 2006/2007**; **blasseste Farbe: erste Messreihe**) gekennzeichnet sind. Rote Rauten markieren das arithmetische Mittel der Immissionen. Gepunktete Linien beziehen sich auf einzelne Beiträge dieses Aspekts, beim Mobilfunk beispielsweise verschiedene Frequenzbänder der drei Mobilfunkgenerationen. Die Einzelergebnisse sind aus Übersichtlichkeitsgründen nur für die Messreihe 2011/2012 gezeigt.

Tabelle 2-1: Physikalische Größen, Formelzeichen und Einheiten.

Physikalische Größe	Formelzeichen	Einheit	Ausschöpfungsgrad	Wirkungsmodell
Elektrische Feldstärke	E	V/m	Q_E	Stimulationswirkungen
Magnetische Feldstärke	H	A/m	–	Stimulationswirkungen
Magnetische Flussdichte	B	T	Q_B	Stimulationswirkungen
Elektrische Feldstärke (quadriert)	E^2	V^2/m^2	Q_{E^2}	thermische Wirkung
Leistungsflussdichte	S	W/m^2	–	thermische Wirkung



Die Kreisdiagramme stellen die mittleren Anteile einzelner Beiträge zu den gesamten dargestellten Immissionen dar. Sie errechnen sich, indem für jeden Messpunkt der Anteil der Einzelbeiträge an der gezeigten Gesamtimmission errechnet und anschließend gemittelt wurde.

Sie beziehen sich immer von links nach rechts mit zunehmender Farbintensität auf die Messreihen 2002/2003, 2006/2007 bzw. 2011/2012.

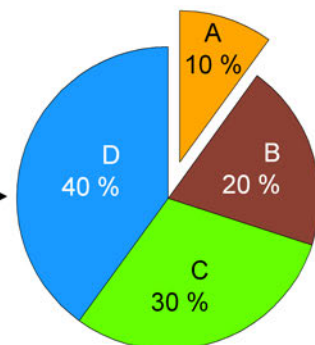


Abbildung 2-1: Beispiel für die Übersichten zu den (hier: thermischen) Ausschöpfungsgraden. Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade insgesamt. Unten: Boxplot für den linearen beziehungsweise dekadisch logarithmierten Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot eingezeichnet.

Das Beispiel in Abbildung 2-1 zeigt einen typischen Verlauf der Ausschöpfungsgrade. Er erstreckt sich über mehrere Größenordnungen, weshalb das arithmetische Mittel (rote Raute) weit oberhalb der 50 % Marke (Median) liegt. Der Medianwert ist der zentrale Ausschöpfungsgrad, der von der Hälfte aller Messpunkte über- und von der anderen Hälfte unterschritten wird. Er wird in den Diagrammen durch die Medianlinie und den farbigen Kasten mit dem Zahlenwert des Medians gekennzeichnet. Im Beispiel beträgt er $202 \cdot 10^{-6}$. Die Farbgebung der Textkästen mit den Medianen folgt dem gleichen System wie die Farbgebung der Verteilungskurven.

Die Verteilungsfunktionen sind als Verknüpfung zwischen einem Ausschöpfungsgrad und einer zugehörigen Anzahl (oder Anteil) von Messpunkten zu lesen. Am abgelesenen Anteil der Messpunkte wird dieser Ausschöpfungsgrad dann erreicht *oder unterschritten*. Im Beispiel würden also 70 % aller Messpunkte einen Ausschöpfungsgrad von *höchstens* $332 \cdot 10^{-6}$ erreichen.

2.4.1.2 Boxplots für die Ausschöpfungsgrade

In der Mitte sind zwei Boxplots abgebildet, in denen die Charakteristika der Gesamtimmissionen zwischen den Messreihen verglichen werden können. Rote Rauten kennzeichnen wieder das arithmetische Mittel. Der zweite Plot zeigt die dekadisch logarithmierten Ausschöpfungsgrade.¹

Im Beispiel (mittlere Diagramme in Abbildung 2-1) liegt die zentrale Hälfte der Messwerte zwischen $100 \cdot 10^{-6}$ und $400 \cdot 10^{-6}$ (geschlossene Box). Der Zentralwert (Median) beträgt $202 \cdot 10^{-6}$ (senkrechter Strich in der Box), d. h. die Hälfte aller Messpunkte weist kleinere Ausschöpfungsgrade als $202 \cdot 10^{-6}$ auf; die andere Hälfte aller Messpunkte weist entsprechend größere Ausschöpfungsgrade aus. Der arithmetische Mittelwert liegt bei $641 \cdot 10^{-6}$ (rote Raute). An 95 % aller Messpunkte bewegen sich die Ausschöpfungsgrade zwischen $11 \cdot 10^{-6}$ und $3680 \cdot 10^{-6}$ (linker und rechter Whisker). Die Ergebnisse an den restlichen 5 % der Messpunkte werden als Ausreisser betrachtet und sind durch einzelne Punkte dargestellt.

2.4.1.3 Anteilsdiagramme

Im unteren Teil der Übersicht befinden sich Kreisdiagramme, die die (ungewichteten²) mittleren Anteile der Einzelbeiträge an den Gesamtimmissionen im Verlauf zwischen den Messreihen zeigen. Sie errechnen sich, indem für jeden Messpunkt der Anteil der Einzelbeiträge an der gezeigten Gesamtimmission errechnet und anschließend gemittelt wurde. Sie beziehen sich immer von links nach rechts auf die Messreihen 2002/2003, 2006/2007 bzw. 2011/2012.

Im Beispiel (unteres Diagramm in Abbildung 2-1) hätte der Funkdienst A im Mittel einen Anteil von 10 % an den gesamten Immissionen.

Kreisdiagramme, die auf Basis der gewichteten Anteile berechnet sind, wurden aus Übersichtlichkeitsgründen in Anhang C ausgelagert. Hierfür wurden zunächst die Immissionen bayernweit gemittelt, und anschließend die Anteile der mittleren Teilimmissionen an den mittleren Gesamtimmissionen berechnet.

¹ Die Logarithmierung birgt folgende Schwierigkeit: Auf Grund des Schwellenwertkonzepts können einzelne Messpunkte Nullwerte aufweisen, die nicht logarithmierbar sind. Es wäre aber nicht korrekt, diese Messpunkte für die Berechnung des Mittelwerts der logarithmierten Daten auszuschließen. Daher wurde die Vorgehensweise gewählt, für solche Messpunkte an Stelle des Nullwerts die nächst kleinere ganzzahlige Dekade anzusetzen, die unter dem Minimum aller Messpunkte liegt. Damit wurden für die Ausschöpfungsgrade in den einzelnen Bereichen folgende Werte an Stelle von Nullwerten verwendet: Niederfrequentes elektrisches Feld 10^{-6} ; niederfrequentes magnetisches Feld 10^{-5} ; LTE, UMTS, GSM-900, GSM-1800 und Gesamtsumme des Mobilfunks jeweils 10^{-10} ; BOS-Funk 10^{-12} ; Kurzwelle (thermische Wirkung) 10^{-9} ; DAB, DVB-T und sonstige Funkdienste jeweils 10^{-11} .

² Zur Berechnung der ungewichteten Anteile wird zunächst für jeden Messpunkt der Anteil an den Gesamtimmissionen dieses Messpunkts ermittelt. Anschließend werden die Anteile gemittelt. Die gewichteten Anteile sind dagegen die Anteile der gemittelten Teilimmissionen an den gemittelten Gesamtimmissionen. Sie werden in Anhang C behandelt.

2.4.2 Histogramme

An die Übersichtsseite schließt sich jeweils eine Seite mit sechs Histogrammen an. Sie zeigen von oben nach unten die drei Messreihen, wobei das jeweils linke Histogramm die linearen Daten und das rechte Histogramm die dekadisch logarithmierten Daten darstellt.

Die Histogramme zeigen die Häufigkeitsverteilung der Immissionen. Die Fläche eines Balkens repräsentiert die relative Häufigkeit dieser Klasse; seine Höhe stellt die relative Häufigkeitsdichte dar, d. h. die Häufigkeit dividiert durch die Breite der Klasse.

Die Klassenzahl k wurde nach der Sturges-Regel gewählt:

$$k = 1 + \log_2 N \quad (2.1)$$

Bei $N = 403$ Datensätzen ergibt dies 10 Klassen.

Die Klassenbreite w wurde gemäß der Regel von Freedman und Diaconis berechnet:

$$w = \frac{2 \cdot (Q_{P75} - Q_{P25})}{\sqrt[3]{N}} \quad (2.2)$$

Auf Grund der großen Spannweite der linearen Daten ergibt sich meist eine sehr breite letzte Klasse. Da die Histogramme eine flächenproportionale Darstellung der vorliegenden Häufigkeiten repräsentieren, besitzt diese letzte Klasse dann keine darstellbare Höhe mehr. Lediglich der darüber angegebene Prozentwert weist darauf hin, dass noch ein entsprechender Anteil an Messorten mit höheren Immissionen vorliegt.

In allen Histogrammen ist die Klasse, die den Mittelwert (arithmetisches Mittel) enthält, rot eingefärbt. Die Klasse, die den Median enthält, ist schraffiert gezeichnet.

Der in den Histogrammen angegebene Wert v steht für die Schiefe der Verteilung. Er errechnet sich nach folgender Formel:

$$v = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \left(\frac{Q_i - Q_{\text{avg}}}{Q_{\text{SD}}} \right)^3 \quad (2.3)$$

Hierin sind Q_i der Ausschöpfungsgrad am Messpunkt i , Q_{avg} das arithmetische Mittel der Ausschöpfungsgrade und Q_{SD} die Standardabweichung der Ausschöpfungsgrade. Verteilungen mit positivem v werden als *rechtsschief*, solche mit negativem v als *linksschief* bezeichnet.

Abbildung 2-2 zeigt exemplarisch die Histogramme zu denselben Daten, die Abbildung 2-1 zu Grunde liegen. Aus der Anzahl an Datenpunkten ($N = 403$) ergibt sich für die Anzahl der Klassen ein Richtwert von $k = 10$. Für die Breite der Klassen ergibt sich aus dem Interquartilsabstand ($\text{IQR} = Q_{P75} - Q_{P25} \approx 297 \cdot 10^{-6}$) als Anhaltspunkt $w = 80 \cdot 10^{-6}$, der im Beispiel auch verwendet wurde.

Die Ausschöpfungsgrade an den 403 Messpunkten verteilen sich folgendermaßen auf die Klassen:

- Je 80 Messpunkte mit Ausschöpfungsgraden zwischen $0 \cdot 10^{-6}$ (kleinster Wert: $1 \cdot 10^{-6}$) und $80 \cdot 10^{-6}$ sowie zwischen $80 \cdot 10^{-6}$ und $160 \cdot 10^{-6}$.
- 75 Messpunkte mit Ausschöpfungsgraden zwischen $160 \cdot 10^{-6}$ und $240 \cdot 10^{-6}$, darunter der Median von $202 \cdot 10^{-6}$.
- 42 Messpunkte mit Ausschöpfungsgraden zwischen $240 \cdot 10^{-6}$ und $320 \cdot 10^{-6}$.
- 26 Messpunkte mit Ausschöpfungsgraden zwischen $320 \cdot 10^{-6}$ und $400 \cdot 10^{-6}$.
- 16 Messpunkte mit Ausschöpfungsgraden zwischen $400 \cdot 10^{-6}$ und $480 \cdot 10^{-6}$.
- 12 Messpunkte mit Ausschöpfungsgraden zwischen $480 \cdot 10^{-6}$ und $560 \cdot 10^{-6}$.
- 9 Messpunkte mit Ausschöpfungsgraden zwischen $560 \cdot 10^{-6}$ und $640 \cdot 10^{-6}$.

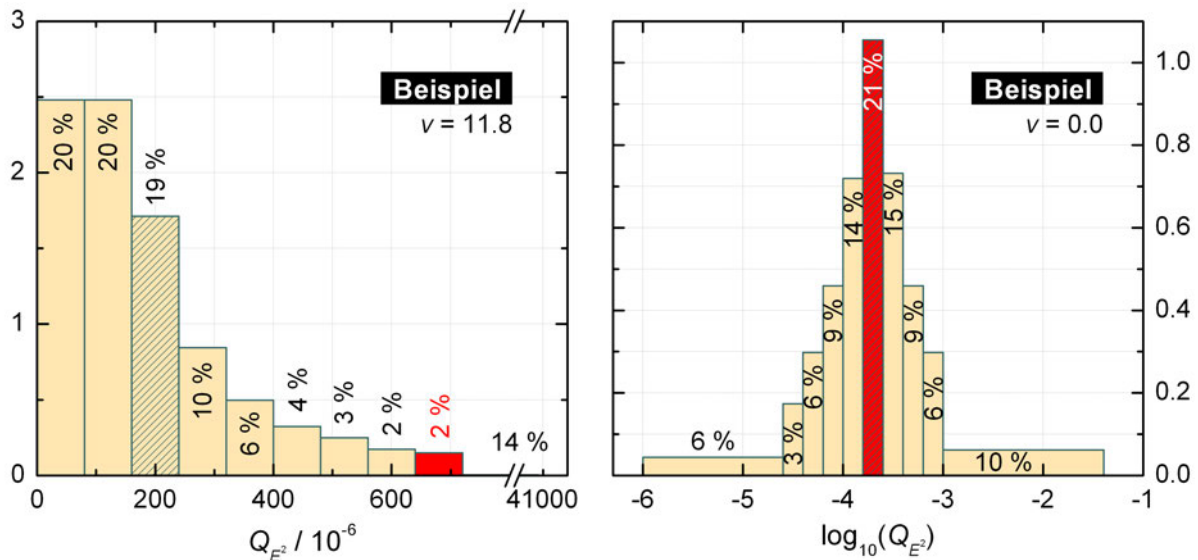


Abbildung 2-2: Beispielhafte Histogramme für die (hier: thermischen) Ausschöpfungsgrade aus Abbildung 2-1. Links: Lineare Betrachtung. Rechts: Histogramme für den dekadisch logarithmierten Ausschöpfungsgrad. Die rot eingefärbte Klasse enthält jeweils den Mittelwert, die schraffierte Klasse den Median.

- 7 Messpunkte mit Ausschöpfungsgraden zwischen $640 \cdot 10^{-6}$ und $720 \cdot 10^{-6}$, darunter der Mittelwert von $641 \cdot 10^{-6}$.
- 56 Messpunkte mit Ausschöpfungsgraden von $720 \cdot 10^{-6}$ und darüber. Der Maximalwert liegt bei $40400 \cdot 10^{-6}$.

Diese Häufigkeiten sind in den Histogrammen prozentual angegeben.

Das Beispiel weist eine ausgeprägte Rechtsschiefe ($v = 11,8$) auf und entspricht in diesem Punkt den später gezeigten Monitoringdaten. Die Schiefe resultiert daher, dass der überwiegende Teil der Messpunkte sehr geringe Ausschöpfungsgrade aufweist, die gesamte Bandbreite an Ausschöpfungsgraden sich aber über mehrere Größenordnungen erstreckt. Daraus resultiert ein vergleichsweise hoher Mittelwert, der in der Verteilungsfunktion meist um 80 % (im vorliegenden Beispiel bei 85 %) liegt, d. h. an ca. 80 % aller Messpunkte liegen die Immissionen unter dem arithmetischen Mittel.

In den Histogrammen äußert sich diese Charakteristik der Verteilungen darin, dass das arithmetische Mittel tendenziell in einer der höheren, nicht selten der höchsten Klasse zu liegen kommt (hier im Beispiel in der zweithöchsten Klasse), wohingegen der Median in einer der niedrigen Klassen fällt (hier im Beispiel in die drittniedrigste).

Die extreme Spannweite der Ausschöpfungsgrade über mehrere Dekaden wird aufgehoben, wenn stattdessen mit logarithmierten Daten gearbeitet wird. Die logarithmierten Werte bewegen sich dann zwischen $\log(1 \cdot 10^{-6}) = -6$ und $\log(40400 \cdot 10^{-6}) = -1,4$. Da sich die Reihenfolge der Werte durch die Logarithmierung nicht ändert, bleibt die Lage der Perzentile erhalten. Für die Histogramme eignet sich eine neue Klassenbreite von $w = 0,2$, die wiederum aus Formel 2.2 folgt und zu folgender Einteilung führt:

- 25 Messpunkte mit Logarithmen zwischen $-6,0$ und $-4,6$ (entspricht $1 \cdot 10^{-6}$ bis $25 \cdot 10^{-6}$).
- 14 Messpunkte mit Logarithmen zwischen $-4,6$ und $-4,4$ (entspricht $25 \cdot 10^{-6}$ bis $40 \cdot 10^{-6}$).
- 24 Messpunkte mit Logarithmen zwischen $-4,4$ und $-4,2$ (entspricht $40 \cdot 10^{-6}$ bis $63 \cdot 10^{-6}$).
- 37 Messpunkte mit Logarithmen zwischen $-4,2$ und $-4,0$ (entspricht $63 \cdot 10^{-6}$ bis $100 \cdot 10^{-6}$).
- 58 Messpunkte mit Logarithmen zwischen $-4,0$ und $-3,8$ (entspricht $100 \cdot 10^{-6}$ bis $158 \cdot 10^{-6}$).
- 85 Messpunkte mit Logarithmen zwischen $-3,8$ und $-3,6$ (entspricht $158 \cdot 10^{-6}$ bis $251 \cdot 10^{-6}$),

- darunter Mittelwert $(-3,7)$ und Median $(-3,7)$ der logarithmierten Verteilung.³
- 59 Messpunkte mit Logarithmen zwischen $-3,6$ und $-3,4$ (entspricht $251 \cdot 10^{-6}$ bis $398 \cdot 10^{-6}$).
 - 37 Messpunkte mit Logarithmen zwischen $-3,4$ und $-3,2$ (entspricht $398 \cdot 10^{-6}$ bis $631 \cdot 10^{-6}$).
 - 24 Messpunkte mit Logarithmen zwischen $-3,2$ und $-3,0$ (entspricht $631 \cdot 10^{-6}$ bis $1000 \cdot 10^{-6}$).
 - 40 Messpunkte mit Logarithmen zwischen $-3,0$ und $-1,4$ (entspricht $1000 \cdot 10^{-6}$ bis $40400 \cdot 10^{-6}$).

Die Verteilung der Ausschöpfungsgrade, die letztlich aus der reziproken Entfernungsabhängigkeit von der Immissionsquelle resultiert, lässt sich also in logarithmierter Form geeigneter darstellen: Das logarithmierte Histogramm (rechte Grafik in Abbildung 2-2) ist näherungsweise normalverteilt, d. h. auch die Schiefe verschwindet, und sowohl Mittelwert als auch Median bilden das Zentrum der Verteilung.

2.5 Erläuterung zu den Tabellen *Statistische Spannweite*

Die Tabellen "Statistische Spannweite" geben Auskunft über die höchsten und niedrigsten aufgetretenen Werte. Sie enthalten spaltenweise folgende Daten:

- AVG: Arithmetischer Mittelwert der Einzelmessungen an einem Messort.
- MIN, MAX: Niedrigster und höchster Einzelwert an einem Messort.
- SD: Standardabweichung der Einzelmessungen an einem Messort.

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 Bereich der Stimulationseffekte 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, einen höchsten Wert und einen Durchschnittswert der jeweils 10 Messungen. Hierauf beziehen sich die Spalten MIN, MAX und AVG. Von diesen 400 niedrigsten, höchsten und mittleren Werten gibt es wiederum jeweils einen größten. Darauf bezieht sich die Zeile *Höchster Wert der Messorte*, die somit den höchsten Minimalwert, den höchsten Maximalwert und den höchsten Durchschnittswert angibt. Für die Zeile *Mittelwert über die Messorte* gilt analoges: sie gibt den durchschnittlichen Minimalwert, durchschnittlichen Maximalwert und durchschnittlichen Mittelwert an.

Die Kombination aus der Spalte AVG und der Zeile *Mittelwert über die Messorte* entspricht dem arithmetischen Mittel Q_{avg} , wie es jeweils im Text diskutiert oder in anderen Tabellen enthalten ist. Gleiches gilt für die Kombination aus der Spalte AVG und der Zeile *Standardabweichung*; sie entspricht der Standardabweichung SD.

2.6 Unterschiede zum letzten Bericht

Die Auswertung des EMF-Monitorings erfolgt seit der ersten Messreihe prinzipiell nach dem gleichen Algorithmus (Kapitel 4). Es gibt an einigen Stellen jedoch Freiheitsgrade, die bisweilen unterschiedlich gehandhabt wurden oder werden. Zwar ergeben sich daraus keine gravierenden Unterschiede, doch sie fallen insbesondere dann auf, wenn Ergebnisse der ersten oder zweiten Messreihe zwischen dem

³ Die Perzentile werden durch die Logarithmierung nicht beeinflusst, weshalb der Medianwert der logarithmierten Verteilung dem logarithmierten Medianwert der linearen Verteilung entspricht. Der Mittelwert der logarithmierten Verteilung kann dagegen *nicht* durch Logarithmieren des Mittelwerts der linearen Verteilung berechnet werden; ihm liegt vielmehr die Summe der Logarithmen zu Grunde, weshalb er sich deutlich vom Mittelwert der linearen Verteilung unterscheidet.

vorliegenden Bericht und einem der früheren Berichte verglichen werden. Sie kommen aus folgenden Gründen vor und lassen sich nicht ganz vermeiden:

- Bei den Gesamtimmisionen des thermischen Bereichs wurde auf Vorschlag des Fachbeirats eine Korrektur an der Summation vorgenommen. Im letzten Bericht des EMF-Monitorings enthielt die Gesamtsumme auch die Immissionen von Mobilfunk-Uplinks⁴. Auf Grund ihres zufälligen Charakters und möglicher Beeinflussung durch die Mitarbeiter bei der Messung wurde im vorliegenden Bericht davon abgesehen, Uplinks in die Gesamtergebnisse mit einzubeziehen. Um die Messreihen weiterhin vergleichbar zu halten, wurden auch die Auswertungen der Jahre 2002/2003 und 2006/2007 ohne Uplinks neu berechnet.
- Im Abschlussbericht zur zweiten Messreihe [2] waren die Daten in den Spalten *SD* der Tabellen *Statistische Spannweite* leider fehlerhaft. Grund hierfür war ein Fehler in der zu Grunde liegenden Auswertesoftware.
- Mit Ausnahme des Medians, dessen Berechnungsart weitgehend standardisiert ist, existieren verschiedene Methoden für die Berechnung anderer Quantile.⁵ Ergibt die Position $N \cdot p$, an der das p -Quantil abzulesen ist, einen nicht-ganzzahligen Wert, so variieren die Definitionen zwischen der Probennahme an der nächstgrößeren Stelle, einer Mittelwertbildung der beiden benachbarten Werte oder einer gewichteten Mittelung derselben. Je nachdem, wie weit diese beiden Werte auseinander liegen, können die Quantile bisweilen deutlich voneinander abweichen. Die Funktion *PERCENTILE (QUANTIL)* in Excel 2010 arbeitet offensichtlich mit einer gewichteten Mittelung; auf ihr basieren die Berechnungen für diesen Bericht.
- Die Auswertung niederfrequenter elektrischer Felder wurde mehrfach angepasst (siehe Kapitel 4.1.1) und wurde erforderlich, weil die Messempfindlichkeit für elektrische Felder inzwischen schlechter als der vom Hersteller angegebene Schwellenwert ist. Deshalb musste für die Auswertung der elektrischen Feldstärke im Niederfrequenzbereich eine angepasste Nachweisschwelle verwendet werden.
- Manche Spektren des niederfrequenten Magnetfelds, seltener auch des niederfrequenten elektrischen Felds, konnten nicht in die Auswertung einfließen, weil nur ein rauschähnliches Signal mit hoher Feldstärke aufgezeichnet wurde (siehe Kapitel 4.1.1). Dieses Problem wurde bereits in der ersten Messreihe beobachtet, schien bei der zweiten Messreihe aber gelöst. Im Rahmen der Auswertung der dritten Messreihe trat es erneut auf; zusätzlich wurden bei nochmaliger Durchsicht der Daten aus der zweiten Messreihe dort ebenfalls vereinzelt fehlerhaft aufgezeichnete Niederfrequenzspektren entdeckt und von der Auswertung ausgenommen. Da sich dadurch die Datenbasis zwischen den Auswertungen unterscheidet, kommt es zu Abweichungen in den Ergebnissen.
- Die Wahl bereits leicht unterschiedlicher Schwellenwerte bei den Hochfrequenzmessungen führt vor allem dann, wenn ein Messpaket insgesamt geringe Ausschöpfungsgrade nahe dem Noise floor (Grundrauschen) aufweist, zu geringen Unterschieden in den Zahlenwerten.

⁴ Übertragungsrichtung vom Mobilgerät zur Basisstation.

⁵ Siehe dazu beispielsweise den Artikel *Quantile* bei WolframMathWorld, <http://mathworld.wolfram.com/Quantile.html>

3 Durchführung

3.1 Messgeräte

Die bei den bisherigen Messreihen verwendete Messtechnik wurde vollständig beibehalten. Sie besteht aus einem automatischen Messsystem für den Hochfrequenzbereich ab 60 kHz (spezifiziert ab 9 kHz) und zwei Sonden für niederfrequente elektrische und magnetische Felder bis 32 kHz (Abbildung 3-1).



Abbildung 3-1: Messaufbau beim EMF-Monitoring. V. l. n. r.: Loop-Antennen (LW/MW/KW), Antennenturm für den Frequenzbereich zwischen 20 MHz und 3,0 GHz, Sonden für niederfrequente magnetische Felder und niederfrequente elektrische Felder bis jeweils 32 kHz.

Für die automatischen Messungen im Hochfrequenzbereich kamen folgende Komponenten von Rohde & Schwarz zum Einsatz:

- Zwei Loop-Antennen HFH2-Z2 zur Erfassung der magnetischen Feldstärke im Frequenzbereich von 9,0 kHz bis 30 MHz. Die Umrechnung in elektrische Feldstärke erfolgt unter der Annahme von Fernfeldbedingungen per Kalibrierungstabelle.
- Zwei Antennen HF902 für die horizontale und vertikale Komponente der elektrischen Feldstärke zwischen 800 MHz und 3,0 GHz.
- HF214 für die horizontale Komponente der elektrischen Feldstärke zwischen 500 MHz und 1,3 GHz.
- 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.
- Kalibrierte Antennenkabel für alle verwendeten Pfade.⁶

⁶ Ein *Pfad* bezeichnet im EMF-Monitoring eine durchgehende Verbindung zwischen dem Spektrumanalyzer und einer Antenne. Mittels Umschalter können nacheinander verschiedene Antennen auf den (einen) Signaleingang des Spektrumanalyzers gelegt werden. Das EMF-Monitoring arbeitet insgesamt mit sieben Antennen, woraus sich insgesamt sieben Pfade ergeben. Zwar sind alle Pfade auf dem Abschnitt zwischen Umschalter und Spektrumanalyzer identisch, aber vor dem Umschalter kommen unterschiedliche Kabel(längen) zum Einsatz. Deshalb weist jeder Pfad eine individuelle Dämpfung auf.

- Spektrumanalyzer ESPI7.

Das gesamte Messsystem wurde vor Beginn der Messreihe 2011/2012 im März 2011 bei Rohde & Schwarz einer Werkskalibrierung nach ISO-9000 unterzogen. Dabei aufgetretene Probleme wurden von Rohde & Schwarz beseitigt. Im Rahmen der Kalibrierung wurde die Frequenzabhängigkeit des Antennengewinns bei Antenne HE309 neu vermessen, wohingegen den restlichen Komponenten die ordnungsgemäße Funktion im Rahmen der Spezifikation bestätigt wurde. Diese Vorgehensweise war auch bei den bisherigen Messreihen üblich. Die Antennenfaktoren und Kabeldämpfungen werden im Abschnitt 3.3.1 diskutiert.

Die Mess-Hardware wurde von einem Laptop mittels geeigneter Messroutinen automatisch angesteuert. Verwendet wurde die Software *RFEX* von Rohde & Schwarz in der Version 4.1.6.⁷ Die Software arbeitet mit Messpaketen, die für jeden einzelnen Funkdienst die spezifischen Einstellungen (Frequenzbereich, Antennenpositionen für die horizontale und vertikale Polarisationssebene, Auflösebandbreite, RMS- oder Max-Peak-Detektor, Verweildauer, Kanalraster, etc.) enthalten.

Durch das automatische Messsystem und das Konzept der Messpakete ist ein möglichst einheitlicher Ablauf an allen 403 Messpunkten gegeben. An jedem Messpunkt wurde das Messprogramm (Details hierzu im Abschnitt 3.2) i. d. R. zehnmal durchlaufen, um eine Mittelwertbildung über kurzzeitige Feldstärkeänderungen zu ermöglichen.

Die Messbedingungen wurden gegenüber früheren Messreihen ebenfalls beibehalten, d. h. Messungen erfolgten nicht bei Umgebungstemperaturen unter 0 °C und bei Regen, um Dämpfungseffekte auf Grund feuchter Antennen zu vermeiden und um das Messsystem zu schützen. Messungen bei weniger als 5 °C wurden lediglich in Ausnahmefällen (fünf Messpunkte) durchgeführt. Dadurch war sichergestellt, dass das Messsystem im Rahmen seiner Temperaturspezifikation betrieben wurde.

Der Niederfrequenzbereich wurde mit zwei Messfeldsonden, je eine für die elektrische und die magnetische Feldstärke, manuell gemessen. Zum Einsatz kam wie in den früheren Messreihen eine EFA-300-Messfeldsonde der Firma Narda Safety Test Solutions. Sie arbeitet mit zwei Frequenzbereichen:

- 5 Hz bis 2,0 kHz bei einer Auflösung von 1 Hz
- 40 Hz bis 32 kHz bei einer Auflösung von 10 Hz

Mit Beginn der Messreihe 2006/2007 (zweite Messreihe) wurde dazu übergegangen, jeweils beide Frequenzbereiche zu erfassen. Bei jeder Einzelmessung wurden RMS-Spektren ca. eine Minute lang im Max-Hold-Modus aufgenommen und abgespeichert. An jedem Messpunkt wurden drei Einzelmessungen jeweils der elektrischen und der magnetischen Feldstärke in jeweils beiden Frequenzbändern durchgeführt, sodass pro Messpunkt insgesamt 12 Niederfrequenz-Spektren anfielen.

Die Sonde für die elektrische Feldstärke wurde nach Abschluss der zweiten Messreihe vom Hersteller Narda Safety Test Solutions geprüft. Die Magnetfeldsonde wurde im April 2012 auf Grund eines Schadens gegen eine neue, werkskalibrierte Sonde getauscht.

3.2 Automatische Messpakete

Die korrekte Erfassung der Exposition erfordert die Erstellung geeigneter Messpakete. Seit der ersten Messreihe hat sich die Anzahl verwendeter Messpakete deutlich erhöht und spiegelt damit die Komplexität der heutigen Funklandschaft wider. Die Messpakete der dritten Messreihe sind im Detail in Anhang E beschrieben.

Im Wesentlichen wurden in den Messpaketen folgende Änderungen umgesetzt:

- Im Hörfunk wurde das DAB-Messpaket auf das gesamte VHF-Frequenzband III ausgeweitet (bislang: nur Kanal E12). Das DAB-Messpaket für das L-Band, bislang ein Standard-Messpaket, wurde

⁷ Tests mit einer neueren Version wurden vor Beginn der Messreihe durchgeführt, ergaben aber eine deutliche Verlängerung der Messdauer trotz ansonsten gleicher Messpakete. Vom Einsatz der neuesten *RFEX*-Version wurde deshalb abgesehen.

- als optional deklariert, da das DAB-Digitalradio vom L-Band in das VHF-III-Band verlagert wurde. Die Pakete für Lang-, Mittel-, Kurz- und Ultrakurzwellen blieben unverändert.
- Beim Fernsehen entfällt die doppelte Erfassung der Frequenzbänder, die wegen der Mischnutzung des analogen und digitalen Fernsehens zuletzt erforderlich war. Die Messung deckt nur noch den Frequenzbereich zwischen 470 MHz und 790 MHz ab, da die Frequenzen oberhalb von 790 MHz im Mai 2010 an den Mobilfunk vergeben wurden (sogenannte "Digitale Dividende") und die Frequenzen im VHF-III-Band inzwischen dem Digitalradio DAB zugewiesen wurden.
 - Die Mobilfunk-Messpakete wurden um neue Pakete im Frequenzbereich zwischen 790 MHz und 862 MHz ergänzt, welcher im Rahmen der sogenannten "Digitalen Dividende" inzwischen für LTE genutzt wird. Die weiteren Messpakete blieben gleich. Für den GSM-Downlink wurden testweise neue Standardmesspakete aufgenommen, die eine RMS-Erfassung ermöglichen sollten; auf Grund technischer Probleme (siehe Kapitel 7.3.4) wurde deren Auswertung nicht weiter verfolgt.
 - Für die Funknetze der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS-Funk) wurden neue Standard-Messpakete geschaffen, die sowohl den Analog- (verschiedene Frequenzbereiche) als auch den Digitalfunk (TETRA BOSNET bei 390 MHz bis 395 MHz) abdecken.
 - Für privatwirtschaftliche Bündelfunknetze nach TETRA-Standard (im Frequenzbereich 420 MHz – 430 MHz) wurde ein neues optionales Paket geschaffen.
 - Die Schließung von Frequenzlücken zwischen den Paketen für gängige Funkdienste übernahmen weiterhin optionale Messpakete, die zum Teil umorganisiert wurden.

3.3 Reproduzierbarkeit der Messungen

3.3.1 Antennenfaktoren und Kabeldämpfung

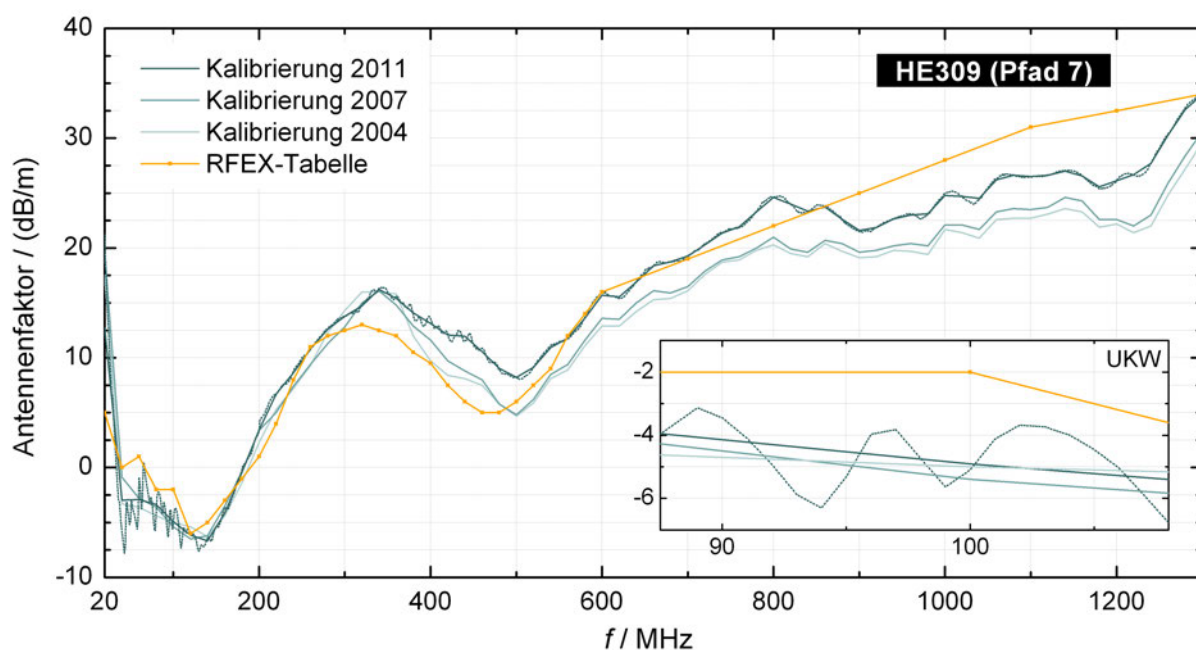


Abbildung 3-2: Frequenzabhängigkeit des Antennengewinns der Antenne HE309 (Pfad 7). Inset: Vergrößerte Darstellung des UKW-Bereichs. In bisherigen Auswertungen wurden die mit RFX mitgelieferten Kalibrierdaten verwendet. Für die Auswertungen in diesem Endbericht wurden die von Rohde & Schwarz gemessenen Antennenfaktoren zu Grunde gelegt, wobei die Kalibrierkurve 2011, wie sie von Rohde & Schwarz geliefert wurde (gepunktete Kurve), auf ein Raster von 20 MHz geglättet wurde (durchgezogene Kurve).

Antennenfaktoren berücksichtigen die Frequenzabhängigkeit des Antennengewinns und dienen der Umrechnung von Spannungen in Feldstärken. Kabeldämpfungen berücksichtigen darüber hinaus Verluste im Signalpfad und deren Frequenzabhängigkeit.

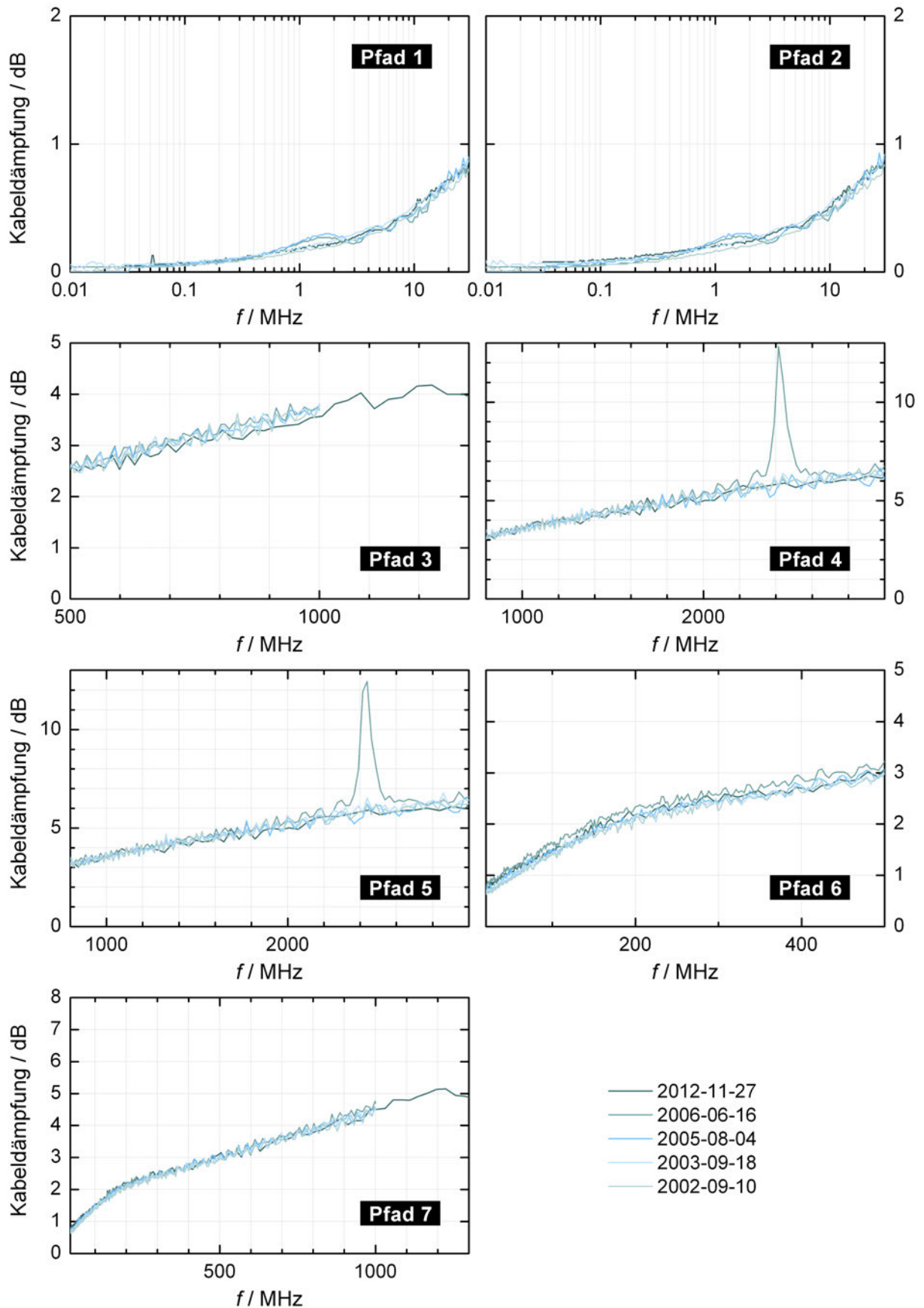


Abbildung 3-3: Kabeldämpfungen aller Pfade im Vergleich zwischen verschiedenen Messreihen. Alle Diagramme zeigen die Kabeldämpfung in dB in Abhängigkeit von der Frequenz f in MHz.

Für alle Antennen liegen Tabellen mit Antennenfaktoren von Rohde & Schwarz vor, die für die Auswertung zum Einsatz kamen. Mit Ausnahme der Antenne HE309 (Pfad 7) handelt es sich um pauschale Standardwerte, die für alle Messreihen gleich sind. Der Hersteller bestätigt im Rahmen der Werkskalibrierung die Funktionsfähigkeit der Antennen im Rahmen der Spezifikation.

Antenne HE309 wurde als einzige bei den Werkskalibrierungen jeweils neu vermessen und besitzt deshalb einen individuellen Satz von Kalibrierdaten für die jeweiligen Messreihen (Abbildung 3-2). Die Antennenfaktoren früherer Kalibrierungen wurden von Rohde & Schwarz mit einem Frequenzraster von 20 MHz geliefert, wohingegen bei der jüngsten Kalibrierung im April 2011 die Daten mit einem Frequenzraster von 1 MHz vorliegen. Zur Vergleichbarkeit und Glättung insbesondere im UKW-Bereich (Inset in Abbildung 3-2) wurden diese Daten ebenfalls auf ein Raster von 20 MHz heruntergemittelt.

Insgesamt weist die Kalibrierung der Antenne HE309 des Jahres 2011 gegenüber den früheren Kalibrierungen im Mittel eine Verschlechterung um 2 dB auf, die wahrscheinlich auf Alterungseffekte zurückzuführen ist.

Die Kabeldämpfungen sind für alle sieben Pfade in Abbildung 3-3 gezeigt. Sie werden vom LfU in unregelmäßigen Abständen nach folgendem Algorithmus selbst generiert:

- In einem ersten Schritt wird mit einem Hilfskabel eine Verbindung zwischen dem Ausgang des Signalgenerators des Spektrumanalyzers mit dessen Signaleingang hergestellt. Der Signalgenerator erzeugt eine Sinusspannung fortlaufender Frequenz, die am Eingang wieder gemessen und frequenzabhängig abgespeichert wird.
- Im zweiten Schritt wird mit der gleichen Vorgehensweise der komplette zu vermessende Signalpfad einschließlich des Hilfskabels aus Schritt eins durchgemessen.
- Die Kabeldämpfung des Signalpfads ergibt sich anschließend aus der Differenz der beiden Werte.

Obwohl manche Kabel mehrfach getauscht wurden, ergibt sich insgesamt eine gute Übereinstimmung der Dämpfungen bei den verschiedenen Kalibrierungen. Lediglich in Pfad 4 und 5 ergab sich bei einer Messung ein ungewöhnlicher Ausreißer bei 2,4 GHz. Die betroffenen Kabel wurden deshalb für die dritte Messreihe ausgetauscht. Es ergibt sich aber keine wesentliche Beeinflussung für die Ergebnisse der zweiten Messreihe, da nur Frequenzen eines optionalen Messpakets, nicht aber der gängigen Funkdienste betroffen waren.

3.4 Messdauer

Das bislang umfangreichste Messprogramm aller Messreihen (siehe Kapitel 3.2 und Kapitel E) führte zu einer weiteren Verlängerung der Messdauer. Im Mittel lag die Messzeit pro Messpunkt⁸ bei 82 min (untere Grafik in Abbildung 3-4). Zum Vergleich: in der zweiten Messreihe dauerte die Messung an einem Messpunkt rund 74 min, bei der ersten Messreihe sogar nur 62 min. Die längere Messzeit ist unmittelbare Folge der immer komplexeren Frequenznutzung. Vereinfachungen, die sich für die Messung einzelner Funkdienste gegenüber der letzten Messreihe ergaben – beispielsweise beim Fernsehen –, wurden an anderer Stelle wieder mehr als ausgeglichen.

Die dritte Messreihe stand dadurch erstmals vor der Schwierigkeit, überhaupt vor Einbruch des zweiten Winters (im Jahr 2012) noch abgeschlossen werden zu können. Die früheren Messreihen waren jeweils im Juli beendet, wohingegen sich die Messungen nun bis in den späten Oktober erstreckten (obere Grafik in Abbildung 3-4).

3.4.1 Zeitliche Reproduzierbarkeit

Unter die zeitliche Reproduzierbarkeit fallen mit der tageszeitlichen und mit der jahreszeitlichen Reproduzierbarkeit zwei verschiedene Aspekte.

⁸ Gemessen vom Start des ersten Messdurchlaufs bis zum Ende des letzten Durchlaufs, d. h. ohne Auf- und Abbau der Geräte.

Die *tageszeitliche* Reproduzierbarkeit, d. h. an jedem Messpunkt die Messungen wieder etwa zur gleichen Tageszeit wie in der vorherigen Messreihe durchzuführen, ist praktisch nicht leistbar. Das liegt daran, dass zu viele Unwägbarkeiten den Ablauf beeinflussen. Bereits bei einer eintägigen Messtour können die Verkehrssituation oder Baustellen auf dem Weg zum Messpunkt zu Verschiebungen führen. Am Messpunkt kann vielleicht nicht sofort begonnen werden, weil er durch parkende Autos blockiert ist. Die Witterungsverhältnisse (z. B. aufziehende Gewitter) können sogar einen Abbruch der Tagestour erforderlich machen. Das umfangreiche Messprogramm tut sein übriges, indem die Summe der Messzeiten später am Tag vorgesehene Messpunkte sukzessive nach hinten verschiebt. Auf der anderen Seite ist eine Tour aber manchmal auch in kürzerer Zeit als in früheren Messreihen durchführbar, wenn Wetter und sonstige Einflüsse entsprechend wohlgesonnen sind.

Im EMF-Monitoring kann deshalb nur versucht werden, die *jahreszeitliche* Reihenfolge der Messpunkte ungefähr einzuhalten und zu erreichen, dass der mittlere zeitliche Abstand der Messpunkte etwa gleichverteilt ist (mittlere Grafik in Abbildung 3-4). Die dritte Messreihe hatte in diesem Zusammenhang mit dem Umstand zu kämpfen, dass zwischenzeitlich eine Umorganisation innerhalb des LfU stattgefunden hatte und deshalb alle Touren ausgehend von Hof geplant und durchgeführt werden mussten, wohingegen frühere Messreihen ab Augsburg durchgeführt wurden. Dadurch hat sich allein die Zahl der gefahrenen Streckenkilometer⁹ von 24 750 km um rund 20 % auf 29 730 km erhöht.

Hof als neuer Start- und Endpunkt der Touren führte zwangsweise auch zu geänderten Touren, weil diejenigen Messpunkte, die von Augsburg aus als Eintagestour erreichbar waren (z. B. der Großraum München), zu größeren mehrtägigen Touren zusammengefasst werden mussten, und umgekehrt. Dadurch ergab sich insgesamt eine größere Streuung der zeitlichen Abstände. Die beiden Ausreißer, die 15 und 16 Monate Verspätung gegenüber dem angestrebten Idealzeitpunkt (zu Beginn der Messreihe) aufweisen, konnten auf der ursprünglich geplanten Tour nicht mehr erfasst werden und blieben anschließend alleine im Raum Deggendorf übrig. Sie wurden erst gegen Ende der Messreihe "eingesammelt", als der Großraum Niederbayern an der Reihe war.

3.4.2 Örtliche Reproduzierbarkeit

Die exakte örtliche Lage der Messpunkte wurde während der Messreihe 2002/2003 festgelegt. In den weiteren Messreihen orientierten sich die Antennenaufbauten hinsichtlich Standort und Ausrichtung an Fotos, die während der ersten beiden Messreihen angefertigt wurden. Die Qualität der Fotos unterscheidet sich zwischen den Messpunkten teils deutlich; die dritte Messreihe hatte jedoch den Vorteil, auf einen größeren Pool an Bildern aus zwei vergangenen Messreihen zurückgreifen zu können. I. d. R. wurden die Fotos der Messreihe 2006/2007 für den Antennenaufbau zu Grunde gelegt.

Seit der letzten Messreihe waren im Schnitt etwa fünf Jahre vergangen; der Abstand zur ersten Messreihe beträgt gar neun Jahre. In diesem Zeitraum veränderte sich mancherorts die Bebauung deutlich. Messpunkte, die einst an oder gar in einer Wiese lagen, können zwischenzeitlich an einem Neubau liegen. Über die Vorgehensweise wurde im Einzelfall entschieden. Manche Messpunkte wurden lediglich aus einer Wiese um wenige Meter an den Straßenrand verlegt, für andere musste eine komplett neue Alternative (siehe dazu den Abschlussbericht zur ersten Messreihe [1] ab Seite 6) gewählt werden. Nachdem bereits bei der zweiten Messreihe neue Alternativen für vier Messpunkte gewählt werden mussten, genügte diesmal die Verlegung eines Messpunkts (Messpunkt 370; siehe Abbildung 3-6).

Zur Unterstützung künftiger Messreihen wurden bei der dritten Messreihe zusätzlich zu den Fotos GPS-Koordinaten aufgenommen, die insbesondere die Anfahrt erleichtern können. Ferner wurden Abstandsmessungen zwischen Antennenturm und jeweils zwei Fixpunkten in der Umgebung vorgenommen, die im Zweifel bei unklaren Fotos zur Klärung des Antennenstandorts beitragen können (Abbildung 3-7).

Zur Abschätzung, inwieweit unvermeidbare örtliche Abweichungen zweier Messaufbauten die Ergebnisse beeinflussen können, wurde in der Messreihe 2011/2012 erstmals ein Referenzmesspunkt ein-

⁹ Berechnungsgrundlage: Google Directions. Berücksichtigt wurden nur die Entfernungen zwischen je zwei aufeinander folgenden Messpunkten bzw. vom LfU zum ersten Messpunkt einer Tour und vom letzten Messpunkt einer Tour zum LfU. Nicht berücksichtigt wurden weitere gefahrene Kilometer auf Grund von Umleitungen, Fehlern im Kartenmaterial der verwendeten Navigationsgeräte, Fahrten von und zu den Hotels im Rahmen von Übernachtungen, etc.

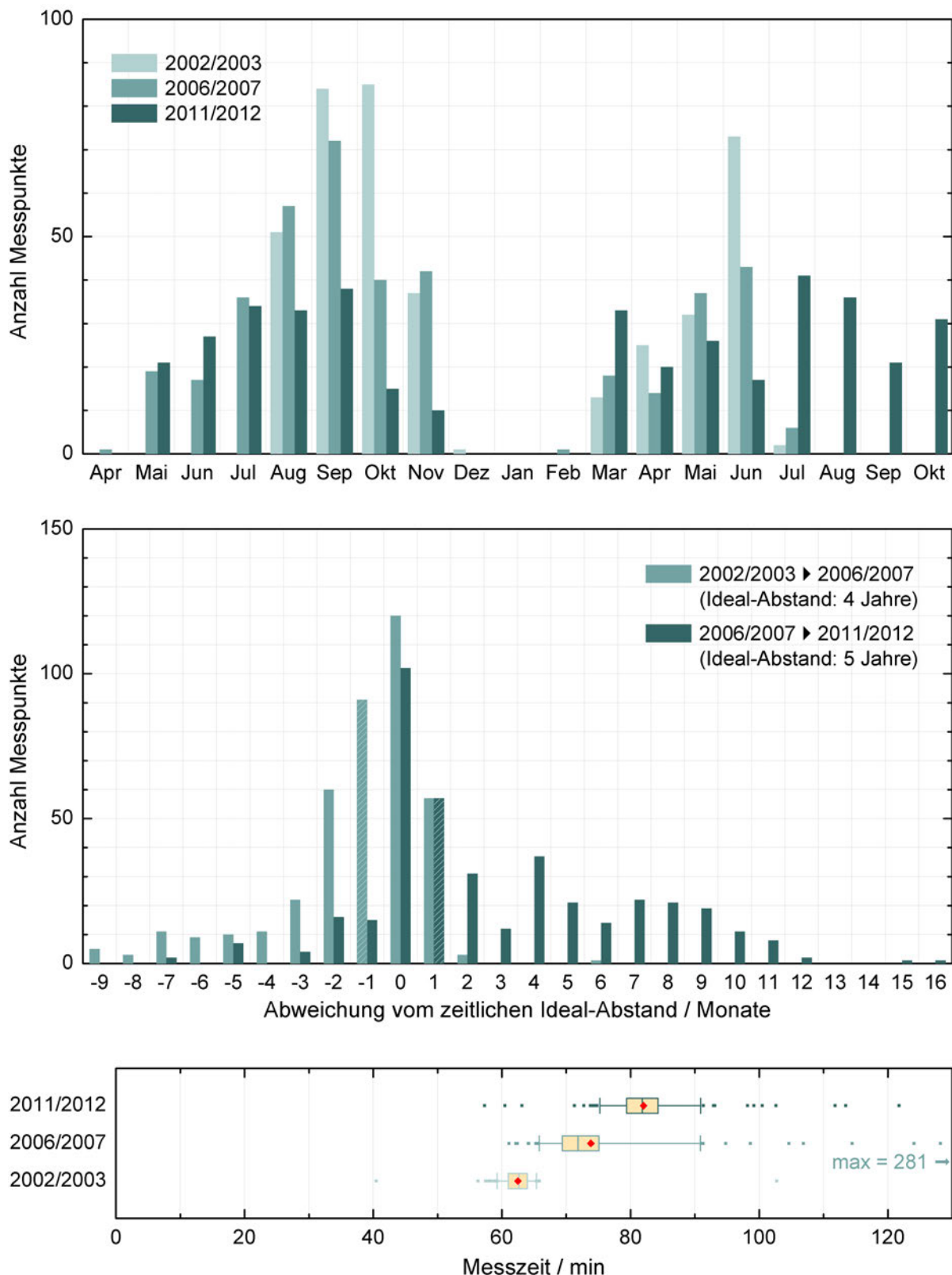


Abbildung 3-4: Oben: Jahreszeitliche Verteilung der Messzeiten nach Kalenderwochen. Mitte: Abweichung der tatsächlichen Zeitabstände zwischen den Messreihen vom jeweiligen Idealwert (vier Jahre zwischen erster und zweiter Messreihe, fünf Jahre zwischen zweiter und dritter Messreihe). Der Median (gestrichelter Balken) betrug zwischen den ersten beiden Messreihen -19 d und zwischen den letzten beiden Messreihen +43 d. Unten: Verteilung der Messdauer je Messpunkt im Vergleich zwischen den Messreihen. Rot hervorgehoben: Arithmetisches Mittel.



Abbildung 3-5: Beispiel für eine Fotodokumentation: Messpunkt 249 während der Messreihen 2006/2007 (links) und 2011/2012 (rechts).



Abbildung 3-6: Messpunkt 370 während der Messreihen 2006/2007 (links) und 2011/2012 (rechts). Er musste als einziger Messpunkt während der dritten Messreihe an eine neue Alternative verlegt werden, da das LfU für das Privatgrundstück, auf dem der alte Messpunkt lag, auf Grund eines Eigentümerwechsels keine Nutzungserlaubnis mehr erhielt.

geführt (Abbildung 9-1 in Kapitel 9). Er liegt in Hof bei $50,3122^\circ$ N, $11,9185^\circ$ E und wurde im Zuge der dritten Messreihe insgesamt 20-mal angefahren. Aus der Streuung der Ergebnisse am Referenzmesspunkt lässt sich abschätzen, welche Änderungen seit früheren Messreihen eher auf die nicht perfekte örtliche Reproduzierbarkeit zurückzuführen sind und welche eher Veränderungen der Immissionsituation darstellen. Dies wird in Kapitel 9 diskutiert. Der Referenzmesspunkt diente darüber hinaus auch der Kontrolle des Messsystems.

In die Wahl des Referenzpunkts flossen verschiedene Kriterien ein. So sollte er von der Dienststelle des Landesamts in Hof ohne weite Anreise gut erreichbar und während eines Jahres mit möglichst hoher Wahrscheinlichkeit zugänglich sein. Außerdem sollte er für eine stabile statistische Auswertung in



Abbildung 3-7: In der Messreihe 2011/2012 wurde an allen Messpunkten per GPS die geographische Lage bestimmt (links) sowie die Entfernung von dem Antennenturm zu zwei Fixpunkten in der Umgebung gemessen (rechts).

allen Bereichen (insbesondere Hörfunk, Fernsehen, Mobilfunk) ausreichend hohe Immissionen aufweisen. Da kaum ein Messpunkt alle Anforderungen gleichzeitig erfüllt, stellt die Wahl des Referenzmesspunkts einen Kompromiss dar. Im konkreten Fall liegt der Punkt in einer Fußgängerzone vor einer Schule im Ortszentrum und erfüllt damit die Forderung nach gleichbleibend guter Erreichbarkeit. Wegen der an diesem Punkt anzutreffenden örtlichen Tallage erwiesen sich jedoch beispielsweise die Immissionen des terrestrischen Fernsehens als gering: Sie weisen deshalb hohe relative Schwankungen auf und sind als Indikator für die Veränderung zwischen zwei Messreihen nur bedingt geeignet. Noch problematischer sind die Immissionen niederfrequenter elektrischer Felder. Hierfür würden sich nur Messpunkte unmittelbar unter einer Hochspannungs-Freileitung eignen. Bei der nächsten Messreihe könnte daher ein neuer Referenzmesspunkt mit anderer Gewichtung der Anforderungen gewählt werden.

4 Auswertung

4.1 Nachweisschwellen der einzelnen Frequenzbereiche

4.1.1 Niederfrequentes elektrisches und magnetisches Feld

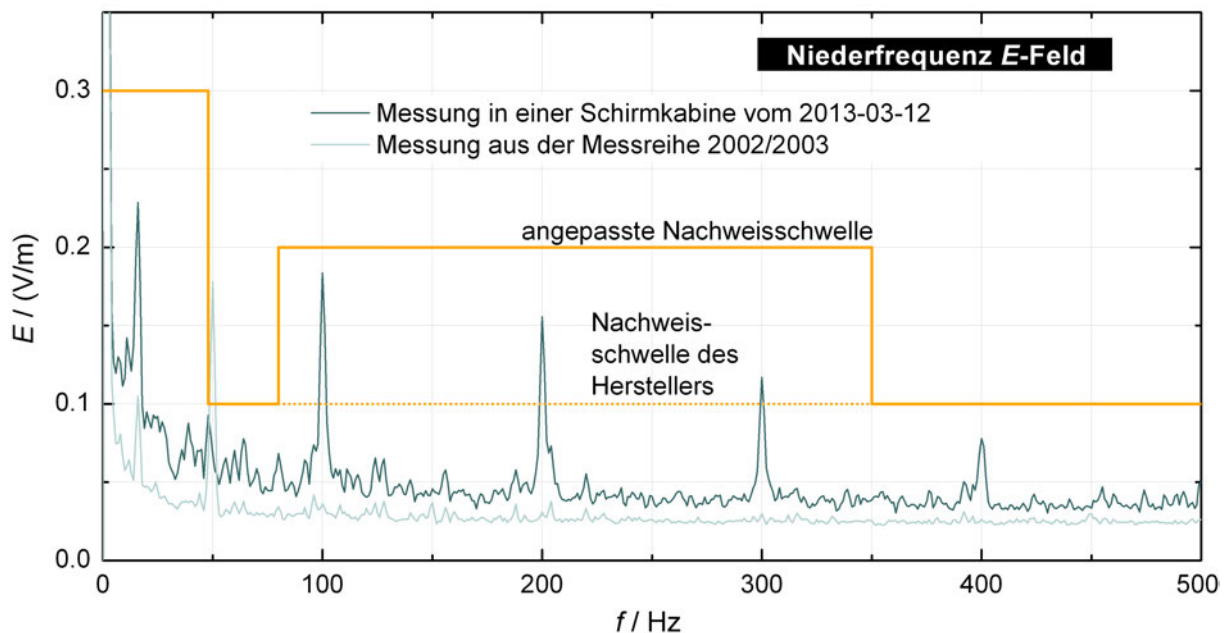


Abbildung 4-1: Vergleich zwischen einem Spektrum des niederfrequenten elektrischen Felds aus der Messreihe 2002/2003 mit einem Spektrum, das nach der Messreihe 2011/2012 in einer Schirmkabine aufgenommen wurde. Möglicherweise auf Grund von Alterungseffekten treten Peaks bei den Frequenzen 100 Hz, 200 Hz und 300 Hz auch ohne Vorhandensein eines entsprechenden elektrischen Felds auf. Es wurde deshalb für die Auswertung eine von der Nachweisschwelle des Herstellers (gepunktete Linie) abweichende Nachweisschwelle verwendet.

Die niederfrequenten Felder wurden mit Handgeräten manuell erfasst. Pro Messpunkt wurden jeweils gespeichert:

- Jeweils 3 Spektren des elektrischen Felds im Frequenzbereich 5 Hz bis 2,0 kHz sowie im Frequenzbereich 40 Hz bis 32 kHz.
- Jeweils 3 Spektren des magnetischen Felds im Frequenzbereich 5 Hz bis 2,0 kHz sowie im Frequenzbereich 40 Hz bis 32 kHz.

Für jeden Bereich liegen Nachweisschwellen des Herstellers vor, an denen sich die Auswertung grundsätzlich orientiert. Das bedeutet, dass Peaks nur dann in die Auswertung eingehen, wenn sie die Nachweisschwelle überschreiten.

Beim *elektrischen* Feld wurde bereits im Abschlussbericht zur zweiten Messreihe berichtet, dass an praktisch allen Messpunkten die Feldstärken bei 100 Hz, 200 Hz und 300 Hz knapp oberhalb der Hersteller-Nachweisschwelle lagen (siehe [2] auf Seite 21 – 24). Der Effekt war unabhängig von der Intensität der Grundfrequenz (50 Hz) aufgetreten, was für ein Problem der Sonde, etwa einen Alterungseffekt sprach. Das Gerät wurde nach Abschluss der Messreihe 2006/2007 vom Hersteller überprüft, aber als "im Rahmen der Spezifikation in Ordnung" eingestuft. Bei der dritten Messreihe trat das gleiche Problem erneut auf.

Um restlos auszuschließen, dass es sich um reale Immissionen handelt, wurden Testmessungen in einer elektromagnetischen Schirmkabine an der Technischen Hochschule Deggendorf durchgeführt (Ab-

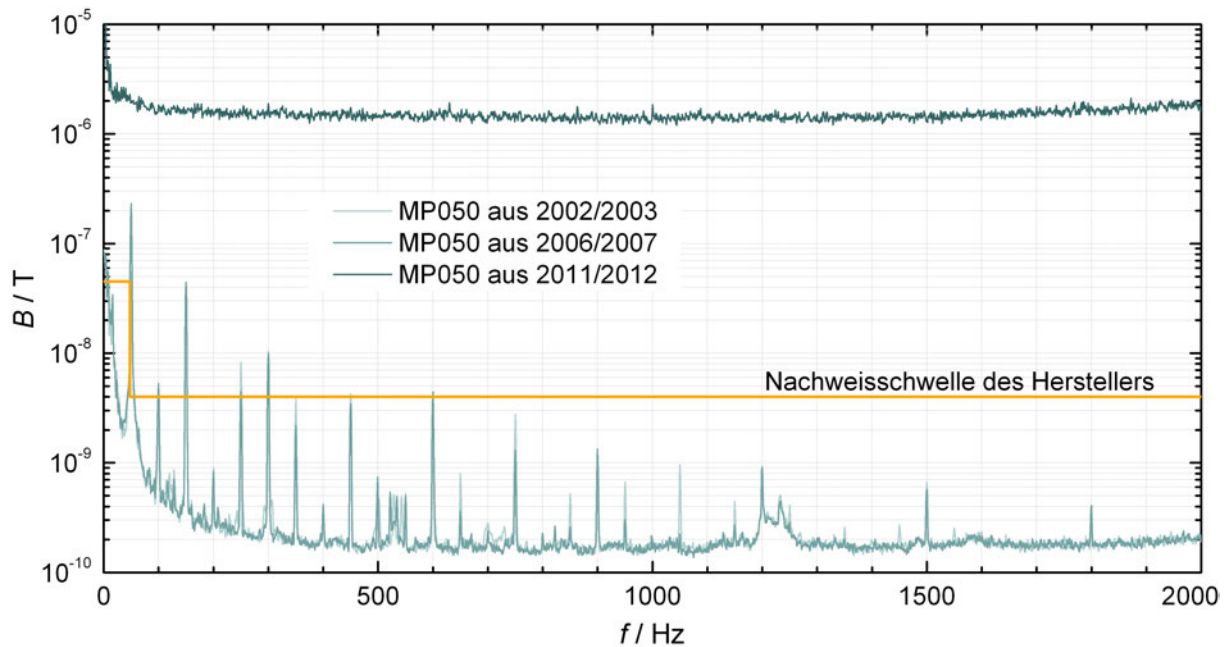


Abbildung 4-2: Vergleich zwischen den (über jeweils drei Durchläufe gemittelten) Spektren des magnetischen Felds am Messpunkt 050 zwischen den Messreihen. An 41 Messpunkten wurden in der Messreihe 2011/2012 nur rauschähnliche Spektren auf hohem Niveau gemessen; sie wurden für die Auswertung verworfen.

Abbildung 4-1), bei denen die gleichen charakteristischen Peaks auftraten. Es liegt hier wohl tatsächlich ein Problem der E -Feld-Sonde vor, das eine Korrektur der Daten rechtfertigt.

Im Abschlussbericht zur zweiten Messreihe wurden die Spektren nur bis 80 Hz ausgewertet. Für den vorliegenden Bericht wurde die Auswertung verfeinert und umfasst nun wieder den gesamten Frequenzbereich, verwendet aber eine angepasste Nachweisschwelle (Abbildung 4-1). Damit werden Artefakte zuverlässig ausgeblendet, ohne gleichzeitig unnötigerweise starke Oberwellen oder insgesamt Oberwellen bei höheren Frequenzen zu beschneiden. Die Daten der Messreihe 2006/2007 wurden auf die gleiche Art erneut ausgewertet, wohingegen für die Daten aus 2002/2003 die unveränderte Nachweisschwelle des Herstellers zum Einsatz kam, weil in dieser Messreihe noch keine Artefakte beobachtet wurden.

Auch die Messungen des *magnetischen* Felds verhalten sich leider nicht immer erwartungsgemäß. Im Abschlussbericht zur ersten Messreihe wurde von rauschähnlichen Spektren auf hohem Niveau berichtet (siehe [1] auf Seite 21 – 23), die seinerzeit auf Messungen bei niedrigem Ladestand der Akkus zurückgeführt wurden. In den Messreihen 2006/2007 und 2011/2012 wurden die Niederfrequenz-Messgeräte deshalb grundsätzlich am Abend eines jeden Messtags geladen. In der dritten Messreihe trat das gleiche Problem dennoch erneut in erheblichem Umfang auf (Abbildung 4-2), sodass für insgesamt 41 Messpunkte keine Ergebnisse für niederfrequente magnetische Felder vorliegen. Eine daraufhin vorgenommene Sichtung der Daten der *zweiten* Messreihe ergab, dass auch dort in Einzelfällen solche Spektren vorlagen, aber an jedem Messpunkt zumindest auch ein oder zwei brauchbare Spektren gespeichert wurden. Deshalb ist die Messreihe 2006/2007 die einzige, die vollständige Ergebnisse für niederfrequente Magnetfelder aufweist. Kapitel D diskutiert deshalb am Beispiel dieser Messreihe, welche Auswirkungen fehlende Daten auf die Ergebnisse haben.

4.1.2 Hochfrequenz

Für die Hochfrequenzmessdaten gestaltet sich die Schwellenwertbetrachtung komplexer, da der Noise floor (Grundrauschen) von diversen Parametern abhängt, wie beispielsweise Sweepzeit, RBW (Auflösebandbreite) oder gewähltem Filter. Es existiert deshalb keine Angabe vom Hersteller; vielmehr wurde für jedes Messpaket zunächst eine Messung ohne angeschlossene Antenne durchgeführt und der hierin bestimmte mittlere Spannungswert anschließend um 1 dB – 3 dB erhöht (Tabelle 4-1). Die so

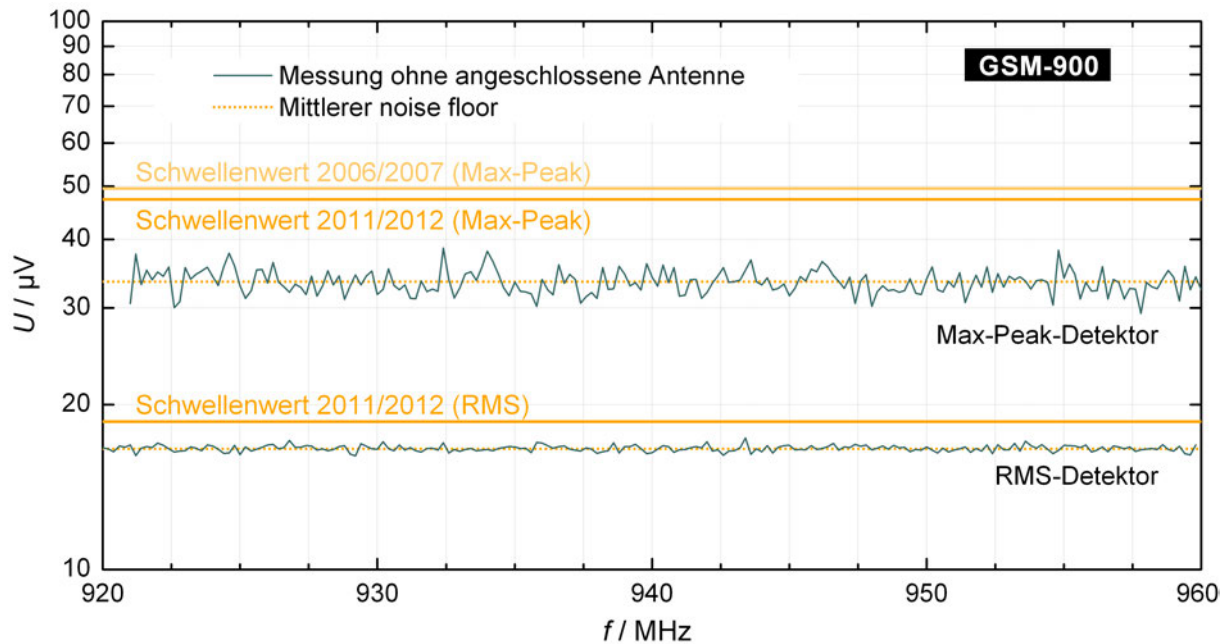


Abbildung 4-3: Bestimmung der Nachweisschwellen der Hochfrequenzmesspakete am Beispiel von GSM-900. Die beiden Spektren wurden jeweils ohne angeschlossene Messantenne mit unterschiedlichen Einstellungen (oberes Spektrum: Max-Peak-Detektor; unteres Spektrum: RMS-Detektor) aufgenommen. Die Schwellenwerte (durchgezogene gelbe Linien) liegen für jedes Messpaket um einen festen Faktor (siehe Tabelle 4-1) über dem mittleren Noise floor (gepunktete gelbe Linien).

bestimmten Schwellenwerte gelten gleichermaßen für beide Polarisationssebenen, auch wenn hierfür verschiedene Antennen zum Einsatz kommen, weil sie nur von Einstellungen am Spektrumanalyzer abhängen; die Berücksichtigung von Antennenfaktoren und Kabeldämpfungen sowie die vektorielle Addition der Polarisationssebenen erfolgt erst *nach* der Schwellenwertbetrachtung.

Die gewählte Vorgehensweise wurde im Wesentlichen bereits in der zweiten Messreihe angewandt; dennoch wurde auch bei identisch übernommenen Messpaketen eine erneute Schwellenwertermittlung durchgeführt. Dadurch unterscheiden sich die verwendeten Schwellenwerte teilweise um wenige Dezibel zwischen den Messreihen.

Höhere Schwellenwerte führen zu einer sicheren Unterscheidung von signifikanten Signalen (Peaks) und Rauschen (Noise), übersehen aber sehr schwache Signale. Niedrige Schwellenwerte dagegen erkennen alle Peaks sicher, mischen aber zuweilen Teile des Noise floors in die Auswertung mit hinein. Von daher gibt es keine "richtigen" oder "falschen" Schwellenwerte; die Wahl ist vielmehr eine Abwägung zwischen diesen Aspekten.

Tabelle 4-1: Schwellenwerte der Hochfrequenzmesspakete.

Paket	Noise floor in dB μ V	Aufschlag	Aufschlag bzgl. <i>E</i>
MON11_PK_BOS	23,9	2 dB	26 %
MON11_PK_DECT	34,4	2 dB	26 %
MON11_PK_GSM1800DL05	30,6	3 dB	41 %
MON11_PK_GSM900DL05	30,5	3 dB	41 %
MON11_PK_LWMW	23,5	2 dB	26 %
MON11_PK_SW	21,4	2 dB	26 %
MON11_PK_UKW	25,1	2 dB	26 %
MON11_PK_WLAN	48,4	2 dB	26 %
MON11_RMS_DAB1	22,0	1 dB	12 %
MON11_RMS_DECT	32,9	1 dB	12 %
MON11_RMS_DVBT4	26,4	1 dB	12 %
MON11_RMS_DVBT5	26,4	1 dB	12 %
MON11_RMS_GSM1800DL	24,5	1 dB	12 %
MON11_RMS_GSM900DL	24,4	1 dB	12 %
MON11_RMS_LTE800DL	38,3	1 dB	12 %
MON11_RMS_BOSTETRADL	17,5	1 dB	12 %
MON11_RMS_UMTSDL	27,8	1 dB	12 %
MON11_RMS_WLAN	39,4	1 dB	12 %
MON11OPT_PK_BOS05	21,2	2 dB	26 %
MON11OPT_PK_DATA1	31,1	2 dB	26 %
MON11OPT_PK_DATA2	31,4	2 dB	26 %
MON11OPT_PK_DEMOFUNK	31,5	2 dB	26 %
MON11OPT_PK_GSM1800UL05	31,5	2 dB	26 %
MON11OPT_PK_GSM900UL05	31,2	2 dB	26 %
MON11OPT_PK_RADAR1	33,2	2 dB	26 %
MON11OPT_PK_RADAR1B	33,6	2 dB	26 %
MON11OPT_PK_RADAR2A	34,1	2 dB	26 %
MON11OPT_PK_RADAR2B	34,6	2 dB	26 %
MON11OPT_PK_TV1	31,4	2 dB	26 %
MON11OPT_PK_TV1O	31,3	2 dB	26 %
MON11OPT_PK_TV1U	31,1	2 dB	26 %
MON11OPT_RMS_LTE2600	38,3	1 dB	12 %
MON11OPT_RMS_PRIVTETRA	17,3	1 dB	12 %
MON11OPT_RMS_DAB2	22,7	1 dB	12 %

4.2 Vorgehensweise bei der Auswertung

Die Vorgehensweise bei der Auswertung hat sich gegenüber den bisherigen Messreihen nicht verändert und lief nach den nachfolgend dargestellten Schemen ab.

4.2.1 Niederfrequenz

Die Messdaten werden im Niederfrequenzbereich von den Messgeräten bereits als elektrische Feldstärke und magnetische Flussdichte ausgegeben. Sie liegen jeweils als komplette Spektren vor und werden als erstes an Hand der Schwellenwerte (siehe Kapitel 4.1.1) auf eine Peakliste reduziert. Für jeden Durchlauf – je Messpunkt, Feldart und Frequenzbereich wurden gewöhnlich drei Durchläufe abgespeichert – werden die gefundenen Peaks auf den Grenzwert der zugehörigen Frequenz bezogen und anschließend geeignet summiert (siehe nachfolgendes Kapitel 4.3). Die beiden Ausschöpfungsgrade für das niederfrequente elektrische und magnetische Feld ergeben sich schließlich durch Mittelung der Durchläufe.

4.2.2 Hochfrequenz

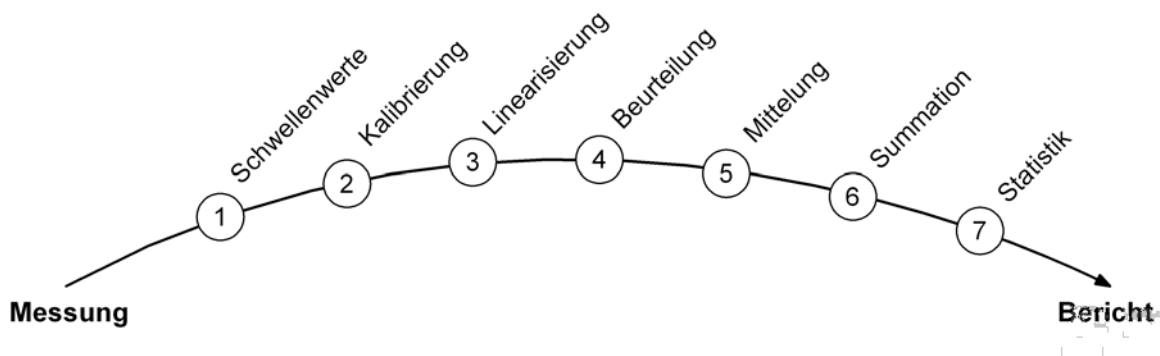


Abbildung 4-4: Schematische Darstellung der Auswertung.

Die Auswertung der Hochfrequenzdaten ist komplexer (Abbildung 4-4):

1. Der Spektrumanalyzer liefert die Messdaten als Spannungswert (in dB μ V). Die meisten Messpakete arbeiten mit festem Frequenzraster, werden also per Kanaltabelle aufgenommen und enthalten deshalb je einen Spannungswert pro Kanal (Frequenz) und Polarisationssebene (horizontal und vertikal). Die Spektren werden als erstes unter Anwendung von Schwellenwerten (siehe Kapitel 4.1.2) auf eine Peakliste reduziert. Dadurch bleiben nur noch diejenigen Frequenzen übrig, bei denen die Signale oberhalb des Noise floors liegen.
2. Die Spannungswerte werden danach unter Verwendung der Antennen- und Kabelkalibrierdaten (Kapitel 3.3.1) in Feldstärke umgerechnet.
3. Die bislang logarithmisch (in dB μ V/m) vorliegenden Feldstärkewerte werden in die physikalische Basiseinheit *Volt pro Meter* (V/m) umgerechnet. In diesem Schritt werden auch die Feldstärkewerte der getrennt gemessenen Polarisationssebenen¹⁰ vektoriell addiert.
4. Jeder Feldstärkewert wird anschließend auf den Grenzwert der jeweiligen Frequenz bezogen. *Wichtig:* Man beachte hierbei, dass es sich dabei *nicht* um eine Beurteilung im Sinne der *Verordnung über elektromagnetische Felder* (26. BImSchV) handelt! Das EMF-Monitoring ist von seiner Konzeption her nicht darauf angelegt, eine Hochrechnung auf maximale Anlagenauslastung, wie

¹⁰Horizontale und vertikale Polarisation werden nacheinander auf verschiedenen Pfaden erfasst.

die Verordnung sie fordert, vornehmen zu können. Alle angegebenen Grenzwertausschöpfungen beziehen sich immer auf den Anlagenzustand zum Zeitpunkt der Messung. Dies ist auch bei anderen gleichartigen Messreihen, etwa der Bundesnetzagentur, der Fall. Das EMF-Monitoring dient nicht dem Nachweis der Einhaltung der Immissionsschutzgrenzwerte, sondern ist als messtechnische Begleitung des Funkausbaus mit dem Ziel, die Entwicklung der Immissionen aufzuzeigen, zu sehen.

5. An jedem Messpunkt erfolgten typischerweise 10 Durchläufe des Hochfrequenz-Messprogramms. Die Grenzwertausschöpfungen bei den Einzelfrequenzen werden als nächstes je Durchlauf und Messpaket geeignet summiert¹¹ (siehe nachfolgendes Kapitel 4.3). Die Paketsummen werden anschließend über die Durchläufe gemittelt.¹²
6. Je nach Darstellung werden die mittleren Ausschöpfungsgrade mehrerer Pakete wiederum geeignet summiert. Es kann sich dabei um die Summe über alle Pakete (Gesamt-Ausschöpfungsgrad) oder nur über die zu einem Funkdienst gehörenden Pakete (z. B. Mobilfunk) handeln. Diese Daten sind messpunktweise für die wichtigsten Gruppierungen in Anhang A abgedruckt.
7. Die messpunktweise gruppierten und gemittelten Daten werden abschließend geeignet aufbereitet und dargestellt. Die Übersichten umfassen i. d. R. Verteilungsfunktionen, Histogramme und Boxplots. In den Tabellen *Statistische Spannweite* sind zeilenweise die wichtigsten Kenngrößen (z. B. kleinster, mittlerer und größter Wert aller Messorte) abgedruckt.

4.3 Summation

Alle Summationen, die während der Auswertung der Monitoringdaten durchgeführt werden, d. h. die Summation der Einzelpeaks eines Messpakets, die Summation mehrerer Messpakete zu einer Gruppe, und die Summation mehrerer Gruppen zu einem Gesamtwert, arbeiten mit Ausschöpfungsgraden. Die Auswertung muss deshalb zwischen zwei Wirkungsmodellen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder unterscheiden, die bereits in den früheren Berichten oder einschlägiger Literatur [1; 2; 3] ausführlich beschrieben sind. Kurz gesagt sind dies:

- Stimulationswirkungen (Reizwirkungen) durch niederfrequente elektrische und magnetische Felder sowie hochfrequente elektromagnetische Felder bis 10 MHz. Die Wirkung orientiert sich an den vorherrschenden *Feldstärken*. Das zu Grunde liegende Schutzkonzept arbeitet sehr konservativ und summiert Grenzwertausschöpfungen bei verschiedenen Frequenzen immer linear auf, auch wenn auf Grund der unterschiedlichen Frequenzen keine kumulative Wirkung beider Frequenzen eintritt.
- Thermische Wirkungen (Wärmewirkungen) durch hochfrequente elektromagnetische Felder ab 100 kHz. Diese Wirkung orientiert sich an den *Leistungsflussdichten*. Das Schutzkonzept geht davon aus, dass sich die Wärmewirkungen bei gleichzeitiger Exposition mit Feldern verschiedener Frequenzen addieren und summiert deshalb die Grenzwertausschöpfungen bei verschiedenen Frequenzen ebenfalls linear auf.¹³

¹¹Für manche spezielle Auswertungen, z. B. bei der "Digitalen Dividende", wird nicht über alle Frequenzen eines Pakets summiert, sondern nur innerhalb bestimmter Frequenzbereiche.

¹²Anstelle der Mittelung können auch die Minima und Maxima aller Durchläufe oder ihre Standardabweichung ausgewertet werden. Diese Daten sind in den Spalten der Tabellen "Statistische Spannweite" dargestellt.

¹³Man beachte an dieser Stelle, dass sich die lineare Addition auf die Grenzwertausschöpfung für die *Leistungsflussdichte* bezieht, nicht auf die Grenzwertausschöpfung für die Feldstärke!

Aufbauend auf diesen Konzepten gibt es insgesamt drei¹⁴ Ausschöpfungsgrade, die in diesem Bericht ausgewiesen werden:

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

$$Q_B = \sum_{f=1 \text{ Hz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{B_f}{B_{f,\text{lim}}} \quad (4.2)$$

$$Q_{E^2} = \sum_{f=100 \text{ kHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{E_f}{E_{f,\text{lim}}} \right)^2 \quad (4.3)$$

Hierin sind jeweils E_f und B_f die elektrische Feldstärke bzw. magnetische Flussdichte bei der Frequenz f sowie $E_{f,\text{lim}}$ und $B_{f,\text{lim}}$ der Grenzwert für die elektrische Feldstärke bzw. magnetische Flussdichte bei dieser Frequenz. Als Grenzwerte wurden die Empfehlungen der EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG [4] herangezogen.¹⁵

Man beachte folgendes:

- Im Überlappungsbereich der Gültigkeitsbereiche der Formeln 4.1 und 4.3, d. h. zwischen 100 kHz und 10 MHz, ist für erstere Formel der Grenzwert für die Stimulationwirkung zu verwenden, für letztere Formel dagegen der Grenzwert für die thermische Wirkung. Die beiden Werte unterscheiden sich (siehe Abbildung 4-5).
- Formel 4.2 gilt sowohl für die magnetische Flussdichte als auch für die magnetische Feldstärke, weil näherungsweise die magnetische Permeabilität des Vakuums, $\mu_r = 1$, angenommen wird. Die Umrechnung zwischen Feldstärke und Flussdichte ergibt sich aus der Beziehung $B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$. μ_0 bezeichnet hierin die magnetische Feldkonstante.
- Aus dem Ausschöpfungsgrad für das Quadrat der elektrischen Feldstärke, d. h. aus dem Ergebnis von Formel 4.3, wird keine Wurzel gezogen, da der dadurch erhaltene Wert physikalisch nicht sinnvoll interpretierbar ist.

¹⁴Die ICNIRP-Guidelines [3] weisen noch einen vierten Ausschöpfungsgrad aus, nämlich auf das Quadrat der magnetischen Feldstärke bezogen, und zwar für die thermische Wirkung bei Frequenzen ab 100 kHz. Er weist aus zweierlei Gründen einen anderen Zahlenwert als der Ausschöpfungsgrad für das Quadrat der elektrischen Feldstärke auf: Zum einen ist der Verlauf der Grenzwerte für die thermische Wirkung zwischen elektrischer und magnetischer Feldstärke zwischen 100 kHz und 10 MHz nicht proportional, zum anderen müssten in diesem Frequenzbereich beide Feldarten, insbesondere in der Umgebung von Lang-, Mittel- und Kurzwellensendern getrennt gemessen und dürften nicht in der Annahme von Fernfeldbedingungen ineinander umgerechnet werden. Dem EMF-Monitoring steht jedoch keine Messausrüstung zur Verfügung, die die Messung der elektrischen Feldstärke in diesem Frequenzbereich ermöglicht. Deshalb wurde der Weg gewählt, die elektrische Feldstärke aus der (gemessenen) magnetischen Feldstärke zu errechnen und anschließend auf den (strengeren) Grenzwert für die elektrische Feldstärke zu beziehen. Der ausgewiesene Ausschöpfungsgrad für das Quadrat der elektrischen Feldstärke ist deshalb der höhere.

¹⁵Die EU-Ratsempfehlung deckt sich mit den Empfehlungen der ICNIRP aus dem Jahr 1998 [3]. Die Novellierung der 26. BImSchV [5], die eine bislang bestehende Regelungslücke unterhalb von 10 MHz schließt, war zum Zeitpunkt der Berichterstellung noch nicht abgeschlossen.

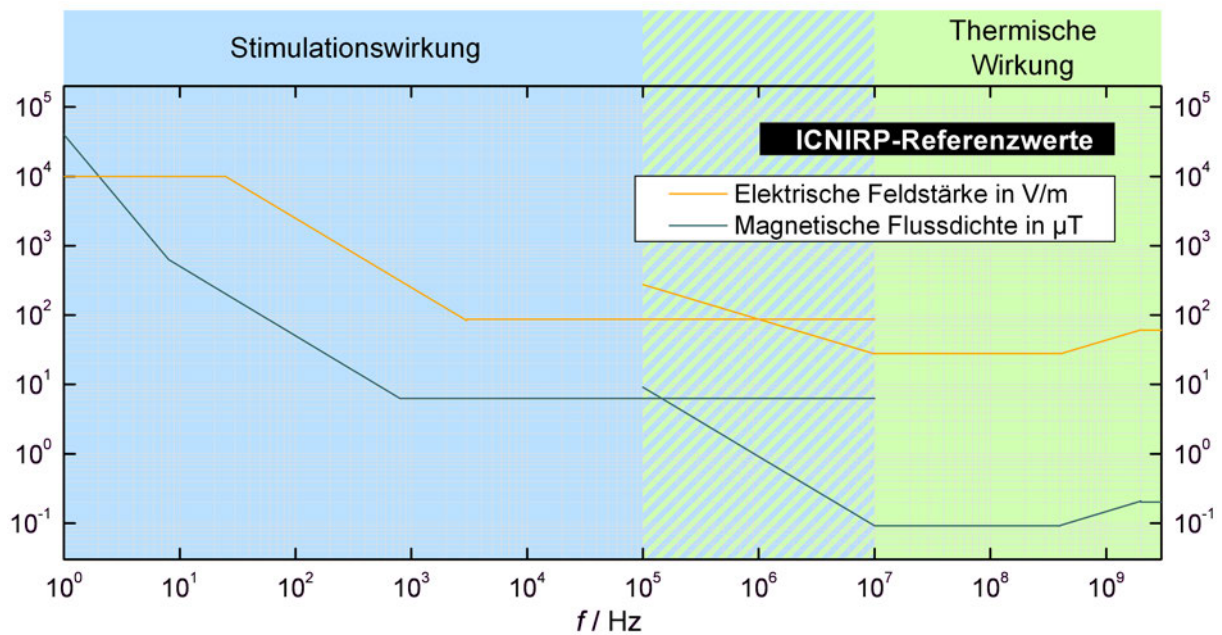


Abbildung 4-5: Referenzwerte für die elektrische und magnetische Feldstärke im Bereich der Stimulationseffekte und der thermischen Wirkung. Nach [3].

4.4 Auswertesoftware

Wie in den Jahren zuvor erfolgte die Auswertung mit Hilfe einer Software, die die beschriebenen Schritte für alle Messpunkte automatisch anwendet. Diese Software ist als *emfmon3.exe* zusammen mit den verwendeten Konfigurationen für die Auswertung der Messreihen auf der CD *Dokumentation zum EMF-Monitoring 2011/2012* enthalten.

An der Auswertesoftware wurden geeignete Änderungen vorgenommen, um eine automatisierte Auswertung der Daten der aktuellen Messreihe weiterhin zu ermöglichen. In diesem Zusammenhang wurden auch Erweiterungen vorgenommen, die insbesondere der Auswertung früherer Messreihen dienen. Eine ausführliche Beschreibung der Software und ihrer Einstellungsmöglichkeiten ist in der hausinternen Dokumentation zum EMF-Monitoring 2011/2012 dokumentiert. Die wichtigsten Neuerungen sind:

- Unterstützung verschiedener Antennen- oder Kabelkonfigurationen innerhalb einer Messreihe. Dieses Feature wurde erforderlich, da es innerhalb der Messreihe 2011/2012 zu einem Tausch von Antennenkabeln kam und hierdurch sichergestellt werden sollte, dass auch eventuelle Abweichungen in den Dämpfungswerten der Kabel berücksichtigt werden können. (Die Unterschiede sind allerdings vernachlässigbar, wie Kapitel 3.3.1 zeigt.)
- Unterstützung der neuen ICNIRP-Referenzwerte aus dem Jahr 2010 [6].
- Unterstützung benutzerdefinierter Schwellenwerte bei der Auswertung der Niederfrequenz-Spektren. Diese Anpassung wurde notwendig, weil es bereits bei der Messreihe 2006/2007 zu Problemen bei der Auswertung niederfrequenter elektrischer Felder kam (siehe Kapitel 4.1).
- Automatische Erkennung niederfrequenter Spektren, die rauschähnlichen Charakter aufweisen und über den gesamten Frequenzbereich erheblich über der Nachweisschwelle des Herstellers liegen (siehe Kapitel 4.1 und Abbildung 4-2).
- Unterstützung der Beschränkung der Auswertung im Hochfrequenzbereich auf einzelne Frequenzbereiche. Mit dieser Funktion ist es möglich, nur einen Ausschnitt des gesamten Frequenzbereichs eines Messpakets auszuwerten. Diese Funktion wurde implementiert, um die Immissionen des analogen BOS-Funks aus diversen Sammelpaketen zu ermitteln sowie den Anteil des Fernsehens im Frequenzbereich der sogenannten "Digitalen Dividende" bestimmen zu können.

5 Spektrale Betrachtung von Lang- und Mittelwelle

Vor Betrachtung der Immissionssituation soll der Blick zunächst auf dem Lang- und Mittelwellenrundfunk liegen. Diese Frequenzbereiche sind durch bundesweit wenige Standorte mit oft leistungsstarken Sendeanlagen charakterisiert. Einzelne Frequenzen weisen gerade bei der Langwelle enorme Reichweiten von vielen hundert Kilometern auf. Das ermöglicht es – anders als beim UKW-Hörfunk oder gar Mobilfunk –, Lang- und Mittelwellenspektren bayernweit zu mitteln, ohne dabei eine Vermischung verschiedener Senderstandorte in Kauf nehmen zu müssen. Gleichzeitig zeichnen sich diese Frequenzbänder dadurch aus, dass nach Senderinbetriebnahme oft jahrzehntelang keine Veränderungen vorgenommen werden.

Bayernweit gemittelte LW/MW-Spektren wurden bereits im Abschlussbericht zur zweiten Messreihe gezeigt (siehe [2], Seite 28). Im Unterschied zur damaligen Vorgehensweise wurde dieses mal die Mittelung nicht auf Basis der Feldstärken, sondern mit deren logarithmierten Werten durchgeführt. Dadurch wird eine Verzerrung der Mittelwerte durch einzelne besonders starke Signale vermieden.

Die Hauptschwierigkeit bei der Mittelung besteht darin, dass das für Lang- und Mittelwelle verwendete Messpaket ohne festes Frequenzraster arbeitet, d. h. von der Software wird nicht das komplette Spektrum, sondern nur die 20 stärksten Peaks abgespeichert. Deshalb besteht zwischen zwei Durchläufen und zwischen verschiedenen Messpunkten ein leichter Frequenzdrift¹⁶, der die frequenzselektive Mittelwertbildung erschwert. Die bei jedem Durchlauf anfallenden 20 Peaks wurden deshalb zunächst in ein festes Frequenzraster von 4,5 kHz (LW) bzw. 9,0 kHz eingeordnet und erst im Anschluss gemittelt. Das Verfahren funktioniert für das Mittelwellenband exakt, führt aber bei der Langwelle zu einer Verbreiterung von Peaks von Sendern, die nicht exakt im Raster liegen (z. B. der Sender Mainflingen auf 77 kHz oder der Sender Felsberg auf 183 kHz).

Weitere Probleme entstehen dadurch, dass wegen der Begrenzung auf die 20 stärksten Peaks nicht an allen Messpunkten Feldstärkewerte aller Sendefrequenzen vorliegen, was vor allem schwächer empfangbare Sender betrifft. Fehlende Feldstärkewerte wurden in solchen Fällen mit 25 dB μ V/m angenommen, was etwa dem Noise floor (Grundrauschen) in diesem Frequenzbereich entspricht. Aus diesem Grund können die Feldstärkewerte des Spektrums, insbesondere bei schwächeren Signalen, auch nicht als Absolutwerte herangezogen werden.

Abbildung 5-1 und Tabelle 5-1 vergleichen die Feldstärken auf den wichtigsten Lang- und Mittelwellenfrequenzen zwischen den drei Messreihen.

Im Langwellenband dominieren weiterhin die Sender Aholming (bei Deggendorf, Niederbayern; Deutschlandfunk auf 207 kHz) und Donebach (ca. 40 km nördlich von Heilbronn, Baden-Württemberg; Deutschlandfunk auf 153 kHz), deren Feldstärken sich um 90 dB μ V/m bewegen und im Laufe der Messreihen nur geringen Schwankungen von weniger als 3 dB unterlagen (Tabelle 5-1).

Im Mittelwellenband ist erwartungsgemäß der Sender Ismaning des Bayerischen Rundfunks mit einer mittleren Feldstärke um 65 dB μ V/m vorherrschend. Obwohl dessen Sendeleistung (100 kW) nur etwa 7 dB (Faktor 5) geringer ist als die des Aholminger Langwellensenders (500 kW), unterscheiden sich die mittleren Feldstärken um etwa 25 dB (Faktor 17,8; für die Leistungsflussdichte Faktor 316) – eine Folge der unterschiedlichen Ausbreitungen von Lang- und Mittelwelle. Wie die untere Grafik in Abbildung 5-1 zeigt, nimmt die Feldstärke des Mittelwellensenders Ismaning mit der Entfernung deutlich rascher ab als die des Langwellensenders Aholming. Genauer gesagt: Mit steigender Frequenz nimmt die Reichweite der Bodenwelle ab und die Bedeutung der Raumwelle zu. Bei den Mittelwellensendern macht sich das offenbar bereits bemerkbar, wenn in Entfernungen ab etwa 130 km wieder eine Zunahme der Feldstärke zu sehen ist.

Die Ausbreitung der Bodenwelle lässt sich für Langwellensender nach einer empirischen Formel von

¹⁶Gemeint ist, dass beispielsweise der LW-Sender Donebach mit seiner Sendefrequenz 153 kHz in verschiedenen Durchläufen an einem Messpunkt mit Frequenzen zwischen 150,9 kHz und 153,6 kHz ausgelesen und abgespeichert wird. Da bei Amplitudenmodulation der Träger häufig mit reduzierter Leistung gesendet oder ganz unterdrückt wird, liegt das Feldstärkemaximum nicht notwendigerweise bei der Mittenfrequenz, sondern innerhalb der Seitenbänder.

Austin-Cohen (1912, 1920) approximieren ($\kappa = 0,6$). Für Mittelwellensender kann die Formel in modifizierter Form ($\kappa = 1,2$) verwendet werden:

$$\frac{E}{\text{mV/m}} = \frac{300}{d/\text{km}} \cdot \sqrt{P/\text{kW}} \cdot \exp\left(-\frac{c \cdot d/\text{km}}{(\lambda/\text{km})^\kappa}\right) \quad (5.1)$$

Hierin sind E die Feldstärke im Abstand d , P die Sendeleistung, λ die Wellenlänge und c eine Konstante, die die Bodenleitfähigkeit berücksichtigt. Für die Darstellung in Abbildung 5-1 wurde $c = 0,004$ verwendet, als Mittelwert zwischen $c = 0,003$ für feuchtes Land und $c = 0,005$ für trockenes Land.

Es besteht also eine Universalität für die Entfernungsabhängigkeit von Langwellensendern einer- und Mittelwellensendern andererseits. Wie die Grafik zeigt, passt auch jeweils ein zweiter Sender (Langwellensender Donebach auf 153 kHz und Mittelwellensender Thurnau auf 549 kHz) in dieses Ausbreitungsschema.

Tabelle 5-1: Bayernweit gemittelte Feldstärkewerte ausgewählter Lang- und Mittelwellensender. Die Mittelung wurde logarithmisch über alle 403 Messpunkte vorgenommen. Frequenzen, für die an einem Messpunkt auf Grund des Messverfahrens (siehe Text) kein Messwert vorlag, gingen mit 25 dB μ V/m in die Mittelung ein. Bei einzelnen Sendern fehlen die Eintragungen für neuere Messreihen, was auf entsprechende Senderabschaltungen zurückzuführen ist.

Frequenz	Programm (Sender)	20 $\log_{10}(E/(\mu\text{V/m}))$		
		2002/2003	2006/2007	2011/2012
Langwelle				
77,5 kHz	DCF77 (Mainflingen, Hessen)	74,6	73,3	71,9
100 kHz	LORAN-C (Rantum, Schleswig-Holstein)	65,4	61,4	63,2
129,1 kHz	DCF49 (Mainflingen, Hessen)	81,9	82,4	79,4
153 kHz	Deutschlandfunk (Donebach, Baden-Württemberg)	90,3	89,4	88,4
183 kHz	Europe1 (Felsberg, Saarland)	70,7	68,5	75,1
207 kHz	Deutschlandfunk (Aholming, Bayern)	90,7	93,5	90,7
234 kHz	RTL (Beidweiler, Luxemburg)	67,7	60,9	59,0
270 kHz	CRo 1 (Topolná, Tschechien)	53,3	53,6	58,7
Mittelwelle				
549 kHz	Deutschlandfunk (Thurnau, Bayern)	54,7	48,3	44,9
576 kHz	SWR cont.ra (Mühlacker, Baden-Württemberg)	42,0	34,7	28,2
801 kHz	Bayern plus (Ismaning und Dillberg, beide Bayern)	69,3	64,2	61,8
1197 kHz	VoA u. a. (Ismaning, Bayern)	51,9	-	-
1323 kHz	Stimme Russlands (Wachenbrunn, Thüringen)	34,2	36,6	30,3
1539 kHz	ERF (Mainflingen, Hessen)	29,9	34,4	-

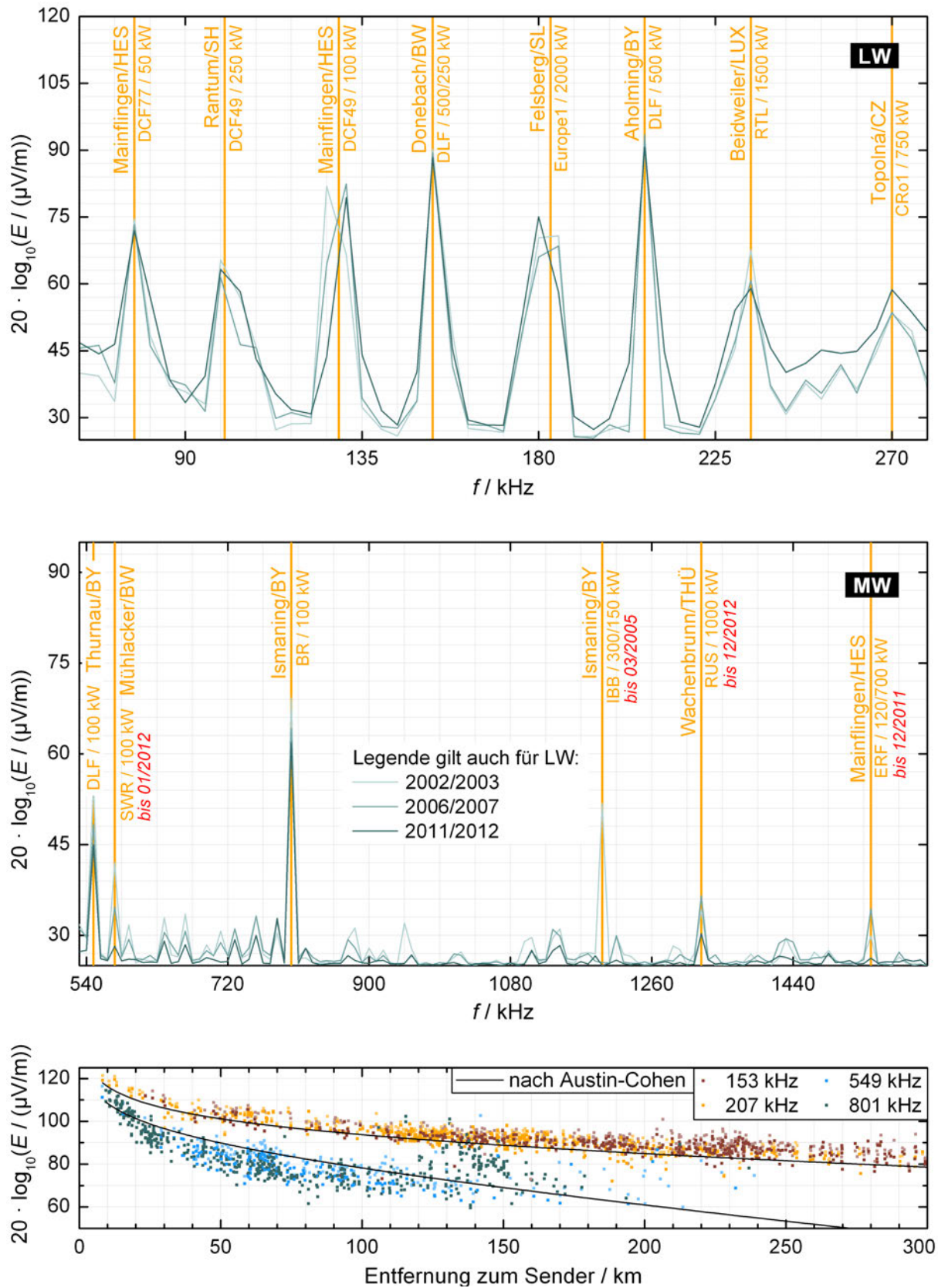


Abbildung 5-1: Bayernweit gemittelte Spektren der Lang- und Mittelwelle. Für die Darstellung wurden zunächst die mittleren Feldstärken jedes Messpunkts logarithmiert und anschließend über alle 403 Messpunkte gemittelt. Frequenzen, für die an einem Messpunkt auf Grund des Messverfahrens (siehe Text) kein Messwert vorlag, gingen mit 25 dB $\mu\text{V/m}$ in die Mittelung ein. Unten: Abnahme der Feldstärke in Abhängigkeit von der Entfernung vom Sender; Vergleich zwischen den Langwellensendern Aholming (207 kHz) und Donebach (153 kHz) einerseits und den Mittelwellensendern Ismaning (801 kHz) und Thurnau (549 kHz) andererseits.

6 Ergebnisse für die nicht-thermische Wirkung (Stimulationswirkungen)

Der Bereich der Stimulationswirkungen umfasst den Frequenzbereich bis 10 MHz. Er beinhaltet neben niederfrequenten Feldern auch Lang- und Mittelwellenrundfunk sowie einen Teil des Kurzwellenrundfunks. Stimulationswirkungen können von elektrischen und magnetischen Feldern hervorgerufen werden, weshalb diese beiden Feldarten nachfolgend getrennt besprochen werden.

6.1 Elektrische Feldstärke

6.1.1 Niederfrequente Felder



Abbildung 6-1: Messpunkte mit dem zweithöchsten (links Messpunkt 065; $Q_E = 106 \text{ ‰}$; Hochspannungsfreileitung) und höchsten (rechts Messpunkt 256; $Q_E = 280 \text{ ‰}$; Fahrdrabt der Bahn) Ausschöpfungsgrad niederfrequenter elektrischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen.

Die Immissionen für niederfrequente elektrische Felder bewegten sich bereits in früheren Messreihen nahe der Nachweisgrenze des Messgeräts. Das ist auch in der aktuellen Messreihe weiterhin der Fall, wenngleich ein leichter Zuwachs beobachtet wurde. Der Median liegt aktuell bei $0,08 \text{ ‰}$ (Mittelwert $1,74 \text{ ‰}$) gegenüber $0,03 \text{ ‰}$ (Mittelwert $1,56 \text{ ‰}$) bei der ersten und $0,05 \text{ ‰}$ (Mittelwert $1,66 \text{ ‰}$) bei der zweiten Messreihe. Der Median entfällt dabei durchwegs auf die Klasse mit den niedrigsten (erste und dritte Messreihe) oder zweitniedrigsten (zweite Messreihe) Ausschöpfungsgraden, wie die Histogramme (Abbildung 6-3) zeigen. Dagegen liegt der Mittelwert stets in der höchsten Klasse. Ursache hierfür ist die Schiefe der Verteilungen; sie wurde bereits ausführlich im Abschlussbericht zur ersten Messreihe besprochen (siehe [1] ab Seite 23). Daher ist generell die Betrachtung der logarithmierten Verteilungen vorteilhaft.

Das Odds Ratio (Quotenverhältnis) beträgt 255:94 bzw. 205:162, d. h. für 255 Messpunkte ergab sich gegenüber 2002/2003 eine Zunahme der Immissionen, wohingegen an 94 Messpunkten eine Abnahme beobachtet werden konnte. Gegenüber der Messreihe 2006/2007 ergab sich an 205 Messpunkten eine Zu- und an 162 Messpunkten eine Abnahme.

Die Änderung seit der zweiten Messreihe ist dabei nicht statistisch signifikant (Tabelle 8-1). Gegenüber der ersten Messreihe liegt zumindest teilweise (beim Wilcoxon-Test) statistische Signifikanz vor.

Die Messung niederfrequenter elektrischer Felder ist jedoch mit einer großen Unsicherheit verbunden. Elektrische Felder treten in Folge elektrischer Spannungen auf, beispielsweise einer Hochspannungsfreileitung gegen Erde. Da sie durch äußere Einflüsse, wie beispielsweise Bewuchs, Bebauung oder Niederschlag, leicht beeinflusst werden und das Gros der Messpunkte zudem ohnehin sehr geringe

Feldstärken aufweist, ist eine zuverlässige Reproduzierbarkeit der Messwerte nicht gewährleistet. Problematisch ist auch die Beeinflussung der Messung durch Passanten oder vorbeifahrende Autos. Einerseits wurde zwar versucht, deren Einfluss zu minimieren, indem Messungen wiederholt wurden, wenn sich eine sichtbare Erhöhung der Messwerte durch Verkehrsteilnehmer zeigte. Andererseits ist die reale Immissionssituation aber eben auch durch solche Faktoren gekennzeichnet. Andere Faktoren, beispielsweise Luft- und Bodenfeuchtigkeit, sind erst gar nicht von vornherein beeinflussbar.

Der Aspekt der Reproduzierbarkeit wird in Kapitel 9, in dem die Ergebnisse von 20 Messungen am Referenzmesspunkt behandelt werden, weiter vertieft. Niederfrequente elektrische Felder wiesen dabei die schlechteste Reproduzierbarkeit auf, sodass angesichts der Tatsache, dass Schwankungen in Folge sonstiger Einflüsse offenbar größer sind als die langjährigen Veränderungen der Felder, die Frage aufgeworfen werden muss, ob deren Betrachtung im Monitoring künftig überhaupt noch sinnvoll ist. In jedem Fall sollten die Immissionen niederfrequenter elektrischer Felder nur als grobe Orientierung herangezogen werden.

Tabelle 6-1: Statistische Spannweite der Ausschöpfungsgrade elektrischer Felder (Niederfrequenz bis 32 kHz). Erläuterung in Kapitel 2.5.

Einzelmessungen pro Messort				
Messreihe 2002/2003				
höchster Wert der Messorte	289	258	341	58,2
Mittelwert über die Messorte	1,56	1,29	1,96	0,356
Standardabweichung	15,8	13,9	19,4	3,82
Variationskoeffizient	10,1	10,7	9,91	10,7
Quartilsdispersionskoeffizient	3,39	3,09	3,39	21,9
Messreihe 2006/2007				
höchster Wert der Messorte	372	203	513	119
Mittelwert über die Messorte	1,66	1,10	2,20	0,472
Standardabweichung	19,4	11,4	26,4	5,98
Variationskoeffizient	11,7	10,4	12,0	12,7
Quartilsdispersionskoeffizient	2,59	2,76	2,76	3,70
Messreihe 2011/2012				
höchster Wert der Messorte	280	197	365	79,7
Mittelwert über die Messorte	1,74	1,36	2,20	0,421
Standardabweichung	15,8	12,1	20,1	4,41
Variationskoeffizient	9,09	8,90	9,13	10,5
Quartilsdispersionskoeffizient	2,47	2,82	2,41	2,89

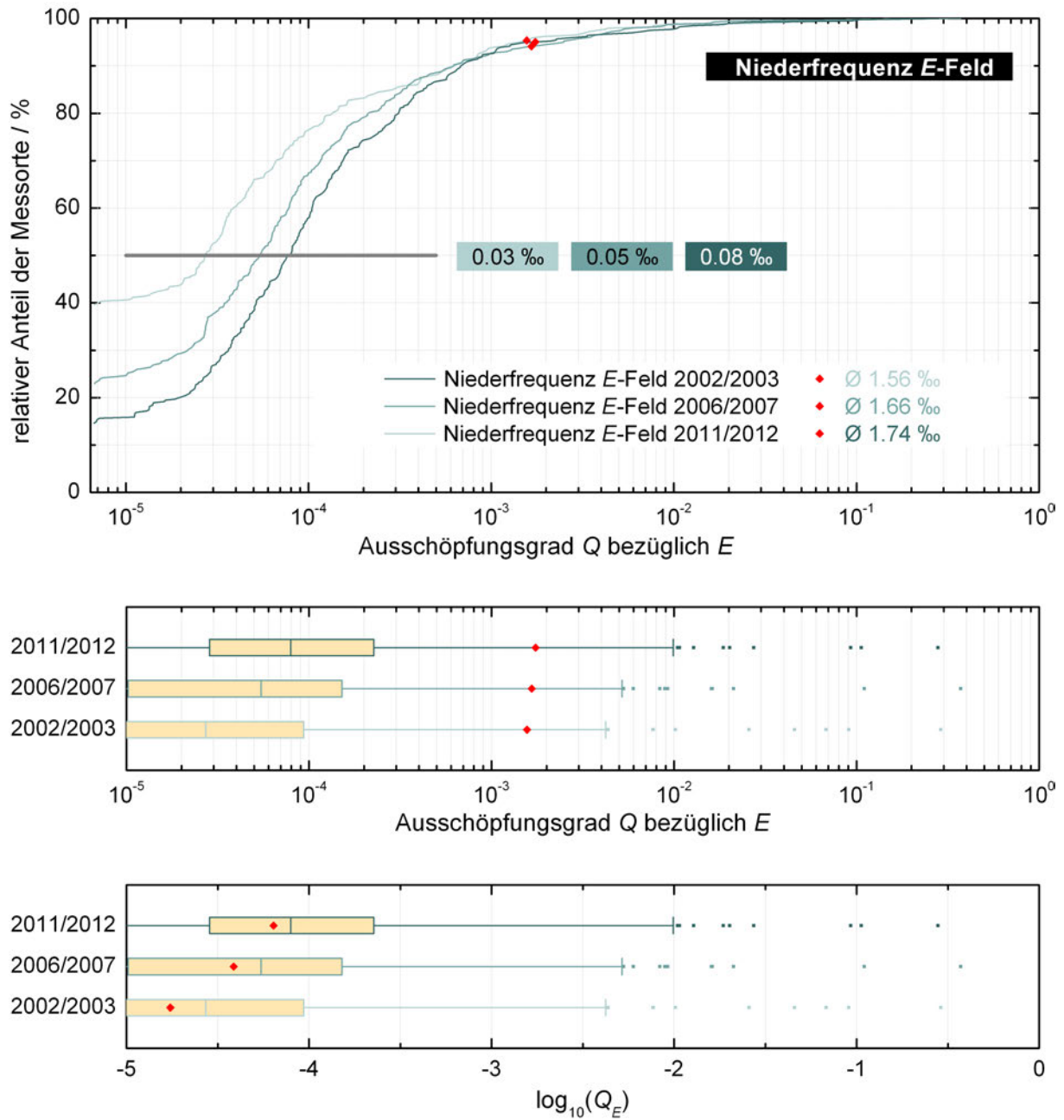


Abbildung 6-2: Übersichten zu den Ausschöpfungsgraden elektrischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (nur Niederfrequenz bis 32 kHz). Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade insgesamt. Unten: Boxplot für den linearen bzw. dekadisch logarithmierten Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot eingezeichnet. Die unteren Whisker erstrecken sich bis Null, was auf der logarithmischen Skala nicht darstellbar ist.

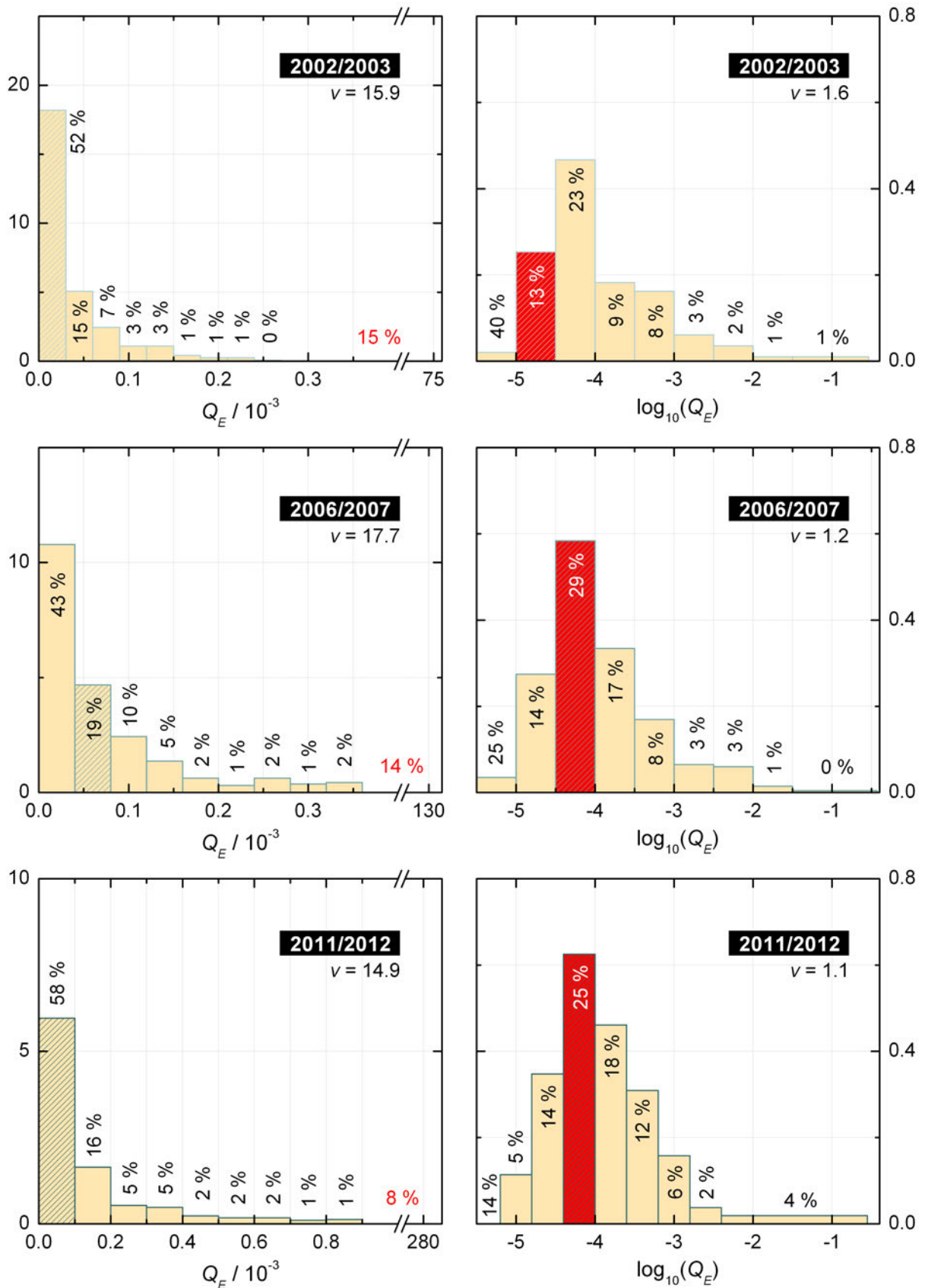


Abbildung 6-3: Histogramme für den Ausschöpfungsgrad elektrischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (nur Niederfrequenz bis 32 kHz). Links: Lineare Betrachtung. Rechts: Histogramme für den dekadisch logarithmierten Ausschöpfungsgrad. Die rot eingefärbte Klasse enthält jeweils den Mittelwert, die schraffierte Klasse den Median.

6.1.2 Gesamter Stimulationswirkungsbereich



Abbildung 6-4: Links: Dieser Messpunkt (Messpunkt 223) wies den höchsten Ausschöpfungsgrad im Lang- und Mittelwellenbereich auf ($Q_E = 18,4 \text{ ‰}$ für Lang- und Mittelwelle). Er liegt weniger als 4 km von der Langwellen-Sendeanlage in Mainflingen entfernt. Rechts: Die geringsten Immissionen bei Lang- und Mittelwelle lagen am anderen Ende Bayerns an der Grenze zu Österreich vor (Messpunkt 177, $Q_E = 0,094 \text{ ‰}$ für Lang- und Mittelwelle).

Der gesamte Bereich der Stimulationswirkungen erstreckt sich bis 10 MHz und beinhaltet die bereits diskutierten niederfrequenten Felder. Darüber hinaus umfasst er die Hörfunk-Frequenzbänder Lang- und Mittelwelle sowie Teile der Kurzwelle. Die Auswertung der Hörfunkbänder unterliegt dabei einer Besonderheit: Die Messtechnik verfügt nicht über getrennte Antennen für die magnetische und elektrische Feldkomponente, sondern erfasst nur das Magnetfeld, welches aber mittels geeigneter Umrechnungsfaktoren und der Annahme von Fernfeldbedingungen¹⁷ als *elektrische Feldstärke* weiter verarbeitet wird. Den hier und später in Kapitel 6.2.2 gezeigten Daten in den Hörfunkbändern liegen daher dieselben Daten zu Grunde.

Die Gesamtimmissionen im Bereich der Stimulationswirkungen bewegten sich bei den früheren Messreihen im Median knapp über 3,1 ‰ und im Mittel um 5,2 ‰. Die aktuelle Messreihe weist einen leichten Rückgang auf und liegt nun bei 2,53 ‰ für den Median und 4,87 ‰ für den Mittelwert. Der Anteil der Messpunkte, die geringere Immissionen als 5,0 ‰ aufweist, ist über die Jahre stabil bei 82 % geblieben, wie die Histogramme (Abbildung 6-6) zeigen.

Dieser Rückgang der Immissionen ist teilweise (auf Basis des Wilcoxon-Tests; siehe Tabelle 8-1) statistisch signifikant, und zwar sowohl gegenüber der Messreihe 2002/2003 als auch gegenüber 2006/2007. Die Odds Ratios für diese beiden Bezugsmessreihen sind mit 116:287 bzw. 111:292 sehr ähnlich.

Die sehr geringen Immissionen niederfrequenter elektrischer Felder spielen erwartungsgemäß kaum eine Rolle. In den ersten beiden Messreihen trugen sie jeweils mit 6 % zu den Gesamtimmissionen bei, wohingegen der Hauptanteil von 77 % durch Lang- und Mittelwellenrundfunk zu Stande kam. In der dritten Messreihe haben sich die Beiträge niederfrequenter Felder (auf 9 %) und von Lang- und Mittelwelle (auf 80 %) geringfügig erhöht. Der Beitrag der Kurzwelle ist folglich von 17 % auf 12 % (leicht) gesunken. Möglicherweise macht sich an dieser Stelle bemerkbar, dass an Lang- und Mittelwellensendeanlagen nur geringe Änderungen erfolgt sind, zumindest, was die Auswirkungen auf Bayern anbelangt. Es gab zwar vereinzelte Abschaltungen von entfernter liegenden Mittelwellensendern, die aber erst während der laufenden Messreihe (Sender Mühlacker und Mainflingen) oder gar erst nach Abschluss der Messreihe (Sender Wachenbrunn) erfolgten. In vollem Umfang werden sie sich deshalb erst in der nächsten Messreihe bemerkbar machen. Im Kurzwellenbereich ergab sich dagegen mit der Abschaltung des Senders Ismaning (6085 kHz) zum 01. Oktober 2010 eine bedeutsame Veränderung, zumal dieser Sender nahe des Ballungsraums München mit entsprechender Messpunktanzahl lag.

¹⁷Im Extremfall des Senders Mainflingen auf der niedrigsten relevanten Sendefrequenz (77,5 kHz) liegen Fernfeldbedingungen erst ab $r_{\text{far}} > 2 \cdot \lambda = 2 \cdot c/f \approx 7,7 \text{ km}$ vor. Für den Sender Aholming (207 kHz) gilt $r_{\text{far}} \approx 2,9 \text{ km}$.

In den Verteilungskurven (Abbildung 6-5) fällt auf, dass etwa 20 % der Messpunkte¹⁸ mit hohen Immissionen zwischen allen drei Messreihen ähnlich ausfallen und die Verteilungen erst an den unteren 80 % voneinander abweichen. Eine schlüssige Erklärung hierfür konnte allerdings nicht gefunden werden.

¹⁸Es handelt sich aber nicht notwendigerweise um dieselben 20 % an Messpunkten.

Tabelle 6-2: Statistische Lagemaße für den Ausschöpfungsgrad elektrischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (bis 10 MHz). Dargestellt sind spaltenweise von links nach rechts: Der mittlere Ausschöpfungsgrad (in Einheiten von ‰) sowie 25-, 50-, 75-, 90-, 95- und 99-%-Perzentile des Ausschöpfungsgrads (ebenfalls in Einheiten von ‰).

Daten	Q _{avg}	Q _{P25}	Q _{P50}	Q _{P75}	Q _{P90}	Q _{P95}	Q _{P99}
Messreihe 2002/2003							
<i>E</i> Niederfrequenz (bis 32 kHz)	1,56	0,000	0,027	0,092	0,629	1,42	27,2
<i>E</i> Hörfunk (60 kHz – 10 MHz)	3,69	2,33	2,95	4,07	5,95	8,61	13,6
<i>E</i> Gesamt (bis 10 MHz)	5,22	2,42	3,14	4,38	7,00	10,3	27,7
Messreihe 2006/2007							
<i>E</i> Niederfrequenz (bis 32 kHz)	1,66	0,010	0,055	0,152	0,625	2,49	16,0
<i>E</i> Hörfunk (60 kHz – 10 MHz)	3,58	2,29	2,96	3,93	5,54	7,84	14,8
<i>E</i> Gesamt (bis 10 MHz)	5,23	2,41	3,18	4,22	6,75	9,42	24,9
Messreihe 2011/2012							
<i>E</i> Niederfrequenz (bis 32 kHz)	1,74	0,029	0,079	0,225	0,684	1,66	20,6
<i>E</i> Hörfunk (60 kHz – 10 MHz)	3,16	1,80	2,29	3,49	5,97	7,99	13,1
<i>E</i> Gesamt (bis 10 MHz)	4,87	1,93	2,53	4,09	7,23	10,8	27,6

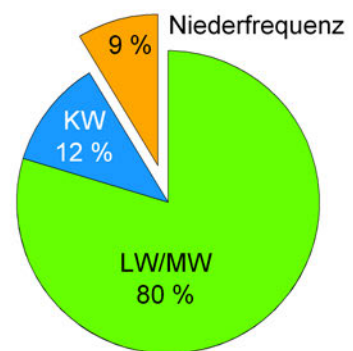
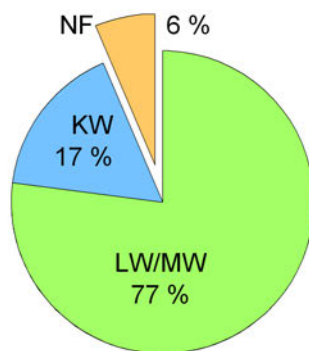
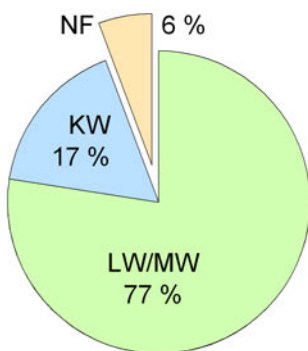
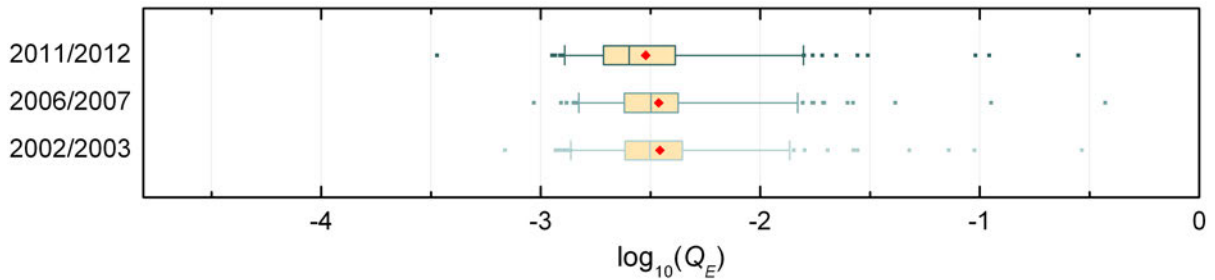
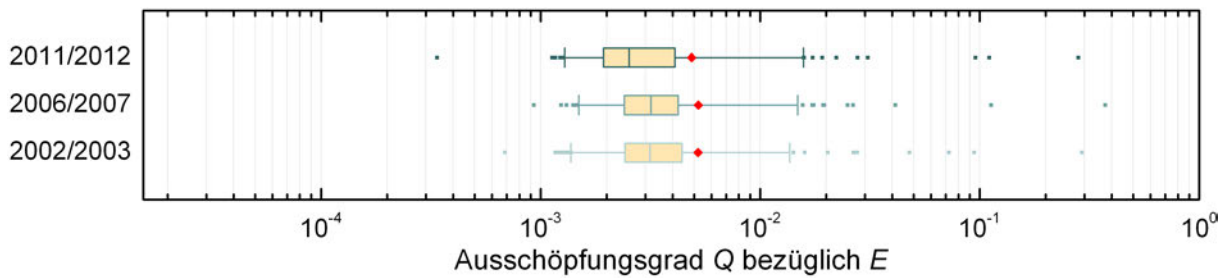
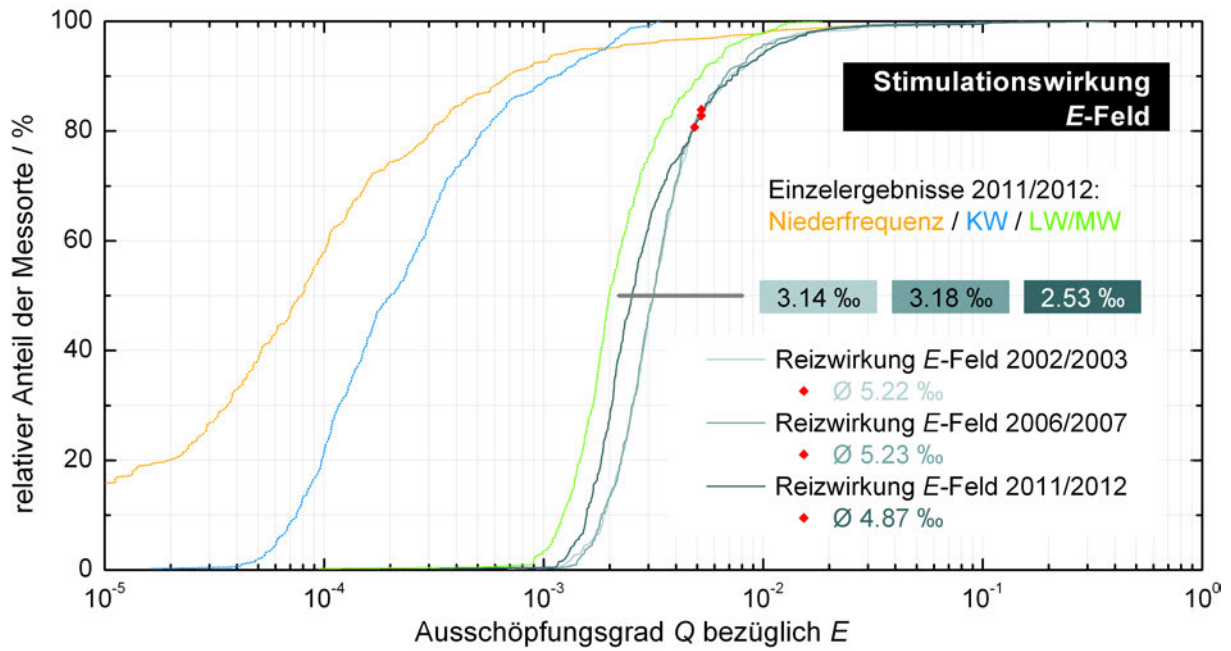


Abbildung 6-5: Übersichten zu den Ausschöpfungsgraden elektrischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (gesamt, incl. Hörfunk bis 10 MHz). Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade insgesamt sowie der einzelnen Beiträge bei der Messreihe 2011/2012. Mitte: Boxplot für den linearen bzw. dekadisch logarithmierten Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot eingezeichnet. Unten: Mittlere Anteile einzelner Beiträge zu den Gesamtimmisionen im Vergleich zwischen den Messreihen.

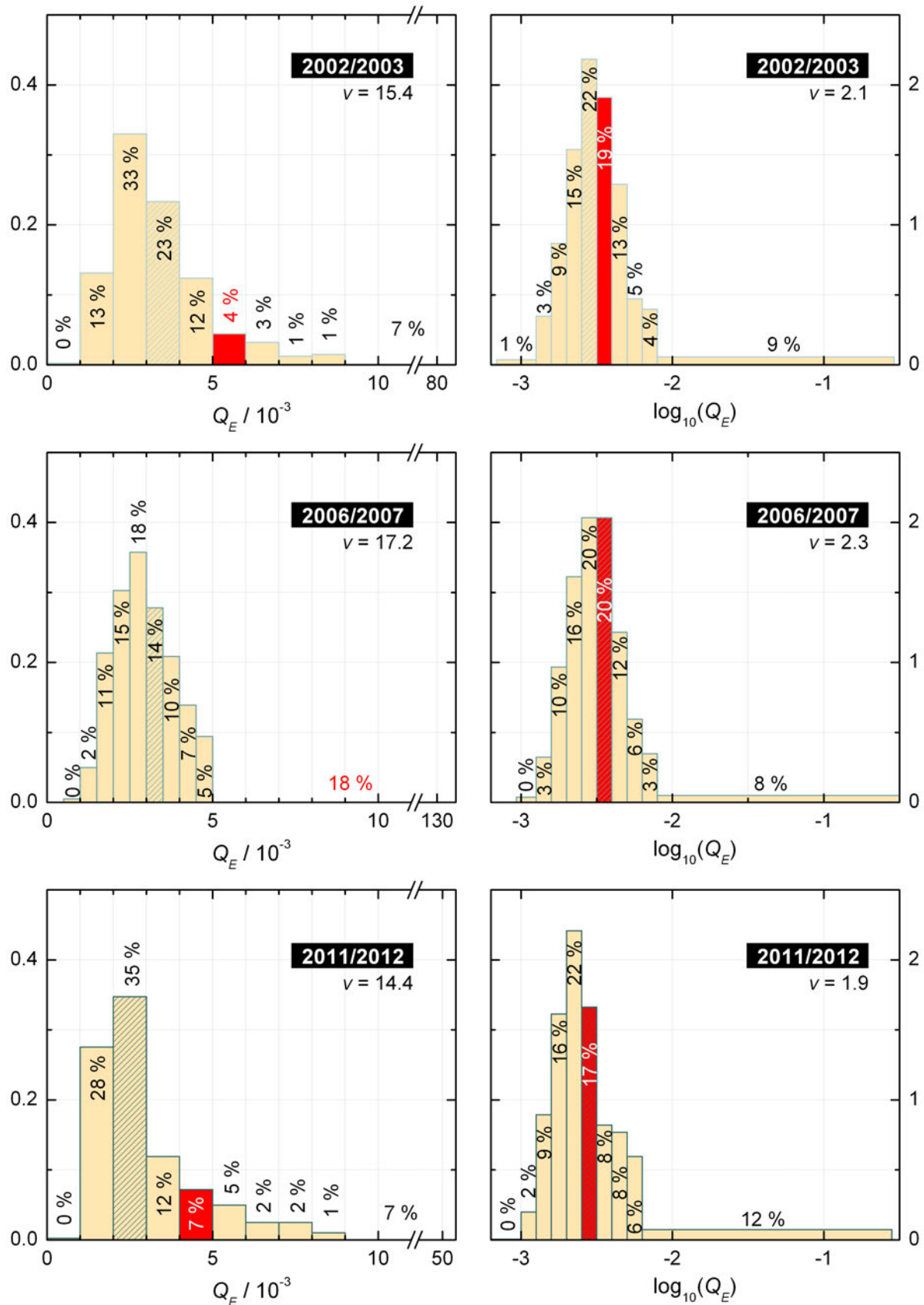


Abbildung 6-6: Histogramme für den Ausschöpfungsgrad elektrischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (gesamt, incl. Hörfunk bis 10 MHz). Links: Lineare Betrachtung. Rechts: Histogramme für den dekadisch logarithmierten Ausschöpfungsgrad. Die rot eingefärbte Klasse enthält jeweils den Mittelwert, die schraffierte Klasse den Median.

6.2 Magnetische Feldstärke

6.2.1 Niederfrequente Felder



Abbildung 6-7: Links: Einer von insgesamt 27 Messpunkten mit dem niedrigsten (Messpunkt 392; $Q_B = 0,00 \%$) Ausschöpfungsgrad niederfrequenter magnetischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen. Der Messpunkt gehört gleichzeitig auch zu den 57 Messpunkten mit dem niedrigsten Ausschöpfungsgrad niederfrequenter *elektrischer* Felder. Rechts: Messpunkt mit dem höchsten Ausschöpfungsgrad (Messpunkt 152; $Q_B = 153 \%$) niederfrequenter Magnetfelder.

Niederfrequente magnetische Felder korrelieren mit elektrischen (Wechsel-)Strömen und hängen deshalb mit der Nutzung elektrischer Energie zusammen.

Bereits im Abschlussbericht zur Messreihe 2006/2007 war eine Zunahme niederfrequenter Magnetfelder festgestellt worden, die aber nur zu einem kleinen Teil mit einem gestiegenen Energieverbrauch in Zusammenhang gebracht werden konnte. Die dritte Messreihe weist ein ähnliches Bild auf: insgesamt ergab sich eine leichte Zunahme der Immissionen, deren Medianwert nun $1,26 \%$ gegenüber $1,22 \%$ in der vorigen und $0,90 \%$ in der ersten Messreihe beträgt. Das entspricht einer Zunahme um 3% bzw. 40% . Der Mittelwert hat sich von zuletzt $2,21 \%$ auf nun $3,94 \%$ erhöht, was auf eine deutliche Zunahme der höchsten Ausschöpfungsgrade zurückzuführen ist, wie in den Boxplots in Abbildung 6-8 gut zu erkennen ist. Alleine der Messpunkt mit der höchsten Grenzwertausschöpfung weist in der aktuellen Messreihe 153% auf, wohingegen in der letzten Messreihe noch 20% beobachtet wurden. Die Zunahme des Mittelwerts ist dadurch alleine mit den 13 Messpunkten mit den höchsten Immissionen erklärbar.

Die Verteilungen der Immissionen sind wiederum schief (Abbildung 6-9); die überwiegende Mehrzahl an Messpunkten weist geringe oder sehr geringe Immissionen auf. Dem Trend leichter Zunahmen der Immissionen folgend, ist der Anteil an Messpunkten mit Immissionen von weniger als $5,0 \%$ entsprechend von 90% über 87% auf 85% leicht gefallen.

Die Veränderungen der Immissionen sind gegenüber der Ausgangslage 2002/2003 statistisch signifikant (Odds Ratio 178:112) und gegenüber der zweiten Messreihe noch teilweise (bezüglich des t -Test) signifikant (Odds Ratio 185:167). Sie lassen sich dennoch nicht abschließend erklären: Zwar haben die Stromkreislängen im Beobachtungszeitraum weiter zugenommen und lagen 2011 bei $1\,904\,074 \text{ km}$ [7] (nach $1\,641\,500 \text{ km}$ im Jahr 2002 und $1\,671\,300 \text{ km}$ im Jahr 2006), was einer Zunahme um 16% bzw. 14% entspricht. Der Stromverbrauch hat dagegen in den letzten Jahren sogar abgenommen und lag 2011 nach Angaben des BDEW bei $602,6 \text{ TWh}$ [8] (2002: $587,4 \text{ TWh}$; 2006: $617,0 \text{ TWh}$; untere Grafik in Abbildung 6-8).

Insgesamt scheint die Entwicklung der Immissionen niederfrequenter Magnetfelder eher vom Ausbau der Stromnetze abzuhängen. Die seit zehn Jahren (bis auf wenige Ausnahmen) unverändert liegenden Messpunkte haben hier durchaus eine gewisse Entwicklung durchlaufen: Mancherorts ursprünglich an oder in einer Wiese gelegene Messpunkte fanden sich bei der zweiten oder dritten Messreihe inmitten eines Neubaugebiets wieder. Da gerade Niederspannungsleitungen meist als Erdkabel ausgeführt werden, ist jedoch eine systematische Analyse der Korrelation zwischen den Feldern und dem Ausbau der Stromnetze schwierig. Der Einfluss des Stromverbrauchs auf die niederfrequenten Magnetfelder

scheint jedenfalls viel zu gering zu sein, um ihn mit dem gewählten Studiendesign nachweisen zu können (vgl. dazu auch die Ausführungen zur Reproduzierbarkeit am Referenzmesspunkt in Kapitel 9).

Tabelle 6-3: Statistische Spannweite der Ausschöpfungsgrade magnetischer Felder (Niederfrequenz bis 32 kHz). Erläuterung in Kapitel 2.5.

	Einzelmessungen pro Messort			
	AVG	MIN	MAX	SD
Messreihe 2002/2003				
höchster Wert der Messorte	22,5	13,0	44,3	30,9
Mittelwert über die Messorte	1,87	1,49	2,28	0,442
Standardabweichung	2,74	2,14	3,75	1,78
Variationskoeffizient	1,46	1,43	1,65	4,04
Quartilsdispersionskoeffizient	2,29	2,40	2,31	2,42
Messreihe 2006/2007				
höchster Wert der Messorte	20,1	19,1	20,8	6,83
Mittelwert über die Messorte	2,21	1,82	2,70	0,440
Standardabweichung	2,86	2,51	3,41	0,717
Variationskoeffizient	1,29	1,38	1,26	1,63
Quartilsdispersionskoeffizient	2,18	2,40	2,06	2,08
Messreihe 2011/2012				
höchster Wert der Messorte	153	119	172	60,9
Mittelwert über die Messorte	3,94	2,69	5,78	1,65
Standardabweichung	12,4	8,99	15,9	5,55
Variationskoeffizient	3,14	3,34	2,76	3,37
Quartilsdispersionskoeffizient	2,33	2,77	2,52	2,75

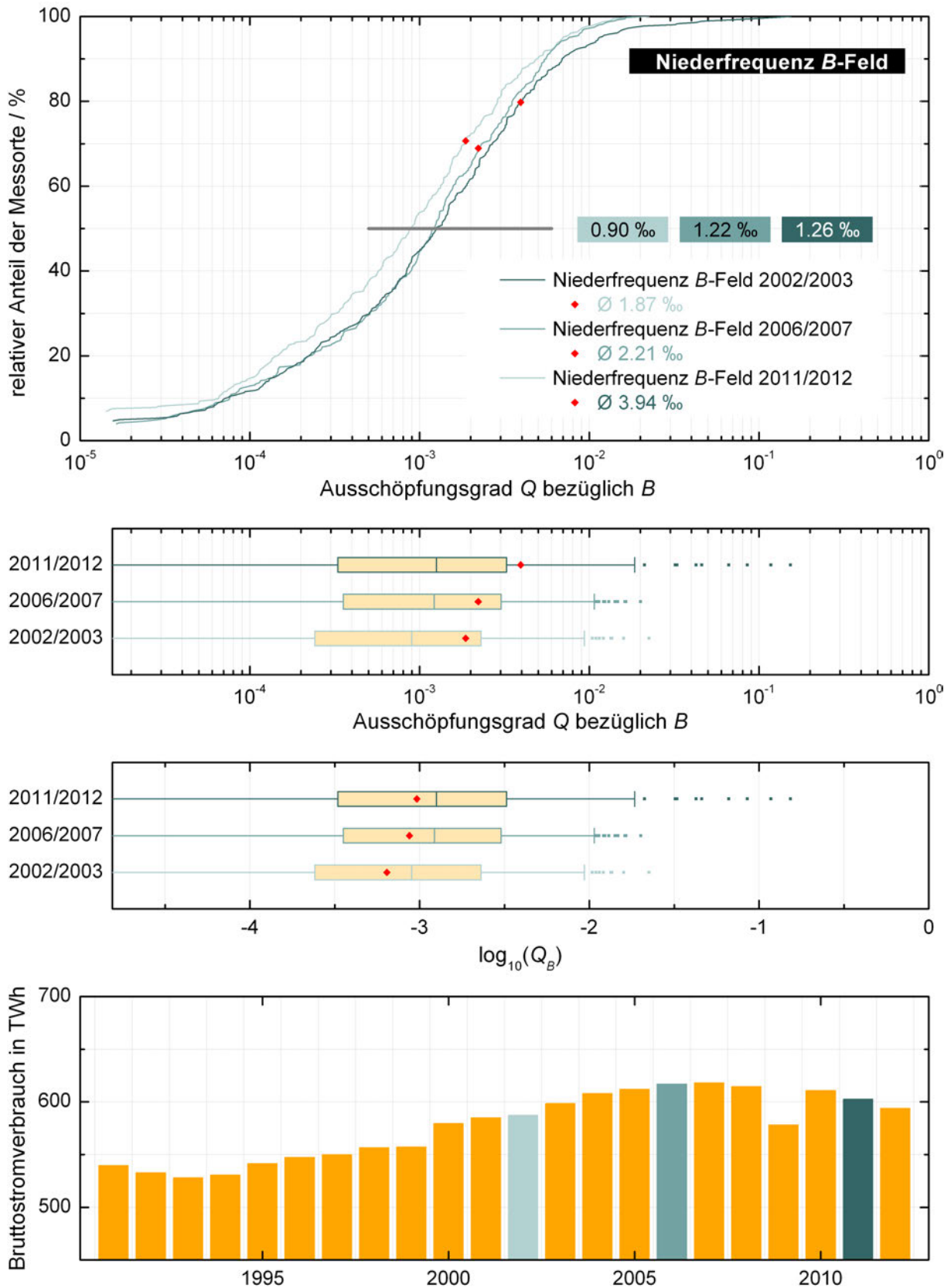


Abbildung 6-8: Übersichten zu den Ausschöpfungsgraden magnetischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (nur Niederfrequenz bis 32 kHz). Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade insgesamt. Mitte: Boxplot für den linearen bzw. dekadisch logarithmierten Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot eingezeichnet. Die Whisker erstrecken sich bis Null, was auf der logarithmischen Skala nicht darstellbar ist. Unten: Entwicklung des Bruttostromverbrauchs in Deutschland. (Daten der Monitoring-Messreihen farblich hervorgehoben.)

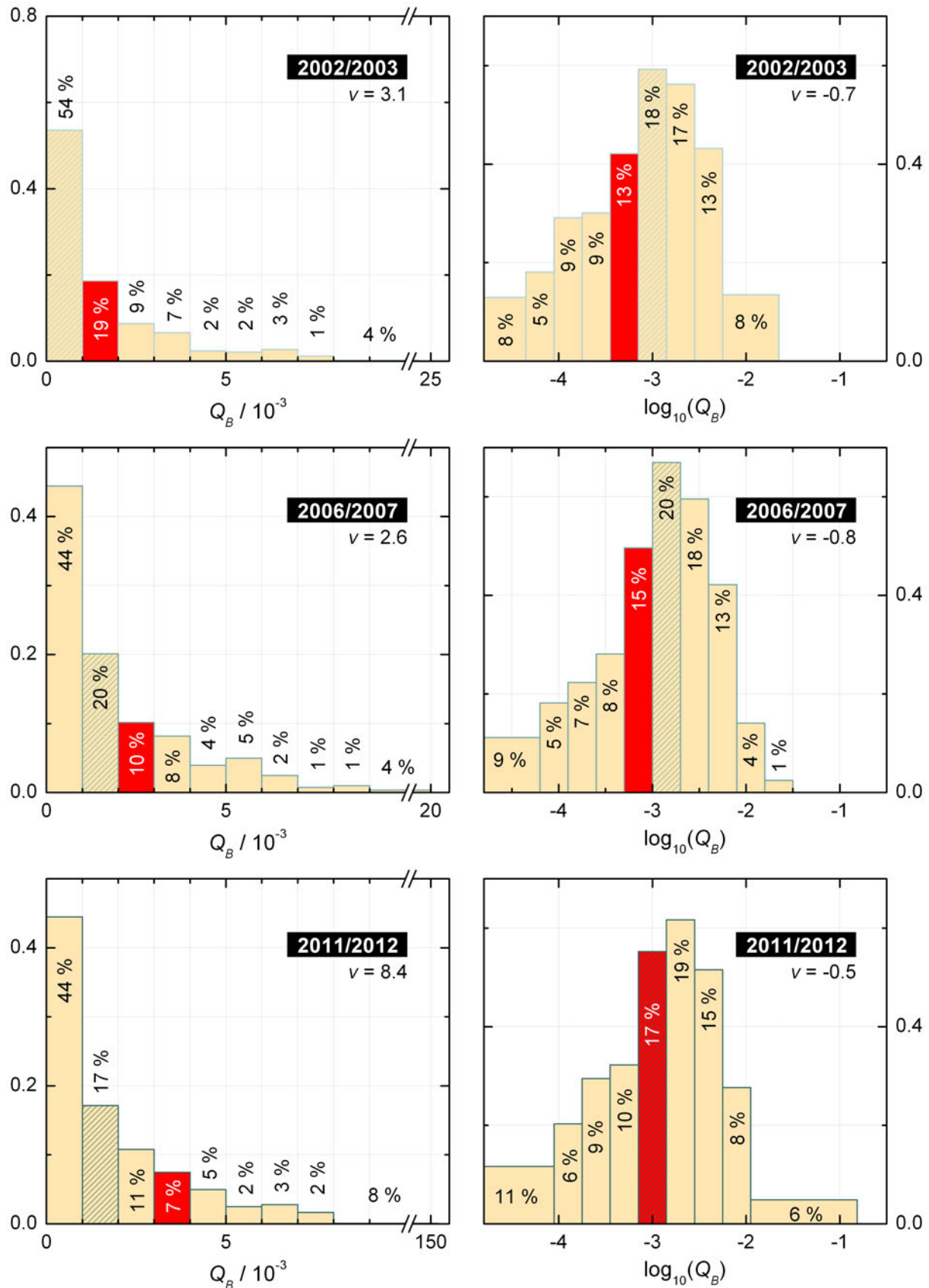


Abbildung 6-9: Histogramme für den Ausschöpfungsgrad magnetischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (nur Niederfrequenz bis 32 kHz). Links: Lineare Betrachtung. Rechts: Histogramme für den dekadisch logarithmierten Ausschöpfungsgrad. Die rot eingefärbte Klasse enthält jeweils den Mittelwert, die schraffierte Klasse den Median.

6.2.2 Gesamter Stimulationswirkungsbereich

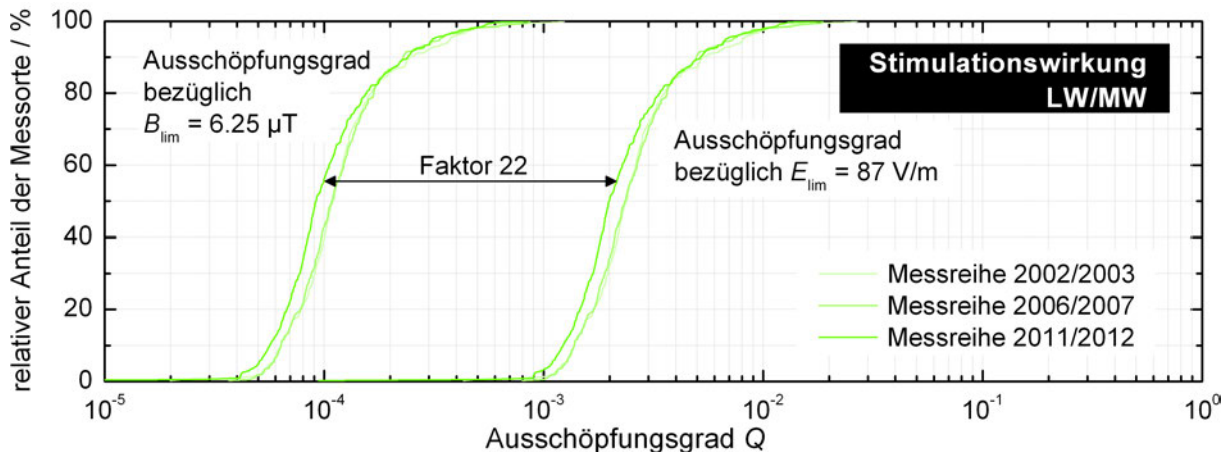


Abbildung 6-10: Bei den Funkdiensten LW/MW (hier dargestellt) und KW (nicht gezeigt) wird nur die magnetische Feldkomponente gemessen. Um die Grenzwertbetrachtung auch für die elektrische Feldstärke durchführen zu können, wurde die elektrische Komponente näherungsweise unter der Annahme von Fernfeldbedingungen errechnet: $E = Z_0 \cdot B / \mu_0$. Weil beide Grenzwerte in diesem Frequenzbereich konstant sind, liegen die Ausschöpfungsgrade für die magnetische und für die elektrische Feldstärke exakt um den Faktor $(Z_0 \cdot B_{\text{lim}} / \mu_0) / E_{\text{lim}} \approx 22$ (mit $E_{\text{lim}} = 87 \text{ V/m}$ und $B_{\text{lim}} = 6,25 \text{ µT}$) auseinander.

Wie schon zuvor bei den Gesamtmissionen elektrischer Felder (Kapitel 6.1.2) bestehen auch die Gesamtmissionen für den Bereich der Stimulationswirkungen magnetischer Felder aus den Beiträgen niederfrequenter Felder, der Rundfunkbänder Lang- und Mittelwelle sowie Teilen der Kurzwelle bis 10 MHz. Die niederfrequenten Felder wurden mit getrennten Messgeräten erfasst und liegen deshalb getrennt für magnetische und elektrische Felder vor. Lang-, Mittel- und Kurzwelle wurden dagegen nur einmal gemessen und unter der Annahme von Fernfeldbedingungen ineinander umgerechnet. Deswegen unterscheiden sich ihre Beiträge nur um eine Konstante Z_0 / μ_0 (mit dem Wellenwiderstand des Vakuums $Z_0 = 376,7 \text{ Ω}$ und der magnetischen Feldkonstante $\mu_0 = 12,6 \cdot 10^{-7} \text{ Vs/Am}$) und dem Verhältnis der Grenzwerte für elektrische und magnetische Felder. Da die Grenzwerte im Frequenzbereich zwischen 3 kHz und 10 MHz konstant sind, ergibt sich für die Umrechnung zwischen den Ausschöpfungsgraden magnetischer Felder und denen elektrischer Felder etwa ein Faktor 22 (Abbildung 6-10). Trotz gleicher Messwerte weisen deshalb die Bereiche Lang-, Mittel- und Kurzwelle eine um mehr als eine Größenordnung geringere Grenzwertausschöpfung auf, wenn sie hinsichtlich der Stimulationswirkung magnetischer Felder bewertet werden.

Zusammen mit den insgesamt größeren Immissionen niederfrequenter Magnetfelder spielen deshalb die Rundfunkmissionen bei den Gesamtmissionen (der Stimulationswirkungen durch magnetische Felder) nur eine untergeordnete Rolle¹⁹; sie tragen mit 17 % (LW/MW) und 3 % (KW) zu den Gesamtmissionen bei. Dominierend sind die niederfrequenten Felder mit einem Anteil von 80 %. Die Verteilung hat sich gegenüber der letzten Messreihe fast nicht geändert.

In Folge dessen verhalten sich auch die Mediane und Mittelwerte der Gesamtmissionen ähnlich wie die der niederfrequenten Magnetfelder: Der Median ist im Laufe der Messreihen moderat von 1,05 ‰ über 1,36 ‰ auf jetzt 1,44 ‰ angestiegen. Das entspricht einer Zunahme um 6 % gegenüber 2006/2007 bzw. um 37 % gegenüber 2002/2003. Auch die weiteren statistischen Daten sind weitgehend identisch mit denen der Niederfrequenz: Die Änderung gegenüber der zweiten Messreihe ist bedingt (im *t*-Test) und gegenüber der Ausgangssituation voll statistisch signifikant. Die Odds Ratios liegen bei 183:179 bzw. 172:127. Für die weiteren Schlussfolgerungen sei deshalb auf Kapitel 6.2.1 verwiesen.

¹⁹Für die Stimulationswirkung elektrischer Felder ist es umgekehrt; siehe dazu Kapitel 6.1.2.

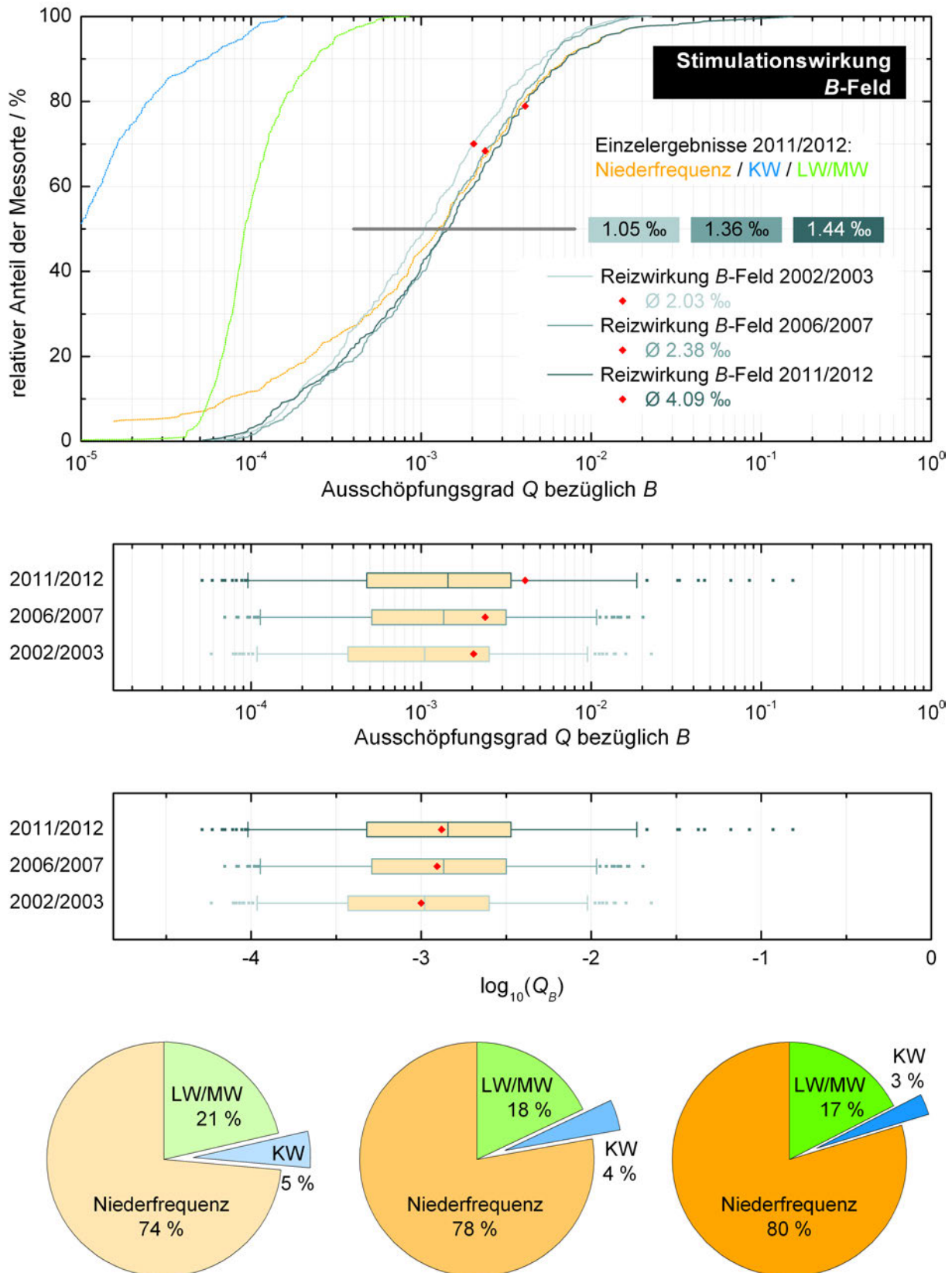


Abbildung 6-11: Übersichten zu den Ausschöpfungsgraden magnetischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (gesamt, incl. Hörfunk bis 10 MHz). Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade insgesamt sowie der einzelnen Beiträge bei der Messreihe 2011/2012. Mitte: Boxplot für den linearen bzw. dekadisch logarithmierten Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot eingezeichnet. Unten: Mittlere Anteile einzelner Beiträge zu den Gesamtmissionen im Vergleich zwischen den Messreihen.

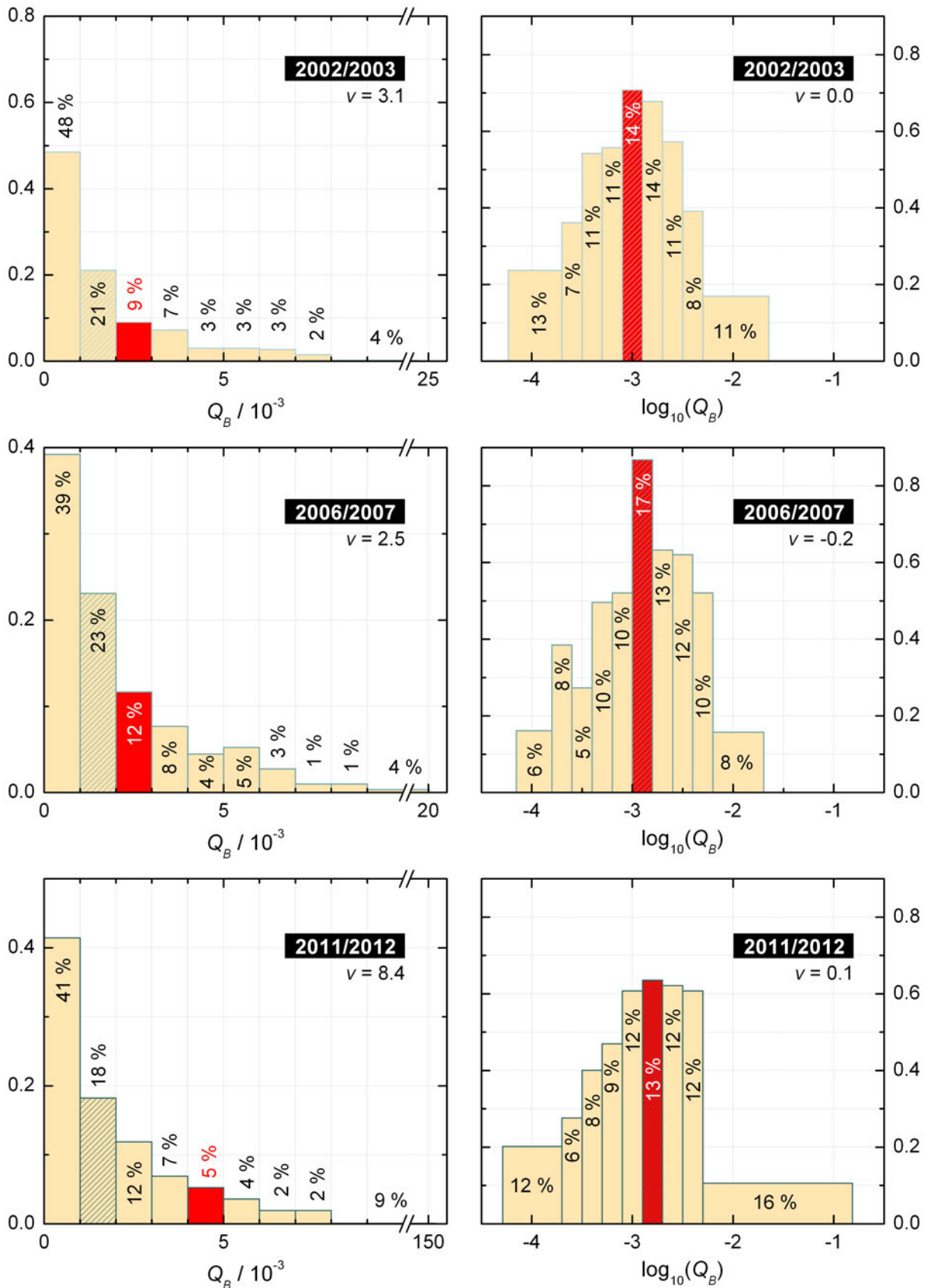


Abbildung 6-12: Histogramme für den Ausschöpfungsgrad magnetischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (gesamt, incl. Hörfunk bis 10 MHz). Links: Lineare Betrachtung. Rechts: Histogramme für den dekadisch logarithmierten Ausschöpfungsgrad. Die rot eingefärbte Klasse enthält jeweils den Mittelwert, die schraffierte Klasse den Median.

Tabelle 6-4: Statistische Lagemaße für den Ausschöpfungsgrad magnetischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (bis 10 MHz). Dargestellt sind spaltenweise von links nach rechts: Der mittlere Ausschöpfungsgrad (in Einheiten von ‰) sowie 25-, 50-, 75-, 90-, 95- und 99-%-Perzentile des Ausschöpfungsgrads (ebenfalls in Einheiten von ‰).

Daten	Q _{avg}	Q _{P25}	Q _{P50}	Q _{P75}	Q _{P90}	Q _{P95}	Q _{P99}
Messreihe 2002/2003							
<i>B</i> Niederfrequenz (bis 32 kHz)	1,87	0,241	0,899	2,30	4,97	6,98	13,0
<i>B</i> Hörfunk (60 kHz – 10 MHz)	0,170	0,108	0,136	0,188	0,275	0,398	0,628
<i>B</i> Gesamt (bis 10 MHz)	2,03	0,371	1,05	2,51	5,18	7,35	13,3
Messreihe 2006/2007							
<i>B</i> Niederfrequenz (bis 32 kHz)	2,21	0,355	1,22	3,02	5,54	7,53	14,2
<i>B</i> Hörfunk (60 kHz – 10 MHz)	0,165	0,106	0,137	0,181	0,256	0,362	0,684
<i>B</i> Gesamt (bis 10 MHz)	2,38	0,512	1,36	3,16	5,71	7,73	14,4
Messreihe 2011/2012							
<i>B</i> Niederfrequenz (bis 32 kHz)	3,94	0,330	1,26	3,25	6,91	11,4	53,9
<i>B</i> Hörfunk (60 kHz – 10 MHz)	0,146	0,083	0,106	0,161	0,276	0,369	0,605
<i>B</i> Gesamt (bis 10 MHz)	4,09	0,479	1,44	3,38	7,13	11,5	54,2

7 Ergebnisse für die thermische Wirkung

7.1 Hörfunk



Abbildung 7-1: Messpunkte mit dem niedrigsten (links Messpunkt 264; $Q_{E2} = 0,08 \cdot 10^{-6}$) und höchsten (rechts Messpunkt 017; $Q_{E2} = 772 \cdot 10^{-6}$) thermischen Ausschöpfungsgrad beim Hörfunk. Der rechte Messpunkt befindet sich direkt neben einem UKW-Füllsender, der fünf Radioprogramme mit einer ERP von jeweils 100 W abstrahlt.

Zu den Hörfunk-Immissionen für den Bereich thermischer Wirkung tragen neben UKW-Radio und dem Digitalradio DAB²⁰ auch die Funkdienste im Kurz- und Mittelwellenband sowie der Teil der Langwelle oberhalb von 100 kHz bei. In früheren Messreihen kam der größte Beitrag zu den Hörfunk-Immissionen durch den Kurzwellenrundfunk zu Stande. Beim Blick auf die Anteilsgrafiken (Abbildung 7-2) fällt auf, dass sich dieses Bild in der Messreihe 2011/2012 etwas verschoben hat: Die Hauptbeiträge verteilen sich nun anteilig auf Lang-/Mittelwelle (35 %) und Kurzwelle (34 %). Dafür macht der Anteil des Digitalradios DAB inzwischen 14 % aus, während er bei früheren Messreihen noch bei 1 % und 2 % lag.

Hierzu trägt sicherlich bei, dass es im Bereich der Kurzwelle und in geringerem Ausmaß auch bei der Mittelwelle zu Senderabschaltungen in den vergangenen Jahren kam. Die sinkende Bedeutung dieser Funkbänder führt dadurch allmählich auch zu einem leichten Rückgang der zugehörigen Immissionen (siehe dazu die Diskussion zu den Immissionen im Bereich der Simulationenwirkungen in Kapitel 6.1.2).

DAB ist in Deutschland bereits seit 1995 in Betrieb und fristete 16 Jahre lang ein Nischendasein. Mit einem effizienteren Kompressionsverfahren und einem breiteren Programmangebot wird mit der Weiterentwicklung DAB+ seit August 2011 ein zweiter Anlauf versucht. In diesem Zusammenhang kam es zu einigen grundlegenden Veränderungen der Frequenznutzung und der eingesetzten Sendeleistungen:

- Traditionell war DAB in den Frequenzbändern VHF Band III und L-Band angesiedelt. Im VHF-Band war in Deutschland wegen der Parallelnutzung mit dem terrestrischen Fernsehen (sowohl analog als auch digital) zunächst nur Kanal 12 (223 MHz – 230 MHz), später auch Kanal 11 (216 MHz – 223 MHz) für DMB-Dienste²¹ verfügbar. Letzterer wurde bei der Messreihe 2006/2007 deswegen auch nicht für den Hörfunk berücksichtigt, sondern war in den Fernsehmissionen enthalten. Im Mai und Juni 2006 wurde auf der Regional Radiocommunication Conference 2006 (RRC06) der ITU²² die weitere Nutzung der Rundfunkfrequenzen koordiniert. Obwohl die RRC06 die Aufteilung nach Hörfunk und Fernsehen nicht vorschreibt, zeichnet sich ab, das VHF-Band III für DAB und das UHF-Band für DVB-T zu nutzen. Die Fernsehnutzung der VHF-Kanäle wurde im Anschluss an die RRC06 sukzessive beendet und DVB-T in den UHF-Bereich verlagert (siehe dazu auch Kapitel 7.2). Die dadurch frei gewordenen Frequenzen werden in Deutschland für neue regionale (bayernweit auf den

²⁰Wenn in diesem Bericht von DAB die Rede ist, ist damit implizit immer auch DAB+ mit eingeschlossen.

²¹Digital Multimedia Broadcasting (DMB) ist eine Erweiterung von DAB um Videoinhalte.

²²International Telecommunication Union; Internationale Fernmeldeunion.

Kanälen 11D und 12D sowie weitere lokale Multiplexe²³) und bundesweite (Kanal 5C, bis März 2012 ursprünglich 5A) DAB-Multiplexe verwendet. Die Nutzung des L-Bands für DAB ist in Deutschland seit Juni 2008 bundesweit beendet.

- Bislang kamen für die DAB-Sender Sendeleistungen um 1 kW (ERP²⁴) zum Einsatz. Die neuen bundes- und landesweiten Multiplexe auf den Kanälen 5C und 11D werden inzwischen überwiegend mit 10 kW gesendet. Für Kanal 12D sind seit der Freigabe durch die Bundesnetzagentur im November 2007 je nach Standort 4 kW oder ebenfalls 10 kW (ERP) möglich.²⁵ In Bayern wird die Leistungserhöhung auf Kanal 12D seit 26. Mai 2008 sukzessive umgesetzt.

Der UKW-Bereich blieb dagegen relativ stabil. An den großen Grundnetzsendern gab es praktisch keine Änderungen, dafür werden aber zusehends kleine Füllsender relevant, die mit geringer Sendeleistung die örtliche Radioversorgung jeweils punktuell verbessern, umgangssprachlich oft als "Funzeln" bezeichnet. In der unmittelbaren Umgebung tragen sie trotz ihrer niedrigen Sendeleistung zu den Immissionen, die ansonsten auf sehr niedrigem Niveau liegen, merklich bei. Der Messpunkt mit dem höchsten Ausschöpfungsgrad beim Hörfunk liegt neben einem solchen Füllsender (rechtes Bild in Abbildung 7-1).

Betrachtet man den Hörfunk als Ganzes, so sind die Immissionen insgesamt ambivalent. Der Median weist einen leichten Rückgang (nach $1,87 \cdot 10^{-6}$ während der Messreihe 2002/2003 und $1,67 \cdot 10^{-6}$ in den Jahren 2006/2007) auf $1,17 \cdot 10^{-6}$ auf, was prozentual gesehen eine Abnahme um 37 % bzw. 30 % darstellt. Dagegen erfuhr der Mittelwert eine geringe Erhöhung von $5,01 \cdot 10^{-6}$ bzw. $4,68 \cdot 10^{-6}$ auf nunmehr $6,38 \cdot 10^{-6}$, was einer Zunahme um 27 % bzw. 36 % entspricht.

Die Änderung zwischen der jetzigen und den vorherigen Messreihen fallen zum Teil (bezüglich des Wilcoxon-Tests) statistisch signifikant aus (Tabelle 8-1). Ein Blick auf das Odds Ratio (Quotenverhältnis) in derselben Tabelle, d. h. der Anzahl an Messpunkten mit Zu- und Abnahmen der Immissionen, zeigt, dass sich für die beiden Bezugsmessreihen sehr ähnliche Ergebnisse ergeben: 120:283 gegenüber 2002/2003 und 130:273 gegenüber 2006/2007. Der Median gibt insofern den allgemeinen Trend wieder, dass am Großteil aller Messpunkte ein Rückgang der Hörfunkimmissionen eingetreten ist. Auf der anderen Seite muss dann die Zunahme an den verbleibenden Messpunkten umso größer ausgefallen sein, um den Anstieg im Mittelwert erklären zu können. Tatsächlich trägt hierzu sogar alleine der Messpunkt mit den höchsten Hörfunkimmissionen bei; der Mittelwert der restlichen 402 Messpunkte liegt mit $4,48 \cdot 10^{-6}$ sogar leicht unter dem Wert der zweiten Messreihe.

Wie Tabelle 7-1 zeigt, tragen zu den insgesamt rückläufigen Hörfunkimmissionen vor allem Lang-, Mittel- und Kurzwellen, interessanterweise bayernweit aber auch UKW bei. In der Tabelle sind diese Funkdienste jeweils einzeln als verbundene Stichprobe²⁶ dargestellt. Während die Abnahme für den Teilbereich UKW hauptsächlich durch kleine Differenzen zu Stande kommt und demzufolge im Bereich statistischer Unsicherheiten liegt, fallen die Änderungen bei den restlichen Funkdiensten deutlicher aus. Insgesamt stehen die Ergebnisse in Einklang mit den funktechnischen Änderungen des Hörfunks in den vergangenen Jahren.

Die Verteilung der Hörfunkimmissionen ist ausgeprägt rechtsschief (Abbildung 7-3); die überwiegende Zahl aller Messpunkte weist sehr geringe Immissionen auf. Rund 80 % der Messorte weist Immissionen von weniger als $5,0 \cdot 10^{-6}$ auf. Wegen der geringen Veränderungen der Hörfunkimmissionen hat sich dieser Anteil im Laufe der Zeit auch nur gering von ursprünglich 78 % auf nun 81 % verändert.

²³Kanal 9C (Augsburg), 10C (Nürnberg), 11A (Ingolstadt), 11C (München), 12A (leistungsschwache Testausstrahlungen in München) und 6A (leistungsschwache Testausstrahlungen in Erlangen).

²⁴Die Effektive Strahlungsleistung (effective radiated power, ERP) ist das Produkt der in eine Sendeantenne eingespeisten Leistung multipliziert mit deren Antennengewinn (relativ zu einem Halbwellendipol).

²⁵Die Beschränkung auf 1 kW kam durch bevorrechtigte Schutzanforderungen auf militärischer Seite zu Stande.

²⁶Das heißt, dass die Menge aller Differenzen zweier Messreihen ausgewertet wird.

Tabelle 7-1: Aufschlüsselung über die Zu- und Abnahme der thermischen Ausschöpfungsgrade in den Hörfunkbändern. Angegeben sind die Mittelwerte (Q_{avg}) und Mediane (Q_{P50}) der verbundenen Stichproben von je zwei Messreihen. Die letzte Spalte gibt das Odds Ratio für Zu- und Abnahme an.

Daten	Q_{avg}	Q_{P50}	Odds Ratio
Änderung zwischen den Messreihen 2002/2003 und 2011/2012			
Hörfunk gesamt	1,37	-0,611	120:283
LW/MW	-0,921	-0,080	75:328
Kurzwelle	-0,544	-0,339	110:293
UKW	1,29	-0,017	119:284
DAB	1,55	0,010	349:54
Änderung zwischen den Messreihen 2006/2007 und 2011/2012			
Hörfunk gesamt	1,70	-0,412	130:273
LW/MW	-0,623	-0,080	79:324
Kurzwelle	-0,286	-0,181	121:282
UKW	1,17	-0,035	82:321
DAB	1,45	0,006	330:73

Tabelle 7-2: Statistische Spannweite der thermischen Ausschöpfungsgrade beim Hörfunk. Erläuterung in Kapitel 2.5.

	Einzelmessungen pro Messort			
	AVG	MIN	MAX	SD
Messreihe 2002/2003				
höchster Wert der Messorte	94,6	82,2	103	9,98
Mittelwert über die Messorte	5,01	3,87	6,52	0,832
Standardabweichung	9,68	8,28	11,2	1,24
Variationskoeffizient	1,93	2,14	1,71	1,49
Quartilsdispersionskoeffizient	1,73	2,12	1,70	1,74
Messreihe 2006/2007				
höchster Wert der Messorte	89,1	71,6	106	14,7
Mittelwert über die Messorte	4,68	3,60	6,20	0,828
Standardabweichung	9,63	7,91	11,3	1,43
Variationskoeffizient	2,06	2,20	1,82	1,73
Quartilsdispersionskoeffizient	1,86	2,27	1,82	1,73
Messreihe 2011/2012				
höchster Wert der Messorte	772	728	821	32,1
Mittelwert über die Messorte	6,38	5,47	7,70	0,731
Standardabweichung	39,8	37,4	42,5	1,98
Variationskoeffizient	6,24	6,85	5,52	2,71
Quartilsdispersionskoeffizient	2,73	2,88	2,35	2,04

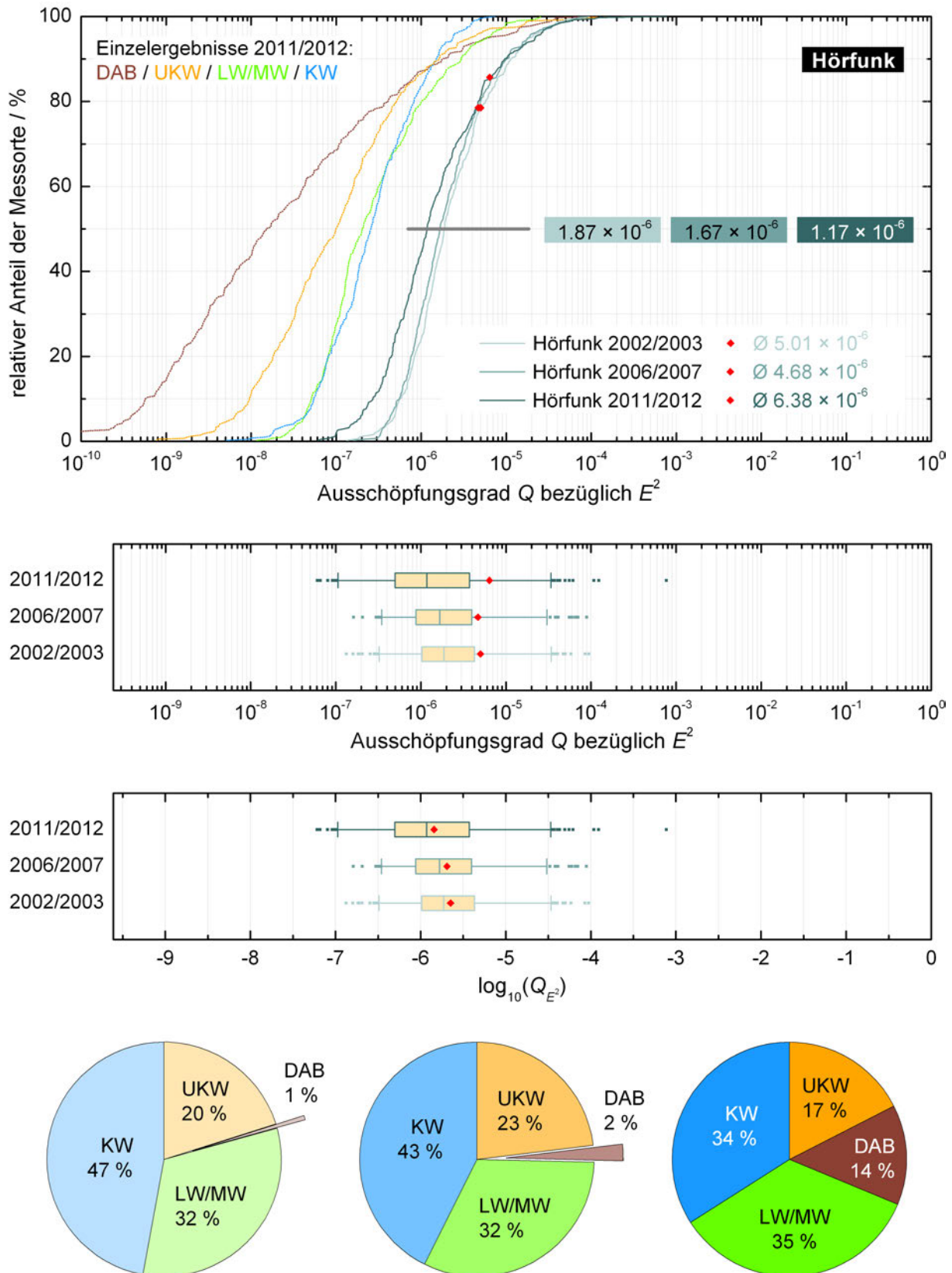


Abbildung 7-2: Übersichten zu den thermischen Ausschöpfungsgraden beim Hörfunk. Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade beim Hörfunk insgesamt sowie der einzelnen Beiträge bei der Messreihe 2011/2012. Mitte: Boxplot für den linearen bzw. dekadisch logarithmierten Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot eingezeichnet. Unten: Mittlere Anteile der einzelnen Funkdienste an den gesamten Hörfunkimmissionen im Vergleich zwischen den Messreihen.

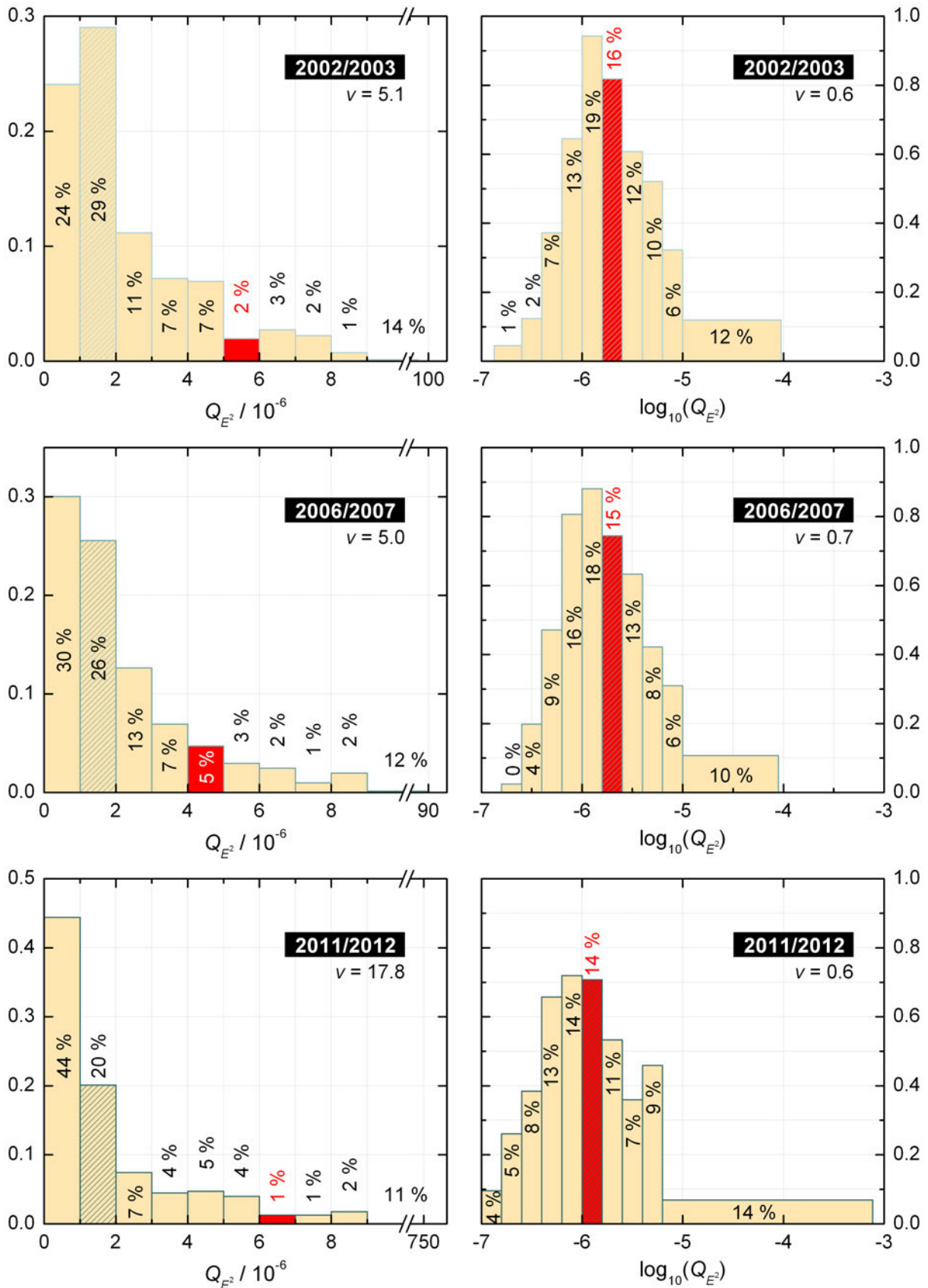


Abbildung 7-3: Histogramme für den thermischen Ausschöpfungsgrad beim Hörfunk. Links: Lineare Betrachtung. Rechts: Histogramme für den dekadisch logarithmierten Ausschöpfungsgrad. Die rot eingefärbte Klasse enthält jeweils den Mittelwert, die schraffierte Klasse den Median.

7.2 Terrestrisches Fernsehen

Seit dem Bericht zur letzten Messreihe wurde die Umstellung von analogem auf digitales Fernsehen abgeschlossen. Daneben kam es in den vergangenen Jahren jedoch zu mehreren Umstrukturierungen in diesem Bereich, sodass insgesamt von folgenden Änderungen seit der Messreihe 2006/2007 ausgegangen werden kann:

- Die Umstellung auf das digitale Antennenfernsehen DVB-T begann bundesweit 2003 (in Berlin), in Bayern erst 2005. Für DVB-T war keine weitere Nutzung des VHF-I-Frequenzbands mehr vorgesehen. Mit der Digitalumstellung des Senders Ochsenkopf, der bis dato das Programm *Das Erste* auf Kanal E04 ausstrahlte, am 25. November 2008 wurde die Fernsehnutzung im VHF-Band I endgültig beendet.
- Die DVB-T-Umstellung in Ostbayern an den Senderstandorten Hohe Linie, Hoher Bogen, Brotjacklriegel und Pfarrkirchen erfolgte am 06. Dezember 2006 und fiel noch in die zweite Messreihe. Im Anschluss daran wurde die Umstellung in verschiedenen Regionen abgeschlossen (siehe Tabelle 7-3).
- Im Zuge der Räumung des VHF-III-Frequenzbands kam es zu verschiedenen Kanalwechseln in den

Tabelle 7-3: DVB-T-Umstellungen in Bayern und Umgebung.

Region	Betroffene Sender	Umstellungstermin	relevant ab
Rhein-Main	Frankfurt am Main, Großer Feldberg	04. Oktober 2004	zweite Messreihe
Südbayern	München, Wendelstein	30. Mai 2005	zweite Messreihe
Mittelfranken	Nürnberg, Dillberg	30. Mai 2005	zweite Messreihe
Hessen	Würzburg u. a.	29. Mai 2006	zweite Messreihe
Unterfranken	Kreuzberg, Rhön, Würzburg	29. Mai 2006	zweite Messreihe
Salzburg	Gaisberg	26. Oktober 2006	zweite Messreihe
Ostbayern	Hohe Linie, Hoher Bogen, Brotjacklriegel, Pfarrkirchen	06. Dezember 2006	zweite Messreihe
Sachsen	Schöneck u. a.	23. Juli 2007	dritte Messreihe
Schwaben	Augsburg, Grünten, Hohenpeißenberg	27. November 2007	dritte Messreihe
Altbayern	Landshut, Pfaffenhofen an der Ilm	27. November 2007	dritte Messreihe
Alb-Donau	Ulm u. a.	27. November 2007	dritte Messreihe
Berchtesgadener Land	Untersberg	29. April 2008	dritte Messreihe
Südthüringen	Großer Inselsberg u. a.	01. Juli 2008	dritte Messreihe
Ostwürttemberg	Aalen u. a.	05. November 2008	dritte Messreihe
Franken	Pfaffenberg, Hesselberg, Büttelberg, Ochsenkopf, Bamberg	25. November 2008	dritte Messreihe
Nördliche Oberpfalz	Amberg	25. November 2008	dritte Messreihe
Altmühltal	Gelbelsee	25. November 2008	dritte Messreihe
Bodensee	Pfänder	05. Oktober 2009	dritte Messreihe
Sonstige Füllsender	Traunstein, Garmisch-Partenkirchen, Passau	04. November 2009	dritte Messreihe

- Regionen Ostbayern²⁷, Unterfranken²⁸ und Rhein-Main²⁹. Seit 12. Dezember 2011 ist die Fernsehnutzung des VHF-Bands III endgültig beendet.
- Die sogenannte "Digitale Dividende" geht zurück auf die Regional Radiocommunication Conference 2006 (RRC06) der Internationalen Fernmeldeunion (ITU). Der dort gefasste Beschluss sah vor, die Nutzung des Frequenzspektrums für das Fernsehen bis 790 MHz (Kanal E60) zu begrenzen und die Kanäle oberhalb davon (E61 bis E69) zu räumen und dem Mobilfunk verfügbar zu machen. Seitens EU und Bundesregierung wurde der Weg hierfür ab Ende 2008 geebnet und mit einer Frequenzversteigerung der Bundesnetzagentur im Mai 2010 abgeschlossen. Für diese Frequenzumwidmung haben die Medien den in Deutschland unzutreffenden Begriff "Digitale Dividende" geprägt. Es handelt sich bei den frei gewordenen Frequenzen nämlich *nicht* um solche, die wegen der Digitalisierung des Fernsehens frei wurden – dies würde eher auf das VHF-III-Frequenzband zutreffen –, sondern um Frequenzen (Kanäle E61 bis E69), die in Deutschland zuvor gar nicht für analoges Fernsehen genutzt wurden. Sie standen DVB-T vielmehr deswegen (neu) zur Verfügung, weil sich im Rahmen der Simulcast-Phasen bei der Umstellung der einzelnen "Inseln", d. h. der übergangsweisen Parallelausstrahlung von analogem und digitalem Fernsehen für einige Monate, ein zusätzlicher Frequenzbedarf ergab. Hierfür waren auch nur die Kanäle E64 bis E66 verfügbar; die restlichen Kanäle waren für militärische Nutzung reserviert und/oder in Verwendung und wurden erst im Zuge der Frequenzumwidmung für den Mobilfunk verlagert. Die DVB-T-Kanalwechsel fanden am 28. Oktober 2010 statt.³⁰ Seit 01. Dezember 2010 ist die Nutzung dieser Kanäle durch DVB-T bundesweit beendet.
 - In Nürnberg hat die Sendergruppe RTL ihre DVB-T-Verbreitung (Kanal E66) zum 01. November 2010 eingestellt, was eine indirekte Folge der "Digitalen Dividende" war.

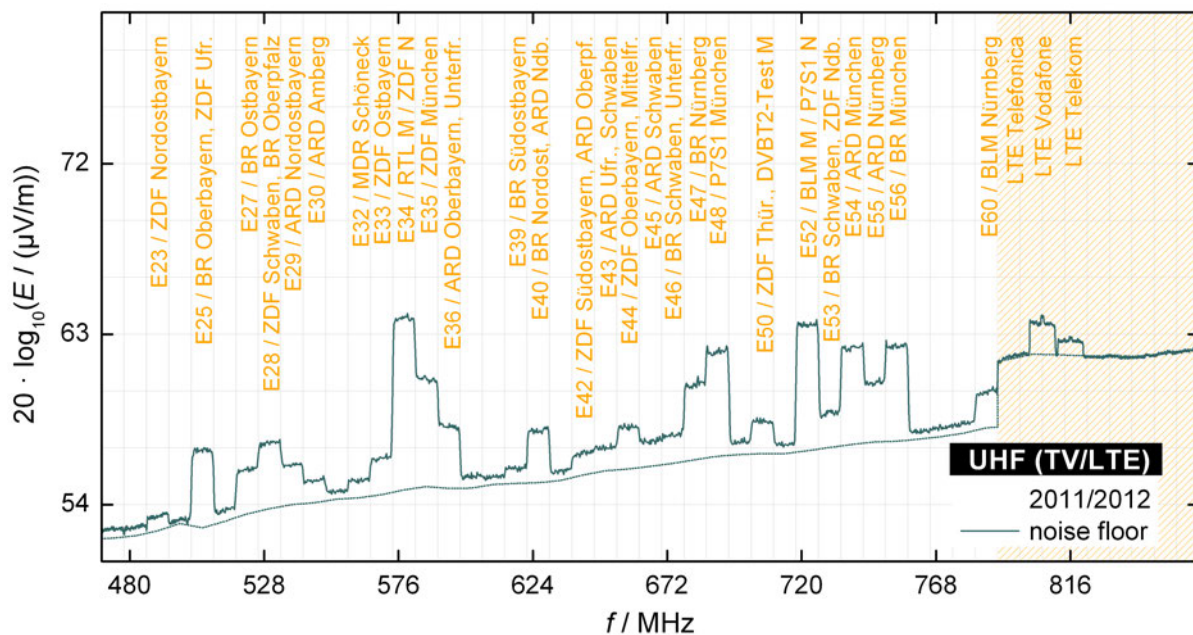


Abbildung 7-4: Bayernweit logarithmisch gemittelte Spektren im UHF-Frequenzbereich. Die Angaben der Fernsehsender beziehen sich nur auf den dominierenden Beitrag. Bei DVB-T kommen bisweilen ausgedehnte Gleichwellennetze zum Einsatz, sodass die Angabe des Senderstandorts nur zur groben Orientierung dienen kann (*München* beinhaltet beispielsweise auch den Sender Wendelstein). Der schraffierte Bereich am oberen Ende des Frequenzbands markiert die sogenannte "Digitale Dividende".

²⁷Sender Brotjacklriegel: Kanalwechsel von E07 nach E40 am 11. Oktober 2011; Sender Hoher Bogen: Kanalwechsel von E07 nach E42 am 20. Oktober 2011; Sender Hohe Linie: Kanalwechsel von E07 nach E42 am 12. Dezember 2011

²⁸Sender Frankenwarte: Kanalwechsel von E10 nach E36 am 13. Juli 2010

²⁹Sender Großer Feldberg, Frankfurt am Main und Hohe Wurzel: Kanalwechsel von E08 nach E39 am 03. November 2011

³⁰Sender München und Wendelstein: Kanalwechsel von E66 auf E52; Sender Großer Feldberg, Frankfurt am Main und Hohe Wurzel: Kanalwechsel von E64 auf E52

Die Neuordnung des UHF-Frequenzbands lässt sich gut erkennen, wenn man – wie schon zuvor für die Frequenzbereiche Lang- und Mittelwelle – ein bayernweit gemittelttes Spektrum erstellt, wie in Abbildung 7-4 gezeigt. Für die dortige Abbildung kamen spezielle schmalbandige Messpakete zum Einsatz; die Grafik ist deshalb nicht zur Beurteilung der Immissionen geeignet. Die inzwischen rein digitale TV-Versorgung ist an den rechteckförmigen Signalen gut zu erkennen, insbesondere im Vergleich zu den gemischten Signalen, wie sie zur letzten Messreihe noch vorlagen (siehe den dortigen Abschlussbericht [2], Seite 33). Der Frequenzbereich ab 790 MHz entspricht der "Digitalen Dividende" und wird hauptsächlich von Telekom und Vodafone bereits intensiv für LTE genutzt. Die LTE-Kanäle sind mit 10 MHz etwas breiter als Fernsehkanäle (8 MHz) und fügen sich deshalb nicht in das historische Kanalraster ein. Bei genauer Betrachtung von Abbildung 7-4 lässt sich vor allem bei Vodafone sogar der zentrale Bereich von ± 36 Trägern um die Kanalmitte erkennen (insgesamt 1,08 MHz breit), der lastunabhängige Signalisierungsdaten enthält und sich daher vom restlichen Spektrum etwas abhebt. Es ist auch möglich, dass dieser zentrale Bereich gegenüber den restlichen Trägern mit angehobener Leistung (*geboostet*) abgestrahlt wird.

In die Betrachtung der Fernsehimmissionen fließt nur der Frequenzbereich von 470 MHz bis 790 MHz ein. Das VHF-III-Band wurde bereits beim Hörfunk behandelt (Kapitel 7.1), das restliche Spektrum ab 790 MHz wird Bestandteil des Mobilfunks sein (Kapitel 7.3).

Insgesamt bewegen sich die Immissionen des Fernsehens auf sehr niedrigem Niveau und liegen hinsichtlich des Medians auch weiterhin rund eine Größenordnung unter denen des Hörfunks. Im Vergleich zur Ausgangssituation 2002/2003 ging der Median von $0,29 \cdot 10^{-6}$ auf $0,12 \cdot 10^{-6}$ zurück (-59 %). Dieser Rückgang hat sich bereits in der zweiten Messreihe angedeutet und in abgeschwächter Form nochmals fortgesetzt. Erstmals ist er auch bei den Mittelwerten zu beobachten, die von der ersten zur

Tabelle 7-4: Statistische Spannweite der thermischen Ausschöpfungsgrade beim terrestrischen Fernsehen. Erläuterung in Kapitel 2.5.

	Einzelmessungen pro Messort			
	AVG	MIN	MAX	SD
Messreihe 2002/2003				
höchster Wert der Messorte	83,1	70,7	94,8	12,9
Mittelwert über die Messorte	1,64	1,24	2,15	0,299
Standardabweichung	5,56	4,46	6,70	1,01
Variationskoeffizient	3,39	3,61	3,11	3,37
Quartilsdispersionskoeffizient	3,20	3,42	3,13	4,31
Messreihe 2006/2007				
höchster Wert der Messorte	107	101	113	19,4
Mittelwert über die Messorte	1,88	1,67	2,18	0,182
Standardabweichung	7,76	7,20	8,59	1,09
Variationskoeffizient	4,13	4,31	3,94	5,99
Quartilsdispersionskoeffizient	4,80	5,06	4,37	4,37
Messreihe 2011/2012				
höchster Wert der Messorte	63,4	61,1	66,6	3,44
Mittelwert über die Messorte	1,43	1,29	1,61	0,107
Standardabweichung	4,74	4,43	5,20	0,340
Variationskoeffizient	3,32	3,44	3,23	3,17
Quartilsdispersionskoeffizient	5,22	4,90	5,17	5,83

zweiten Messreihe eine leichte Zunahme erfahren: Hier ergab sich gegenüber 2002/2003 eine leichte Abnahme um -13 % auf nunmehr 1,43 ‰.

Die Rechtsschiefe ist bei den Fernsehmissionen (Abbildung 7-6) noch stärker ausgeprägt als bei den Hörfunkmissionen. Als Konsequenz fällt bereits mindestens die Hälfte aller Messpunkte in die Klasse mit den niedrigsten Ausschöpfungsgraden.

Ein Blick auf Tabelle 8-1 zeigt, dass die statistische Signifikanz für die Änderung seit der letzten Messreihe nicht, aber für die Gesamtänderung seit 2002/2003 zumindest teilweise (bezüglich des Wilcoxon-Vorzeichen-Tests) gegeben ist. Das Odds Ratio von Zu- und Abnahme der Immissionen beträgt 190:213 bezogen auf die zweite und 157:246 bezogen auf die erste Messreihe, d. h. 53 % bzw. 61 % erfahren inzwischen geringere Immissionen als bei den letzten Messreihen.

Insgesamt korrelieren die Ergebnisse mit der Entwicklung des terrestrischen Fernsehens. Offenbar sind allerdings das Absolutniveau der Immissionen und die resultierenden Änderungen zu gering (oder das Datenkollektiv zu klein), um die Trends auch statistisch zweifelsfrei festhalten zu können.

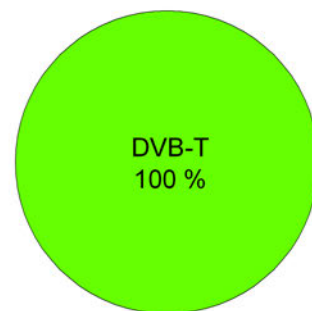
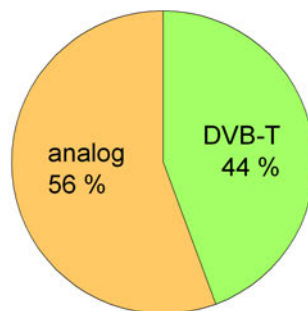
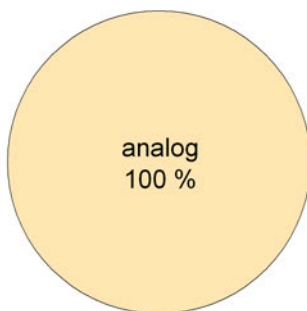
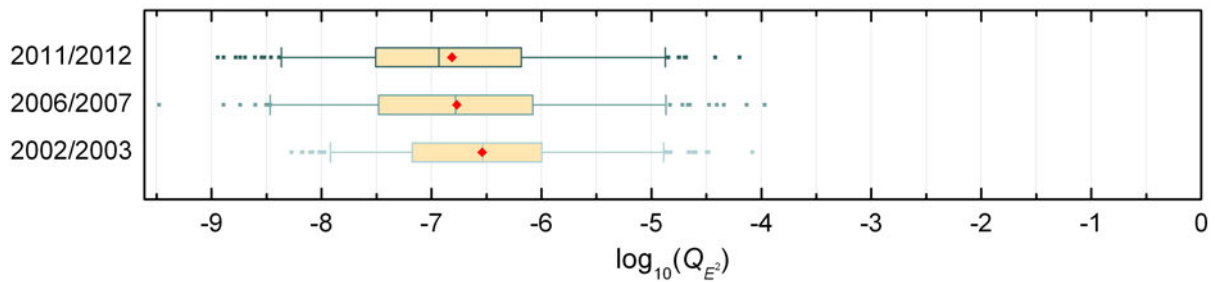
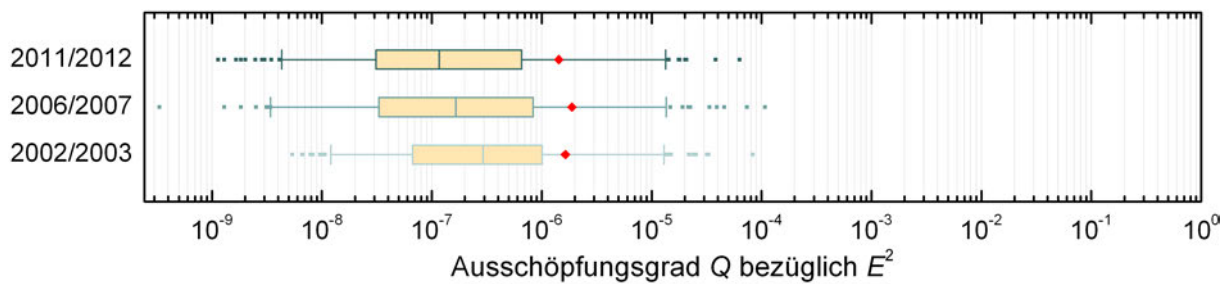
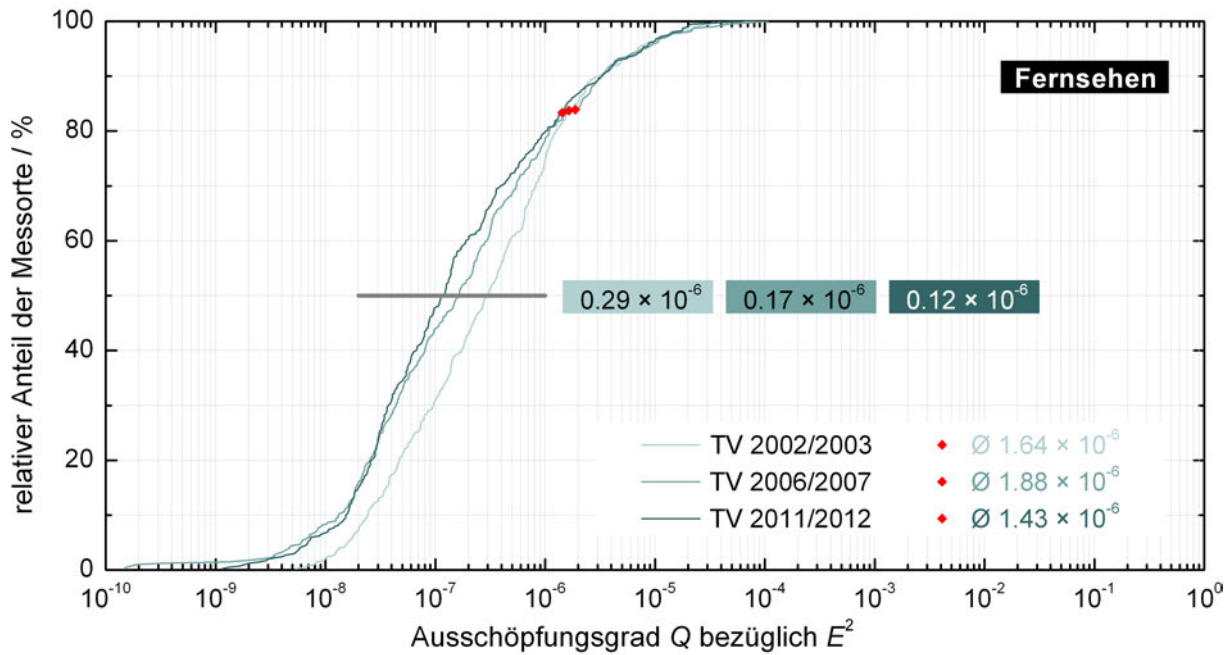


Abbildung 7-5: Übersichten zu den thermischen Ausschöpfungsgraden beim Fernsehen. Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade beim Fernsehen insgesamt sowie der einzelnen Beiträge bei der Messreihe 2011/2012. Mitte: Boxplot für den linearen bzw. dekadisch logarithmierten Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot eingezeichnet. Unten: Mittlere Anteile der einzelnen Funkdienste an den gesamten Fernsehmissionen im Vergleich zwischen den Messreihen.

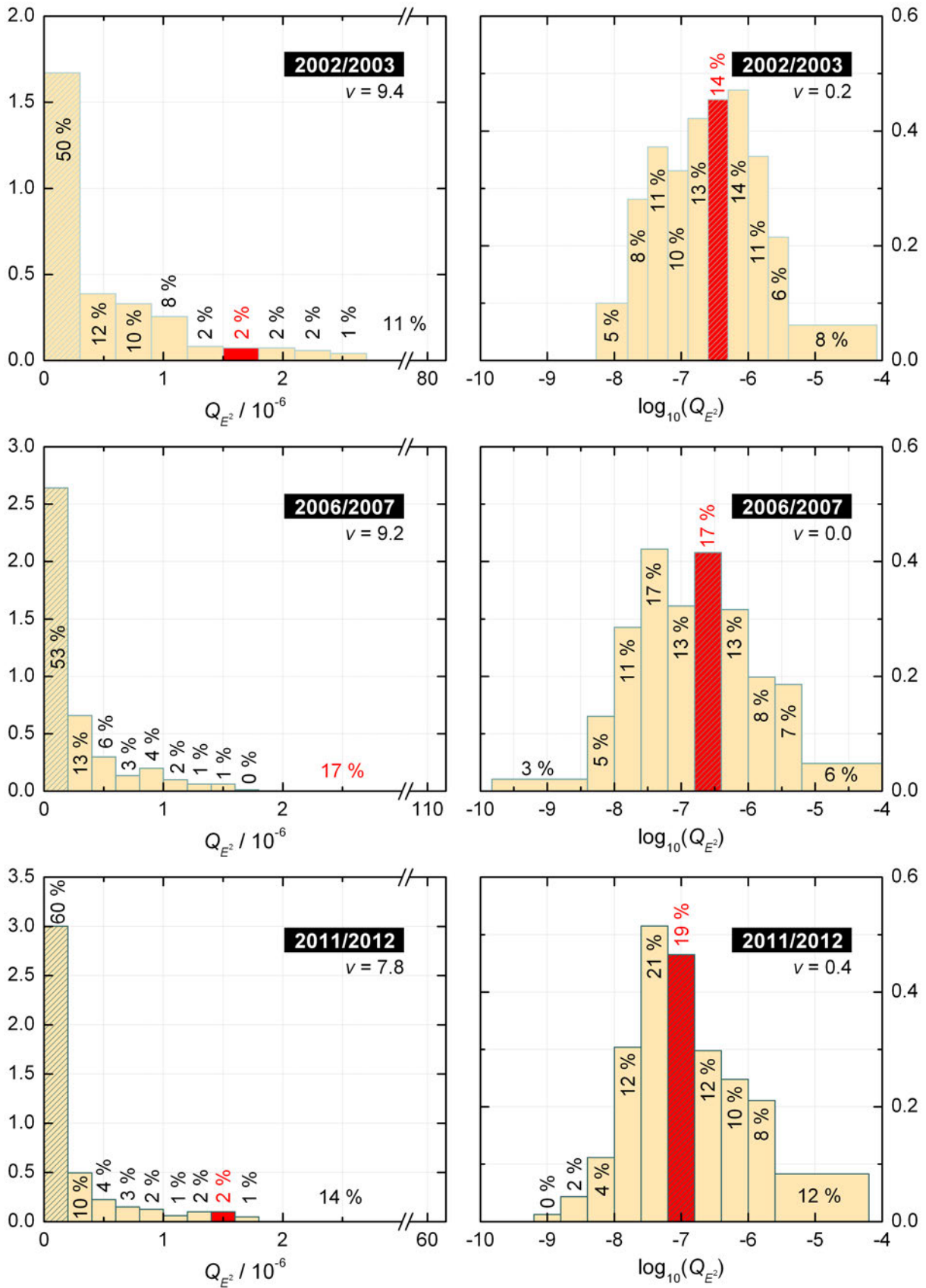


Abbildung 7-6: Histogramme für den thermischen Ausschöpfungsgrad beim Fernsehen. Links: Lineare Betrachtung. Rechts: Histogramme für den dekadisch logarithmierten Ausschöpfungsgrad. Die rot eingefärbte Klasse enthält jeweils den Mittelwert, die schraffierte Klasse den Median.

7.3 Mobilfunk

7.3.1 Entwicklung des Mobilfunks



Abbildung 7-7: Messpunkte mit dem niedrigsten (links Messpunkt 028; $Q_{E2} = 0,001 \cdot 10^{-6}$) und höchsten (rechts Messpunkt 119; $Q_{E2} = 2640 \cdot 10^{-6}$) thermischen Ausschöpfungsgrad beim Mobilfunk. Der rechte Messpunkt befindet sich in unmittelbarer Nähe zu der abgebildeten Basisstation.

Der Mobilfunk gehört zu den dynamischsten Funktechniken der heutigen Zeit. Dementsprechend gab es hier große Veränderungen innerhalb der letzten Jahre:

- Die Nutzung der Netze hat in Deutschland weiterhin rapide zugenommen. Nach 59 Millionen Mobilfunkanschlüssen im Jahr 2002 und 86 Millionen 2006 stieg diese Zahl im Jahr 2011 auf 114 Millionen. Zwar hat dabei auch das Sprachvolumen weiterhin zugenommen, doch ist es inzwischen zunehmend die Nutzung mobiler Internetdienste, die das übertragene Datenvolumen bestimmt. Im Jahr 2011 wurden bereits rund 100 Petabyte (10^{17} Bytes) an mobilem Datenvolumen übertragen. Der Vergleich mit dem Festnetz, das Schätzungen zufolge im Jahr 2012 das 40-fache Verkehrsaufkommen abwickelte, zeigt, dass hier noch erhebliches Entwicklungspotenzial nach oben besteht. (Alle Angaben aus dem Jahresbericht 2012 der Bundesnetzagentur [7].) Da beim Mobilfunk das Verkehrsaufkommen mit den Immissionen korreliert, ist alleine durch die zunehmende Nutzung mit einem Mehr an Immissionen zu rechnen.
- In den GSM-Frequenzbändern bei 900 MHz und 1800 MHz wurde die Frequenznutzung intensiviert und optimiert. Das bei der letzten Messreihe hauptsächlich im GSM-900-Band von Telekom und Vodafone eingesetzte Frequenzhopping³¹ ist inzwischen in beiden Bändern und bei allen vier Netzbetreibern Standard.
- Im Rahmen der sogenannten "Digitalen Dividende" (siehe auch Kapitel 7.2) kam es zu einer Umwidmung ehemaliger Fernsehfrequenzen zum Mobilfunk. Der betroffene Frequenzbereich zwischen 790 MHz und 862 MHz wurde bei der Frequenzauktion der Bundesnetzagentur im Mai 2010 versteigert und wird seither für LTE-Mobilfunk (3.9G) verwendet. Diese Frequenzen sind gepaart, d. h. der Bereich zwischen 791 MHz³² und 821 MHz wird für den Downlink³³ genutzt. Daran schließt sich zwischen 832 MHz³⁴ und 862 MHz der Uplink³⁵ an. Die Frequenzblöcke, die in 5 MHz-Einheiten versteigert wurden, gingen an Telekom, Vodafone und Telefónica (O₂).
- Auf derselben Versteigerung standen 2×25 MHz im Frequenzbereich bei 1800 MHz zum Verkauf. Sie wurden von der Telekom (1805,0 MHz – 1820,0 MHz im Downlink) und von E-plus (Downlink bei 1825,1 MHz – 1830,1 MHz und 1853,1 MHz – 1858,1 MHz) ersteigert. Die Telekom nutzt das neu erworbene Spektrum insbesondere im städtischen Umfeld für LTE und stellt gleichzeitig die GSM-Nutzung dieser Frequenzen ein.
- Bei UMTS (um 2,0 GHz) endete die erste Frequenzversteigerung im August 2000 mit sechs erfolgreichen Bietern. Neben den etablierten Betreibern hatten hier die Group 3G mit ihrer Marke *Quam*

³¹Beim Frequenzhopping wird die zu übertragende Information nacheinander auf mehrere Kanäle verteilt; zu einem Zeitpunkt wird immer nur ein Frequenzkanal genutzt. Dadurch wird die Qualität der Verbindung verbessert.

³²Es besteht ein Schutzintervall von 1 MHz zum Fernsehbereich.

³³Übertragungsrichtung von der Basisstation zum Mobilgerät.

³⁴Es besteht eine Duplexlücke von 11 MHz.

³⁵Übertragungsrichtung vom Mobilgerät zur Basisstation.

sowie Mobilcom jeweils zwei gepaarte 5 MHz-Frequenzblöcke ersteigert. Nachdem beide Betreiber die Versorgungsauflagen nicht erfüllten, fielen die Frequenzen zurück an die Bundesrepublik und wurden durch die Bundesnetzagentur im Mai 2010 erneut versteigert. Dadurch konnten O₂ und Vodafone ihr UMTS-Spektrum um jeweils 2×5 MHz, E-plus sogar um 2×10 MHz (gepaart) aufstocken.

- Weniger bedeutsam war die Vergabe von gepaarten (FDD³⁶) und ungepaarten (TDD³⁷) Frequenzblöcken bei 2,6 GHz (2500 MHz – 2690 MHz). Der Frequenzbereich wurde zwar in Form eines optionalen Messpakets beim EMF-Monitoring abgedeckt, ist aber praktisch nicht in Benutzung.

Die zunehmende Mobilfunknutzung spiegelt sich am deutlichsten bei UMTS wider, wie die bayernweit gemittelten Spektren in Abbildung 7-8 zeigen. Nach der Frequenzversteigerung im Jahr 2000 begann die relevante Nutzung der UMTS-Frequenzen etwa 2003. Alle Betreiber nutzten über Jahre hinweg (und bis auf sehr wenige Ausnahmen auch noch während der zweiten Messreihe) nur eine Frequenz (mit A gekennzeichnet). Erst in den letzten Jahren, nicht zuletzt durch den Smartphone-Boom ausgelöst, wurde der Einsatz mehrerer (mindestens zwei) Frequenzen Standard. Die Verwendung einer dritten Frequenz, die manchen Betreibern seit der Frequenzauktion 2010 zur Verfügung steht, konnte ebenfalls zusehends beobachtet werden.

Bei GSM-900 hat sich inzwischen die Nutzung des Erweiterungsbands (925 MHz – 935 MHz) etabliert. Im GSM-1800-Band wurden den Betreibern 2010 ebenfalls weitere Frequenzen zugeteilt, die jedoch während des Monitorings 2011/2012 offenbar nur sporadisch genutzt wurden, wie die untere Grafik in Abbildung 7-8 zeigt. Der Bereich 1805 MHz – 1825 MHz ist bei der Telekom für LTE-Nutzung vorgesehen. Dieses Signal zeigt sich zwar in den Spektren einzelner Messpunkte³⁸ bereits deutlich, aber bayernweit war die Nutzung (zum Zeitpunkt der Messungen) noch zu selten, um im gemittelten Spektrum deutlich hervorzutreten. Für die Auswertung ist dies von Vorteil, da zu Beginn der dritten Messreihe noch nicht absehbar war, inwieweit mit einer Mischnutzung von GSM und LTE auf diesen Frequenzen zu rechnen ist. Der Bereich wurde deshalb aus Kompatibilitätsgründen zu vergangenen Messreihen in den GSM-1800-Messpaketen beibehalten. An den wenigen Messpunkten, an denen eine LTE-Nutzung gegeben war, erfolgt deren Bewertung durch Aufsummierung von 200 kHz breiten Kanälen des GSM-Rasters, was eine Näherung für das im Grunde korrekte Verfahren der Messung mit ausreichend breitem Filter darstellt. Für die nächste Messreihe sollte ein geeignetes Messpaket zum Einsatz kommen.

7.3.2 Entwicklung der Immissionen des Mobilfunks insgesamt

Die in Kapitel 7.3.1 angesprochenen Entwicklungen ließen bereits zu Beginn der dritten Messreihe eine Zunahme der Immissionen erwarten. Die Messdaten spiegeln diese Entwicklung auch entsprechend wider.

Sowohl Median als auch Mittelwert hatten sich bereits zwischen der ersten und zweiten Messreihe in etwa verdoppelt. Bis zur dritten Messreihe erfuhr der Median eine weitere Verdoppelung und lag 2011/2012 bei $3,38 \cdot 10^{-6}$. Der Mittelwert liegt inzwischen bei $50,1 \cdot 10^{-6}$, was gegenüber 2006/2007 fast eine Verdreifachung bedeutet.

Das Zustandekommen des Mittelwerts beim Mobilfunk zeigt, wie problematisch die alleinige Betrachtung dieses Werts ist. Zum gesamten mittleren Ausschöpfungsgrad ($50,1 \cdot 10^{-6}$) trugen allein die sieben stärksten Messpunkte die Hälfte bei; der Mittelwert der restlichen 396 Messpunkte liegt nur noch bei $24,6 \cdot 10^{-6}$. Dies zeigt sich auch in den Histogrammen (Abbildung 7-11), wo das arithmetische Mittel in der jeweils höchsten Klasse von Ausschöpfungsgraden oder nur knapp darunter liegt (Messreihe 2006/2007). Dennoch gibt es auch beim Mobilfunk eine ausgeprägte Rechtsschiefe, die dazu führt, dass auf der anderen Seite rund die Hälfte aller Messpunkte in die Klasse mit den niedrigsten Ausschöpfungsgraden fallen.

³⁶Frequenzduplex (frequency division duplex, FDD) bedeutet, die Informationen für jede Richtung mit Hilfe einer anderen Trägerfrequenz zu übertragen. Es ermöglicht, dass ein Gerät gleichzeitig senden und empfangen kann.

³⁷Zeitduplex (time division duplex, TDD) bedeutet, die Informationen für jede Richtung auf der gleichen Frequenz, aber zeitlich abwechselnd zu übertragen.

³⁸Beispielsweise an je einem Messpunkt in Landshut und München.

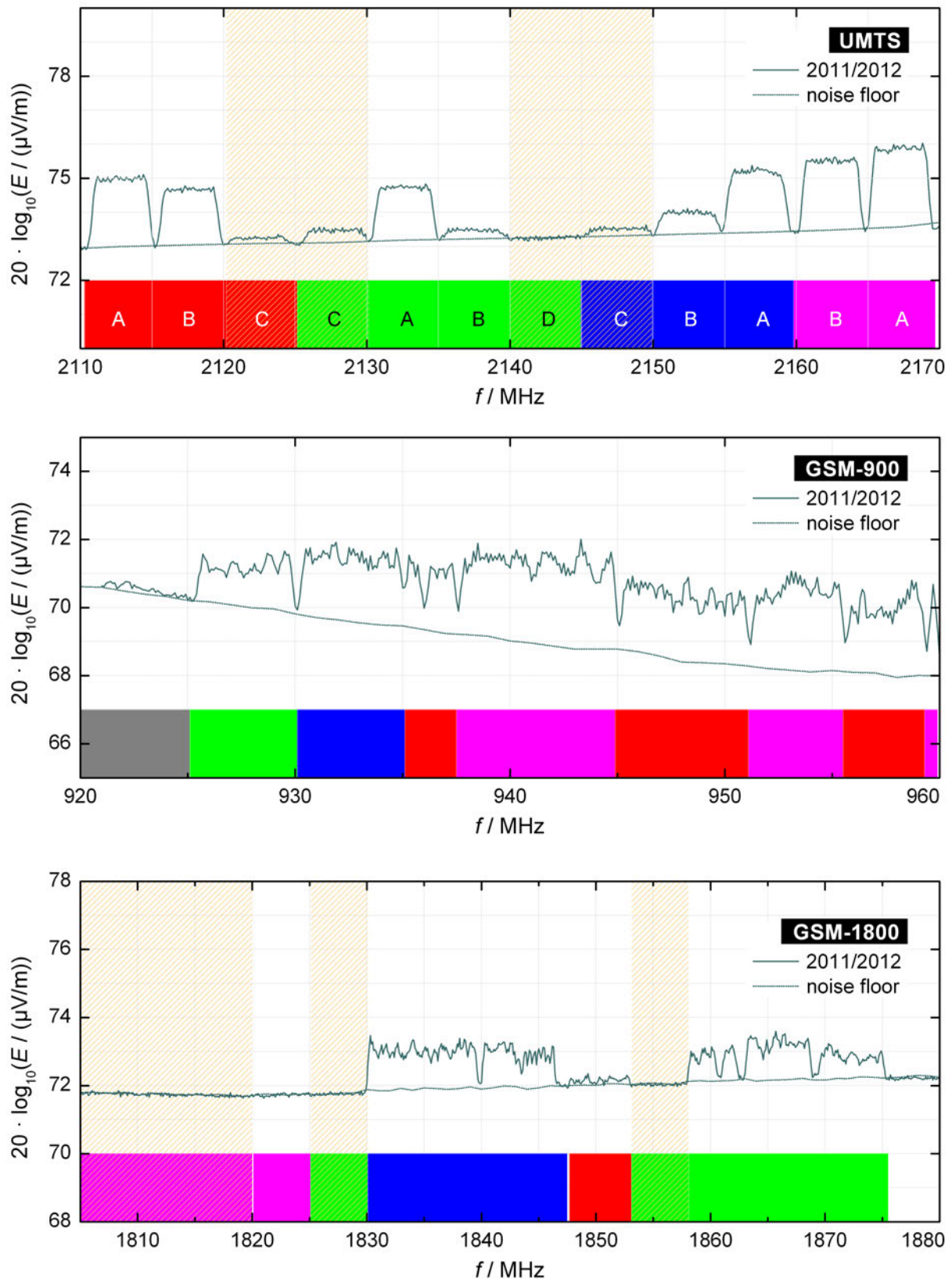


Abbildung 7-8: Bayernweit logarithmisch gemittelte Mobilfunk-Spektren. V. o. n. u.: UMTS, GSM-900, GSM-1800. Die mit A bezeichneten UMTS-Frequenzen waren ab 2003 zuerst in Betrieb. Die schraffierten Frequenzbereiche stehen den Mobilfunkbetreibern seit der Frequenzversteigerung im Mai 2010 zur Verfügung (UMTS: ehemalige Frequenzen der Group 3G und von Mobilcom). Die Farbbalken kennzeichnen die Betreiberzuordnung: Telekom (magenta), Vodafone (rot), E-plus (grün), Telefónica O₂ (blau) und Deutsche Bahn (grau).



Abbildung 7-9: Links: Dieser ländliche Messpunkt (Messpunkt 395) wies zum Zeitpunkt der Messung fast ausschließlich LTE-Immissionen auf und zählt zu den priorisierten LTE-Ausbaugebieten des Landes Bayern. Rechts: Der höchste UMTS-Ausschöpfungsgrad ergab sich an diesem Messpunkt (Messpunkt 082) in einer Innenstadtlage. Die zugehörige Mobilfunk-Basisstation ist im Hintergrund auf den Hausdächern zu erkennen (und im Inset nochmals vergrößert gezeigt).

In die Entwicklung der Mobilfunkimmissionen fließt auch ein, dass in der Nähe von in früheren Messreihen schlecht versorgten Messpunkten inzwischen neue Basisstationen entstanden. Dadurch ergibt sich eine überproportionale Zunahme der Immissionen an den Messpunkten, die bislang ein niedriges Immissionsniveau aufwiesen. Bei der Messreihe 2011/2012 wurden erstmals keine mit Mobilfunk unversorgten Messpunkte mehr gefunden; der kleinste Ausschöpfungsgrad betrug nun $0,001 \cdot 10^{-6}$, wohingegen in früheren Messreihen noch 33 (2002/2003) bzw. 11 (2006/2007) Messpunkte dabei waren, an denen die Immissionen unter der Nachweisgrenze des Messsystems lagen.

Die Zunahme der Mobilfunkimmissionen ist sowohl in Bezug auf die Messreihe 2006/2007 als auch auf den Ausgangszustand (2002/2003) statistisch signifikant (Tabelle 8-1). Das Odds Ratio beträgt 335:68 bzw. 351:52. An einem geringen Teil der Messpunkte wurde somit auch ein Rückgang der Immissionen beobachtet. Derlei Schwankungen sind aber insbesondere beim Mobilfunk nicht ungewöhnlich. Neben einer grundsätzlichen Unsicherheit bezüglich der örtlichen Reproduzierbarkeit (siehe dazu Kapitel 9) trägt hierzu die Abhängigkeit der Mobilfunkimmissionen vom Verkehrsaufkommen der Basisstation bei, d. h. eine Abnahme der Immissionen an einzelnen Messpunkten lässt sich beispielsweise auch dann beobachten, wenn die Messungen zweier Messreihen zunächst bei hohem, später dann bei niedrigem Gesprächs- und Datenaufkommen (etwa auf Grund verschiedener Tageszeiten) stattfinden, auch wenn sich am Ausbauzustand des Mobilfunknetzes nichts geändert hat. Die Aussagekraft der Mobilfunkimmissionen wird dadurch in keiner Weise geschwächt, sondern eher gestärkt, weil die Gesamtheit der Daten einen Querschnitt aller beobacht- und erklärbarer Szenarien wiederzugeben scheint.

Der Hauptbeitrag zu den Mobilfunkimmissionen stammt mit 67 % noch immer von GSM-900 (Abbildung 7-10). Zusammen mit dem Frequenzband bei 1800 MHz sind damit 90 % der Mobilfunkimmissionen auf GSM zurückzuführen, wobei diese Interpretation mit großer Vorsicht zu sehen ist, weil die GSM-Immissionen gleichzeitig diejenigen mit der größten Unsicherheit sind (siehe Kapitel 7.3.4). Interessant ist insbesondere der LTE-Beitrag von 7 %, wodurch LTE (im 800 MHz Bereich) nur rund zwei Jahre nach seiner Einführung einen deutlich größeren Anteil an den Gesamtimmissionen hält als UMTS (3 %) nach rund zehn Jahren. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Versteigerung der 800 MHz Frequenzen im Jahre 2010 an bestimmte Versorgungsaufgaben geknüpft waren.

Die Betreiber mussten LTE zunächst im ländlichen Raum ausbauen und 90 % derjenigen Orte mit weniger als 5 000 Einwohnern versorgen, die bislang eine unzureichende Breitband-Internetversorgung aufwiesen. Entsprechende Listen, um welche Gemeinden es sich handelt, wurden von den Ländern erstellt. Nachdem die Bundesnetzagentur am 14. September 2011 die Erfüllung der Versorgungsaufgaben in Nordrhein-Westfalen und im Saarland bekannt gab, wurde nur zwei Wochen später das Versorgungsziel auch in vier weiteren Ländern, darunter Bayern erreicht. Mit dem Aufbau des LTE-Grundnetzes in Brandenburg gelten die Lizenzaufgaben seit Ende November 2012 bundesweit als erfüllt.

Für den Beitrag von LTE zu den Mobilfunkimmissionen bedeutet das, dass unter den Monitoring-Mess-

punkten einige ländliche sind, die bislang eine schwache Mobilfunkversorgung aufwiesen und nun im Rahmen der Lizenzauflagen fast ausschließlich mit LTE versorgt werden: Der Anteil von LTE erreicht an einzelnen Messpunkten bis zu 95 % (Bild 7-9) der gesamten Mobilfunkimmissionen. Von den 66 Messpunkten mit einem LTE-Anteil über 10 % sind 38 ländliche Gemeinden mit weniger als 5 000 Einwohnern, 27 Gemeinden bis 100 000 Einwohner und nur ein großstädtischer Messpunkt. Auf der anderen Seite konnten an 107 Messpunkten überhaupt keine LTE-Immissionen bei 800 MHz gemessen werden. Bei diesen handelt es sich überwiegend um städtische Messpunkte (76 Messpunkte in Gemeinden über 5 000 Einwohner), aber auch 31 ländliche Messpunkte (bis 5 000 Einwohner) waren durch LTE nicht versorgt. Sie verteilen sich je zur Hälfte auf den Zeitraum vor und nach der Bekanntgabe der Erfüllung der Lizenzauflagen in Bayern und lassen deshalb nicht den Schluss zu, dass hier lediglich zum Zeitpunkt der Messung noch kein LTE-Ausbau erfolgt war.

Der UMTS-Ausbau wurde dagegen über lange Zeit bevorzugt in städtischen Gegenden durch Aufrüstung bereits vorhandener GSM-Standorte forciert. Folglich liegt eine gute UMTS-Versorgung überwiegend dort vor, wo bereits eine gute GSM-Versorgung besteht. Basisstationen, die zwar UMTS, aber kein GSM ausstrahlen, sind selten. Deshalb erreicht UMTS an der überwiegenden Mehrzahl der Messpunkte (387 Messpunkte) nur einen einstelligen Prozentanteil. Dennoch ist bemerkenswert, dass der mittlere Anteil von UMTS von 1 % bei der Messreihe 2006/2007 auf nun 3 % zugenommen hat. Hier zeigt sich die zunehmende Bedeutung von UMTS, sowohl hinsichtlich des Ausbaus als auch der Nutzung. Der Median der UMTS-Immissionen lag während der zweiten Messreihe mit $0,0006 \cdot 10^{-6}$ nahe der Nachweisgrenze und ist inzwischen auf $0,04 \cdot 10^{-6}$ gestiegen. Der Mittelwert der UMTS-Immissionen hat sich von $0,23 \cdot 10^{-6}$ auf $0,98 \cdot 10^{-6}$ vervierfacht.

Tabelle 7-5: Statistische Spannweite der thermischen Ausschöpfungsgrade beim Mobilfunk. Erläuterung in Kapitel 2.5.

	Einzelmessungen pro Messort			
	AVG	MIN	MAX	SD
Messreihe 2002/2003				
höchster Wert der Messorte	291	174	466	116
Mittelwert über die Messorte	9,12	6,48	13,1	2,09
Standardabweichung	29,3	20,1	45,7	9,28
Variationskoeffizient	3,21	3,11	3,49	4,43
Quartilsdispersionskoeffizient	4,27	4,45	4,48	4,26
Messreihe 2006/2007				
höchster Wert der Messorte	594	455	674	131
Mittelwert über die Messorte	17,2	11,7	22,9	3,77
Standardabweichung	57,4	42,3	71,8	12,4
Variationskoeffizient	3,35	3,61	3,14	3,30
Quartilsdispersionskoeffizient	3,24	3,09	3,24	3,51
Messreihe 2011/2012				
höchster Wert der Messorte	2640	2281	3093	799
Mittelwert über die Messorte	50,1	34,1	66,8	11,1
Standardabweichung	225	163	290	58,4
Variationskoeffizient	4,48	4,77	4,34	5,27
Quartilsdispersionskoeffizient	3,21	3,40	3,41	3,92

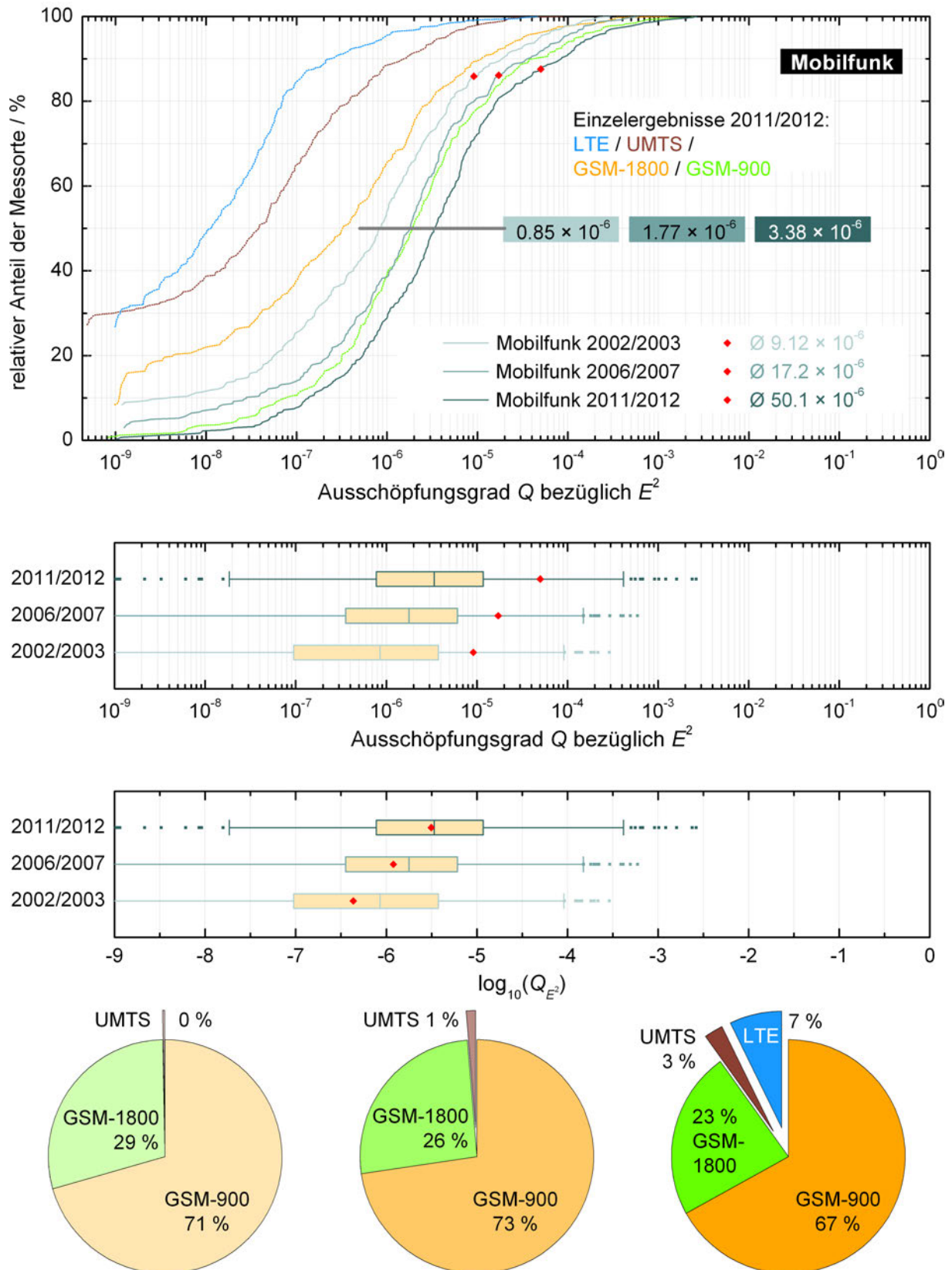


Abbildung 7-10: Übersichten zu den thermischen Ausschöpfungsgraden beim Mobilfunk. Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade beim Mobilfunk insgesamt sowie der einzelnen Beiträge bei der Messreihe 2011/2012. Mitte: Boxplot für den linearen bzw. dekadisch logarithmierten Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot eingezeichnet. Unten: Mittlere Anteile der einzelnen Funkdienste an den gesamten Mobilfunkimmissionen im Vergleich zwischen den Messreihen.

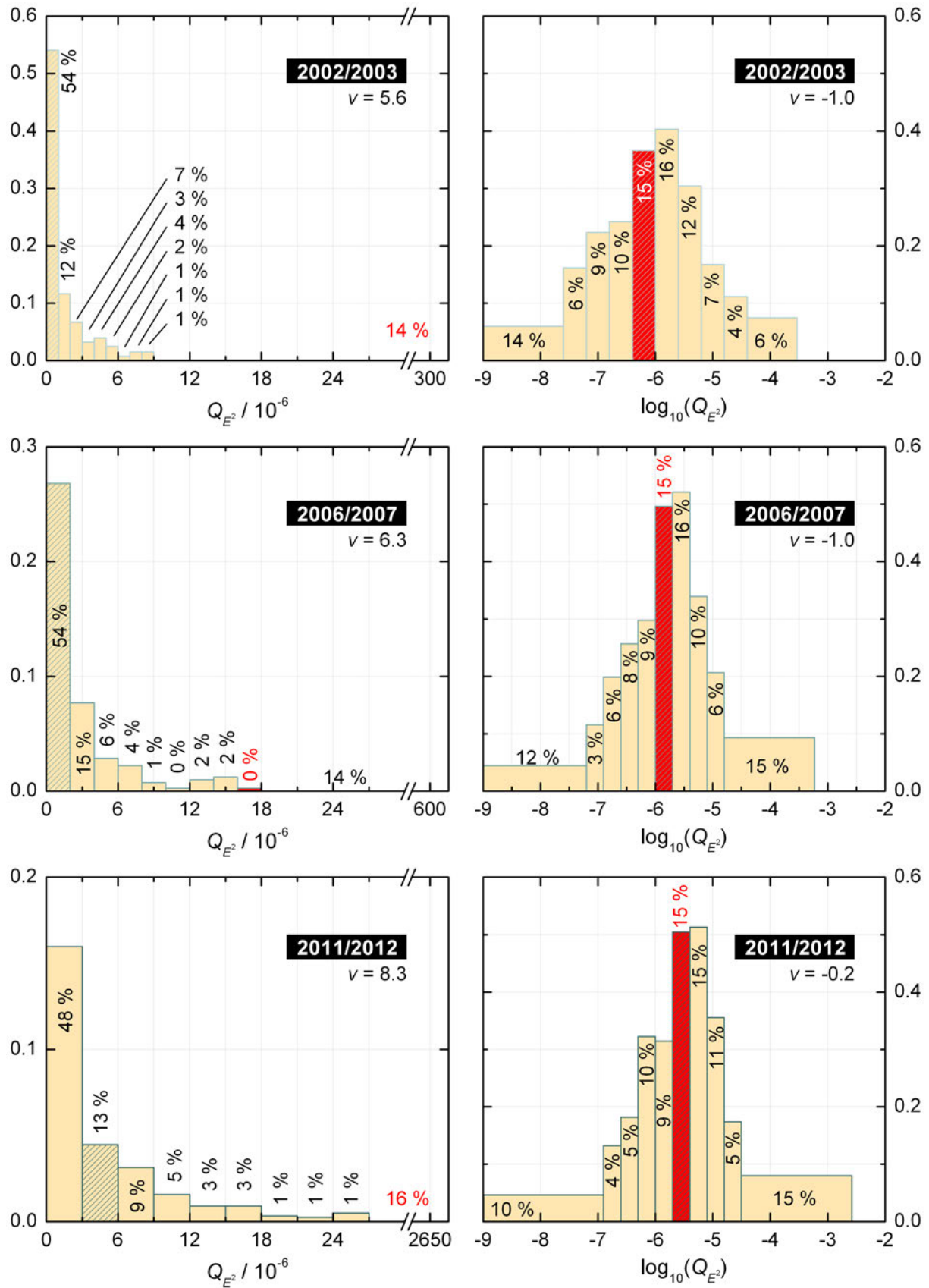


Abbildung 7-11: Histogramme für den thermischen Ausschöpfungsgrad beim Mobilfunk. Links: Lineare Betrachtung. Rechts: Histogramme für den dekadisch logarithmierten Ausschöpfungsgrad. Die rot eingefärbte Klasse enthält jeweils den Mittelwert, die schraffierte Klasse den Median.

7.3.3 Entwicklung der Immissionen im 800-MHz-Band (Umwidmung von Frequenzen im Rahmen der sogenannten "Digitalen Dividende")

Im Jahre 2010 wurden dem Mobilfunk per Frequenzversteigerung zusätzliche Frequenzen zwischen 790 MHz und 862 MHz eingeräumt. Sie waren ursprünglich als Kanäle E61 bis E69 Teil des Fernsehbands UHF, aber zu Zeiten des analogen Fernsehens in Deutschland nicht für Fernsehen in Benutzung. Im Zuge der Digitalisierung wurden ab 2004 die Kanäle E64 bis E66 zunächst in den Großräumen Rhein-Ruhr und Rhein-Main, ab 2005 auch an den Standorten München, Wendelstein und Nürnberg für DVB-T genutzt. Am 28. Oktober 2010 wechselten die Kanäle E64 an den Sendern Frankfurt am Main und Großer Feldberg und E66 an den Sendern München und Wendelstein auf niedrigere Kanäle. Am 01. November 2010 wurde auch am Fernmeldeturm Nürnberg die Nutzung des Kanals E66 beendet. Der Frequenzbereich ab 790 MHz wird seither sukzessive von LTE-Mobilfunk genutzt.

Im Zuge der Umwidmung stellt sich die Frage, welcher Einfluss auf die Immissionen sich daraus ergibt. Während der zweiten Messreihe war zwar die DVB-T-Umstellung in Bayern noch nicht abgeschlossen, es kam aber nicht mehr zu Änderungen an der Nutzung der Kanäle oberhalb von E60. Betrachtet man daher nur die Immissionen im Bereich zwischen 790 MHz und 862 MHz, so ergibt sich zwischen der zweiten und der dritten Messreihe folgendes Bild:

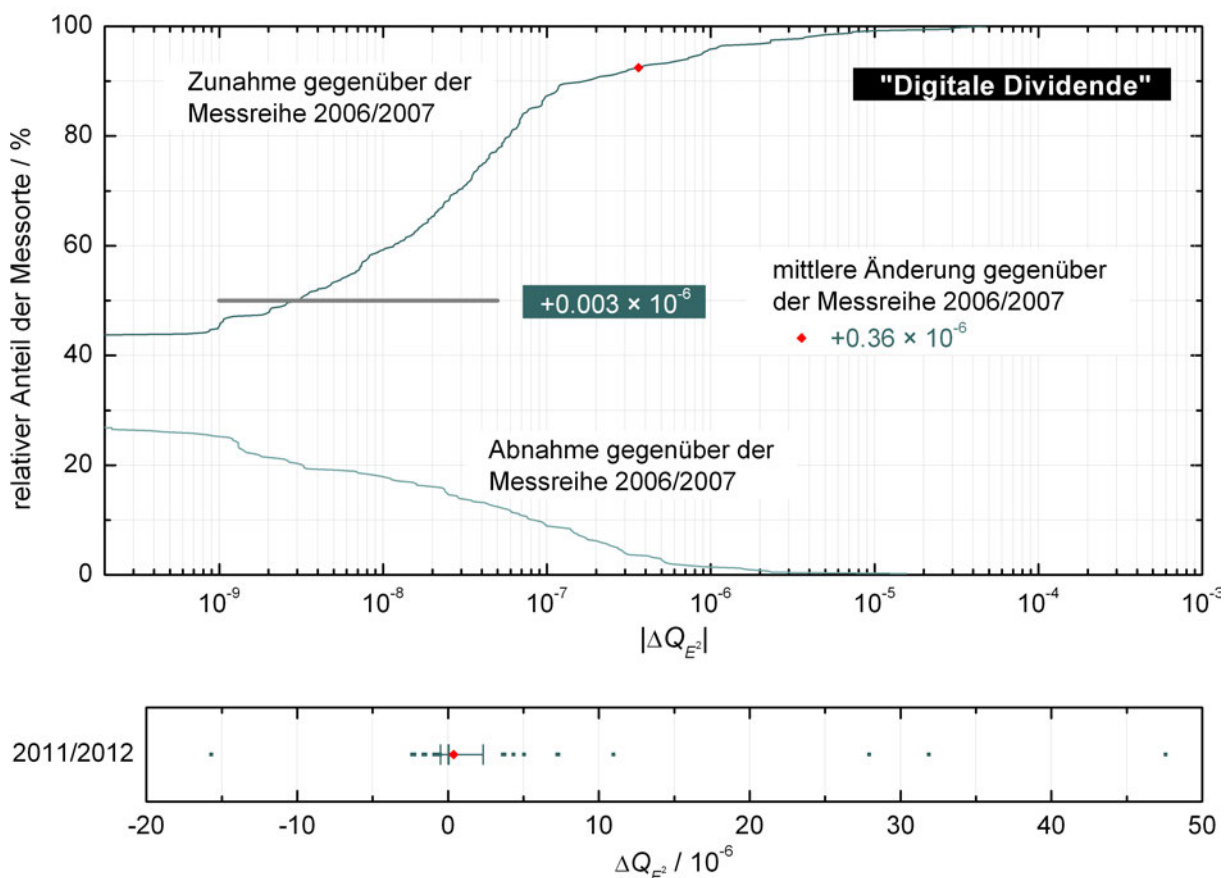


Abbildung 7-12: Entwicklung der Immissionen im UHF-Frequenzband zwischen 790 MHz und 862 MHz (ehemalige Fernsehkanäle E61 bis E69, sogenannte "Digitale Dividende").

- An 110 Messpunkten, davon 38 in München, kam es zu einer Abnahme der Immissionen, d. h. die Immissionen durch DVB-T waren größer als diejenigen, die aktuell durch LTE zu Stande kommen.
- An 65 Messpunkten ergab sich keine Änderung. Es handelt sich dabei ausschließlich um solche Messpunkte, an denen in der Messreihe 2006/2007 kein DVB-T-Empfang der Kanäle oberhalb E60 und gleichzeitig in der Messreihe 2011/2012 kein LTE-Empfang möglich war.
- An 228 Messpunkten ergab sich eine Zunahme der Immissionen, d. h. hier liegen die LTE-Immissionen über denen von DVB-T in der zweiten Messreihe.

Insgesamt ist die Entwicklung allerdings wenig praxisrelevant: Der Beitrag in diesem Frequenzbereich lag im Median bei unter $0,001 \cdot 10^{-6}$ bei der Messreihe 2006/2007 und bei $0,012 \cdot 10^{-6}$ bei der Messreihe 2011/2012 (Mittelwerte: $0,10 \cdot 10^{-6}$ bzw. $0,46 \cdot 10^{-6}$). Der Median der Änderung beträgt $+0,003 \cdot 10^{-6}$, was im Mittel einer Änderung von $+0,36 \cdot 10^{-6}$ entspricht.

7.3.4 Überbewertung des GSM-Mobilfunks

Bereits im Abschlussbericht zur letzten Messreihe wurde angesprochen, dass insbesondere der GSM-Mobilfunk mit dem gewählten Messverfahren aus verschiedenen Gründen überbewertet wird (siehe [2] auf Seite 39 – 40). Seit der zweiten Messreihe hat sich das Problem eher verschärft, da inzwischen nicht nur die Deutsche Telekom und Vodafone bevorzugt auf Frequenzhopping setzen, sondern alle Netzbetreiber.

Beim GSM-Mobilfunk hat der Netzbetreiber die Möglichkeit, bei Anlagen mit mehr als einem Kanal pro Funkzelle bei einer Mobilfunkverbindung die Sendefrequenz von Zeitschlitz zu Zeitschlitz zu wechseln, um interferenzbedingte Störungen zu minimieren. Es werden dabei meist fünf bis fünfzehn Frequenzen je Zelle freigegeben. Bei einer automatisierten frequenzselektiven Messung werden daher mehr Frequenzen erfasst und anschließend mit in die Auswertung aufgenommen als tatsächlich gleichzeitig vorhanden sind. Bei m Kanälen und n freigegebenen Frequenzen ergibt sich eine mögliche Überschätzung der Immissionen um etwa den Faktor $(n - 1)/(m - 1)$.³⁹

Dieser Umstand war bei Beginn der dritten Messreihe bereits bekannt und sollte deshalb entsprechend berücksichtigt werden.

Für die Messreihe 2011/2012 kamen daher zwei zusätzliche Standard-Messpakete zum Einsatz, die die Frequenzbereiche von GSM-900 und GSM-1800 mit einem RMS-Messverfahren abdecken sollten. Wegen der zeitlichen Dynamik der GSM-Signale wurden lange Sweepzeiten von 5 s gewählt, die für eine annähernd korrekte Mittelung der Zeitschlitzrechnerisch ausreichen sollten: Die Gesamtbandbreite der GSM-Bänder wurde in Teilbereiche von je 21 MHz (GSM-900) bzw. 25 MHz (GSM-1800) aufgeteilt. Daraus ergibt sich eine mittlere Verweilzeit von knapp 48 ms bzw. 40 ms pro Kanal. Dies entspricht rund 83 bzw. 70 Zeitschlitz mit einer Dauer von je 577 μ s.

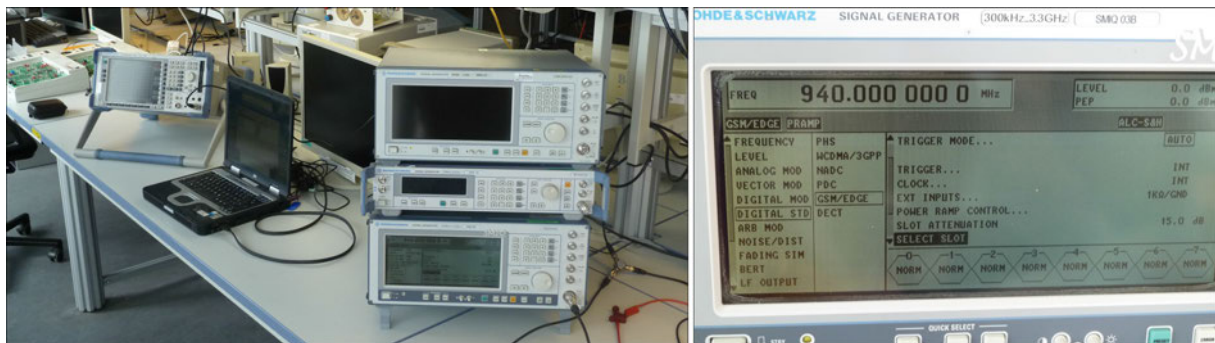


Abbildung 7-13: Messaufbau zur Validierung von Messpaketen im Labor der Technischen Hochschule Deggendorf. Linkes Bild: Der Spektrumanalyzer des EMF-Monitorings (links im Bild) ist an den Steuerlaptop angeschlossen, auf dem dieselbe Software dieselben GSM-Messpakete wie an den Monitoring-Messpunkten abgearbeitet hat. Der Signaleingang des Analyzers ist mit dem Signalausgang eines Signalgenerators (rechts im Bild) verbunden, der verschiedene Zeitschlitz- und Frequenzhopping-Konfigurationen von GSM simuliert. Rechtes Bild: Simulation von GSM-Signalen mit dem Signalgenerator Rohde & Schwarz SMIQ03B. In der abgebildeten Ausgangskonfiguration waren alle Zeitschlitzrechnerisch zugeschaltet, die nach und nach deaktiviert wurden, um unterschiedliche Gesprächsaufkommen zu simulieren.

Im Rahmen der sechsten Sitzung des Fachbeirats zum EMF-Monitoring, die am 24. Januar 2013 in Hof stattfand, ergab sich die Möglichkeit zur Validierung der Messpakete an der Technischen Hochschule Deggendorf (Abbildung 7-13). Dabei sollte die Zuverlässigkeit der RMS-Messpakete geprüft

³⁹Der Träger der BCCH-Signalisierung bleibt auf einer festen Frequenz.

werden. Der Messaufbau bestand aus dem Spektrumanalyzer des EMF-Monitorings samt zugehörigem Steuerlaptop. Auf letzterem lief die Messsoftware RFEX der Firma Rohde & Schwarz in derselben Version 4.1.6 wie an den Messpunkten des Monitorings. Der Signaleingang des Analyzers war an den Signalausgang eines Signalgenerators Rohde & Schwarz SMIQ03B angeschlossen, der verschiedene GSM-Kanalbelegungen simulierte:

Zunächst wurde die Zeitschlitzbelegung auf einer festen Frequenz (hier: 940 MHz) zwischen einem und acht aktiven Zeitschlitz pro Frame⁴⁰ ohne Frequenzhopping variiert. Alle aktiven Zeitschlitz wurden mit der gleichen Leistung abgegeben. Die auf dem Kanal gemessene Feldstärke bleibt dann bei Verwendung eines Max-Peak-Detektors konstant, sofern die Verweilzeit auf dem Kanal ausreicht, wenigstens einen Zeitschlitz zu erfassen.⁴¹ Ein RMS-Detektor sollte dagegen in Abhängigkeit von der Anzahl n pro Frame aktiver Zeitschlitz eine gegenüber der Maximalfeldstärke E_{\max} reduzierte Feldstärke messen, die sich im Falle vollständig belegter Zeitschlitz ergibt:

$$E_n = E_{\max} \cdot \sqrt{\frac{n}{8}} \quad (7.1)$$

Dieser Wert reduziert sich noch weiter oder verteilt sich vielmehr auf m verschiedene Frequenzen, wenn im zweiten Schritt Frequenzhopping zugeschaltet wird.

Eine Validierung am Signalgenerator ergab, dass sich die Verwendung eines RMS-Detektors bei der Erfassung von GSM-Signalen in Verbindung mit der RFEX-Software auf Grund eines Fehlers innerhalb der Programmierung der Software nicht eignet.⁴² Eine Berücksichtigung der Überbewertung bzw. Quantifizierung konnte somit im Rahmen der Auswertung nicht erfolgen.

⁴⁰Ein GSM-Frame enthält acht Zeitschlitz à 15/26 ms = 577 µs.

⁴¹Das ist der Fall, wenn die Sweepzeit τ die Bedingung $\tau > T \cdot w/200$ kHz erfüllt, wobei $T = 4,6$ ms die Framedauer und w die Frequenzspannweite darstellt.

⁴²Wurden am Spektrumanalyzer *dieselben* Parameter für Sweepzeit (5 s), RBW (200 kHz mit Channel-Filter) und RMS-Detektor manuell eingestellt, so verhielt sich das Ergebnis erwartungsgemäß.

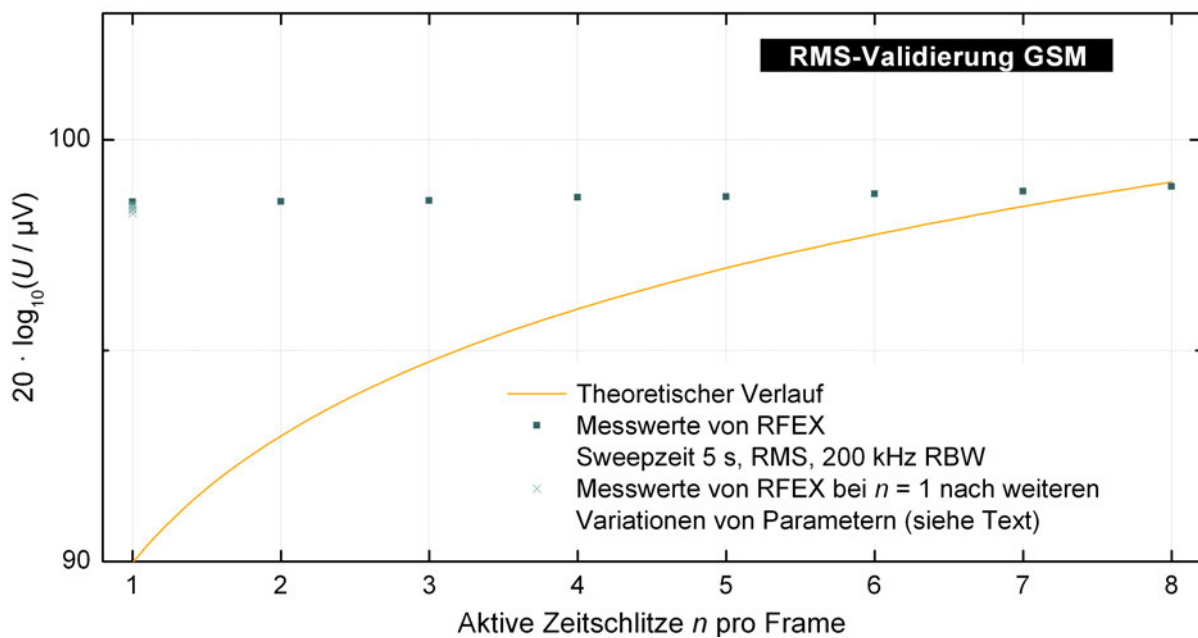


Abbildung 7-14: Ergebnisse der Validierung der RMS-Messpakete für GSM-Mobilfunk. Bei der automatischen Messung mit RFEX ergab sich kaum eine Abnahme der Feldstärke mit abnehmender Kanalbelegung (weniger Zeitschlitze aktiv). Auch bei der maximal einstellbaren Sweepzeit von 10 s, bei reduzierter Frequenzspannweite, bei Verwendung eines Gauß- statt eines Channel-Filters und auch bei Verteilung eines unmodulierten Trägers auf drei Frequenzen (Hopping) ergab sich kein wesentlich anderes Bild (Kreuze). Das Verhalten ist jedoch nicht auf eine Wahl falscher Messparameter zurückzuführen, da es bei direkter Einstellung der gleichen Messparameter am Spektrumanalyzer nicht auftrat. Ursächlich scheint deshalb ein Bug in RFEX dafür verantwortlich. Die RMS-Messungen des GSM-Mobilfunks konnten deshalb leider nicht verwendet werden.

7.4 BOS-Funk

BOS-Funk ist die Sammelbezeichnung für verschiedene nicht-öffentliche mobile Landfunkdienste der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben, darunter Polizei, Feuerwehr, Zoll, Technisches Hilfswerk (THW), Rettungsdienste und Katastrophenschutz. Bislang betrieben die BOS-Organisationen jeweils eigene analoge Funknetze. Seit einigen Jahren wird als deren Nachfolger ein gemeinsames Digitalfunknetz aufgebaut, das die einzelnen Analogfunknetze (in Bayern bis Ende 2015) ablösen soll.

Bei der Planung des EMF-Monitorings 2011/2012 wurde Wert darauf gelegt, diese Umstellung messtechnisch begleiten zu können. Aus diesem Grund wurden neue Messpakete gebildet, die die verstreuten Messbereiche des analogen BOS-Funks, die sich zuvor in verschiedenen optionalen Messpaketen befanden, abbilden. Sie wurden standardmäßig an allen Messpunkten verwendet. Die Messreihe 2011/2012 bot letztmalig die Gelegenheit, die Immissionen des analogen BOS-Funks flächendeckend zu erfassen, was mit den neuen Messpaketen nun erstmals geschah.

Für den digitalen BOS-Funk wurde ein weiteres Messpaket hinzugefügt, dessen Aussagekraft mangels flächendeckender Verfügbarkeit des Digitalfunks während der Messreihe 2011/2012 jedoch erst beim nächsten EMF-Monitoring zum Tragen kommen wird. Damit wird es in der nächsten Messreihe möglich sein, Aussagen über die Zu- oder Abnahme der Immissionen durch die Digitalisierung des BOS-Funks zu treffen.

Im Einzelnen wurden in der Messreihe 2011/2012 folgende BOS-Frequenzbereiche erfasst:

- Im *4-m-Band* erfolgt die Sprechfunkverkehrsabwicklung zwischen Einsatzkräften und Leitstellen (Leitstellenfunk). Es wurden die Frequenzbereiche von 74,21 MHz bis 77,48 MHz und von 84,01 MHz bis 87,28 MHz berücksichtigt; sie waren bislang Bestandteil eines optionalen Messpakets⁴³.

⁴³Messpaket TV10

- Der Sprechfunkverkehr an einer Einsatzstelle wird im *2-m-Band* abgewickelt (Einsatzstellenfunk). Hier wurde der Frequenzbereich 165,21 MHz – 173,98 MHz berücksichtigt. Der Frequenzbereich war in früheren Messreihen Bestandteil eines optionalen Paketes⁴⁴.
- Die Frequenzbereiche 443,60 MHz – 444,96 MHz und 448,60 MHz – 449,96 MHz im *70-cm-Band* sind für Festfunkverbindungen vorgesehen und wurden der Vollständigkeit halber aufgenommen. Sie wurden bisher von einem optionalen Messpaket⁴⁵ erfasst.
- Für den *BOS-Digitalfunk* wurde ein eigenes Frequenzband, bestehend aus dem Downlink bei 390,00 MHz – 395,00 MHz (reserviert bis 400,00 MHz) und dem Uplink bei 380,00 MHz – 385,00 MHz (reserviert bis 390,00 MHz), geschaffen.

Die Frequenztabellen des Messpakets basieren auf denen der BOS-Funkrichtlinie [9].

Für die früheren Messreihen ergibt sich das Problem, dass die eingesetzten Messpakete einerseits neben dem BOS-Funk noch weitere Funkdienste erfasst haben können, da sie für größere Frequenzbereiche konzipiert waren. Andererseits war die Erfassung der Immissionen des BOS-Funks auch nicht vollständig, da die Pakete als optionale Pakete nur an einzelnen Messorten zum Einsatz kamen und auch an einem Messpunkt nicht zwingend alle drei Pakete⁴⁶ verwendet wurden. Im Bericht zur zweiten Messreihe wurden die Pakete *BOS* und *DATA* im Abschnitt 5.3.4 *Sonstige* diskutiert. Für die Auswertung im vorliegenden Bericht wurden die BOS-relevanten Pakete frequenzweise neu ausgewertet. Die BOS-Immissionen aus den Messreihen 2002/2003 und 2006/2007, wie sie nachfolgend diskutiert werden, enthalten somit nur die Immissionen, die tatsächlich der Nutzung durch BOS zugeordnet sind, summiert aus allen drei optionalen Paketen, sofern diese am jeweiligen Messpunkt vorlagen.

Hinsichtlich der Immissionen spielt der BOS-Funk insgesamt und der TETRA-Digitalfunk im besonderen nur eine untergeordnete Rolle. Der Median des BOS-Funks (gesamt) liegt in der Messreihe 2011/2012 bei $0,01 \cdot 10^{-6}$ und im Mittel bei $0,72 \cdot 10^{-6}$. Der Vergleich mit früheren Messreihen ist wegen des geänderten Messverfahrens mit starken Unsicherheiten behaftet und unterbleibt deshalb.

Bislang kommen die BOS-Immissionen fast ausschließlich durch den Analogfunk zu Stande. Lediglich an zehn Messpunkten in München und Umgebung überwogen die Immissionen des TETRA-Digitalfunks⁴⁷, dessen Anteil an den gesamten BOS-Immissionen insgesamt derzeit bei nur 6 % liegt. Angesichts der Aufbauphase, in der sich der Digitalfunk während des Monitorings noch befand, ist dieses Ergebnis nicht ungewöhnlich; die nächste Messreihe wird dann einen vollständigen Vergleich zwischen Analog- und Digitalfunk ermöglichen und Aussagen zu der Frage, ob die Umstellung mit einer Erhöhung oder Verringerung der Immissionen einherging, treffen können.

In München Stadt und Landkreis befand sich TETRA während der dritten Messreihe in der Migrationsphase.⁴⁸ Für 63 Messpunkte in der Pilotregion München und Umgebung⁴⁹ ergab sich für die TETRA-Immissionen ein höherer Medianwert von $0,003 \cdot 10^{-6}$ (Mittelwert $0,08 \cdot 10^{-6}$). Der noch in Betrieb befindliche analoge BOS-Funk lag hinsichtlich der Immissionen an diesen Messpunkten in der gleichen Größenordnung (Median $0,02 \cdot 10^{-6}$, Mittelwert $0,14 \cdot 10^{-6}$) wie in der bayernweiten Betrachtung.

⁴⁴Messpaket *BOS*

⁴⁵Messpaket *DATA*

⁴⁶Der analoge BOS-Funk war bislang über die Pakete *TV10*, *BOS* und *DATA* verteilt.

⁴⁷Der Mittelwert der TETRA-BOSNET-Immissionen an diesen zehn Messpunkten lag bei $5,27 \cdot 10^{-6}$. An denselben zehn Messpunkten lag der Mittelwert der Immissionen des analogen BOS-Funks bei $0,20 \cdot 10^{-6}$. Der Vergleich ist aber unpassend, weil sich diese Messpunkte in der Nähe von TETRA-Basisstationen befanden, wohingegen nicht notwendigerweise auch Sendeanlagen des analogen BOS-Funks in der unmittelbaren Umgebung dieser Messpunkte vorhanden waren.

⁴⁸Die Polizei hat die Umstellung im Dezember 2012 komplett abgeschlossen; sonstige BOS waren mit Stand Mai 2013 noch in der Umstellung begriffen.

⁴⁹Messpunkte 048 bis 088, 155, 201, 204, 218, 219, 330, 332, 334 bis 337, 343, 344, 346, 347, 355, 396 bis 400 und 403.

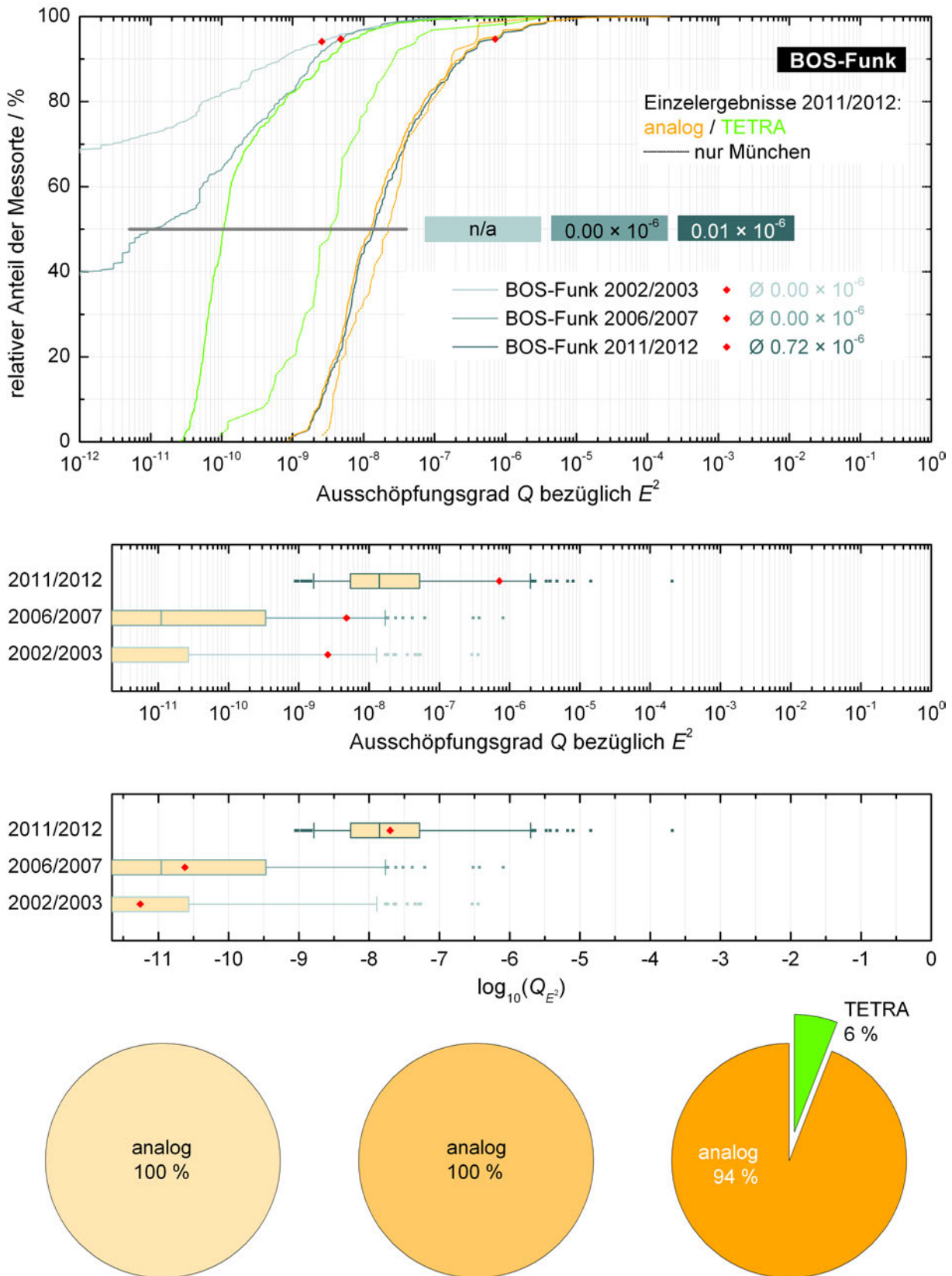


Abbildung 7-15: Übersichten zu den thermischen Ausschöpfungsgraden beim BOS-Funk. Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade beim BOS-Funk insgesamt sowie der Beiträge der analogen Funknetze und des TETRA-Digitalfunknetzes bei der Messreihe 2011/2012. Mitte: Boxplot für den linearen bzw. dekadisch logarithmierten Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot eingezeichnet. Unten: Mittlere Anteile des analogen und digitalen BOS-Funk an den gesamten BOS-Immissionen.

7.5 Sonstige Funkdienste

Die Summe der sonstigen Funkdienste besteht aus folgenden Messpaketen, die hinsichtlich ihrer Eigenschaften und Frequenzbereiche in Kapitel E ausführlich erläutert sind:

- MON11OPT_PK_BOS05
- MON11OPT_PK_DATA1
- MON11OPT_PK_DATA2
- MON11OPT_PK_RADAR1
- MON11OPT_PK_RADAR1B
- MON11OPT_PK_RADAR2A
- MON11OPT_PK_RADAR2B
- MON11OPT_PK_TV1
- MON11OPT_PK_TV1O
- MON11OPT_PK_TV1U
- MON11_PK_DECT
- MON11OPT_RMS_PRIVTETRA
- MON11_RMS_WLAN
- MON11OPT_PK_DEMOFUNK

Sie umfassen damit im Wesentlichen Frequenzlücken zwischen den "großen" Funkdiensten, die beispielsweise folgende Anwendungen beinhalten:

- ISM-Bänder⁵⁰, für die eine Allgemeinzuteilung besteht und die daher von jedermann lizenzfrei genutzt werden können. Sie kommen für Funkfernbedienungen, Temperatursensoren von Funkthermometern, Babyphone, Funkkopfhörer, Videoübertragungssysteme, fernbedienbare Steckdosenleisten und viele mehr zum Einsatz.
- WLAN bei 2,4 GHz, also private wie öffentliche Internetzugänge per Funk.
- DECT, d. h. schnurlose Festnetztelefone.
- TETRA-Bündelfunk im privatwirtschaftlichen Einsatz (die BOS-Nutzung ist in Kapitel 7.4 besprochen).
- Zivile und militärische Flugradare. Das EMF-Monitoring ist jedoch nicht für die korrekte Bewertung von Radarsignalen ausgelegt, sodass deren Erfassung eher zufälligen Charakter hat.

Wie bereits angesprochen werden Mobilfunk-Uplinks auf Grund ihres zufälligen Charakters nicht mehr betrachtet (siehe auch Kapitel 2.6 und Kapitel 7.6).

In den früheren Messreihen hat sich gezeigt, dass die Gesamtmissionen durch die Summe aus Hörfunk, Fernsehen und Mobilfunk bereits ausreichend abgebildet werden; weitere Beiträge wie BOS-Funk und Sonstige spielen nur eine untergeordnete Rolle. Auch die dritte Messreihe stützt diese Ansicht.

Die Immissionen sonstiger Funkdienste liegen sowohl hinsichtlich des Medians ($0,04 \cdot 10^{-6}$) als auch im Mittel ($0,30 \cdot 10^{-6}$) auf besonders niedrigem Niveau. Gegenüber 2006/2007 haben sich weder Median noch Mittelwert wesentlich geändert. Die leichte Zunahme gegenüber der ersten Messreihe (Median $0,01 \cdot 10^{-6}$, Mittelwert $0,19 \cdot 10^{-6}$) dürfte weniger auf eine tatsächliche Erhöhung der Immissionen zurückzuführen sein als vielmehr auf den Umstand, dass die Immissionen sonstiger Funkdienste überwiegend durch optionale Pakete zu Stande kommen und diese an zunehmend mehr Messpunkten verwendet werden, was zu einer entsprechend besseren Statistik führt. Insbesondere wurde das DECT-Messpaket ab der Messreihe 2006/2007 in die Liste der Standardmesspakete aufgenommen.

⁵⁰Industrial, scientific and medical.

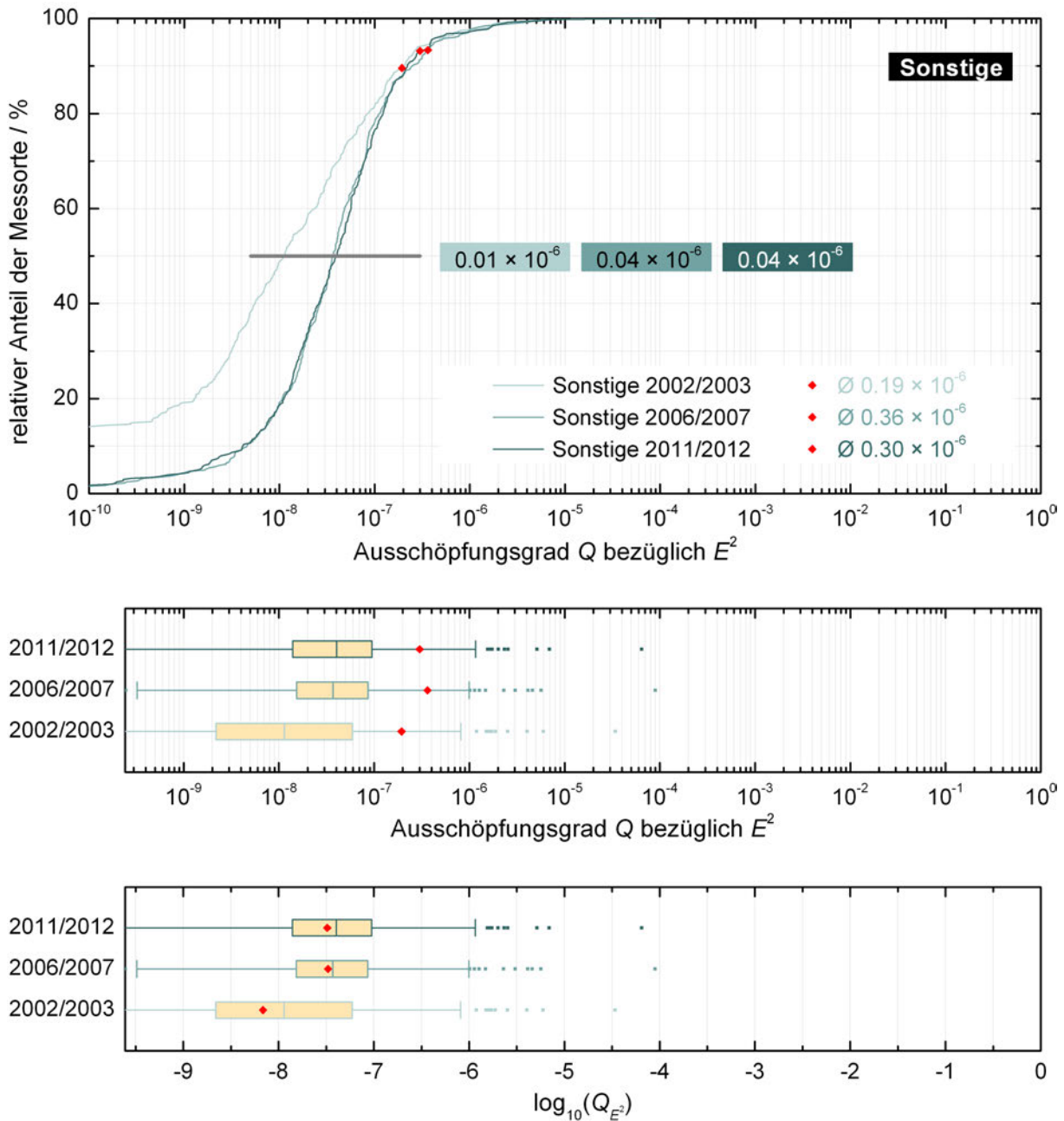


Abbildung 7-16: Übersichten zu den thermischen Ausschöpfungsgraden sonstiger Funkdienste. Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade sonstiger Funkdienste insgesamt. Unten: Boxplot für den linearen bzw. dekadisch logarithmierten Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot eingezeichnet.

7.6 Gesamtmissionen

Die Gesamtmissionen für die thermische Wirkung ergeben sich aus der Summe der Einzelbeiträge von Hörfunk, Fernsehen, Mobilfunk, BOS und sonstigen Funkdiensten. Im vergangenen Bericht enthielt diese Summe auch noch die Beiträge der Mobilfunk-Uplinks, auf deren Einbeziehung nun verzichtet wird. Diese Vorgehensweise wurde *nicht* gewählt, um niedrigere Gesamtmissionen ausweisen zu können, sondern weil die Uplink-Beiträge stark zufälligen Charakter haben und die systematische Betrachtung der Immissionsentwicklung dadurch erschweren. In der Folge sind aber die in diesem Bericht ausgewiesenen Gesamtmissionen für die Messreihen 2002/2003 und 2006/2007 niedriger als die gleichen Werte im letzten Bericht.

Die Tabelle 7-7 fasst alle wesentlichen Ergebnisse für die thermische Wirkung aller drei Messreihen

auf einen Blick zusammen. Neben Mittelwerten und Quantilen der Ausschöpfungsgrade enthält sie der Vollständigkeit halber auch den Mittelwert und den Median für die Leistungsflussdichte in $\mu\text{W}/\text{m}^2$.

Insgesamt haben die Immissionen einen leichten Anstieg erfahren und bewegen sich im Median nunmehr bei $6,99 \cdot 10^{-6}$ auf weiterhin sehr niedrigem Niveau. Gegenüber den Messreihen 2002/2003 und 2006/2007 stellt dies eine Zunahme um 41 % (von $4,94 \cdot 10^{-6}$) bzw. 31 % (von $5,32 \cdot 10^{-6}$) dar. Für den Mittelwert ergeben sich deutlichere Veränderungen: er hat sich von $16,0 \cdot 10^{-6}$ (2002/2003) und $24,1 \cdot 10^{-6}$ (2006/2007) auf nun $58,9 \cdot 10^{-6}$ erhöht, was einem Anstieg um 268 % bzw. 144 % entspricht. Ähnlich wie bereits beim Mobilfunk sind vergleichsweise hohe Immissionen an einzelnen wenigen Messpunkten für die deutliche Zunahme des Mittelwerts verantwortlich. So tragen lediglich acht Messpunkte etwa zur Hälfte zum gesamten Mittelwert bei, wohingegen die restlichen 395 Messpunkte einen Mittelwert von $30,4 \cdot 10^{-6}$ aufweisen.

Die Änderung der Gesamtmissionen ist sowohl auf die erste als auch auf die zweite Messreihe bezogen statistisch signifikant. Das Odds Ratio beträgt 249:154 bzw. 234:169. An ca. 40 % aller Messpunkte wurde also ein Rückgang der Immissionen beobachtet. Dem gegenüber steht eine Zunahme der Immissionen an rund 60 % aller Messpunkte.

Der Messpunkt mit den höchsten thermischen Gesamtmissionen ist derselbe Messpunkt, der im Mobilfunk die höchsten Immissionen aufweist (Messpunkt 119, siehe Abbildung 7-7). Das ist kein Zufall: Seit Beginn des EMF-Monitorings haben sich die Anteile von Hörfunk und Mobilfunk praktisch vertauscht. Vor zehn Jahren kam der dominierende Beitrag (53 %) zu den Gesamtmissionen durch Hörfunk-Sendeanlagen zu Stande, wohingegen Mobilfunk nur zu 31 % beitrug. In der Messreihe 2006/2007 kehrte sich dieses Bild gerade um. Damals war zwar Hörfunk insgesamt noch dominierend, aber gerade in städtischen Lagen kamen die Hauptbeiträge bereits durch Mobilfunk zu Stande. Inzwischen gilt dies bayernweit, d. h. Mobilfunk trägt nun zu 55 % und Hörfunk nur noch zu 33 % bei. Die Hörfunkmissionen waren seit 2006/2007 zwar leicht rückläufig, doch insgesamt ist die Erklärung für diesen Wandel vor allem in der Zunahme der Mobilfunkmissionen zu sehen. Eine ähnliche Tendenz ergibt sich auch, wenn man die Beiträge nicht messpunktweise mittelt, sondern nach den bayernweiten Gesamtmissionen gewichtet betrachtet, wie Kapitel C zeigt.

Der Bereich Fernsehen spielt eine zusehends untergeordnete Rolle für die Gesamtmissionen. Die Umstellung auf digitales Fernsehen hat zu einer leichten Abnahme der Fernsehmissionen geführt, was in Verbindung mit der leichten Zunahme der Gesamtmissionen letztlich zu einem schrumpfenden Beitrag des Fernsehens zur Gesamtsituation führt. Die Anteile sind seit 2002/2003 von 14 % über 10 % (2006/2007) auf nun 8 % gefallen. BOS-Funk und sonstige Funkdienste spielen praktisch keine Rolle und liegen bei einem Anteil von 1 % bzw. 2 %.

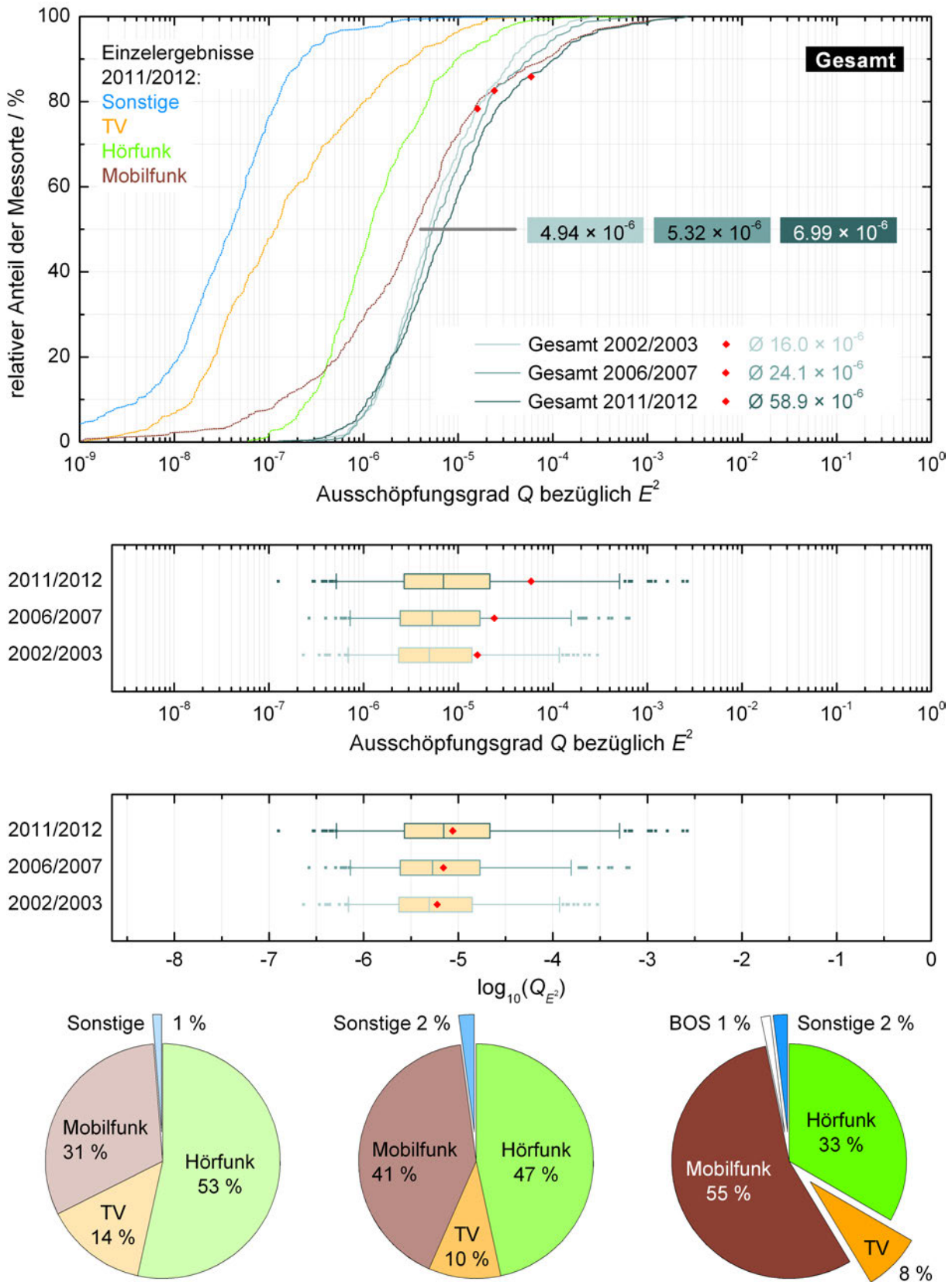


Abbildung 7-17: Übersichten zu den thermischen Ausschöpfungsgraden (gesamt). Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade insgesamt sowie der einzelnen Beiträge der Funkdienste bei der Messreihe 2011/2012. Mitte: Boxplot für den linearen bzw. dekadisch logarithmierten Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot eingezeichnet. Unten: Mittlere Anteile der einzelnen Funkdienste an den Gesamtmissionen im Vergleich zwischen den Messreihen.

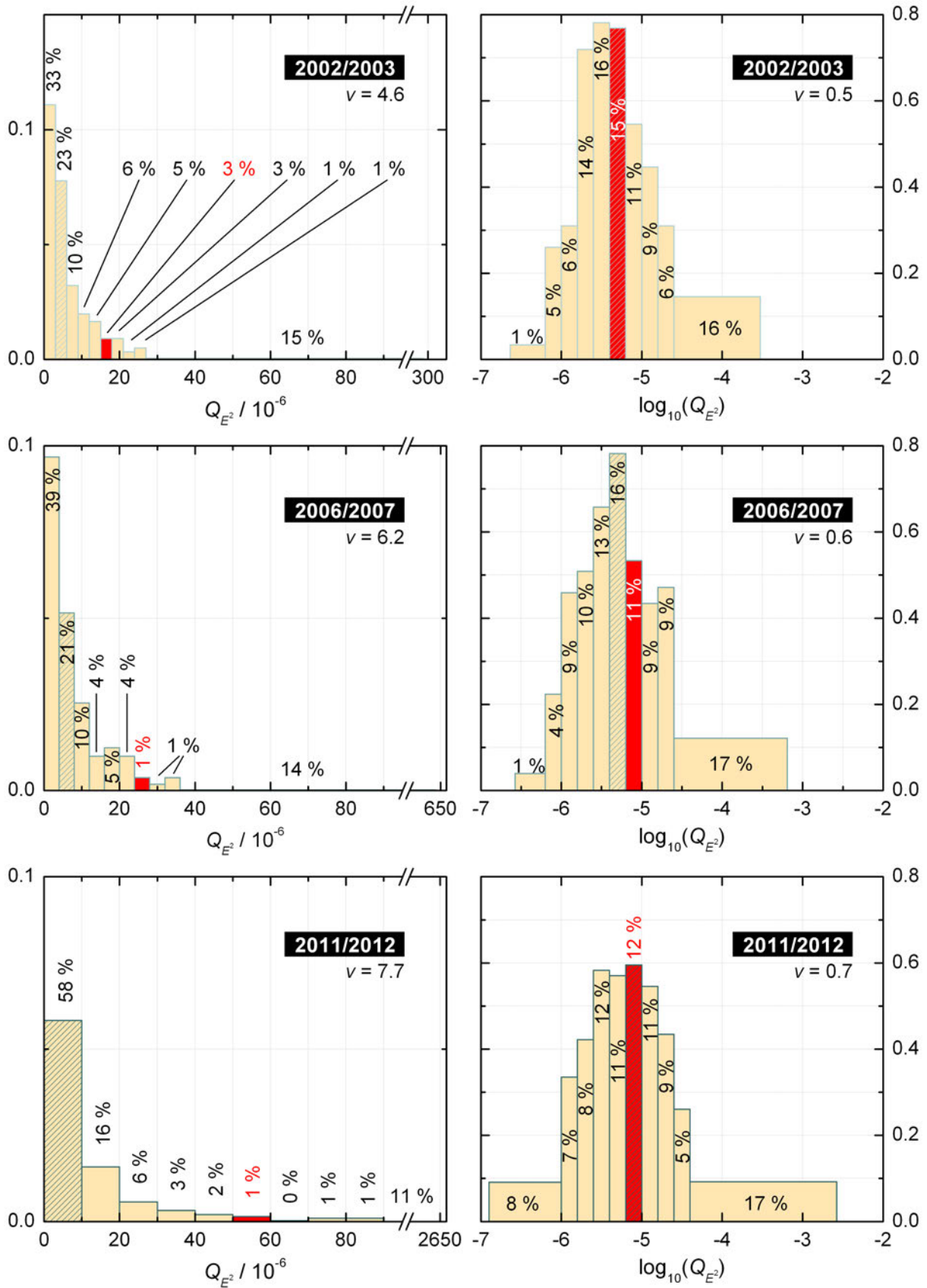


Abbildung 7-18: Histogramme für den thermischen Ausschöpfungsgrad (gesamt). Links: Lineare Betrachtung. Rechts: Histogramme für den dekadisch logarithmierten Ausschöpfungsgrad. Die rot eingefärbte Klasse enthält jeweils den Mittelwert, die schraffierte Klasse den Median.

Tabelle 7-6: Statistische Spannweite der thermischen Ausschöpfungsgrade (gesamt). Erläuterung in Kapitel 2.5.

	Einzelmessungen pro Messort			
	AVG	MIN	MAX	SD
Messreihe 2002/2003				
höchster Wert der Messorte	297	188	472	115
Mittelwert über die Messorte	16,0	12,2	21,4	2,93
Standardabweichung	32,8	24,0	48,7	9,30
Variationskoeffizient	2,06	1,98	2,27	3,17
Quartilsdispersionskoeffizient	2,33	2,36	1,99	1,75
Messreihe 2006/2007				
höchster Wert der Messorte	643	580	698	131
Mittelwert über die Messorte	24,1	17,7	31,0	4,49
Standardabweichung	62,8	48,4	76,6	12,8
Variationskoeffizient	2,61	2,73	2,47	2,85
Quartilsdispersionskoeffizient	2,72	2,83	2,27	2,23
Messreihe 2011/2012				
höchster Wert der Messorte	2645	2287	3094	799
Mittelwert über die Messorte	58,9	42,4	76,6	11,6
Standardabweichung	232	173	297	58,4
Variationskoeffizient	3,94	4,08	3,87	5,02
Quartilsdispersionskoeffizient	2,69	2,71	2,49	2,54

Tabelle 7-7: Statistische Lagemaße im Hochfrequenzbereich (thermische Wirkung). Dargestellt sind spaltenweise von links nach rechts: Der mittlere Ausschöpfungsgrad (in Einheiten von 10^{-6}), 25-, 50-, 75-, 90-, 95- und 99-%-Perzentile des Ausschöpfungsgrads (ebenfalls in Einheiten von 10^{-6}) sowie mittlere und mediane Leistungsflussdichte in $\mu\text{W}/\text{m}^2$.

Daten	Q_{avg}	Q_{P25}	Q_{P50}	Q_{P75}	Q_{P90}	Q_{P95}	Q_{P99}	S_{avg}	S_{50}
Messreihe 2002/2003									
Hörfunk	5,01	1,04	1,87	4,27	11,3	18,9	47,3	114	65
Fernsehen	1,64	0,069	0,293	1,01	3,02	6,95	24,0	5	3
Mobilfunk	9,12	0,096	0,854	3,74	18,7	49,0	145	54	21
BOS	0,007	0,000	0,000	0,001	0,007	0,019	0,154	0	0
Sonstige	0,194	0,002	0,011	0,059	0,201	0,428	1,88	1	0
Gesamt	16,0	2,36	4,94	13,9	37,7	64,3	166	174	146
Messreihe 2006/2007									
Hörfunk	4,68	0,879	1,67	3,97	10,2	18,3	58,3	111	71
Fernsehen	1,88	0,033	0,165	0,825	3,30	8,07	33,4	5	2
Mobilfunk	17,2	0,361	1,77	6,10	35,7	89,3	292	96	36
BOS	0,007	0,000	0,000	0,001	0,003	0,008	0,125	0	0
Sonstige	0,363	0,015	0,037	0,086	0,249	0,430	3,03	1	1
Gesamt	24,1	2,45	5,32	16,9	57,7	107	305	213	168
Messreihe 2011/2012									
Hörfunk	6,38	0,498	1,17	3,70	9,57	21,8	55,5	86	69
Fernsehen	1,43	0,031	0,117	0,641	3,29	7,67	20,1	5	2
Mobilfunk	50,1	0,776	3,38	11,6	84,2	185	1019	295	70
BOS	0,715	0,005	0,014	0,052	0,253	0,834	4,71	1	0
Sonstige	0,300	0,014	0,040	0,094	0,221	0,388	2,32	1	1
Gesamt	58,9	2,69	6,99	21,5	102	196	1101	388	190

8 Statistische Signifikanz der beobachteten Änderungen

Wie im letzten Bericht wurde die statistische Signifikanz an Hand zweier Tests geprüft. Datengrundlage hierfür war jeweils die verbundene Stichprobe zweier Messreihen. Die zu testende Stichprobe bestand somit aus 403 Datenwerten $\delta Q_i = (Q_{i,2011} - Q_{i,2002})$ oder $\delta Q_i = (Q_{i,2011} - Q_{i,2006})$, wobei $Q_{i,2002}$, $Q_{i,2006}$ und $Q_{i,2011}$ den Ausschöpfungsgrad am Messpunkt i bei den Messreihen 2002/2003, 2006/2007 bzw. 2011/2012 darstellen.

Der abhängige t -Test (paired t -Test) prüft, ob die mittlere Differenz der Wertepaare im Rahmen des Signifikanzniveaus im Wesentlichen gleich null oder davon verschieden ist. Er beantwortet also die Frage, ob sich die Mittelwerte zweier Messreihen statistisch signifikant voneinander unterscheiden.

Im t -Test wird zunächst der Wert

$$t = \frac{\sqrt{N}}{c_v} = \sqrt{\frac{N-1}{N}} \cdot \frac{\sum \delta Q_i}{\sqrt{\sum \left(\delta Q_i - \frac{\sum \delta Q_i}{N} \right)^2}} \quad (8.1)$$

berechnet. Hierin sind N die Anzahl an Datensätzen und c_v der Variationskoeffizient der Grundgesamtheit der Differenzwerte. Anschließend wird daraus der p -Wert

$$p = p(t, N) = n_p(z(|t|)) \quad (8.2)$$

mit

$$n_p(x) = (1 + |x| \cdot (0,049867347 + |x| \cdot (0,0211410061 + |x| \cdot (0,0032776263 + |x| \cdot (0,0000380036 + |x| \cdot (0,0000488906 + |x| \cdot 0,000005383))))))^{-16} \quad (8.3)$$

$$z(x) = \sqrt{a_4} \cdot \left(1 + \frac{-a_5/a_6 + a_4 + 3}{a_2} \right) \quad (8.4)$$

$$a_6 = 0,8 \cdot a_4^2 + 100 + a_2$$

$$a_5 = 85,5 + a_4 \cdot (24 + a_4 \cdot (3,3 + 0,4 \cdot a_4))$$

$$a_4 = \begin{cases} a_1 \cdot \ln(1 + a_3) & \text{für } a_3 \geq 0,04 \\ a_1 \cdot a_3 \cdot (1 + a_3 \cdot ((1 - 0,75 \cdot a_3) \cdot \frac{a_3}{3} - 0,5)) & \text{sonst} \end{cases}$$

$$a_3 = \frac{t^2}{N}$$

$$a_2 = 48 \cdot a_1^2$$

$$a_1 = N - 0,5$$

berechnet. Die Änderung wird an Hand des t -Tests als statistisch signifikant eingestuft, wenn

$$p < 0,05 \quad (8.5)$$

gilt.

Auf Grund der Schiefe der im Monitoring auftretenden Verteilungen wäre es besser, den t -Test mit den logarithmierten Daten durchzuführen. Wegen der vereinzelt vorkommenden Nullwerte ist dies jedoch nicht möglich.

Der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test (Wilcoxon signed-rank test) umgeht dieses Problem als nichtparametrischer Test. Er prüft die Gleichheit der zentralen Tendenzen der zugrundeliegenden verbundenen Grundgesamtheit. Er bezieht also nicht nur die Änderung der Werte ein, sondern auch die Ränge und damit indirekt die Anzahl an Messpunkten mit Zu- und Abnahmen. Für die Monitoringdaten scheint er deshalb besser geeignet, die statistische Signifikanz zu beurteilen.

Ausgangsbasis für den Wilcoxon-Test ist der Wert

$$w = \frac{\min(T^+, T^-) - \frac{1}{4} \cdot N \cdot (N + 1)}{\sqrt{\frac{N \cdot (N+1) \cdot (2N+1)}{24}}} \quad (8.6)$$

mit dem Minimum $\min(T^+, T^-)$ aus der positiven Rangsumme T^+ und der negativen Rangsumme T^- . Sei zunächst x_j die Menge der *betragsmäßig aufsteigend* sortierten Differenzwerte δQ_j . Dann gilt

$$T^+ = \sum_{j=1}^N \begin{cases} j & \text{für } x_j > 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (8.7)$$

$$T^- = \sum_{j=1}^N \begin{cases} j & \text{für } x_j < 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (8.8)$$

Sind mehrere aufeinanderfolgende x_j betragsmäßig identisch, wird jeweils der Mittelwert der betroffenen Rangnummern angesetzt.

Die Änderung zwischen zwei Messreihen wird im Wilcoxon-Test als statistisch signifikant angesehen, wenn

$$|w| > 2,58 \quad (8.9)$$

gilt.

Tabelle 8-1 fasst die Ergebnisse der statistischen Tests zusammen. Sie enthält spaltenweise von links nach rechts folgende Angaben:

- Bezeichnung des getesteten Datensatzes.
- Mittelwert Q_{avg} der Wertedifferenzen. Ein positiver (negativer) Wert bedeutet hier, dass der Mittelwert der Ausschöpfungsgrade zwischen den getesteten Messreihen zugenommen (abgenommen) hat.
- Standardabweichung SD der Wertedifferenzen.
- Parameter t des t -Tests.
- Parameter p des t -Tests.
- Parameter w des Wilcoxon-Tests.
- Beurteilung der statistischen Signifikanz. Die erste Angabe bezieht sich auf den t -Test und gibt das Ergebnis der Prüfung $p < 0,05$ an. Die zweite Angabe bezieht sich auf den Wilcoxon-Test und gibt das Ergebnis der Prüfung $|w| > 2,58$ an.
- Das Odds Ratio (OR) ist die Anzahl an Messpunkten, an denen sich eine Zunahme (erster Wert) und Abnahme (zweiter Wert) der Ausschöpfungsgrade zwischen den getesteten Messreihen ergeben hat.

Tabelle 8-1: Parameter des *t*-Tests und des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests für die gepaarten Stichproben der Messreihen 2002/2003 und 2011/2012 sowie 2006/2007 und 2011/2012. Eventuelle Abweichungen in den Mittelwerten dieser Tabelle von den in Tabelle 9-2 abgedruckten Werten sind darin begründet, dass in dieser Tabelle die verbundene Stichprobe zwischen je zwei Messreihen ausgewertet wurde, d. h. an einem Messpunkt nur dann ein Differenzwert vorliegt, wenn in *beiden* Messreihen für diesen Messpunkt Messwerte vorhanden sind, wohingegen in Tabelle 9-2 die Differenzen der mittleren Ausschöpfungsgrade zwischen zwei Messreihen gezeigt sind. Die beiden Angaben in der Spalte *statistische Signifikanz* beziehen sich auf die Ergebnisse des *t*-Test und des Wilcoxon-Tests. Die Spalte *OR* (Odds Ratio) gibt an, wieviele Messpunkte eine Zunahme (erster Wert) und eine Abnahme (zweiter Wert) der Immissionen erfahren haben.

Daten	Q_{avg}	SD	<i>N</i>	<i>t</i> -Wert	<i>p</i> -Wert	<i>w</i>	stat. Sign.	OR
Änderung zwischen den Messreihen 2002/2003 und 2011/2012								
Stimulationswirkung								
<i>E</i> Niederfrequenz	0,189	6,20	388	0,601	0,548	-7,68	nein/ja	255:94
<i>E</i> Hörfunk	-0,528	1,77	403	-5,99	0,000	-8,59	ja/ja	108:295
<i>E</i> Gesamt	-0,345	6,40	403	-1,08	0,280	-7,27	nein/ja	116:287
<i>B</i> Niederfrequenz	2,29	13,4	299	2,95	0,003	-4,51	ja/ja	178:112
<i>B</i> Hörfunk	-0,024	0,082	403	-5,99	0,000	-8,59	ja/ja	108:295
<i>B</i> Gesamt	2,26	13,4	299	2,92	0,004	-3,96	ja/ja	172:127
Thermische Wirkung								
Hörfunk	1,37	39,6	403	0,695	0,487	-7,24	nein/ja	120:283
Fernsehen	-0,215	6,33	403	-0,681	0,496	-3,49	nein/ja	157:246
Mobilfunk	41,0	213	403	3,86	0,000	-13,4	ja/ja	351:52
Gesamt	43,0	220	403	3,91	0,000	-6,49	ja/ja	249:154
Änderung zwischen den Messreihen 2006/2007 und 2011/2012								
Stimulationswirkung								
<i>E</i> Niederfrequenz	0,037	6,80	394	0,109	0,913	-2,16	nein/nein	205:162
<i>E</i> Hörfunk	-0,418	1,65	403	-5,10	0,000	-8,19	ja/ja	100:303
<i>E</i> Gesamt	-0,356	6,99	403	-1,02	0,307	-7,32	nein/ja	111:292
<i>B</i> Niederfrequenz	1,73	12,4	362	2,64	0,009	-1,23	ja/nein	185:167
<i>B</i> Hörfunk	-0,019	0,076	403	-5,10	0,000	-8,19	ja/ja	100:303
<i>B</i> Gesamt	1,71	12,4	362	2,62	0,009	-0,741	ja/nein	183:179
Thermische Wirkung								
Hörfunk	1,70	39,5	403	0,867	0,386	-5,83	nein/ja	130:273
Fernsehen	-0,454	5,13	403	-1,78	0,076	-1,86	nein/nein	190:213
Mobilfunk	33,0	200	403	3,31	0,001	-11,8	ja/ja	335:68
Gesamt	34,9	207	403	3,38	0,001	-5,56	ja/ja	234:169

9 Ergebnisse am Referenzmesspunkt

9.1 Motivation zur Einführung des Referenzmesspunkts

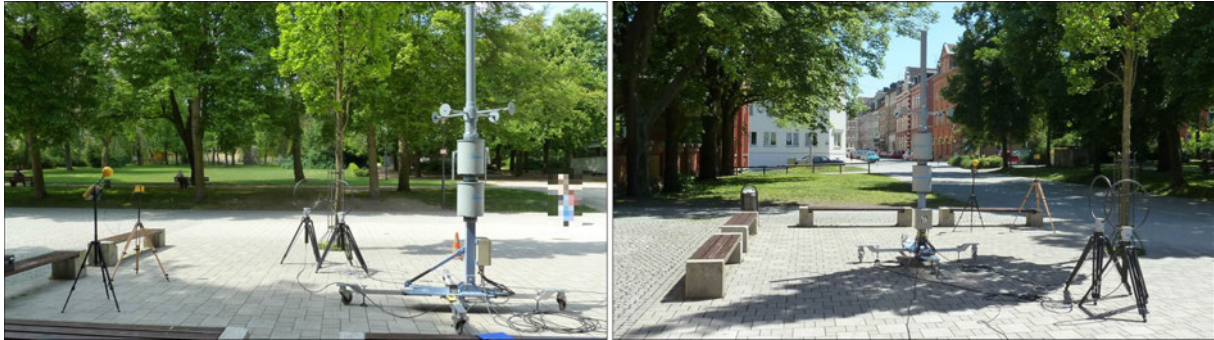


Abbildung 9-1: Referenzmesspunkt in der Stadt Hof.



Abbildung 9-2: Der Referenzmesspunkt wurde insgesamt 20 mal angefahren. Die Verteilung der Messungen ist nicht vollkommen gleichmäßig, da insbesondere die Zeit in den Sommermonaten für die eigentliche Messreihe benötigt wurde.

Der Referenzmesspunkt wurde eingeführt, weil sich seit jeher die Frage gestellt hat, welchen Schwankungen die Immissionen an einem festen Messpunkt ohnehin unterliegen. Dies gilt sowohl für die auslastungsbedingten Schwankungen der Strom- und Funknetze als auch für örtliche Abweichungen im Messaufbau und wechselnde Umgebungsbedingungen. Ein und derselbe Messpunkte kann also, selbst wenn er am selben Tag einige Stunden später erneut gemessen wird, erhebliche Schwankungen in den Ausschöpfungsgraden aufweisen. Es tritt also eine Kombination verschiedener Effekte auf:

- Die Immissionen unterliegen lastabhängigen zeitlichen Schwankungen.
- Die Immissionen werden durch Änderungen im Umfeld beeinflusst, beispielsweise durch fahrende und parkende Autos oder durch die veränderliche Belaubung zu verschiedenen Jahreszeiten.
- Die vom Spektrumanalyzer aufgezeichneten Immissionen hängen von Aufbau, Lage und Ausrichtung der Messantennen ab, die sich nicht perfekt reproduzieren lassen.

- Die Immissionen unterliegen auch dem Einfluss des Fadings, insbesondere Short-Term-Fadings⁵¹. Je nach verwendeter Frequenz kann ein Versatz der Antennen um wenige Dezimeter zu einer deutlich anderen Empfangssituation führen.
- Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Niederschlag können weitere Einflussfaktoren darstellen.

Das Ausmaß dieser Effekte war bislang unbekannt. Ziel des Referenzmesspunkts war es daher, die langfristige Entwicklung der Immissionen besser von Schwankungen auf Grund dieser Unsicherheiten unterscheiden zu können.

Der Referenzmesspunkt wurde unter Berücksichtigung verschiedener Aspekte gezielt ausgewählt. Aus statistischer Sicht sollte er beispielsweise ausreichend hohe Immissionen in den wichtigsten Frequenzbereichen aufweisen, um geringe relative Schwankungen zu erzielen. Dieses Kriterium ist jedoch kaum für alle Frequenzbereiche gleichzeitig erfüllbar. Nebenher sollte er von der Dienststelle Hof des Landesamts für Umwelt schnell erreichbar und gleichbleibend zugänglich sein.

Der gewählte Referenzmesspunkt befindet sich in einer Fußgängerzone in der Stadt Hof (Abbildung 9-1). Er wurde im Laufe der Messreihe in einem Zeitraum von 1,5 Jahren zu unterschiedlichen Jahreszeiten und in unregelmäßigen Abständen insgesamt 20 Mal angefahren (Abbildung 9-2). Dabei wurde jedes Mal wie an allen anderen 403 Messpunkten verfahren: Aufbau nach Fotodokumentation, Standardmessprogramm, Auswahl eines geeigneten Messprogramms für optionale Messpakete und Festlegung der Messdauer. Der Aufbau an diesem Referenzmesspunkt erfolgte nach einem Foto typischer Qualität⁵², welches bei einer der ersten Messungen aufgenommen wurde. Die Verwendung des jeweils aktuellsten Fotos könnte in der Praxis dazu führen, dass der Messpunkt im Laufe der Zeit "wandert".⁵³

⁵¹Hierunter werden Interferenzen durch Mehrwegeempfang und Dopplereffekt verstanden.

⁵²Gemeint ist, dass das Foto hinsichtlich der Möglichkeiten zur Reproduzierbarkeit in etwa den Fotos der anderen Messpunkte entspricht. Es wurde also nicht eine besonders detaillierte Fotodokumentation erstellt, die womöglich eine genauere Reproduzierbarkeit als bei den restlichen Messpunkten ermöglicht hätte.

⁵³Das gilt auch für Messpunkte der Messreihe selbst. Im Laufe der Messreihen wurde die Qualität der Fotos aber sukzessive verbessert, sodass letztlich keine Alternative zur Nutzung der aktuellen Fotos praktikabel ist.

Tabelle 9-1: Statistische Lagemaße von insgesamt 20 Messungen am Referenzmesspunkt. Dargestellt sind spaltenweise von links nach rechts: Der mittlere Ausschöpfungsgrad, die Standardabweichung, der Variationskoeffizient (SD/Q_{avg}), 25-, 50- und 75%-Perzentile des Ausschöpfungsgrads, der Interquartilsabstand ($Q_{P75} - Q_{P25}$) und der Quartilsdispersionskoeffizient (IQR/Q_{P50}). Die Zahlenwerte sind für den mittleren Ausschöpfungsgrad Q_{avg} , die Perzentile und den Interquartilsabstand IQR im Bereich der Stimulationswirkungen in Einheiten von ‰ und für die thermische Wirkung in Einheiten von 10^{-6} angegeben.

Daten	Q_{avg}	SD	c_v	Q_{P25}	Q_{P50}	Q_{P75}	IQR	c_q
Stimulationswirkungen								
E Niederfrequenz	0,091	0,132	146 ‰	0,010	0,026	0,124	0,113	437 ‰
E Hörfunk	2,64	0,938	35 ‰	2,44	2,58	2,65	0,216	8 ‰
E Gesamt	2,72	0,942	35 ‰	2,50	2,63	2,82	0,323	12 ‰
B Niederfrequenz	2,29	0,984	43 ‰	1,61	2,22	2,55	0,936	42 ‰
B Hörfunk	0,122	0,043	35 ‰	0,113	0,119	0,123	0,010	8 ‰
B Gesamt	2,40	0,980	41 ‰	1,73	2,34	2,58	0,849	36 ‰
Thermische Wirkung								
Hörfunk	0,842	0,255	30 ‰	0,710	0,857	0,947	0,237	28 ‰
Fernsehen	0,014	0,008	55 ‰	0,010	0,011	0,019	0,009	79 ‰
Mobilfunk	42,8	13,2	31 ‰	34,7	41,6	53,5	18,7	45 ‰
Gesamt	43,7	13,1	30 ‰	35,7	42,5	54,8	19,1	45 ‰

Wie Abbildung 9-2 zeigt, verteilen sich die 20 Messungen nicht gleich auf die Gesamtdauer der Messreihe. Vielfach musste die eigentliche Messreihe priorisiert werden, um den Abschluss der Messreihe im Kalenderjahr 2012 nicht zu gefährden. Es ist aber jede Jahreszeit und jede Tageszeit, die auch in der eigentlichen Messreihe vorkommt, am Referenzmesspunkt ebenfalls vertreten.

Bei der Auswertung der Ergebnisse am Referenzmesspunkt stehen weniger die Absolutwerte der Immissionen im Vordergrund als vielmehr deren (relative) Schwankungen. Tabelle 9-1 fasst die Ergebnisse am Referenzmesspunkt zusammen. Zum direkten Vergleich der Änderungen der Immissionen zwischen den Messreihen mit den Schwankungen am Referenzmesspunkt dienen die Tabellen 9-2 und 9-3, die die Ergebnisse der drei Messreihen gegenüber stellen.

9.2 Beurteilung der Signifikanz der Änderungen zwischen den Messreihen auf Basis der Ergebnisse am Referenzmesspunkt

Ergänzend zu den Tests auf statistische Signifikanz (Kapitel 8) lassen sich nun auch die Daten des Referenzmesspunkts heranziehen, um abzuschätzen, inwieweit die beobachteten Änderungen zwischen zwei Messreihen eher zufällig bedingt oder statistisch signifikant sind. Hierzu bieten sich folgende zwei Vergleiche an:

- Vergleich der relativen Änderungen der Mittelwerte zweier Messreihen (Tabelle 9-2) mit den Variationskoeffizienten der Messungen am Referenzmesspunkt (Tabelle 9-1). Der Absolutbetrag des Quotienten dieser beiden Werte sei nachfolgend als Effektstärke r_{avg} bezeichnet.
- Vergleich der relativen Änderungen der Medianwerte zweier Messreihen (Tabelle 9-3) mit den Quartilsdispersionskoeffizienten der Messungen am Referenzmesspunkt (Tabelle 9-1). Der Absolutbetrag des Quotienten dieser beiden Werte sei nachfolgend als Effektstärke r_{50} bezeichnet.

Die Effektstärken sind also folgendermaßen definiert:

$$r_{\text{avg}} = \frac{\Delta Q_{\text{avg}}}{c_v} \quad (9.1)$$

$$r_{50} = \frac{\Delta Q_{50}}{c_q} \quad (9.2)$$

Größere Effektstärken bedeuten deshalb, dass die relative Änderung (von Mittelwert oder Median) zwischen zwei Messreihen groß gegenüber den relativen Streuungen (von Variationskoeffizient bzw. Quartilsdispersionskoeffizient) am Referenzmesspunkt ist. Je größer die Effektstärke, desto plausibler ist die Entwicklung der Immissionen. Tabelle 9-4 fasst die Effektstärken der Änderungen je zweier Messreihen zusammen.

Zunächst soll die *Gesamtänderung*, also bezogen auf den Ausgangswert in der Messreihe 2002/2003, betrachtet werden.

Bei den Immissionen im Bereich der Stimulationseffekte zeigen die niederfrequenten elektrischen Felder die kleinsten Effektstärken, was in den hohen Streuungen dieser Immissionsart am Referenzmesspunkt begründet liegt. Das EMF-Monitoring ist offenbar kaum in der Lage, vergleichsweise geringe Variationen in der Entwicklung der niederfrequenten elektrischen Felder nachzuweisen, da die Messung dieser Felder gleichzeitig mit den größten Unsicherheiten behaftet ist.

Dagegen weisen die restlichen Mediane Effektstärken mit Werten größer als 1 auf. Bei den Mittelwerten ergeben sich große Effektstärken nur für die Entwicklung niederfrequenter Magnetfelder sowie die Entwicklung der Gesamtimmissionen in Bezug auf die magnetische Feldstärke. Zumindest die Mediane stützen in dieser Hinsicht die Aussagen über die statistische Signifikanz aus Tabelle 8-1.

Für die Entwicklung der Immissionen im Bereich thermischer Wirkung zeigt insbesondere der Mobilfunk hohe Effektstärken, die kaum Zweifel an den Ergebnissen lassen und mit der Entwicklung des

Tabelle 9-2: Änderung der Mittelwerte im Laufe der Messreihen. Dargestellt sind spaltenweise von links nach rechts: Der mittlere Ausschöpfungsgrad der Messreihen 2002/2003, 2006/2007 und 2011/2012 (jeweils in Einheiten von 10^{-6}), die absoluten Änderungen der Mittelwerte (δQ) zwischen erster und zweiter sowie zweiter und dritter Messreihe (jeweils in Einheiten von ‰ für Stimulationseffekte und von 10^{-6} für thermische Wirkung) sowie die relativen Änderungen der Mittelwerte (ΔQ) zwischen erster und zweiter, zweiter und dritter sowie erster und dritter Messreihe (jeweils auf den Wert der Ausgangsmessreihe bezogen).

Daten	$Q_{\text{avg},2002}$	$Q_{\text{avg},2006}$	$Q_{\text{avg},2011}$	δQ_{2002}^{2006}	δQ_{2006}^{2011}	ΔQ_{2002}^{2006}	ΔQ_{2006}^{2011}	ΔQ_{2002}^{2011}
Stimulationseffekte								
E Niederfr.	1,56	1,66	1,74	0,095	0,084	6 %	5 %	11 %
E Hörfunk	3,69	3,58	3,16	-0,110	-0,418	-3 %	-12 %	-14 %
E Gesamt	5,22	5,23	4,87	0,011	-0,356	0 %	-7 %	-7 %
B Niederfr.	1,87	2,21	3,94	0,346	1,73	19 %	78 %	111 %
B Hörfunk	0,170	0,165	0,146	-0,005	-0,019	-3 %	-12 %	-14 %
B Gesamt	2,03	2,38	4,09	0,345	1,71	17 %	72 %	101 %
Thermische Wirkung								
Hörfunk	5,01	4,68	6,38	-0,334	1,70	-7 %	36 %	27 %
Fernsehen	1,64	1,88	1,43	0,240	-0,454	15 %	-24 %	-13 %
Mobilfunk	9,12	17,2	50,1	8,04	33,0	88 %	192 %	449 %
Gesamt	16,0	24,1	58,9	8,12	34,9	51 %	145 %	269 %

Tabelle 9-3: Änderung der Medianwerte im Laufe der Messreihen. Dargestellt sind spaltenweise von links nach rechts: Der Medianwert des Ausschöpfungsgrads der Messreihen 2002/2003, 2006/2007 und 2011/2012 (jeweils in Einheiten von 10^{-6}), die absoluten Änderungen der Medianwerte zwischen erster und zweiter sowie zweiter und dritter Messreihe (jeweils in Einheiten von ‰ für Stimulationseffekte und von 10^{-6} für thermische Wirkung) sowie die relativen Änderungen der Medianwerte zwischen erster und zweiter, zweiter und dritter sowie erster und dritter Messreihe (jeweils auf den Wert der Ausgangsmessreihe bezogen).

Daten	$Q_{P50,2002}$	$Q_{P50,2006}$	$Q_{P50,2011}$	δQ_{2002}^{2006}	δQ_{2006}^{2011}	ΔQ_{2002}^{2006}	ΔQ_{2006}^{2011}	ΔQ_{2002}^{2011}
Stimulationseffekte								
E Niederfr.	0,027	0,055	0,079	0,027	0,025	101 %	46 %	193 %
E Hörfunk	2,95	2,96	2,29	0,014	-0,668	0 %	-23 %	-22 %
E Gesamt	3,14	3,18	2,53	0,036	-0,648	1 %	-20 %	-20 %
B Niederfr.	0,899	1,22	1,26	0,322	0,034	36 %	3 %	40 %
B Hörfunk	0,136	0,137	0,106	0,001	-0,031	0 %	-23 %	-22 %
B Gesamt	1,05	1,36	1,44	0,308	0,082	29 %	6 %	37 %
Thermische Wirkung								
Hörfunk	1,87	1,67	1,17	-0,202	-0,491	-11 %	-29 %	-37 %
Fernsehen	0,293	0,165	0,117	-0,128	-0,048	-44 %	-29 %	-60 %
Mobilfunk	0,854	1,77	3,38	0,920	1,60	108 %	90 %	296 %
Gesamt	4,94	5,32	6,99	0,383	1,66	8 %	31 %	41 %

Tabelle 9-4: Effektstärken der Änderungen der Mittelwerte und Mediane zwischen den Messreihen. Größere Werte bedeuten für die jeweilige Änderung zwischen zwei Messreihen eine größere Aussagekraft. Kleinere Werte deuten auf größere Unsicherheiten in Bezug auf diese Änderung hin.

Daten	2002→2006		2006→2011		2002→2011	
	r_{avg}	r_{50}	r_{avg}	r_{50}	r_{avg}	r_{50}
Stimulationswirkungen						
<i>E</i> Niederfr.	0.0	0.2	0.0	0.1	0.1	0.4
<i>E</i> Hörfunk	0.1	0.1	0.3	2.7	0.4	2.7
<i>E</i> Gesamt	0.0	0.1	0.2	1.7	0.2	1.6
<i>B</i> Niederfr.	0.4	0.9	1.8	0.1	2.6	0.9
<i>B</i> Hörfunk	0.1	0.1	0.3	2.7	0.4	2.7
<i>B</i> Gesamt	0.4	0.8	1.8	0.2	2.5	1.0
Thermische Wirkung						
Hörfunk	0.2	0.4	1.2	1.1	0.9	1.3
Fernsehen	0.3	0.6	0.4	0.4	0.2	0.8
Mobilfunk	2.9	2.4	6.2	2.0	14.6	6.6
Gesamt	1.7	0.2	4.8	0.7	8.9	0.9

Mobilfunkausbaus seit der Messreihe 2002/2003 in Einklang stehen. Interessant ist in diesem Zusammenhang auch der Bereich Hörfunk, der sowohl für den Mittelwert als auch für den Median Effektstärken um 1 aufweist und damit die unklare statistische Signifikanz (Tabelle 8-1) eher im Sinne "statistisch signifikant" stützt. Seit Beginn des EMF-Monitorings hätte demzufolge die Hälfte der Bevölkerung einen geringen Rückgang der Hörfunkimmissionen erfahren, wohingegen sich im arithmetischen Mittel eine leichte Zunahme ergeben hat. Offenbar ergab sich hier für einen geringen Teil der Bevölkerung eine deutliche Zunahme, wenngleich auch auf niedrigem Niveau, deren Ursache z. B. darin begründet liegen könnte, dass in der Umgebung der entsprechenden Messpunkte neue UKW-Füllsender in Betrieb genommen wurden. Der Bereich Fernsehen schließlich ist in dieser Hinsicht wegen der geringen Ausschöpfungsgrade am Referenzmesspunkt und dadurch bedingter hoher relativer Schwankungen schwer zu beurteilen.

Die Entwicklung der Gesamtmissionen weist vor allem für den Mittelwert eine sehr hohen Effektstärke auf, wenngleich auch diejenige des Medians nahe 1 liegt. Auch hier stützen die Daten des Referenzmesspunkts die statistische Signifikanz dieser Entwicklung, und zwar sowohl für die deutliche Zunahme der mittleren Immissionen als auch für die moderate Zunahme im Median.

10 Gebietsabhängigkeiten

10.1 Festlegung der Gebietsarten

Unterschiede in den Immissionen zwischen verschiedenen Gebietsklassen wurden bereits seit dem ersten EMF-Monitoring berücksichtigt. Die Klassifizierung erfolgte seinerzeit in die Kategorien *städtische Bebauung*, *Siedlungen*, *Randlagen* und *Einzelanwesen*, wobei letztere auf Grund ihrer geringen Anzahl meist den Randlagen zugeschlagen wurden. Diese Art der Klassifizierung, die zu Beginn der Messreihe 2002/2003 an Hand von Luftbildern vorgenommen wurde, war nicht unumstritten; schon während der zweiten Messreihe kamen an manchen Messpunkten Zweifel an der Einstufung auf, insbesondere bei der Einstufung städtischer Gebiete. Zudem kann sich die Gebietsart innerhalb von zehn Jahren auch ändern. Mancher Messpunkt am Rande einer grünen Wiese liegt inzwischen inmitten eines Neubaugebiets. Deshalb wurde die Einstufung in der aktuellen Messreihe überprüft, wobei auch die etwas schwammige Abgrenzung zwischen Siedlung und städtischer Bebauung schärfer getrennt wurde. Letztere wird jetzt als *Zentrumslage* geführt.

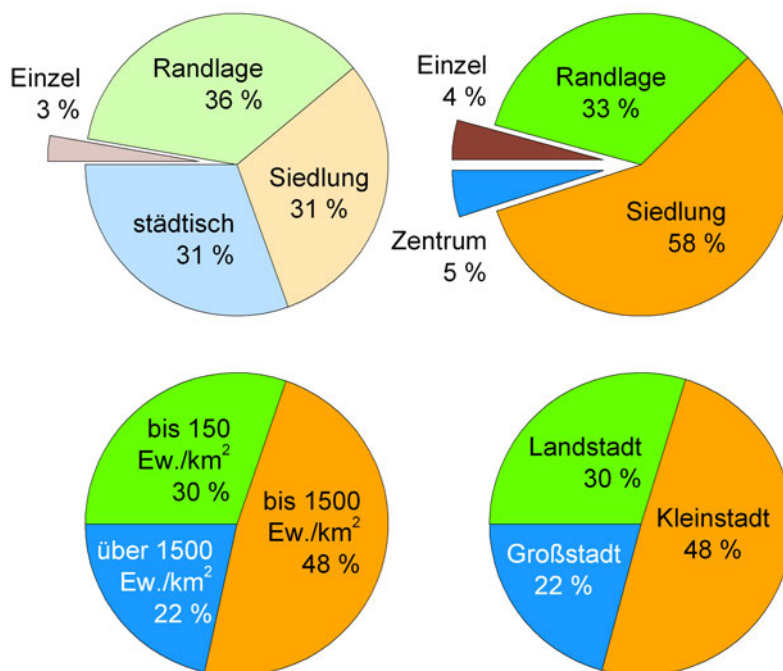


Abbildung 10-1: Verteilung der Messpunkte auf unterschiedliche Gebietskategorien. Links oben: (Subjektive) Einstufung für die erste Messreihe. Rechts oben: Während der dritten Messreihe neu überprüfte (subjektive) Einstufung, wobei die Kategorie *städtisch* als *Zentrumslage* deutlicher abgegrenzt wurde. Unten links: Einstufung nach Bevölkerungsdichte. Unten rechts: Einstufung nach Gemeindegröße.

Es fehlen objektivierbare Kriterien zur Einstufung in eine der Klassen. Auch die Präzisierung der Gebietsklassifizierung (Ersatz der Gebietsklasse *städtische Bebauung* durch *Zentrumslage*) kann dieses Problem nicht auflösen. Wie weit die vorgenommenen Einstufungen zwischen den Messreihen variieren, zeigt folgende Aufstellung:

- Nur rund die Hälfte aller Messpunkte (204) wurde 2011/2012 identisch zur Messreihe 2002/2003 eingestuft. Darunter waren 8 Einzelanwesen (von ursprünglich 11), 93 Randlagen (von ursprünglich 146), 88 Siedlungslagen (von ursprünglich 123) und 15 Zentrumslagen (von ursprünglich 123 als *städtische Bebauung* bezeichneten Punkten).

- 52 Messpunkte wurden um eine Kategorie aufgestuft. Davon wurden 3 Einzelanwesen in die Kategorie Randlage, 44 Randlagen zu Siedlungslagen und 5 Siedlungslagen zu Zentrumslagen aufgestuft.
- 139 Messpunkte wurden um eine Kategorie abgestuft. Davon wurden 100 ursprünglich städtische Lagen neu als Siedlungslage eingestuft, weitere 30 Siedlungslagen zu Randlagen und 9 Randlagen zu Einzelanwesen abgestuft.
- 8 ursprünglich städtische Lagen wurden um zwei Kategorien abgestuft und neu als Randlage klassifiziert.

Sicherlich geht ein Teil der Neueinstufungen auf geänderte Bebauung oder die geänderte Bezeichnung *Zentrumslage* zurück, aber die Übersicht zeigt bereits, dass insgesamt eine gewisse Diskrepanz besteht, was die Zuordnung angeht.

Daher wurden für diesen Bericht neue Klassen geschaffen, die auf objektiven Kriterien beruhen. Hierzu bieten sich im Wesentlichen zwei demografische Größen an: die Bevölkerungszahl und die Bevölkerungsdichte. Sie wurden in folgende Kategorien aufgeteilt:

- Niedrige Bevölkerungsdichte: bis 150 Einwohner pro Quadratkilometer.
- Mittlere Bevölkerungsdichte: ab 150 und bis 1500 Einwohner pro Quadratkilometer.
- Hohe Bevölkerungsdichte: über 1500 Einwohner pro Quadratkilometer.
- Landstadt: Gemeinden bis 5 000 Einwohner.
- Klein- und Mittelstadt: Gemeinden über 5 000 und bis 100 000 Einwohner.
- Großstadt: Gemeinden über 100 000 Einwohner.

Die Definition der auf Einwohnerzahl bezogenen Klassen entspricht dabei den Begriffsbestimmungen der Internationalen Statistikkonferenz von 1887. Dagegen existieren für die Klassifizierung nach Bevölkerungsdichte unterschiedliche Definitionen (siehe beispielsweise [10; 11]).

Die Verteilung der Messpunkte auf die alten und neuen Klassen ist in Abbildung 10-1 zusammengefasst. Bezüglich der Einwohnerzahl entfallen für die Messreihe 2011/2012 120 Messpunkte auf die Kategorie Landstadt, deren kleinste Gemeinde Winterbach (Landkreis Günzburg) 798 Einwohnern hat.⁵⁴ Ferner bestehen 199 klein- und mittelstädtische Messpunkte und 84 großstädtische Messpunkte, davon 41 in München.

Bezüglich der Bevölkerungsdichte fallen 122 Messpunkte in die Kategorie niedriger Bevölkerungsdichte. Die kleinste Bevölkerungsdichte weist Bad Hindelang mit 30 Einwohnern pro Quadratkilometer auf. 194 Messpunkte wurden mittlerer und 87 Messpunkte hoher Bevölkerungsdichte zugeordnet. Die höchste Bevölkerungsdichte weist München auf (4440 Einwohner pro Quadratkilometer).

Von allen 403 Messpunkten stimmt die Zuordnung von 324 Messpunkten in beiden Kategorien – Einwohnerzahl und Bevölkerungsdichte – sinngemäß überein. Es sollte in künftigen Berichten deswegen genügen, die Bevölkerungsdichte als Klassifizierungsschema zu nutzen. Sie ist einerseits die geeignetere Größe, weil beispielsweise die Dichte der Basisstationen beim Mobilfunk unmittelbar mit der Bevölkerungsdichte und weniger mit der absoluten Größe einer Stadt zusammenhängt. Andererseits ist sie auch die flexiblere Größe, weil sie sich grundsätzlich (bei Vorliegen geeigneter statistischer Daten) auch auf kleinere Flächeneinheiten herunterbrechen lässt, beispielsweise auf ein Raster von je 1 km Kantenlänge. Derzeit liegt der Einstufung die mittlere Bevölkerungsdichte der Gemeinden zu Grunde.

Die nachfolgenden Diagramme und Tabellen zeigen jeweils die Aufschlüsselungen für alle drei Einstufungsarten: die klassische Einteilung des Monitorings 2002/2003, nach Bevölkerungsdichte und nach Einwohnerzahl. Die weitere Diskussion beschränkt sich aber hauptsächlich auf die Bevölkerungsdichte, ist aber oft auf die anderen beiden Konzepte direkt übertragbar.

⁵⁴Die Begrifflichkeit lautet immer *Landstadt*, auch wenn Gemeinden wie Winterbach keine Stadtrechte verliehen wurden.

10.2 Diskussion der Ergebnisse

Abbildung 10-2 zeigt die Anteile einzelner Funkdienste an den Gesamtmissionen für die thermische Wirkung. Der Bereich der *Stimulationswirkungen* eignet sich auf Grund zu großer statistischer Unsicherheiten des Beitrags niederfrequenter Felder nicht für die Darstellung.

Besonders auffällig ist, wie sich in allen Kategorien (zunehmende Bevölkerungsdichte von oben nach unten) der Anteil des *Mobilfunks* im Laufe der Messreihen (zunehmende Aktualität der Daten von links nach rechts) gesteigert hat. Dabei ist im Laufe der Zeit eine Angleichung zwischen den Gebietsklassen erfolgt: Ursprünglich (2002/2003) wies Mobilfunk in ländlichen Gegenden (niedrige Bevölkerungsdichte) nur einen Anteil von 21 % an den Gesamtmissionen auf, wohingegen in städtischen Gegenden (hohe Bevölkerungsdichte) sein Anteil bei 45 % lag. Diese Unterschiede haben sich zwischenzeitlich weitgehend angeglichen und variieren nur noch zwischen 50 % und 59 %. Der bayernweite Anteil liegt bei 55 %.

Die Anteile der Immissionen von *Hörfunk* und *Fernsehen* sind in allen Kategorien zurück gegangen, weisen aber die deutlichsten Abnahmen an den Messpunkten niedriger und mittlerer Bevölkerungsdichte auf (Gemeinden bis 1500 Einwohner pro km²). Der Anteil des Fernsehens hat sich hier etwa halbiert (jetzt 6 % und 7 %, bayernweit 8 %), der des Hörfunks ist um mehr als ein Drittel gesunken (jetzt 39 % und 33 %, bayernweit 25 %). In den Gemeinden mit hoher Bevölkerungsdichte ist der mittlere Anteil des Hörfunks ebenfalls um etwa ein Drittel zurück gegangen (jetzt 25 %), der des Fernsehens aber etwa gleich geblieben (jetzt 14 %, bayernweit 8 %), was mit einer insgesamt Zunahme der Fernsehmissionen in dieser Kategorie zusammenhängt.

Betrachtet man nämlich auch die Entwicklung des Immissionsniveaus (Medianwerte gemäß Tabelle 10-1), dann zeigt sich, dass sich die Immissionen des Fernsehens in den Gemeinden hoher Bevölkerungsdichte von $0,608 \cdot 10^{-6}$ in der Messreihe 2002/2003 auf $1,86 \cdot 10^{-6}$ (2006/2007) und $1,35 \cdot 10^{-6}$ (2011/2012) etwa verdoppelt haben. Bedenkt man, dass zu dieser Kategorie auch München und Nürnberg sowie diverse Kleinstädte in deren Umgebung zählen, so ist diese Entwicklung durchaus plausibel, da DVB-T hier mit einem breiteren Programmangebot auf insgesamt mehr Kanälen als anderswo ausgestrahlt wird.

Hinsichtlich des Hörfunks haben sich seit der Messreihe 2002/2003 die Immissionen hauptsächlich verschoben. Gemeinden niedriger Bevölkerungsdichte weisen einen deutlichen Rückgang (von $1,84 \cdot 10^{-6}$ auf nun $0,71 \cdot 10^{-6}$) auf, wohingegen in Gemeinden hoher Dichte eine leichte Zunahme zu beobachten war (von $2,42 \cdot 10^{-6}$ auf nun $3,34 \cdot 10^{-6}$). Offenbar trägt hierzu hauptsächlich der DAB-Ausbau (siehe Kapitel 7.1) bei, wie die Aufschlüsselung nach einzelnen Hörfunkdiensten in Tabelle 10-3 zeigt. Die UKW-Immissionen schwanken zwar im Verlauf der Messreihen, blieben aber im Wesentlichen auf ähnlichem Niveau, wohingegen die Immissionen von Lang-, Mittel- und Kurzwelle in allen Gebietsklassen rückläufig sind.

Die deutlichsten Veränderungen ergaben sich beim *Mobilfunk*. Hier zeigt sich in allen Gebietsklassen eine Zunahme der Immissionen und deren direkte Abhängigkeit von der Bevölkerungsdichte: Je höher die Bevölkerungsdichte, desto höher auch die Mobilfunkmissionen. Dieser Zusammenhang ist plausibel: In dichter bevölkerten Gegenden werden mehr Basisstationen benötigt, um die größeren Verkehrskapazitäten für die Teilnehmer bereit stellen zu können. Gerade dicht bebaute Innenstädte von Großstädten wie München, Stuttgart, Köln oder Wien weisen eine Basisstationsdichte auf, die im Mittel etwa alle 200 m zu einer Basisstation führt. Dagegen liegen Basisstationen im ländlichen Raum oftmals kilometerweit auseinander.

Prozentual gesehen hat der Median in den dünn besiedelten Gegenden am stärksten zugenommen (von $0,16 \cdot 10^{-6}$ auf $1,09 \cdot 10^{-6}$, was eine Zunahme um 565 % entspricht), aber auch in mittel und dicht bevölkerten Gebiete haben sich die Mobilfunkmissionen seit 2002/2003 vervierfacht, was auch dem bayernweiten Trend entspricht.

Auch bei den *Gesamtmissionen* ist zu beobachten, dass in allen Messreihen dicht bevölkerte Gemeinden deutlich höhere Immissionen erfahren als dünn besiedelte. Während in letzteren Gebieten das Immissionsniveau seit 2002/2003 bei etwa $2,9 \cdot 10^{-6}$ konstant geblieben ist, hat sich in den Gemeinden hoher Bevölkerungsdichte fast eine Verdopplung der Immissionen von $12,6 \cdot 10^{-6}$ auf $24,1 \cdot 10^{-6}$

ergeben. Bayernweit hat der Median der Gesamtmissionen von $4,94 \cdot 10^{-6}$ auf $6,99 \cdot 10^{-6}$ zugenommen.

Für den Bereich der *Stimulationswirkungen* zeigt sich bezüglich der elektrischen Feldstärke keine klare Differenzierung zwischen den Gebietsklassen. Dagegen fällt bei der Stimulationswirkung magnetischer Felder, deren Summe hauptsächlich durch niederfrequente Magnetfelder bestimmt wird, dass mit zunehmender Bevölkerungsdichte auch eine Zunahme der Immissionen einhergeht. Angesichts entsprechend größer dimensionierter und dichter verlegter Erdkabel für die Elektrizitätsversorgung der Haushalte erscheint dieser Zusammenhang durchaus plausibel.

Die Abbildungen 10-5 bis 10-10 zeigen schließlich die Verteilung der Immissionen in den einzelnen Teilbereichen *Stimulationswirkung elektrisches Feld*, *Stimulationswirkung magnetisches Feld*, *Hörfunk* (thermische Wirkung), *Fernsehen* (thermische Wirkung), *Mobilfunk* (thermische Wirkung) und *Gesamtmissionen für die thermische Wirkung* aufgeschlüsselt nach Gebietsart und Größenordnung der Immissionen. Die Gesamtlänge der Balken gibt dabei an, wieviele Messpunkte insgesamt Immissionen der jeweiligen Größenordnung (beispielsweise zwischen $1 \cdot 10^{-6}$ (10^{-6}) und $10,0 \cdot 10^{-6}$ (10^{-5})) aufweisen. Die farbliche Unterteilung der Balken differenziert diesen Anteil wiederum in einzelne Gebietsklassen. Im Unterschied zu den Histogrammen ist nur die Balkenhöhe, nicht die Fläche maßgeblich. Auf die Darstellung von Verteilungskurven wurde im Gegensatz zu früheren Berichten verzichtet, da sie mit zunehmender Zahl darzustellender Datensätze unübersichtlich würden.

Die Immissionen *elektrischer Felder* im Bereich der Stimulationswirkungen (Abbildung 10-5) weisen weder eine ausgeprägte zeitliche Veränderung noch eine ausgeprägte Abhängigkeit von der Bevölkerungsdichte auf. An fast allen Messpunkten bewegen sich diese Immissionen zwischen 1 ‰ und 10 ‰. Hinsichtlich der *magnetischen Felder* zeigt sich keine eindeutige Tendenz (Abbildung 10-6). Da diese Immissionen hauptsächlich durch den Beitrag niederfrequenter Magnetfelder zu Stande kommen, der große Schwankungen aufweist (vgl. dazu Kapitel 6.2.1 und die Ausführungen zum Referenzmesspunkt in Kapitel 9), ist deren Interpretation problematisch.

Bei *Hörfunk* (Abbildung 10-7) und *Fernsehen* (Abbildung 10-8) hat insgesamt eine Umverteilung in Richtung niedrigerer Immissionen stattgefunden, d. h. der Anteil an Messpunkten mit Immissionen von mehr als $1 \cdot 10^{-6}$ (Hörfunk) bzw. beim Fernsehen von mehr als $0,1 \cdot 10^{-6}$ hat im Laufe der Zeit abgenommen. Messpunkte mit niedriger Bevölkerungsdichte sind tendenziell eher in den Klassen niedriger Ausschöpfungsgade zu finden, wohingegen Messpunkte mit hoher Bevölkerungsdichte tendenziell eher höhere Immissionen aufweisen. Dies fällt insbesondere beim Fernsehen auf, wo Immissionen von weniger als $0,1 \cdot 10^{-6}$ inzwischen fast ausschließlich an "ländlichen" Messpunkten mit niedriger oder mittlerer Bevölkerungsdichte vorkommen, wohingegen unter den Messpunkten mit Immissionen von mehr als $1 \cdot 10^{-6}$ fast keine mit niedriger Bevölkerungsdichte zu finden sind.

Besonders interessant ist der Bereich *Mobilfunk* (Abbildung 10-9), wo die Veränderungen besonders deutlich zu sehen sind. Die Zahl der Messpunkte mit geringen Ausschöpfungsgraden unter $1,0 \cdot 10^{-6}$ haben von Messreihe zu Messreihe sukzessive abgenommen, wohingegen die Zahl der Messpunkte mit höheren Ausschöpfungsgraden über $1,0 \cdot 10^{-6}$ (10^{-6}) jeweils zugenommen hat. Die höchsten Kategorien (über $100 \cdot 10^{-6}$ (10^{-4}) und über $1000 \cdot 10^{-6}$ (10^{-3})) treten dabei praktisch ausschließlich in Gebieten mit mittlerer oder hoher Bevölkerungsdichte auf, wohingegen die dünn besiedelten Gebiete überproportional stark bei den niedrigen Ausschöpfungsklassen vertreten sind.

Wie bereits angesprochen folgen auch die *Gesamtmissionen* diesem Trend (als Balken nochmals in Abbildung 10-10 zu sehen). Im Laufe der Messreihen haben sich die Immissionen auch hier zu insgesamt höheren Ausschöpfungsklassen verschoben, wobei die höchsten Klassen mit einem Ausschöpfungsgrad über $100 \cdot 10^{-6}$ fast nur durch mittel und dicht besiedelte Gebiete zu Stande kommen. Insgesamt hat sich das Immissionsniveau im Laufe der Messreihen erhöht: Während der Anteil an Messpunkten mit Immissionen zwischen $1 \cdot 10^{-6}$ und $10 \cdot 10^{-6}$ stetig zurückgegangen ist, hat die Zahl der Messpunkte mit Immissionen von mehr als $10 \cdot 10^{-6}$ in gleichem Maß zugenommen.

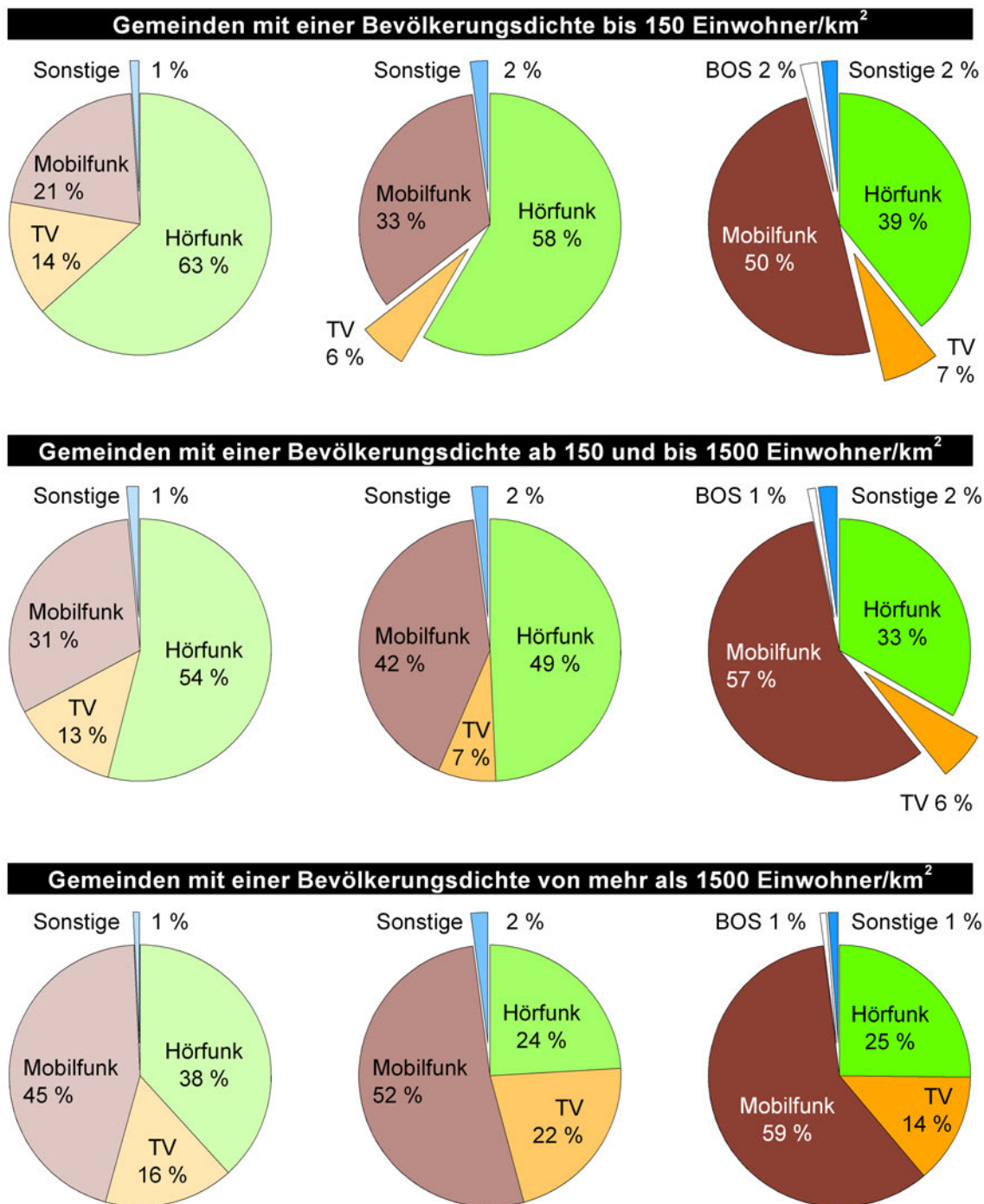


Abbildung 10-2: Mittlere Anteile einzelner Funkdienste an den Gesamtmissionen in Abhängigkeit von der Bevölkerungsdichte im Verlauf der drei Messreihen. Jeweils von links nach rechts: Messreihe 2002/2003, Messreihe 2006/2007 und Messreihe 2011/2012.

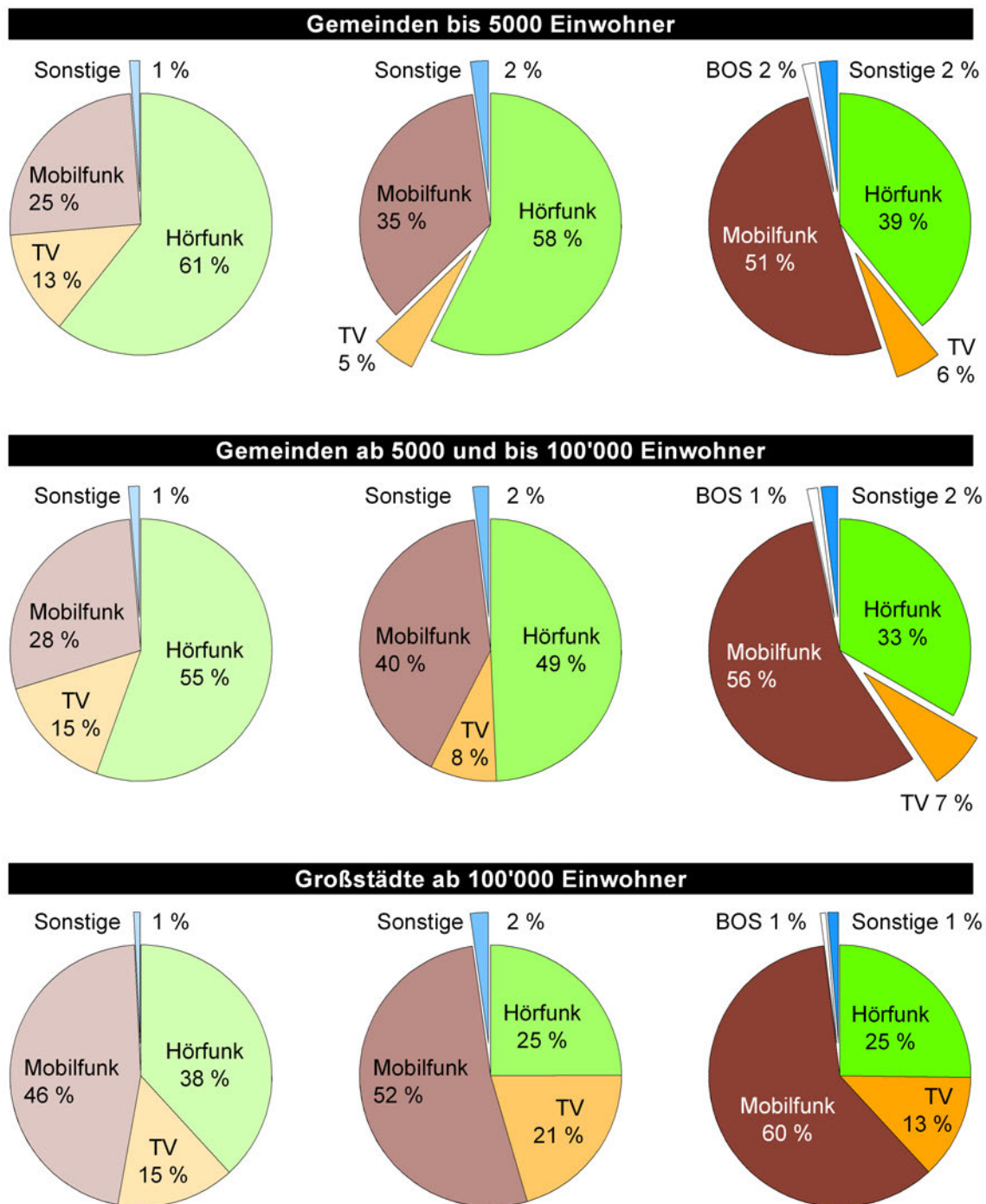


Abbildung 10-3: Mittlere Anteile einzelner Funkdienste an den Gesamtmissionen in Abhängigkeit von der Gemeindegröße im Verlauf der drei Messreihen. Jeweils von links nach rechts: Messreihe 2002/2003, Messreihe 2006/2007 und Messreihe 2011/2012.

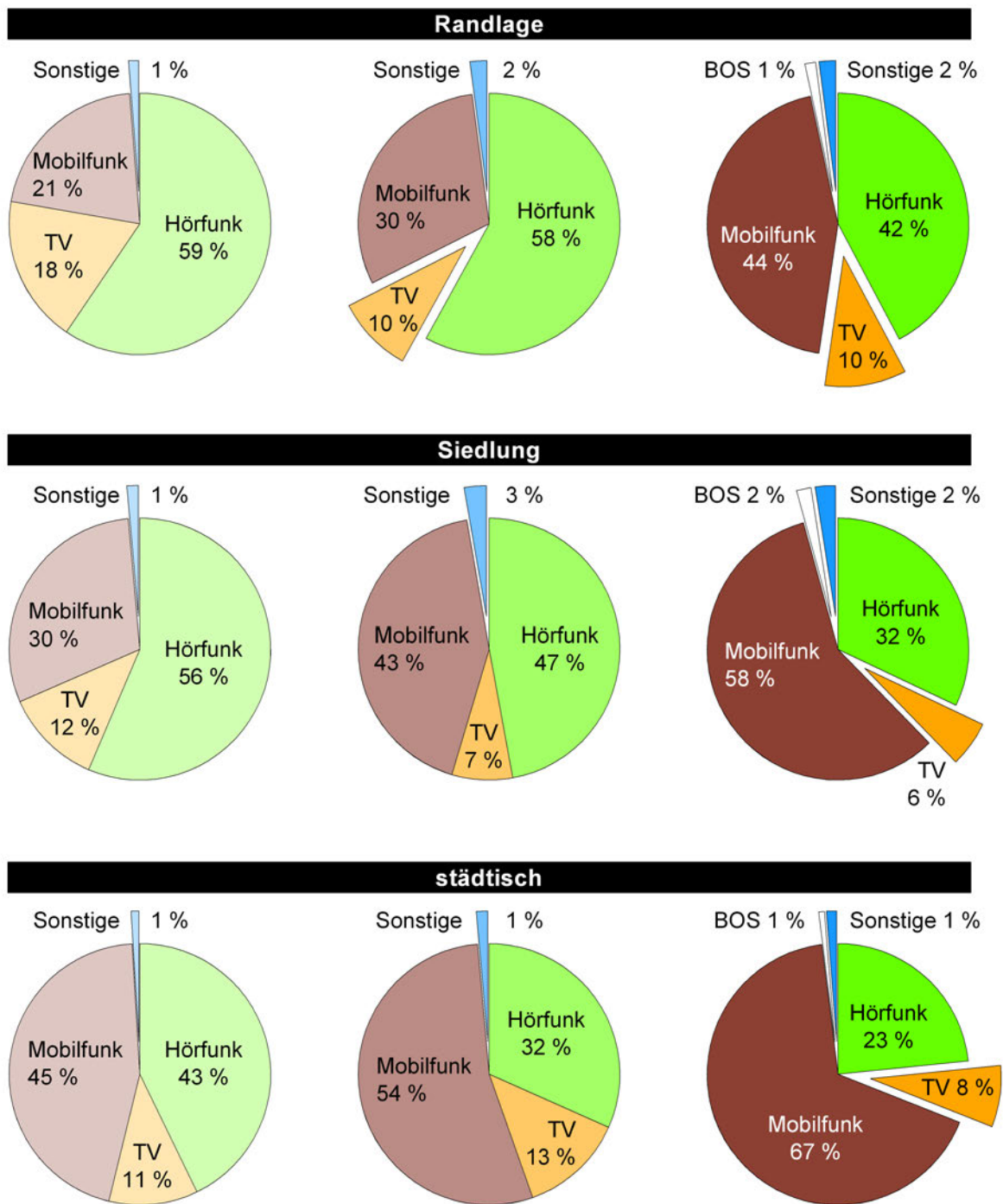


Abbildung 10-4: Mittlere Anteile einzelner Funkdienste an den Gesamtmissionen in Abhängigkeit von der Gebietsart im Verlauf der drei Messreihen. Jeweils von links nach rechts: Messreihe 2002/2003, Messreihe 2006/2007 und Messreihe 2011/2012.

Tabelle 10-1: Medianwerte der Ausschöpfungsgrade in den verschiedenen Gebietsklassen.

Daten	Sw. E	Sw. B	Hörfunk	Fernsehen	Mobilfunk	gesamt
Messreihe 2002/2003						
Bayernweit	3,14	1,05	1,87	0,293	0,854	4,94
Gemeinden bis 150 Ew./km ²	2,94	0,765	1,84	0,208	0,164	2,89
Gemeinden bis 1500 Ew./km ²	3,16	0,836	1,86	0,268	0,887	5,19
Gemeinden über 1500 Ew./km ²	3,46	2,13	2,42	0,608	2,68	12,6
Gemeinden bis 5000 Ew.	2,99	0,867	1,74	0,214	0,231	3,29
Gemeinden bis 100'000 Ew.	2,98	0,815	1,89	0,308	0,802	4,88
Großstädte über 100'000 Ew.	3,50	2,10	2,28	0,479	3,14	13,3
Randlage	2,99	0,510	2,00	0,374	0,306	4,43
Siedlung	2,98	1,22	1,55	0,262	0,665	4,15
städtisch	3,36	1,81	1,87	0,244	2,21	8,58
Messreihe 2006/2007						
Bayernweit	3,18	1,36	1,67	0,165	1,77	5,32
Gemeinden bis 150 Ew./km ²	2,85	1,09	1,25	0,076	0,568	2,83
Gemeinden bis 1500 Ew./km ²	3,26	1,45	2,01	0,107	1,79	5,92
Gemeinden über 1500 Ew./km ²	3,28	2,24	1,67	1,86	4,71	16,3
Gemeinden bis 5000 Ew.	3,14	1,13	1,34	0,074	0,671	3,31
Gemeinden bis 100'000 Ew.	2,98	1,32	1,96	0,109	1,71	5,58
Großstädte über 100'000 Ew.	3,36	2,20	1,81	1,44	4,75	17,0
Randlage	3,14	0,742	1,86	0,127	0,876	4,28
Siedlung	2,99	1,46	1,43	0,084	1,47	5,20
städtisch	3,32	2,24	1,64	0,390	3,98	12,6
Messreihe 2011/2012						
Bayernweit	2,53	1,44	1,17	0,117	3,38	6,99
Gemeinden bis 150 Ew./km ²	2,14	0,874	0,707	0,077	1,09	2,93
Gemeinden bis 1500 Ew./km ²	2,65	1,58	1,29	0,068	3,93	7,04
Gemeinden über 1500 Ew./km ²	2,75	1,81	3,34	1,35	10,5	24,1
Gemeinden bis 5000 Ew.	2,34	1,03	0,803	0,060	1,41	3,86
Gemeinden bis 100'000 Ew.	2,53	1,47	1,07	0,088	3,53	6,95
Großstädte über 100'000 Ew.	2,72	1,74	3,32	1,29	9,40	23,6
Randlage	2,55	0,723	1,13	0,112	1,60	4,61
Siedlung	2,50	1,78	0,978	0,056	2,86	6,44
städtisch	2,53	1,62	1,64	0,278	6,65	16,4

Tabelle 10-2: Mittelwerte der Ausschöpfungsgrade in den verschiedenen Gebietsklassen.

Daten	Sw. E	Sw. B	Hörfunk	Fernsehen	Mobilfunk	gesamt
Messreihe 2002/2003						
Bayernweit	5,22	2,03	5,01	1,64	9,12	16,0
Gemeinden bis 150 Ew./km ²	6,73	1,35	4,37	0,813	2,97	8,22
Gemeinden bis 1500 Ew./km ²	4,28	2,08	5,03	1,34	8,37	15,0
Gemeinden über 1500 Ew./km ²	5,18	3,01	5,89	3,48	19,4	28,9
Gemeinden bis 5000 Ew.	7,09	1,56	3,35	0,802	4,38	8,61
Gemeinden bis 100'000 Ew.	4,05	1,92	5,61	1,36	7,09	14,4
Großstädte über 100'000 Ew.	5,29	3,03	5,97	3,50	20,7	30,3
Randlage	4,83	1,43	5,44	1,57	3,29	10,4
Siedlung	6,07	2,02	4,34	1,24	4,78	10,5
städtisch	4,86	2,92	5,14	2,13	20,9	28,6
Messreihe 2006/2007						
Bayernweit	5,23	2,38	4,68	1,88	17,2	24,1
Gemeinden bis 150 Ew./km ²	6,43	1,64	3,89	0,460	4,65	9,07
Gemeinden bis 1500 Ew./km ²	4,53	2,43	5,37	0,779	19,2	25,9
Gemeinden über 1500 Ew./km ²	5,10	3,31	4,24	6,33	30,3	41,0
Gemeinden bis 5000 Ew.	7,00	1,96	3,11	0,386	6,03	9,61
Gemeinden bis 100'000 Ew.	4,18	2,24	5,77	0,867	17,8	25,0
Großstädte über 100'000 Ew.	5,18	3,32	4,32	6,42	31,6	42,5
Randlage	4,15	1,60	5,32	1,03	9,55	16,0
Siedlung	6,75	2,61	3,82	0,697	7,98	12,6
städtisch	5,08	3,14	4,72	4,16	36,1	45,8
Messreihe 2011/2012						
Bayernweit	4,87	4,09	6,38	1,43	50,1	58,9
Gemeinden bis 150 Ew./km ²	5,25	4,57	2,86	0,481	10,5	14,2
Gemeinden bis 1500 Ew./km ²	4,83	4,01	3,39	0,609	62,0	66,7
Gemeinden über 1500 Ew./km ²	4,43	3,59	18,0	4,57	79,2	104
Gemeinden bis 5000 Ew.	5,64	3,90	1,85	0,194	11,6	13,9
Gemeinden bis 100'000 Ew.	4,59	4,48	4,00	0,842	59,3	64,9
Großstädte über 100'000 Ew.	4,45	3,44	18,5	4,57	83,4	109
Randlage	4,62	4,25	3,38	0,944	18,6	23,2
Siedlung	5,74	3,89	3,38	0,693	37,8	42,3
städtisch	4,32	4,07	13,2	2,77	103	121

Tabelle 10-3: Medianwerte thermischer Ausschöpfungsgrade einzelner Hörfunkbänder in den verschiedenen Gebietsklassen.

Daten	Hörfunk gesamt	LW/MW	KW	UKW	DAB
Messreihe 2002/2003					
Bayernweit	1,87	0,286	0,661	0,136	0,002
Gemeinden bis 150 Ew./km ²	1,84	0,197	0,853	0,073	0,001
Gemeinden bis 1500 Ew./km ²	1,86	0,293	0,619	0,131	0,002
Gemeinden über 1500 Ew./km ²	2,42	0,625	0,667	0,186	0,009
Gemeinden bis 5000 Ew.	1,74	0,215	0,683	0,076	0,001
Gemeinden bis 100'000 Ew.	1,89	0,286	0,661	0,130	0,002
Großstädte über 100'000 Ew.	2,28	0,538	0,657	0,188	0,009
Randlage	2,00	0,244	0,752	0,084	0,002
Siedlung	1,55	0,277	0,588	0,125	0,002
städtisch	1,87	0,530	0,715	0,193	0,005
Messreihe 2006/2007					
Bayernweit	1,67	0,295	0,543	0,155	0,005
Gemeinden bis 150 Ew./km ²	1,25	0,229	0,590	0,104	0,001
Gemeinden bis 1500 Ew./km ²	2,01	0,286	0,584	0,158	0,004
Gemeinden über 1500 Ew./km ²	1,67	0,434	0,343	0,240	0,038
Gemeinden bis 5000 Ew.	1,34	0,255	0,575	0,119	0,001
Gemeinden bis 100'000 Ew.	1,96	0,279	0,556	0,140	0,004
Großstädte über 100'000 Ew.	1,81	0,403	0,425	0,239	0,054
Randlage	1,86	0,244	0,584	0,133	0,003
Siedlung	1,43	0,295	0,552	0,136	0,003
städtisch	1,64	0,426	0,462	0,239	0,025
Messreihe 2011/2012					
Bayernweit	1,17	0,203	0,257	0,097	0,015
Gemeinden bis 150 Ew./km ²	0,707	0,130	0,217	0,050	0,003
Gemeinden bis 1500 Ew./km ²	1,29	0,232	0,270	0,097	0,010
Gemeinden über 1500 Ew./km ²	3,34	0,293	0,272	0,172	0,900
Gemeinden bis 5000 Ew.	0,803	0,135	0,249	0,066	0,004
Gemeinden bis 100'000 Ew.	1,07	0,233	0,244	0,069	0,010
Großstädte über 100'000 Ew.	3,32	0,262	0,279	0,173	0,937
Randlage	1,13	0,146	0,229	0,066	0,008
Siedlung	0,978	0,209	0,259	0,072	0,009
städtisch	1,64	0,265	0,272	0,175	0,563

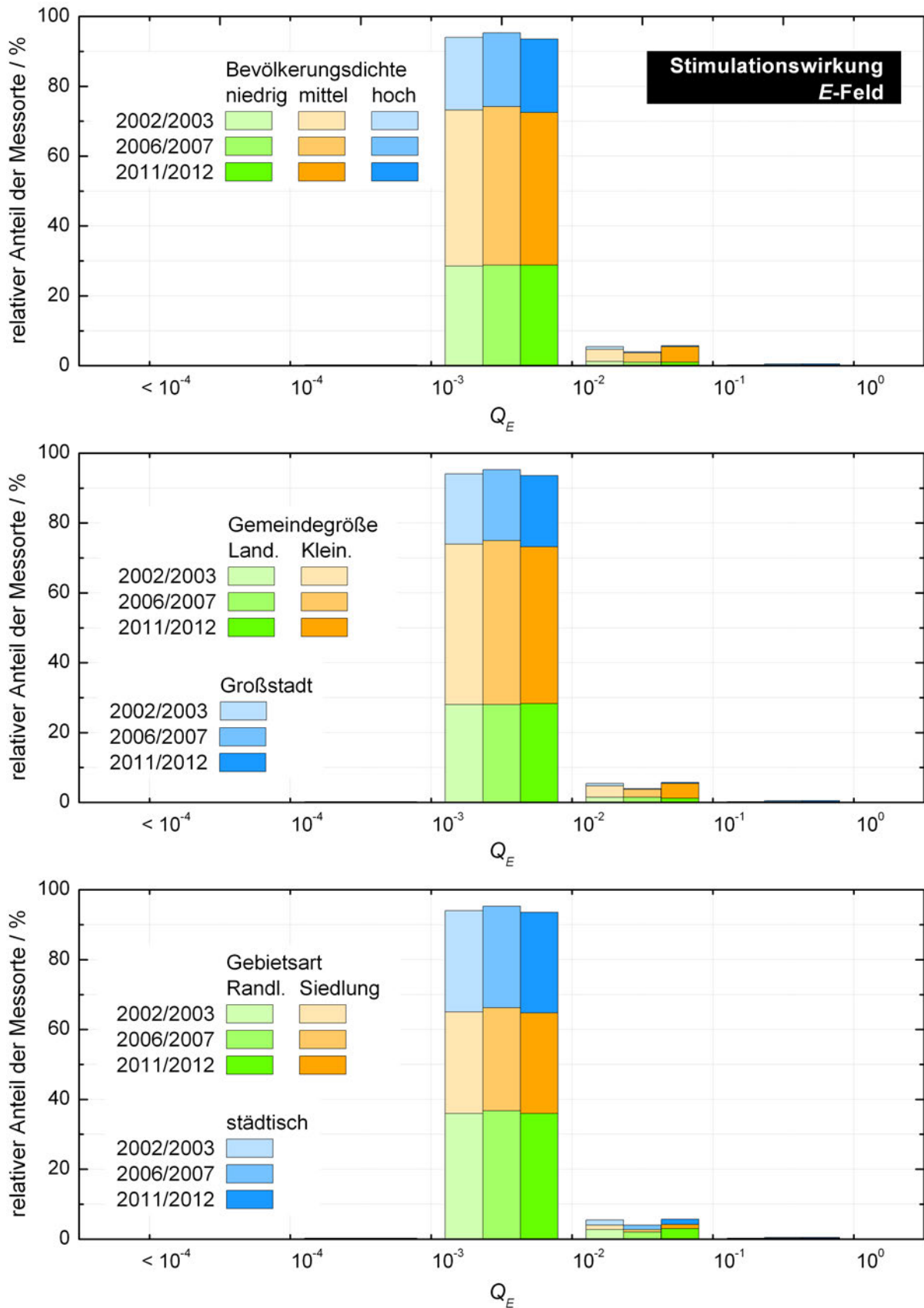


Abbildung 10-5: Dekadisch gruppierte Verteilung der Ausschöpfungsgrade im Bereich der Stimulationswirkungen (elektrisches Feld, gesamt) (Gesamtsäulen). Säulenunterteilung von oben nach unten nach Bevölkerungsdichte, nach Gemeindegröße sowie nach Gebietsart.

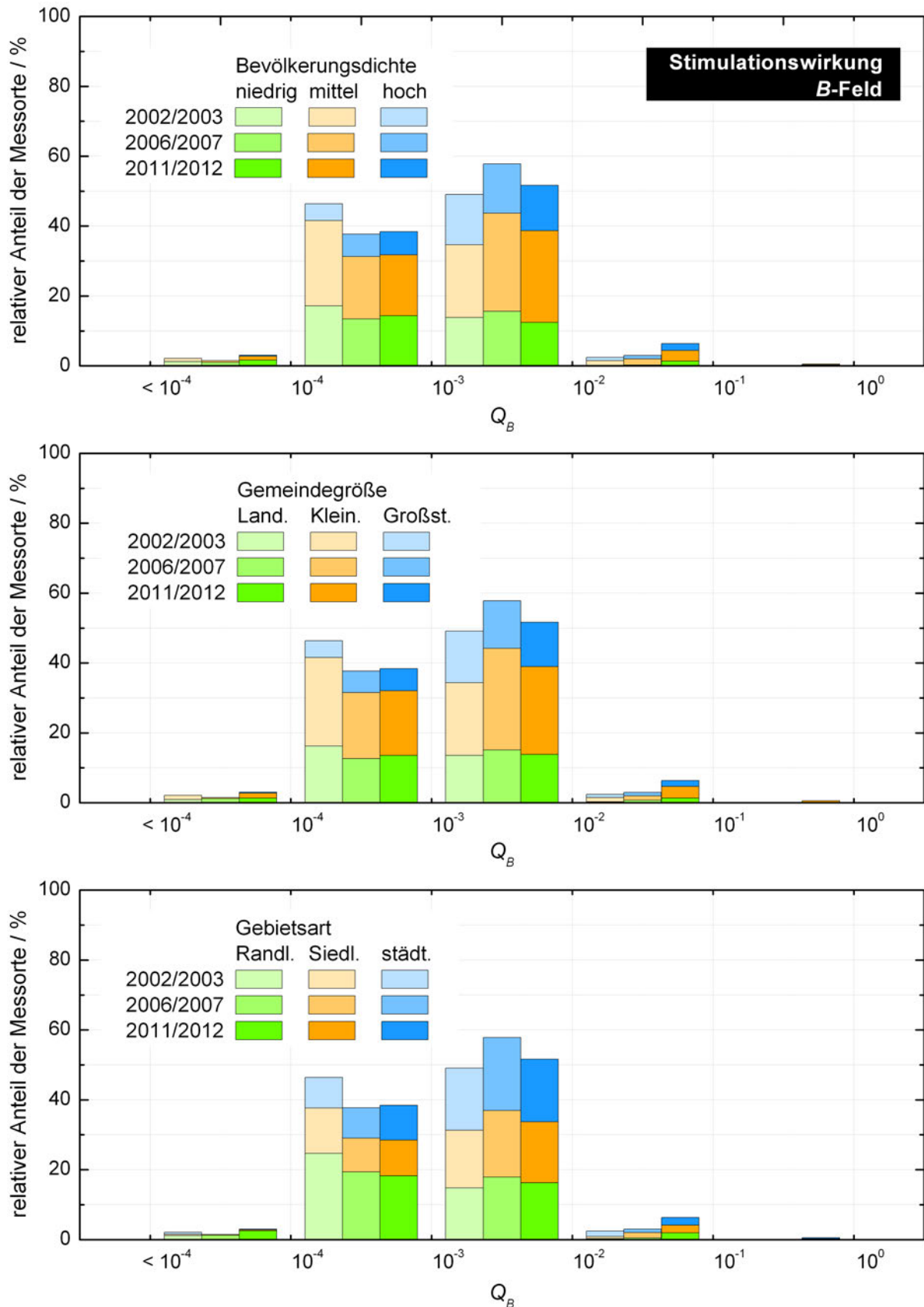


Abbildung 10-6: Dekadisch gruppierte Verteilung der Ausschöpfungsgrade im Bereich der Stimulationswirkungen (magnetisches Feld, gesamt) (Gesamtsäulen). Säulenunterteilung von oben nach unten nach Bevölkerungsdichte, nach Gemeindegröße sowie nach Gebietsart.

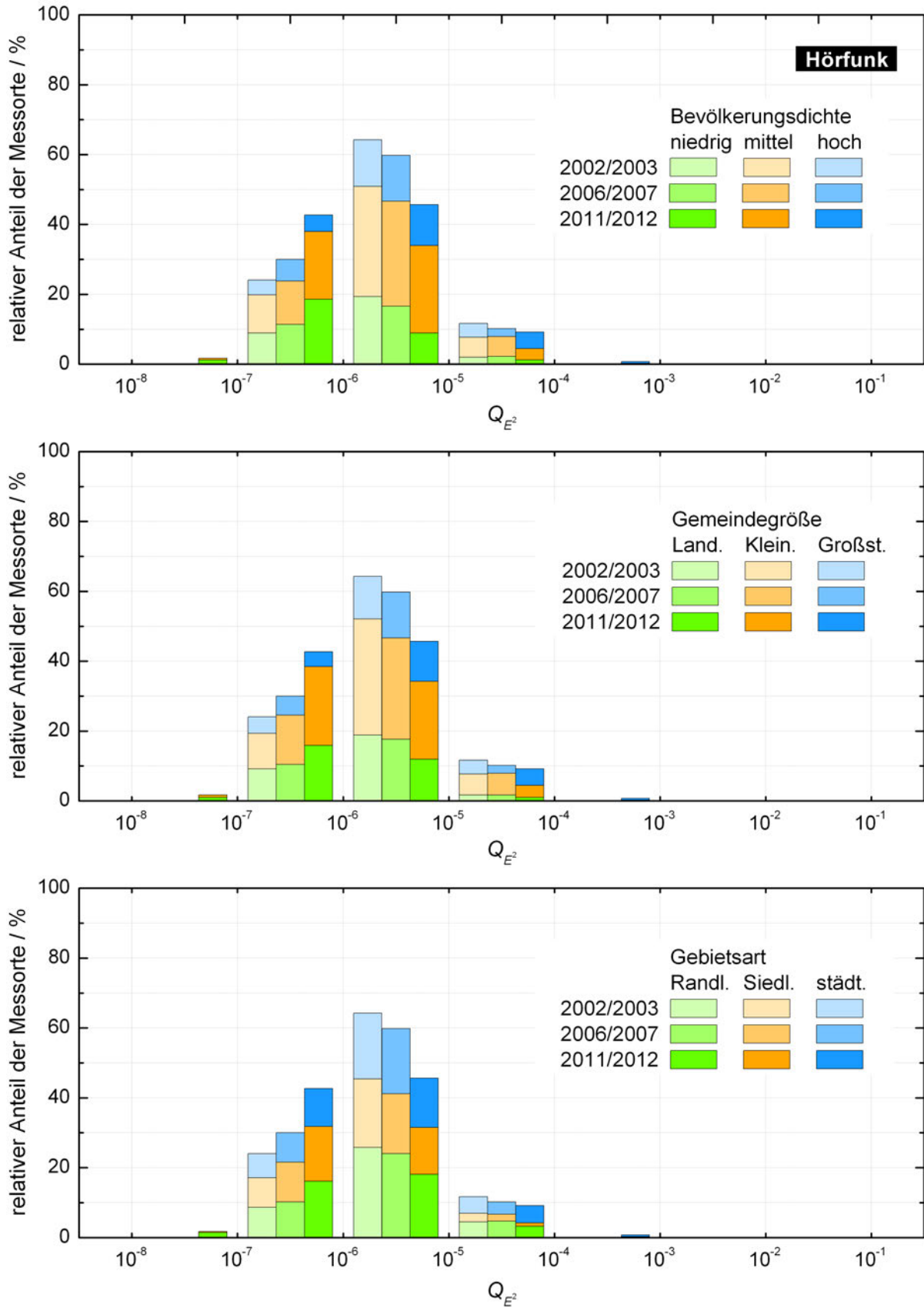


Abbildung 10-7: Dekadisch gruppierte Verteilung der thermischen Ausschöpfungsgrade beim Hörfunk (Gesamtsäulen). Säulenunterteilung von oben nach unten nach Bevölkerungsdichte, nach Gemeindegröße sowie nach Gebietsart.

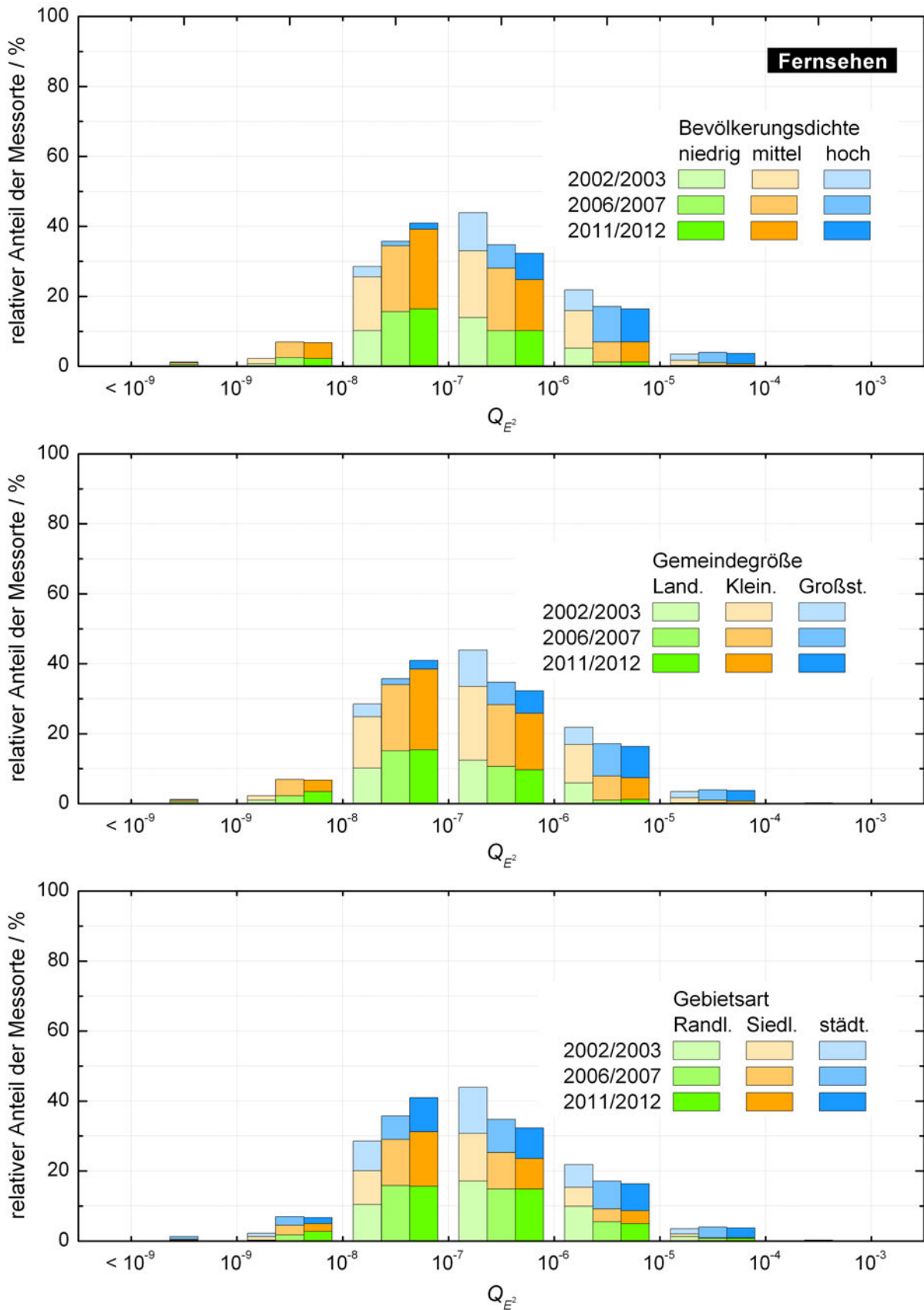


Abbildung 10-8: Dekadisch gruppierte Verteilung der thermischen Ausschöpfungsgrade beim Fernsehen (Gesamtsäulen). Säulenunterteilung von oben nach unten nach Bevölkerungsdichte, nach Gemeindegröße sowie nach Gebietsart.

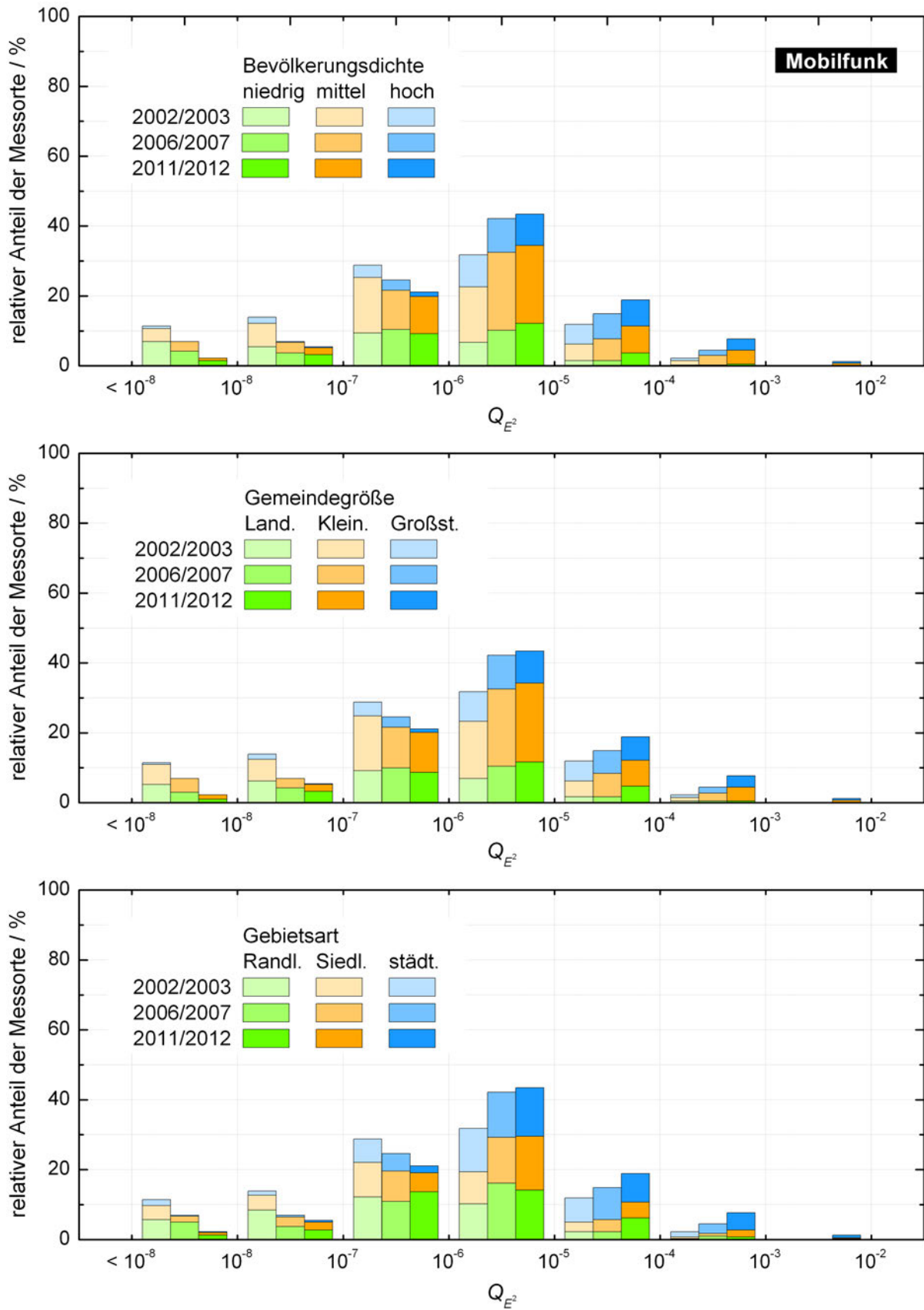


Abbildung 10-9: Dekadisch gruppierte Verteilung der thermischen Ausschöpfungsgrade beim Mobilfunk (Gesamtsäulen). Säulenunterteilung von oben nach unten nach Bevölkerungsdichte, nach Gemeindegröße sowie nach Gebietsart.

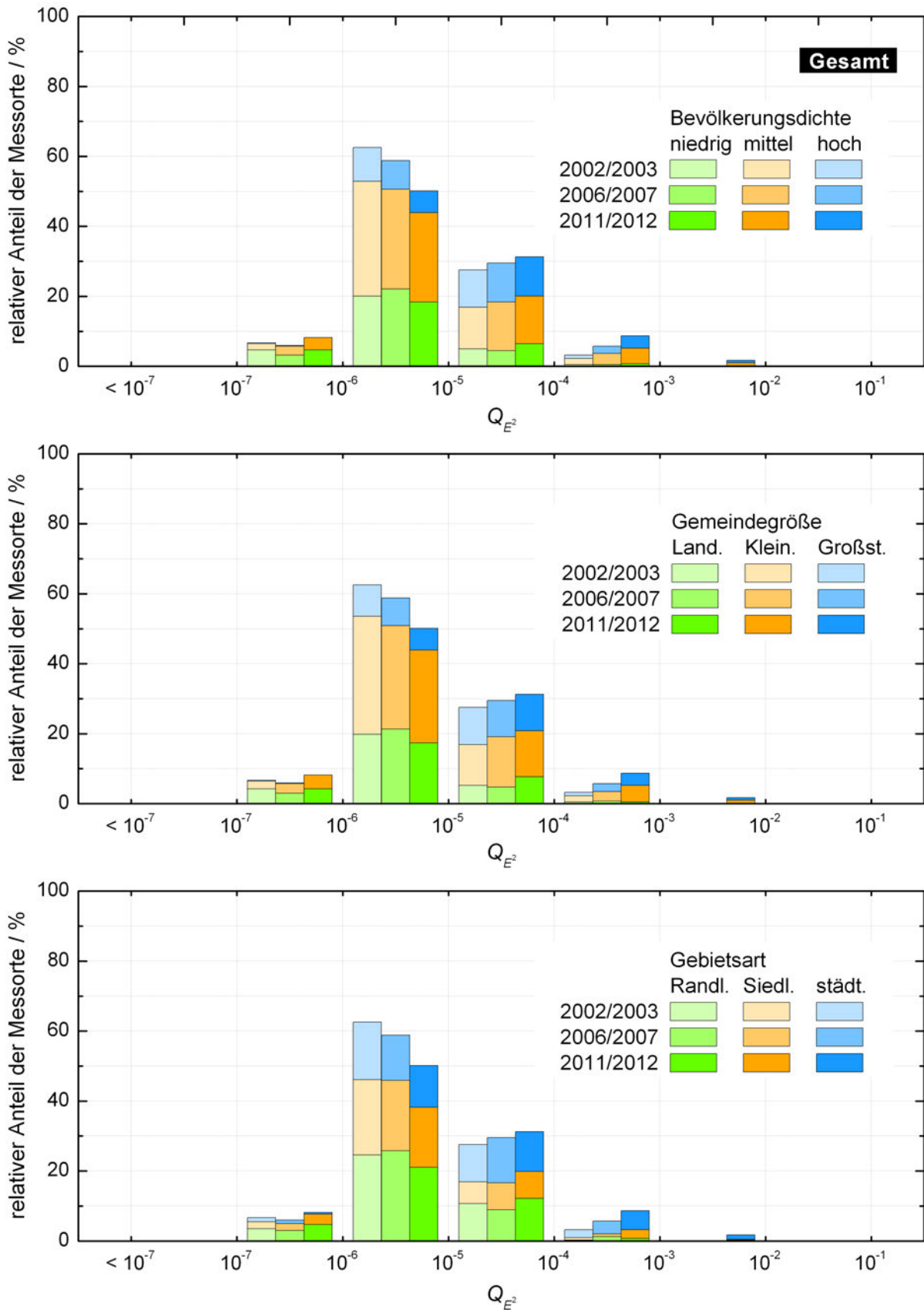


Abbildung 10-10: Dekadisch gruppierte Verteilung der thermischen Ausschöpfungsgrade (gesamt) (Gesamtsäulen). Säulenunterteilung von oben nach unten nach Bevölkerungsdichte, nach Gemeindegröße sowie nach Gebietsart.

11 Zusammenfassung

Was gibt es für Immissionen durch elektromagnetische Felder? Welche Quellen haben sie? Wie hoch sind sie? Wie verändern sie sich langfristig? Diese Fragestellungen führten vor mehr als 10 Jahren zur Einrichtung des Messprogramms "EMF-Monitoring in Bayern". Nach drei Messreihen ist inzwischen ein großer Datenbestand entstanden, der umfangreiche Auswertungen nach verschiedenen Aspekten ermöglicht und in Verbindung mit dem statistischen und bevölkerungsgewichteten Ansatz des Messprogramms einen breiten Überblick über die Immissionen in Bayern gibt.

Das Messprogramm deckt einen großen Frequenzbereich ab. Er erstreckt sich vom Niederfrequenzbereich, in dem Immissionen vor allem als Nebenprodukt der elektrischen Energieversorgung auftreten, bis in den Mikrowellenbereich und beinhaltet verschiedene Funkdienste insbesondere des Hörfunks, Fernsehens und des Mobilfunks. Das EMF-Monitoring hat die Messdaten dabei stets in *bewerteter* Form angegeben, d. h. es wurde berücksichtigt, dass Felder verschiedener Frequenzen unterschiedliche und unterschiedlich starke Wirkungen hervorrufen. Dabei ist zunächst zwischen Stimulationswirkungen und thermischen Wirkungen zu unterscheiden. Stimulationswirkungen haben ihre Ursache in Strömen, die auf Grund der Felder im Körper induziert werden. Sie führen zu einer Stimulation von Nerven oder Muskeln, wenn bestimmte Schwellenwerte überschritten werden. Unter der thermischen Wirkung wird die Absorption von Hochfrequenzenergie verstanden, woraus eine Erwärmung des Körpergewebes resultiert.

Zum *Bereich der Stimulationswirkungen* tragen neben niederfrequenten Feldern auch die Immissionen von Lang-, Mittel- und Kurzwellensendern (bis 10 MHz) bei. In diesem Bereich werden elektrische und magnetische Felder getrennt betrachtet.

Zu den Immissionen *elektrischer Felder* tragen hauptsächlich der Lang- und Mittelwellenrundfunk bei. Niederfrequente elektrische Felder spielen fast keine Rolle und sind zudem mit hohen Messunsicherheiten behaftet. Weil sich bei den Immissionen im Lang- und Mittelwellenbereich ein leichter Rückgang ergeben hat, sind auch die Gesamtmissionen für die Stimulationswirkung elektrischer Felder leicht gesunken.

Dagegen sind die Gesamtmissionen *magnetischer Felder* leicht gestiegen. Zu diesen Immissionen tragen hauptsächlich niederfrequente Felder bei, die ebenfalls leicht zugenommen haben. Ihre Entwicklung scheint eher vom Ausbau der Stromnetze als vom Stromverbrauch abzuhängen. Die Veränderungen sind aber zu gering und die Unsicherheiten gleichzeitig zu groß, um hierüber verlässliche Aussagen treffen zu können.

Die weitere Diskussion bezieht sich auf die *thermische Wirkung* und umfasst alle wesentlichen Funkdienste ab 100 kHz.

Mit besonderer Spannung war der Blick zu Beginn des Monitorings auf den *Mobilfunk* gerichtet. Der Netzausbau war in den Jahren zuvor forciert worden, vielerorts entstanden im ländlichen ebenso wie im städtischen Raum neue Basisstationen und wurden vorhandene aufgerüstet. Der Smartphone-Boom, der mit dem iPhone® Ende 2007 ausgelöst wurde, hatte hierzu erheblich beigetragen. Auf politischer Ebene wurde darüber hinaus eine Unterversorgung des ländlichen Raums mit schnellen Internetanbindungen bemängelt. Nachdem die Länder solche Gemeinden benannt hatten und die Bundesnetzagentur im Mai 2010 passende Frequenzen zugeteilt hatte, war es Aufgabe der Mobilfunkbetreiber, für schnelle Internetzugänge auf dem Land zu sorgen. Der Rollout von LTE, der nächsten Mobilfunkgeneration nach UMTS und GSM, erfolgte so schnell wie noch bei keinem anderen Netz zuvor. Damit wurden die letzten "weißen Flecken" in der Breitbandversorgung, aber auch in der Netzabdeckung des Mobilfunks geschlossen.

Der Kraftakt der Mobilfunkbetreiber hinterließ seine Spuren: Zwar liegen die Immissionen auch weiterhin insgesamt auf niedrigem Niveau, aber sie haben deutlich zugenommen. Damit ist der Mobilfunk inzwischen die dominierende Immissionsquelle in Bayern. Im bayernweiten Mittel trägt der Mobilfunk jetzt mit einem Anteil von 55 % zu den Gesamtmissionen bei. Zum Vergleich: Die Ausgangssituation war gerade umgekehrt. Bei der Messreihe 2002/2003 hatte der Hörfunk einen Anteil von 53 % und der

Mobilfunk von 31 %.

Die in diesem Abschlussbericht neu eingeführte Gebietsdifferenzierung nach Bevölkerungsdichte ergab, dass die Immissionen des Mobilfunks insbesondere an den weniger dicht besiedelten Messpunkten am stärksten zugenommen haben. Dennoch bleibt ein starkes urban-rurales Gefälle, das man knapp auf den Punkt bringen kann: Je höher die Bevölkerungsdichte, desto höher die Mobilfunkimmissionen. Das EMF-Monitoring steht damit in Einklang mit der Theorie, wonach die Dichte von Basisstationen mit dem Verkehrsaufkommen und das Verkehrsaufkommen wiederum mit der Bevölkerungsdichte zunimmt. Das unterscheidet Mobilfunk wesentlich von anderen Funkdiensten, die nur eine schwache Korrelation mit der Bevölkerungsstruktur aufweisen, weil sie hauptsächlich für eine (groß)flächige Versorgung ausgelegt sind.

Zu den Immissionen des *Hörfunks* tragen Lang-, Mittel- und Kurzwellensender bei, der klassische UKW-Hörfunk und das Digitalradio DAB(+). Die Immissionen des Hörfunks sind von einem leichten Rückgang gekennzeichnet, der in erster Linie von Abschaltungen oder Leistungsreduktionen bei Lang-, Mittel- und Kurzwelle herrührt. Die Immissionen zeigen aber auch, dass das Digitalradio in den letzten Jahren deutlich ausgebaut wurde und inzwischen von wesentlich mehr Sendern und mit höherer Leistung ausgestrahlt wird.

Allein von der Entwicklung der Hörfunkimmissionen wäre zu erwarten gewesen, dass deren Anteil an den Gesamtimmissionen sich im Laufe der Jahre kaum verändert hat. Tatsächlich ist er aber von einst 53 % bei der ersten Messreihe auf nun 33 % gefallen – aber nicht, weil die Hörfunkimmissionen so stark zurück gegangen sind, sondern weil die Gesamtimmissionen durch den Beitrag des Mobilfunks entsprechend gestiegen sind.

Beim *Fernsehen* wurde erstmals das digitale Antennenfernsehen DVB-T (mit der Markenbezeichnung "Das ÜberallFernsehen") flächendeckend gemessen. Mit der Abschaltung der letzten analogen Fernsehprogramme im November 2008 ist damit die Umstellungsphase, die in Bayern im Mai 2005 begann, abgeschlossen. Interessant ist, dass die Umstellung vor allem an Messpunkten mit niedriger oder mittlerer Bevölkerungsdichte zu einer Verringerung der Immissionen geführt hat, wohingegen in Gemeinden mit hoher Bevölkerungsdichte im Mittel eine leichte Zunahme der Immissionen eintrat. Möglicherweise ist das dem dort umfangreicheren Programmangebot mit mehreren Kanälen geschuldet. Insgesamt stellt das Fernsehen aber keine wesentliche Immissionsquelle dar; DVB-T trägt nur einen kleinen Beitrag von 8 % zu den Gesamtimmissionen bei.

Erstmals wurden im EMF-Monitoring auch die Immissionen der *Funknetze der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben* (BOS) vollständig erfasst. Diese Organisationen hatten bislang sechs voneinander unabhängige analoge Funknetze in Verwendung und sollen künftig mit einem gemeinsamen Digitalfunknetz arbeiten. Während der dritten Messreihe befanden sie sich in der Umstellungsphase, in der das Digitalfunknetz teilweise bereits in Betrieb war, die analogen Netze aber noch nicht merklich abgeschaltet waren. Hier zeigte sich, dass die Immissionen des BOS-Funks noch überwiegend durch die Analognetze zu Stande kommen. Sie sind insgesamt aber vernachlässigbar und tragen nur etwa 1 % zu den Gesamtimmissionen bei.

Alle Immissionen liegen auf sehr niedrigem Niveau weit unterhalb der Grenzwerte. Das heißt aber *nicht*, dass es in Bayern keine hoch exponierten Immissionsorte gibt, sondern lediglich, dass an den Stellen, an denen im Rahmen des Monitorings gemessen wurde, sehr niedrige Immissionen vorherrschen. Aus der bevölkerungsgewichteten Auswahl der Messpunkte und dem Umstand, dass die Lage der Messpunkte zufällig und nicht gezielt – etwa in Sendernähe – zu Stande kam, lässt sich aber in jedem Fall schlussfolgern, dass die mittleren Immissionen in Bayern zunehmen und dass deren Hauptbeitrag im Mobilfunk zu finden ist.

In der dritten Messreihe wurde als Neuerung ein *Referenzmesspunkt* eingeführt. Es handelt sich um einen speziellen zusätzlichen Messpunkt, der im Laufe der Messreihe insgesamt 20 Mal angefahren wurde. Die hier aufgenommenen Daten gaben wertvolle Hinweise über statistische Unsicherheiten, denen das Monitoring zwangsläufig ausgesetzt ist. Darüber hinaus ermöglichte er auch eine Kontrolle des Messsystems. Ergänzend wurde eine Validierung von Messroutinen und Messergebnissen mittels Signalgenerator an der Technischen Hochschule Deggendorf versucht. Das Ziel, die Unsicherheiten, die aus technischen Gründen bei der Messung von Mobilfunkimmissionen auftreten, zu quantifizieren,

konnte dabei leider nicht erreicht werden. Für die nächste Messreihe wird insofern eine grundlegende Neukonzeption des Monitorings erforderlich sein, schon alleine deshalb, weil das Messsystem nach über zehn Jahren, in denen es weit über tausendmal auf- und wieder abgebaut wurde, am Ende seiner Lebensdauer angekommen ist.

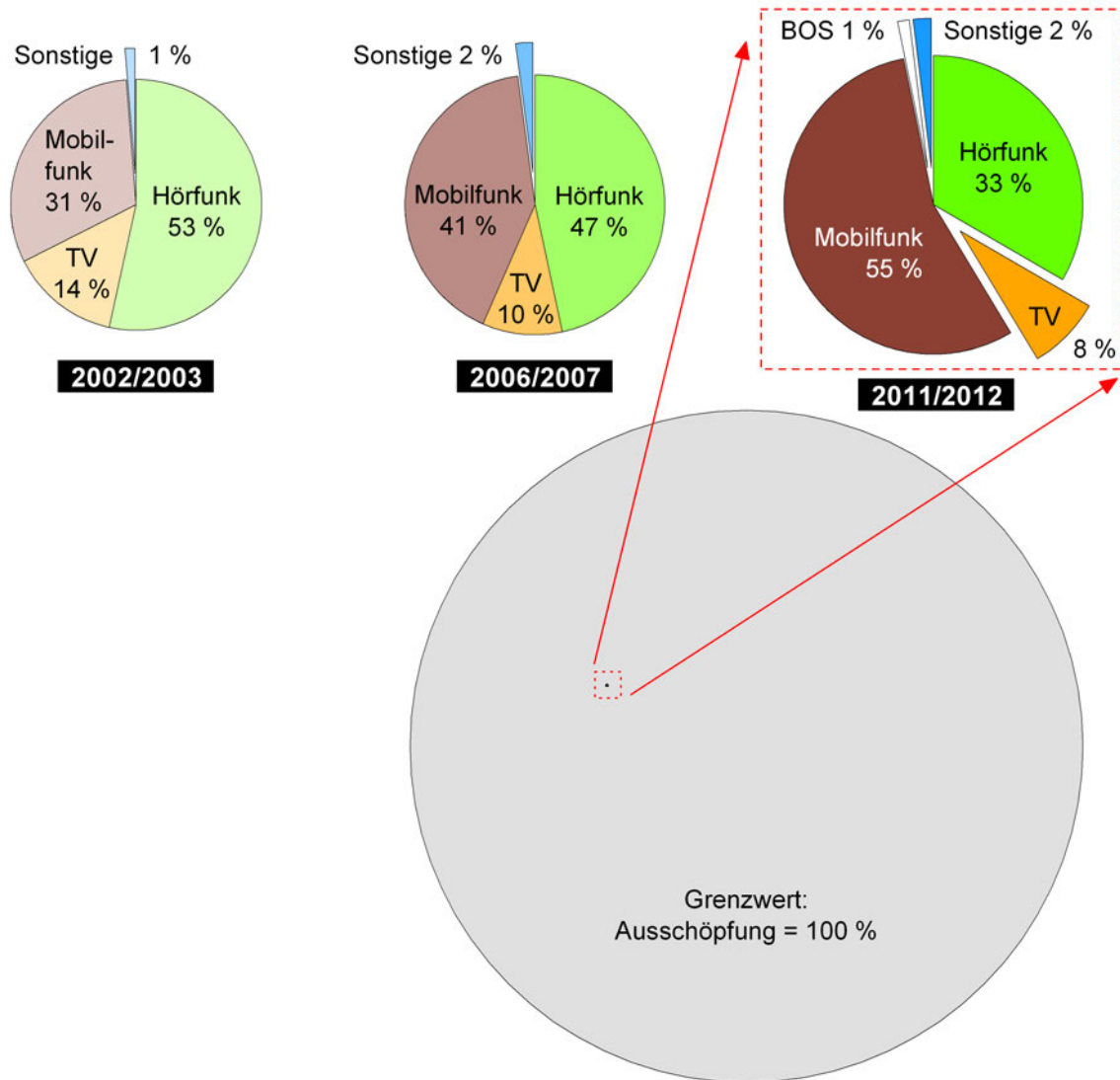


Abbildung 11-1: Oben: Mittlere Anteile der einzelnen Funkdienste an den Gesamtmissionen im Bereich der thermischen Wirkung im Verlauf der Messreihen. Die Kreisflächen repräsentieren die Verhältnisse der Mediane der Gesamtmissionen zwischen den Messreihen. Unten: Veranschaulichung der Gesamtmissionen der Messreihe 2011/2012 im Verhältnis zum Grenzwert.

A Einzelergebnisse der Messpunkte

Die nachfolgenden Tabellen enthalten die zusammengefassten Ergebnisse der einzelnen Messpunkte aller drei Messreihen. Sie bestehen aus folgenden Spalten:

- MP: Messpunkt-Nummer und Angabe der Messreihe
- NF *E*: Ausschöpfungsgrad des niederfrequenten elektrischen Felds von 10 Hz bis 32 kHz in Einheiten von ‰ (Stimulationswirkung).
- Sw. *E*: Summe des Ausschöpfungsgrads des elektrischen Felds für Stimulationswirkung (von 10 Hz bis 10 MHz) in Einheiten von ‰.
- NF *B*: Ausschöpfungsgrad des niederfrequenten magnetischen Felds von 10 Hz bis 32 kHz in Einheiten von ‰ (Stimulationswirkung).
- Sw. *B*: Summe des Ausschöpfungsgrads des magnetischen Felds für Stimulationswirkung (von 10 Hz bis 10 MHz) in Einheiten von ‰.
- Hörf.: Thermischer Ausschöpfungsgrad des Hörfunks in Einheiten von 10^{-6} .
- TV: Thermischer Ausschöpfungsgrad des Fernsehens in Einheiten von 10^{-6} .
- Mobilf.: Thermischer Ausschöpfungsgrad des Mobilfunks in Einheiten von 10^{-6} .
- Sonst.: Thermischer Ausschöpfungsgrad sonstiger Funkdienste inklusive BOS in Einheiten von 10^{-6} .
- HF ges.: Thermischer Ausschöpfungsgrad der Summe aller Funkdienste in Einheiten von 10^{-6} .

Tabelle A-1: Einzelergebnisse an den Messpunkten 1 – 12

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
1 (2002/2003)	0,01	2,3	2,7	2,8	1,6	0,04	0,03	0,00	1,7
1 (2006/2007)	0,00	2,1	1,5	1,6	0,85	0,04	0,31	0,01	1,2
1 (2011/2012)	0,39	2,3	7,3	7,4	0,32	0,07	0,39	0,06	0,84
2 (2002/2003)	0,02	4,8	8,9	9,1	4,6	0,02	0,18	0,01	4,8
2 (2006/2007)	0,05	2,7	12	12	1,2	0,02	0,25	0,08	1,5
2 (2011/2012)	0,05	2,7	7,1	7,3	0,99	0,04	0,32	0,08	1,4
3 (2002/2003)	0,08	3,8	4,3	4,5	2,4	0,28	0,45	0,00	3,1
3 (2006/2007)	0,03	1,8	4,6	4,7	0,21	0,01	0,39	0,02	0,62
3 (2011/2012)	0,15	1,6	5,2	5,2	0,35	0,03	2,3	0,15	2,9
4 (2002/2003)	0,02	1,8	8,5	8,6	0,50	0,35	0,06	0,00	0,91
4 (2006/2007)	0,00	2,3	8,7	8,8	0,95	0,31	0,06	0,00	1,3
4 (2011/2012)	0,00	1,7	12	12	0,84	0,12	0,14	0,01	1,1
5 (2002/2003)	0,09	1,5	0,39	0,46	0,59	0,03	8,3	0,01	8,9
5 (2006/2007)	0,05	1,5	0,91	0,98	0,38	0,02	9,6	0,04	10
5 (2011/2012)	0,13	1,2	0,18	0,23	0,16	0,03	9,6	0,02	9,8
6 (2002/2003)	0,00	1,5	1,9	2,0	0,16	4,7	7,6	0,21	13
6 (2006/2007)	0,15	2,7	2,8	2,9	1,2	0,02	3,5	0,01	4,7
6 (2011/2012)	0,08	1,3	66	66	0,16	0,02	12	0,02	13
7 (2002/2003)	0,12	2,0	3,2	3,3	0,54	0,05	0,06		0,65
7 (2006/2007)	0,13	2,6	8,8	8,9	0,44	0,05	0,34	0,03	0,85
7 (2011/2012)	0,13	1,9	6,4	6,5	0,49	0,08	0,80	0,36	1,7
8 (2002/2003)	0,00	2,4	1,5	1,6	0,76	0,04	45	0,00	46
8 (2006/2007)	0,00	2,2	0,89	1,00	0,51	0,00	146	0,01	146
8 (2011/2012)	0,00	2,0	2,4	2,5	0,42	0,05	261	0,00	262
9 (2002/2003)	0,00	2,3	2,1	2,2	0,96	0,05	0,35	0,01	1,4
9 (2006/2007)	0,12	2,3	3,5	3,6	0,58	0,02	0,70	0,06	1,4
9 (2011/2012)	0,03	1,7	4,0	4,1	0,46	0,04	0,66	0,08	1,2
10 (2002/2003)	0,06	2,2	4,0	4,1	0,56	0,04	3,8	0,00	4,4
10 (2006/2007)	0,08	2,3	3,5	3,6	0,72	0,02	1,5	0,10	2,3
10 (2011/2012)	0,08	2,2	12	12	1,4	0,03	6,1	0,02	7,6
11 (2002/2003)	0,03	4,8	0,59	0,81	4,3	0,18	0,08		4,5
11 (2006/2007)	0,45	2,8	0,72	0,82	0,47	0,25	0,22	0,01	0,96
11 (2011/2012)	0,07	2,2	1,2	1,3	0,21	0,18	0,54	0,01	0,94
12 (2002/2003)	0,03	1,9	0,09	0,17	1,1	0,63	0,24		2,0
12 (2006/2007)	0,19	2,6	0,11	0,23	0,70	0,36	0,35	0,05	1,5
12 (2011/2012)	0,03	2,1	0,34	0,43	0,46	3,4	1,5	0,10	5,5

Tabelle A-2: Einzelergebnisse an den Messpunkten 13 – 24

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
13 (2002/2003)	0,07	4,1	3,3	3,4	2,8	0,10	7,7	0,01	11
13 (2006/2007)	0,04	2,2	2,8	2,9	0,75	0,03	16	0,04	17
13 (2011/2012)	0,06	3,0	3,6	3,7	1,1	0,06	23	0,18	25
14 (2002/2003)	0,00	2,9	0,13	0,27	3,1	0,04	0,72	0,01	3,8
14 (2006/2007)	0,00	1,6	0,42	0,50	0,34	0,02	0,37	0,02	0,75
14 (2011/2012)	0,01	1,5	0,25	0,32	0,40	0,03	0,62	0,03	1,1
15 (2002/2003)	0,00	1,9	0,36	0,44	1,3	0,06	0,02	0,00	1,4
15 (2006/2007)	0,07	1,7	0,44	0,51	1,7	0,03	0,01	0,19	1,9
15 (2011/2012)	0,04	2,2	0,60	0,71	0,77	0,04	0,34	0,09	1,2
16 (2002/2003)	0,30	2,2	5,0	5,1	0,87	0,13	1,0	0,04	2,1
16 (2006/2007)	0,32	2,2	3,1	3,2	3,3	0,18	15	0,29	19
16 (2011/2012)	0,36	2,3	5,2	5,3	2,3	0,16	34	0,20	37
17 (2002/2003)		1,9	1,1	1,2	1,6	5,2	13	0,03	20
17 (2006/2007)	0,08	1,8	1,4	1,5	1,4	3,9	23	0,34	28
17 (2011/2012)	0,02	2,0	1,2	1,2	772	0,14	121	209	1102
18 (2002/2003)	0,00	3,1	1,7	1,8	0,84	0,21	3,5	0,06	4,6
18 (2006/2007)	0,00	2,5	0,43	0,55	0,58	0,00	20	0,02	20
18 (2011/2012)	0,01	1,8	1,5	1,5	0,52	0,07	50	0,27	51
19 (2002/2003)	0,00	1,8	8,7	8,7	0,33	1,2	0,62	0,01	2,1
19 (2006/2007)	0,00	1,8	20	20	0,51	0,30	1,5	0,25	2,5
19 (2011/2012)	0,14	1,9	5,7	5,8	2,5	0,33	3,1	0,12	6,0
20 (2002/2003)	0,01	1,9	2,7	2,8	1,1	0,25	12	0,25	14
20 (2006/2007)	0,03	1,9	4,0	4,1	1,1	0,22	4,2	0,05	5,5
20 (2011/2012)	0,00	2,5	4,7	4,9	3,7	0,29	10	0,09	15
21 (2002/2003)	0,00	1,5	1,4	1,5	0,21	0,43	5,6	0,08	6,3
21 (2006/2007)	0,00	1,5	1,7	1,8	0,40	0,03	2,1	0,04	2,6
21 (2011/2012)	0,00	1,6	1,2	1,3	4,2	0,02	110	0,22	115
22 (2002/2003)	0,04	2,3	1,1	1,2	0,73	33	0,56	0,40	35
22 (2006/2007)	0,12	3,0	0,55	0,69	0,57	0,33	2,1	0,12	3,1
22 (2011/2012)	0,20	4,6	32	32	1,2	0,26	2,1	0,16	3,8
23 (2002/2003)	0,00	3,0	3,0	3,2	1,8	0,48	91	0,38	94
23 (2006/2007)	0,00	2,4	6,2	6,3	0,89	0,17	85	0,13	87
23 (2011/2012)	0,04	2,0	1,4	1,5	1,2	0,28	225	0,26	227
24 (2002/2003)	0,03	2,0	0,02	0,11	1,8	0,04	3,0	0,10	4,9
24 (2006/2007)	0,03	1,7	0,04	0,11	0,79	0,07	3,7	0,38	5,0
24 (2011/2012)	0,04	1,7	0,06	0,13	22	0,06	1,9	0,06	24

Tabelle A-3: Einzelergebnisse an den Messpunkten 25 – 36

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
25 (2002/2003)	0,03	1,7	1,2	1,2	0,77	25	0,16	4,0	30
25 (2006/2007)	0,16	5,1	1,3	1,5	1,1	0,10	0,39	4,6	6,2
25 (2011/2012)	0,07	2,1	2,2	2,3	0,66	0,03	1,2	1,6	3,4
26 (2002/2003)	0,03	2,5	6,8	6,9	1,0	1,5	50	0,25	53
26 (2006/2007)	0,04	2,3	8,0	8,1	0,58	0,24	130	0,15	131
26 (2011/2012)	0,10	1,8	8,8	8,8	0,91	0,38	99	0,11	100
27 (2002/2003)	0,05	2,6	3,9	4,0	1,1	1,4	1,8	0,02	4,3
27 (2006/2007)	0,13	2,7	5,1	5,2	2,4	0,89	2,1	0,12	5,5
27 (2011/2012)	0,57	2,4		0,08	4,6	3,3	3,9	0,03	12
28 (2002/2003)	0,04	1,4	0,84	0,90	0,41	0,01	0,00		0,42
28 (2006/2007)	0,01	1,7	1,3	1,4	0,39	0,01	0,00	0,00	0,40
28 (2011/2012)	0,04	1,5	0,08	0,15	0,80	0,01	0,00	0,09	0,90
29 (2002/2003)	0,00	3,6	0,86	1,0	1,8	0,02	0,12	0,02	2,0
29 (2006/2007)	0,00	2,9	0,34	0,48	1,4	0,02	0,44	0,11	2,0
29 (2011/2012)	0,00	2,3	0,62	0,73	0,40	0,01	0,73	0,06	1,2
30 (2002/2003)	0,30	2,3	1,7	1,8	1,7	0,40	1,3	0,11	3,5
30 (2006/2007)	0,04	2,8	2,6	2,7	2,4	0,55	1,0	0,16	4,1
30 (2011/2012)	0,08	2,7	3,0	3,1	1,2	0,03	1,6	0,25	3,1
31 (2002/2003)	0,15	2,2	1,5	1,6	0,40	0,02	1,5		1,9
31 (2006/2007)	0,26	1,7	1,4	1,5	0,32	0,02	1,9	0,04	2,3
31 (2011/2012)	0,14	1,5		0,07	0,24	0,03	6,2	0,01	6,4
32 (2002/2003)	0,00	3,8	5,5	5,6	2,7	0,64	10		14
32 (2006/2007)	0,13	4,1	1,1	1,3	2,1	0,74	14	0,00	17
32 (2011/2012)	0,08	1,2	0,84	0,89	0,99	0,06	26	0,02	27
33 (2002/2003)	0,25	5,0	0,69	0,91	7,5	8,5	0,09	0,67	17
33 (2006/2007)	0,05	2,0	1,4	1,5	0,37	0,01	0,20	0,04	0,62
33 (2011/2012)	0,00	3,5	33	33	0,63	0,01	0,41	0,01	1,1
34 (2002/2003)	0,00	1,3	1,2	1,2	11	0,38	3,1		14
34 (2006/2007)	0,00	1,4	0,62	0,69	17	0,46	6,6	0,30	24
34 (2011/2012)	0,00	1,6	1,5	1,5	7,0	0,11	5,8	1,0	14
35 (2002/2003)	0,00	1,8	0,10	0,18	0,68	0,08	0,04		0,81
35 (2006/2007)	0,02	2,3	0,05	0,16	0,95	0,08	7,5	0,00	8,6
35 (2011/2012)	0,30	1,8	0,40	0,47	0,18	0,18	1,1	0,00	1,5
36 (2002/2003)	1,3	3,9	1,5	1,6	0,79	0,06	0,09	0,05	1,00
36 (2006/2007)	0,12	4,8	1,6	1,8	1,9	0,02	0,69	0,03	2,7
36 (2011/2012)	0,08	2,1	6,8	6,9	0,34	0,01	6,5	0,03	6,8

Tabelle A-4: Einzelergebnisse an den Messpunkten 37 – 48

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
37 (2002/2003)	0,84	3,2	0,79	0,90	2,6	0,02	0,02		2,6
37 (2006/2007)	0,26	2,2	2,9	3,0	2,6	0,08	0,02	0,04	2,8
37 (2011/2012)	0,10	1,4	3,3	3,3	0,32	0,03	0,02	0,02	0,39
38 (2002/2003)	0,00	1,9	0,11	0,20	0,48	0,02	0,68	0,01	1,2
38 (2006/2007)	0,00	1,9	0,22	0,31	0,61	0,01	3,7	0,02	4,4
38 (2011/2012)	0,64	1,8	0,38	0,44	0,21	0,02	1,5	0,06	1,8
39 (2002/2003)	0,06	1,9	1,4	1,5	0,74	0,02	0,96	0,07	1,8
39 (2006/2007)	0,06	2,8	4,0	4,1	1,1	0,01	4,3	0,16	5,5
39 (2011/2012)	0,08	1,3	2,2	2,3	0,14	0,01	4,7	0,09	4,9
40 (2002/2003)	0,00	1,3	0,12	0,18	2,2	0,11	0,01	0,02	2,4
40 (2006/2007)	0,00	1,5	0,09	0,16	3,1	0,12	0,02	0,01	3,2
40 (2011/2012)	0,05	1,6	0,19	0,26	4,3	0,10	4,2	0,40	9,0
41 (2002/2003)	0,00	2,5	2,6	2,7	6,2	0,27	0,02	0,00	6,5
41 (2006/2007)	0,00	1,7	4,2	4,2	9,5	0,55	0,01	0,03	10
41 (2011/2012)	0,07	1,5	3,2	3,3	6,6	0,27	1,7	0,94	9,5
42 (2002/2003)	0,16	2,8	0,07	0,19	4,1	0,03	0,90	0,03	5,1
42 (2006/2007)	0,02	1,4	0,03	0,10	0,63	0,02	0,58	0,12	1,3
42 (2011/2012)	0,21	1,3	0,00	0,05	0,52	0,06	0,82	0,24	1,6
43 (2002/2003)	0,00	2,4	1,4	1,5	0,55	0,08	12	0,01	12
43 (2006/2007)	0,02	2,2	2,0	2,1	0,91	0,07	14	0,04	15
43 (2011/2012)	0,11	2,1	2,1	2,2	0,86	0,02	11	0,03	12
44 (2002/2003)	0,06	2,0	0,07	0,16	1,6	0,14	0,06	0,01	1,8
44 (2006/2007)	0,09	2,1	0,03	0,13	2,2	0,14	0,09	0,01	2,4
44 (2011/2012)	0,22	1,9	0,12	0,20	1,7	0,06	0,14	0,20	2,1
45 (2002/2003)	0,00	1,9	0,00	0,09	1,1	0,29	0,04	0,03	1,5
45 (2006/2007)	0,03	1,5	0,00	0,07	0,48	0,24	3,5	0,07	4,3
45 (2011/2012)	0,00	2,1		0,10	1,1	0,11	3,2	0,14	4,5
46 (2002/2003)	0,41	1,8	0,13	0,20	0,18	0,04	0,00	0,00	0,23
46 (2006/2007)	0,30	1,8	0,15	0,22	0,16	0,04	0,00	0,06	0,27
46 (2011/2012)	9,9	11	0,06	0,13	0,26	0,01	0,03	0,07	0,37
47 (2002/2003)	0,03	3,0	0,08	0,21	0,72	0,03	0,00	0,00	0,75
47 (2006/2007)	0,03	2,3	0,04	0,14	1,0	0,02	0,00	0,01	1,0
47 (2011/2012)	0,02	1,5	0,06	0,13	0,10	0,01	0,00	0,02	0,13
48 (2002/2003)	0,02	3,3	10	11	1,1	0,17	71	0,00	72
48 (2006/2007)	0,09	2,0	10	10	0,60	0,91	64	0,24	66
48 (2011/2012)	0,06	1,7	11	11	0,38	0,80	299	0,08	300

Tabelle A-5: Einzelergebnisse an den Messpunkten 49 – 60

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
49 (2002/2003)	0,00	4,9	1,5	1,7	3,5	0,21	1,7	0,02	5,5
49 (2006/2007)	5,3	8,4	0,85	0,99	1,6	0,39	1,9	0,13	4,0
49 (2011/2012)	0,05	2,5	0,76	0,87	1,2	0,26	12	0,12	13
50 (2002/2003)	0,00	10	3,2	3,7	34	0,74	0,59		35
50 (2006/2007)	0,10	6,5	5,1	5,4	18	1,0	24	0,15	43
50 (2011/2012)		9,0		0,42	10	1,2	48	0,34	60
51 (2002/2003)	0,00	4,7	0,77	0,99	13	5,7	33	0,09	51
51 (2006/2007)	0,00	2,6	0,14	0,26	9,0	22	15	0,13	45
51 (2011/2012)	0,05	2,8	0,26	0,38	43	13	41	0,26	98
52 (2002/2003)	0,00	5,2	1,6	1,8	7,4	10	47	0,16	65
52 (2006/2007)	0,02	3,9	1,3	1,5	5,1	12	3,3	0,05	21
52 (2011/2012)	0,01	3,2	1,4	1,6	30	6,8	11	0,16	47
53 (2002/2003)	0,00	6,7	1,8	2,1	9,7	0,23	3,7	0,02	14
53 (2006/2007)	0,00	4,7	4,2	4,4	5,3	0,20	4,1	0,09	9,7
53 (2011/2012)	0,00	5,1	0,76	1,00	5,3	0,25	82	0,16	88
54 (2002/2003)	0,00	3,5	0,57	0,73	1,3	0,40	0,04	0,02	1,8
54 (2006/2007)	0,00	6,8	0,69	1,0	1,4	2,2	0,13	0,01	3,7
54 (2011/2012)	0,00	3,3	1,1	1,3	1,6	1,9	0,85	0,05	4,4
55 (2002/2003)	0,00	6,4	0,27	0,57	9,6	0,92	1,8	0,02	12
55 (2006/2007)	0,00	3,7	0,27	0,44	4,9	2,9	4,8	0,03	13
55 (2011/2012)	0,00	3,0	0,14	0,28	3,9	3,0	4,6	0,14	12
56 (2002/2003)	0,14	9,4	2,7	3,2	27	0,34	0,74	0,05	28
56 (2006/2007)	0,07	5,0	0,50	0,72	9,6	0,72	0,76	0,03	11
56 (2011/2012)	0,11	5,5	0,84	1,1	11	1,1	1,8	0,07	14
57 (2002/2003)	0,06	8,2	0,38	0,76	16	0,61	2,7	0,01	19
57 (2006/2007)	0,00	5,2	0,24	0,48	7,6	4,5	3,5	0,00	16
57 (2011/2012)	0,00	5,1	0,28	0,52	8,9	4,9	24	0,04	38
58 (2002/2003)	0,07	3,9	1,5	1,7	1,8	0,46	0,99	0,02	3,3
58 (2006/2007)	0,09	2,9	1,2	1,3	0,92	1,4	1,4	0,07	3,8
58 (2011/2012)	0,00	2,1	0,89	0,99	1,4	1,2	2,7	0,13	5,4
59 (2002/2003)	0,00	3,5	0,00	0,16	2,5	22	4,6	0,05	29
59 (2006/2007)	0,00	2,5	0,00	0,12	1,8	11	3,7	0,02	16
59 (2011/2012)	0,39	2,2	0,00	0,08	5,1	2,4	6,2	0,13	14
60 (2002/2003)	0,00	3,4	2,7	2,9	1,5	0,43	11	0,09	13
60 (2006/2007)	0,00	2,2	4,3	4,4	0,88	1,5	6,5	0,13	9,0
60 (2011/2012)	0,03	2,0	4,1	4,2	0,94	1,7	10	0,28	13

Tabelle A-6: Einzelergebnisse an den Messpunkten 61 – 72

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
61 (2002/2003)	0,00	3,5	0,12	0,28	1,3	0,16	31		33
61 (2006/2007)	0,03	2,7	0,11	0,23	0,68	0,91	22	0,02	23
61 (2011/2012)	0,09	2,5	0,15	0,26	0,70	1,5	51	0,02	53
62 (2002/2003)	0,03	6,2	13	14	11	5,7	22	0,30	38
62 (2006/2007)	1,3	6,8	5,0	5,2	11	34	13	0,08	58
62 (2011/2012)	0,00	4,1	6,9	7,1	27	38	16	0,47	81
63 (2002/2003)	0,00	5,4	3,6	3,9	1,7	0,12	182	0,12	184
63 (2006/2007)	0,00	3,4	3,5	3,7	0,60	0,65	75	0,47	77
63 (2011/2012)	0,00	3,1	3,3	3,4	1,1	0,86	1021	1,1	1025
64 (2002/2003)	0,00	6,8	2,9	3,2	14	14	0,75	0,07	29
64 (2006/2007)	0,04	5,2	3,0	3,3	12	74	0,83	0,10	87
64 (2011/2012)	0,16	5,4	2,3	2,5	26	18	1,0	0,25	45
65 (2002/2003)	91	95	2,8	3,0	4,1	0,98	1,6	0,03	6,8
65 (2006/2007)	110	113	5,7	5,8	1,4	3,8	2,3	0,06	7,5
65 (2011/2012)	106	111	4,5	4,7	6,1	3,0	7,4	0,12	17
66 (2002/2003)	0,04	6,5	2,4	2,7	12	0,54	0,98	0,22	14
66 (2006/2007)	0,09	4,9	1,3	1,5	8,6	7,0	3,6	0,97	20
66 (2011/2012)	0,08	4,2	8,2	8,4	10	12	2,9	0,07	25
67 (2002/2003)	0,00	3,4	1,1	1,2	1,7	0,73	0,87	0,13	3,4
67 (2006/2007)	0,00	2,1	0,59	0,69	0,87	2,6	1,8	0,15	5,4
67 (2011/2012)	0,10	2,2	1,2	1,3	1,0	14	2,5	0,10	18
68 (2002/2003)	0,00	4,5	4,8	5,0	5,8	2,1	4,6	0,00	12
68 (2006/2007)	0,03	3,3	1,3	1,4	3,5	10	46	0,05	60
68 (2011/2012)	0,01	4,1	1,6	1,8	14	3,9	108	0,14	126
69 (2002/2003)	0,00	3,7	0,22	0,39	2,0	0,72	0,13	0,03	2,9
69 (2006/2007)	0,04	2,7	0,79	0,92	1,4	0,83	0,41	0,08	2,7
69 (2011/2012)	0,89	2,9	15	15	1,4	2,1	3,0	0,19	6,8
70 (2002/2003)	0,00	7,0	1,3	1,6	14	1,0	2,4	0,04	17
70 (2006/2007)	0,00	3,6	0,91	1,1	5,0	14	2,6	0,08	21
70 (2011/2012)	0,49	3,9	2,1	2,2	7,6	10	6,7	0,15	25
71 (2002/2003)	0,07	3,5	2,9	3,1	5,7	0,65	0,05	0,13	6,5
71 (2006/2007)	0,08	3,2	2,2	2,3	1,6	1,1	0,14	0,51	3,4
71 (2011/2012)	0,12	1,8	0,18	0,25	0,93	0,66	0,78	0,17	2,5
72 (2002/2003)	0,00	5,7	0,13	0,39	6,9	1,9	6,1	0,01	15
72 (2006/2007)	0,00	4,4	0,26	0,46	6,4	3,4	129	0,07	138
72 (2011/2012)	0,00	3,7	0,15	0,32	5,1	4,3	186	0,11	195

Tabelle A-7: Einzelergebnisse an den Messpunkten 73 – 84

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
73 (2002/2003)	0,16	4,7	11	11	2,8	0,06	1,1	0,02	4,0
73 (2006/2007)	0,15	3,3	16	16	1,6	0,73	1,8	0,04	4,1
73 (2011/2012)	0,14	3,0	3,6	3,8	1,7	0,29	6,3	0,08	8,4
74 (2002/2003)	0,00	3,1	9,5	9,6	1,1	0,13	218		219
74 (2006/2007)	0,00	2,1	5,8	5,9	0,60	1,4	151	0,30	153
74 (2011/2012)	0,00	3,1	4,1	4,3	1,8	1,3	415	0,22	419
75 (2002/2003)	0,81	4,7	2,4	2,6	9,6	22	4,8	0,11	37
75 (2006/2007)	0,37	5,6	7,3	7,6	9,2	107	7,0	0,09	124
75 (2011/2012)	0,89	4,9	11	11	124	63	6,3	0,64	194
76 (2002/2003)	0,00	3,9	1,7	1,9	2,7	1,5	0,23	0,00	4,5
76 (2006/2007)	0,01	2,5	2,2	2,3	1,0	3,2	0,67	0,06	5,0
76 (2011/2012)	0,06	2,2	2,3	2,4	0,55	1,5	1,4	0,04	3,5
77 (2002/2003)	3,3	6,8	5,4	5,5	3,4	3,5	291	0,11	297
77 (2006/2007)	8,9	11	6,4	6,5	2,5	9,4	594	0,14	606
77 (2011/2012)	4,4	6,8	6,7	6,8	2,4	18	1610	0,17	1630
78 (2002/2003)	0,00	3,4	1,4	1,5	1,2	0,85	1,5	0,03	3,6
78 (2006/2007)	0,00	2,9	1,3	1,4	0,85	8,6	1,8	0,04	11
78 (2011/2012)	0,00	3,7	1,5	1,7	1,6	3,9	2,2	0,09	7,8
79 (2002/2003)	1,2	5,8	1,7	2,0	5,7	1,4	8,4	0,08	16
79 (2006/2007)	2,5	6,3	1,5	1,7	6,5	13	19	0,10	39
79 (2011/2012)	1,1	5,1	1,9	2,0	19	20	20	0,17	59
80 (2002/2003)	0,02	12	1,6	2,1	47	9,9	0,10	0,01	57
80 (2006/2007)	0,00	8,1	3,6	4,0	40	8,2	0,98	0,04	49
80 (2011/2012)	0,01	4,9	3,1	3,3	35	7,7	1,5	0,15	44
81 (2002/2003)	0,00	4,1	0,94	1,1	4,2	0,36	0,04	0,00	4,6
81 (2006/2007)	0,53	5,4	0,56	0,79	5,0	3,0	0,32	0,08	8,4
81 (2011/2012)	0,00	3,1	0,72	0,86	3,3	4,2	1,00	0,14	8,7
82 (2002/2003)	0,00	3,1		0,14	2,5	0,92	0,05	0,00	3,5
82 (2006/2007)	0,06	2,9	1,3	1,4	0,89	2,6	53	0,19	57
82 (2011/2012)	0,00	3,0	0,16	0,30	2,6	1,2	346	0,30	350
83 (2002/2003)	0,01	2,2		0,10	0,50	2,8	0,86	0,04	4,2
83 (2006/2007)	0,00	3,1	0,77	0,92	0,75	0,55	2,5	0,13	3,9
83 (2011/2012)	0,00	2,4	0,87	0,98	0,50	0,27	2,3	0,10	3,1
84 (2002/2003)	0,07	2,8		0,13	0,89	0,48	0,02		1,4
84 (2006/2007)	0,15	3,0	2,6	2,8	1,2	0,51	0,10	0,15	1,9
84 (2011/2012)	0,17	2,4	1,0	1,1	0,87	0,30	0,05	0,03	1,2

Tabelle A-8: Einzelergebnisse an den Messpunkten 85 – 96

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
85 (2002/2003)	0,00	2,7	0,64	0,76	0,79	0,75	0,00	0,07	1,6
85 (2006/2007)	2,5	6,2	2,7	2,9	1,4	0,59	1,1	0,15	3,2
85 (2011/2012)	0,00	2,6		0,12	1,6	0,36	3,9	0,05	5,9
86 (2002/2003)	0,00	1,9	0,12	0,21	0,32	0,36	0,00		0,69
86 (2006/2007)	0,00	1,6	0,15	0,22	0,33	0,28	0,15	0,02	0,78
86 (2011/2012)	0,03	1,3	0,33	0,38	0,29	0,27	0,77	0,05	1,4
87 (2002/2003)	0,01	9,8	0,11	0,56	36	1,9	0,24	0,03	38
87 (2006/2007)	0,00	6,0	0,20	0,48	15	1,2	9,7	0,03	26
87 (2011/2012)	0,31	4,7		0,20	8,8	1,7	13	0,06	23
88 (2002/2003)	0,01	3,0		0,14	4,1	1,2	3,6	0,03	9,0
88 (2006/2007)	0,00	3,3	0,20	0,35	4,2	7,2	4,7	0,05	16
88 (2011/2012)	1,0	4,6	0,11	0,28	21	6,6	47	0,44	75
89 (2002/2003)	0,04	3,6	0,56	0,73	2,5	24	4,6	0,01	31
89 (2006/2007)	0,04	3,0	0,64	0,77	2,1	39	4,5	0,09	46
89 (2011/2012)	0,09	2,3	0,56	0,66	1,8	1,3	11	0,23	15
90 (2002/2003)	0,14	4,5	0,13	0,33	6,6	0,44	24	0,13	31
90 (2006/2007)	0,13	2,5	0,25	0,36	12	1,1	25	1,3	39
90 (2011/2012)	0,28	2,7	0,30	0,41	5,0	0,41	12	2,2	19
91 (2002/2003)	0,02	4,4	0,10	0,30	8,0	7,4	0,99	0,00	16
91 (2006/2007)	0,05	2,8	0,51	0,64	3,8	6,5	1,5	0,03	12
91 (2011/2012)	0,04	1,9	0,24	0,33	1,6	2,2	8,4	0,15	12
92 (2002/2003)	0,05	2,6	1,5	1,6	1,5	0,07	0,30	0,02	1,9
92 (2006/2007)	0,08	2,8	2,3	2,4	1,1	0,00	0,24	0,02	1,4
92 (2011/2012)	0,29	3,2	1,5	1,6	1,1	0,02	1,5	0,04	2,6
93 (2002/2003)	0,00	2,1	0,00	0,10	1,2	0,26	0,00		1,4
93 (2006/2007)	0,01	1,7	0,18	0,26	0,35	0,16	0,00	0,00	0,51
93 (2011/2012)	20	22	4,5	4,6	1,4	0,01	0,00	0,30	1,7
94 (2002/2003)	0,06	3,5	1,4	1,5	2,7	0,14	0,13		3,0
94 (2006/2007)	0,02	3,4	5,7	5,8	1,3	0,09	0,34	0,02	1,7
94 (2011/2012)	0,07	1,9	2,6	2,7	1,7	0,09	1,0	0,13	2,9
95 (2002/2003)	0,00	2,4	0,01	0,13	1,1	0,18	1,2	0,00	2,5
95 (2006/2007)	0,02	2,3	0,04	0,15	0,63	0,01	0,70	0,00	1,3
95 (2011/2012)	0,07	1,6	0,03	0,10	0,11	0,01	15	0,00	15
96 (2002/2003)	7,7	9,4	0,74	0,82	0,25	0,02	0,05	0,02	0,34
96 (2006/2007)	4,6	6,3	1,1	1,1	0,32	0,01	1,3	0,05	1,6
96 (2011/2012)	7,4	9,4	2,0	2,1	0,41	0,01	2,1	0,02	2,5

Tabelle A-9: Einzelergebnisse an den Messpunkten 97 – 108

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
97 (2002/2003)	0,00	2,2	2,3	2,4	0,28	0,01	143	2,5	146
97 (2006/2007)	0,03	2,9	1,5	1,6	0,33	0,15	20	0,24	21
97 (2011/2012)	0,06	1,8	1,4	1,5	0,26	0,00	75	0,03	75
98 (2002/2003)	0,50	2,2	0,00	0,08	1,8	0,01	5,0	0,01	6,9
98 (2006/2007)	0,03	1,5	0,15	0,21	0,53	0,00	7,6	0,00	8,2
98 (2011/2012)	0,23	2,0	0,06	0,15	1,2	0,03	32	0,01	33
99 (2002/2003)	0,02	3,6	1,8	2,0	1,2	0,32	1,2	0,00	2,8
99 (2006/2007)	0,00	3,0	0,87	1,0	0,68	0,06	1,5	0,01	2,2
99 (2011/2012)	0,10	2,6		0,11	0,80	0,16	2,6	0,03	3,5
100 (2002/2003)	1,6	4,2	0,00	0,12	1,8	0,12	0,00		2,0
100 (2006/2007)	1,2	3,6	0,00	0,11	1,2	0,08	0,00	0,01	1,3
100 (2011/2012)	0,72	2,4	0,00	0,08	0,35	0,10	0,06	0,00	0,51
101 (2002/2003)	0,96	5,9	0,14	0,37	3,7	0,03	0,34	0,04	4,1
101 (2006/2007)	0,96	4,6	0,23	0,40	1,8	0,02	0,38	0,10	2,3
101 (2011/2012)	0,28	1,8	0,45	0,52	0,65	0,05	0,25	0,11	1,1
102 (2002/2003)	0,00	1,5	0,08	0,15	0,60	0,02	0,05	0,00	0,68
102 (2006/2007)	0,54	4,3	0,04	0,21	0,85	0,00	0,04	0,02	0,92
102 (2011/2012)	0,02	4,1		0,19	0,82	0,01	0,00	0,01	0,84
103 (2002/2003)	1,7	2,9	0,25	0,31	0,53	0,19	0,69	0,03	1,4
103 (2006/2007)	1,4	3,9	0,45	0,57	1,00	0,01	0,00	0,00	1,0
103 (2011/2012)	0,46	1,8	0,16	0,22	0,24	0,02	0,03	0,01	0,29
104 (2002/2003)	0,03	2,6	0,12	0,23	1,9	0,02	1,2	0,05	3,2
104 (2006/2007)	0,06	2,8	1,6	1,8	2,1	0,01	2,8	0,03	4,9
104 (2011/2012)	0,30	2,1	2,3	2,4	0,54	0,06	6,7	3,4	11
105 (2002/2003)	0,00	1,6	0,76	0,83	0,52	0,02	0,15		0,69
105 (2006/2007)	0,06	1,7	1,1	1,1	0,30	0,03	0,45	0,07	0,85
105 (2011/2012)	0,26	1,4	0,22	0,27	0,39	0,02	1,2	0,07	1,7
106 (2002/2003)	0,00	2,2	0,34	0,44	0,99	1,1	1,5	0,00	3,6
106 (2006/2007)	0,03	2,1	0,75	0,85	0,74	0,95	2,0	0,04	3,7
106 (2011/2012)	0,08	2,6	0,50	0,62	2,5	0,62	6,4	0,10	9,6
107 (2002/2003)	0,01	2,9	0,39	0,52	0,91	0,10	0,00	0,01	1,0
107 (2006/2007)	0,06	4,4	0,14	0,35	1,7	0,10	0,03	0,08	1,9
107 (2011/2012)		2,9	1,1	1,3	1,1	0,05	0,71	0,10	1,9
108 (2002/2003)	0,00	2,5		0,11	2,5	0,02	0,00	0,00	2,5
108 (2006/2007)	0,04	2,3	0,00	0,10	0,76	0,02	0,00	0,02	0,81
108 (2011/2012)	0,16	1,7	0,00	0,07	0,63	0,09	0,12	0,02	0,85

Tabelle A-10: Einzelergebnisse an den Messpunkten 109 – 120

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
109 (2002/2003)	0,00	2,4		0,11	0,50	0,46	0,36		1,3
109 (2006/2007)	0,06	3,9	0,93	1,1	0,72	0,02	3,4	0,00	4,1
109 (2011/2012)	0,00	1,8	0,52	0,60	0,41	0,02	37	0,02	37
110 (2002/2003)	0,33	4,6	0,37	0,56	4,5	0,02	0,02		4,5
110 (2006/2007)	0,07	2,3	0,47	0,58	0,51	0,01	0,07	0,00	0,58
110 (2011/2012)	1,3	3,8	0,58	0,70	1,9	0,04	0,36	0,02	2,3
111 (2002/2003)	0,02	4,4	4,5	4,7	7,4	0,75	1,3	0,06	9,5
111 (2006/2007)	0,09	3,5	3,3	3,4	14	1,9	1,5	0,08	18
111 (2011/2012)	0,09	3,3	4,3	4,4	9,5	0,58	2,7	0,88	14
112 (2002/2003)	0,09	4,2	0,24	0,42	13	6,7	4,7	0,01	24
112 (2006/2007)	0,05	3,6	1,4	1,6	11	2,9	13	0,02	27
112 (2011/2012)	0,01	3,0	1,5	1,6	17	2,1	6,7	0,29	26
113 (2002/2003)	0,07	4,7	2,8	3,0	30	7,2	5,7	0,08	43
113 (2006/2007)	0,04	3,6	6,6	6,8	27	1,1	4,4	0,02	33
113 (2011/2012)	0,04	3,5	7,7	7,9	56	20	11	2,3	89
114 (2002/2003)	0,11	2,8	0,24	0,36	7,8	0,48	0,35	1,2	9,9
114 (2006/2007)	0,00	3,3	0,06	0,21	2,2	0,49	7,3	0,06	10
114 (2011/2012)	0,33	3,4	0,58	0,72	1,8	0,20	0,45	0,13	2,5
115 (2002/2003)	0,00	2,5	0,25	0,37	59	0,12	2,3	0,03	61
115 (2006/2007)	0,00	2,8	2,0	2,2	66	0,13	2,0	0,02	68
115 (2011/2012)	0,02	1,9	2,1	2,2	50	1,6	1,1	6,7	59
116 (2002/2003)	0,04	4,1		0,19	14	2,9	18	0,00	35
116 (2006/2007)	0,30	3,6	0,69	0,84	15	1,3	8,6	0,06	25
116 (2011/2012)	0,06	2,6	0,44	0,55	23	1,1	6,3	4,0	35
117 (2002/2003)	0,00	3,9	1,1	1,3	16	0,13	93	0,04	109
117 (2006/2007)	0,04	3,7	3,5	3,7	25	0,10	48	0,03	73
117 (2011/2012)	0,01	2,8		0,13	22	2,9	86	1,8	112
118 (2002/2003)	0,21	4,6		0,20	19	0,70	0,01	0,01	20
118 (2006/2007)	0,28	4,6	0,66	0,86	15	0,32	0,08	0,03	15
118 (2011/2012)	0,23	3,0	1,4	1,5	17	2,3	0,06	1,8	21
119 (2002/2003)	0,00	6,0	1,6	1,8	13	0,21	0,99	0,01	14
119 (2006/2007)	0,06	3,9	0,89	1,1	6,5	0,42	81	0,50	89
119 (2011/2012)	0,00	3,7	1,4	1,6	4,6	0,32	2640	0,49	2645
120 (2002/2003)	0,02	3,3	2,9	3,0	3,7	0,34	2,1	0,00	6,2
120 (2006/2007)	0,12	3,6	2,4	2,6	2,5	0,59	1,5	0,03	4,6
120 (2011/2012)	0,10	3,3	0,97	1,1	3,9	0,93	12	0,13	16

Tabelle A-11: Einzelergebnisse an den Messpunkten 121 – 132

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
121 (2002/2003)	0,03	1,4	2,1	2,2	2,0	0,67	13	0,00	16
121 (2006/2007)	0,07	2,2	2,1	2,2	1,2	0,22	13	0,00	15
121 (2011/2012)	0,04	1,6	2,8	2,9	0,49	0,04	6,6	0,03	7,1
122 (2002/2003)	0,00	4,8	3,5	3,7	6,2	0,36	1,7	0,00	8,3
122 (2006/2007)	0,06	5,1	5,1	5,3	8,0	0,15	2,5	0,04	11
122 (2011/2012)	0,01	3,5		0,16	3,9	0,04	5,2	0,31	9,4
123 (2002/2003)	0,05	2,6	0,00	0,12	1,8	0,01	0,01	0,00	1,9
123 (2006/2007)	0,04	2,5	0,06	0,17	1,2	0,00	6,1	0,00	7,3
123 (2011/2012)	0,03	2,2	0,04	0,14	0,98	0,09	8,4	0,02	9,5
124 (2002/2003)	0,00	2,2		0,10	0,89	0,01	0,00		0,90
124 (2006/2007)	0,04	2,5	0,00	0,11	0,84	0,01	0,00	0,00	0,85
124 (2011/2012)	0,03	2,1	0,23	0,32	0,50	0,78	0,07	0,01	1,4
125 (2002/2003)	0,00	3,1		0,14	2,4	0,13	0,00		2,5
125 (2006/2007)	0,03	4,1	0,00	0,19	3,3	0,09	0,00	0,00	3,4
125 (2011/2012)	0,01	2,1	0,00	0,10	0,66	0,20	0,01	0,03	0,90
126 (2002/2003)	0,00	2,2	1,1	1,2	1,7	0,07	0,25	0,01	2,0
126 (2006/2007)	0,03	1,9	5,0	5,1	1,7	0,03	0,37	0,06	2,2
126 (2011/2012)	0,06	1,5	2,9	3,0	0,72	0,08	0,57	0,09	1,5
127 (2002/2003)	0,00	2,8		0,13	1,5	0,12	0,00	0,05	1,7
127 (2006/2007)	0,10	3,5	0,47	0,62	2,3	0,06	0,05	0,03	2,4
127 (2011/2012)	0,15	3,4	0,60	0,75	1,0	0,45	0,09	0,02	1,6
128 (2002/2003)	0,03	2,0	0,71	0,80	1,4	0,06	0,06	0,13	1,7
128 (2006/2007)	0,00	4,0	0,66	0,84	6,5	0,04	0,44	0,36	7,4
128 (2011/2012)	0,07	7,7	0,26	0,62	2,5	0,01	1,7	0,04	4,2
129 (2002/2003)	0,12	3,1		0,14	1,9	0,02	8,0	0,04	10,0
129 (2006/2007)	0,07	3,9	4,6	4,8	2,2	0,02	47	0,04	49
129 (2011/2012)	0,07	2,2	13	13	0,40	0,02	14	0,04	14
130 (2002/2003)	0,02	2,0	0,00	0,09	0,69	0,02	0,00	0,00	0,72
130 (2006/2007)	0,01	2,7	0,09	0,21	2,0	0,01	0,02	0,02	2,0
130 (2011/2012)	0,02	1,5	0,11	0,18	0,41	0,04	0,05	0,02	0,52
131 (2002/2003)	0,00	1,9		0,09	1,3	0,49	0,11	0,28	2,2
131 (2006/2007)	0,00	1,8	0,00	0,08	0,88	0,72	0,45	0,97	3,0
131 (2011/2012)	0,03	2,7	0,00	0,12	3,9	0,08	1,0	1,7	6,8
132 (2002/2003)	0,10	3,0	0,07	0,20	10	2,3	2,8	0,03	15
132 (2006/2007)	0,20	4,2	0,40	0,58	5,5	0,33	2,4	0,08	8,4
132 (2011/2012)	0,11	3,0	21	21	5,2	7,6	4,2	0,37	17

Tabelle A-12: Einzelergebnisse an den Messpunkten 133 – 144

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
133 (2002/2003)	0,05	2,9	6,8	6,9	1,6	0,40	0,00	0,01	2,0
133 (2006/2007)	0,05	2,8	5,1	5,3	1,2	0,55	0,11	0,00	1,9
133 (2011/2012)	0,05	2,1	3,3	3,4	0,71	0,35	0,62	0,04	1,7
134 (2002/2003)	0,15	2,6	0,75	0,86	1,3	0,37	0,05	0,00	1,7
134 (2006/2007)	0,16	2,8	1,4	1,5	1,4	3,7	0,25	0,00	5,3
134 (2011/2012)	0,10	1,9		0,08	0,49	4,3	1,0	0,03	5,8
135 (2002/2003)	0,23	3,6	0,77	0,92	3,6	0,14	5,6	0,55	9,9
135 (2006/2007)	1,3	4,2	1,2	1,4	1,5	0,23	9,1	0,04	11
135 (2011/2012)	0,10	1,9	4,8	4,9	0,91	0,10	4,5	0,01	5,6
136 (2002/2003)	0,42	2,3	0,28	0,36	0,51	0,27	5,8	0,01	6,6
136 (2006/2007)	0,17	2,5	0,34	0,45	0,70	0,84	4,5	0,04	6,1
136 (2011/2012)	0,13	2,0	0,23	0,31	0,56	2,0	7,6	0,08	10
137 (2002/2003)	0,05	3,1	3,0	3,2	0,95	0,04	0,67	0,09	1,7
137 (2006/2007)	0,02	3,0	4,4	4,6	2,1	0,05	2,9	0,24	5,2
137 (2011/2012)	0,13	1,8		0,08	0,20	0,03	2,6	0,11	3,0
138 (2002/2003)	0,07	2,7	5,1	5,2	0,93	0,20	0,72	0,02	1,9
138 (2006/2007)	0,00	2,7	6,8	6,9	1,4	0,34	1,1	0,10	3,0
138 (2011/2012)	0,00	1,7	6,0	6,1	0,22	0,05	2,8	0,05	3,2
139 (2002/2003)	0,00	3,1	3,8	3,9	1,2	0,04	3,6	0,00	4,9
139 (2006/2007)	1,0	4,3	5,6	5,7	1,9	0,04	5,4	0,01	7,3
139 (2011/2012)	0,43	2,4	3,7	3,8	0,46	0,04	8,4	0,01	8,9
140 (2002/2003)	0,06	3,5	0,36	0,52	3,8	1,1	0,00	0,00	4,9
140 (2006/2007)	0,09	6,2	0,44	0,72	5,4	0,37	0,12	0,02	5,9
140 (2011/2012)	0,00	3,1	2,4	2,5	2,1	0,65	0,19	0,04	3,0
141 (2002/2003)	0,86	3,9	0,00	0,14	2,1	0,14	0,36	0,21	2,9
141 (2006/2007)	0,24	3,0	0,05	0,17	1,2	0,13	0,23	0,00	1,5
141 (2011/2012)	0,16	2,3	0,07	0,17	0,62	0,45	0,52	0,02	1,6
142 (2002/2003)	0,60	4,9	22	23	5,4	0,55	0,01	0,00	5,9
142 (2006/2007)	0,02	3,4	0,42	0,58	2,8	0,32	0,69	0,01	3,8
142 (2011/2012)	0,11	2,5	0,51	0,62	1,5	0,99	0,55	0,08	3,1
143 (2002/2003)	0,00	2,0	0,96	1,1	3,1	0,16	0,51	0,00	3,7
143 (2006/2007)	0,00	1,8	1,1	1,2	1,9	0,24	1,1	0,01	3,2
143 (2011/2012)	0,00	1,1	1,2	1,2	1,0	0,12	2,8	0,18	4,2
144 (2002/2003)	0,08	2,9	6,4	6,6	3,1	0,04	0,00	0,00	3,2
144 (2006/2007)	0,00	1,7	2,1	2,1	0,97	0,03	0,00	0,01	1,0
144 (2011/2012)	0,08	5,8	2,7	2,9	4,2	0,01	0,01	0,01	4,2

Tabelle A-13: Einzelergebnisse an den Messpunkten 145 – 156

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
145 (2002/2003)	0,03	1,9	7,7	7,8	0,32	0,05	0,19		0,56
145 (2006/2007)	0,38	5,5	3,3	3,5	3,5	0,05	0,23	0,01	3,8
145 (2011/2012)	0,03	2,1	2,5	2,6	0,55	0,02	0,83	0,01	1,4
146 (2002/2003)	0,05	2,4		0,11	0,69	0,04	0,91	0,00	1,6
146 (2006/2007)	0,00	3,0	1,2	1,3	2,6	0,05	0,63	0,01	3,3
146 (2011/2012)	0,11	2,3	4,2	4,3	0,56	0,15	2,7	0,14	3,6
147 (2002/2003)	0,03	2,4	0,01	0,12	1,8	0,08	0,17	0,00	2,1
147 (2006/2007)	0,08	2,7	0,00	0,12	0,72	0,06	0,24	0,01	1,0
147 (2011/2012)	0,09	2,1	0,00	0,09	0,21	0,01	0,37	0,02	0,61
148 (2002/2003)	0,12	3,8	0,87	1,0	7,4	1,2	0,09	0,03	8,6
148 (2006/2007)	0,06	4,2	14	14	8,5	1,1	0,67	0,04	10
148 (2011/2012)	0,06	3,6	9,5	9,7	4,0	1,3	1,0	0,34	6,7
149 (2002/2003)	0,18	2,5	0,51	0,62	1,5	1,1	1,9		4,6
149 (2006/2007)	0,03	2,6	0,56	0,67	1,6	0,19	1,5	0,31	3,6
149 (2011/2012)	0,03	2,1	1,2	1,3	1,3	0,19	7,3	0,28	9,0
150 (2002/2003)	0,03	3,8	0,00	0,17	4,3	0,08	0,00		4,3
150 (2006/2007)	0,00	2,3	0,00	0,11	1,4	0,05	0,00	0,00	1,5
150 (2011/2012)	0,04	2,2	0,00	0,10	0,87	0,04	0,05	0,03	0,99
151 (2002/2003)	0,40	2,5	0,90	0,99	0,49	1,3	0,21	0,04	2,0
151 (2006/2007)	0,00	3,1	1,2	1,4	1,6	0,07	0,29	0,01	1,9
151 (2011/2012)	0,00	1,7	43	43	0,20	0,03	0,63	0,02	0,88
152 (2002/2003)	0,04	3,5	0,15	0,31	3,9	0,02	0,03		4,0
152 (2006/2007)	0,01	2,7	0,08	0,20	0,95	0,08	0,14	0,07	1,2
152 (2011/2012)	0,04	1,6	153	154	0,32	0,16	0,87	0,02	1,4
153 (2002/2003)	0,09	1,6	0,26	0,33	0,49	0,01	0,80	0,00	1,3
153 (2006/2007)	0,12	2,4	1,4	1,5	0,81	0,07	1,0	0,12	2,0
153 (2011/2012)	0,15	1,9	0,50	0,58	0,79	0,14	1,7	0,02	2,6
154 (2002/2003)	0,00	1,9	1,7	1,8	1,4	0,04	0,00		1,4
154 (2006/2007)	0,01	2,0	1,4	1,5	0,93	0,17	0,01	0,11	1,2
154 (2011/2012)	0,04	1,1	1,6	1,6	0,47	0,14	0,14	0,09	0,83
155 (2002/2003)	0,83	3,7	7,0	7,1	11	0,01	198	34	243
155 (2006/2007)	0,30	2,3	2,6	2,7	58	0,02	495	90	643
155 (2011/2012)	0,28	1,8	2,9	3,0	62	0,14	915	69	1046
156 (2002/2003)	0,00	1,7	3,0	3,1	0,81	0,01	0,00		0,82
156 (2006/2007)	0,00	1,7	2,6	2,7	0,60	0,03	0,01	0,01	0,65
156 (2011/2012)	0,02	6,1	5,5	5,7	5,0	0,02	0,10	0,02	5,2

Tabelle A-14: Einzelergebnisse an den Messpunkten 157 – 168

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
157 (2002/2003)	0,00	2,1	3,0	3,1	1,8	0,08	7,8	0,00	9,7
157 (2006/2007)	0,00	2,4	1,1	1,2	2,1	0,08	5,1	0,01	7,3
157 (2011/2012)	0,00	4,5	0,58	0,79	1,8	0,03	7,6	0,05	9,5
158 (2002/2003)	0,54	2,8	16	16	4,4	0,87	21	0,01	27
158 (2006/2007)	0,58	2,8	8,6	8,7	2,3	0,42	30	0,06	33
158 (2011/2012)	1,4	7,6	11	11	2,2	0,05	100	0,08	102
159 (2002/2003)	0,07	4,4	0,87	1,1	7,7	0,31	0,52	0,01	8,6
159 (2006/2007)	0,04	1,9	3,3	3,4	2,8	0,40	0,76	0,02	4,0
159 (2011/2012)	0,00	5,4	11	11	2,4	0,04	0,40	0,06	2,9
160 (2002/2003)	0,05	4,3	0,22	0,42	9,8	0,62	0,06	0,01	10
160 (2006/2007)	0,01	2,3	0,21	0,32	2,5	0,04	0,19	0,03	2,8
160 (2011/2012)	0,02	2,2	0,14	0,24	2,9	0,04	0,84	0,04	3,8
161 (2002/2003)	0,03	2,5	1,5	1,6	1,1	1,6	4,6	0,00	7,2
161 (2006/2007)	0,06	2,8	1,0	1,2	0,60	0,57	2,5	0,02	3,6
161 (2011/2012)	0,24	2,6	0,97	1,1	0,75	0,52	2,6	0,02	3,9
162 (2002/2003)	0,05	3,2	0,51	0,66	1,5	0,07	0,04	0,01	1,6
162 (2006/2007)	0,04	2,7	1,1	1,2	1,3	0,25	0,73	0,02	2,3
162 (2011/2012)	0,05	2,7	2,1	2,2	0,67	0,15	8,9	0,03	9,8
163 (2002/2003)	0,14	3,9	0,16	0,33	1,0	1,0	1,3	0,29	3,6
163 (2006/2007)	0,06	2,7	0,98	1,1	1,0	0,58	1,3	0,38	3,3
163 (2011/2012)	0,04	2,2		0,10	0,80	0,43	3,3	0,91	5,4
164 (2002/2003)	0,00	2,3	1,8	1,9	4,5	0,02	3,7	0,00	8,2
164 (2006/2007)	0,00	2,2	2,1	2,2	0,50	0,00	4,8	0,00	5,3
164 (2011/2012)	3,4	6,0	1,7	1,8	1,2	0,11	19	0,02	20
165 (2002/2003)	0,01	4,1		0,19	6,8	0,14	2,9	0,01	9,9
165 (2006/2007)	0,05	3,7	1,2	1,4	7,8	0,06	7,2	0,02	15
165 (2011/2012)	0,03	2,0	0,86	0,95	3,4	0,03	17	0,03	20
166 (2002/2003)	0,02	3,2	0,11	0,26	3,1	1,7	0,94	0,00	5,8
166 (2006/2007)	0,00	3,3	0,12	0,27	2,8	0,32	1,7	0,01	4,9
166 (2011/2012)	0,00	2,1		0,10	1,7	0,15	4,3	0,02	6,2
167 (2002/2003)	0,81	4,3	0,30	0,46	1,5	0,09	4,5	0,04	6,2
167 (2006/2007)	0,06	2,8	3,7	3,8	0,72	0,01	3,3	0,03	4,1
167 (2011/2012)	0,07	2,5	3,1	3,2	0,36	0,02	8,4	0,24	9,0
168 (2002/2003)	0,03	3,3		0,15	2,1	0,01	0,27	0,00	2,4
168 (2006/2007)	0,05	3,4	0,99	1,1	1,7	0,01	0,41	0,04	2,2
168 (2011/2012)	0,01	1,7	2,1	2,2	0,27	0,02	1,3	0,05	1,7

Tabelle A-15: Einzelergebnisse an den Messpunkten 169 – 180

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
169 (2002/2003)		2,2	2,2	2,3	2,0	0,05	2,5	0,00	4,5
169 (2006/2007)	0,04	3,0	0,94	1,1	3,1	0,10	1,3	0,04	4,6
169 (2011/2012)	0,01	1,7	1,5	1,6	0,68	0,03	1,9	0,10	2,8
170 (2002/2003)	0,00	3,2		0,15	1,5	0,03	1,3	0,00	2,8
170 (2006/2007)	0,02	2,4	1,5	1,6	0,56	0,02	2,9	0,02	3,5
170 (2011/2012)	0,00	2,5	1,1	1,2	0,40	0,02	3,5	0,06	4,0
171 (2002/2003)	0,00	2,8	0,85	0,98	1,2	0,19	63	0,23	65
171 (2006/2007)	0,00	3,1	5,4	5,6	2,7	15	90	0,26	107
171 (2011/2012)	0,00	2,1	4,7	4,8	34	8,6	105	5,2	152
172 (2002/2003)	0,00	2,9	1,8	1,9	1,1	0,10	3,3	0,01	4,5
172 (2006/2007)	0,03	3,6	0,63	0,80	1,8	3,3	5,3	0,02	10
172 (2011/2012)	0,03	2,7	5,6	5,8	5,4	4,0	8,4	0,07	18
173 (2002/2003)	0,00	3,2		0,15	1,5	0,09	1,7	0,01	3,2
173 (2006/2007)	0,00	3,3	4,8	5,0	1,8	1,4	2,0	0,05	5,3
173 (2011/2012)	0,12	2,3	0,66	0,76	2,0	0,71	5,7	0,05	8,4
174 (2002/2003)	0,00	2,5	3,1	3,2	0,94	0,22	51	0,08	52
174 (2006/2007)	0,03	3,8	2,2	2,4	1,7	3,7	14	0,05	20
174 (2011/2012)	0,02	2,3	2,1	2,2	5,5	4,1	26	0,05	36
175 (2002/2003)	0,00	4,7		0,22	4,1	0,07	2,6	0,01	6,9
175 (2006/2007)	0,00	3,2	0,52	0,66	2,6	3,3	2,7	0,04	8,7
175 (2011/2012)	0,15	4,0	0,62	0,80	5,2	2,6	3,6	0,40	12
176 (2002/2003)	0,00	0,69	1,2	1,3	7,3	0,70	2,4	0,03	10
176 (2006/2007)	0,00	0,93	1,6	1,6	11	0,33	3,7	0,16	15
176 (2011/2012)	0,00	2,0	0,90	0,99	8,7	9,8	5,6	1,1	25
177 (2002/2003)	0,21	5,8	0,67	0,92	2,9	0,11	8,9	0,11	12
177 (2006/2007)	0,08	1,2	1,3	1,3	0,49	0,06	9,2	0,08	9,8
177 (2011/2012)	0,13	0,34	0,74	0,75	0,49	0,31	9,3	0,48	11
178 (2002/2003)	0,00	4,0	0,34	0,53	4,1	0,06	0,00	0,00	4,1
178 (2006/2007)	0,08	3,8	0,30	0,47	1,9	0,05	0,68	0,04	2,7
178 (2011/2012)	0,00	2,9		0,13	1,3	0,03	0,55	0,01	1,9
179 (2002/2003)	0,03	3,0	0,53	0,67	1,4	0,65	4,3	1,7	8,0
179 (2006/2007)	0,01	2,5	5,2	5,3	0,45	0,00	14	2,3	17
179 (2011/2012)	0,03	1,8	17	17	0,23	0,00	5,5	7,0	13
180 (2002/2003)	0,00	2,9	0,49	0,63	1,4	0,19	0,37	0,43	2,4
180 (2006/2007)	0,09	2,4	1,1	1,2	0,44	0,00	4,6	1,0	6,0
180 (2011/2012)	0,15	2,6	1,5	1,6	0,19	0,02	8,1	0,46	8,7

Tabelle A-16: Einzelergebnisse an den Messpunkten 181 – 192

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
181 (2002/2003)	0,04	3,1	1,0	1,2	1,8	0,05	1,0	0,03	2,9
181 (2006/2007)	0,10	2,5	1,2	1,4	1,1	0,02	0,54	0,01	1,7
181 (2011/2012)	0,08	2,3	6,7	6,8	0,46	0,03	2,2	0,02	2,7
182 (2002/2003)	0,09	4,2	0,00	0,19	4,3	1,5	0,00	0,01	5,9
182 (2006/2007)	0,07	4,2	0,00	0,19	2,8	0,08	0,00	0,03	2,9
182 (2011/2012)	0,05	4,2	0,16	0,35	0,38	0,05	0,02	0,02	0,47
183 (2002/2003)	0,00	2,8	0,90	1,0	0,82	0,02	84	0,01	85
183 (2006/2007)	0,02	2,6	0,57	0,68	1,0	0,12	108	0,01	109
183 (2011/2012)	0,04	2,5	0,82	0,94	1,3	0,26	504	0,39	506
184 (2002/2003)	0,00	2,4	0,00	0,11	3,9	0,06	0,02		4,0
184 (2006/2007)	0,01	3,4	0,02	0,18	4,0	0,05	0,03	0,53	4,6
184 (2011/2012)	0,02	1,3	0,00	0,06	1,5	0,14	0,11	0,13	1,9
185 (2002/2003)	0,09	3,3		0,15	2,1	0,07	0,18	0,00	2,3
185 (2006/2007)	0,07	2,0	0,51	0,60	0,56	0,03	0,25	0,01	0,85
185 (2011/2012)	0,09	1,5	7,1	7,1	0,06	0,06	18	0,01	19
186 (2002/2003)	0,94	3,2	0,00	0,10	0,43	0,23	1,6	0,00	2,3
186 (2006/2007)	0,19	2,8	0,15	0,27	0,43	0,06	1,8	0,01	2,3
186 (2011/2012)	0,16	2,9	0,06	0,18	1,6	0,03	3,6	0,02	5,2
187 (2002/2003)	0,00	3,5		0,16	1,6	0,24	0,54	0,01	2,4
187 (2006/2007)	0,27	3,3	3,5	3,7	0,74	0,03	1,2	0,07	2,0
187 (2011/2012)	1,1	5,4	4,8	5,0	2,0	0,03	2,3	0,16	4,5
188 (2002/2003)	0,00	4,2		0,19	1,9	0,05	7,9	0,16	9,9
188 (2006/2007)	0,10	3,3	3,8	4,0	0,70	0,02	35	0,10	35
188 (2011/2012)	0,05	3,5	1,6	1,8	1,2	0,02	40	0,24	41
189 (2002/2003)	0,41	4,5		0,19	2,1	0,03	0,12	0,00	2,2
189 (2006/2007)	0,33	3,4	1,2	1,3	1,3	0,01	0,61	0,01	2,0
189 (2011/2012)	0,14	2,7	0,16	0,28	0,79	0,03	0,88	0,01	1,7
190 (2002/2003)	0,00	2,6		0,12	1,2	0,01	0,00	0,02	1,2
190 (2006/2007)	0,05	2,2	0,36	0,46	1,2	0,08	0,01	0,05	1,3
190 (2011/2012)	0,19	2,1	0,79	0,87	1,1	0,13	0,07	14	16
191 (2002/2003)	1,9	5,3		0,16	1,4	0,19	0,16	0,02	1,8
191 (2006/2007)	5,2	9,4	2,3	2,5	4,5	0,03	0,35	0,03	4,9
191 (2011/2012)	1,3	3,8	0,87	0,98	0,64	0,04	0,61	0,06	1,4
192 (2002/2003)	0,05	2,6	0,10	0,22	0,28	0,01	1,8	0,13	2,2
192 (2006/2007)	0,19	3,5	0,57	0,72	0,68	0,00	2,1	0,08	2,9
192 (2011/2012)	0,02	2,6	0,21	0,33	0,42	0,03	3,5	0,04	4,0

Tabelle A-17: Einzelergebnisse an den Messpunkten 193 – 204

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
193 (2002/2003)	0,00	2,9	0,47	0,61	1,1	3,6	0,23	0,03	5,0
193 (2006/2007)	0,01	3,6	0,66	0,82	2,1	2,0	0,86	0,09	5,0
193 (2011/2012)	0,01	1,9	0,46	0,55	0,19	0,82	1,4	0,01	2,4
194 (2002/2003)	0,01	2,4	0,50	0,61	0,75	0,63	0,24	0,01	1,6
194 (2006/2007)	0,01	3,0	0,95	1,1	1,4	0,49	1,8	0,11	3,7
194 (2011/2012)	0,04	1,9	1,6	1,7	0,10	0,10	2,0	0,04	2,2
195 (2002/2003)	0,12	2,1		0,09	0,53	1,3	0,45	0,05	2,3
195 (2006/2007)	0,05	2,6	0,09	0,21	0,43	0,22	3,7	0,03	4,4
195 (2011/2012)		1,8		0,08	0,20	0,17	16	0,03	16
196 (2002/2003)	0,03	3,5	4,2	4,3	2,9	0,04	0,74	0,01	3,7
196 (2006/2007)	0,11	2,7	0,84	0,96	1,3	0,03	2,2	0,02	3,6
196 (2011/2012)	0,08	1,8	3,2	3,3	0,79	0,02	1,6	0,45	2,9
197 (2002/2003)	0,08	3,6	1,1	1,3	2,4	0,42	0,01	0,00	2,8
197 (2006/2007)	0,00	2,2	0,74	0,84	0,82	0,26	1,8	0,04	2,9
197 (2011/2012)	0,13	2,1		0,09	0,18	0,13	6,9	0,02	7,2
198 (2002/2003)	0,00	4,2	0,62	0,81	3,6	0,27	2,0	0,00	5,9
198 (2006/2007)	0,11	3,0	0,35	0,49	1,5	0,55	3,8	0,08	6,0
198 (2011/2012)	0,09	2,0	0,90	0,99	0,96	0,09	3,7	0,03	4,7
199 (2002/2003)	0,03	2,8	0,04	0,16	2,2	0,14	0,55	0,01	2,9
199 (2006/2007)	0,00	1,9	0,20	0,29	0,74	0,17	2,4	0,03	3,4
199 (2011/2012)	0,05	1,6	0,29	0,37	0,19	0,16	2,0	0,04	2,4
200 (2002/2003)	0,03	3,0	0,22	0,35	0,69	3,5	0,07	0,13	4,4
200 (2006/2007)	0,09	4,2	4,7	4,9	9,1	22	63	0,42	94
200 (2011/2012)	0,07	1,4	1,4	1,4	0,29	1,3	0,12	0,37	2,1
201 (2002/2003)	0,03	3,8	0,55	0,73	5,3	0,07	10	0,02	16
201 (2006/2007)	0,02	3,2	0,61	0,76	3,5	0,04	12	0,01	15
201 (2011/2012)	0,05	2,1	0,34	0,43	1,1	0,03	15	0,05	16
202 (2002/2003)	0,70	2,7	1,5	1,6	4,2	0,27	0,43	0,02	4,9
202 (2006/2007)	0,08	2,5	1,6	1,7	3,2	0,29	2,1	0,03	5,6
202 (2011/2012)	0,11	5,0	9,9	10	0,64	0,03	3,5	0,03	4,2
203 (2002/2003)	0,66	3,2	3,2	3,3	0,85	0,01	0,05	0,02	0,93
203 (2006/2007)	1,8	4,8	3,0	3,2	2,0	0,01	0,46	0,05	2,5
203 (2011/2012)	0,68	2,5		0,08	0,13	0,01	3,0	0,02	3,1
204 (2002/2003)	0,00	3,0	2,9	3,0	1,4	0,03	0,16	0,03	1,7
204 (2006/2007)	0,16	4,9	6,0	6,3	2,8	0,24	0,34	0,08	3,4
204 (2011/2012)	0,12	2,1	1,8	1,9	0,34	0,20	0,95	0,04	1,5

Tabelle A-18: Einzelergbnisse an den Messpunkten 205 – 216

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
205 (2002/2003)	0,00	2,2	4,0	4,1	6,1	11	2,2	0,08	19
205 (2006/2007)	0,00	2,7	4,7	4,8	7,9	4,5	5,1	0,02	18
205 (2011/2012)	0,00	1,2	2,7	2,7	3,5	5,6	5,7	0,96	16
206 (2002/2003)	0,02	2,0	1,6	1,7	11	2,3	1,00	0,03	14
206 (2006/2007)	0,00	2,4	1,5	1,7	11	4,7	3,4	0,02	19
206 (2011/2012)	0,05	1,6	1,6	1,6	3,5	1,5	156	0,43	162
207 (2002/2003)	0,00	1,9	0,73	0,82	2,3	0,06	0,26	0,00	2,7
207 (2006/2007)	0,00	1,7	0,38	0,46	1,2	0,05	0,44	0,03	1,8
207 (2011/2012)	0,05	6,2	0,68	0,96	1,9	0,01	1,2	0,02	3,1
208 (2002/2003)	0,00	3,6	0,00	0,16	3,1	0,87	1,4	0,00	5,3
208 (2006/2007)	0,12	3,7	0,00	0,16	3,3	6,0	4,3	0,03	14
208 (2011/2012)	0,25	2,9	0,00	0,12	1,2	21	3,7	0,09	26
209 (2002/2003)	0,13	1,9	2,0	2,1	0,78	0,03	2,5	0,01	3,3
209 (2006/2007)	0,00	1,7	1,4	1,5	0,79	0,02	7,9	0,01	8,7
209 (2011/2012)	0,37	1,8	1,5	1,5	0,39	0,03	130	0,01	131
210 (2002/2003)	0,10	2,8	0,82	0,95	1,7	0,02	6,8	0,00	8,5
210 (2006/2007)	0,08	3,6	1,1	1,3	3,3	0,03	44	0,04	47
210 (2011/2012)	0,10	2,8	0,79	0,92	1,2	0,03	116	0,14	118
211 (2002/2003)	0,08	3,4	0,60	0,75	1,9	0,01	2,9	0,06	4,8
211 (2006/2007)	0,07	2,9	0,63	0,76	1,5	0,01	3,1	0,04	4,6
211 (2011/2012)	0,03	2,6		0,12	1,1	0,03	5,8	0,02	7,0
212 (2002/2003)	0,03	4,5	0,61	0,82	6,0	0,05	1,7	0,01	7,8
212 (2006/2007)	0,49	6,9	1,3	1,6	8,7	0,05	2,4	0,02	11
212 (2011/2012)	0,03	3,6	0,84	1,0	3,6	0,07	6,3	0,17	10
213 (2002/2003)	0,00	3,8	2,3	2,5	11	1,1	10	0,10	22
213 (2006/2007)	0,01	1,8	1,9	2,0	10	0,08	6,8	0,36	17
213 (2011/2012)	0,05	6,1	1,4	1,7	1,4	0,02	7,0	0,05	8,5
214 (2002/2003)	0,10	1,9	0,60	0,68	1,9	0,64	0,33	0,08	2,9
214 (2006/2007)	0,15	2,0	1,6	1,7	0,79	2,1	3,1	0,43	6,5
214 (2011/2012)	0,07	5,3	1,4	1,7	1,1	0,05	2,2	0,05	3,4
215 (2002/2003)	0,06	3,0	0,33	0,46	8,4	0,82	5,0	0,36	15
215 (2006/2007)	0,20	1,8	1,0	1,1	2,5	4,5	1,6	0,02	8,6
215 (2011/2012)	0,11	5,8	7,9	8,2	1,4	0,67	1,7	0,01	3,8
216 (2002/2003)	0,00	3,3	4,0	4,1	3,9	0,02	2,6	0,01	6,5
216 (2006/2007)	0,16	5,2	5,9	6,2	5,7	0,03	5,1	0,01	11
216 (2011/2012)	0,02	1,7	0,21	0,28	0,42	0,03	6,0	0,02	6,4

Tabelle A-19: Einzelergebnisse an den Messpunkten 217 – 228

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
217 (2002/2003)	0,00	3,9	0,98	1,2	1,9	0,05	0,94	0,00	2,9
217 (2006/2007)	0,06	3,4	1,2	1,4	1,1	0,05	1,4	0,04	2,6
217 (2011/2012)	0,00	6,3	0,84	1,1	1,8	0,09	0,40	0,02	2,3
218 (2002/2003)	0,06	3,5	0,15	0,31	2,0	0,03	0,47	0,01	2,5
218 (2006/2007)	0,26	2,7	0,15	0,26	1,1	0,05	1,3	0,04	2,5
218 (2011/2012)	0,06	2,5	0,59	0,70	1,1	0,11	1,7	0,45	3,4
219 (2002/2003)	0,27	3,6	0,35	0,51	1,6	0,11	2,9	0,01	4,6
219 (2006/2007)	0,98	3,9	0,35	0,48	1,6	1,3	1,4	0,03	4,4
219 (2011/2012)	0,27	2,6	0,24	0,35	1,2	0,73	8,1	0,50	11
220 (2002/2003)	0,00	1,7	0,08	0,16	0,92	0,03	0,03	0,00	0,98
220 (2006/2007)	0,00	2,2	0,05	0,15	1,0	0,00	0,03	0,05	1,1
220 (2011/2012)	0,06	1,5	0,00	0,07	0,46	0,03	0,11	0,07	0,67
221 (2002/2003)	0,00	5,8		0,27	2,4	0,06	1,4	0,01	3,9
221 (2006/2007)	0,14	5,7	0,96	1,2	1,7	0,03	1,5	0,05	3,3
221 (2011/2012)	0,19	4,9		0,22	1,1	0,02	2,6	0,08	3,8
222 (2002/2003)	0,04	5,0	11	12	3,4	0,07	5,0	0,05	8,6
222 (2006/2007)	0,35	4,6	7,5	7,7	1,5	0,04	13	0,01	14
222 (2011/2012)	0,31	3,7	10	10	0,53	0,07	23	0,01	23
223 (2002/2003)	0,00	28	3,8	5,1	39	0,10	0,81	0,05	40
223 (2006/2007)	0,18	20	11	12	19	0,07	1,1	0,07	21
223 (2011/2012)	0,19	19	2,1	3,0	7,4	0,10	2,2	0,15	9,9
224 (2002/2003)	0,63	27		1,2	37	0,12	0,79	0,01	38
224 (2006/2007)	21	41	12	13	19	0,04	1,5	0,07	21
224 (2011/2012)	2,8	16	7,6	8,2	5,1	0,14	191	0,13	196
225 (2002/2003)	0,03	8,7	0,16	0,56	21	0,28	0,00		21
225 (2006/2007)	0,16	10	0,29	0,74	33	0,12	0,01	0,01	33
225 (2011/2012)	0,07	5,8	0,44	0,71	11	0,34	0,04	0,10	11
226 (2002/2003)	0,00	2,9	1,3	1,5	37	0,06	2,2	0,02	40
226 (2006/2007)	0,03	3,2	2,0	2,2	19	0,09	1,6	0,01	21
226 (2011/2012)	0,00	2,3	0,26	0,36	15	0,23	1,6	1,8	19
227 (2002/2003)	0,00	10	2,1	2,6	6,2	1,1	2,2	0,00	9,5
227 (2006/2007)	0,62	11	1,6	2,1	8,1	0,17	2,7	0,04	11
227 (2011/2012)	0,04	14	2,6	3,2	5,0	1,2	4,2	0,16	11
228 (2002/2003)	0,00	10		0,47	50	2,0	65	0,22	117
228 (2006/2007)	0,41	12	3,5	4,0	56	1,8	99	0,15	156
228 (2011/2012)	0,00	13	1,1	1,7	27	1,6	265	2,1	296

Tabelle A-20: Einzelergebnisse an den Messpunkten 229 – 240

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
229 (2002/2003)	0,00	3,5		0,16	1,2	0,01	4,4	0,00	5,6
229 (2006/2007)	0,00	4,4	0,24	0,44	2,0	0,00	7,5	0,00	9,6
229 (2011/2012)	0,00	2,1	0,04	0,13	0,14	0,03	6,8	0,00	7,0
230 (2002/2003)	0,01	3,7		0,17	1,3	0,11	0,07	0,03	1,5
230 (2006/2007)		4,0	1,6	1,8	0,90	0,01	0,19	0,03	1,1
230 (2011/2012)	0,02	7,6	2,0	2,3	2,2	0,00	0,22	0,02	2,4
231 (2002/2003)	1,6	4,4	1,5	1,7	0,55	0,14	7,5	0,00	8,2
231 (2006/2007)		3,3	0,98	1,1	2,5	0,02	208	0,02	210
231 (2011/2012)	10	17		0,32	1,8	0,00	1220	0,02	1222
232 (2002/2003)	0,00	11	1,4	1,9	5,1	0,96	0,40	0,06	6,5
232 (2006/2007)	0,01	8,8	1,4	1,8	3,0	0,36	2,3	0,04	5,7
232 (2011/2012)	0,00	6,8	1,3	1,6	1,8	0,03	5,0	0,03	7,0
233 (2002/2003)	0,40	14	7,0	7,6	17	1,5	0,16	0,70	19
233 (2006/2007)	3,5	18	13	14	18	0,86	0,43	0,38	20
233 (2011/2012)	0,38	16	4,8	5,5	8,7	0,85	1,0	0,43	11
234 (2002/2003)	2,7	20	4,7	5,5	17	0,99	124	0,15	142
234 (2006/2007)	9,2	27	4,7	5,5	16	0,90	181	0,11	197
234 (2011/2012)	0,59	14	1,2	1,8	9,6	0,93	262	0,18	273
235 (2002/2003)	0,12	4,6		0,21	1,1	2,6	0,22	0,00	3,9
235 (2006/2007)	0,33	4,7	3,8	4,0	1,5	1,5	0,44	0,02	3,5
235 (2011/2012)	0,07	6,4		0,29	2,3	0,01	0,34	0,04	2,7
236 (2002/2003)	0,05	4,2	0,61	0,80	1,1	0,07	0,00	0,00	1,2
236 (2006/2007)	0,21	3,6	2,2	2,4	0,83	0,02	0,02	0,03	0,89
236 (2011/2012)	0,03	7,2	2,2	2,6	3,8	0,00	0,04	0,02	3,8
237 (2002/2003)	0,00	7,5		0,35	2,8	1,2	1,2	1,6	6,8
237 (2006/2007)	0,68	8,5	1,7	2,0	3,6	0,43	2,0	0,84	6,9
237 (2011/2012)	0,04	9,8	0,89	1,3	5,4	0,00	1,9	0,13	7,4
238 (2002/2003)	0,70	9,6	0,83	1,2	4,1	0,44	0,55	0,00	5,1
238 (2006/2007)	3,6	13	4,2	4,6	5,4	0,22	4,0	0,03	9,6
238 (2011/2012)	0,09	7,2	2,0	2,4	2,3	0,06	14	0,09	16
239 (2002/2003)	4,2	7,1		0,13	1,1	0,04	1,4	0,01	2,6
239 (2006/2007)	2,3	5,0	2,6	2,8	1,4	0,06	15	0,09	16
239 (2011/2012)	2,3	4,6	3,7	3,8	0,84	0,03	2385	0,21	2387
240 (2002/2003)	0,11	3,7	0,17	0,33	3,9	0,24	0,24	1,5	5,9
240 (2006/2007)	0,00	3,8	0,07	0,24	5,0	0,50	3,7	1,5	11
240 (2011/2012)	0,00	1,6	0,02	0,09	1,2	0,10	6,9	1,2	9,4

Tabelle A-21: Einzelergebnisse an den Messpunkten 241 – 252

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
241 (2002/2003)	0,04	3,2	0,70	0,85	2,6	13	4,0	0,15	20
241 (2006/2007)	0,04	2,8	1,3	1,4	2,5	11	6,1	0,40	20
241 (2011/2012)		2,0	0,89	0,98	1,3	18	11	0,24	30
242 (2002/2003)	0,03	2,1	6,3	6,4	2,1	0,10	0,79	0,04	3,0
242 (2006/2007)	0,01	4,7	7,5	7,7	2,0	0,03	0,34	0,01	2,4
242 (2011/2012)	0,00	3,6	8,3	8,5	4,2	0,02	0,51	0,01	4,8
243 (2002/2003)	0,00	2,7	5,0	5,1	1,2	0,32	145	0,07	146
243 (2006/2007)	0,00	3,5	2,8	3,0	0,67	0,11	390	0,09	391
243 (2011/2012)	0,06	2,2	1,5	1,6	0,63	0,06	680	0,10	681
244 (2002/2003)	0,00	4,1	0,07	0,26	2,6	2,0	5,6	0,00	10
244 (2006/2007)	0,03	4,9	0,20	0,43	3,0	1,1	1,8	0,05	5,9
244 (2011/2012)	0,04	7,8	0,08	0,43	4,8	0,28	9,1	0,02	14
245 (2002/2003)	0,00	4,8	0,07	0,29	4,8	0,14	0,00	0,00	5,0
245 (2006/2007)	0,00	4,2	0,36	0,55	1,5	0,08	0,04	0,00	1,6
245 (2011/2012)	0,13	2,4	0,13	0,24	0,46	0,11	0,11	0,02	0,70
246 (2002/2003)	0,41	7,0		0,30	9,3	32	57	0,06	98
246 (2006/2007)	0,13	5,9	3,4	3,6	4,0	5,8	412	0,09	422
246 (2011/2012)	0,62	8,6	2,3	2,6	2,8	0,13	208	0,06	211
247 (2002/2003)	4,4	9,7	6,1	6,3	7,8	2,6	4,0	6,0	20
247 (2006/2007)	4,1	9,1	2,7	2,9	3,9	2,5	7,4	4,1	18
247 (2011/2012)	19	28	4,9	5,3	3,6	0,09	10	0,04	14
248 (2002/2003)	3,4	11		0,36	4,5	0,96	0,57	0,03	6,0
248 (2006/2007)	16	25	1,7	2,1	6,4	0,25	3,8	0,03	10
248 (2011/2012)	5,8	16	46	46	2,9	0,02	26	0,03	29
249 (2002/2003)	0,03	4,2		0,19	1,0	0,05	4,5	0,01	5,6
249 (2006/2007)	0,25	4,7	5,2	5,4	1,6	0,01	3,4	0,01	5,1
249 (2011/2012)	0,48	8,5	3,7	4,0	5,5	0,01	17	0,24	22
250 (2002/2003)	0,00	3,9		0,18	1,5	0,01	0,07	0,00	1,5
250 (2006/2007)	0,03	2,4	5,9	6,0	1,0	0,00	0,04	0,00	1,1
250 (2011/2012)	0,05	2,3	6,9	7,0	0,58	0,02	0,20	0,03	0,82
251 (2002/2003)	0,00	3,6		0,17	3,2	0,12	11	0,03	15
251 (2006/2007)	0,00	3,5	1,1	1,3	2,5	0,23	4,7	0,09	7,5
251 (2011/2012)	0,09	2,1		0,09	2,2	0,54	4,2	0,18	7,1
252 (2002/2003)	0,00	2,5	0,30	0,41	0,66	0,09	4,8	0,00	5,5
252 (2006/2007)	0,36	4,4	0,26	0,45	3,5	0,09	4,2	0,01	7,7
252 (2011/2012)	0,03	2,1	0,12	0,22	0,24	0,01	15	0,03	15

Tabelle A-22: Einzelergebnisse an den Messpunkten 253 – 264

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
253 (2002/2003)	0,00	1,8	0,06	0,15	0,59	0,04	0,12	0,00	0,76
253 (2006/2007)	0,02	1,8	0,00	0,08	2,8	0,03	4,2	0,02	7,0
253 (2011/2012)	0,01	1,3	0,08	0,13	0,10	0,08	4,6	0,55	5,4
254 (2002/2003)	0,02	8,2	4,8	5,2	3,9	1,3	0,34	0,47	6,0
254 (2006/2007)	0,07	9,9	4,8	5,3	6,2	0,04	0,74	1,00	7,9
254 (2011/2012)	0,08	11	3,8	4,3	5,3	0,01	0,77	0,57	6,7
255 (2002/2003)	0,00	8,6	0,03	0,43	4,9	0,99	0,48	0,01	6,4
255 (2006/2007)	0,00	7,6	0,96	1,3	4,2	0,02	3,7	0,06	8,0
255 (2011/2012)	0,02	10	0,23	0,70	5,3	0,01	6,6	0,01	12
256 (2002/2003)	289	292	6,6	6,7	1,1	0,02	0,35	0,04	1,5
256 (2006/2007)	372	374	11	11	0,89	0,01	0,77	0,05	1,7
256 (2011/2012)	280	282	9,6	9,7	0,15	0,00	0,45	0,01	0,61
257 (2002/2003)	0,00	2,6		0,12	1,2	1,1	0,13	0,02	2,5
257 (2006/2007)	0,05	3,0	2,6	2,8	2,6	0,64	1,2	0,04	4,5
257 (2011/2012)	0,00	1,9	4,1	4,1	1,2	0,99	0,96	0,08	3,2
258 (2002/2003)	0,61	3,7	0,94	1,1	1,4	0,98	0,04	0,01	2,4
258 (2006/2007)	0,28	2,5	0,13	0,23	0,64	0,22	0,19	0,04	1,1
258 (2011/2012)	0,58	4,5	0,19	0,37	1,2	0,28	0,88	0,08	2,5
259 (2002/2003)	0,03	4,5	1,9	2,1	1,8	0,21	0,07	0,00	2,0
259 (2006/2007)	0,00	4,4	1,6	1,8	1,1	0,04	0,04	0,01	1,2
259 (2011/2012)	0,07	3,2	1,8	1,9	0,73	0,04	0,54	0,02	1,3
260 (2002/2003)	0,00	1,6		0,08	0,52	0,04	3,4	0,00	4,0
260 (2006/2007)	0,03	1,9	0,20	0,28	0,42	0,13	1,4	0,07	2,0
260 (2011/2012)	0,00	1,2	0,09	0,14	0,49	0,02	3,7	0,02	4,2
261 (2002/2003)	0,00	6,4	1,9	2,2	11	0,53	27	0,03	38
261 (2006/2007)	0,12	5,6	4,1	4,4	4,4	0,34	17	0,02	22
261 (2011/2012)	0,26	3,3	2,6	2,7	2,6	0,48	13	0,61	17
262 (2002/2003)	0,84	7,9	6,2	6,6	15	1,0	15	0,20	31
262 (2006/2007)	0,80	6,6	11	11	6,2	0,31	15	0,20	22
262 (2011/2012)	2,3	5,1	11	11	0,68	0,02	21	0,08	22
263 (2002/2003)	0,06	5,8	3,1	3,3	20	83	63	0,48	167
263 (2006/2007)	0,14	6,5	9,1	9,4	17	46	125	0,78	189
263 (2011/2012)	0,85	10	3,8	4,3	8,0	5,7	79	0,57	93
264 (2002/2003)	0,65	1,2	1,3	1,4	0,35	0,03	0,42	0,00	0,81
264 (2006/2007)	2,0	3,9	2,1	2,2	0,46	0,03	0,59	0,03	1,1
264 (2011/2012)	0,44	1,4		0,04	0,08	0,03	1,4	0,04	1,6

Tabelle A-23: Einzelergebnisse an den Messpunkten 265 – 276

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
265 (2002/2003)	0,07	1,5	0,09	0,15	1,7	1,4	0,43	0,04	3,5
265 (2006/2007)	0,10	2,3	0,06	0,16	3,2	0,93	0,87	0,00	5,0
265 (2011/2012)	11	13	1,1	1,2	0,76	1,3	2,9	2,0	7,0
266 (2002/2003)	0,04	4,4		0,20	1,4	0,08	0,95	0,00	2,4
266 (2006/2007)	0,03	5,6	0,36	0,61	2,8	0,02	2,2	0,01	5,0
266 (2011/2012)	0,15	7,2	0,25	0,58	3,1	0,00	2,7	0,05	5,9
267 (2002/2003)	0,00	3,0	0,05	0,19	1,1	0,82	0,31	0,11	2,3
267 (2006/2007)	0,00	2,5	0,07	0,19	0,99	0,32	0,23	0,02	1,6
267 (2011/2012)	0,01	1,9	0,17	0,26	0,78	0,14	0,16	0,02	1,1
268 (2002/2003)	0,00	2,1	0,34	0,44	0,30	2,3	21	0,16	24
268 (2006/2007)	0,00	3,5	0,74	0,91	2,9	0,03	14	0,02	17
268 (2011/2012)	0,06	2,6	1,0	1,1	0,81	0,09	85	0,12	86
269 (2002/2003)	0,02	2,0	0,13	0,23	0,13	0,88	0,00	0,03	1,0
269 (2006/2007)	0,03	2,2	0,09	0,19	0,83	0,11	0,01	0,02	0,97
269 (2011/2012)	0,13	1,9	2,9	3,0	1,1	0,15	0,20	0,03	1,4
270 (2002/2003)	0,14	2,8	0,17	0,29	1,1	0,44	2,7	0,08	4,3
270 (2006/2007)	0,07	1,4	1,2	1,2	0,45	0,18	2,0	0,01	2,6
270 (2011/2012)	0,03	1,3	1,3	1,4	0,10	0,00	14	0,02	14
271 (2002/2003)	0,04	2,4	0,42	0,53	0,99	0,02	0,16	0,01	1,2
271 (2006/2007)	0,13	3,2	0,98	1,1	1,0	0,01	0,51	0,03	1,6
271 (2011/2012)	0,04	2,3	0,52	0,63	0,35	0,02	1,2	0,06	1,6
272 (2002/2003)	0,02	2,3	0,63	0,74	0,46	0,02	2,4	0,27	3,2
272 (2006/2007)	0,00	2,9	0,69	0,83	1,3	0,03	3,3	0,31	5,0
272 (2011/2012)	0,57	2,5	0,63	0,72	0,35	0,02	4,3	0,07	4,7
273 (2002/2003)	0,10	1,3	0,57	0,63	2,3	0,42	0,67	0,06	3,5
273 (2006/2007)	0,15	1,5	0,64	0,70	5,6	0,04	10	0,15	16
273 (2011/2012)	0,29	1,5	0,32	0,37	0,29	0,06	4,3	0,08	4,7
274 (2002/2003)	0,04	3,7	0,35	0,52	2,1	0,06	20	0,00	22
274 (2006/2007)	0,46	4,0	1,2	1,3	0,82	0,07	24	0,07	25
274 (2011/2012)	0,16	1,7	0,12	0,19	0,10	0,02	15	0,06	15
275 (2002/2003)	0,05	3,4		0,16	1,0	0,01	0,00	0,00	1,0
275 (2006/2007)	0,09	3,2	0,32	0,46	0,71	0,01	0,00	0,01	0,72
275 (2011/2012)	0,00	2,2	0,43	0,53	0,31	0,00	0,00	0,09	0,41
276 (2002/2003)	0,06	2,4	0,17	0,28	1,4	0,37	23	1,9	26
276 (2006/2007)	0,08	2,6	0,09	0,21	1,4	0,47	55	3,0	60
276 (2011/2012)	0,18	2,3	1,1	1,2	0,81	0,14	117	1,9	120

Tabelle A-24: Einzelergebnisse an den Messpunkten 277 – 288

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
277 (2002/2003)	0,00	2,4	0,48	0,59	2,9	0,17	84	0,11	88
277 (2006/2007)	0,06	2,7	0,34	0,46	4,9	19	60	0,32	85
277 (2011/2012)	0,08	2,2	0,38	0,47	40	11	94	0,37	146
278 (2002/2003)	0,00	2,7	3,9	4,1	0,74	0,18	13	0,00	14
278 (2006/2007)	0,00	2,4	9,0	9,1	0,73	2,6	222	0,01	226
278 (2011/2012)	0,19	2,0		0,08	3,5	1,2	138	0,07	143
279 (2002/2003)	0,03	2,8		0,13	0,75	0,06	19	0,14	20
279 (2006/2007)	0,06	3,5	5,6	5,8	0,77	0,82	21	0,02	23
279 (2011/2012)	0,13	4,7		0,21	3,3	0,36	35	0,24	39
280 (2002/2003)	0,40	3,6	5,4	5,5	4,2	3,7	0,19	0,00	8,1
280 (2006/2007)	1,5	5,3	0,15	0,32	6,0	4,2	0,82	0,04	11
280 (2011/2012)	1,1	4,2	0,30	0,44	4,1	7,5	2,3	0,44	14
281 (2002/2003)	0,00	2,7	0,18	0,31	4,4	1,0	46	0,10	52
281 (2006/2007)	0,07	4,1	0,27	0,45	4,3	9,0	293	0,12	306
281 (2011/2012)	0,02	1,8	0,12	0,20	16	7,1	561	0,15	584
282 (2002/2003)	1,0	4,5		0,16	3,0	0,03	9,0	0,01	12
282 (2006/2007)	4,3	8,4	2,0	2,2	5,0	0,26	2,7	0,34	8,3
282 (2011/2012)	0,36	2,0		0,08	0,33	0,13	2,4	0,39	3,3
283 (2002/2003)	0,04	3,3	3,8	3,9	1,4	0,10	11	0,19	13
283 (2006/2007)	0,61	3,8	4,8	5,0	1,5	1,3	20	0,32	23
283 (2011/2012)	0,10	2,5	3,8	4,0	12	0,59	31	0,47	44
284 (2002/2003)	0,08	3,7	6,4	6,6	4,9	0,62	28	0,24	34
284 (2006/2007)	0,21	3,3	2,0	2,2	5,1	22	56	0,16	83
284 (2011/2012)	0,06	2,4	2,9	3,0	37	3,6	51	0,58	92
285 (2002/2003)	0,00	3,6		0,17	2,5	0,08	43	0,07	46
285 (2006/2007)	0,00	2,1	2,6	2,7	0,86	2,6	16	0,07	20
285 (2011/2012)	0,03	1,7	3,5	3,6	2,3	0,14	6,4	0,06	8,9
286 (2002/2003)	0,00	2,9		0,14	1,4	0,11	6,9	0,01	8,4
286 (2006/2007)	0,10	3,5	1,9	2,1	1,5	2,1	4,8	0,02	8,4
286 (2011/2012)	0,04	3,2	1,5	1,6	9,0	3,2	6,6	0,03	19
287 (2002/2003)	0,95	3,4	0,91	1,0	0,82	1,2	43	0,02	45
287 (2006/2007)	0,83	2,9	1,9	2,0	0,51	0,98	63	0,05	64
287 (2011/2012)	1,0	3,1	1,5	1,6	1,8	2,3	136	0,15	141
288 (2002/2003)	0,44	3,2		0,13	1,1	0,39	1,7	0,21	3,4
288 (2006/2007)	0,25	2,7	0,69	0,80	1,5	4,0	7,0	0,20	13
288 (2011/2012)	0,68	3,1	0,73	0,84	6,9	14	57	0,31	78

Tabelle A-25: Einzelergebnisse an den Messpunkten 289 – 300

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
289 (2002/2003)	0,89	3,7		0,13	1,3	0,03	2,1	0,14	3,6
289 (2006/2007)	2,8	6,7	3,0	3,2	2,1	0,72	1,4	0,01	4,3
289 (2011/2012)	0,35	2,0		0,08	0,45	0,33	2,8	0,08	3,7
290 (2002/2003)	0,04	2,9		0,13	0,77	0,14	1,0	0,00	1,9
290 (2006/2007)	0,04	2,6	2,0	2,1	0,43	0,34	8,2	0,02	9,0
290 (2011/2012)	0,00	2,0	1,9	2,0	0,46	0,28	4,9	0,02	5,6
291 (2002/2003)	0,00	4,5	9,0	9,2	3,1	0,05	2,3	0,00	5,4
291 (2006/2007)	0,00	3,6	9,1	9,2	1,9	1,0	15	0,03	18
291 (2011/2012)	0,10	2,6	16	16	1,3	1,1	16	0,04	18
292 (2002/2003)	0,12	2,6	0,00	0,11	0,68	0,95	0,01	0,01	1,6
292 (2006/2007)	0,12	3,8	0,10	0,27	0,82	0,02	0,00	0,02	0,85
292 (2011/2012)	0,15	2,0	0,07	0,15	0,45	0,00	0,01	0,02	0,47
293 (2002/2003)	0,00	2,5	0,40	0,51	9,4	2,4	0,01	0,03	12
293 (2006/2007)	0,00	3,4	0,35	0,51	4,0	0,54	0,04	0,01	4,6
293 (2011/2012)	0,02	1,3	0,06	0,12	0,09	0,07	0,22	0,06	0,44
294 (2002/2003)	0,03	4,0		0,18	1,4	0,30	12	0,02	14
294 (2006/2007)	0,02	3,5	0,13	0,29	1,4	0,03	13	0,00	15
294 (2011/2012)	0,07	2,6	0,07	0,19	1,3	0,04	6,7	2,3	10
295 (2002/2003)	0,08	5,5	12	12	1,2	0,99	1,1	0,12	3,5
295 (2006/2007)	0,05	5,1	15	15	5,8	0,21	2,8	0,35	9,2
295 (2011/2012)	0,10	3,4	5,7	5,8	2,0	0,33	5,0	0,18	7,6
296 (2002/2003)	0,00	2,5	0,95	1,1	9,2	4,8	1,8	0,23	16
296 (2006/2007)	0,00	2,9	2,3	2,4	8,9	0,28	3,8	0,05	13
296 (2011/2012)	0,04	1,5	3,2	3,3	0,10	0,11	4,4	0,04	4,6
297 (2002/2003)	0,00	2,6		0,12	0,84	1,4	0,00	0,07	2,3
297 (2006/2007)	0,03	4,3	0,14	0,34	1,1	0,02	0,13	0,02	1,2
297 (2011/2012)	0,00	1,9	0,09	0,18	0,15	0,01	0,64	0,05	0,84
298 (2002/2003)	0,05	2,2	0,56	0,65	0,81	0,13	0,02	0,01	0,96
298 (2006/2007)	0,08	1,8	0,68	0,76	0,34	0,22	0,14	0,02	0,72
298 (2011/2012)	0,37	2,0		0,08	0,49	0,09	3,4	0,10	4,1
299 (2002/2003)	0,02	2,5		0,11	0,58	1,7	0,78	0,13	3,2
299 (2006/2007)	0,08	2,4	1,5	1,6	1,8	11	2,4	0,04	15
299 (2011/2012)	0,22	2,1	0,94	1,0	16	8,8	10	0,14	35
300 (2002/2003)	0,56	2,9		0,11	0,68	0,65	0,01	0,00	1,3
300 (2006/2007)	0,90	3,4	0,31	0,42	1,3	0,04	1,0	0,01	2,3
300 (2011/2012)	1,5	2,8	0,32	0,38	0,07	0,05	2,6	0,01	2,7

Tabelle A-26: Einzelergebnisse an den Messpunkten 301 – 312

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
301 (2002/2003)	0,00	2,5	0,95	1,1	0,67	0,18	0,00	0,01	0,87
301 (2006/2007)	0,06	2,6	0,46	0,57	0,67	0,41	0,05	0,01	1,1
301 (2011/2012)	0,01	1,7	0,55	0,63	0,17	0,05	0,06	0,01	0,30
302 (2002/2003)	0,15	3,2	0,49	0,63	1,3	0,01	1,1	0,00	2,4
302 (2006/2007)	0,03	3,4	1,4	1,6	2,5	0,00	5,5	0,01	8,0
302 (2011/2012)	0,35	4,0	1,3	1,4	2,3	0,02	7,7	0,03	10
303 (2002/2003)	0,03	2,8	1,1	1,2	1,9	0,02	1,0	0,00	2,9
303 (2006/2007)	0,03	1,4	1,9	2,0	0,36	0,02	2,8	0,00	3,2
303 (2011/2012)		2,1	0,93	1,0	0,77	0,02	4,0	0,01	4,8
304 (2002/2003)	0,06	1,3	0,00	0,06	0,38	0,31	0,00		0,69
304 (2006/2007)	0,05	1,3	0,08	0,13	0,38	0,06	0,27	0,01	0,71
304 (2011/2012)	0,07	1,6	0,13	0,20	0,63	0,02	0,38	0,01	1,1
305 (2002/2003)	0,00	5,5		0,26	17	2,2	0,04	0,19	20
305 (2006/2007)	0,00	9,2	1,3	1,7	60	0,02	0,05	0,05	60
305 (2011/2012)	0,03	5,5		0,25	22	0,02	0,64	0,52	23
306 (2002/2003)	0,11	6,9	1,3	1,6	8,3	0,04	3,6	0,53	12
306 (2006/2007)	0,09	7,0	0,79	1,1	8,4	0,01	1,1	0,06	9,6
306 (2011/2012)	1,1	6,8	0,69	0,96	6,0	0,01	5,3	0,05	11
307 (2002/2003)	1,4	9,5	0,11	0,48	10,0	0,17	0,20	0,00	10
307 (2006/2007)	0,63	8,6	0,08	0,45	11	0,11	0,21	0,13	12
307 (2011/2012)	0,57	8,8		0,38	9,3	0,14	0,27	0,25	10,0
308 (2002/2003)	46	48	2,9	3,0	4,0	6,9	2,6	0,75	14
308 (2006/2007)	0,04	4,5	0,03	0,24	3,4	0,24	0,54	0,01	4,2
308 (2011/2012)	0,04	2,9	0,00	0,13	2,2	0,15	1,1	0,07	3,5
309 (2002/2003)	0,03	3,9	0,07	0,24	2,6	2,3	0,52	0,19	5,7
309 (2006/2007)	0,14	4,7	0,21	0,42	3,7	0,12	0,77	0,05	4,6
309 (2011/2012)	0,09	4,5	0,20	0,41	8,4	0,11	2,4	0,43	11
310 (2002/2003)	0,04	1,5	0,29	0,36	2,1	0,03	0,00		2,1
310 (2006/2007)	0,00	1,5	0,02	0,10	1,5	0,03	0,00	0,00	1,6
310 (2011/2012)	0,04	1,2	0,35	0,41	1,8	0,08	0,07	0,04	2,0
311 (2002/2003)	0,00	4,3	1,5	1,7	3,7	0,09	0,02	0,00	3,9
311 (2006/2007)	0,11	4,4	3,2	3,4	4,5	0,05	0,03	0,02	4,5
311 (2011/2012)	0,05	2,8	1,6	1,7	1,3	0,08	0,13	0,03	1,5
312 (2002/2003)	0,02	2,6	1,3	1,4	0,75	0,31	1,1	0,01	2,2
312 (2006/2007)	0,06	2,8	4,7	4,8	0,97	0,29	1,6	0,03	2,9
312 (2011/2012)	0,12	2,9	15	15	0,34	0,26	3,3	0,11	4,0

Tabelle A-27: Einzelergebnisse an den Messpunkten 313 – 324

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
313 (2002/2003)	0,03	1,9	0,78	0,87	0,70	0,27	5,2		6,2
313 (2006/2007)	0,08	1,9	0,08	0,16	0,83	0,64	4,6	0,01	6,1
313 (2011/2012)	0,08	1,8	0,07	0,15	0,71	0,04	18	0,15	19
314 (2002/2003)	0,00	3,4	0,61	0,77	95	6,9	0,21	0,03	102
314 (2006/2007)	0,00	3,3	0,75	0,90	70	5,5	0,60	0,01	76
314 (2011/2012)	0,78	3,2	1,0	1,1	109	8,8	2,1	8,0	128
315 (2002/2003)	0,04	3,5	1,6	1,7	2,6	0,02	0,09	0,03	2,8
315 (2006/2007)	0,03	3,0	0,48	0,61	2,6	0,02	0,11	0,00	2,7
315 (2011/2012)	0,33	2,3	0,74	0,83	0,70	0,01	0,25	0,03	0,99
316 (2002/2003)	0,09	1,8	0,72	0,80	0,99	0,05	0,24	0,00	1,3
316 (2006/2007)	0,02	4,6	2,1	2,3	1,3	0,03	0,67	0,03	2,1
316 (2011/2012)	0,03	1,3	3,3	3,3	0,23	0,03	0,50	0,01	0,77
317 (2002/2003)	1,5	6,1	2,4	2,6	4,9	0,14	0,13	0,00	5,2
317 (2006/2007)	0,35	2,9	4,0	4,1	1,3	0,08	0,37	1,1	2,9
317 (2011/2012)	0,41	4,7	0,88	1,1	2,4	0,04	0,46	0,11	3,0
318 (2002/2003)	0,00	2,0	0,94	1,0	4,1	0,66	0,06	0,05	4,8
318 (2006/2007)	0,03	2,1	0,99	1,1	6,5	1,00	0,01	0,03	7,5
318 (2011/2012)	0,19	5,9	3,2	3,5	2,8	0,03	0,04	0,03	2,9
319 (2002/2003)	0,00	2,4	0,24	0,35	0,86	0,19	1,2	0,00	2,3
319 (2006/2007)	0,06	3,6	0,24	0,40	1,3	0,31	1,3	0,02	2,9
319 (2011/2012)	0,14	3,0	0,21	0,34	1,3	0,57	2,3	0,14	4,3
320 (2002/2003)	0,05	10	7,5	8,0	18	6,9	34	0,07	58
320 (2006/2007)	0,04	11	5,6	6,1	21	1,7	82	0,10	104
320 (2011/2012)	0,15	10	6,8	7,3	15	0,01	119	0,05	133
321 (2002/2003)	0,07	11	0,18	0,68	21	2,4	0,75	0,04	24
321 (2006/2007)	0,03	14	0,11	0,75	22	0,12	0,66	0,05	23
321 (2011/2012)	0,44	9,3	0,13	0,54	14	0,54	3,0	0,31	18
322 (2002/2003)	0,00	12		0,54	24	3,3	2,1	0,10	29
322 (2006/2007)	0,38	19	1,9	2,8	38	0,69	6,8	0,82	47
322 (2011/2012)	0,11	12	3,8	4,3	29	0,36	9,9	0,09	39
323 (2002/2003)	0,00	10	0,74	1,2	17	0,29	0,10	0,00	17
323 (2006/2007)	0,03	7,1	0,90	1,2	9,9	0,03	0,06	0,00	10,0
323 (2011/2012)	0,25	5,9	2,7	3,0	5,1	0,04	3,1	0,01	8,3
324 (2002/2003)	1,2	3,9	0,73	0,86	1,3	4,8	16	0,18	23
324 (2006/2007)	0,71	4,2	0,90	1,1	2,8	0,01	4,0	0,03	6,8
324 (2011/2012)	0,64	2,8	0,73	0,83	0,87	0,06	7,2	0,17	8,3

Tabelle A-28: Einzelergebnisse an den Messpunkten 325 – 336

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
325 (2002/2003)	26	28	0,11	0,19	2,2	0,83	7,8	0,00	11
325 (2006/2007)	16	17	0,14	0,20	0,76	0,26	7,0	0,00	8,0
325 (2011/2012)	13	14	0,45	0,50	0,70	0,12	22	0,06	22
326 (2002/2003)	0,00	1,2	6,0	6,0	2,0	0,94	0,37	0,01	3,3
326 (2006/2007)	0,01	1,4	6,7	6,8	1,9	2,5	1,2	0,03	5,6
326 (2011/2012)	0,00	5,4	6,1	6,3	1,1	0,13	4,6	0,01	5,8
327 (2002/2003)	0,00	1,3	0,28	0,34	0,19	0,02	0,15	0,08	0,44
327 (2006/2007)	0,02	1,7	0,48	0,56	0,35	0,03	0,12	0,21	0,71
327 (2011/2012)	0,13	1,9	0,84	0,92	0,27	0,02	0,24	0,02	0,55
328 (2002/2003)	0,52	2,3	0,00	0,08	24	1,8	0,47	0,01	26
328 (2006/2007)	0,31	2,1	0,11	0,20	27	2,2	1,0	0,04	30
328 (2011/2012)	0,09	7,2	0,05	0,37	4,6	0,13	0,79	0,10	5,7
329 (2002/2003)	0,00	1,8	0,40	0,49	3,4	0,25	124	0,05	128
329 (2006/2007)	0,00	1,9	1,0	1,1	3,2	0,51	150	0,38	154
329 (2011/2012)	0,25	4,9	1,7	1,9	0,80	0,02	41	0,02	42
330 (2002/2003)	0,03	2,0	0,07	0,17	0,61	0,37	3,5	0,00	4,5
330 (2006/2007)	0,03	2,2	0,08	0,18	0,47	1,1	2,6	0,03	4,2
330 (2011/2012)	0,02	1,6	0,04	0,11	0,88	1,6	2,3	0,01	4,8
331 (2002/2003)	0,03	2,1	2,3	2,4	5,7	0,28	1,5	0,04	7,5
331 (2006/2007)	0,08	2,0	2,9	3,0	3,2	2,1	2,2	0,06	7,6
331 (2011/2012)	0,01	5,5	3,1	3,4	4,9	0,31	2,6	0,10	7,9
332 (2002/2003)	0,00	2,9		0,13	1,8	2,0	0,03	0,01	3,8
332 (2006/2007)	0,00	2,0	0,43	0,52	0,34	2,6	0,06	0,00	3,0
332 (2011/2012)	0,10	1,6	0,56	0,63	0,35	4,4	0,45	0,00	5,2
333 (2002/2003)	0,16	1,7	1,3	1,3	0,44	0,23	18	0,00	18
333 (2006/2007)	0,09	2,4	1,2	1,4	0,56	0,22	33	0,08	33
333 (2011/2012)	0,05	2,3	118	118	0,50	0,35	17	0,08	18
334 (2002/2003)	0,00	2,6	3,0	3,1	1,2	0,21	1,3	0,00	2,8
334 (2006/2007)	0,00	3,3	3,0	3,2	1,7	2,3	1,5	0,17	5,6
334 (2011/2012)	0,00	2,7		0,12	0,71	0,70	3,7	0,03	5,1
335 (2002/2003)	0,00	2,6		0,12	0,47	0,62	5,0	0,01	6,1
335 (2006/2007)	0,03	3,2	9,3	9,4	0,60	0,11	33	0,09	34
335 (2011/2012)	0,01	2,5	4,2	4,3	0,39	0,19	59	0,16	60
336 (2002/2003)	0,02	2,9	5,4	5,5	0,80	0,18	1,5	0,01	2,5
336 (2006/2007)	0,04	3,6	3,2	3,4	1,2	0,21	3,7	0,18	5,3
336 (2011/2012)	0,04	2,0		0,09	0,41	0,34	4,5	0,12	5,4

Tabelle A-29: Einzelergebnisse an den Messpunkten 337 – 348

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
337 (2002/2003)	0,04	2,1	1,2	1,3	0,51	0,02	0,86	0,01	1,4
337 (2006/2007)	0,05	2,3	1,4	1,5	0,50	0,32	1,3	0,12	2,3
337 (2011/2012)	0,04	2,3	2,2	2,4	0,68	0,23	1,3	0,06	2,3
338 (2002/2003)	0,00	1,5	0,30	0,37	0,46	0,20	0,00	0,00	0,66
338 (2006/2007)	0,00	1,8	0,32	0,40	0,97	0,36	0,00	0,04	1,4
338 (2011/2012)	0,03	1,4	0,05	0,12	0,47	0,57	0,06	0,09	1,2
339 (2002/2003)	0,00	5,2		0,24	3,9	0,46	0,74	0,12	5,3
339 (2006/2007)	0,09	6,6	1,2	1,5	5,4	0,02	0,81	0,09	6,4
339 (2011/2012)	0,52	4,9	1,9	2,1	3,0	0,07	2,9	0,24	6,2
340 (2002/2003)	0,00	5,5		0,25	4,7	0,39	1,0	0,09	6,2
340 (2006/2007)	0,02	5,6	2,4	2,6	4,0	0,04	1,9	0,06	6,0
340 (2011/2012)	0,00	7,7	0,48	0,83	5,5	0,04	2,9	0,10	8,6
341 (2002/2003)	0,00	5,9	0,94	1,2	6,1	1,0	49	0,01	56
341 (2006/2007)	0,03	6,5	1,8	2,1	11	0,56	90	0,05	102
341 (2011/2012)	0,16	4,8		0,22	4,3	0,29	640	0,13	645
342 (2002/2003)	0,08	5,0	0,08	0,30	3,7	0,67	0,98	0,05	5,4
342 (2006/2007)	0,21	5,5	0,08	0,32	3,8	0,15	1,2	0,13	5,2
342 (2011/2012)	0,09	4,3	0,22	0,41	2,7	0,17	0,73	0,03	3,7
343 (2002/2003)	0,00	3,5		0,16	2,5	5,8	0,26	0,27	8,9
343 (2006/2007)	0,02	3,9	0,35	0,52	3,8	0,33	0,82	0,00	5,0
343 (2011/2012)	0,06	2,7	0,41	0,54	1,7	0,33	0,91	0,02	2,9
344 (2002/2003)	3,0	6,5		0,16	3,1	3,9	0,09	0,10	7,2
344 (2006/2007)	3,0	7,0	0,03	0,22	4,6	2,0	0,65	0,02	7,3
344 (2011/2012)	3,3	6,0	0,04	0,16	2,3	0,78	0,72	0,01	3,8
345 (2002/2003)	0,23	1,8	1,3	1,4	0,36	0,03	0,00		0,40
345 (2006/2007)	0,14	2,0	0,88	0,96	0,40	0,05	0,10	0,21	0,76
345 (2011/2012)	0,10	1,5		0,07	0,27	0,08	1,4	0,07	1,8
346 (2002/2003)	0,01	2,4		0,11	2,4	1,6	31	0,14	35
346 (2006/2007)	0,07	4,7	0,51	0,72	4,9	3,8	40	0,16	49
346 (2011/2012)	0,07	3,6	0,69	0,85	4,9	7,8	283	0,06	295
347 (2002/2003)	0,56	9,6		0,42	27	0,59	0,64	0,03	28
347 (2006/2007)	0,35	8,4	1,6	1,9	24	0,30	1,2	0,07	25
347 (2011/2012)	0,84	8,2	6,3	6,6	27	0,80	3,3	0,16	32
348 (2002/2003)	0,00	5,3	2,0	2,2	6,5	2,4	0,85	0,00	9,8
348 (2006/2007)	0,03	4,9	3,7	3,9	7,7	0,03	2,6	0,10	10
348 (2011/2012)	0,69	5,0	3,0	3,2	6,3	0,08	6,6	1,8	15

Tabelle A-30: Einzelergebnisse an den Messpunkten 349 – 360

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
349 (2002/2003)	10	16	1,8	2,1	5,1	0,41	1,1		6,6
349 (2006/2007)	3,7	8,9	1,5	1,7	4,4	0,04	1,9	0,04	6,4
349 (2011/2012)	27	31	5,6	5,7	3,7	0,12	13	0,36	17
350 (2002/2003)	0,00	3,9	2,1	2,3	2,1	0,51	0,11	0,00	2,7
350 (2006/2007)	0,04	4,2	6,4	6,6	2,9	0,22	0,12	0,02	3,3
350 (2011/2012)	2,1	5,2	4,0	4,1	1,9	0,13	0,16	0,02	2,2
351 (2002/2003)	0,08	3,0	7,6	7,8	0,65	0,22	0,36	0,01	1,2
351 (2006/2007)	0,02	3,1	5,4	5,6	0,89	0,01	0,66	0,01	1,6
351 (2011/2012)	0,11	3,0		0,13	0,78	0,03	4,0	0,03	4,9
352 (2002/2003)	0,00	2,4	0,03	0,14	0,65	0,14	0,07	0,00	0,86
352 (2006/2007)	0,41	4,0	0,06	0,22	2,3	0,00	0,13	0,00	2,4
352 (2011/2012)	0,16	2,4	0,02	0,12	0,85	0,02	0,37	0,01	1,2
353 (2002/2003)	0,03	3,1	0,25	0,39	1,1	2,1	4,1	0,14	7,4
353 (2006/2007)	0,16	3,8	1,7	1,9	1,7	0,07	2,4	0,08	4,2
353 (2011/2012)	0,90	1,4	2,3	2,3	0,58	0,14	2,9	0,10	3,8
354 (2002/2003)	0,01	3,0	0,00	0,14	1,7	0,37	5,4	0,01	7,4
354 (2006/2007)	0,04	6,1	3,2	3,5	8,3	0,05	197	0,08	205
354 (2011/2012)	0,74	2,9	0,11	0,21	0,55	0,63	124	0,10	125
355 (2002/2003)	0,02	2,3	0,38	0,48	0,52	0,78	0,00	0,00	1,3
355 (2006/2007)	0,01	2,9	1,2	1,3	0,94	2,4	87	0,01	90
355 (2011/2012)	0,04	1,8	1,2	1,3	0,53	0,92	181	0,05	182
356 (2002/2003)	0,07	2,0	4,4	4,5	0,85	0,14	0,71	0,00	1,7
356 (2006/2007)	0,05	2,8	2,9	3,0	0,75	0,02	0,75	0,02	1,5
356 (2011/2012)	0,31	2,1	2,6	2,6	0,61	0,02	1,9	0,02	2,5
357 (2002/2003)	0,10	8,7	1,2	1,6	14	14	0,14	0,81	28
357 (2006/2007)	0,09	8,4	0,02	0,40	16	2,2	0,01	0,10	18
357 (2011/2012)	0,08	6,7	0,26	0,57	12	0,54	0,24	0,53	13
358 (2002/2003)	0,00	4,0	1,4	1,6	1,9	0,69	0,16	0,00	2,8
358 (2006/2007)	0,05	4,1	1,4	1,6	2,1	0,00	0,34	0,04	2,5
358 (2011/2012)	0,12	3,6	1,8	2,0	1,7	0,02	15	0,06	17
359 (2002/2003)	0,00	2,7	0,29	0,42	1,8	8,2	1,3	0,02	11
359 (2006/2007)	0,07	2,7	0,21	0,34	2,0	2,8	2,5	0,09	7,3
359 (2011/2012)	0,00	1,6	0,03	0,11	1,0	2,9	2,5	0,12	6,6
360 (2002/2003)	0,00	3,2	0,07	0,22	1,9	0,04	1,4	0,00	3,3
360 (2006/2007)	0,09	4,2	0,59	0,79	4,2	0,01	104	0,11	108
360 (2011/2012)	0,05	1,6	0,46	0,53	0,23	0,02	151	0,05	151

Tabelle A-31: Einzelergebnisse an den Messpunkten 361 – 372

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
361 (2002/2003)		2,6	0,48	0,60	1,9	0,42	0,00	0,00	2,3
361 (2006/2007)	0,00	3,1	0,60	0,74	2,3	0,16	0,00	0,00	2,4
361 (2011/2012)	0,08	2,1	2,5	2,6	1,1	0,09	0,74	0,01	2,0
362 (2002/2003)	0,00	13	2,3	2,9	34	0,65	0,10	0,02	35
362 (2006/2007)	0,00	15	2,2	2,9	41	0,19	0,29	0,06	42
362 (2011/2012)	0,32	12	2,5	3,0	26	0,48	0,57	0,46	27
363 (2002/2003)		4,8	0,93	1,1	9,8	0,14	0,00		10,0
363 (2006/2007)	0,00	2,0	1,1	1,2	2,0	0,09	0,00	0,05	2,1
363 (2011/2012)	0,07	10	0,09	0,56	4,7	0,05	0,05	0,06	4,8
364 (2002/2003)	0,16	2,4	0,22	0,32	85	0,80	2,1	0,33	89
364 (2006/2007)	0,24	2,3	1,2	1,3	89	0,32	1,8	0,77	92
364 (2011/2012)	0,24	4,6	1,0	1,2	22	0,11	13	1,1	36
365 (2002/2003)		3,1	0,00	0,14	4,6	0,33	0,17	0,00	5,1
365 (2006/2007)	0,00	2,4	0,00	0,11	2,2	0,17	1,3	0,00	3,7
365 (2011/2012)	0,30	2,8	0,00	0,12	2,6	0,04	0,29	0,01	3,0
366 (2002/2003)	68	72	3,5	3,7	7,1	1,6	0,81		9,5
366 (2006/2007)	8,4	16	0,99	1,3	4,2	0,03	0,31	0,01	4,5
366 (2011/2012)	6,6	9,4	2,2	2,3	1,3	0,02	0,58	0,01	1,9
367 (2002/2003)	0,07	2,9	0,00	0,13	1,3	2,3	0,03		3,6
367 (2006/2007)	0,05	4,2	0,08	0,27	1,6	0,07	0,01	0,00	1,7
367 (2011/2012)	0,11	2,3		0,10	0,88	0,03	0,17	0,01	1,1
368 (2002/2003)	0,02	1,2	0,15	0,21	0,64	0,22	0,12	0,00	0,98
368 (2006/2007)	0,32	2,7	0,77	0,88	2,5	0,19	0,64	0,02	3,4
368 (2011/2012)	0,13	2,1	0,25	0,34	0,99	0,17	4,2	0,05	5,4
369 (2002/2003)	0,03	3,1	0,47	0,61	1,4	4,8	1,6	0,05	7,8
369 (2006/2007)	0,04	3,2	1,0	1,1	1,7	0,14	1,9	0,05	3,8
369 (2011/2012)	0,09	3,1	2,1	2,2	1,7	0,05	7,0	0,09	8,8
370 (2002/2003)	0,12	3,0	0,11	0,24	2,2	1,1	0,00	0,00	3,3
370 (2006/2007)	0,05	3,1	0,08	0,22	1,8	0,15	0,12	0,03	2,1
370 (2011/2012)	0,05	4,3	1,9	2,1	3,1	0,24	9,3	0,04	13
371 (2002/2003)	0,29	2,8	0,05	0,17	1,5	1,1	0,00		2,6
371 (2006/2007)	0,35	3,1	0,00	0,13	3,3	0,96	0,00	0,01	4,3
371 (2011/2012)	0,66	2,1	85	86	0,94	0,91	0,01	0,04	1,9
372 (2002/2003)	0,00	4,1	0,39	0,58	3,3	1,3	0,87	0,15	5,6
372 (2006/2007)	0,08	3,5	0,72	0,87	4,0	1,4	1,7	0,23	7,3
372 (2011/2012)	0,00	3,3	1,2	1,4	4,7	3,5	5,7	0,27	14

Tabelle A-32: Einzelergebnisse an den Messpunkten 373 – 384

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
373 (2002/2003)	0,20	3,8	1,8	1,9	1,9	1,0	2,2	0,04	5,3
373 (2006/2007)	0,69	3,9	3,4	3,5	1,5	0,10	36	0,05	38
373 (2011/2012)	0,36	3,1	1,4	1,5	2,4	0,57	152	0,07	155
374 (2002/2003)	0,03	2,9	0,49	0,62	0,83	0,66	1,7	0,02	3,2
374 (2006/2007)	0,22	4,2	0,83	1,0	1,5	0,15	3,1	0,08	4,8
374 (2011/2012)	0,00	3,7		0,17	2,1	1,5	9,8	0,07	13
375 (2002/2003)	0,52	3,3	0,14	0,27	1,1	0,15	0,05	0,00	1,3
375 (2006/2007)	0,70	3,3	1,4	1,5	0,88	0,17	0,11	0,06	1,2
375 (2011/2012)	0,60	3,3		0,13	1,8	0,48	0,41	0,16	2,8
376 (2002/2003)	0,01	2,8	2,8	2,9	0,83	0,81	0,04	0,01	1,7
376 (2006/2007)	0,04	2,9	3,1	3,2	0,84	0,00	0,50	0,03	1,4
376 (2011/2012)	0,03	2,3	4,7	4,8	0,47	0,01	0,56	0,01	1,0
377 (2002/2003)		2,6	0,24	0,36	1,1	8,9	0,09	0,49	11
377 (2006/2007)	0,00	3,3	2,9	3,0	1,3	0,02	49	5,6	56
377 (2011/2012)	0,32	2,9	5,2	5,3	0,76	0,02	65	0,89	67
378 (2002/2003)	0,00	2,1	1,9	2,0	0,51	1,5	36	0,05	38
378 (2006/2007)	0,17	4,1	2,0	2,2	3,6	0,05	7,3	0,69	12
378 (2011/2012)	0,03	1,9	2,8	2,9	0,29	0,04	31	0,51	32
379 (2002/2003)	0,00	2,8	0,24	0,37	1,8	0,42	0,00		2,2
379 (2006/2007)	0,00	4,1	0,95	1,1	1,2	0,33	0,01	0,00	1,6
379 (2011/2012)	0,71	3,5	0,90	1,0	4,6	1,8	0,16	0,21	6,8
380 (2002/2003)	0,05	2,7	2,7	2,8	1,2	0,08	1,1	0,00	2,3
380 (2006/2007)	0,03	2,5	3,5	3,6	1,3	0,02	1,1	0,02	2,4
380 (2011/2012)	0,05	2,6	1,9	2,0	0,63	0,13	3,3	0,42	4,5
381 (2002/2003)	0,00	2,8	2,1	2,3	1,5	0,22	0,22	0,02	2,0
381 (2006/2007)	0,00	2,6	3,3	3,4	0,98	0,02	0,17	0,02	1,2
381 (2011/2012)	0,06	2,0		0,09	0,43	0,04	0,27	0,03	0,77
382 (2002/2003)	0,00	2,3	0,47	0,57	1,2	0,10	8,2	0,00	9,5
382 (2006/2007)	0,08	2,5	6,9	7,0	0,95	0,17	18	0,02	20
382 (2011/2012)		2,5	5,7	5,8	0,38	0,03	7,5	0,04	7,9
383 (2002/2003)	0,05	4,5	0,15	0,35	6,7	1,0	133		141
383 (2006/2007)	0,06	7,3	6,1	6,5	6,8	1,00	149	0,04	156
383 (2011/2012)	0,09	2,6	3,6	3,7	1,5	0,36	25	0,44	27
384 (2002/2003)	3,7	6,4	0,61	0,73	3,7	0,75	0,48		4,9
384 (2006/2007)	0,11	3,1	3,3	3,5	1,2	0,08	0,48	0,00	1,7
384 (2011/2012)	0,37	1,8	0,74	0,80	0,46	0,08	1,1	0,03	1,7

Tabelle A-33: Einzelergebnisse an den Messpunkten 385 – 396

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
385 (2002/2003)	0,05	4,0		0,18	3,3	6,3	0,08	0,68	10
385 (2006/2007)	0,11	3,4	0,97	1,1	1,2	0,02	6,8	0,01	8,1
385 (2011/2012)	0,16	2,9	0,53	0,65	0,93	0,06	15	0,05	16
386 (2002/2003)	0,03	3,4		0,16	2,2	0,33	0,42	0,15	3,1
386 (2006/2007)	0,06	3,2	1,8	2,0	3,3	0,15	1,2	0,06	4,6
386 (2011/2012)	0,05	2,3	2,5	2,6	1,0	0,08	1,9	0,16	3,2
387 (2002/2003)	0,00	2,0	0,00	0,09	1,3	0,29	0,78	0,00	2,4
387 (2006/2007)	0,00	1,8	0,02	0,10	0,69	0,99	2,4	0,00	4,1
387 (2011/2012)	0,04	2,8	0,00	0,13	1,9	1,9	25	0,03	29
388 (2002/2003)	0,04	5,2	1,1	1,4	3,5	0,99	0,12	0,05	4,7
388 (2006/2007)	0,01	4,2	3,7	3,9	1,6	0,05	0,58	0,03	2,3
388 (2011/2012)	0,01	3,8	3,6	3,7	0,92	0,06	0,85	0,01	1,8
389 (2002/2003)	0,06	2,7	2,3	2,5	0,80	0,72	1,0	0,01	2,6
389 (2006/2007)	0,02	2,4	2,2	2,3	0,62	0,08	2,1	0,02	2,9
389 (2011/2012)	0,09	3,4	1,9	2,1	0,36	0,07	0,12	0,10	0,65
390 (2002/2003)	0,16	2,8	0,25	0,37	0,70	0,87	0,03		1,6
390 (2006/2007)	0,45	3,2	0,14	0,27	1,2	0,05	0,14	0,08	1,4
390 (2011/2012)	0,31	2,6	0,36	0,46	0,63	0,12	0,18	0,03	0,96
391 (2002/2003)	7,7	10	0,98	1,1	1,7	15	0,07	0,26	17
391 (2006/2007)	6,0	9,9	1,9	2,0	1,6	0,00	0,22	0,00	1,9
391 (2011/2012)	93	96	4,5	4,6	3,0	1,4	0,31	0,12	4,9
392 (2002/2003)	0,00	3,3	0,00	0,15	2,3	3,1	0,01	0,08	5,4
392 (2006/2007)	0,00	3,0	0,00	0,14	2,6	0,74	0,01	0,00	3,3
392 (2011/2012)	0,00	2,2	0,00	0,10	0,75	0,21	0,02	0,01	1,00
393 (2002/2003)	0,04	4,7	1,1	1,3	4,2	0,75	0,00	0,01	4,9
393 (2006/2007)	0,08	3,9	6,3	6,5	3,4	0,21	0,00	0,08	3,7
393 (2011/2012)	0,45	4,6	3,2	3,4	4,3	0,86	0,04	0,21	5,5
394 (2002/2003)	0,03	7,4	0,00	0,34	14	0,65	0,65	0,05	15
394 (2006/2007)	0,00	5,7	0,05	0,31	11	2,8	1,5	0,05	15
394 (2011/2012)	0,10	4,3	0,00	0,19	7,3	10	4,9	0,15	23
395 (2002/2003)	0,00	3,1	0,05	0,19	4,1	0,02	0,08		4,2
395 (2006/2007)	0,08	2,4	0,06	0,17	2,7	0,03	0,00	0,03	2,7
395 (2011/2012)	0,00	1,5	0,12	0,19	1,5	0,09	0,12	0,26	1,9
396 (2002/2003)	0,04	7,0	14	14	13	11	19	1,7	44
396 (2006/2007)	0,25	5,8	16	17	11	0,04	39	0,42	51
396 (2011/2012)	0,15	7,7	15	16	7,7	0,03	39	0,07	46

Tabelle A-34: Einzelergebnisse an den Messpunkten 397 – 403

MP	NF E	Sw. E	NF B	Sw. B	Hörf.	TV	Mobilf.	Sonst.	HF ges.
397 (2002/2003)	0,03	14	1,8	2,5	41	3,5	4,6	0,26	49
397 (2006/2007)	0,11	7,9	5,2	5,6	30	0,67	0,88	0,02	32
397 (2011/2012)	0,05	11		0,50	11	0,43	11	1,3	23
398 (2002/2003)	0,02	3,6		0,16	2,3	0,65	0,16	0,06	3,2
398 (2006/2007)	0,16	3,6	2,7	2,9	4,8	0,15	4,0	0,04	8,9
398 (2011/2012)	0,04	2,8	3,3	3,4	1,3	0,19	4,9	0,07	6,5
399 (2002/2003)	0,00	2,5		0,11	1,3	2,4	1,5	0,17	5,3
399 (2006/2007)	0,15	2,7	5,4	5,5	0,71	0,44	14	0,09	15
399 (2011/2012)	0,02	1,9	19	19	0,47	0,47	41	3,8	45
400 (2002/2003)	0,00	3,2	3,6	3,7	1,5	2,1	0,00		3,5
400 (2006/2007)	0,55	3,1	5,3	5,4	1,1	0,86	4,4	0,02	6,4
400 (2011/2012)	0,43	2,7	4,9	5,0	0,56	0,39	12	0,03	13
401 (2002/2003)		2,7		0,12	1,4	0,05	4,2	0,01	5,7
401 (2006/2007)	0,00	2,5	3,6	3,7	1,1	0,03	3,3	0,02	4,4
401 (2011/2012)	0,03	1,8	1,8	1,8	1,5	0,03	3,4	0,08	4,9
402 (2002/2003)		2,1		0,10	0,72	0,05	2,3	0,01	3,1
402 (2006/2007)	0,00	3,4	2,2	2,4	2,1	0,06	2,3	0,08	4,5
402 (2011/2012)	0,00	1,6	0,72	0,79	1,2	0,06	5,2	0,08	6,6
403 (2002/2003)		8,2		0,38	16	0,46	2,1	0,04	19
403 (2006/2007)	0,05	4,0	2,3	2,5	3,9	3,2	15	0,04	22
403 (2011/2012)		4,3	0,83	1,0	7,9	1,6	70	0,21	79

B Berücksichtigung der ICNIRP-Referenzwerte aus dem Jahr 2010

B.1 Vorbemerkungen

Für den Hauptteil des Textes wurden alle Auswertungen nach den Grenzwerten der EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG [4] vorgenommen. Die dort aufgeführten Grenzwerte basieren auf den Empfehlungen der Internationalen Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung (ICNIRP) aus dem Jahre 1998 [3]. ICNIRP sichtet und bewertet in unregelmäßigen Zeitabständen neu erscheinende Literatur und betrachtet sie auch mit Blick auf das wissenschaftliche Gesamtbild. Daraus können sich ggf. Konsequenzen für die Grenzwertempfehlungen von ICNIRP ergeben.

Im Zuge veränderter bzw. verbesserter Rechenmodelle über elektrische und magnetische Felder im Gewebe, darunter dem Übergang von Körperstromdichten auf Gewebefeldstärken, ergaben sich 2010 Anpassungen der Referenzwerte für elektrische und magnetische Felder bis 10 MHz [6]. Angesichts der noch nicht hieran angeglichenen EU-Ratsempfehlung und des Umstands, dass das EMF-Monitoring vorrangig die Tendenzen physikalisch feststellen möchte, wurden für die Auswertungen im Hauptteil dieses Berichts die Grenzwerte von 1998 verwendet. Dadurch bleibt auch ein direkter Vergleich mit den älteren Endberichten möglich.

Die nachfolgenden Abschnitte diskutieren die Unterschiede, die sich für die Ausschöpfungsgrade im Bereich der Stimulationswirkungen bei Zugrundelegung der neuen Referenzwerte ergeben.

B.2 Elektrisches Feld

Im Bereich der Stimulationswirkungen durch elektrische Felder haben sich Änderungen hauptsächlich für Frequenzen unter 50 Hz sowie über 3,0 kHz ergeben. Letztere sind marginal und führen zusammen mit dem konstanten Verlauf der Grenzwerte bis 10 MHz insgesamt dazu, dass die Ausschöpfungsgrade des Lang-, Mittel- und Kurzwellenrundfunks einheitlich um rund 5 % höher liegen als bei Verwendung der alten Referenzwerte (Abbildung B-2).

Für den Niederfrequenzbereich ist kein pauschaler Faktor zur Umrechnung ansetzbar, weil die Referenzwerte bis 3,0 kHz frequenzabhängig sind. Je nachdem, ob an einem Messpunkt Beiträge ober- oder unterhalb von 50 Hz dominieren, können sich bei den Auswertungen zwischen alten und neuen Referenzwerten Unterschiede zwischen einem Faktor 1,0 (d. h. kein Unterschied) und einem Faktor 2,0 ergeben, wobei der Bezug auf die neuen Referenzwerte immer zu höheren Ausschöpfungsgraden führt, da die Referenzwerte abgesenkt wurden.

Tabelle B-1 stellt die Ergebnisse für die Ausschöpfungsgrade bezüglich beider Referenzwerte gegenüber. Die Verhältnisse der Mittelwerte folgen dabei den oben genannten Gesetzmäßigkeiten. Im Mittel liegen die Ausschöpfungsgrade des niederfrequenten elektrischen Felds bei Bezug auf die neuen Referenzwerte um 11 % bis 24 % (je nach Messreihe) höher als bei Bezug auf die alten Referenzwerte. Dieser Wert (Faktor 1,11 bis 1,24) liegt in jedem Fall wesentlich näher am Faktor 1,0 als am Faktor 2,0, weil der Hauptbeitrag zu den niederfrequenten Feldern in der Regel durch die Frequenz 50 Hz zu Stande kommt, deren Referenzwert sich nicht geändert hat.

Hinweis: Für die Mediane von niederfrequentem Feld und Gesamtimmersionen, in denen das niederfrequente Feld enthalten ist, können sich wesentliche Abweichungen ergeben, weil sich eine andere Reihenfolge der nach Immersionen sortierten Messpunkte ergeben kann. Der Median berechnet sich dann aus den Ausschöpfungsgraden *anderer* Messpunkte.

Tabelle B-1: Mittel- und Medianwerte der Ausschöpfungsgrade elektrischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen im Vergleich zwischen alten und neuen ICNIRP-Referenzwerten.

	ICNIRP1998			ICNIRP2010		
	$E_{lim}/(kV/m)$	Q_{avg}	Q_{P50}	$E_{lim}/(kV/m)$	Q_{avg}	Q_{P50}
Messreihe 2002/2003						
E Niederfrequenz	10 (@17 Hz)	1,56	0,027	5 (@17 Hz)	1,78	0,029
E LW/MW	0,087	3,11	2,38	0,083	3,26	2,50
E KW	0,087	0,575	0,453	0,083	0,603	0,475
E Gesamt		5,22	3,14		5,61	3,29
Messreihe 2006/2007						
E Niederfrequenz	10 (@17 Hz)	1,66	0,055	5 (@17 Hz)	2,06	0,065
E LW/MW	0,087	3,02	2,35	0,083	3,16	2,46
E KW	0,087	0,559	0,429	0,083	0,586	0,450
E Gesamt		5,23	3,18		5,80	3,31
Messreihe 2011/2012						
E Niederfrequenz	10 (@17 Hz)	1,74	0,079	5 (@17 Hz)	1,93	0,099
E LW/MW	0,087	2,74	1,99	0,083	2,87	2,09
E KW	0,087	0,432	0,203	0,083	0,453	0,213
E Gesamt		4,87	2,53		5,20	2,66

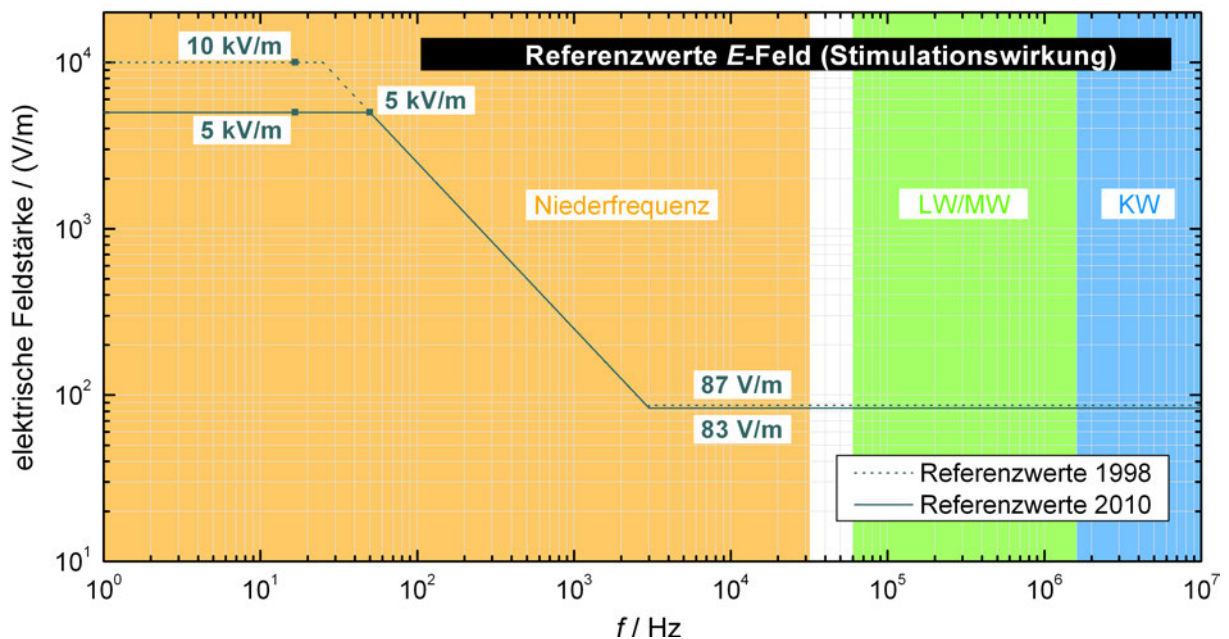


Abbildung B-1: ICNIRP-Referenzwerte für die elektrische Feldstärke im Bereich der Stimulationswirkungen. Gepunktete Linie: Referenzwerte aus dem Jahr 1998. Durchgezogene Linie: Referenzwerte aus dem Jahr 2010.

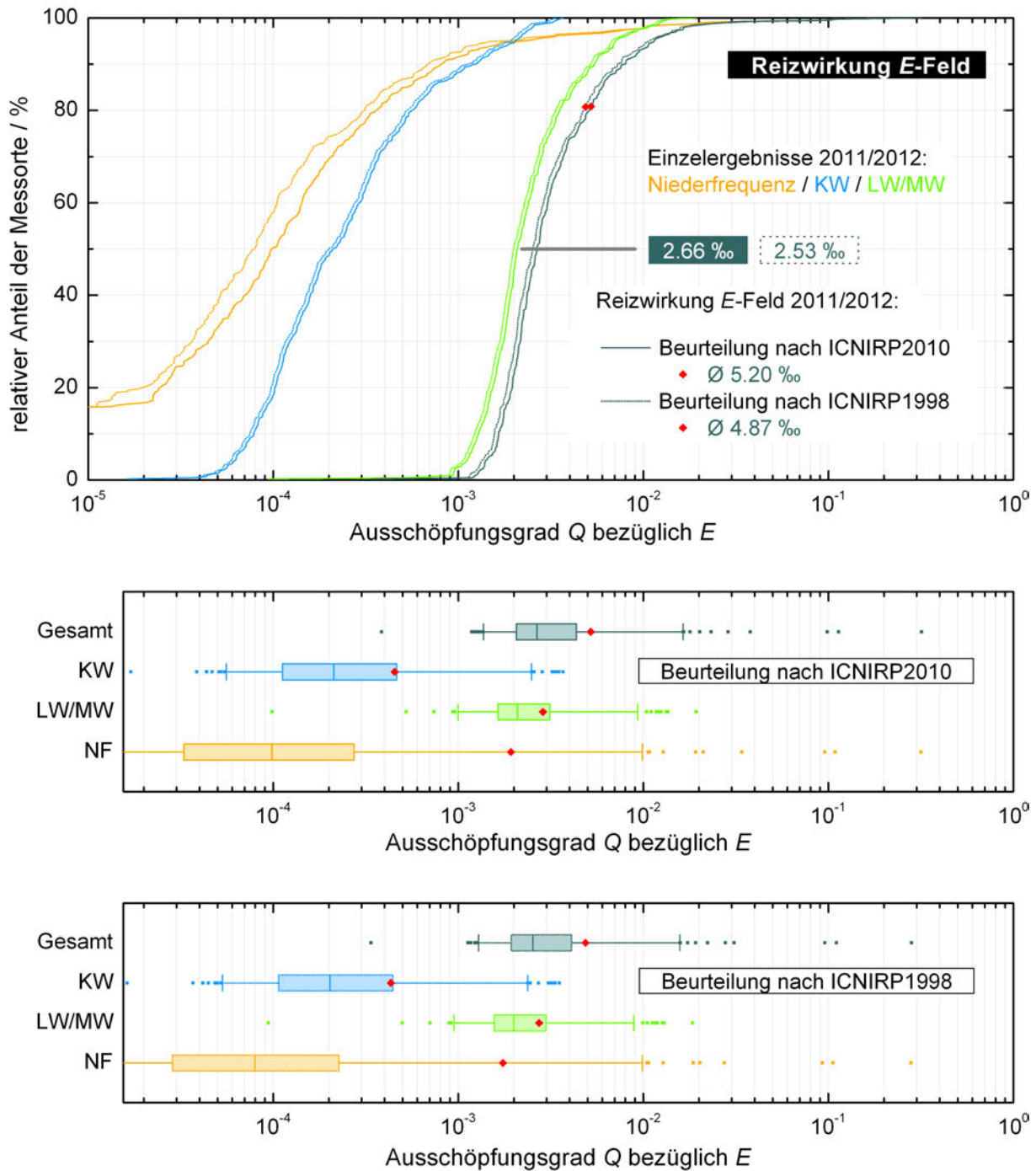


Abbildung B-2: Vergleich der Ausschöpfungsgrade elektrischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen zwischen der Bewertung nach den ICNIRP-Referenzwerten aus dem Jahr 1998 und denen aus dem Jahr 2010. Oben: Verteilungsfunktionen der Ausschöpfungsgrade insgesamt und der Einzelbeiträge. Die jeweils durchgezogenen Linien beziehen sich auf die Referenzwerte von 2010, die gepunkteten Linien auf die von 1998. Mitte: Boxplot für den Ausschöpfungsgrad bei Zugrundelegung der Referenzwerte von 2010. Unten: Boxplot für den Ausschöpfungsgrad bei Zugrundelegung der Referenzwerte von 1998. Das arithmetische Mittel ist jeweils rot eingezeichnet.

B.3 Magnetisches Feld

Im Bereich der Stimulationswirkungen magnetischer Felder ergaben sich umfangreiche Anpassungen der Referenzwerte oberhalb von 25 Hz (siehe Abbildung B-3). Die beiden wichtigsten Konsequenzen sind:

- Im Bereich niederfrequenter Felder wurde der Referenzwert bei 50 Hz von 100 μT auf 200 μT *erhöht*. Diese Frequenz bildet meist den Hauptanteil niederfrequenter Felder, sodass sich für diese in jedem Fall abweichende (geringere) Ausschöpfungsgrade ergeben, wenn die neuen Referenzwerte zu Grunde gelegt werden. Insgesamt besteht für den Niederfrequenzbereich eine ausgeprägte (und für die Referenzwerte von 1998 und 2010 zusätzlich verschiedene) Frequenzabhängigkeit der Referenzwerte, was die Angabe eines Umrechnungsfaktors unmöglich macht.
- Für den Bereich des Lang-, Mittel- und Kurzwellenrundfunks wurden die Referenzwerte von einem konstanten Verlauf mit 6,25 μT auf einen ebenfalls konstanten Verlauf mit nun 27 μT angehoben. Dies führt zu einer einheitlichen Verringerung der Ausschöpfungsgrade dieser Funkdienste um 77 % (etwa Faktor 4). Der Versatz zwischen den Verläufen beider Verteilungskurven ist in Abbildung B-4 gut zu erkennen.

Tabelle B-2 stellt die Ergebnisse für die Ausschöpfungsgrade bezüglich beider Referenzwerte gegenüber. Mediane und Mittelwerte von Lang-, Mittel- und Kurzwellen stehen in dem oben genannten festen Verhältnis von etwa einem Faktor 4 zueinander.

Dagegen weisen die Mediane und Mittelwerte der Ausschöpfungsgrade niederfrequenter Felder sowie der Gesamtmissionen wegen der Frequenzabhängigkeit der Referenzwerte unterschiedliche Verhältnisse auf. Im Niederfrequenzbereich ergeben sich bei Bezug auf die neuen Referenzwerte im Mittel um 26 % bis 76 % (je nach Messreihe) niedrigere Ausschöpfungsgrade als bei den alten Referenzwerten. Der konkrete Faktor hängt an jedem Messpunkt davon ab, wie stark die Oberwellen zu den Immissionen niederfrequenter Felder beitragen. Dadurch wird auch die Reihenfolge der nach Immissionen sortierten Messpunkte beeinflusst, was eine Vorhersage des Verhaltens der Mediane unmöglich macht.

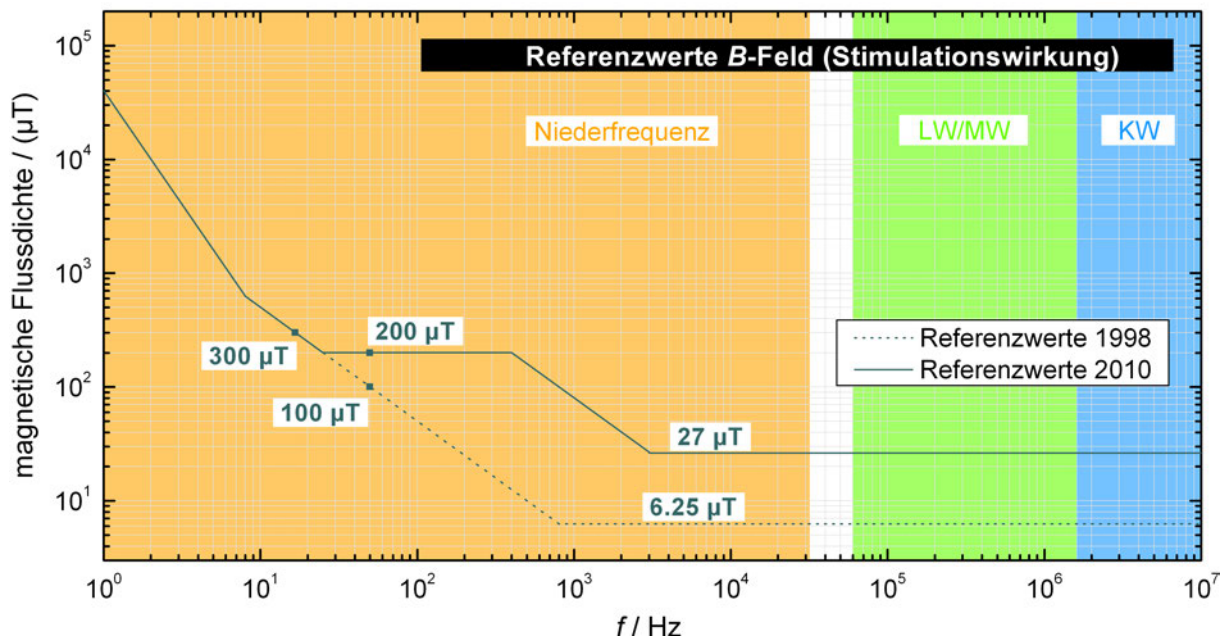


Abbildung B-3: ICNIRP-Referenzwerte für die magnetische Flussdichte im Bereich der Stimulationswirkungen. Gepunktete Linie: Referenzwerte aus dem Jahr 1998. Durchgezogene Linie: Referenzwerte aus dem Jahr 2010.

Tabelle B-2: Mittel- und Medianwerte der Ausschöpfungsgrade magnetischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen im Vergleich zwischen alten und neuen ICNIRP-Referenzwerten.

	ICNIRP1998			ICNIRP2010		
	$B_{lim}/\mu T$	Q_{avg}	Q_{P50}	$B_{lim}/\mu T$	Q_{avg}	Q_{P50}
Messreihe 2002/2003						
<i>B</i> Niederfrequenz	100 (@50 Hz)	1,87	0,899	200 (@50 Hz)	0,669	0,356
<i>B</i> LW/MW	6,25	0,144	0,110	27	0,034	0,026
<i>B</i> KW	6,25	0,027	0,021	27	0,006	0,005
<i>B</i> Gesamt		2,03	1,05		0,708	0,391
Messreihe 2006/2007						
<i>B</i> Niederfrequenz	100 (@50 Hz)	2,21	1,22	200 (@50 Hz)	0,795	0,478
<i>B</i> LW/MW	6,25	0,139	0,109	27	0,033	0,026
<i>B</i> KW	6,25	0,026	0,020	27	0,006	0,005
<i>B</i> Gesamt		2,38	1,36		0,834	0,508
Messreihe 2011/2012						
<i>B</i> Niederfrequenz	100 (@50 Hz)	3,94	1,26	200 (@50 Hz)	0,955	0,465
<i>B</i> LW/MW	6,25	0,126	0,092	27	0,030	0,022
<i>B</i> KW	6,25	0,020	0,009	27	0,005	0,002
<i>B</i> Gesamt		4,09	1,44		0,990	0,496

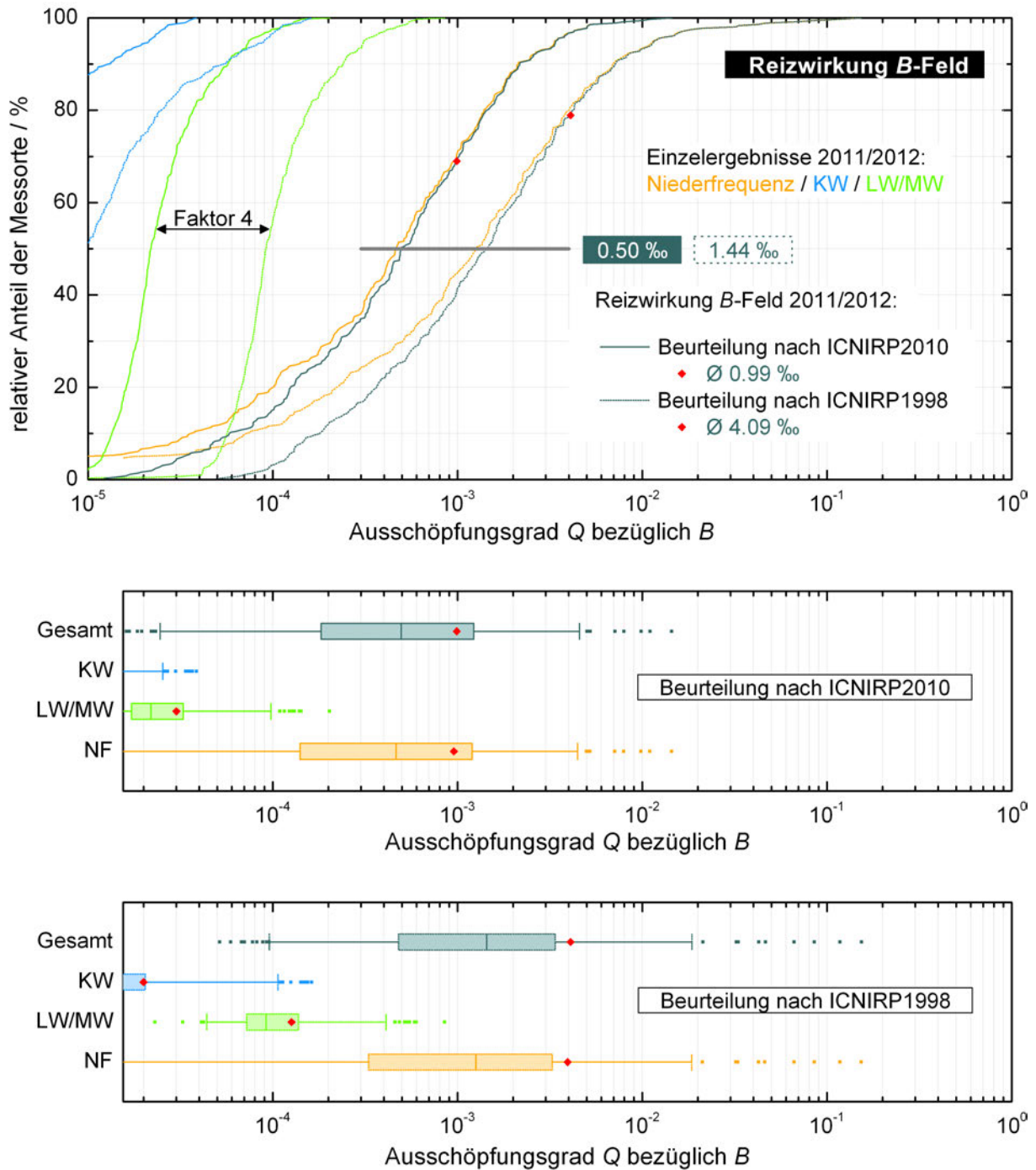


Abbildung B-4: Vergleich der Ausschöpfungsgrade magnetischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen zwischen der Bewertung nach den ICNIRP-Referenzwerten aus dem Jahr 1998 und denen aus dem Jahr 2010. Oben: Verteilungsfunktionen der Ausschöpfungsgrade insgesamt und der Einzelbeiträge. Die jeweils durchgezogenen Linien beziehen sich auf die Referenzwerte von 2010, die gepunkteten Linien auf die von 1998. Mitte: Boxplot für den Ausschöpfungsgrad bei Zugrundelegung der Referenzwerte von 2010. Unten: Boxplot für den Ausschöpfungsgrad bei Zugrundelegung der Referenzwerte von 1998. Das arithmetische Mittel ist jeweils rot eingezeichnet.

C Alternative Darstellung von Immissionsanteilen

In den Kreisdiagrammen des Hauptteils des Berichts wurden die Anteile einzelner Funkdienste zu den Gesamtimmissionen folgendermaßen berechnet:

$$f_j = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{Q_{j,i}}{\sum_{k=1}^n Q_{k,i}} \quad (\text{C.1})$$

Hierin sind f_j der Anteil des Funkdiensts j , N die Anzahl der Messpunkte, n die Anzahl verschiedener Funkdienste, die zur jeweiligen Gesamtheit beitragen und $Q_{k,i}$ der Ausschöpfungsgrad des Funkdiensts k am Messpunkt i .

Alternativ ist folgende Berechnung möglich:

$$f_j = \frac{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N Q_{j,i}}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_{k,i}} \quad (\text{C.2})$$

Formel (C.2) ist dabei eine gewichtete Variante von (C.1). Der Unterschied besteht darin, dass im ersten Fall für jeden Messpunkt der Anteil eines Funkdiensts an den Gesamtimmissionen aller Funkdienste *dieses Messpunkts* berechnet und anschließend gemittelt wird, wohingegen im zweiten Fall der Anteil der *mittleren Immissionen* des Funkdiensts an den *mittleren Gesamtimmissionen* aller Funkdienste bestimmt wird. Die zweite Vorgehensweise berücksichtigt daher, dass die Gesamtimmissionen an verschiedenen Messpunkten unterschiedlich hoch sind. Daraus ergibt sich auch das Problem, dass einzelne wenige Messpunkte mit hohen Ausschöpfungsgraden eines Funkdiensts, wie beispielsweise beim Mobilfunk der Fall, die Verteilung bereits wesentlich beeinflussen. Deshalb, und wegen der Vergleichbarkeit mit den vorangegangenen Messberichten, wurde für den Hauptteil dieses Berichts die erste Vorgehensweise gewählt.

Der Vollständigkeit halber zeigen die nachfolgenden Kreisdiagramme die Ergebnisse, die sich auf Basis von Formel (C.2) ergeben. Die Ergebnisse stellen dar, wie sich die mittleren Immissionen in Bayern aufteilen. Die Flächen der Kreisdiagramme repräsentieren dabei die Verhältnisse der jeweils dargestellten Gesamtimmissionen zwischen den Messreihen.

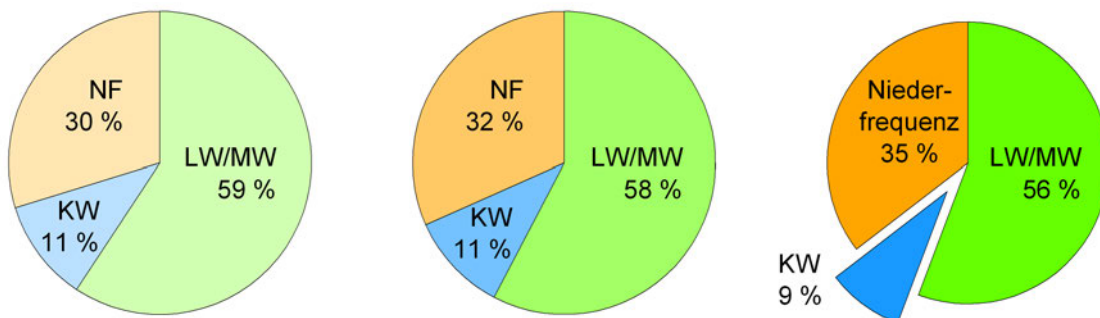


Abbildung C-1: Gewichtete mittlere Anteile einzelner Beiträge zu den Gesamtimmissionen für die Stimulationswirkung elektrischer Felder im Vergleich zwischen den Messreihen (vgl. mit Abbildung 6-5 auf Seite 41).

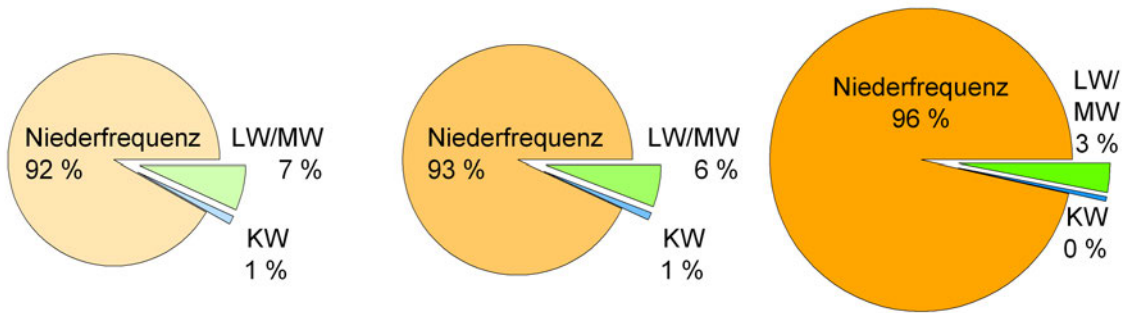


Abbildung C-2: Gewichtete mittlere Anteile einzelner Beiträge zu den Gesamtimmissionen für die Stimulationswirkung magnetischer Felder im Vergleich zwischen den Messreihen (vgl. mit Abbildung 6-11 auf Seite 48).

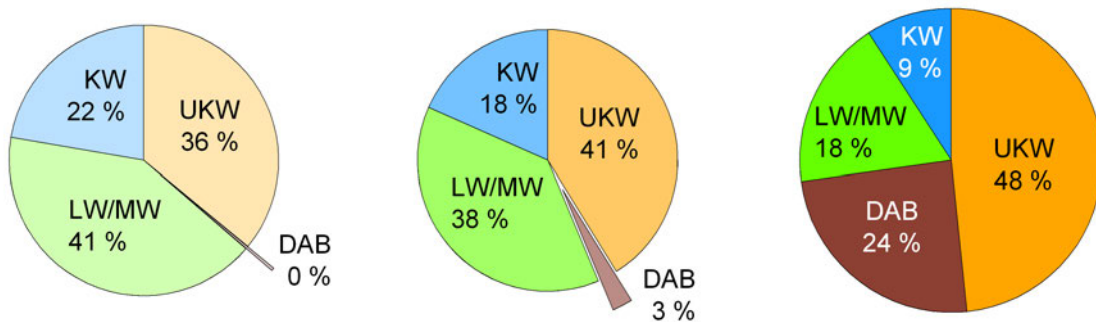


Abbildung C-3: Gewichtete mittlere Anteile einzelner Beiträge zu den Hörfunkimmissionen für die thermische Wirkung im Vergleich zwischen den Messreihen (vgl. mit Abbildung 7-2 auf Seite 54).

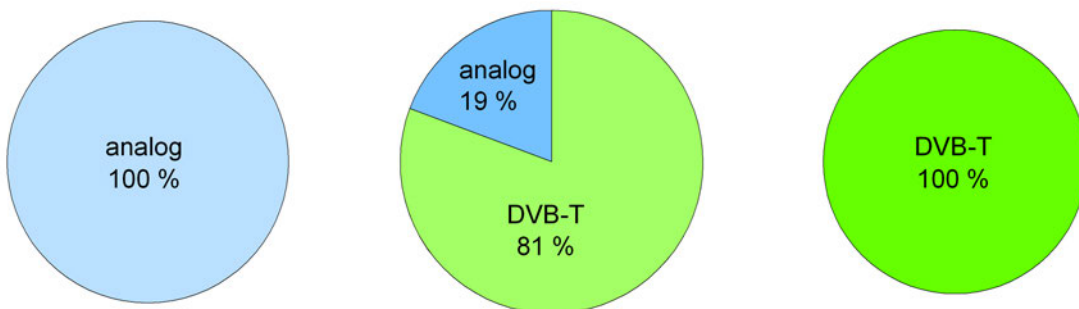


Abbildung C-4: Gewichtete mittlere Anteile einzelner Beiträge zu den Fernsehimmissionen für die thermische Wirkung im Vergleich zwischen den Messreihen (vgl. mit Abbildung 7-5 auf Seite 60).

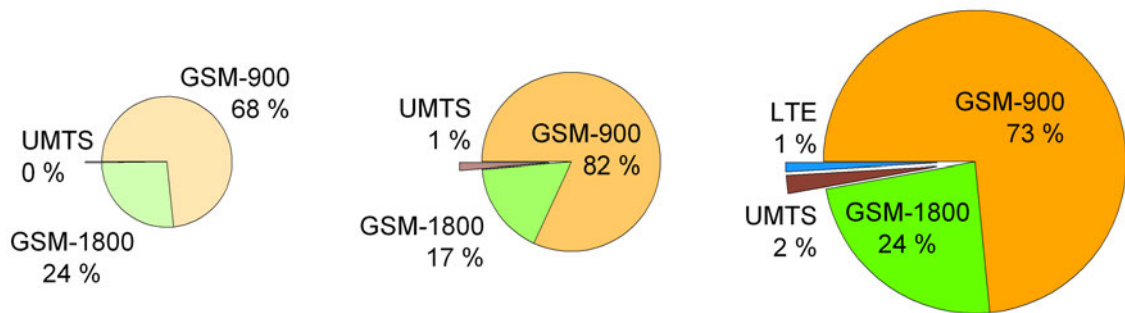


Abbildung C-5: Gewichtete mittlere Anteile einzelner Beiträge zu den Mobilfunkimmissionen für die thermische Wirkung im Vergleich zwischen den Messreihen (vgl. mit Abbildung 7-10 auf Seite 67).

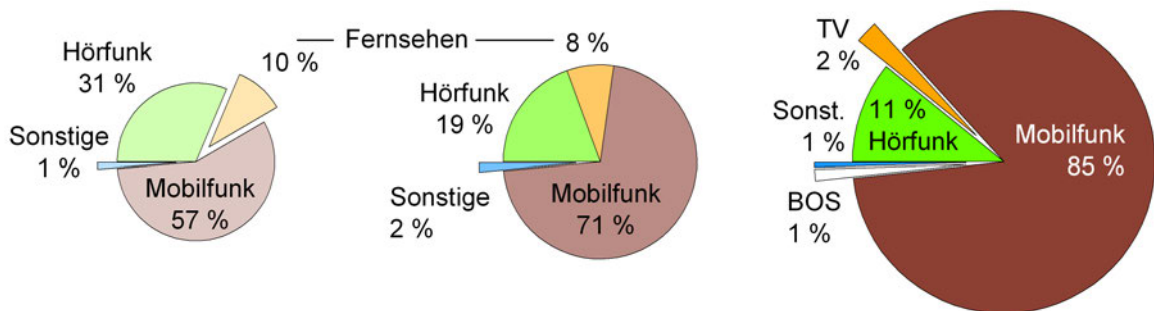


Abbildung C-6: Gewichtete mittlere Anteile einzelner Beiträge zu den Gesamtimmissionen für die thermische Wirkung im Vergleich zwischen den Messreihen (vgl. mit Abbildung 7-17 auf Seite 78).

D Umgang mit fehlenden Daten

D.1 Die Entstehung von Lücken in den Datensätzen und der Umgang damit

Die größte Herausforderung bei der Auswertung der Monitoring-Daten stellen fehlende Datensätze an einzelnen Messpunkten dar. Diese entstehen aus verschiedenen Gründen:

- Bei den Daten niederfrequenter Felder kam es in allen Messreihen wiederholt zu rauschartigen Spektren hoher Intensität. Sie traten hauptsächlich beim ersten und dritten Monitoring auf⁵⁵ und wurden bereits dort diskutiert. Während der zweiten Messreihe kam es lediglich zu vereinzelt Ausfällen. Die Darstellung der Verteilungsfunktionen für die alleinigen Niederfrequenz-Immissionen lässt sich noch vergleichsweise einfach handhaben, indem die Datenbasis von 403 Messpunkten auf entsprechend weniger Messpunkte reduziert wird, d. h. die fehlenden Messpunkte werden komplett entfernt. Bereits bei der Vergleichbarkeit mit einer zweiten Messreihe, die dann eine unterschiedliche (hier: größere) Datenbasis aufweist, stellt sich aber die Frage, inwieweit dadurch der Vergleich beeinflusst wird. Dieser Aspekt wird im nachfolgenden Abschnitt diskutiert. Problematisch ist auch die Summenbildung für die Gesamtmissionen im Bereich der Stimulationswirkung. Streng genommen darf die Verteilungsfunktion der Gesamtmissionen am Beispiel der Magnetfelder bei der ersten Messreihe auch nur 332 Messpunkte enthalten, obwohl Daten für den Bereich der Lang-, Mittel- und Kurzwelle an allen 403 Messpunkten existieren. Für die Magnetfelder wurde auch tatsächlich so verfahren, da die Immissionen im Niederfrequenzbereich dominierend sind. Bei den elektrischen Felder liegen die Immissionen niederfrequenter Felder dagegen um Größenordnungen unter denen der Hörfunkbänder, weshalb die Gesamtmissionen hier alle Messpunkte enthalten. An den Punkten, an denen keine Niederfrequenzdaten des elektrischen Felds vorlagen, wurde Null angesetzt; in die Summe floss nur der Beitrag der Lang-, Mittel- und Kurzwelle ein.
- Im Hochfrequenzbereich wurden verschiedene Frequenzbereiche in optionale Messpakete ausgelagert. Dadurch weisen optionale Pakete eine teils wesentlich geringere Datenbasis auf als Standard-Messpakete. Da an jedem Messpunkt vor Beginn der einzelnen Messdurchläufe ein Übersichts-Scan lief, bei dem an Hand der Signalstärken entschieden wurde, ob und welche optionalen Pakete in die Messung aufgenommen werden, erscheint es gerechtfertigt, für diejenigen optionalen Pakete Nullwerte anzunehmen, die an einem Messpunkt ausgenommen wurden. Eine alternative Vorgehensweise kommt nicht in Betracht, weil dann zum Vergleich zweier Messreihen streng genommen nur die Schnittmenge an Punkten herangezogen werden könnte, für die in beiden Messreihen Daten des jeweiligen optionalen Pakets vorhanden sind.
- Fehler in Messpaketen⁵⁶ oder in der Messsoftware⁵⁷.
- Auf Grund von Kabeldefekten kam es bei der Messreihe 2011/2012 zu vereinzelt Ausfällen im Kurzwellenband. Da hier nur 8 Messpunkte betroffen waren, wurden Nullwerte angesetzt, um für die Gesamtmissionen weiterhin alle Messpunkte betrachten zu können.

Bei den Auswertungen wurde möglichst vermieden, die Datenbasis reduzieren zu müssen. Da sowohl die konkreten Messpunktnummern, an denen einzelne Ausfälle vorkommen, als auch die betroffenen Pakete von Messreihe zu Messreihe variieren, würde eine zu strenge Vorgehensweise dazu führen, dass sich die Anzahl an Messpunkten mit jeder neuen Messreihe weiter erhöht und für die Betrachtung insbesondere der Gesamtmissionen immer weniger Messpunkte herangezogen werden können. Die Unsicherheiten, die mit der Nullsetzung fehlender Daten einhergehen, wurden deshalb in Kauf genommen.

⁵⁵Bei der Messreihe 2002/2003 liegen deshalb nur für 388 Messpunkte Ergebnisse für die Immissionen niederfrequenter elektrischer Felder vor und nur für 332 Messpunkte Ergebnisse für die Immissionen niederfrequenter magnetischer Felder. Bei der dritten Messreihe gibt es nur für 362 Messpunkte Daten für das niederfrequente Magnetfeld.

⁵⁶Beispielsweise wurde im Monitoring 2002/2003 an etlichen Messpunkten ein fehlerhaftes *DECT* Paket verwendet, das nicht alle Kanäle erfasst hat.

⁵⁷An einigen Messpunkten, vor allem in der Messreihe 2006/2007, existierte z. B. ein Bug, der trotz korrekten Pakets bei DAB zu einer falschen Bewertung des Kanals 12D geführt hat.

D.2 Betrachtung der Immissionen niederfrequenter Magnetfelder

Für die Messreihe 2002/2003 liegen auf Grund technischer Probleme nur für 332 Messpunkte Ergebnisse der niederfrequenten Magnetfelder vor. In späteren Messreihen konnten für alle 403 Messpunkte verwertbare Daten gespeichert werden. Dieser Abschnitt soll zeigen, welche Unterschiede sich in der Auswertung ergeben, wenn die zweite und dritte Messreihe

- mit allen Datensätzen mit den 332 Datensätzen der ersten Messreihe verglichen werden (wie im vorliegenden Bericht der Fall).
- nur mit den 332 Datensätzen mit der ersten Messreihe verglichen werden, für die auch in der ersten Messreihe valide Ergebnisse vorhanden sind.

Tabelle D-1 vergleicht die Ergebnisse beider Vorgehensweisen an Hand der arithmetischen Mittelwerte und charakteristischen Quantile. Die absoluten Unterschiede zwischen den Varianten liegen für die Messreihe 2006/2007 durchschnittlich bei 3 % bis 4 % und maximal bei 10 %. Ähnliches gilt auch für die Messreihe 2011/2012 mit einem mittleren Unterschied von 7 %. Lediglich das 99-Prozent-Quantil weist hier eine deutlich höhere Abweichung von 19 % auf.⁵⁸

Die Vorgehensweise, in den Messreihen 2006/2007 und 2011/2012 die vollständigen Datensätze zu betrachten und mit der Messreihe 2002/2003 zu vergleichen, in der an nur 332 Messpunkten Messdaten des niederfrequenten Magnetfelds vorlagen, erscheint angesichts dieser Ergebnisse vertretbar.

⁵⁸Diese Abweichung kommt dadurch zu Stande, dass die Daten im Bereich hoher Ausschöpfungsgrade bereits große Abstände zueinander aufweisen und die Ausdünnung zu einer Veränderung der Ablesepositionen führt.

Tabelle D-1: Vergleich der Immissionen niederfrequenter Magnetfelder: a) Berücksichtigung aller Messpunkte in der zweiten und dritten Messreihe; b) auf Basis nur derjenigen Messpunkte, für die in der ersten Messreihe Daten vorliegen.

Daten	N	Q _{avg}	Q _{P25}	Q _{P50}	Q _{P75}	Q _{P90}	Q _{P95}	Q _{P99}
Messreihe 2002/2003								
B Niederfr. (N = 332)	332	1,87	0,241	0,899	2,30	4,97	6,98	13,0
Messreihe 2006/2007								
B Niederfr. (N = 332 aus 2002/2003)	332	2,27	0,345	1,17	3,08	5,69	8,30	14,6
B Niederfr. (N = 362 aus 2011/2012)	362	2,21	0,348	1,18	2,88	5,65	8,01	14,4
B Niederfr. (alle)	403	2,21	0,355	1,22	3,02	5,54	7,53	14,2
Messreihe 2011/2012								
B Niederfr. (N = 332 aus 2002/2003)	299	4,18	0,306	1,39	3,25	7,18	11,5	66,7
B Niederfr. (alle)	362	3,94	0,330	1,26	3,25	6,91	11,4	53,9

E Messpakete

Dieses Kapitel beschreibt die Details der in der Messreihe 2011/2012 verwendeten Hochfrequenz-Messpakete und erläutert Unterschiede zu den früheren Messreihen.

Die Benennung der Pakete folgt mittlerweile folgendem Schema:

- *MON11_PK_**: Standardpaket mit Max-Peak-Detektor.
- *MON11_RMS_**: Standardpaket mit RMS-Detektor.
- *MON11OPT_PK_**: Optionales Paket mit Max-Peak-Detektor.
- *MON11OPT_RMS_**: Optionales Paket mit RMS-Detektor.

E.1 Hörfunk

- *MON11_PK_LWMW*: Standardpaket zur Erfassung des Lang- und Mittelwellenrundfunks zwischen 0,06 MHz und 1,6 MHz; identisch mit dem Paket *lwmw_mon05* der letzten Messreihe.
- *MON11_PK_SW*: Standardpaket zur Erfassung des Kurzwellenrundfunks zwischen 1,6 MHz und 30 MHz; identisch mit dem Paket *kw_mon05* der letzten Messreihe.
- *MON11_PK_UKW*: Standardpaket zur Erfassung des UKW-Rundfunks zwischen 87,5 MHz und 108 MHz; identisch mit dem Paket *ukw_mon05* der letzten Messreihe.
- *MON11_RMS_DAB1*: Standardpaket für das DAB-Digitalradio im Frequenzbereich zwischen 174 MHz und 230 MHz; Ersatz für die Pakete *tv3_mon05* und *dvbt3-4_rms_mon05* der letzten Messreihe⁵⁹; Erweiterung des Pakets *dab1_rms_mon05* um die VHF-Kanäle E05 bis E11.
- *MON11OPT_RMS_DAB2*: Optionales Paket für das DAB-Digitalradio im L-Band zwischen 1452 MHz und 1492 MHz; identisch mit dem Paket *dab2_rms_mon05*; wurde aus dem Standard-Messprogramm herausgenommen, da das DAB-Digitalradio vom L-Band in das VHF-III-Band verlagert wurde.

Die Pakete *dab1_mon05* und *dab2_mon05*, die aus Kompatibilitätsgründen beim letzten Monitoring noch zum Einsatz kamen und die DAB-Frequenzbereiche mit Max-Peak-Detektor erfasst haben, sind ersatzlos entfallen.

E.2 Fernsehen

Das digitale terrestrische Fernsehen DVB-T im Frequenzbereich 470 MHz – 790 MHz wird von den Paketen *MON11_RMS_DVBT4* und *MON11_RMS_DVBT5* abgedeckt. Sie sind i. W. identisch mit den Paketen *dvbt4_rms_mon05* und *dvbt5_rms_mon05*, decken aber den Frequenzbereich 790 MHz – 862 MHz, der im Mai 2010 dem Mobilfunk zugeordnet wurde (sogenannte "Digitale Dividende") nicht länger ab.

Die Pakete *tv3_mon05*, *tv4_mon05* und *tv5_mon05* sind ersatzlos entfallen. Das Paket *dvbt3-4_rms_mon05* wurde in das Messpaket des DAB-Digitalradios integriert. Das Paket *tv1_mon05* wurde als optionales Paket beibehalten (siehe Kapitel E.4)

E.3 Mobilfunk

- *MON11_PK_GSM900DL05*: Standardpaket für den Downlink von GSM-900 im Frequenzbereich 921 MHz – 960 MHz; identisch mit dem Paket *gsm900dl_mon05* der letzten Messreihe.

⁵⁹Das VHF-Band III wurde damals noch von DVB-T genutzt; mit dem letzten Frequenzwechsel im Raum Regensburg am 12. Dezember 2011 steht das VHF-Band für DAB-Digitalradio zur Verfügung.

- *MON11_PK_GSM1800DL05*: Standardpaket für den Downlink von GSM-1800 im Frequenzbereich 1805 MHz – 1880 MHz; identisch mit dem Paket *gsm1800dl_mon05* der letzten Messreihe. Es existiert kein eigenes Messpaket für die LTE-Nutzung in diesem Frequenzbereich; eventuell vorhandene LTE-1800-Immissionen wurden durch Summation der 200 kHz breiten GSM-Kanäle approximiert.
- *MON11_RMS_UMTSDL*: Standardpaket für den Downlink von UMTS-2000 zwischen 2110 MHz und 2170 MHz; identisch mit dem Paket *umts_rms_mon05* der letzten Messreihe.
- *MON11_RMS_LTE800DL*: Neues Standardpaket für den Downlink von LTE-800 im Bereich zwischen 791 MHz und 821 MHz.
- *MON11OPT_RMS_LTE2600*: Neues optionales Paket zur Erfassung des ebenfalls in der Frequenzversteigerung 2010 vergebenen 2,6 GHz Frequenzbereichs (2500 MHz – 2690 MHz). Bei Beginn der Messreihe war hier keine relevante Nutzung abzusehen⁶⁰, sodass auf eine Separierung des Uplinks zwischen 2500 MHz und 2570 MHz verzichtet wurde; diese Vorgehensweise muss ggf. bei der nächsten Messreihe erneut geprüft werden.
- *MON11OPT_PK_GSM900UL05*: Optionales Paket für den Uplink von GSM-900 im Frequenzbereich 862 MHz – 920 MHz; identisch mit dem Paket *gsm900ul_mon05* der letzten Messreihe.
- *MON11OPT_PK_GSM1800UL05*: Optionales Paket für den Uplink von GSM-1800 im Frequenzbereich 1710 MHz – 1785 MHz; identisch mit dem Paket *gsm1800ul_mon05* der letzten Messreihe.
- *MON11OPT_RMS_UMTSUL*: Neues optionales Messpaket für den UMTS-2000-Uplink zwischen 1920 MHz und 1980 MHz.
- *MON11OPT_RMS_LTE800UL*: Neues optionales Messpaket für den LTE-800-Uplink zwischen 832 MHz und 862 MHz.
- *MON11_RMS_GSM900DL*, *MON11_RMS_GSM1800DL*: Neue Standardpakete, die testweise für eine RMS-Erfassung des GSM-Downlinks integriert wurden; auf Grund technischer Probleme (siehe Kapitel 7.3.4) wurde die Auswertung nicht weiter verfolgt.

E.4 Sonstige Funkdienste

- *MON11_PK_BOS*: Neues Standardpaket zur Erfassung des analogen BOS-Funks in den Frequenzbereichen 74 MHz – 77 MHz, 84 MHz – 87 MHz, 165 MHz – 174 MHz sowie um 444 MHz und 449 MHz; dem Paket liegen die Frequenztabelle der BOS-Funkrichtlinie [9] zu Grunde.
- *MON11_RMS_BOSTETRADL*: Neues Standardpaket für den Downlink des digitalen BOS-Funk nach TETRA-Standard zwischen 390 MHz und 395 MHz.
- *MON11OPT_RMS_BOSTETRAUL*: Neues optionales Paket für den Uplink des digitalen BOS-Funk nach TETRA-Standard zwischen 380 MHz und 385 MHz.
- *MON11OPT_PK_BOS05*: Optionales Paket im Frequenzbereich 108,5 MHz – 174,0 MHz; identisch zum Paket *bos_mon05* der letzten Messreihe; der BOS-Frequenzbereich 165 MHz – 174 MHz wurde in der Auswertung ausgenommen, da er inzwischen von dem neuen Paket *MON11_PK_BOS* standardmäßig abgedeckt wurde.
- *MON11OPT_PK_DATA1* und *MON11OPT_PK_DATA2*: Optionale Pakete im Frequenzbereich 230 MHz – 380 MHz bzw. 395 MHz – 470 MHz; Nachfolgepakete von *data_mon05*; die BOS-Frequenzbereiche bei 444 MHz und 449 MHz wurden in der Auswertung ausgenommen, da sie inzwischen von dem neuen Paket *MON11_PK_BOS* standardmäßig abgedeckt wurden; die Lücke zwischen beiden Paketen wird jetzt von den neuen Paketen *MON11_RMS_BOSTETRADL* und *MON11OPT_RMS_BOSTETRAUL* abgedeckt.
- *MON11OPT_PK_RADAR1*: Optionales Paket für die Abdeckung zwischen 960 MHz (Anschluss an GSM-900) und 1452 MHz (Anschluss an DAB im L-Band); identisch mit dem bisherigen Paket *radar1_mon05*.
- *MON11OPT_PK_RADAR1B*: Neues optionales Paket zwischen 1492 MHz (Anschluss an DAB im L-Band) und 1710 MHz (Anschluss an GSM-1800-Uplink); wurde neu aufgenommen, da dieser Frequenzbereich bislang im weggefallenen Paket *dab2_mon05* enthalten war.
- *MON11OPT_PK_RADAR2A* und *MON11OPT_PK_RADAR2B*: Optionale Pakete zur Erfassung des Frequenzbereichs zwischen 2170 MHz (Anschluss an UMTS-Downlink) und 2400 MHz (Anschluss an WLAN) bzw. 2700 MHz und 3000 MHz; entspricht dem bisherigen Paket *radar2_mon05*; die Lücke zwischen 2400 MHz und 2700 MHz wird von den neuen Paketen *MON11_RMS_WLAN*, *MON11OPT_PK_DEMO*

⁶⁰Tatsächlich wurde nur an den Messpunkten 051 und 068 auf dieses Paket zurückgegriffen.

- und *MON11OPT_RMS_LTE2600* abgedeckt.
- *MON11_PK_WLAN* und *MON11_RMS_WLAN*: Neue Standardpakete für WLAN bei 2,4 GHz; WLAN zuvor in *radar2_mon05* enthalten, konnte aber dort wegen des großen abgedeckten Frequenzbereichs nicht gut aufgelöst werden; in die Auswertung floss die RMS-Variante des Pakets ein.
 - *MON11OPT_PK_DEMOFUNK*: Neues optionales Paket für Veranstaltungsfunk zwischen 2483 MHz und 2500 MHz.
 - *MON11OPT_PK_TV1U*, *MON11OPT_PK_TV1* und *MON11OPT_PK_TV1O*: Optionale Pakete, die den Frequenzbereich zwischen 30 MHz und 87 MHz abdecken; die Aufteilung ist historisch bedingt, da die Pakete aus den Paketen *tv1u_mon05*, *tv1_mon05* und *tv1o_mon05* hervorgingen; für die Auswertung wurden die Frequenzbereiche 74 MHz – 77 MHz und 84 MHz – 87 MHz ausgenommen, da sie von dem neuen Standardpaket *MON11_PK_BOS* abgedeckt werden.
 - *MON11OPT_RMS_PRIVTETRA*: Neues optionales Paket für private Bündelfunknetze nach TETRA-Standard im Frequenzbereich 420 MHz – 430 MHz; der Bereich war bislang Bestandteil des Pakets *data_mon05*.
 - *MON11_PK_DECT*: Standardpaket für den DECT-Frequenzbereich zwischen 1880 MHz und 1900 MHz; entspricht dem bisherigen Paket *dect_mon05*.

F **Ausblick und Hinweise für die nächste Messreihe**

Dieser Abschnitt soll abschließend einige für die Zukunft des EMF-Monitorings wichtige Aspekte zusammenfassen und einen Ausblick auf die nächste Messreihe geben. Er bietet eine Übersicht über Fragestellungen, die weiter beobachtet oder beachtet werden sollten und gibt Anregungen, wie die nächste Messreihe gestaltet werden könnte.

F.1 **Grenzwerte**

Während der dritten Messreihe und der Erstellung dieses Abschlussberichts befand sich die *Verordnung über elektromagnetische Felder*⁶¹ im Novellierungsprozess. Mit Inkrafttreten der *Verordnung zur Änderung der Vorschriften über elektromagnetische Felder und das telekommunikationsrechtliche Nachweisverfahren* wird u. a. die Regelungslücke in den Grenzwerten der 26. BImSchV unterhalb von 10 MHz geschlossen. Damit eignet sie sich künftig auch für die Bewertung der Messdaten des EMF-Monitorings. Mit Ausnahme des Grenzwerts für die magnetische Flussdichte bei 50 Hz werden sich die Grenzwerte künftig an denen von ICNIRP aus dem Jahr 2010 [6] orientieren. Anhang B hat diesen Aspekt bereits im vorliegenden Messbericht aufgegriffen und erleichtert damit die Umstellung in der nächsten Messreihe.

Mehr Informationen zum Thema ab Seite 144.

F.2 **Messtechnik und Konzeptionelles**

Das für die dritte Messreihe eingesetzte Messsystem nähert sich dem Ende seiner Lebensdauer. Unter mehr als 1200 Auf- und Abbauten des Systems haben Antennen, Kabel und Geräte gelitten. Hinzu kommt, dass der verwendete Spektrumanalyzer aus dem Jahr 2001 technisch veraltet ist. Deshalb wurde 2013 ein Ersatz beschafft, der einerseits leichter und kompakter gebaut ist und andererseits neue technische Möglichkeiten eröffnet:

- Der neue Spektrumanalyzer ermöglicht die codeselektive Messung von UMTS und/oder LTE. Sofern von den Mobilfunkbetreibern ein Durchschnittswert für die Hochrechnungsparameter geliefert werden kann, könnten diese Mobilfunknetze sogar näherungsweise auf maximale Anlagenauslastung hochgerechnet werden.
- Die Quantifizierung der Überbewertung des GSM-Mobilfunks durch Frequenzhopping ließe sich durch eine intelligente Auswahl von neuen Detektoren und Programmierung einer geeigneten Auswertesoftware in den Griff bekommen.
- Möglich, aber nicht unbedingt erforderlich, ist auch eine Ausweitung des Frequenzbereichs bis 6 GHz. Angesichts der Tatsache, dass dort derzeit überwiegend Indoor-WLAN-Netze betrieben werden, die auf Grund der Kombination aus hoher Frequenz und geringer Sendeleistung kaum durch Hauswände hindurch reichen, sollte die Notwendigkeit zur Ausdehnung des Frequenzbereichs kritisch hinterfragt werden.

Der neue Spektrumanalyzer ist tragbar und akkubetrieben, was neue Möglichkeiten und eine größere Flexibilität eröffnet. Auf der anderen Seite führt der Wechsel von Spektrumanalyzer und Antennen unweigerlich auch zu einem Bruch innerhalb der Messreihe. Die Vergleichbarkeit mit den ersten drei Messreihen ist dadurch eingeschränkt. Auf der anderen Seite ergeben sich daraus auch neue Möglichkeiten, bestehende Schwachpunkte des Monitoringkonzepts zu beseitigen. Hier ist vorrangig die Messpunktauswahl zu nennen, bei der innerhalb der Gemeinden mit dem gewählten Flächenverfahren die Bevölkerungsgewichtung verlassen wurde, weshalb Randlagen überdurchschnittlich hohes Gewicht erfahren haben. Es sollte vor der kommenden Messreihe deshalb diskutiert werden, den Schritt

⁶¹Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes; 26. BImSchV

zu wagen, 400 komplett neue Messpunkte zufällig und bevölkerungsgewichtet zu ziehen, wobei die Bevölkerungsgewichtung beispielsweise gewährleistet werden könnte, indem vollständige postalische Adressen gezogen werden.

F.3 Niederfrequente Felder

Der Bereich niederfrequenter Felder steht vor dem Hintergrund der Energiewende vor einem Umbruch. Die Umverteilung der Stromerzeugung von zentralen Großkraftwerken (Kernkraft, Erdöl, Erdgas, Kohle) hin zu einem dezentralen Modell (Windenergie, Wasserkraft, Solarenergie, Erdwärme, Biogas), die Netzoptimierung und Verstärkung bestehender Teilnetze sowie der Bau neuer Stromtrassen könnten die Immissionen niederfrequenter Felder drastischer ändern als ein um wenige Prozentpunkte geänderter Gesamtstromverbrauch. Ob dieser Aus- und Umbau der Netze messtechnisch korrekt erfasst werden kann, hängt von der Eignung der bisher verwendeten Messsonden für das elektrische und magnetische Feld ab:

- Die Ergebnisse niederfrequenter elektrischer Felder bewegen sich an der Nachweisgrenze des Messgeräts. Die bisherigen Messreihen haben gezeigt, dass offenbar verschiedene interne und externe Einflüsse größer sind als die langjährigen Veränderungen dieser Felder. Somit steht die Frage im Raum, inwieweit die weitere Betrachtung niederfrequenter elektrischer Felder sinnvoll ist.
- Auch die niederfrequenten magnetischen Felder weisen Schwankungen auf, die nicht allein mit den Schwankungen des Energieverbrauchs erklärbar sind. Dieser Bereich sollte weiter beobachtet werden. Ob mit dem bestehenden Studiendesign und den vorhandenen Messgeräten der Einfluss der Energiewende nachweisbar sein wird, wird zu klären sein.
- Es sollte geprüft werden, ob die nicht verwertbaren Spektren durch einen Fehler in der automatischen Messbereichswahl zu Stande kommen und gegebenenfalls künftig mit fest eingestelltem Messbereich gearbeitet werden. Zusätzlich sollte eine Rücksprache mit dem Hersteller und/oder eine Ersatzbeschaffung in Erwägung gezogen werden.

Mehr Informationen zum Thema auf den Seiten 24 – 25, 36 und 43 – 44.

F.4 Stimulationswirkungen im Frequenzbereich des Hörfunks

Mittel- bis langfristig ist davon auszugehen, dass es zu weiteren Abschaltungen von Lang-, Mittel- und Kurzwellensendern kommen wird. Im Bereich der Stimulationswirkung bedeutet dies:

- Für die Stimulationswirkung elektrischer Felder verlieren die dominierenden Beiträge des Hörfunks an Gewicht, und die Bedeutung der niederfrequenten Felder, deren Erfassung mit großen Unsicherheiten verbunden ist, nimmt zu.
- Die Bedeutung der niederfrequenten Magnetfelder, die den Hauptbeitrag zur Stimulationswirkung magnetischer Felder liefern, nimmt weiter zu.

Mehr Informationen zum Thema auf den Seiten 39, 41 und 48.

F.5 Thermische Wirkung im Frequenzbereich des Hörfunks

Durch weitere Abschaltungen von Lang-, Mittel- und Kurzwellensendern werden im Bereich der thermischen Wirkung deren bislang dominierende Beiträge massiv an Bedeutung verlieren. Ob und wie weit ein Ausbau von DAB+ dies kompensieren wird, werden zukünftige Messreihen zeigen müssen. Entscheidend werden dabei die Flächenverfügbarkeit sowie das Programmangebot von DAB+ sein.

Mehr Informationen zum Thema auf den Seiten 51 – 52.

F.6 Mobilfunk

Generell sind im Mobilfunk umfangreiche Änderungen zu erwarten und alternative Konzepte zur Erfassung der Immissionen zu entwickeln. Entscheidende Aspekte werden dabei sein:

- Die Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen bereitet für Ende 2014 oder Anfang 2015 eine umfassende Frequenzauktion vor. Nach derzeitigem Kenntnisstand wird darin die weitere Nutzung der jetzigen GSM-Frequenzen⁶² enthalten sein sowie die sogenannte "Digitale Dividende II" im Bereich zwischen 694 MHz und 790 MHz (derzeitige Fernsehkanäle E49 bis E60), für die möglicherweise eine gemeinsame Nutzung von Fernsehen und Mobilfunk umgesetzt wird, und die ehemaligen DAB-Frequenzen im L-Band zwischen 1452 MHz und 1492 MHz.
- Die Frequenznutzung wird zunehmend technologieneutral möglich sein, was auf EU-Regulierung und §1 des Telekommunikationsgesetzes (2004) zurückgeht. Dadurch entsteht in den Frequenzbändern eine Mischnutzung verschiedener Funksysteme, wie sie aktuell bereits im Frequenzband bei 1800 MHz (LTE und GSM) zu finden ist. Sie erschwert die (automatische) messtechnische Erfassung der Immissionen, weil unterschiedliche Funkdienste verschiedene Messparameter erfordern.
- Durch die Erfüllung der Lizenzauflagen für LTE bei 800 MHz rückt ein rascher Ausbau der LTE-Netze im städtischen Umfeld in greifbare Nähe.
- Inwieweit wird UMTS als Mobilfunkstandard bestehen bleiben? Oder ist mittelfristig mit einer sukzessiven Ablösung durch LTE zu rechnen?
- Die geplante Fusion der Mobilfunkgesellschaften Telefónica Germany und der E-Plus-Gruppe könnte auch für das EMF-Monitoring weit reichende Auswirkungen haben. Entscheidend wird sein, ob sich die künftige Mobilfunklandschaft eher in Richtung dreier Netzbetreiber entwickelt, oder ob es im Rahmen der anstehenden Frequenzauktion zum Neueinstieg bislang nicht verteilter Firmen kommt.

Mehr Informationen zum Thema auf den Seiten 62 – 62 und 71.

F.7 BOSNet

Nachdem in der Messreihe 2011/2012 die Erfassung der Immissionen der analogen Funknetze der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) erstmals umfassend und bayernweit erfolgt ist, werden nach eventueller Inbetriebnahme des BOS-Digitalfunks TETRA im Jahre 2014 umfangreiche Vergleiche und Aussagen zu den Veränderungen der Immissionen möglich.

Mehr Informationen zum Thema auf den Seiten 72 – 73.

F.8 Allgemeines zur Auswertung

Im vorliegenden Abschlussbericht wurde erstmals mit einer geänderten Gebietsklassifizierung auf Basis von Bevölkerungsdichten gearbeitet. Das Konzept scheint geeignet, die bisherigen Klassen abzulösen. Bei entsprechender Verfügbarkeit von kleinräumigen Daten – beispielsweise Rasterdichten von 1 km² anstelle der mittleren Bevölkerungsdichten der Gemeinden, wie in diesem Bericht verwendet – könnte die reale Situation noch exakter abgebildet werden.

Der Bericht hat darüber hinaus gezeigt, dass es aus statistischer Sicht besser wäre, mit Logarithmen zu arbeiten. Deshalb sollte bei der Umstellung auf das neue Messsystem und bei der Konzeptionierung der Messroutinen darauf geachtet werden, dass künftig an jedem Messpunkt und für jeden Funkdienst mindestens ein von Null verschiedener Messwert vorliegt. Die statistische Auswertung würde hiervon wesentlich profitieren.

⁶²Die derzeitige Frequenzuteilung läuft zum 31. Dezember 2016 aus.

Abbildungsverzeichnis

1-1	Lage der Messpunkte in Bayern.	6
2-1	Beispiel für die Übersichten zu den Ausschöpfungsgraden.	9
2-2	Beispiel-Histogramm für den thermischen Ausschöpfungsgrad.	12
3-1	Messaufbau beim EMF-Monitoring.	15
3-2	Antennenfaktor der Antenne HE309 (Pfad 7).	17
3-3	Kabeldämpfungen der Hochfrequenzpfade.	18
3-4	Jahreszeitliche Verteilung der Messzeiten nach Kalenderwochen, zeitliche Abstände zwischen den Messreihen und mittlere Messzeit je Messpunkt.	21
3-5	Messpunkt 249 bei den Messreihen 2006/2007 und 2011/2012.	22
3-6	Messpunkt 370 bei den Messreihen 2006/2007 und 2011/2012.	22
3-7	Erweiterte Dokumentation des Antennenaufbaus bei der dritten Messreihe.	22
4-1	Vergleich ausgewählter Spektren des niederfrequenten elektrischen Felds: Exemplarischer Messpunkt der Messreihe 2002/2003 und aktuelle Messung in einer Schirmkabine.	24
4-2	Vergleich ausgewählter Spektren des niederfrequenten magnetischen Felds zwischen den Messreihen.	25
4-3	Beispiel zur Bestimmung der Nachweisschwellen der Hochfrequenzmesspakete.	26
4-4	Schematische Darstellung der Auswertung.	28
4-5	Referenzwerte für die elektrische und magnetische Feldstärke nach ICNIRP.	31
5-1	Bayernweit gemittelte Spektren für Lang- und Mittelwelle; Ausbreitungsverhalten von Lang- und Mittelwelle im Vergleich.	34
6-1	Messpunkte mit dem zweithöchsten und höchsten Ausschöpfungsgrad niederfrequenter elektrischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen.	35
6-2	Übersichten zu den Ausschöpfungsgraden elektrischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (Niederfrequenz).	37
6-3	Histogramme für den Ausschöpfungsgrad elektrischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (Niederfrequenz).	38
6-4	Messpunkte mit dem niedrigsten und höchsten Ausschöpfungsgrad elektrischer Felder im Lang- und Mittelwellenbereich.	39
6-5	Übersichten zu den Ausschöpfungsgraden elektrischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (gesamt).	41
6-6	Histogramme für den Ausschöpfungsgrad elektrischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (gesamt).	42
6-7	Messpunkte mit dem niedrigsten und höchsten Ausschöpfungsgrad niederfrequenter magnetischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen.	43
6-8	Übersichten zu den Ausschöpfungsgraden magnetischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (Niederfrequenz); Entwicklung des Bruttostromverbrauchs in Deutschland.	45
6-9	Histogramme für den Ausschöpfungsgrad magnetischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (Niederfrequenz).	46
6-10	Äquivalenz der Verteilungskurven für die Ausschöpfungsgrade bezüglich elektrischer und magnetischer Feldstärke (Stimulationswirkung) im Frequenzbereich der Lang- und Mittelwelle.	47
6-11	Übersichten zu den Ausschöpfungsgraden magnetischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (gesamt).	48
6-12	Histogramme für den Ausschöpfungsgrad magnetischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (gesamt).	49
7-1	Messpunkte mit dem niedrigsten und höchsten thermischen Ausschöpfungsgrad beim Hörfunk.	51
7-2	Übersichten zu den thermischen Ausschöpfungsgraden beim Hörfunk.	54

7-3	Histogramme für den thermischen Ausschöpfungsgrad beim Hörfunk.	55
7-4	Bayernweit gemittelte Spektren im UHF-Frequenzbereich (Terrestrisches Fernsehen). . .	57
7-5	Übersichten zu den thermischen Ausschöpfungsgraden beim Fernsehen.	60
7-6	Histogramme für den thermischen Ausschöpfungsgrad beim Fernsehen.	61
7-7	Messpunkte mit dem niedrigsten und höchsten thermischen Ausschöpfungsgrad beim Mobilfunk.	62
7-8	Bayernweit gemittelte Mobilfunk-Spektren.	64
7-9	Messpunkte mit besonderen LTE- und UMTS-Immissionen.	65
7-10	Übersichten zu den thermischen Ausschöpfungsgraden beim Mobilfunk.	67
7-11	Histogramme für den thermischen Ausschöpfungsgrad beim Mobilfunk.	68
7-12	Entwicklung der Immissionen im UHF-Frequenzband zwischen 790 MHz und 862 MHz (ehemalige Fernsehkanäle E61 bis E69, sogenannte "Digitale Dividende").	69
7-13	Laboraufbau zur Validierung von Messpaketen mittels Signalgenerator.	70
7-14	Ergebnisse der Validierung der RMS-Messpakete für GSM-Mobilfunk.	72
7-15	Übersichten zu den thermischen Ausschöpfungsgraden beim BOS-Funk.	74
7-16	Übersichten zu den thermischen Ausschöpfungsgraden sonstiger Funkdienste.	76
7-17	Übersichten zu den thermischen Ausschöpfungsgraden (gesamt).	78
7-18	Histogramme für den thermischen Ausschöpfungsgrad (gesamt).	79
9-1	Referenzmesspunkt in der Stadt Hof.	85
9-2	Zeitliche Lage der 20 Messungen am Referenzmesspunkt.	85
10-1	Verteilung der Messpunkte auf unterschiedliche Gebietskategorien.	90
10-2	Mittlere Anteile einzelner Funkdienste an den Gesamtimmissionen in Abhängigkeit von der Bevölkerungsdichte im Verlauf der drei Messreihen.	94
10-3	Mittlere Anteile einzelner Funkdienste an den Gesamtimmissionen in Abhängigkeit von der Gemeindegröße im Verlauf der drei Messreihen.	95
10-4	Mittlere Anteile einzelner Funkdienste an den Gesamtimmissionen in Abhängigkeit von der Gebietsart im Verlauf der drei Messreihen.	96
10-5	Dekadisch gruppierte Verteilung der Ausschöpfungsgrade im Bereich der Stimulationswirkungen (elektrisches Feld, gesamt).	100
10-6	Dekadisch gruppierte Verteilung der Ausschöpfungsgrade im Bereich der Stimulationswirkungen (magnetisches Feld, gesamt).	101
10-7	Dekadisch gruppierte Verteilung der thermischen Ausschöpfungsgrade beim Hörfunk. . .	102
10-8	Dekadisch gruppierte Verteilung der thermischen Ausschöpfungsgrade beim Fernsehen. .	103
10-9	Dekadisch gruppierte Verteilung der thermischen Ausschöpfungsgrade beim Mobilfunk. .	104
10-10	Dekadisch gruppierte Verteilung der thermischen Ausschöpfungsgrade (gesamt).	105
11-1	Mittlere Anteile einzelner Funkdienste zu den Gesamtimmissionen für die thermische Wirkung im Vergleich zwischen den Messreihen; Veranschaulichung der Immissionen im Verhältnis zum Grenzwert.	108
B-1	ICNIRP-Referenzwerte für die elektrische Feldstärke im Bereich der Stimulationswirkungen.	145
B-2	Vergleich der Ausschöpfungsgrade elektrischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen zwischen der Bewertung nach den ICNIRP-Referenzwerten aus dem Jahr 1998 und denen aus dem Jahr 2010.	146
B-3	ICNIRP-Referenzwerte für die magnetische Flussdichte im Bereich der Stimulationswirkungen.	147
B-4	Vergleich der Ausschöpfungsgrade magnetischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen zwischen der Bewertung nach den ICNIRP-Referenzwerten aus dem Jahr 1998 und denen aus dem Jahr 2010.	149
C-1	Gewichtete mittlere Anteile einzelner Beiträge zu den Gesamtimmissionen für die Stimulationswirkung elektrischer Felder im Vergleich zwischen den Messreihen.	150
C-2	Gewichtete mittlere Anteile einzelner Beiträge zu den Gesamtimmissionen für die Stimulationswirkung magnetischer Felder im Vergleich zwischen den Messreihen.	151

C-3	Gewichtete mittlere Anteile einzelner Beiträge zu den Hörfunkimmissionen für die thermische Wirkung im Vergleich zwischen den Messreihen.	151
C-4	Gewichtete mittlere Anteile einzelner Beiträge zu den Fernsehmissionen für die thermische Wirkung im Vergleich zwischen den Messreihen.	151
C-5	Gewichtete mittlere Anteile einzelner Beiträge zu den Mobilfunkmissionen für die thermische Wirkung im Vergleich zwischen den Messreihen.	152
C-6	Gewichtete mittlere Anteile einzelner Beiträge zu den Gesamtmissionen für die thermische Wirkung im Vergleich zwischen den Messreihen.	152

Tabellenverzeichnis

2-1	Physikalische Größen, Formelzeichen und Einheiten.	8
4-1	Schwellenwerte der Hochfrequenzmesspakete.	27
5-1	Bayernweit gemittelte Feldstärkewerte ausgewählter Lang- und Mittelwellensender.	33
6-1	Statistische Spannweite der Ausschöpfungsgrade elektrischer Felder (Niederfrequenz bis 32 kHz).	36
6-2	Statistische Lagemaße für den Ausschöpfungsgrad elektrischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (bis 10 MHz).	40
6-3	Statistische Spannweite der Ausschöpfungsgrade magnetischer Felder (Niederfrequenz bis 32 kHz).	44
6-4	Statistische Lagemaße für den Ausschöpfungsgrad magnetischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (bis 10 MHz).	50
7-1	Aufschlüsselung über die Zu- und Abnahme der thermischen Ausschöpfungsgrade in den Hörfunkbändern.	53
7-2	Statistische Spannweite der thermischen Ausschöpfungsgrade beim Hörfunk.	53
7-3	DVB-T-Umstellungen in Bayern und Umgebung.	56
7-4	Statistische Spannweite der thermischen Ausschöpfungsgrade beim terrestrischen Fernsehen.	58
7-5	Statistische Spannweite der thermischen Ausschöpfungsgrade beim Mobilfunk.	66
7-6	Statistische Spannweite der thermischen Ausschöpfungsgrade (gesamt).	80
7-7	Statistische Lagemaße im Hochfrequenzbereich (thermische Wirkung).	81
8-1	Parameter des <i>t</i> -Tests und des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests für die gepaarten Stichproben der Messreihen 2002/2003 und 2011/2012 sowie 2006/2007 und 2011/2012.	84
9-1	Statistische Lagemaße von insgesamt 20 Messungen am Referenzmesspunkt.	86
9-2	Änderung der Mittelwerte im Laufe der Messreihen.	88
9-3	Änderung der Medianwerte im Laufe der Messreihen.	88
9-4	Effektstärken der Änderungen der Mittelwerte und Mediane zwischen den Messreihen.	89
10-1	Medianwerte der Ausschöpfungsgrade in den verschiedenen Gebietsklassen.	97
10-2	Mittelwerte der Ausschöpfungsgrade in den verschiedenen Gebietsklassen.	98
10-3	Medianwerte thermischer Ausschöpfungsgrade einzelner Hörfunkbänder in den verschiedenen Gebietsklassen.	99
A-1	Einzelergebnisse an den Messpunkten 1 – 12	110
A-2	Einzelergebnisse an den Messpunkten 13 – 24	111
A-3	Einzelergebnisse an den Messpunkten 25 – 36	112
A-4	Einzelergebnisse an den Messpunkten 37 – 48	113
A-5	Einzelergebnisse an den Messpunkten 49 – 60	114
A-6	Einzelergebnisse an den Messpunkten 61 – 72	115
A-7	Einzelergebnisse an den Messpunkten 73 – 84	116
A-8	Einzelergebnisse an den Messpunkten 85 – 96	117
A-9	Einzelergebnisse an den Messpunkten 97 – 108	118
A-10	Einzelergebnisse an den Messpunkten 109 – 120	119
A-11	Einzelergebnisse an den Messpunkten 121 – 132	120
A-12	Einzelergebnisse an den Messpunkten 133 – 144	121
A-13	Einzelergebnisse an den Messpunkten 145 – 156	122
A-14	Einzelergebnisse an den Messpunkten 157 – 168	123
A-15	Einzelergebnisse an den Messpunkten 169 – 180	124
A-16	Einzelergebnisse an den Messpunkten 181 – 192	125
A-17	Einzelergebnisse an den Messpunkten 193 – 204	126

A-18 Einzelergebnisse an den Messpunkten 205 – 216	127
A-19 Einzelergebnisse an den Messpunkten 217 – 228	128
A-20 Einzelergebnisse an den Messpunkten 229 – 240	129
A-21 Einzelergebnisse an den Messpunkten 241 – 252	130
A-22 Einzelergebnisse an den Messpunkten 253 – 264	131
A-23 Einzelergebnisse an den Messpunkten 265 – 276	132
A-24 Einzelergebnisse an den Messpunkten 277 – 288	133
A-25 Einzelergebnisse an den Messpunkten 289 – 300	134
A-26 Einzelergebnisse an den Messpunkten 301 – 312	135
A-27 Einzelergebnisse an den Messpunkten 313 – 324	136
A-28 Einzelergebnisse an den Messpunkten 325 – 336	137
A-29 Einzelergebnisse an den Messpunkten 337 – 348	138
A-30 Einzelergebnisse an den Messpunkten 349 – 360	139
A-31 Einzelergebnisse an den Messpunkten 361 – 372	140
A-32 Einzelergebnisse an den Messpunkten 373 – 384	141
A-33 Einzelergebnisse an den Messpunkten 385 – 396	142
A-34 Einzelergebnisse an den Messpunkten 397 – 403	143
B-1 Mittel- und Medianwerte der Ausschöpfungsgrade elektrischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen im Vergleich zwischen alten und neuen ICNIRP-Referenzwerten.	145
B-2 Mittel- und Medianwerte der Ausschöpfungsgrade magnetischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen im Vergleich zwischen alten und neuen ICNIRP-Referenzwerten.	148
D-1 Vergleich der Immissionen niederfrequenter Magnetfelder: a) Berücksichtigung aller Messpunkte in der zweiten und dritten Messreihe; b) auf Basis nur derjenigen Messpunkte, für die in der ersten Messreihe Daten vorliegen.	154

Literaturverzeichnis

- [1] Bayerisches Landesamt für Umwelt: *EMF-Monitoring in Bayern. Bericht über die Messungen von elektromagnetischen Feldern (EMF) in Wohngebieten während der Jahre 2002 – 2003*. Augsburg, April 2006.
http://www.lfu.bayern.de/strahlung/emf_monitoring/doc/endbericht_emf.pdf
- [2] Bayerisches Landesamt für Umwelt: *EMF-Monitoring in Bayern 2006/2007. Messungen von elektromagnetischen Feldern (EMF) in Wohngebieten*. Augsburg, August 2008.
http://www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu_mf_00005.htm
- [3] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)*. In: *Health Physics* 74 Nr. 4 (1998), S. 494 – 522.
- [4] *Council recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz) (1999/519/EC)*. In: *Official Journal of the European Communities* 42, Nr. L199 (1999), S. 59 – 70.
- [5] *Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes*. In: *Bundesgesetzblatt I* Nr. 66 (1996), S. 1966.
http://bundesrecht.juris.de/bimschv_26/index.html
- [6] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz – 100 kHz)*. In: *Health Physics* 99 Nr. 6 (2010), S. 818 – 836.
- [7] Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen; Bundeskartellamt: *Monitoringbericht 2012. Monitoringbericht gemäß § 63 Abs. 3 i. V. m. § 35 EnWG und § 48 Abs. 3 i. V. m. § 53 Abs. 3 GWB*. 3. Auflage. Bonn, Februar 2013.
http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2012/MonitoringBericht2012.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- [8] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.: *Entwicklung der Energieversorgung 2012*. Berlin, März 2013.
[http://www.bdew.de/internet.nsf/id/7AACA6D65A6442A7C1257B3500510242/\\$file/353_Energie-Info_Entwicklung_der_Energieversorgung_2012.pdf](http://www.bdew.de/internet.nsf/id/7AACA6D65A6442A7C1257B3500510242/$file/353_Energie-Info_Entwicklung_der_Energieversorgung_2012.pdf)
- [9] *Bestimmungen für Frequenzuteilungen zur Nutzung für das Betreiben von Funkanlagen der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) – BOS-Funkrichtlinie*. In: *Gemeinsames Ministerialblatt* 60 Nr. 39 (2009), S. 803.
- [10] Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik Nordrhein-Westfalen: *Statistisches Jahrbuch Nordrhein-Westfalen 2001*. Düsseldorf, Dezember 2001. ISBN 3-935372-11-6.
<https://webshop.it.nrw.de/details.php?id=9665&id2=8781>
- [11] Siewert, Beate; Wendler, Tilo: *Die Klassifizierung von Kommunen – ein Ansatz zur Vergleichbarkeit deutscher Städte und Gemeinden*. In: *Wirtschaft und Statistik* Nr. 8 (2005), S. 885 – 890.
https://www.destatis.de/DE/Publikationen/WirtschaftStatistik/Gastbeitraege/GastKlassifizierung_82005.pdf?__blob=publicationFile

