



# EMF-Monitoring in Bayern 2017/2018

Messungen von elektromagnetischen Feldern (EMF)  
in Wohngebieten



# strahlung





# **EMF-Monitoring in Bayern 2017/2018**

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

## Impressum

EMF-Monitoring in Bayern 2017/2018  
Messungen von elektromagnetischen Feldern (EMF) in Wohngebieten

### Herausgeber:

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

### Konzept/Text:

LfU: Dr. Thomas Kurz

### Redaktion:

LfU: Dr. Thomas Kurz, Marcus de Ridder, Dr. Rudolf Gulich, Elke Ratai, Dr. Michael Gerke, Dr. Roland Fischer

### Mitwirkende am EMF-Monitoring:

Allen am EMF-Monitoring 2017/2018 Beteiligten sei herzlich gedankt, insbesondere den Mitgliedern des Fachbeirats.  
Besonderer Dank an die Technische Hochschule Deggendorf und die EM-Institut GmbH.

### Bildnachweis:

Alle Bilder LfU

### Stand:

April 2021

### Druck:

Kern GmbH  
In der Kolling 120  
66450 Bexbach

Oktober 2022, 1. Auflage: 250 Exemplare



Dieses Druckerzeugnis wurde mit dem „Blauen Engel“ ausgezeichnet.

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt.

Diese Publikation wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 12 22 20 oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto:direkt@bayern.de) erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.



## Inhaltsverzeichnis

|          |                                                                                      |           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>                                                                    | <b>7</b>  |
| <b>2</b> | <b>Allgemeines</b>                                                                   | <b>9</b>  |
| 2.1      | Notation; Statistische Begriffe                                                      | 9         |
| 2.2      | Übersichtsgrafiken                                                                   | 10        |
| 2.2.1    | Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade                                           | 10        |
| 2.2.2    | Box-Plots für die Ausschöpfungsgrade                                                 | 10        |
| 2.3      | Tabellen statistischer Kenndaten                                                     | 12        |
| 2.4      | Anteilsdiagramme                                                                     | 12        |
| 2.5      | Hinweis zu Mittelwerten                                                              | 12        |
| <b>3</b> | <b>Vorgehensweise zur 4. Messreihe und Vergleichbarkeit zu bisherigen Messreihen</b> | <b>13</b> |
| 3.1      | Messtechnik und Messsystem                                                           | 14        |
| 3.2      | Messverfahren                                                                        | 16        |
| 3.3      | Vergleichbarkeit der Messsysteme                                                     | 20        |
| 3.3.1    | Vergleichsmessungen an ausgewählten Messpunkten                                      | 20        |
| 3.3.1.1  | UKW                                                                                  | 21        |
| 3.3.1.2  | Digitale Rundfunkdienste DAB, DVB-T und DVB-T2                                       | 26        |
| 3.3.1.3  | Mobilfunk                                                                            | 26        |
| 3.3.2    | Fazit zur Vergleichbarkeit                                                           | 32        |
| 3.4      | Reproduzierbarkeit der Messungen; Empfangseigenschaften der Messsysteme              | 32        |
| 3.4.1    | Antennenfaktoren und Kabeldämpfung                                                   | 32        |
| 3.4.2    | Empfangsempfindlichkeit der Messsysteme                                              | 34        |
| 3.4.3    | Reproduzierbarkeit der Messergebnisse                                                | 36        |
| 3.5      | Messdauer                                                                            | 37        |
| <b>4</b> | <b>Auswertung</b>                                                                    | <b>39</b> |
| 4.1      | Auswertesoftware                                                                     | 39        |
| 4.1.1    | Ansteuerung der Hardware                                                             | 39        |
| 4.1.2    | Funktionsprinzip Software                                                            | 40        |
| 4.1.2.1  | Datenverwaltung                                                                      | 40        |
| 4.1.3    | Auswertung                                                                           | 40        |

|          |                                                                                          |           |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.1.3.1  | Schritt 1: Schwellenwerte – Trennung von Signal und Rauschen                             | 41        |
| 4.1.3.2  | Schritt 2: Kalibrierung – Einbezug der Kalibrierdaten                                    | 42        |
| 4.1.3.3  | Schritte 3 und 4: Delogarithmierung der Feldstärkewerte und Beurteilung nach 26. BImSchV | 43        |
| 4.1.3.4  | Schritt 5: Summation nach Funkdiensten                                                   | 43        |
| 4.1.3.5  | Schritt 6: Mittelung mehrerer Messdurchgänge pro Messpunkt                               | 44        |
| 4.1.3.6  | Schritt 7: Statistikbildung                                                              | 44        |
| 4.2      | Nachweisschwellen der einzelnen Frequenzbereiche                                         | 45        |
| 4.2.1    | Niederfrequentes elektrisches und magnetisches Feld                                      | 45        |
| 4.2.1.1  | Das Problem verrauschter Spektren                                                        | 45        |
| 4.2.1.2  | Das Problem von Artefakten im elektrischen Feld                                          | 46        |
| 4.2.2    | Bestimmung der Nachweisschwellen für die vierte Messreihe                                | 49        |
| 4.2.2.1  | Grundsätzliches                                                                          | 49        |
| 4.2.2.2  | Lang- und Mittelwelle                                                                    | 50        |
| 4.3      | Umgang mit Daten früherer Messreihen                                                     | 51        |
| <b>5</b> | <b>Ergebnisse für die nicht-thermische Wirkung (Stimulationswirkungen)</b>               | <b>54</b> |
| 5.1      | Magnetische Feldstärke                                                                   | 55        |
| 5.2      | Elektrische Feldstärke                                                                   | 58        |
| <b>6</b> | <b>Ergebnisse für die thermische Wirkung</b>                                             | <b>63</b> |
| 6.1      | Rundfunk                                                                                 | 63        |
| 6.1.1    | Hörfunk: Lang-, Mittel- und Kurzwelle                                                    | 64        |
| 6.1.2    | Hörfunk: UKW und DAB                                                                     | 71        |
| 6.1.3    | Terrestrisches Fernsehen                                                                 | 74        |
| 6.2      | Kommerzieller Mobilfunk                                                                  | 76        |
| 6.2.1    | Generelles                                                                               | 76        |
| 6.2.1.1  | GSM                                                                                      | 76        |
| 6.2.1.2  | UMTS                                                                                     | 79        |
| 6.2.1.3  | LTE                                                                                      | 81        |
| 6.2.1.4  | 5G                                                                                       | 83        |
| 6.2.2    | Ergebnisse                                                                               | 83        |
| 6.2.2.1  | Zusammensetzung der Mobilfunkimmissionen                                                 | 83        |

|          |                                                                              |            |
|----------|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.2.3    | Mobilfunkimmissionen – Vergleich mit früheren Messreihen                     | 85         |
| 6.3      | Mobilfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS-Funk) | 88         |
| 6.4      | Sonstige Funkdienste                                                         | 90         |
| 6.5      | Gesamtbetrachtung                                                            | 93         |
| 6.6      | Gegenüberstellung der Immissionsverteilungen von Rundfunk und Mobilfunk      | 96         |
| <b>7</b> | <b>Zusammenfassung</b>                                                       | <b>99</b>  |
| 7.1      | Ergebnisse im Frequenzbereich der Stimulationswirkungen (bis 10 MHz)         | 99         |
| 7.2      | Ergebnisse im Frequenzbereich thermischer Wirkungen (ab 100 kHz)             | 100        |
| <b>8</b> | <b>Ausblick</b>                                                              | <b>102</b> |
| 8.1      | Statische Felder                                                             | 102        |
| 8.2      | Mobilfunk                                                                    | 102        |
| 8.3      | Rundfunk                                                                     | 103        |
| A        | Verteilungen einzelner Funkdienste                                           | 104        |
| A.1      | Erläuterung                                                                  | 104        |
| A.2      | Ergebnisse der Stimulationswirkung; Exposition durch magnetische Felder      | 106        |
| A.3      | Ergebnisse der Stimulationswirkung; Exposition durch elektrische Felder      | 110        |
| A.4      | Ergebnisse der thermischen Wirkung                                           | 114        |
| B        | Einzelergebnisse der Messpunkte                                              | 148        |
| C        | Auswertung mit ICNIRP-Referenzwerten von 1998                                | 180        |
| C.1      | Ergebnisse der Stimulationswirkung; Exposition durch magnetische Felder      | 181        |
| C.2      | Ergebnisse der Stimulationswirkung; Exposition durch elektrische Felder      | 185        |
| D        | Messtechnik – Messung von GSM-Signalen                                       | 189        |
| E        | Details der Messpakete                                                       | 194        |
| E.1      | Kanaltabellen                                                                | 194        |
| E.2      | Übersicht der Nachweisschwellen                                              | 197        |
| F        | Interne Hinweise für die nächste Messreihe                                   | 200        |
| F.1      | Vermessungsgeometrie                                                         | 200        |
| F.2      | Niederfrequente Felder                                                       | 200        |
| F.3      | Rundfunk                                                                     | 200        |
| F.4      | Energieversorgung                                                            | 200        |

|       |                                                                                           |            |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| G     | Aufbau der Ergebnisdatenbanken                                                            | 201        |
| G.1   | Die Datenstruktur – Datasets, Traces und Items                                            | 201        |
| G.2   | Physikalische Größen, Einheiten, Summationsregeln                                         | 201        |
| G.3   | Einen Überblick erhalten                                                                  | 202        |
| G.3.1 | datasets                                                                                  | 202        |
| G.3.2 | traces                                                                                    | 202        |
| G.4   | Gruppen                                                                                   | 203        |
| G.5   | Messpunktweise Ergebnisse; Verteilungskurven erstellen                                    | 204        |
| G.5.1 | UMTS-Ergebnisse aller Messpunkte                                                          | 205        |
| G.5.2 | Ergebnisse für die Stimulationswirkung durch Magnetfelder am Messpunkt MP1                | 205        |
| G.5.3 | Verteilungskurve für Rundfunk                                                             | 206        |
| G.5.4 | Messpunkt mit der höchsten Grenzwertausschöpfung für das niederfrequente elektrische Feld | 206        |
| G.6   | Statistiken über ganze Messreihen bilden                                                  | 206        |
|       | <b>Abkürzungsverzeichnis</b>                                                              | <b>208</b> |
|       | <b>Abbildungsverzeichnis</b>                                                              | <b>211</b> |
|       | <b>Tabellenverzeichnis</b>                                                                | <b>215</b> |
|       | <b>Literaturverzeichnis</b>                                                               | <b>219</b> |

# 1 Einleitung

Die Frage der Einwirkungen durch nicht-ionisierende elektromagnetische Felder ist in Bayern kontinuierlich von Interesse. Sie erreichte einen ersten Höhepunkt während des Mobilfunkbooms um das Jahr 2000. Die Kenntnis über die typische Stärke der Immissionen und deren Zusammensetzung als Mix aus Mobilfunk, Rundfunk und anderen Funkdiensten waren seinerzeit spärlich, was zur Initiierung des EMF-Monitorings veranlasste. Angelegt als wissenschaftliches Forschungsprojekt wird seither das nicht-ionisierende elektromagnetische Spektrum an möglichst denselben 403 Punkten in Wohngebieten gemessen. Dieser Bericht bildet den Abschluss der vierten Messreihe. Die Messungen in einem Zeitraum von über 15 Jahren bilden eine weltweit einmalige Datenbasis über die Verteilung und Entwicklung nicht-ionisierender elektromagnetischer Felder.

Die zeitlichen Abstände zwischen je zwei Messreihen wurden sukzessive etwas ausgedehnt. Dabei sind Erfahrungen aus früheren Messreihen eingeflossen. Die zu erwartende Aussagekraft einer weiteren Messreihe lässt sich inzwischen sowohl aus den Änderungen der Funklandschaft in den vergangenen Jahren als auch anhand der Entwicklungsdynamik, die frühere Messreihen aufgezeigt haben, gut einschätzen. So können zeitlich zu dicht aufeinanderfolgende Messreihen vermieden werden und die zur Verfügung stehenden finanziellen und personellen Ressourcen optimal genutzt werden. Die Notwendigkeit für neue Messungen ergab sich insbesondere, da zwischenzeitlich ein weitgehender Abschluss des LTE-Ausbaus zu beobachten war, mit 5G eine neue Mobilfunkgeneration in den Startlöchern steht, das digitale Funknetz für die Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) endlich den Regelbetrieb aufgenommen hat, beim Hörfunk eine massive Umstrukturierung samt Ausbau des Digitalradionetzes erfolgt ist und das terrestrische Fernsehen gerade einen neuen Umstieg auf DVB-T2 vornimmt. Im Bereich der Energieversorgung war die Energiewende zum Beginn der vierten Messreihe gerade angelaufen. Eine dichtere Abfolge der Messreihen ist andererseits nicht vonnöten: Die bisherigen Ergebnisse haben gezeigt, dass ein gravierender Anstieg der Immissionen trotz des zweifellos massiven Mobilfunkausbaus ausgeblieben ist. Alles in allem lag ein günstiger Zeitpunkt vor, um mit der Messreihe 2017/2018 eine konsequente Fortschreibung des Datenbestandes zu erzielen und zugleich ein solides Fundament zu errichten, auf dem die fünfte Messreihe wird aufbauen können.

Im Vergleich zu den vorangegangenen Messreihen zeichnet sich die vierte Messreihe durch eine Besonderheit aus. Nachdem das bislang genutzte Messsystem vom Hersteller nicht mehr unterstützt wurde und technisch in die Jahre gekommen ist, wurde das EMF-Monitoring auf ein neues Messsystem umgestellt. Darauf liegt auch ein Schwerpunkt dieses Berichts, denn die Vergleichbarkeit zu den Daten früherer Messreihen war ein elementares Anliegen dieser Messkampagne. Entsprechend wurde bereits im Vorfeld durch Vergleichsmessungen von altem und neuem Messsystem geprüft, ob eine Umstellung ohne Bruch in der Datenreihe möglich ist. Hierzu gehören nicht nur unterschiedliche Empfangscharakteristika der verwendeten Antennen und eine komplett verschiedene Funktionsweise der Spektrumanalysatoren, sondern auch die Erstellung und Validierung neuer Messeinstellungen. Zur Automatisierung der Messungen und zur Auswertung mussten daneben auch ein neuer Antennenumschalter konstruiert und eine neue Software erstellt werden, sodass letztlich eine fast vollständige messtechnische Neukonzeption des EMF-Monitorings entstanden ist.

Die weitere Gliederung des vorliegenden Berichts orientiert sich am vorherigen. Neu ist, dass wir erstmals Radio und Fernsehen als gemeinsamen Funkdienst *Rundfunk* zusammenfassen. Die Unterteilung nach Wirkungsmodellen (Stimulationswirkungen und thermische Wirkung) wurde beibehalten – eine Vermischung wäre im Rahmen des bestehenden Immissionsschutzkonzepts ohnehin nicht zulässig. Der Abschnitt über die statistischen Schwankungen am Referenzmesspunkt ist entfallen.

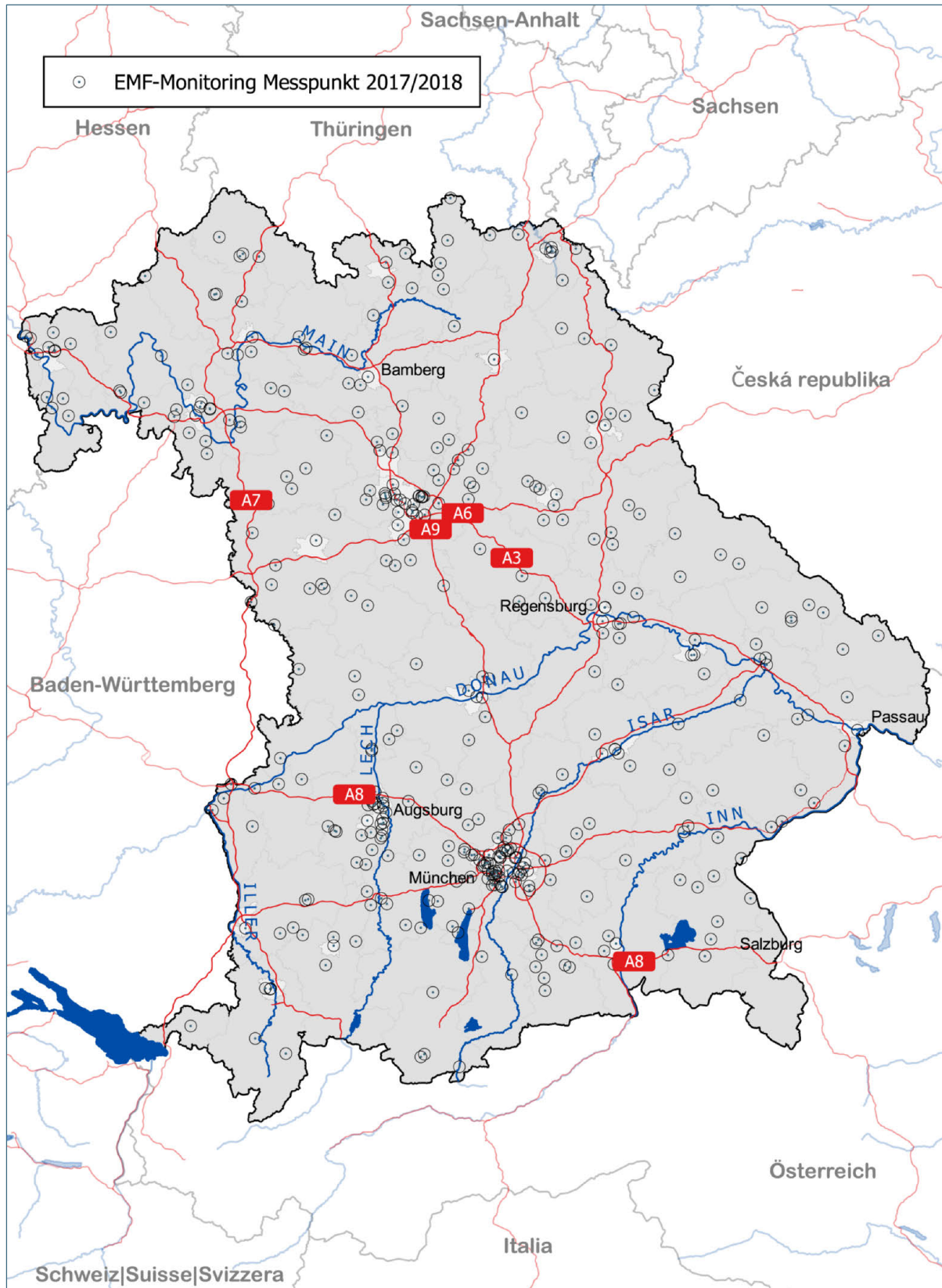


Abb. 1: Lage der 403 EMF-Monitoring-Messpunkte in Bayern. Kartendaten © OpenStreetMap-Mitwirkende.

## 2 Allgemeines

Dies ist der vierte Bericht zum EMF-Monitoring. Er wurde hinsichtlich der Aufbereitung von Grafiken und Tabellen möglichst einheitlich zum letzten Bericht [1] gestaltet.

### 2.1 Notation; Statistische Begriffe

Für die Tabellen und Abbildungen dieses Berichts werden zur Bezeichnung der physikalischen Größen folgende Formelzeichen verwendet (siehe auch Tab. 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 Flussdichte  $B$  aus.
- Ausschöpfungsgrade, das heißt 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 beziehungsweise 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. Die Kapitel 5 und 6 erläutern zu Beginn jeweils die Grenzwerte und die Berechnung der Ausschöpfungsgrade.
- 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:  $Q_{avg}$ .

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 75-Perzentil und 25-Perzentil.
- Der Variationskoeffizient  $c_v$  ist das Verhältnis von Standardabweichung zu (arithmetischem) Mittelwert.
- Der *Quartilsdispersionskoeffizient*  $c_q$  ist das Verhältnis von Interquartilsabstand zu Median.



Tab. 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 <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> | $Q_{E^2}$         | thermische Wirkung    |
| Leistungsdichte                    | $S$           | W/m <sup>2</sup>               | —                 | thermische Wirkung    |

## 2.2 Übersichtsgrafiken

Die wichtigste Darstellungsform der Ergebnisse sind Verteilungen und Box-Plots der Ausschöpfungsgrade. Abb. 2 zeigt ein kommentiertes Beispiel.

### 2.2.1 Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade

Im oberen Diagramm sind die Verteilungen der Ausschöpfungsgrade gezeigt. Die Linien stellen dabei jeweils die Gesamtmissionen des betrachteten Teilaspekts dar, in der Regel für alle vier Messreihen, die durch schwächer werdende Farbgebung und unterschiedliche Linienstile (**kräftigste Farbe, durchgezogene Linie und fett: aktuelle Messreihe; punkt-gestrichelt: dritte Messreihe 2011/2012; gestrichelt: zweite Messreihe 2006/2007; blasseste Farbe und gepunktet: erste Messreihe 2002/2003**) gekennzeichnet sind. Rote Rauten (♦) markieren das arithmetische Mittel der Immissionen. Die Einzelergebnisse sind aus Übersichtlichkeitsgründen nur für die Messreihe 2017/2018 gezeigt.

Das Beispiel in Abb. 2 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 graue 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 Beziehung 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.

### 2.2.2 Box-Plots für die Ausschöpfungsgrade

Unterhalb der Verteilungskurven befindet sich jeweils ein Box-Plot, in dem die Charakteristika der Gesamtmissionen zwischen den Messreihen verglichen werden können.

Der Wertebereich der Feldstärken – und damit auch der Ausschöpfungsgrade – verteilt sich im EMF-Monitoring in der Regel über mehrere Größenordnungen. Um diese Spannbreite vernünftig darstellen zu können, bedient man sich einer logarithmischen Darstellung oder man logarithmiert die Werte und trägt diese linear auf. Im letzten Bericht wurden beide Darstellungen untereinander aufgetragen: In der oberen Grafik die Ausschöpfungsgrade auf einer logarithmischen Skala zusammen mit dem arithmetischen Mittelwert der linearen Ausschöpfungsgrade und in der unteren Grafik die logarithmierten Werte



der Ausschöpfungsgrade auf einer linearen Skala zusammen mit dem arithmetischen Mittelwert der logarithmischen Ausschöpfungsgrade. Die Auftragung linearer Werte auf einer logarithmischen Skala unterscheidet sich jedoch nicht von der Auftragung logarithmierter Werte auf einer linearen Skala. Daher kann man beide Darstellungen prinzipiell zusammenfassen. Ein Unterschied besteht jedoch in den beiden Mittelwerten, da der Mittelwert der linearen Ausschöpfungsgrade ein anderer ist als der Mittelwert der logarithmierten Ausschöpfungsgrade. Daher werden nun beide Mittelwerte gekennzeichnet – als rot gefüllte Raute (◆) für das (lineare) arithmetische Mittel der Ausschöpfungsgrade und als rot umrandete Raute (◇) für den Mittelwert der logarithmierten Ausschöpfungsgrade – und in ein gemeinsames Diagramm gezeichnet.

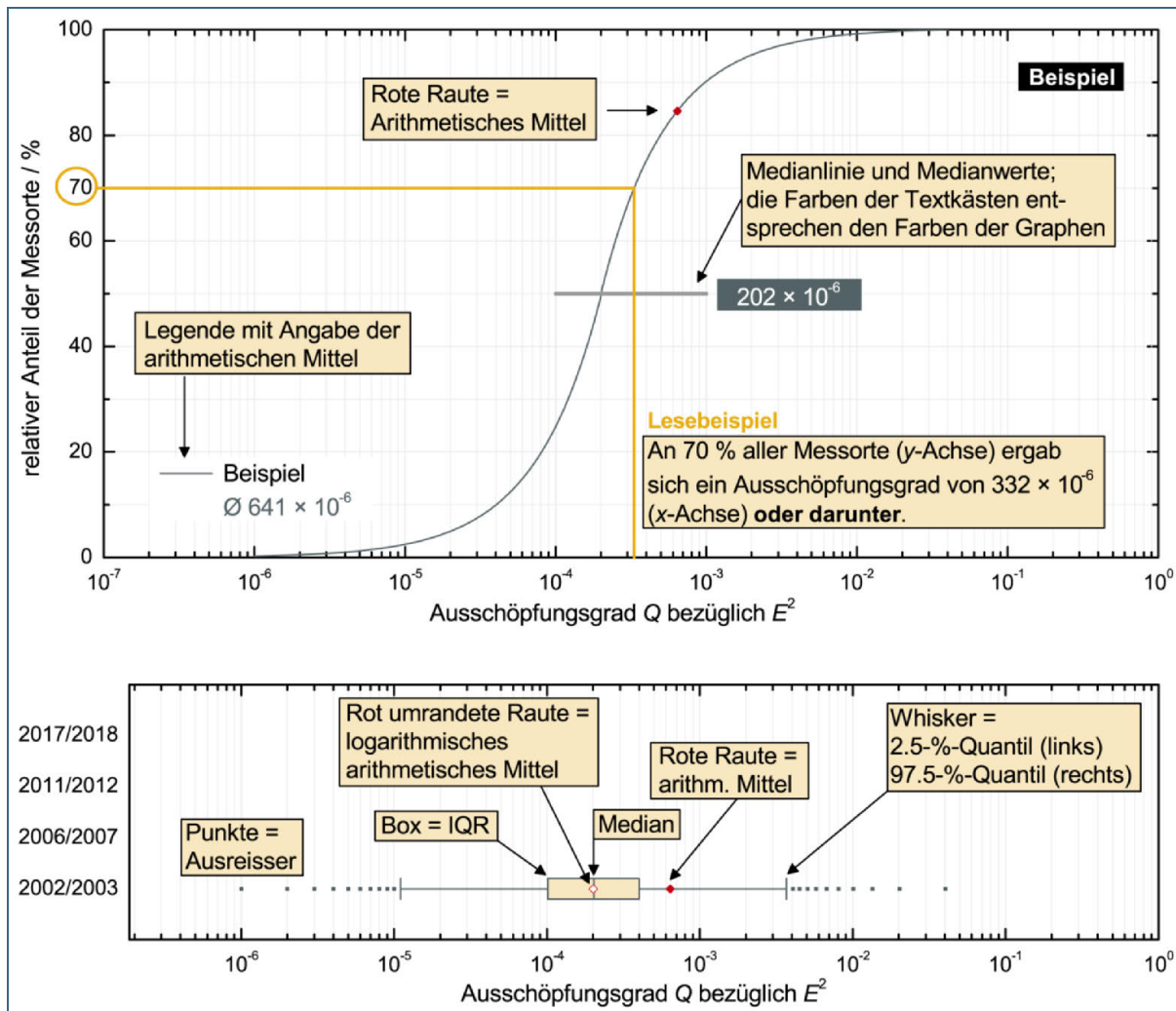


Abb. 2: Beispiel einer Verteilung der Ausschöpfungsgrade. Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.

In der Elektrotechnik trägt man der geschilderten Eigenschaft eines großen Werteraumes durch Verwendung logarithmierter Bezugsgrößen Rechnung. Für Feldstärken haben sich daher Dezibel-Einheiten (zum Beispiel  $\text{dB } \mu\text{V/m}$ ) bewährt, die sich aus dem Logarithmus der Feldstärke ergeben. Analog dazu ergibt eine logarithmische Mittelwertbildung von Ausschöpfungsgraden ein realistischeres Bild, was sich daran zeigt, dass der so berechnete Mittelwert im Allgemeinen zwischen unterem und oberem Quartil (25- und 75-Perzentil) und nicht selten sogar unweit des Medians zu liegen kommt, wohingegen der linear errechnete Mittelwert meist deutlich oberhalb des oberen Quartils liegt.

Im Beispiel in Abb. 2 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), das heißt die Hälfte aller Messpunkte weist kleinere Ausschöpfungsgrade als  $202 \cdot 10^{-6}$  auf; die andere Hälfte aller Messpunkte weist entsprechend größere Ausschöpfungsgrade auf. 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  $3,680 \cdot 10^{-6}$  (linker und rechter Whisker). Die Ergebnisse an den restlichen 5 % der Messpunkte werden als Ausreißer betrachtet und sind durch einzelne Punkte dargestellt.

## 2.3 Tabellen statistischer Kenndaten

Die Tabellen mit den statistischen Kenndaten sind aus Gründen der Übersichtlichkeit dieses Mal einheitlich in Anhang A zusammengefasst. Dem Anhang ist ein kurzes Lesebeispiel vorangestellt, um die Tabellen richtig interpretieren zu können.

## 2.4 Anteilsdiagramme

Bei den Anteilsdiagrammen handelt sich um Kreisdiagramme, die die Zusammensetzung von Immissionen aus Einzelbeiträgen zeigen. Sie waren im letzten Bericht für alle Messreihen gezeigt worden. Da sich inzwischen zu jedem Aspekt bereits vier Anteilsdiagramme ergeben, wurde aus Übersichtlichkeitsgründen beschlossen, nur noch die Anteile der *aktuellen* Messreihe darzustellen. Um mit einem Blick die zeitliche Entwicklung der Immissionen erkennen zu können, befinden sich neben dem Anteilsdiagramm Balkendiagramme für jeden beitragenden Funkdienst. Die Balkendiagramme zeigen die Entwicklung des *Medians* im Laufe der Messreihen. Alle Balkendiagramme einer Grafik sind identisch skaliert. Dadurch ist eine Vergleichbarkeit gegeben, und es fallen die Größenunterschiede zwischen den Teilbeiträgen ins Auge.

## 2.5 Hinweis zu Mittelwerten

Im Bericht werden oftmals gemittelte Daten gezeigt. Sofern nicht ausdrücklich anders vermerkt, gilt die Regel „gemittelt wie gezeigt“. Sind beispielsweise Feldstärken in der Einheit V/m dargestellt, dann wurden sie auch in V/m gemittelt. Sind sie dagegen in dB  $\mu$ V/m gezeigt, wurde entsprechend über die Dezibel Einheit gemittelt.

### 3 Vorgehensweise zur 4. Messreihe und Vergleichbarkeit zu bisherigen Messreihen

Dieses Kapitel beschreibt die Vorgehensweise bei der vierten Messreihe. Da es sich bei dieser Messreihe um eine faktische messtechnische Neukonzeption des EMF-Monitorings handelt, sind alle Aspekte bewusst ausführlich beschrieben. Es gliedert sich in folgende Unterkapitel:

1. *Messtechnik und Messsystem* beschreibt die Hardware, die in dieser Messreihe zum Einsatz kam.
2. *Messverfahren* erläutert die Messwerterfassung, die bei dieser Gelegenheit auch bestmöglich vereinheitlicht wurde. In diesem Unterkapitel sind auch alle neuen Setups aufgelistet, und es werden die wesentlichen Unterschiede zwischen den ersten drei Messreihen und der vierten Messreihe genannt.
3. Um sicherzustellen, dass die Neuerungen keinen Bruch in der Vergleichbarkeit der Messdaten nach sich ziehen, zeigt das Unterkapitel *Vergleichbarkeit zwischen den Messsystemen* die Vorgehensweise auf, mit der im Vorfeld an einer Teilmenge der Messpunkte Vergleichsmessungen durchgeführt wurden und diskutiert die daraus gewonnenen Erkenntnisse.
4. Den Abschluss bilden Abschnitte zur *Reproduzierbarkeit*, der *Kalibrierung* von Antennen und Kabeln, und zu den Messzeiten.

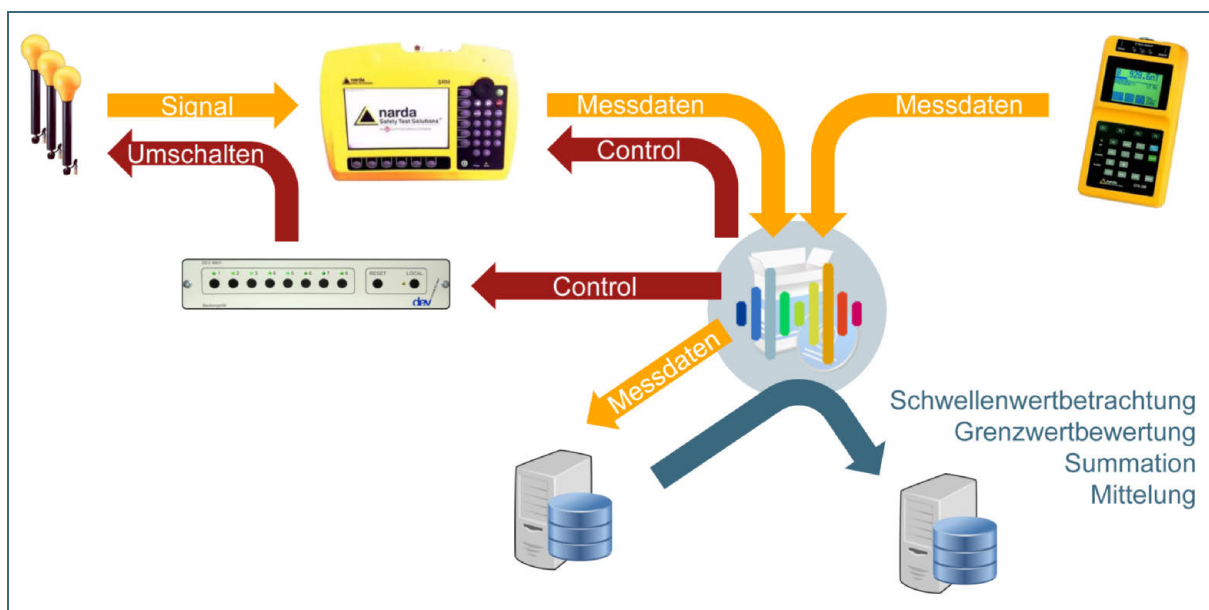


Abb. 3: Komponenten des EMF-Monitorings. Die Schaltzentrale ist die Mess- und Auswertesoftware (in Kapitel 4.1.2 detailliert beschrieben), die die Messgeräte ansteuert. Neben dem Niederfrequenz-Messgerät EFA-300 (oben rechts) bildet insbesondere der Spektrumanalysator Narda SRM-3006 mit seinen drei Antennen für verschiedene Frequenzbereiche (oben links) den Kern des Messsystems. Die Umschaltung auf die zum jeweiligen Setup benötigte Antenne übernimmt – wie bisher – die Steuereinheit DEV 9801 (Mitte links) mit nachgeschaltetem Antennenumschalter (nicht dargestellt). Die Software liest jeweils alle anfallenden Messdaten, auch diejenigen des EFA-300, von den Geräten aus und speichert sie in Datenbankdateien.

### 3.1 Messtechnik und Messsystem



Abb. 4: Exemplarischer Aufbau des neuen Messsystems. Von links nach rechts: Magnetfeldantenne für den Frequenzbereich 9 kHz – 250 MHz, E-Feld-Antennen für die Frequenzbereiche 27 MHz – 3 GHz und 420 MHz – 6 GHz, sowie die Sonden für niederfrequente elektrische und magnetische Felder von 5 Hz bis 32 kHz, die schon bislang zum Einsatz kamen.



Abb. 5: Zum Vergleich der exemplarische Aufbau des alten Messsystems. Am Antennenturm von oben nach unten: Rundempfangsantenne HE309 (20 MHz – 1,3 GHz, vertikale Polarisationssebene), HE314A1 (20 MHz – 500 MHz, horizontale Polarisationssebene), HF214 (500 MHz – 1,3 GHz, horizontal), sowie zwei Rundempfangsantennen HF902 (0,8 GHz – 3,0 GHz, horizontal und vertikal). Zusätzlich von links nach rechts: Niederfrequenzsonden für magnetische und elektrische Felder (5 Hz – 32 kHz) und zwei Loop-Antennen (9 kHz – 30 MHz). Ganz unten am Antennenturm ist der alte Umschalter für sieben Signalpfade zu erkennen.

Das neue Messsystem basiert auf aufeinander abgestimmten Komponenten der Firma Narda STS. Der zentrale Baustein ist ein Spektrumanalysator vom Typ SRM-3006, der verschiedene Betriebsarten unterstützt:

- Im Modus *Spectrum Analysis* erfolgt eine spektrale Darstellung der Feldstärken, das heißt  $E(f)$ . Er entspricht den spektralen Messungen der vorherigen Messreihen.
- Im Modus *Safety Evaluation* kann die kanalweise spektrale Leistung innerhalb frei definierbarer Frequenzraaster bestimmt werden. Dieser Modus wird für die vierte Messreihe durchgehend verwendet. Mehr Details hierzu finden sich in den Abschnitten 3.2 und E.1.
- *Level Recorder* und *Scope* dienen der zeitabhängigen Darstellung von Signalen. Beim EMF-Monitoring kamen sie aber nicht zum Einsatz.



- Die Modi *UMTS* und *LTE* können die Signale dieser Funkdienste codeselektiv messen. Sie wurden in der vierten Messreihe ergänzend verwendet.



Abb. 6: Der Narda-Spektrumanalysator SRM-3006 analysiert die Funksignale und ermittelt deren elektrische Feldstärken. Die beiden Anschlüsse dienen dem Antennensignal sowie der Abfrage von Kabeldämpfung und Antennengewinn aus EEPROMs, die in allen Narda-Kabeln und -Antennen integriert sind. Das Gerät ist dadurch selbstständig in der Lage, den am Signaleingang anliegenden Spannungspegel in eine elektrische Feldstärke umzurechnen.

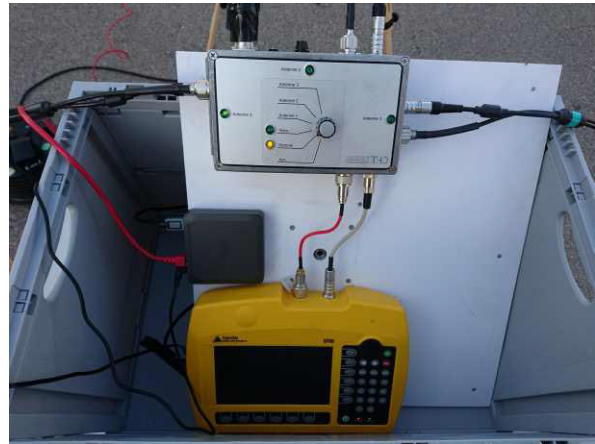


Abb. 7: Zur Umschaltung der Antennen wurde von der Technischen Hochschule Deggendorf diese Schalteinheit konstruiert. Sie verbindet jeweils eine Antenne mit dem Signaleingang des SRM-3006, wobei auch das zugehörige Steuerkabel zur Übermittlung der Kalibrierdaten durchverbunden wird. Der Umschalter ist fernsteuerbar; die Ansteuerung übernimmt eine Steuereinheit DEV 9801 (nicht im Bild). Insgesamt ist die Messsoftware dadurch in der Lage, nicht nur das jeweils benötigte Setup am SRM-3006 aufzurufen und die Ergebnisse auszulesen, sondern auch auf die dazu passende Antenne umzuschalten. Das Messprogramm läuft somit an jedem Messpunkt automatisch gesteuert und immer gleich ab.

Tab. 2: Eingesetzte Messtechnik im Überblick.

| Gerät                                       | Anmerkungen                                                                    |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Hochfrequenz</b>                         |                                                                                |
| H-Feld-Antenne 9 kHz – 250 MHz              | Schaltposition 1; Kalibrierung vom 2017-02-24                                  |
| E-Feld-Antenne 27 MHz – 3 GHz               | Schaltposition 2; Kalibrierung vom 2017-05-23                                  |
| E-Feld-Antenne 420 MHz – 6 GHz              | Schaltposition 3; Kalibrierung vom 2017-05-23                                  |
| Narda SRM-3006                              | Kalibrierung vom 2017-05-23                                                    |
| Umschalteinheit                             | Entwicklung der Technischen Hochschule Deggendorf; Kalibrierung vom 2017-06-06 |
| DEV 9801                                    | Steuergerät zur Umschalteinheit                                                |
| <b>Niederfrequenz</b>                       |                                                                                |
| Präzisions-B-Feld-Sonde 100 cm <sup>2</sup> | Sonde für niederfrequente Magnetfelder bis 32 kHz; Kalibrierung vom 2017-06-12 |
| Kabelsatz                                   | Kalibrierung vom 2017-03-08 und 2015-10-28                                     |
| E-Feld-Gerät                                | Sonde für niederfrequente elektrische Felder bis 32 kHz                        |
| Narda EFA-300                               | Kalibrierung vom 2017-06-06                                                    |

Drei Antennen decken die verschiedenen Frequenzbereiche ab: Eine Magnetfeldsonde umfasst den langwelligen Bereich von 9 kHz bis zur Hochfrequenz bei 250 MHz. Zwei Sonden für die elektrische Feldstärke decken den Hochfrequenz- und Mikrowellenbereich ab (27 MHz – 3,0 GHz und 420 MHz – 6,0 GHz). Bei allen drei Antennen handelt es sich um sogenannte dreiachsige Antennen, das heißt sie

erfassen die vektorielle Feldstärkesumme aller drei Polarisationssebenen quasigleichzeitig<sup>1</sup> und weisen dadurch eine annähernd isotrope Empfangscharakteristik auf. Zusammen decken die drei Antennen alle Funkdienste aus den bisherigen Monitoring-Messreihen ab. Darüber hinaus können mit dem Narda-Messsystem erstmals auch Funksignale zwischen 3,0 GHz und 6,0 GHz erfasst werden, was im Hinblick auf künftige Entwicklungen des Mobilfunks von Bedeutung ist.

Das SRM-3006 sieht nur einen Antenneneingang vor (siehe Abb. 6), sodass werkseitig nicht drei Antennen gleichzeitig betrieben werden können. Das Problem ist nicht neu; bereits beim alten Messsystem sah der Spektrumanalysator nur den Anschluss einer einzelnen Antenne vor. Um seinerzeit sieben Antennen verwenden zu können, wurde eine Umschalteneinheit – im Prinzip nur ein ansteuerbares Relais – dazwischengeschaltet. Dieses Konzept wurde beibehalten; allerdings musste die Umschalteneinheit neu konstruiert werden (Abb. 7). Zwar hätten die sieben Signalfade der alten Einheit von ihrer Anzahl her problemlos ausgereicht. Das SRM-3006 benötigt neben dem Antennensignal aber zusätzlich eine digitale Kommunikation mit der jeweiligen Antenne und dem zwischengeschalteten Kabel. Hierüber werden Kalibrierdaten abgefragt, die in allen Narda-Kabeln und Narda-Antennen in EEPROMs gespeichert sind. Das SRM-3006 ist dadurch in der Lage, die von der Antenne gelieferten elektrischen Spannungspegel direkt in elektrische Feldstärken umzurechnen – samt Berücksichtigung der Dämpfung im Antennenkabel. Die Umschalteneinheit wurde so konstruiert, dass sie mit der Steuereinheit DEV 9801 aus den früheren Messreihen kompatibel ist.

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder von 10 Hz bis 32 kHz werden mit einem Narda EFA-300 System erfasst (in Abb. 4 rechts zu sehen). Es hat in den bisherigen Messreihen zuverlässig gearbeitet<sup>2</sup> und wurde vor Beginn der vierten Messreihe vom Hersteller neu kalibriert. Es besteht aus einem Handgerät mit Magnetfeldsonde (100 cm<sup>2</sup>) und separater, würfelförmiger Sonde für elektrische Felder. Es ist unabhängig vom Hochfrequenzmesssystem.

### 3.2 Messverfahren

Für das elektromagnetische Spektrum von 60 kHz bis 6,0 GHz wurden Kanaltabellen und Setups erstellt, die auf die jeweiligen Besonderheiten der Funkdienste abgestimmt sind. Sie wurden darauf ausgelegt, zeitliche RMS-Mittelwerte der Funksignale zu erfassen, um Überbewertungen durch Spitzenwerterfassung zu verhindern. Im Gegensatz zur Messung der Spitzenpegel, die sehr schnell vonstattengeht, benötigt eine RMS-Messung ausreichend Messzeit und gut an die Signalstruktur angepasste Messparameter. Alle Messungen erfolgten konsequent im Modus *Safety Evaluation*, der eine korrekte Kanalleistungsmessung und saubere Trennung benachbarter Kanäle ermöglicht. Der Safety-Evaluation-Modus funktioniert anders als gewöhnliche spektrale Messungen [3]: Das zu erfassende Frequenzband wird zunächst in einzelne Funkkanäle (Services) unterteilt. Jeder Kanal wird einzeln gemessen, indem er wiederum in kleinere Bereiche<sup>3</sup> unterteilt wird, die jeweils die Breite einer RBW<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Tatsächlich werden die Polarisationssebenen nacheinander in sehr kurzen Zeitabständen gemessen. Für jede Polarisationssebene steht eine Messzeit von 20 ms zur Verfügung. Die Umschaltung zwischen zwei Ebenen benötigt jeweils weitere 20 ms. Die Messdauer für alle drei Ebenen summiert sich somit auf 120 ms, von denen 60 ms zur Gewinnung des Messwerts aufgewendet werden. [2]

<sup>2</sup> In den bisherigen Messreihen wurde bereits mehrfach über vereinzelt aufgetretene Niederfrequenzspektren berichtet, die lediglich ein rauschähnliches Signal mit Feldstärken auf offensichtlich falsch hohem Niveau zeigen. Das Zustandekommen solcher Spektren konnte nun geklärt werden und wird im Kapitel 4.2.1.1 dieses Berichts erklärt.

<sup>3</sup> Im Anhang E.1 ist für jeden Frequenzbereich angegeben, in wie viele Teilbereiche (Slices) die Kanäle unterteilt sind.

<sup>4</sup> Gewöhnlich gilt die Regel, die RBW größer oder gleich der Signalbandbreite zu wählen, um sicherzustellen, dass das Funksignal in seiner vollen Breite erfasst wird. Dies ist im Safety-Evaluation-Modus anders: Hier dient die RBW der Unterteilung eines Kanals in schmale Einzelbeiträge. Das SRM-3006 ist somit nicht als klassischer „Spektrumanalysator“ zu bezeichnen, weil es intern nach einem vollkommen anderen Verfahren als traditionelle Spektrumanalysatoren arbeitet. Entsprechend bezeichnet Narda es präziser als *Feldstärkeanalysator*.

aufweisen und über die leistungsbezogen summiert wird. Auf diese Weise wird die Leistung jedes einzelnen Kanals ermittelt. Die Safety-Evaluation-Messung ist im Wesentlichen eine Kanalleistungsmessung. Die Setups der wichtigsten Funkdienste wurden in Zusammenarbeit mit Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek (Technische Hochschule Deggendorf) an Vektorsignalgeneratoren erstellt und validiert. Die ermittelten Auflösebandbreiten und daraus resultierenden Sweepzeiten<sup>5</sup> sind für die wichtigsten Setups in Tab. 3 aufgelistet; eine komplette Liste aller Setups befindet sich im Anhang E.2. Die vollständigen Frequenzbereiche sind im Anhang E.1 zu finden. Bei allen Setups wurde die jeweils maximal mögliche Eingangsempfindlichkeit gewählt.

Für die wichtigsten Funkdienste wurde die RBW so gewählt<sup>6</sup>, dass sie circa 1/1.000 der Signalbandbreite entspricht, das heißt jeder Funkkanal wird aus rund 1.000 schmalen spektralen Anteilen zusammengesetzt. Der tatsächliche Messwert ergibt sich schließlich durch Mittelung über die ebenfalls in Tab. 3 angegebene Zahl von Sweeps<sup>7</sup>. Auf diese Weise erfolgt eine zusätzliche RMS-Glättung.

Tab. 3: Parameter der wichtigsten Setups: Frequenzbereich, Auflösebandbreite RBW, resultierende Sweepzeit  $t_{\text{sweep}}$  und Anzahl  $n_{\text{avg}}$  gemittelter Sweeps. Alle Setups arbeiten im Safety-Evaluation-Modus. Einige davon erfassen nur ausgewählte Blöcke innerhalb des angegebenen Frequenzbereichs. Die vollständigen Teilbänder können den Tab. 87 ff. (S. 197 ff.) entnommen werden. Die angegebene Sweepzeit bezieht sich auf eine angeschlossene dreiaxiale Antenne.

| Setup           | $f_{\text{min}}/\text{MHz}$ | $f_{\text{max}}/\text{MHz}$ | RBW/kHz | $t_{\text{sweep}}/\text{s}$ | $n_{\text{avg}}$ |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|---------|-----------------------------|------------------|
| M17_UKW         | 87,45                       | 108,05                      | 1,0     | 3,2                         | 8                |
| M17_T-DAB       | 174                         | 230                         | 2,0     | 4,0                         | 8                |
| M17_DVB-T2      | 470                         | 790                         | 10      | 5,6                         | 8                |
| M17_LTE800_DL   | 791                         | 1.492                       | 10      | 2,1                         | 16               |
| M17_GSM900_DL   | 918,1                       | 959,9                       | 0,2     | 23,2                        | 4                |
| M17_LTEUMTS_DL  | 1.805                       | 3.573                       | 10      | 5,1                         | 16               |
| M17_GSM1800_DL  | 1.834,9                     | 1.854,9                     | 0,2     | 12,4                        | 4                |
| M17_LWMW        | 0,0095                      | 1,6065                      | 0,1     | 3,4                         | 16               |
| M17_KW_A        | 2,2975                      | 12,1025                     | 1,0     | 1,9                         | 16               |
| M17_KW_B        | 13,5675                     | 26,1025                     | 1,0     | 1,9                         | 16               |
| M17_BOS_A       | 34,35                       | 87,285                      | 2,0     | 2,9                         | 16               |
| M17_BOS_B       | 165,2                       | 449,96875                   | 2,0     | 2,8                         | 16               |
| M17_TETRABOS_DL | 390                         | 400                         | 0,1     | 12,9                        | 4                |

Die Setups der Standardfunkdienste<sup>8</sup> wurden an den Messorten während der rund einstündigen Messzeit insgesamt vier Mal durchlaufen, um die am Immissionsort vorherrschenden Immissionen repräsentativ zeitlich zu mitteln. Dies ist insbesondere für den Mobilfunk von Bedeutung, da dort die Immissionen stark von der Auslastung der jeweiligen Mobilfunkdienste abhängen. Die übrigen Setups wurden nur einmal in der Mitte des Messprogramms aufgerufen.

<sup>5</sup> Die Sweepzeit ist die Zeit, die benötigt wird, um alle Kanäle eines Setups einmal zu messen.

<sup>6</sup> Kleinere RBW führen zu mehr (kleineren) Teilbeiträgen zur Kanalleistung, welche auf diese Weise feiner aufgelöst wird – das Eigenrauschen des Kanals nimmt ab und schwächere Signale werden sichtbar. Darüber hinaus dient die RBW in der Safety-Evaluation-Betriebsart auch der Ermittlung des korrekten RMS-Mittelwerts. Eine zu grobe RBW zieht eine Überbewertung des Signals nach sich. Jede kleinere RBW erhöht andererseits die Messzeit. Idealerweise wird die RBW nur so klein wie nötig gewählt um den jeweiligen Funkdienst gerade noch korrekt zu erfassen (das heißt so klein wie nötig, aber so groß wie möglich).

<sup>7</sup> Ein Sweep ist die Messung aller Kanäle eines Setups.

<sup>8</sup> UKW, DAB, DVB-T, kommerzieller Mobilfunk

Für die Setups ergibt sich darüber hinaus gegenüber den vorangegangenen Messreihen eine andere Aufteilung der Funkbänder in Teilbänder, weil sich die Frequenzbereiche der einzelnen Antennen von denjenigen der bisherigen Messreihen unterscheiden. Zuvor in zwei Pakete aufgeteilte Frequenzbereiche werden nun von einem einzelnen Setup abgedeckt. Umgekehrt müssen manche Pakete gesplittet werden, weil das SRM-3006 eine Beschränkung auf maximal 500 Kanäle pro Setup aufweist.

Weitere Anpassungen ergaben sich bei der Positionierung der Antennen: Waren bislang die Empfangsantennen für den Hochfrequenzbereich übereinander angeordnet (Abb. 5), so sind sie nun nebeneinander in Reihe aufgestellt. Das bedeutet, dass die vormals in unterschiedlichen Höhen<sup>9</sup> gemessenen Funkdienste nun alle in einheitlicher Höhe aufgenommen werden. Dadurch ist auch die Vergleichbarkeit von Rundfunk und Mobilfunk besser geworden. Die neuen Antennen wurden einheitlich auf eine Höhe von 2,0 m ausgerichtet. Dafür ergibt sich stattdessen nun ein horizontaler Antennenabstand von circa 1 m, das heißt die verschiedenen Funkdienste werden an geringfügig auseinanderliegenden Orten erfasst. Von Vorteil ist, dass die verschiedenen Polarisationssebenen nun alle am selben Punkt gemessen werden, während diese früher auf verschieden platzierte Antennen verteilt waren. Zudem kann nun eine vollständige Vektorsumme der Feldstärken gebildet werden. In den früheren Messreihen konnten nur zwei der drei Polarisationssebenen gemessen werden.

Die Wahl des exakten Aufstellorts der Antennen an den Messorten wurde bereits in der Messreihe 2002/2003 getroffen. Alle nachfolgenden Messreihen orientierten sich hinsichtlich Standort und Ausrichtung des Antennensystems an Fotos der vorherigen Messreihen. Dabei wird gewöhnlich die Fotoserie der unmittelbar vorangegangenen Messreihe herangezogen; in Fällen fehlender oder unklarer Fotodokumentation wurde zusätzlich auf die nächstältere Fotoserie zurückgegriffen. Als Basis für die nächste Messreihe wurde erneut eine vollständige Fotodokumentation angelegt. Dies ist aus zwei Gründen wichtig: zum einen erfordert das neue Messsystem einen vom alten System abweichenden Aufbau, zum anderen hat sich an etwa 7 % der Messpunkte die Bebauung in der Umgebung geändert.



Abb. 8: links: Typischer Aufbau bis einschließlich Messreihe 2011/2012.

Abb. 9: rechts: Die Änderung des Messsystems führt auch zu Abweichungen im Aufbau. Neuer Aufbau bei der Messreihe 2017/2018. Per Definition wurde festgelegt, dass die Antenne Nummer 3 (E-Feld-Antenne 420 MHz – 6 GHz) dorthin platziert wird, wo sich bislang der Antennenturm befand. Die H-Feld-Antenne (9 kHz – 250 MHz) wird in diejenige Richtung gestellt, in der sich früher die Loop-Antennen befanden. Der Platz für die verbleibende Antenne (E-Feld 27 MHz – 3 GHz) ergibt sich dann automatisch, weil die Antennenanschlüsse auf drei Seiten der Umschalteneinheit verteilt sind (in Abb. 7 gut zu erkennen). Damit wurde die Ortsabweichung für die höchsten Frequenzen, die auf Grund ihrer kurzen Wellenlänge am empfindlichsten auf Ortsveränderungen reagieren, möglichst klein gehalten.

<sup>9</sup> Rundfunk wurde bislang von den obersten beiden Antennen auf einer Höhe von circa 2,3 m – 3,5 m gemessen, Mobilfunk auf circa 1,5 m.



Die Zusammenstellung des neuen Messsystems mit der Verwendung von Stativen zur Platzierung der Antennen führt dazu, dass die Antennen nicht mehr übereinander angeordnet, sondern nebeneinander aufgestellt werden. Hierzu wurde vereinbart, dass die *E*-Feld-Antenne (Antenne 3) im Frequenzbereich bis 6 GHz den Platz des vormaligen Antennenturms erhält (siehe Abb. 8 und Abb. 9), da die höchsten zu messenden Frequenzen empfindlicher auf Ortsveränderungen reagieren. So kann für diese Antenne die Ortsabweichung möglichst gering gehalten werden. Elektromagnetische Wellen zum Beispiel der Frequenz 3 GHz besitzen eine kleine Wellenlänge von nur 10 cm. Feldstärke-schwankungen, beispielsweise durch Fading infolge von Mehrwegeausbreitungen, sind frequenzabhängig und variieren mit Ortsveränderungen in der Größenordnung der (halben) Wellenlänge.

Die vollständige Anordnung aller drei Antennen bildet einen Winkel von  $90^\circ$ .<sup>10</sup> Die Distanz zwischen einer einzelnen Antenne und der Schalteinheit ist annähernd konstant, weil sie durch die Kabellänge vorgegeben wird. Dadurch ist auch der Abstand der Antennen zueinander weitgehend konstant. Als einziger Freiheitsgrad für den Standort der Antennen 1 (*H*-Feld-Antenne 9 kHz – 250 MHz) und 2 (*E*-Feld-Antenne 27 MHz – 3 GHz) verbleibt deshalb eine gemeinsame Rotation der Antennen 1 und 2 um Antenne 3. Dieser Freiheitsgrad wurde fixiert durch die Festlegung, Antenne 1 in die Richtung zu platzieren, in der sich in früheren Messreihen ebenfalls die Magnetfeldantennen (Loop-Antennen HFH2- Z2) befunden haben. Auf diese Weise konnte für alle<sup>11</sup> Messpunkte eine einheitlich und klar definierte Aufstellung des Antennensystems gewährleistet werden.



Abb. 10: links: Messpunkt MP059 in der Messung 2011/2012.

Abb. 11: rechts: Messpunkt MP059 in der Messung 2017/2018. Ein typisches Problem insbesondere in München. Ältere Bausubstanz wird durch vollständige Neubauten teils ganzer Wohnblöcke ersetzt oder zumindest umfassend saniert. Die Messpunkte lassen sich dann teilweise nicht mehr leicht auffinden; der ursprüngliche Aufstellort wurde aus den verschiedenen vorhandenen Bildperspektiven der vorangegangenen Messreihen bestmöglich abgeschätzt. Manchmal war eine genaue Platzierung der Antenne mittels der 2011/2012 vorgenommenen Vermessungen möglich; in anderen Fällen waren dagegen auch die Fixpunkte, zu denen die Vermessung erfolgte (zum Beispiel Straßenlaterne, Kanaldeckel, Zaunecke, et cetera) nicht mehr vorhanden.

In der Messreihe 2011/2012 wurden an etlichen Messpunkten die Abstände zwischen Antennenturm und zwei Fixpunkten in der Umgebung ermittelt und festgehalten. Dies erwies sich für die jüngste Messreihe als hilfreich, weil mit den Vermessungsdaten die Position des Antennenturms in den meis-

<sup>10</sup> Die Antennenanschlüsse liegen an drei Seiten der Umschalteinheit (Abb. 7). Dadurch bilden – bei gleich langen Kabeln und gerader Kabelführung – die Antennen 1 und 2 sowie die Antennen 2 und 3 von oben betrachtet in ihrer Anordnung jeweils einen Winkel von  $90^\circ$  am Antennenumschalter. Deshalb ist nach dem Satz des Pythagoras auch das Dreieck, das die drei Antennen bilden, rechtwinklig. Der  $90^\circ$ -Winkel befindet sich an Antenne 2.

<sup>11</sup> Lediglich in Einzelfällen musste von dieser Systematik abgewichen werden. Dies betraf hauptsächlich Messpunkte am Straßenrand, bei denen ursprünglich die Loop-Antennen in Fahrtrichtung gesehen hinter dem Antennenturm aufgestellt waren. Mit dem neuen Messsystem wäre dann der Tisch mit SRM-3006 und Schalteinheit am Straßenrand aufgebaut gewesen. Antenne Nummer 2 hätte sich fahrbahnseitig neben dem Tisch befunden, sodass der Aufbau sehr weit in die Fahrbahn hineingeragt hätte. In diesem Fall wurde das Gesamtsystem aus Verkehrssicherheitsgründen um  $180^\circ$  gedreht, das heißt Antenne 2 wurde auf den Gehweg verlegt. Antenne 1 befand sich dadurch in Fahrtrichtung vor der Position des früheren Antennenturms anstatt dahinter.

ten Fällen sehr gut reproduziert werden konnte. An Punkten, an denen bislang keine Vermessung vorlag, wurde sie ergänzt. Dafür wurden möglichst nahe gelegene, möglichst unveränderliche und leicht wiedererkennbare Bauelemente ausgewählt, wie zum Beispiel Kanaldeckel in geringer Entfernung.

In den Messreihen 2006/2007 und 2011/2012 war die Verlegung einzelner Messpunkte an komplett neue Alternativpunkte erforderlich. Erfreulicherweise konnten in der vierten Messreihe alle Messpunkte beibehalten werden. Lediglich an einigen Messpunkten kam es auf Grund baulicher Veränderungen (siehe Abb. 10 und Abb. 11), zum Beispiel Neubauten oder umfangreiche Gebäudesanierungen, Straßenerneuerungen, oder Ähnliches, bei der Platzierung des Messsystems zu Unsicherheiten in der Größenordnung einiger Meter.

### 3.3 Vergleichbarkeit der Messsysteme

Angesichts geänderter Antennenaufstellung, neuer Setups und der unterschiedlichen Aufbereitung der Signale in den Spektrumanalysatoren von Narda und Rohde & Schwarz stellt sich die Frage nach der Vergleichbarkeit der Messwerte von altem und neuem Messsystem. Um sie bestmöglich sicherzustellen, wurden zum einen Vergleichsmessungen an realen Monitoring-Messpunkten und zum anderen leitungsgebundene Referenzmessungen an Vektorsignalgeneratoren durchgeführt.

#### 3.3.1 Vergleichsmessungen an ausgewählten Messpunkten

Um die Auswirkungen der Umstellung zu eruieren, sind Vergleichsmessungen notwendig. Hierunter wird verstanden, an realen Messpunkten des EMF-Monitorings mehrmals nacheinander das komplette Messprogramm abzuwickeln. Dabei kommen die verschiedenen Varianten der Messsysteme zum Einsatz (siehe Tab. 4). Die aufgenommenen Daten werden in gewohnter Weise ausgewertet und anschließend verglichen.

Tab. 4: Systematik der Vergleichsmessungen. Es kamen drei Varianten zum Einsatz: das Originalsystem der früheren Messreihen, das heißt Rohde & Schwarz Spektrumanalysator ESPI und Antennenturm mit insgesamt sieben Hochfrequenzantennen und den Original-Messpaketen aus der Messreihe 2011/2012 (Variante A), dasselbe Antennensystem, aber mit Spektrumanalysator SRM-3006 und entsprechenden Setups (Variante B), und das Messsystem aus SRM-3006, zugehörigen Setups und Narda-Messantennen für die Messreihe 2017/2018 (Variante C). Die vierte Kombination, die Verwendung von Narda-Antennen mit den bisherigen RFEX-Setups, war angedacht, ließ sich aber nicht realisieren, weil keine Möglichkeit zur Steuerung der Polarisationssebenen der dreiaxigen Antennen gegeben war.

| Variante | Spektrumanalysator    | Antennen        | Messpakete       | Anmerkungen                                                                                                                                                                                                 |
|----------|-----------------------|-----------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A        | Rohde & Schwarz ESPI7 | Rohde & Schwarz | original 2011    | Entspricht vollständig der Messreihe 2011/2012. Es kam die neuere Version 6.1.5 von RFEX zum Einsatz (2011/2012: Version 4.1.6); deshalb stehen für GSM sowohl Peak- als auch RMS-Ergebnisse zur Verfügung. |
| B        | Narda SRM-3006        | Rohde & Schwarz | modifiziert 2017 | Die Messpakete entsprechen denen der Messreihe 2017/2018, wurden aber angepasst, um getrennte Polarisationssebenen anstatt isotroper Messung zu ermöglichen.                                                |
| C        | Narda SRM-3006        | Narda isotrop   | original 2017    | Entspricht den späteren Messungen der Messreihe 2017/2018.                                                                                                                                                  |
| D        | Rohde & Schwarz ESPI7 | Narda isotrop   | —                | Technisch nicht möglich, siehe Erläuterung zur Tabelle.                                                                                                                                                     |

Durch Vergleich der Ergebnisse verschiedener Varianten lassen sich Rückschlüsse auf die Vergleichbarkeit der Messergebnisse zwischen den ersten drei Messreihen und der vierten Messreihe ziehen. Es sind vor allem zwei konzeptionelle Änderungen, die einen entsprechenden Einfluss auf das Messergebnis mit sich bringen können:

- Auswirkungen durch die Umstellung des Antennensystems (Empfangsempfindlichkeit, Positionierung und Höhe der Antennen),
- Einfluss durch Umstellung der Messgeräte (einschließlich der Messpakete).

Diese Teilaspekte lassen sich durch geschickte Vergleiche separieren: Die Varianten B und C arbeiten mit demselben Messgerät und gleichen Messeinstellungen. Unterschiede in den Messwerten dieser beiden Varianten lassen sich deshalb auf den Einfluss der Antennen zurückführen. Auf der anderen Seite ergibt sich der Einfluss von Messgerät und Messpaketen aus dem Vergleich der Varianten A und B, die beide den Rohde-&Schwarz-Antennenturm verwenden. Die Position des Antennenturms wurde zwischen den Messungen A und B nicht verändert.

Die gewonnenen Erkenntnisse sind umso fundierter, je mehr Messpunkte in den Vergleich einbezogen werden. Aufwand und benötigte Messzeit sind allerdings mit zunehmender Anzahl immer weniger zu rechtfertigen. Besteht eine Wahlmöglichkeit für das zu verwendende Messsystem, so würde sich die Anzahl benötigter Vergleichsmesspunkte danach richten, wann eine ausreichend sichere statistische Aussage zur Vergleichbarkeit getroffen werden kann. Für die Messreihe 2017/2018 bestand diese Wahlmöglichkeit jedoch nicht; sowohl Antennen als auch Spektrumanalysator hätten aus den zuvor genannten Gründen ersetzt werden müssen. Es wäre bestenfalls noch die Neubeschaffung eines komplett anderen Systems in Frage gekommen. Deshalb wurde darauf verzichtet, die Zahl der Vergleichsmesspunkte aus statistischen Überlegungen herzuleiten. An zwölf Messpunkten wurden Vergleichsmessungen hauptsächlich durchgeführt, um grundlegende Aussagen über den Einfluss treffen zu können, den die Umstellung des Messsystems mit sich bringt.

Bei den ausgewählten Punkten handelt es sich um folgende Messpunkte:

- MP001 in Bobingen,
- MP016, MP017 und MP018 in Augsburg,
- MP066, MP067, MP075, MP077 und MP080 in München,
- MP223 in Karlstein am Main,
- MP281 und MP284 in Nürnberg.
- Zusätzlich: Referenzmesspunkt in Hof aus der dritten Messreihe (siehe [1] S. 86 ff.).

Die Messpunkte wurden so ausgewählt, dass alle zu vergleichenden Funkdienste vertreten sind: darunter UKW, DAB und DVB-T von den Fernmeldetürmen München und Nürnberg, sowie Langwelle von den nahe gelegenen Sendeanlagen in Mainflingen am MP223.

### 3.3.1.1 UKW

Rundfunksignale sind auf Grund der zeitlichen Stabilität ihrer Sendeleistung für Vergleichsmessungen prädestiniert. Es muss dennoch bedacht werden, dass für den Rohde & Schwarz Antennenturm die Antennenfaktoren für die Vergleichsmessungen wahrscheinlich den größten Unsicherheitsfaktor darstellen (siehe [1] S. 18 f.). Die Narda-Antennen wurden vor Beginn der Messreihe kalibriert (siehe Tab. 2).

Bei UKW (Abb. 12 und Tab. 5) bringt der Antennenwechsel eine leichte Erhöhung der Feldstärken um durchschnittlich 2 dB mit sich. Diese ist vermutlich eher durch Unsicherheiten im Gewinn der Antenne

HE309 (siehe [1] S. 18 f.) bedingt. Die Antennenhöhe wirkt sich jedenfalls nicht nachteilig aus, da UKW-Signale fast ausschließlich horizontal polarisiert abgestrahlt werden. Die zu dieser Polarisations-ebene gehörende Empfangsantenne HE314A1 des Rohde-&-Schwarz-Antennenturms befindet sich auf ähnlicher Höhe wie die Antennen des Narda-Messsystems.

Messgerät und Messpakete bedingen eine Abweichung von etwa -2 dB, das heißt das neue Messsystem liefert leicht niedrigere Werte als das alte. Dabei handelt es sich offenbar um eine systematische Abweichung, wie die sehr geringe Standardabweichung zeigt. Die Messeinstellungen im SRM-3006 und die im Rohde-&-Schwarz-Analyzer passen für diesen Dienst nicht optimal zusammen; RFEX überschätzt ein wenig. Bei UKW gibt es die Besonderheit, dass Kanalraster (0,1 MHz) und Signalbandbreite (0,3 MHz) nicht identisch sind, das heißt ein UKW-Kanal ragt in die beiden Nachbarkanäle hinein. Das RFEX-UKW-Messpaket ist so konfiguriert, dass es den jeweils höchsten Feldstärkewert innerhalb eines jeden Kanals festhält. Die leichte Überschätzung kommt daher, dass der Messwert in Nachbarkanälen einer UKW-Trägerfrequenz an der fallenden Flanke an der Kanalgrenze erfasst wird. Das SRM-3006 ermittelt dagegen die Kanalleistung und gelangt so zu etwas geringeren Feldstärken.

Insgesamt kompensieren sich die Einflüsse von Antennensystem und Messgerät, was für UKW letztlich zu einer sehr guten Übereinstimmung von altem (Variante A) und neuem Messsystem (Variante C) führt: Die Ergebnisse differieren im Mittel um nur 0,2 dB (2 % bezüglich der Feldstärke). An keinem der Vergleichsmesspunkte ergab sich eine Abweichung von mehr als 2 dB.

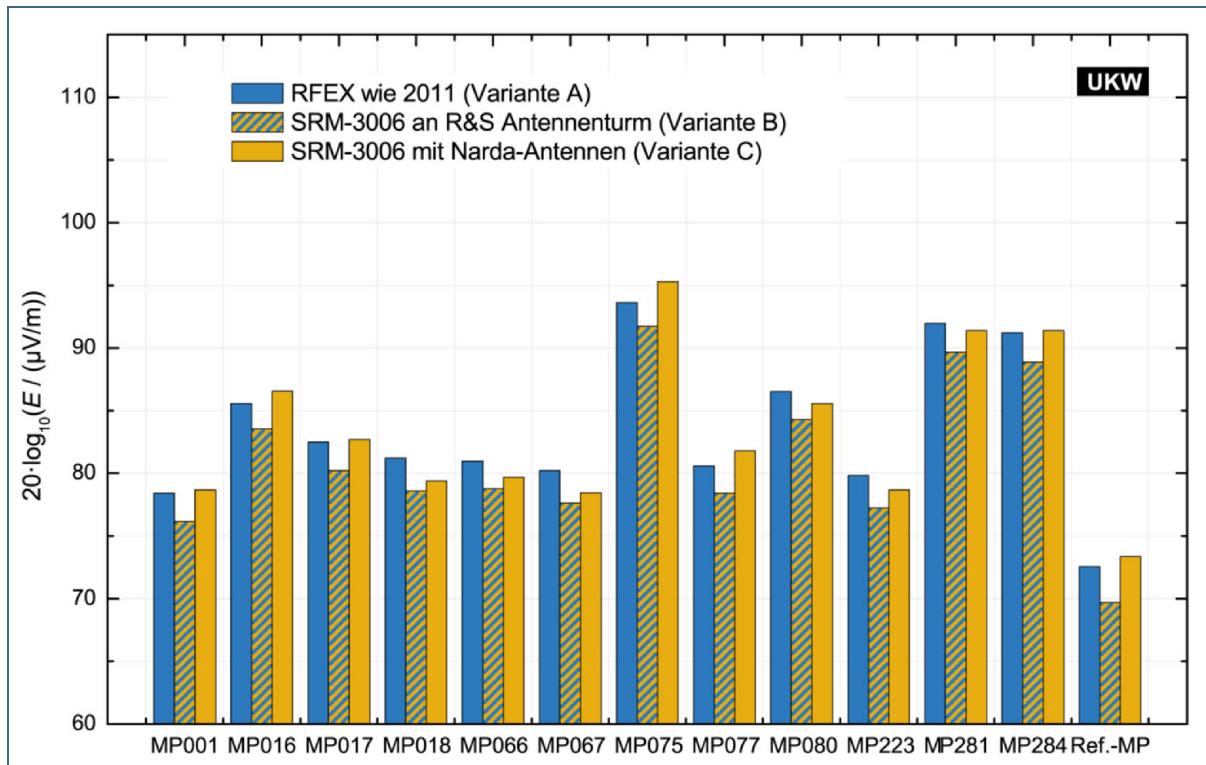


Abb. 12: Vollständige Messdaten für UKW im Vergleich der Messsysteme von Rohde & Schwarz und Narda an 12 Vergleichsmesspunkten.

Tab. 5: Vollständige Messdaten für UKW im Vergleich der Messsysteme von Rohde & Schwarz und Narda an 12 Vergleichsmesspunkten.

| Variante              | C (SRM-3006)<br>(dB $\mu\text{V/m}$ ) | Unterschied<br>gesamt<br>(C-A) | Einfluss<br>Messgerät<br>(B-A) | Einfluss<br>Antennen<br>(C-B) |
|-----------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Messpunkt 001         | 78,7                                  | 0,3 dB                         | -2,3 dB                        | 2,5 dB                        |
| Messpunkt 016         | 86,5                                  | 1,0 dB                         | -2,0 dB                        | 3,0 dB                        |
| Messpunkt 017         | 82,7                                  | 0,2 dB                         | -2,3 dB                        | 2,5 dB                        |
| Messpunkt 018         | 79,4                                  | -1,8 dB                        | -2,6 dB                        | 0,8 dB                        |
| Messpunkt 066         | 79,7                                  | -1,3 dB                        | -2,2 dB                        | 0,9 dB                        |
| Messpunkt 067         | 78,5                                  | -1,7 dB                        | -2,6 dB                        | 0,8 dB                        |
| Messpunkt 075         | 95,3                                  | 1,7 dB                         | -1,9 dB                        | 3,6 dB                        |
| Messpunkt 077         | 81,8                                  | 1,2 dB                         | -2,2 dB                        | 3,4 dB                        |
| Messpunkt 080         | 85,6                                  | -1,0 dB                        | -2,3 dB                        | 1,3 dB                        |
| Messpunkt 223         | 78,7                                  | -1,2 dB                        | -2,6 dB                        | 1,4 dB                        |
| Messpunkt 281         | 91,4                                  | -0,6 dB                        | -2,3 dB                        | 1,7 dB                        |
| Messpunkt 284         | 91,4                                  | 0,2 dB                         | -2,3 dB                        | 2,5 dB                        |
| Referenzmesspunkt Hof | 73,4                                  | 0,8 dB                         | -2,9 dB                        | 3,7 dB                        |
| Arithmetisches Mittel |                                       | -0,2 dB                        | -2,3 dB                        | 2,2 dB                        |
| Standardabweichung    |                                       | 1,2 dB                         | 0,3 dB                         | 1,1 dB                        |



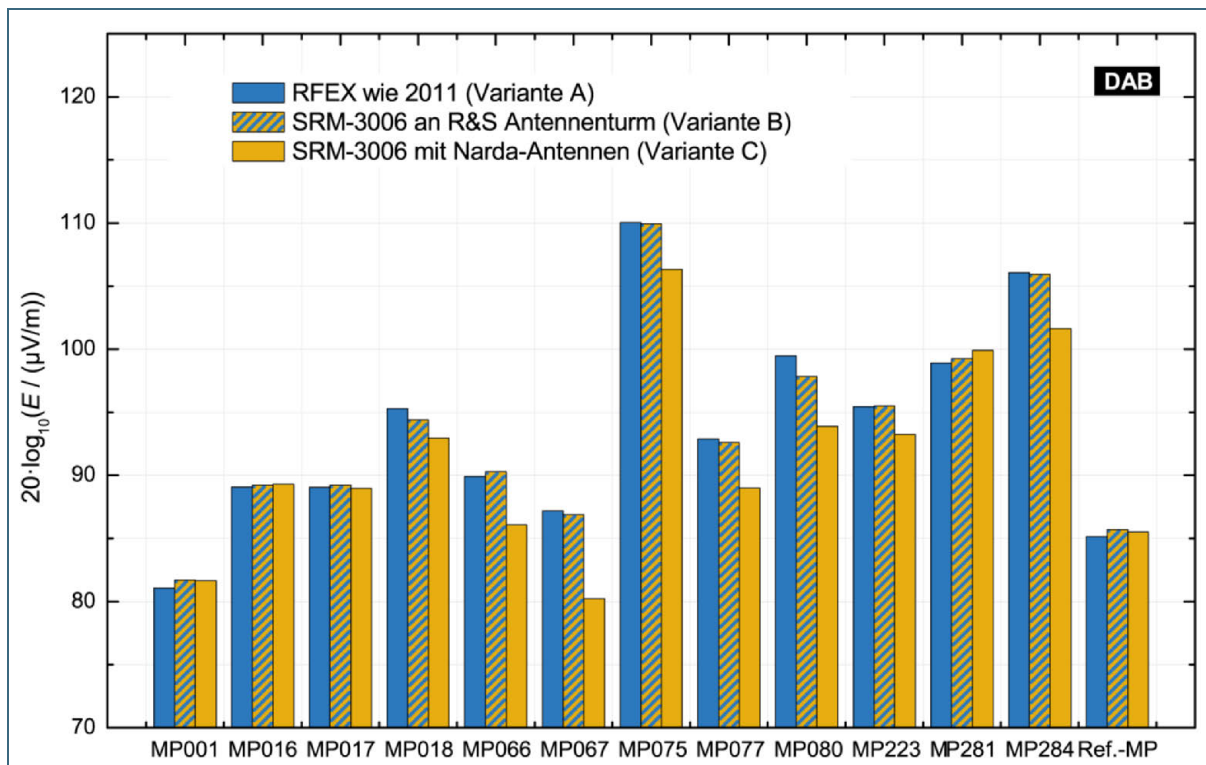


Abb. 13: Vollständige Messdaten für DAB im Vergleich der Messsysteme von Rohde & Schwarz und Narda an 12 Vergleichsmesspunkten.

Tab. 6: Vollständige Messdaten für DAB im Vergleich der Messsysteme von Rohde & Schwarz und Narda an 12 Vergleichsmesspunkten.

| Variante              | C (SRM-3006)<br>(dB $\mu\text{V/m}$ ) | Unterschied<br>gesamt<br>(C-A) | Einfluss<br>Messgerät<br>(B-A) | Einfluss<br>Antennen<br>(C-B) |
|-----------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Messpunkt 001         | 81,7                                  | 0,6 dB                         | 0,6 dB                         | -0,1 dB                       |
| Messpunkt 016         | 89,3                                  | 0,2 dB                         | 0,1 dB                         | 0,1 dB                        |
| Messpunkt 017         | 89,0                                  | -0,1 dB                        | 0,2 dB                         | -0,3 dB                       |
| Messpunkt 018         | 93,0                                  | -2,3 dB                        | -0,9 dB                        | -1,5 dB                       |
| Messpunkt 066         | 86,1                                  | -3,8 dB                        | 0,4 dB                         | -4,2 dB                       |
| Messpunkt 067         | 80,2                                  | -7,0 dB                        | -0,3 dB                        | -6,7 dB                       |
| Messpunkt 075         | 106,3                                 | -3,7 dB                        | -0,1 dB                        | -3,6 dB                       |
| Messpunkt 077         | 89,0                                  | -3,9 dB                        | -0,3 dB                        | -3,6 dB                       |
| Messpunkt 080         | 93,9                                  | -5,6 dB                        | -1,7 dB                        | -4,0 dB                       |
| Messpunkt 223         | 93,3                                  | -2,2 dB                        | 0,1 dB                         | -2,2 dB                       |
| Messpunkt 281         | 99,9                                  | 1,0 dB                         | 0,4 dB                         | 0,6 dB                        |
| Messpunkt 284         | 101,6                                 | -4,4 dB                        | -0,1 dB                        | -4,3 dB                       |
| Referenzmesspunkt Hof | 85,5                                  | 0,4 dB                         | 0,6 dB                         | -0,2 dB                       |
| Arithmetisches Mittel |                                       | -2,4 dB                        | -0,1 dB                        | -2,3 dB                       |
| Standardabweichung    |                                       | 2,6 dB                         | 0,6 dB                         | 2,3 dB                        |



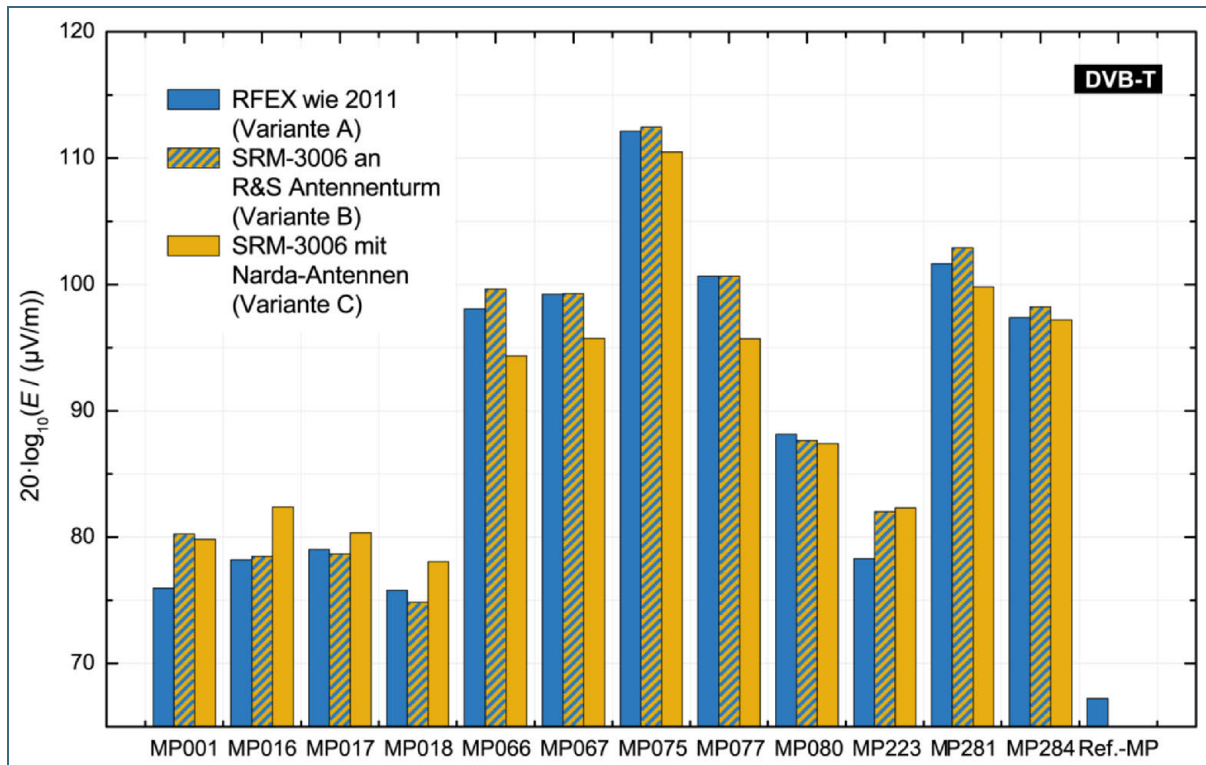


Abb. 14: Vollständige Messdaten für DVB-T im Vergleich der Messsysteme von Rohde & Schwarz und Narda an 12 Vergleichsmesspunkten.

Tab. 7: Vollständige Messdaten für DVB-T im Vergleich der Messsysteme von Rohde & Schwarz und Narda an 12 Vergleichsmesspunkten. Die Region gibt die primäre Herkunft des DVB-T-Signals an: Sender Welden (A), Sender Hohenpeißenberg (WM), Sender München-Olympiaturm (M), Sender Nürnberg-Fernmeldeturm (N), Sender Großer Feldberg (FFM).

| Variante              | C<br>(SRM-3006)<br>(dB $\mu\text{V/m}$ ) | Unterschied<br>gesamt<br>(C-A) | Einfluss<br>Messgerät<br>(B-A) | Einfluss<br>Antennen<br>(C-B) | Polarisation<br>(Region) |
|-----------------------|------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Messpunkt 001         | 79,8                                     | 3,8 dB                         | 4,3 dB                         | -0,4 dB                       | H/V (WM/M)               |
| Messpunkt 016         | 82,4                                     | 4,2 dB                         | 0,3 dB                         | 3,9 dB                        | H (A)                    |
| Messpunkt 017         | 80,4                                     | 1,3 dB                         | -0,3 dB                        | 1,7 dB                        | H (A)                    |
| Messpunkt 018         | 78,1                                     | 2,3 dB                         | -0,9 dB                        | 3,2 dB                        | H (A)                    |
| Messpunkt 066         | 94,3                                     | -3,7 dB                        | 1,6 dB                         | -5,3 dB                       | V (M)                    |
| Messpunkt 067         | 95,7                                     | -3,5 dB                        | 0,1 dB                         | -3,6 dB                       | V (M)                    |
| Messpunkt 075         | 110,5                                    | -1,6 dB                        | 0,3 dB                         | -2,0 dB                       | V (M)                    |
| Messpunkt 077         | 95,7                                     | -5,0 dB                        | 0,0 dB                         | -4,9 dB                       | V (M)                    |
| Messpunkt 080         | 87,4                                     | -0,7 dB                        | -0,5 dB                        | -0,2 dB                       | V (M)                    |
| Messpunkt 223         | 82,3                                     | 4,0 dB                         | 3,7 dB                         | 0,3 dB                        | V (FFM)                  |
| Messpunkt 281         | 99,8                                     | -1,8 dB                        | 1,3 dB                         | -3,1 dB                       | V (N)                    |
| Messpunkt 284         | 97,2                                     | -0,2 dB                        | 0,9 dB                         | -1,0 dB                       | V (N)                    |
| Referenzmesspunkt Hof | —                                        | —                              | -3,8 dB                        | —                             |                          |
| Arithmetisches Mittel |                                          | -0,1 dB                        | 0,5 dB                         | -1,0 dB                       |                          |
| Standardabweichung    |                                          | 3,2 dB                         | 2,0 dB                         | 3,0 dB                        |                          |

### 3.3.1.2 Digitale Rundfunkdienste DAB, DVB-T und DVB-T2

Auch die mittleren Feldemissionen der digitalen Rundfunksysteme DAB und DVB-T<sup>12</sup> können als zeitlich konstant betrachtet werden – zumindest, wenn man RMS-Messwerte heranzieht.

Bei DAB (Abb. 13 und Tab. 6) ergibt sich für den Einfluss der Messgeräte und Messpakete im Mittel eine Abweichung von nur 0,1 dB bei gleichzeitig geringer Streubreite. Die Messeinstellungen im SRM-3006 und die im Rohde-&Schwarz-Analyzer passen für DAB offenbar sehr gut zusammen. Durch den Wechsel des Antennensystems werden im Schnitt um 2 dB (21 %) geringere Feldstärken als mit dem Rohde-&Schwarz-Antennenturm gemessen. Die größten Unterschiede bestehen in München (Messpunkte MP066 bis MP080) und an einem der Nürnberger Messpunkte (MP284) mit durchschnittlich 4 dB, wohingegen die restlichen Messpunkte deutlich bessere Übereinstimmungen zeigen (durchschnittliche Differenz von 1 dB). Offenbar hat bei DAB die Montagehöhe der Antennen einen größeren Einfluss als bei UKW. DAB wird in Bayern durchwegs mit vertikaler Polarisierung gesendet, sodass überwiegend der Vertikaldipol HE309 des alten Antennenturms für den DAB-Empfang zuständig ist. Er befindet sich gut einen Meter höher als die Antennen des Narda-Messsystems. Anscheinend geht dadurch gerade bei günstigen Empfangsverhältnissen in Sendernähe etwas Signal verloren. Insgesamt führt die Systemumstellung für DAB zu rund 2 dB niedrigeren Messwerten – eine gute Übereinstimmung.

Mit zunehmender Frequenz (UKW bei 100 MHz, DAB bei 200 MHz, DVB-T oberhalb von 470 MHz) macht sich Fading immer kleinräumiger bemerkbar. Insofern verwundert es nicht, wenn hinsichtlich des Antenneneinflusses auch größere Streubreiten auftreten. Dennoch weisen auch die DVB-T-Ergebnisse eine sehr gute Vergleichbarkeit auf. Im Vergleich der Messsysteme liegen die Ergebnisse im Mittel nur 0,5 dB auseinander. Der Einfluss des Antennensystems ist mit 1,0 dB größer und zeigt eine breitere Spannweite. DVB-T-Signale werden je nach Region entweder horizontal oder vertikal polarisiert abgestrahlt. Bevölkerungreiche DVB-T-Gebiete sind üblicherweise auf mobile Empfangsverhältnisse ausgelegt und verwenden vertikale Polarisierung. In Regionen, in denen nur eine Grundversorgung an Fernsehprogrammen erfolgt, wurde meist die zu Zeiten des analogen Fernsehens übliche horizontale Polarisierung beibehalten. Für vertikal polarisierte Signale gilt – wie bei DAB –, dass sie beim alten Messsystem mit dem höher gelegenen Vertikaldipol HE309 empfangen wurden. Sie werden mit dem neuen System in geringerer Höhe gemessen, was einen geringen Feldstärkeverlust mit sich bringt. Umgekehrt scheint das neue Messsystem bei horizontal polarisierten Signalen – wie auch zuvor bei UKW – einen leichten Empfangsvorteil zu bieten.

### 3.3.1.3 Mobilfunk

#### LTE

Die Mobilfunkdienste führen zu deutlich anderen Ergebnissen. Die Defizite des alten Messverfahrens treten insbesondere in den GSM-Frequenzbändern zu Tage, werden aber bereits ansatzweise sichtbar, wenn man das LTE-Frequenzband um 800 MHz betrachtet (Abb. 15): Mit SRM-3006 werden 5,1 dB weniger gemessen als mit RFEX. Die Tatsache, dass es an keinem Messpunkt vorkam, dass die Ergebnisse des SRM-3006 *höher* lagen als diejenigen von RFEX, und dass dies mit einer einzigen Ausnahme am MP223 auch für den Vergleich des Mischsystems mit den RFEX-Werten gilt, werten wir als Indiz, dass es unter RFEX offenbar auch bereits mit den RMS-basierten LTE-Messpaketen zu einer leichten Überbewertung der Mobilfunksignale kam.

<sup>12</sup> Auf Grund der Ähnlichkeiten von DVB-T und DVB-T2 auf der Funkschnittstelle und der Tatsache, dass die Messreihe 2017/2018 inmitten der Umstellung von DVB-T auf DVB-T2 fiel, verwendet dieser Bericht zur einfacheren Lesbarkeit überwiegend den Begriff „DVB-T“. Lediglich wenn explizit auf den neuen Standard verwiesen werden soll, wird der Begriff „DVB-T2“ verwendet.

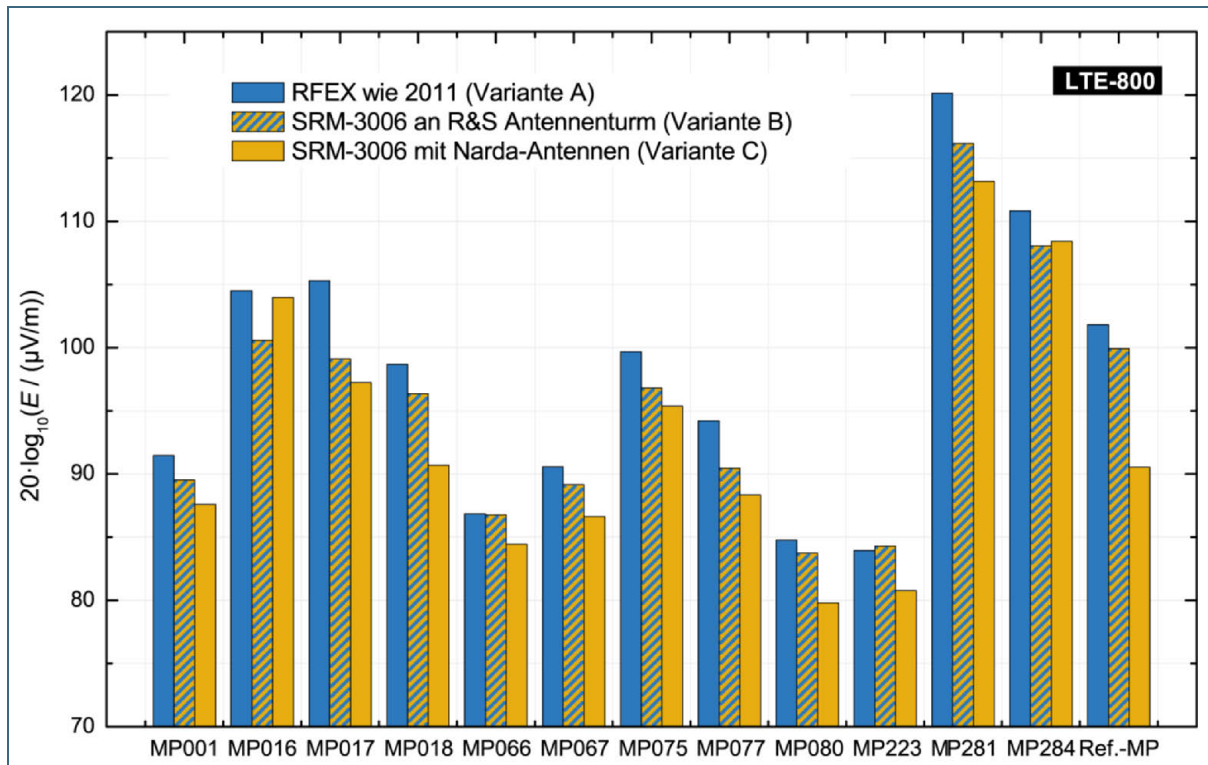


Abb. 15: Vollständige Messdaten für LTE (Frequenzband der „Digitalen Dividende I“ bei 800 MHz) im Vergleich der Messsysteme von Rohde & Schwarz und Narda an 12 Vergleichsmesspunkten.

Tab. 8: Vollständige Messdaten für LTE (Frequenzband 800 MHz) im Vergleich der Messsysteme von Rohde & Schwarz und Narda an 12 Vergleichsmesspunkten.

| Variante              | C (SRM-3006)<br>(dB $\mu$ V/m) | Unterschied<br>gesamt<br>(C-A) | Einfluss Mess-<br>gerät (B-A) | Einfluss<br>Antennen<br>(C-B) |
|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Messpunkt 001         | 87,6                           | -3,9 dB                        | -1,9 dB                       | -1,9 dB                       |
| Messpunkt 016         | 104,0                          | -0,5 dB                        | -3,9 dB                       | 3,4 dB                        |
| Messpunkt 017         | 97,2                           | -8,1 dB                        | -6,2 dB                       | -1,9 dB                       |
| Messpunkt 018         | 90,7                           | -8,0 dB                        | -2,3 dB                       | -5,7 dB                       |
| Messpunkt 066         | 84,4                           | -2,4 dB                        | -0,1 dB                       | -2,3 dB                       |
| Messpunkt 067         | 86,6                           | -3,9 dB                        | -1,4 dB                       | -2,5 dB                       |
| Messpunkt 075         | 95,4                           | -4,3 dB                        | -2,9 dB                       | -1,4 dB                       |
| Messpunkt 077         | 88,3                           | -5,9 dB                        | -3,8 dB                       | -2,1 dB                       |
| Messpunkt 080         | 79,8                           | -5,0 dB                        | -1,0 dB                       | -4,0 dB                       |
| Messpunkt 223         | 80,8                           | -3,2 dB                        | 0,4 dB                        | -3,5 dB                       |
| Messpunkt 281         | 113,2                          | -7,0 dB                        | -4,0 dB                       | -3,0 dB                       |
| Messpunkt 284         | 108,4                          | -2,4 dB                        | -2,8 dB                       | 0,4 dB                        |
| Referenzmesspunkt Hof | 90,5                           | -11,3 dB                       | -1,9 dB                       | -9,4 dB                       |
| Arithmetisches Mittel |                                | -5,1 dB                        | -2,4 dB                       | -2,6 dB                       |
| Standardabweichung    |                                | 2,9 dB                         | 1,8 dB                        | 3,0 dB                        |

Für OFDM-Signale wurde der Messwert des SRM-3006 leitungsgebunden validiert<sup>13</sup>. Es ist deshalb davon auszugehen, dass im Zweifel das SRM-3006 den korrekten Wert liefert.

## GSM

Erwartungsgemäß tritt die Überbewertung des alten Messsystems<sup>14</sup> bei GSM noch deutlicher zu Tage (Abb. 16 und Abb. 17, sowie Tab. 9 und Tab. 10). An allen Vergleichsmesspunkten liegen die Messwerte des SRM-3006 niedriger als diejenigen von RFEX. Dies gilt sowohl für das Narda-System als auch im Mischbetrieb von SRM-3006 an Rohde-&-Schwarz-Antennen. Messpakete und Messgeräte sind hier die Ursache der Abweichungen. Der Einfluss des Antennensystems streut dagegen in beide Richtungen. Das gilt jeweils für beide GSM-Frequenzbänder.

Im Mittel liegt die messsystembedingte Überbewertung des alten Systems bei etwa 9 dB für GSM-900 und 10 dB für GSM-1800. Sie setzt sich aus drei Einflussgrößen zusammen:

- Eine Überbewertung von Carriern mit Verkehrsdaten (TCH). Dieses Szenario wurde unter Laborbedingungen sehr ausführlich untersucht (siehe Anhang D ab S. 189). Die Überbewertung ist umso größer, je mehr TCH-Carrier gesendet werden.
- Eine Überbewertung von bis zu 3 dB bei Verwendung von EDGE. Sie tritt immer dann zu Tage, wenn auf dem jeweiligen Carrier während der Messzeit zumindest ein EDGE-Zeitschlitz gesendet wurde.
- Eine Überbewertung durch Frequency Hopping. Sie hängt von der Anzahl der *gleichzeitig* aktiven Hopping-Carrier und der insgesamt *verfügbaren* Carrier ab und ist umso größer, je mehr Carrier verfügbar sind und je weniger Carrier gleichzeitig aktiv sind.

Mit Ausnahme von EDGE, das in Deutschland erst ab 2006 eingeführt wurde, bestehen diese Einflüsse bereits seit der ersten Messreihe. Entsprechend ist der Umstand der Überbewertung von GSM bereits länger bekannt. Der Umstieg auf Effektivwerte war bereits für die Messreihe 2011/2012 vorgesehen. Hierzu sollte GSM an allen Messpunkten sowohl mit dem „alten“, Max-Peak-basierten Messpaket als auch parallel mit einem neuen RMS-Messpaket erfasst werden. Ein Bug in der seinerzeit verwendeten RFEX-Version 4.1.6 machte diese Bemühungen leider zunichte – die RMS-Ergebnisse waren de facto mit jenen des Original-Messpakets aus dem Jahr 2002 identisch (siehe [1] S. 71 ff.).

Für die Vergleichsmessungen wurde das gegenüber 2011 *unveränderte* RMS-Paket beibehalten. Es wurde aber mit einer aktuellen RFEX-Version (Version 6.1.5) abgearbeitet.<sup>15</sup> Dessen Ergebnisse sind durch die horizontale weiße Zwischenlinie in den RFEX-Balken gekennzeichnet. Die aktuelle RFEX-Version arbeitet im Gegensatz zu früheren Versionen mit einer korrekten RMS-Erfassung. Es kommen dadurch plausible RMS-Ergebnisse zu Stande, die auch mit den SRM-3006-Messungen gut bis sehr gut übereinstimmen. Für den Mobilfunkbereich rechtfertigen somit die Vergleichsmessungen zwischen RFEX-RMS und SRM-3006 die Systemumstellung.

Es bleibt aber die Frage offen, wie Ergebnisse in diesem Abschlussbericht präsentiert werden können. Dafür kommen im Prinzip nur zwei Varianten in Frage:

---

<sup>13</sup> Die Validierung erfolgte für DVB-T, ist aber auf andere OFDM-Signale übertragbar.

<sup>14</sup> Es ist Fakt, dass GSM von RFEX bislang stets überbewertet wurde (siehe zum Beispiel Kapitel 7.3.4 (S. 70 ff.) im Bericht zur dritten Messreihe [1] oder Anhang D dieses Berichts).

<sup>15</sup> RFEX 6 war während der Vorbereitungen zur Messreihe 2011/2012 bereits verfügbar. Das identische Messprogramm benötigte in Testmessungen aber ohne ersichtlichen Grund die etwa 2,5-fache Messzeit. Deshalb wurde das EMF-Monitoring 2011/2012 mit RFEX 4 durchgeführt.

- Die (Mobilfunk-)Ergebnisse früherer Messreihen und die der aktuellen Messreihe werden direkt gegenüber gestellt. Diese Vorgehensweise ist gerechtfertigt, weil die früheren Daten schließlich auf die beschriebene Art und Weise gemessen wurden. Die direkte Vergleichbarkeit alter und neuer Messergebnisse bleibt aber auf der Strecke, und es besteht zudem die Gefahr, die Ergebnisse bei lediglich flüchtigem Blick als deutlichen Rückgang der Mobilfunkimmissionen zu interpretieren.
- Alternativ kann die Vergleichbarkeit in den Vordergrund gerückt werden. Um sie zu erreichen, muss ein Korrekturfaktor eingeführt werden, der die Überbewertung zumindest näherungsweise im Durchschnitt behebt. Die Originaldaten zeigen wir zur vollständigen Transparenz zusätzlich in den Anhängen A und B.

Beim EMF-Monitoring wurde von Beginn an auf langjährige Vergleichbarkeit Wert gelegt. Es soll schließlich die Entwicklung der Immissionen messtechnisch begleiten. Deshalb erscheint der Ansatz, die direkte Vergleichbarkeit durch Korrektur der früheren GSM-Messdaten zu erzielen, als der geeignetere. Bleibt die Frage: Wie wird der Korrekturfaktor bestimmt?

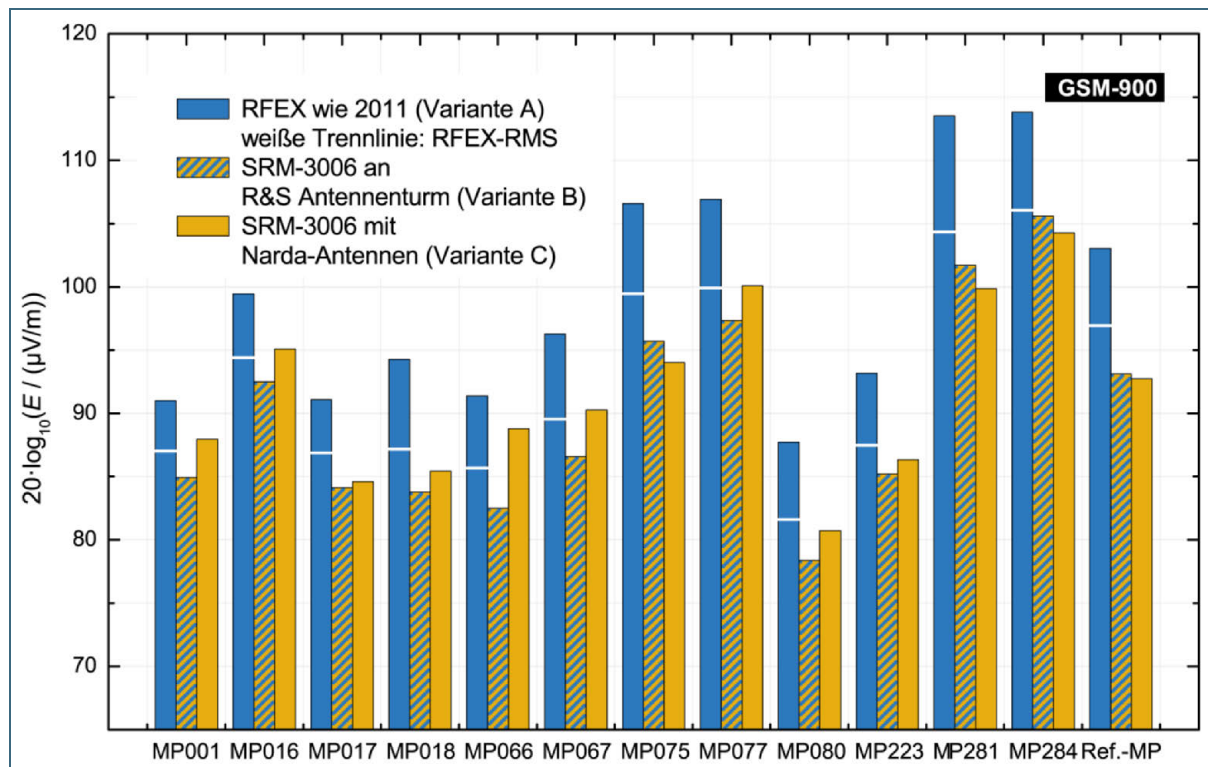


Abb. 16: Vollständige Messdaten für GSM-900 im Vergleich der Messsysteme von Rohde & Schwarz und Narda an 12 Vergleichsmesspunkten.

Tab. 9: Vollständige Messdaten für GSM-900 im Vergleich der Messsysteme von Rohde & Schwarz und Narda an 12 Vergleichsmesspunkten.

| Variante                 | C<br>(SRM-3006)<br>(dB $\mu$ V/m) | Unter-<br>schied<br>gesamt<br>(C-A) | Einfluss<br>Mess-<br>gerät<br>(B-A) | Einfluss<br>Anten-<br>nen<br>(C-B) | Unterschied<br>SRM-3006<br>zu RFEK-<br>RMS | Unterschied<br>RFEK-PK<br>zu RFEK-<br>RMS |
|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Messpunkt 001            | 88,0                              | -3,0 dB                             | -6,1 dB                             | 3,0 dB                             | 0,9 dB                                     | 4,0 dB                                    |
| Messpunkt 016            | 95,1                              | -4,3 dB                             | -7,0 dB                             | 2,6 dB                             | 0,7 dB                                     | 5,0 dB                                    |
| Messpunkt 017            | 84,6                              | -6,5 dB                             | -7,0 dB                             | 0,5 dB                             | -2,3 dB                                    | 4,2 dB                                    |
| Messpunkt 018            | 85,4                              | -8,8 dB                             | -10,5 dB                            | 1,7 dB                             | -1,7 dB                                    | 7,1 dB                                    |
| Messpunkt 066            | 88,8                              | -2,6 dB                             | -8,9 dB                             | 6,3 dB                             | 3,1 dB                                     | 5,7 dB                                    |
| Messpunkt 067            | 90,3                              | -6,0 dB                             | -9,7 dB                             | 3,7 dB                             | 0,7 dB                                     | 6,8 dB                                    |
| Messpunkt 075            | 94,0                              | -12,6 dB                            | -10,9 dB                            | -1,7 dB                            | -5,4 dB                                    | 7,1 dB                                    |
| Messpunkt 077            | 100,1                             | -6,8 dB                             | -9,6 dB                             | 2,7 dB                             | 0,2 dB                                     | 7,0 dB                                    |
| Messpunkt 080            | 80,7                              | -7,0 dB                             | -9,3 dB                             | 2,4 dB                             | -0,9 dB                                    | 6,1 dB                                    |
| Messpunkt 223            | 86,3                              | -6,8 dB                             | -8,0 dB                             | 1,1 dB                             | -1,1 dB                                    | 5,7 dB                                    |
| Messpunkt 281            | 99,9                              | -13,6 dB                            | -11,8 dB                            | -1,8 dB                            | -4,5 dB                                    | 9,2 dB                                    |
| Messpunkt 284            | 104,3                             | -9,5 dB                             | -8,2 dB                             | -1,3 dB                            | -1,8 dB                                    | 7,7 dB                                    |
| Referenzmesspunkt<br>Hof | 92,7                              | -10,3 dB                            | -9,9 dB                             | -0,4 dB                            | -4,2 dB                                    | 6,1 dB                                    |
| Arithmetisches Mittel    |                                   | -7,5 dB                             | -9,0 dB                             | 1,4 dB                             | -1,3 dB                                    | 6,3 dB                                    |
| Standardabweichung       |                                   | 3,4 dB                              | 1,7 dB                              | 2,4 dB                             | 2,4 dB                                     | 1,4 dB                                    |



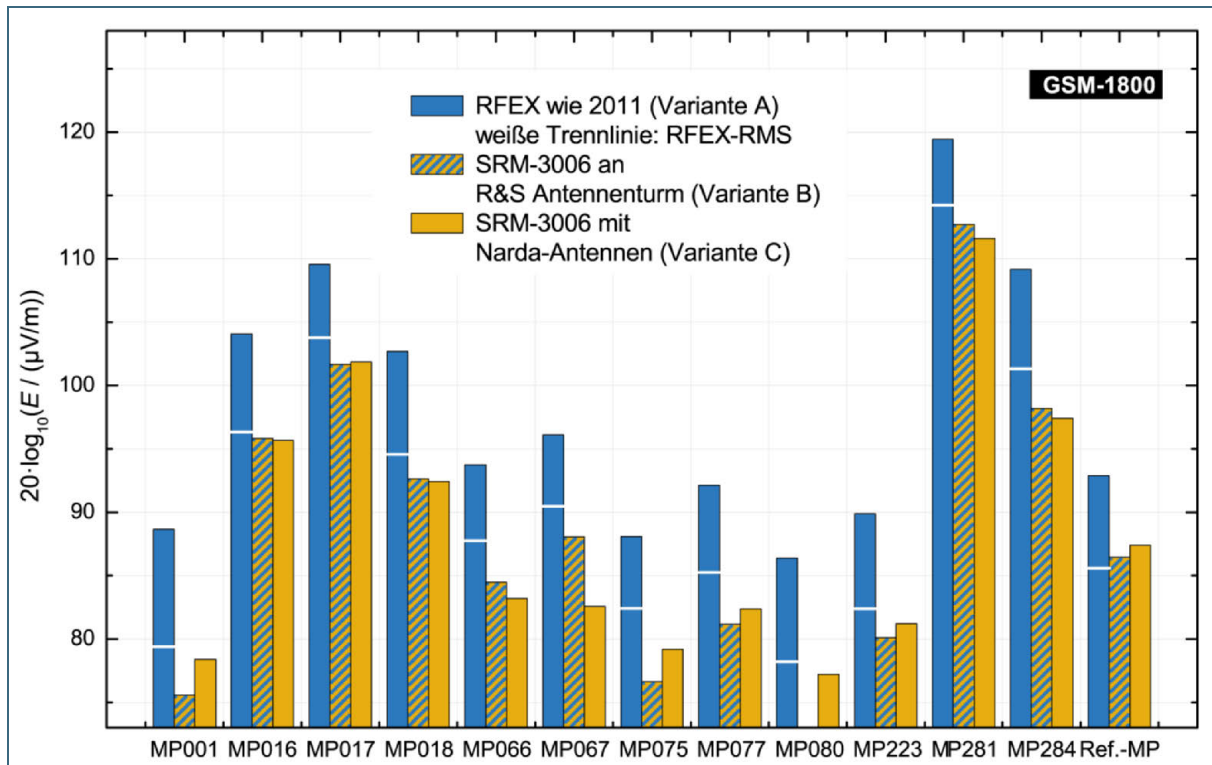


Abb. 17: Vollständige Messdaten für GSM-1800 im Vergleich der Messsysteme von Rohde & Schwarz und Narda an 12 Vergleichsmesspunkten.

Tab. 10: Vollständige Messdaten für GSM-1800 im Vergleich der Messsysteme von Rohde & Schwarz und Narda an 12 Vergleichsmesspunkten.

| Variante                 | C<br>(SRM-3006)<br>(dB $\mu$ V/m) | Unter-<br>schied<br>gesamt<br>(C-A) | Einfluss<br>Mess-<br>gerät<br>(B-A) | Einfluss<br>Anten-<br>nen<br>(C-B) | Unterschied<br>SRM-3006<br>zu RFEX-<br>RMS | Unterschied<br>RFEX-PK<br>zu RFEX-<br>RMS |
|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Messpunkt 001            | 78,4                              | -10,3 dB                            | -13,1 dB                            | 2,8 dB                             | -1,0 dB                                    | 9,3 dB                                    |
| Messpunkt 016            | 95,7                              | -8,4 dB                             | -8,2 dB                             | -0,1 dB                            | -0,7 dB                                    | 7,7 dB                                    |
| Messpunkt 017            | 101,9                             | -7,7 dB                             | -7,9 dB                             | 0,2 dB                             | -1,9 dB                                    | 5,8 dB                                    |
| Messpunkt 018            | 92,4                              | -10,3 dB                            | -10,1 dB                            | -0,2 dB                            | -2,1 dB                                    | 8,1 dB                                    |
| Messpunkt 066            | 83,2                              | -10,5 dB                            | -9,3 dB                             | -1,3 dB                            | -4,5 dB                                    | 6,0 dB                                    |
| Messpunkt 067            | 82,6                              | -13,5 dB                            | -8,1 dB                             | -5,5 dB                            | -7,9 dB                                    | 5,7 dB                                    |
| Messpunkt 075            | 79,2                              | -8,9 dB                             | -11,4 dB                            | 2,6 dB                             | -3,2 dB                                    | 5,7 dB                                    |
| Messpunkt 077            | 82,4                              | -9,8 dB                             | -11,0 dB                            | 1,2 dB                             | -2,9 dB                                    | 6,9 dB                                    |
| Messpunkt 080            | 77,2                              | -9,2 dB                             | -16,7 dB                            | 7,5 dB                             | -1,0 dB                                    | 8,2 dB                                    |
| Messpunkt 223            | 81,2                              | -8,7 dB                             | -9,8 dB                             | 1,1 dB                             | -1,2 dB                                    | 7,5 dB                                    |
| Messpunkt 281            | 111,6                             | -7,8 dB                             | -6,7 dB                             | -1,1 dB                            | -2,6 dB                                    | 5,2 dB                                    |
| Messpunkt 284            | 97,4                              | -11,7 dB                            | -11,0 dB                            | -0,8 dB                            | -3,9 dB                                    | 7,8 dB                                    |
| Referenzmesspunkt<br>Hof | 87,4                              | -5,5 dB                             | -6,4 dB                             | 0,9 dB                             | 1,8 dB                                     | 7,3 dB                                    |
| Arithmetisches Mittel    |                                   | -9,4 dB                             | -10,0 dB                            | 0,6 dB                             | -2,4 dB                                    | 7,0 dB                                    |
| Standardabweichung       |                                   | 2,0 dB                              | 2,8 dB                              | 2,9 dB                             | 2,3 dB                                     | 1,2 dB                                    |

Der konkrete Korrekturfaktor wurde aus den mittleren Unterschieden beider *RFEX*-Messungen gebildet (letzte Spalte in den Tab. 9 und Tab. 10). Dadurch hängt er ausschließlich vom alten Messsystem ab. Einflüsse durch andere Empfindlichkeiten und Aufstellorte der Antennen, sowie durch das neue Messsystem samt neuer Messpakete werden dadurch vermieden. Wie die Tabellen aber auch zeigen, liefert das Narda-Messsystem tendenziell noch etwas niedrigere Feldstärken als *RFEX* im RMS-Modus. Dabei handelt es sich aber um die Einflüsse von Messsystem und Antennen, die auch bei den Rundfunkdiensten auftreten. Hätte man den GSM-Korrekturfaktor deshalb auf die Differenzen der Varianten A und C oder A und B gestützt, so hätten konsequenterweise auch die Rundfunkdienste mit einer äquivalenten Korrektur versehen werden müssen, was tatsächlich ein unnötiges Ausmaß an Eingriffen in den Datenbestand bedeutet hätte.

Man mag ferner einwenden, dass die Anwendung derselben Korrektur auf alle Messreihen nicht gerechtfertigt ist, da 2002/2003 noch kein EDGE verfügbar war und Frequency Hopping möglicherweise weniger stark genutzt wurde. Eine Variation des Korrekturfaktors hätte aber zusätzliche Unsicherheiten und Willkürlichkeiten zur Folge gehabt. Der aus den Vergleichsmessungen abgeleitete Korrekturfaktor mag möglicherweise die ersten beiden Messreihen schlechter beschreiben als die dritte Messreihe; er ist aber aus Fakten abgeleitet und keinesfalls so groß, dass er wiederum eine *Unterschätzung* der GSM-Ergebnisse zur Folge haben könnte. Dies geht aus dem Vergleich der Unterschiede aus beiden *RFEX*-Ergebnissen mit den Unterschieden zwischen *RFEX* und SRM-3006 klar hervor.

Mit den gewonnenen Erkenntnissen lässt sich eine grobe Korrektur der GSM-Ergebnisse früherer Messreihen vornehmen. Wann immer Daten auf diese Weise verändert wurden, ist die entsprechende Stelle mit einem nach unten zeigenden Dreieck (▼) gekennzeichnet. Für GSM-900 beträgt die Korrektur einheitlich für alle Messreihen -6,3 dB. Für GSM-1800 beträgt sie einheitlich -7,0 dB.

### 3.3.2 Fazit zur Vergleichbarkeit

Bei der Bewertung der Vergleichbarkeit werden sowohl die Auswirkungen durch die Umstellungen des Antennensystems als auch die Messmethodik betrachtet.

Der Einfluss des Antennensystems wurde durch Vergleichsmessungen zwischen neuem Messsystem und einem Mischsystem untersucht. Im Mischsystem wurde die Narda-Messtechnik am alten Antennensystem von Rohde & Schwarz betrieben. Im Rahmen der allgemeinen Messgenauigkeit sind die Ergebnisse vergleichbar; die Abweichungen, die sich aus dem Wechsel des Antennensystems ergeben, sind tolerierbar.

Hinsichtlich der Messmethodik lassen sich ebenfalls Schlussfolgerungen aus den Vergleichsmessungen von altem und neuem Messsystem ziehen. Zusätzlich hat uns die Technische Hochschule Degendorf dankenswerterweise mit mehreren Vektorsignalgeneratoren bei der Erstellung der Setups unterstützt. So konnten gezielte Messungen an den wichtigsten Funksignalen durchgeführt (für GSM wird dies noch ausführlich in Kapitel 6.2.1.1 diskutiert) und die Setups validiert werden. Die Abweichungen auf Grund der Umstellung der *Messmethodik* sind deshalb ebenfalls tolerierbar.

## 3.4 Reproduzierbarkeit der Messungen; Empfangseigenschaften der Messsysteme

### 3.4.1 Antennenfaktoren und Kabeldämpfung

Antennen liefern an ihrem Hochfrequenzanschluss zunächst eine elektrische Spannung  $U$ . Dieselbe Feldstärke  $E$  führt an verschiedenen Antennen zu unterschiedlichen Spannungspegeln, weil sich je nach Konstruktionsform der Antennen ihre Empfangscharakteristika unterscheiden. Diese Eigenschaft

wird als Antennengewinn bezeichnet. Die Umrechnung von elektrischer Spannung in elektrische Feldstärke wird mittels des (frequenzabhängigen) Antennenfaktors  $G$  und unter Berücksichtigung der Kabelaämpfung  $k$  vorgenommen:

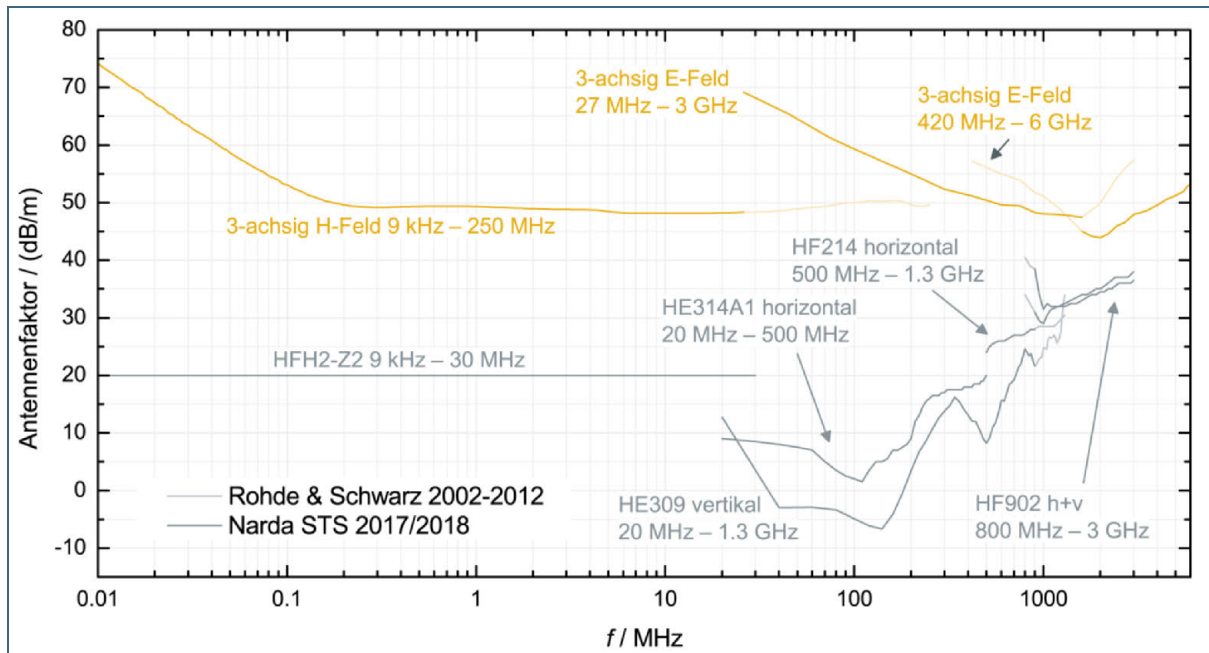


Abb. 18: Antennenfaktoren im Vergleich zwischen den Messreihen. Grau: Rohde & Schwarz Antennen der Messreihen 2002/2003 bis 2011/2012. Gelb: Antennen von Narda STS für die Messreihe 2017/2018. In aufgehellt dargestellten Abschnitten wurde die jeweilige Antenne nicht verwendet. Je nach Frequenz weisen die Antennen für die Messreihe 2017/2018 eine geringere Empfangsempfindlichkeit auf als die bei den bisherigen Messreihen verwendeten Antennen. Die Ursache dafür liegt hauptsächlich im kompakten Aufbau der Narda-Antennen begründet. Andererseits können mit dem neuen System alle drei Polarisations Ebenen erfasst werden, wobei für jede Polarisations Ebene Antennenelemente mit der gleichen Empfangsempfindlichkeit zum Einsatz kommen und keine Stückelung von Frequenzbereichen mehr notwendig ist. (Das betrifft insbesondere den zuvor notwendigen Schaltvorgang bei 500 MHz inmitten des UHF-Bands IV.)

$$E = U + G + k \quad (3.1)$$

Antennenfaktoren werden vom Antennenhersteller ermittelt und mittels Kalibriertabelle bereitgestellt. Sie beschränken sich auf diskrete Frequenzen. Werden Antennenfaktoren für dazwischen liegende Frequenzen benötigt, so müssen diese aus den Werten an den benachbarten Stützfrequenzen interpoliert werden. Die Interpolation kann im Wesentlichen linear oder logarithmisch erfolgen. In früheren Messreihen mussten die Antennenfaktoren nachträglich während der Auswertung manuell berücksichtigt werden.<sup>16</sup> Die zum Narda-Messsystem gehörenden Antennen verfügen über ein EEPROM, in dem die Kalibrierdaten gespeichert sind, sodass das SRM-3006 in der Lage ist, die Umrechnung von Spannungspegeln in Feldstärken vorzunehmen.<sup>17</sup>

Die Abb. 18 und Abb. 19 geben einen Überblick über die Frequenzabhängigkeit der im EMF-Monitoring verwendeten Antennen. Abb. 18 zieht den Vergleich zwischen altem und neuem Messsystem. Abb. 19 zeigt alle vorliegenden Kalibrierdaten der beiden Narda E-Feld-Antennen im Überblick. Die Antennen wurden – wie auch bislang üblich – vor Beginn der Messreihe beim Hersteller kalibriert (siehe Tab. 2).

<sup>16</sup> Dabei wurde linear interpoliert.

<sup>17</sup> Das SRM-3006 nimmt ebenfalls eine lineare Interpolation vor. [2]

Die Weiterleitung der Hochfrequenzsignale über Koaxialkabel führt zu elektrischen Verlusten, die insbesondere von Frequenz und Kabellänge abhängen. Dies wird als Kabeldämpfung bezeichnet. Die Verarbeitung der Kabeldämpfung erfolgt analog zu den Antennenfaktoren.

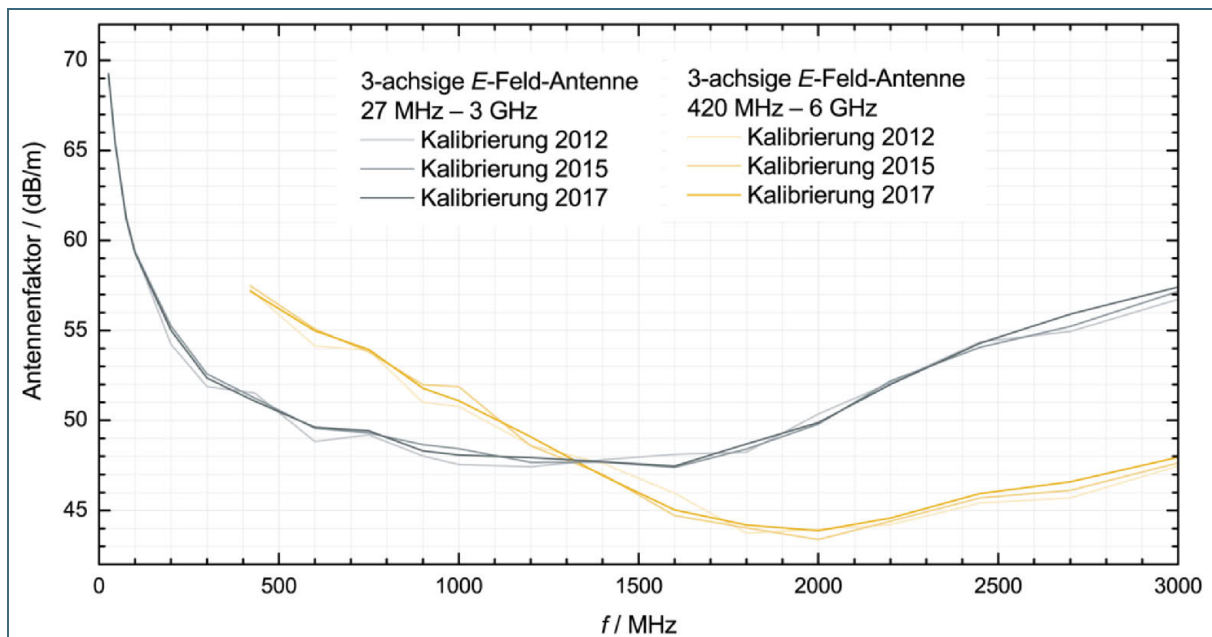


Abb. 19: Frequenzgang des Antennengewinns der dreiachsigen *E*-Feld-Antennen von Narda. Für beide Antennen liegen inzwischen drei Kalibrierdatensätze vor: Die Kalibrierung im Jahr 2012 stellt den Auslieferungszustand dar. Die vierte Messreihe basiert ausschließlich auf der Kalibrierung 2017. Dazwischen wurde 2015 eine turnusmäßige Werkskalibrierung beauftragt. Alle Kalibrierungen stimmen gut überein; die Antennen funktionieren einwandfrei.

### 3.4.2 Empfangsempfindlichkeit der Messsysteme

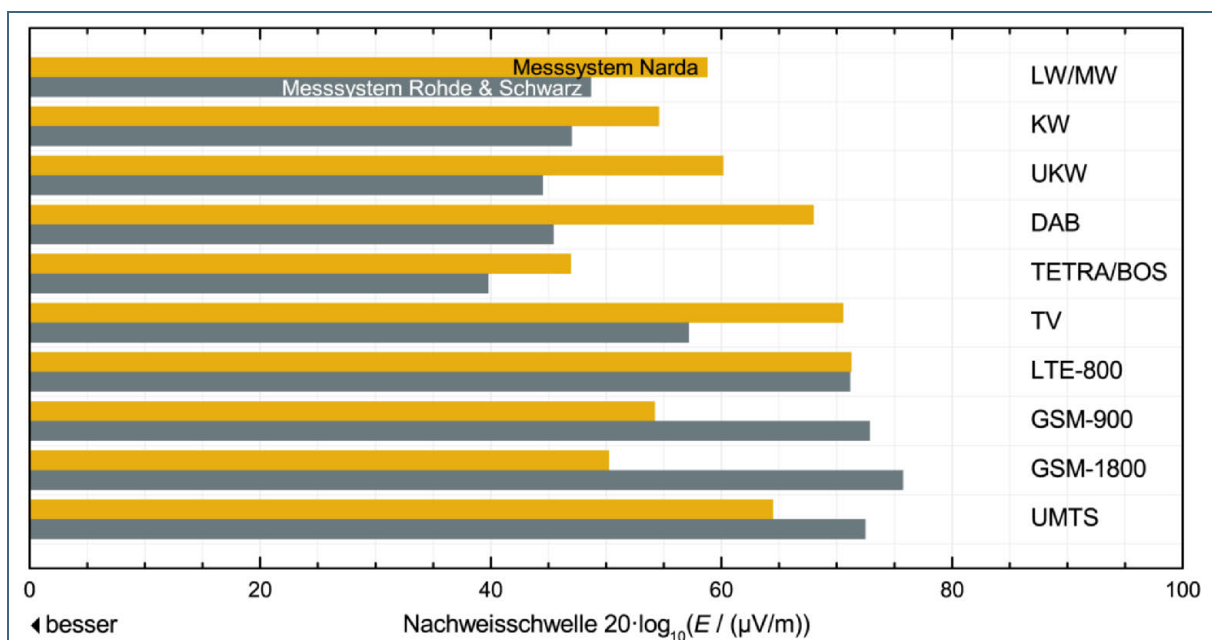


Abb. 20: Die Nachweisschwelle stellt die Grenze zwischen Signal und Rauschen dar, das heißt die kleinste Feldstärke, ab der ein Funksignal sicher detektiert werden kann. Gezeigt sind Mittelwerte der Nachweisschwellen für die wichtigsten Funkdienste im Vergleich zwischen den Messsystemen. Das Narda-Messsystem weist bei den Mobilfunkdiensten bessere Empfangseigenschaften auf, ist aber dafür für den Rundfunkbereich etwas weniger empfindlich. In manchen Bereichen (zum Beispiel Lang- und Mittelwelle) konnte die geringere Antennenempfindlichkeit durch Verwendung schmalbandigerer Setups weitgehend kompensiert werden.

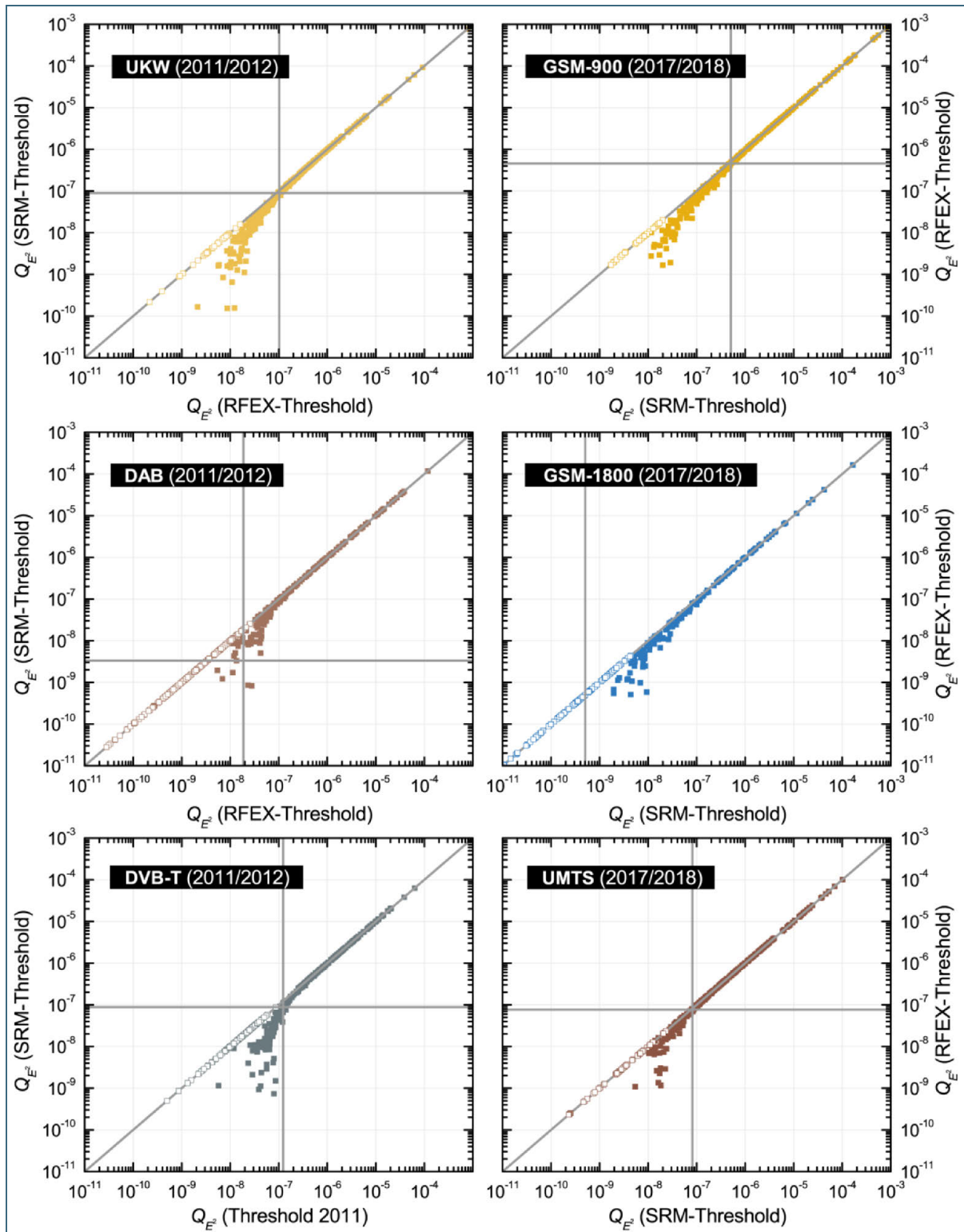


Abb. 21: Auswirkung der Unterschiede in den Empfangseigenschaften zwischen altem und neuem Messsystem. Aufgetragen ist das Ergebnis einer künstlich schlechter empfangenden Antenne (Ordinate) in Abhängigkeit des Ausschöpfungsgrads, den die besser empfangende Antenne liefert (Abszisse). Starke Signale (höhere Ausschöpfungsgrade) bleiben von einer geringeren Antennenempfindlichkeit unbeeinflusst. Die Entfernung eines Datenpunkts von der grauen Diagonalen ist ein Maß für den Einfluss der Antennenempfindlichkeit. Offene Datenpunkte würden mit der schlechteren Antenne gar nicht mehr empfangen, das heißt  $Q_{E2} = 0$ . Das Fadenkreuz markiert die Mediane. Die Antennenempfindlichkeit beeinflusst den Median umso mehr, je weiter das Zentrum des Fadenkreuzes von der Diagonalen entfernt liegt.



Auf den ersten Blick auf Abb. 18 scheint der Wechsel zu den kompakteren Antennen des Narda-Messsystems deutliche Einbußen in der Empfangsempfindlichkeit mit sich zu bringen: Der Antennenfaktor der Narda-Antennen liegt schließlich bis zu 50 dB oberhalb dem des Rohde-&-Schwarz-Systems bei gleicher Frequenz. Die Empfindlichkeit – also das Auflösungsvermögen schwacher Signale – hängt aber nicht ausschließlich von den Antennen, sondern auch von der Signalverarbeitung ab. Die Feldstärke, die ein Funksignal mindestens benötigt, um als solches vom Rauschen unterscheidbar zu sein, ist die Nachweisschwelle. Die wichtigsten Nachweisschwellen sind in Abb. 20 gegenübergestellt.

Das neue Messsystem hat im Rundfunkbereich Empfangsdefizite gegenüber dem Rohde-&-Schwarz-Antennenturm. Sie sind aber nicht so gravierend wie der Antennenfaktor hätte vermuten lassen. Im Mobilfunkbereich ergeben sich dagegen bessere Empfangseigenschaften. Neben dem Antennenfaktor sind es vor allem die Auflösebandbreite RBW und die technische Weiterentwicklung der Elektronik, die über die Empfangsempfindlichkeit bestimmen.

### 3.4.3 Reproduzierbarkeit der Messergebnisse

Für hinreichend gut empfangbare Funksignale hat Kapitel 3.3 bereits die gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse aufgezeigt. Bei schwachen Signalen haben altes und neues Messsystem je nach Frequenz ihre eigenen Stärken und Schwächen. Welche Konsequenzen ergeben sich daraus?

Zur Beantwortung dieser Frage wurde die Nachweisschwelle des jeweils besser empfangenden Messsystems gezielt angehoben, das heißt rechnerisch die Empfangsempfindlichkeit auf das Niveau des schlechteren Messsystems abgesenkt.<sup>18</sup> Dies entspricht einer künstlichen Verschlechterung der Empfangseigenschaften.

In Abb. 21 sind exemplarisch einige Frequenzbereiche gezeigt, für die unterschiedliche Empfangsempfindlichkeiten bestehen: Bei UKW, DAB und DVB-T ist das alte Messsystem besser, bei GSM-900, GSM-1800 und UMTS umgekehrt das neue.

Die Grafiken zeigen die Grenzwertausschöpfungen, die sich für die jeweiligen Funkdienste bei Verwendung der höheren Nachweisschwelle ergeben, in Abhängigkeit von den originalen Grenzwertausschöpfungen des jeweiligen Systems. Das Fadenkreuz markiert die Mediane – als horizontale Linie den Median für die künstlich verschlechterte Empfangsempfindlichkeit und als vertikale Linie den Originalmedian des unveränderten Messsystems. Unterschiedliche Empfangsempfindlichkeiten haben keine Auswirkungen auf die Gesamtstatistik eines Funkdienstes, wenn das Fadenkreuz auf die Diagonale fällt oder zumindest in deren Nähe liegt. Das ist dann der Fall, wenn an mindestens 50 % der Messpunkte ausreichend starke Signale vorherrschen, die sowohl oberhalb der Nachweisschwelle des besser empfangenden Systems als auch oberhalb der (höher liegenden) Schwelle des schlechter empfangenden Systems liegen. Die Grenzwertausschöpfungen dieser Messpunkte liegen auf der Diagonalen.

Neben diesem Idealfall gibt es umgekehrt die Situation, dass im gesamten Frequenzband eines Funkdienstes nur Signale vorhanden sind, die zwar die Nachweisschwelle des besser empfangenden Systems überschreiten, nicht aber die des unempfindlicheren Messsystems. Das schlechtere Messsystem ist dann „blind“; es ergibt sich ein Ausschöpfungsgrad von Null. Da die logarithmischen Darstellungen

---

<sup>18</sup> Das ist nur eine Abschätzung, da in den alten Daten die Polarisationssebenen unterschiedliche Empfangsempfindlichkeiten aufweisen. Deshalb ist es möglich, dass ein Funksignal in einer Polarisationssebene die Nachweisschwelle überschreitet, obwohl es insgesamt unterhalb der Nachweisschwelle für die vektorielle Summenfeldstärke beider Polarisationssebenen läge.



in Abb. 21 keine Nullwerte abbilden können, sind diese Fälle als offene Datenpunkte auf der Diagonalen eingezeichnet. Sowohl Abszisse als auch Ordinate geben hierfür den Ausschöpfungsgrad des besser empfangenden Messsystems an.

Die dritte Möglichkeit ist schließlich eine Mischung aus diesen beiden Fällen, das heißt es gibt zwar hinreichend starke Funksignale, aber auch solche, die das unempfindlichere Messsystem nicht mehr detektieren kann. Je nach den konkreten Verhältnissen weicht der Summenwert des schlechteren Systems dann mehr oder weniger stark von dem des besser empfangenden Systems ab. Das sind die (gefüllten) Datenpunkte, die in Richtung kleinerer Ausschöpfungsgrade immer stärker von der Diagonalen abweichen.

Überwiegen für einen Funkdienst in der Gesamtheit aller Messpunkte die schwachen Signale, so wird die Gesamtstatistik bei Verwendung des schlechter empfangenden Messsystems entsprechend verzerrt. Das ist dann der Fall, wenn die Streuung der Datenpunkte bereits rechts von der senkrechten Medianlinie beginnt – oder gleichbedeutend das Fadenkreuz beider Medianlinien nicht mehr auf die Diagonale zeigt.

Für die Umstellung des Messsystems ist im Wesentlichen nur DAB ein Grenzfall. Die hier schlechteren Empfangseigenschaften machen sich in der Messreihe 2017/2018 auch tatsächlich bemerkbar, indem sie insbesondere den Mittelwert zu kleineren Ausschöpfungsgraden hin verschieben. In der Praxis stellt das aber kein Problem dar, da die DAB-Immissionen seit der letzten Messreihe deutlich zugenommen haben (siehe Abb. 51, S. 72). Andererseits gibt es auch Frequenzbereiche, in denen das neue Messsystem eine bessere Empfangsempfindlichkeit aufweist. Davon profitiert insbesondere GSM-1800: Das Frequenzband hätte mit dem alten Messsystem durch die vielen Nullwerte einen deutlich zu niedrigen Mittelwert und einen Median von Null ergeben.

### 3.5 Messdauer

Für die vierte Messreihe wurde in allen Messpaketen mit Frequenzrastern gearbeitet. Wann immer bekannte Frequenzbelegungen veröffentlicht waren, wurden die Frequenzraster der Messpakete in Übereinstimmung mit diesen gewählt [4–7]. In den restlichen Fällen wurden „virtuelle“ Raster geschaffen (siehe Tab. 84 bis Tab. 86).

Unter Einbeziehung des Safety-Evaluation-Modus lässt sich festhalten, dass der Messdurchlauf eines Pakets umso länger dauert,

- je schwächer die Signale sind, die noch auswertbar sein sollen (signal-to-noise-ratio).
- je schmaler die Kanalbreiten sind<sup>19</sup>.
- je exakter eine RMS-Mittelung gewünscht wird (detailliert in Anhang D beschrieben).

Das für die vierte Messreihe ausgearbeitete Messprogramm benötigt circa 7 min für einen Durchlauf der Standardmesspakete<sup>20</sup> und circa 27 min für einen Durchlauf aller ergänzenden Messpakete<sup>21</sup>. Im

<sup>19</sup> Gerade in den Füllbändern – also der Lücke zwischen zwei benachbarten Standard-Funkdiensten – müssen schwache und eventuell schmalbandige Signale detektierbar sein. In einer breitbandigen Messung würden solche Signale verschwinden.

<sup>20</sup> Standardmesspakete sind in der Messreihe 2017/2018: UKW, DAB, DVB-T und die Mobilfunkbänder bei 700 MHz (aus der sogenannten „Digitalen Dividende II“), 800 MHz (aus der sogenannten „Digitalen Dividende I“), 900 MHz (GSM-900-Frequenzband), 1500 MHz (L-Band), 1800 MHz (GSM-1800-Frequenzband), 2,1 GHz (UMTS-Frequenzband), 2,6 GHz und 3,6 GHz

<sup>21</sup> Ergänzende Messpakete sind alle optionalen Messpakete der früheren Messreihen, sowie zusätzlich Lang-, Mittel- und Kurzwelle, analoger und digitaler BOS-Funk. Zusätzlich sind codeselektive LTE- und UMTS-Messungen enthalten.

Gegensatz zu früheren Messreihen werden an jedem Messpunkt alle Messpakete durchlaufen, so dass der Frequenzbereich 10 Hz – 6 GHz erstmals einheitlich und lückenlos an allen Messpunkten erfasst wird.

Eine zehnmahlige Wiederholung der Standardmesspakete – wie bislang der Fall – hätte bereits ohne die ergänzenden Messpakete 70 min gedauert und wäre nicht praktikabel gewesen. Deshalb wurde die Anzahl der Durchläufe von Standardmesspaketen auf nunmehr vier reduziert. Im Gegenzug erfolgt aber bereits in den Messpaketen selbst eine Mittelung über mehrere Sweeps (siehe Tab. 3). Der Grundgedanke einer Messzeit von etwa 1 h mit über diese Messzeit verteilten Messungen wird folglich für alle wichtigen Funkdienste beibehalten. Die ergänzenden Messpakete wurden – mit nur einem einzelnen Durchlauf – zwischen den zweiten und dritten Durchlauf der Standardmesspakete eingeschoben. Auf diese Weise sind die Standardmesspakete weiterhin über die komplette Messzeit verteilt. Daraus resultiert eine Gesamtmesszeit von circa 55 min pro Messpunkt (untere Grafik in Abb. 22). Bis auf sehr wenige Ausnahmen konnte das Messprogramm an allen Messpunkten vollständig ohne Abbrüche durchlaufen werden. Die Messzeit weist deshalb eine sehr geringe Streubreite auf. Lediglich an einzelnen Messpunkten kam es witterungsbedingt (zum Beispiel aufziehendes Gewitter oder Sturm) oder durch Probleme mit der mobilen Stromversorgung zu Verzögerungen.

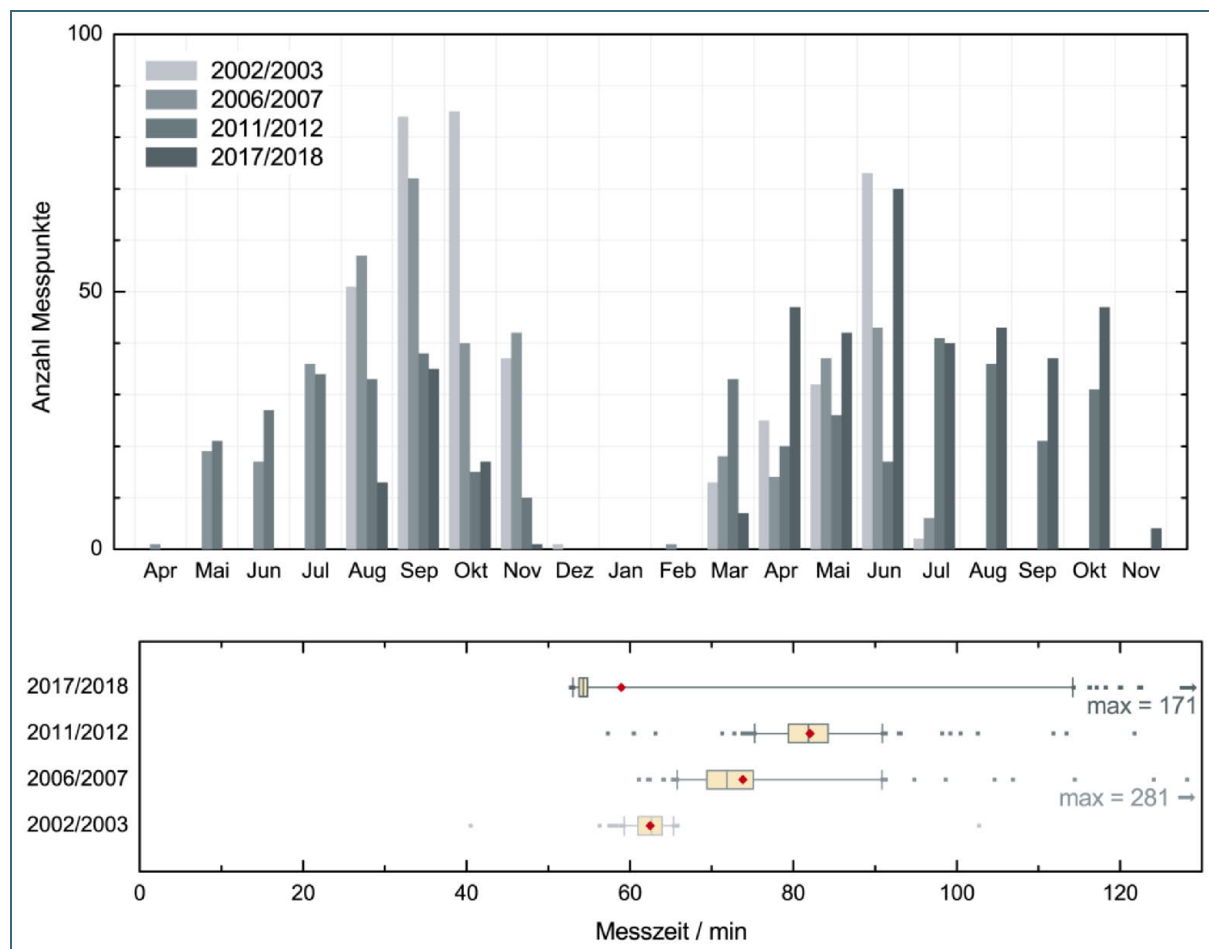


Abb. 22: Oben: Jahreszeitliche Verteilung der Messzeiten nach Kalendermonaten. Unten: Verteilung der Messdauer je Messpunkt im Vergleich zwischen den Messreihen. Rot hervorgehoben: Arithmetisches Mittel. Bei der jüngsten Messreihe traten kaum Schaltfehler und Abbrüche der Messroutine auf. Die Variation der Messzeiten ist dadurch erheblich geringer als bislang. Der Mittelwert für die Messzeit bei der Messreihe 2017/2018 liegt durch die Asymmetrie der Verteilung oberhalb des oberen Quartils.

## 4 Auswertung

### 4.1 Auswertesoftware

Die Umstellung des Messsystems machte eine neue Mess- und Auswertesoftware erforderlich. Bislang wurden die Messdaten mit Rohde & Schwarz RFEX erfasst und mit einem selbst entwickelten CLI-Tool ausgewertet. Für die Messreihe 2017/2018 sollte die neue Software folgenden Kriterien genügen:

- Grafische Benutzeroberfläche, um eine intuitivere Nutzung der Software zu ermöglichen.
- Unterstützung des RAW-Dateiformats<sup>22</sup> von RFEX, um auch die Auswertung der Daten früherer Messreihen einheitlich mit der neuen Software sicherstellen zu können. Dies impliziert auch die Verwaltung von Antennenfaktoren, Kabeldämpfungen und Messpaketen aus RFEX.
- Prüfroutine für alle Hard- und Softwarekomponenten.
- Automatisierter Ablauf des Messprogramms. Die Software muss hierzu in der Lage sein, den Antennenumschalter anzusteuern, um den korrekten Signalpfad einzustellen, die Messung am SRM-3006 zu starten und anschließend die Messdaten auszulesen und abzuspeichern.
- Messdaten des EFA-300 sollten ebenfalls von der Software verwaltet werden können, die hierzu auch dessen Daten auslesen und abspeichern können muss.
- Das Dateiformat sollte flexibel, schnell in der Handhabung und langlebig sein.

Die nachfolgenden Abschnitte stellen die wesentlichen Funktionen kurz vor. Für Details sei auf das zugehörige Manual verwiesen.

#### 4.1.1 Ansteuerung der Hardware

Die Ansteuerung von Antennenumschalter (Schalteinheit der TH Deggendorf mit Steuergerät dev Systemtechnik DEV 9801), SRM-3006 und EFA-300 ist ein Zusammenspiel von Hard- und Software. DEV 9801 und EFA-300 arbeiten mit seriellen Schnittstellen (RS-232); sie werden mit Seriell-USB-Konvertern eingebunden. Das SRM-3006 unterstützt USB bereits nativ. Der USB-Standard beschränkt die maximale Kabellänge auf 5 m.<sup>23</sup> Der Aufbau beim EMF-Monitoring sieht allerdings vor, den zentralen Messlaptop im Messfahrzeug zu belassen, wodurch sich regelmäßig Entfernungen von mindestens 10 m zwischen Computer und Peripherie ergeben. Aus diesem Grund wurden die USB-Daten über LAN getunnelt, wofür zusätzlich ein USB-Server der Firma Silex zum Einsatz kam. Trotz der zusätzlichen Komplexität erwies sich dieser Aufbau als ausgesprochen störungsarm und zuverlässig.

Die Kommunikation zwischen Hard- und Software erfolgt mit den Befehlssätzen der jeweiligen Geräte. Sie ist deshalb unabhängig von DLLs oder Frameworks der Messgerätehersteller und setzt mit Ausnahme der Seriell-USB-Konverter keine Installation von Drittanbietersoftware voraus. Für die Geräte DEV 9801 und EFA-300 sind vollständige Dokumentationen der Befehlssätze auf den Herstellerseiten im Web erhältlich. Narda STS bietet zwar ebenfalls einen *Command Reference Guide* an, dokumentiert darin aber leider nur einen Teil der Steuerbefehle des SRM-3006. Die Herstellerfirma stellte uns aber auf Anfrage eine weitgehend vollständige interne Befehlsübersicht zur Verfügung.

<sup>22</sup> RAW-Dateien sind Textdateien, in denen RFEX die von den Messgeräten ausgelesenen Messdaten speichert.

<sup>23</sup> ohne zwischengeschaltete Hubs

## 4.1.2 Funktionsprinzip Software

### 4.1.2.1 Datenverwaltung

Alle in den vorherigen Messreihen verwendeten Tools arbeiteten mit Textdateien. Dies gilt sowohl für die RAW-Files, in denen RFEX seine Daten speichert, als auch für das Tool DATALOG, das zum Auslesen der Messdaten vom EFA-300 benutzt wurde. Textdateien punkten zwar durch Langlebigkeit, sind aber in ihrer Handhabung weder schnell noch flexibel.

Für die Monitoring-Software fiel die Wahl daher auf eine datenbankbasierte Speicherung. Aus den gängigen relationalen Datenbanksystemen<sup>24</sup> (RDBMS) wurde gezielt SQLite ausgewählt. Dafür sprechen folgende Eigenschaften:

- Das Dateiformat ist vollständig dokumentiert.
- Die SQLite-Software selbst besteht aus nur einer Programmbibliothek (DLL).
- Es wird keine Installation und kein Serverdienst benötigt.
- Die komplette Datenbank inklusive Schema, Indizes, Views, et cetera wird in einer einzigen Datei gespeichert.
- Für alle Betriebssysteme sind unzählige Tools zur Datenansicht und -bearbeitung verfügbar.
- SQLite stellt das weltweit meistgenutzte Datenbanksystem dar<sup>25</sup>, sodass über die nächsten Jahrzehnte<sup>26</sup> eine Nutzung gesichert ist.

Die Monitoring-Software verwendet SQLite-Datenbankdateien mit zwei verschiedenen Datenbankschemata:

- Konfigurationsdatenbanken enthalten Einstellungen und Programmparameter (zum Beispiel Setups, Kanaltabellen, Antennenzuordnungen zu Signalpfaden, Antennenfaktoren, Kabeldämpfungen, Einstellungen und Schwellenwerte für die Auswertung, Grenzwerttabellen).
- Messwertdatenbanken enthalten ausschließlich Messwerte und zusätzliche Metadaten<sup>27</sup>. Sie können zusätzlich zu Datensätzen gruppiert werden. So ist es möglich, alle Daten einer kompletten Messreihe in einer einzelnen Datei abzuspeichern. Dennoch kann über die jeweiligen Datensätze in übersichtlicher und schneller Form auf alle Einzelwerte zurückgegriffen werden. Die gleichzeitige Speicherung verschiedenartiger Werte – für die früheren RFEX-Daten beispielsweise die Rohdaten als dB  $\mu$ V und dB  $\mu$ V/m pro Polarisationssebene sowie die resultierenden Werte der Gesamtfeldstärke – ist genauso unproblematisch möglich.

### 4.1.3 Auswertung

Der gesamte Weg von den Messdaten zu den Ergebnissen im vorliegenden Bericht ist in Abb. 23 skizziert. Die Software beschränkt sich inzwischen darauf, Signal und Rauschen zu trennen (Schritt 1), die aufgenommenen Feldstärkewerte zu delogarithmieren (Schritt 3) und den Ausschöpfungsgrad bezüglich

---

<sup>24</sup> Oracle Database, Microsoft SQL Server, PostgreSQL, MySQL, MariaDB, etc.

<sup>25</sup> SQLite ist als Standarddatenbank Bestandteil jedes Android- und iOS-Smartphones. Während der Entwicklerkonferenz Google I/O hat der Konzern im Jahr 2019 bekanntgegeben, dass es weltweit 2,5 Mrd. aktive Android-Geräte gibt. Apple gab im Rahmen der Quartalszahlen IV/2019 bekannt, dass es weltweit mittlerweile 1,5 Mrd. aktive iOS-Geräte gibt. Jede Installation der Browser Mozilla Firefox, Google Chrome und Apple Safari verwendet ebenfalls SQLite.

<sup>26</sup> Der Hauptentwickler von SQLite, Dr. Richard Hipp, sagte auf Wunsch eines Großkunden Support bis zum Jahr 2050 zu. [8]

<sup>27</sup> Beim Auslesen von SRM-3006 oder EFA-300 werden alle Informationen, die das jeweilige Gerät anbietet, automatisch als Metadaten abgespeichert. Dazu gehören Datum und Uhrzeit, Seriennummern, Messbereiche, Bandbreiten, et cetera

der Grenzwerte zu berechnen (Schritt 4). Die weiteren Schritte der Mittelung, Summation und Statistikbildung sind auf das RDBMS verlagert. Sie sind in Form geeigneter Views direkt in der Datenbank abgebildet.

Die folgenden Abschnitte enthalten kurze Erläuterungen zu den einzelnen Schritten. Am Ende jedes Schritts wird kurz zusammengefasst, wie die Daten währenddessen aufbereitet wurden. Zu Beginn liegen am Anfang von Schritt 1 pro Messpunkt mehrere Durchläufe aller Messpakete vor. Jeder Durchlauf jedes Messpakets enthält jeden Frequenzkanal. Die Daten liegen in Einheiten von dB  $\mu$ V (bis einschließlich zur Messreihe 2011/2012) oder dB  $\mu$ V/m (Messreihe 2017/2018) vor.

#### 4.1.3.1 Schritt 1: Schwellenwerte – Trennung von Signal und Rauschen

Dieser Schritt hat das Ziel, Signale und Rauschen voneinander zu trennen. Die automatisierte Auswertung tausender Messdaten an je 403 Messpunkten in nunmehr vier Messreihen hängt deshalb entscheidend von der gewählten Vorgehensweise ab. Es gibt folglich viele Freiheitsgrade, die sich auf das Ergebnis auswirken können.

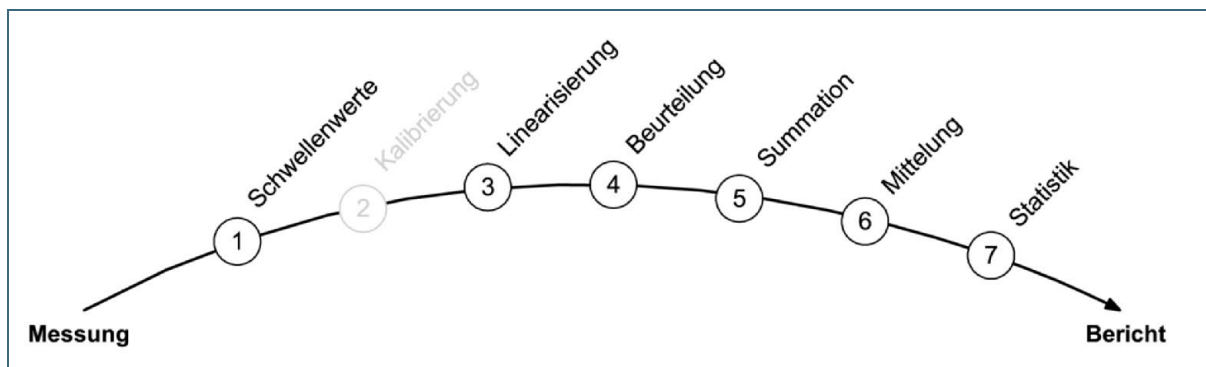


Abb. 23: Schematische Darstellung der Auswertung. Durch den Umstieg auf das Messsystem von Narda STS entfiel insbesondere die fehlerträchtige Berücksichtigung von Antennenfaktoren und Kabeldämpfungen im zweiten Schritt.

Die notwendigen Schritte zur Trennung von Signal und Rauschen sind:

1. Bestimmung des typischen Rauschens ohne Funksignale, beispielsweise in einer Schirmkammer. Die angestrebte Trennung von Signal und Rauschen der tatsächlichen Messdaten beschränkt sich dann auf einen Vergleich jedes einzelnen Messwerts mit der ermittelten Rauschschwelle.<sup>28</sup>
2. Das messtechnisch bestimmte Rauschen kann nicht direkt verwendet werden, weil es selbst statistischen Schwankungen unterliegt. Es ist daher erforderlich, einen gewissen Abstand zum Rauschen festzulegen und Signale erst dann als solche zu werten, wenn das Rauschen inklusive dieses Abstands überschritten wird (Abb. 27 f.). Die konkrete Wahl des Abstandswerts ist freilich Abwägungssache: ein zu großer Abstand filtert Pseudo-Signale, die tatsächlich nur Rauschen sind, sehr zuverlässig heraus, unterdrückt dafür im Gegenzug aber (schwache) reale Funksignale, die nicht deutlich genug aus dem Rauschen herausragen.
3. Müssen zudem Feldstärken erst aus einzelnen Polarisierungsebenen zusammengesetzt werden<sup>29</sup>, die noch dazu aus verschiedenen Antennentypen stammen, so können Schwellenwerte für jede einzelne Polarisierungsebene oder für die Summenfeldstärke angesetzt werden. Letztere Vorgehensweise unterdrückt schwache Signale insbesondere, wenn für die beiden Polarisierungsebenen

<sup>28</sup> Es sind auch andere Algorithmen denkbar, insbesondere solche zur Peak-Erkennung.

<sup>29</sup> Das ist bei allen Messdaten bis einschließlich zur dritten Messreihe der Fall.

deutlich unterschiedlich empfindliche Antennen zum Einsatz kommen. Der Schwellenwertvergleich wurde deshalb (bis 2011/2012) immer pro Polarisationssebene durchgeführt.<sup>30</sup>

Die Schwellenwerte werden bis einschließlich der Messreihe 2011/2012 auf die Spannungspegel und pro Polarisationssebene angewendet. Ab der Messreihe 2017/2018 liegen bereits Feldstärken vor, die alle drei Polarisationssebenen umfassen. Die Schwellenwertbetrachtung arbeitet hier in Einheiten der elektrischen Feldstärke.

Mittlerweile liegen mehrere voneinander unabhängige Implementierungen vor. Alle liefern ähnliche Resultate. In der Summe ist die Gesamtstatistik hinsichtlich ihrer Richtigkeit folglich valide.<sup>31</sup>

Ergebnis: Pro Messpunkt liegen mehrere Durchläufe aller Messpakete vor. Jeder Durchlauf jedes Messpakets enthält nur noch für diejenigen Frequenzen Werte, bei denen die Auswerteschwelle überschritten wurde. Die Daten liegen in Einheiten von dB  $\mu$ V (bis einschließlich zur Messreihe 2011/2012) oder dB  $\mu$ V/m (Messreihe 2017/2018) vor.

#### 4.1.3.2 Schritt 2: Kalibrierung – Einbezug der Kalibrierdaten

Dieser Schritt bezieht sich nur auf die ersten drei Messreihen. Hierbei wird aus den Rohdaten – Spannungspegeln für die horizontale und vertikale Polarisationssebene – ein Feldstärkewert errechnet. Dazu werden die Spannungspegel der horizontalen und vertikalen Polarisationssebene jeweils individuell mittels Antennenfaktor und Kabeldämpfung in zwei einzelne Feldstärkewerte umgerechnet, die anschließend vektoriell zu einem Gesamtfeldstärkewert addiert werden.<sup>32</sup> Problematisch ist dabei, dass die zugehörigen Kalibrierdaten aus verschiedenen Quellen stammen:

- Vor jeder Messreihe wurde Rohde & Schwarz mit einer Werkskalibrierung beauftragt. Für die Antennen HFH2-Z2, HF214, HF902 und HE314A1 existieren feste Kalibriertabellen.<sup>33</sup> Der Hersteller bescheinigt die korrekte Funktion der Antennen im Rahmen ihrer Spezifikation.
- Für den aktiven Vertikaldipol Rohde & Schwarz HE309 lieferte Rohde & Schwarz für jede Messreihe eine individuelle Kalibriertabelle. Die Daten der einzelnen Werkskalibrierungen differieren (siehe dazu S. 18 ff. im Bericht zur dritten Messreihe [1]).<sup>34</sup>
- Kabeldämpfungen wurden vom LfU in jeder Messreihe selbst am Mitlaufgenerator bestimmt. Jeder Datensatz besitzt immer nur für den Kabelsatz Gültigkeit, mit dem er gemessen wurde.

Die Kalibrierdaten besitzen darüber hinaus teils grobe Frequenzraster, sodass der letztlich für eine bestimmte Frequenz benötigte Wert durch Interpolation aus den Werten an den benachbarten Stützstel-

<sup>30</sup> Wenn in einer Polarisationssebene ein Messwert über der Schwelle liegt, in der anderen Polarisationssebene dagegen darunter, gilt folgende Konvention: In den Auswertungen zur dritten Messreihe [1] wurde in diesem Fall für die schwächere Polarisation der Schwellenwert eingesetzt. Zwecks Gleichbehandlung mit den Messdaten des SRM-3006 wurden die alten Messdaten für diesen Bericht neu ausgewertet, wobei jetzt der tatsächliche Messwert auch dann in die Vektorsumme eingeht, wenn er unterhalb der Schwelle liegt. Dadurch ergeben sich für die Ergebnisse der Messreihen 2002 bis 2012 nun geringfügig niedrigere Werte. Es sind ausschließlich Messpakete und Messpunkte davon betroffen, bei denen nur wenige schwache Signale vorhanden waren.

<sup>31</sup> Es geht hier nur um Einflüsse der Auswertung; die Tatsache, dass bereits die Messwerte selbst einer Messunsicherheit unterliegen, bleibt davon unberührt. Ebenso können einzelne Werte in Frage gestellt werden – beispielsweise nahe des Rauschens –, was aber ohne Auswirkung auf die Gesamtstatistik bleibt.

<sup>32</sup> Dieses Vorgehen wird für jede einzelne Frequenz in jedem Messpaket angewendet.

<sup>33</sup> Es existiert nur eine für alle Exemplare des jeweiligen Antennentyps gültige Kalibriertabelle mit teils recht grobem Frequenzraster.

<sup>34</sup> Für die Auswertung im vorliegenden Bericht wurden die individuellen Kalibriertabellen der einzelnen Messreihen verwendet. Im vorherigen Bericht wurde für die Daten der Messreihe 2006/2007 (versehentlich) mit der Werkskalibrierung gearbeitet. Dies wurde jetzt entsprechend geändert.



len ermittelt werden muss – wobei linear oder logarithmisch interpoliert werden kann. Insgesamt entstehen in diesem Auswerteschritt dadurch Freiheitsgrade, die Einfluss auf den finalen Feldstärkewert nehmen können.

Das Messsystem von Narda STS arbeitet dagegen mit EEPROMs in Kabeln und Antennen, in denen die Kalibrierdaten gespeichert sind; das SRM-3006 fügt selbsttätig Polarisations Ebenen zusammen und rechnet Spannungspegel in Feldstärken um. Für die Auswertung der Monitoringdaten entfällt dadurch eine wesentliche Fehlerquelle<sup>35</sup>, wenngleich natürlich nicht vollkommen ausgeschlossen werden kann, dass die Narda-Implementierung selbst fehlerhaft ist.

Ergebnis: Pro Messpunkt liegen mehrere Durchläufe aller Messpakete vor. Jeder Durchlauf jedes Messpakets enthält diejenigen Frequenzen, bei denen die Auswerteschwelle überschritten wurde. Die Daten liegen in Einheiten von dB  $\mu\text{V}/\text{m}$  vor.

#### 4.1.3.3 Schritte 3 und 4: Delogarithmierung der Feldstärkewerte und Beurteilung nach 26. BImSchV

Bislang liegen alle Messdaten in logarithmischer Form als dB  $\mu\text{V}/\text{m}$  vor. In diesem Schritt werden die Daten in lineare Werte  $\text{V}/\text{m}$  umgerechnet. Die Umrechnung der logarithmischen Werte in die korrespondierenden linearen Feldgrößen ist erforderlich, um anschließend den Bezug auf die Immissionschutzgrenzwerte vornehmen zu können.

Im Gegensatz zu den beiden Schritten zuvor sind diese beiden und die weiteren Schritte klare mathematische Konzepte ohne Freiheitsgrade.<sup>36</sup>

Der vorliegende Bericht folgt für die Expositionsbewertung den Regelungen der Neufassung der 26. BImSchV aus dem Jahr 2013. Die früheren Auswertungen hatten jeweils die ICNIRP-Empfehlungen aus dem Jahr 1998 [9] als Grundlage. Da sich in der Neufassung Änderungen<sup>37</sup> bei den Grenzwerten ergeben haben, sind die Ausschöpfungsgrade, die in diesem Bericht abgedruckt sind, im Frequenzbereich unter 10 MHz nicht mehr in allen Fällen direkt mit den früheren Berichten vergleichbar. Um dies zu ermöglichen, stellt Anhang C nochmals alle Ergebnisse unter Bezug auf die alten Grenzwerte zusammen.

Ergebnis: Pro Messpunkt liegen mehrere Durchläufe aller Messpakete vor. Jeder Durchlauf jedes Messpakets enthält diejenigen Frequenzen, bei denen die Auswerteschwelle überschritten wurde. Die Daten liegen als Immissionsbeiträge ( $E/E_{\text{lim}}$ ) vor.

#### 4.1.3.4 Schritt 5: Summation nach Funkdiensten

Das Ziel dieses Schritts ist eine weitere Kompaktierung der Daten. Dazu erfolgt eine Summation gemäß den Summationsregeln für Immissionsbeiträge.<sup>38</sup> Sie wird pro Durchlauf und Messpaket vorgenommen.

<sup>35</sup> Die Fehlerquelle liegt in der Verwechslungsgefahr der Kalibrierdaten. Da beliebige – auch unpassende – Kalibrierungen angewendet werden können, kann es zu schwer auffindbaren Datenfehlern kommen.

<sup>36</sup> Die Implementierungen in verschiedenen Auswertesoftwaren sollten bei gleichen Eingabewerten zu exakt gleichen Ergebnissen führen, was auch tatsächlich der Fall ist.

<sup>37</sup> Dies betrifft den Frequenzbereich der Stimulationswirkungen.

<sup>38</sup> Für den Frequenzbereich der Stimulationswirkungen wird über  $E/E_{\text{lim}}$  und  $B/B_{\text{lim}}$  summiert. Für die thermische Wirkung wird über  $(E/E_{\text{lim}})^2$  summiert.

Anmerkung: Die Datenmenge eines Messpakets kann zwischen den Durchläufen variieren. Dies kommt durch die Schwellenwertauswertung zu Stande. Dabei kann ein schwaches Funksignal in einem Durchlauf knapp unterhalb der Auswerteschwelle<sup>39</sup> liegen, und im nächsten Durchlauf knapp darüber. Es geht nur in denjenigen Durchläufen in die Summe ein, in denen es die Auswerteschwelle überschreitet. Wenn die Schwellenwertbetrachtung einen Durchlauf auf die leere Menge reduziert, dann ist der Summenwert für diesen Durchlauf des Messpakets Null.

Ergebnis: Pro Messpunkt liegen mehrere Durchläufe aller Messpakete vor. Jeder Durchlauf jedes Messpakets enthält nur noch einen Wert in Form der Grenzwertausschöpfung.

#### **4.1.3.5 Schritt 6: Mittelung mehrerer Messdurchgänge pro Messpunkt**

Um gegebenenfalls auftretende Schwankungen in den Feldstärkewerten erkennen und berücksichtigen zu können, werden die Frequenzbereiche gängiger Funkdienste, insbesondere Rundfunk und Mobilfunk, an jedem Messpunkt jeweils mehrfach gemessen. Die einzelnen Durchläufe werden nun arithmetisch gemittelt<sup>40</sup>, sodass pro Funkdienst und Frequenz ein einziger Wert entsteht.<sup>41</sup>

In den früheren Auswertungen hat die Auswertesoftware diesen und die beiden weiteren Schritte „fest“ berechnet und wieder in Textdateien ausgegeben. Da die neue Auswertesoftware nicht nur die Messdaten, sondern auch alle Auswerteergebnisse in identisch aufgebauten Datenbankdateien speichert, können die notwendigen Berechnungen jetzt dynamisch bei Bedarf vom RDBMS vorgenommen werden. Auswertungen nach beliebigen Kriterien – beispielsweise nur für einen bestimmten Funkdienst oder nur für einen Teil der Messpunkte – sind als SQL-Abfrage wesentlich schneller und effizienter durchgeführt als über den Umweg etwa in Excel.

Anmerkung: Anstatt einer Mittelung der Messdurchgänge können auch Minima und Maxima, also der kleinste oder größte Wert der verschiedenen Durchläufe, oder die Standardabweichung der Durchläufe betrachtet werden. Daraus lässt sich die Schwankungsbreite der Immissionen ablesen. Diese Ergebnisse sind jeweils in den Tabellen „Statistische Kenndaten“ im Anhang A enthalten.

Ergebnis: Pro Messpunkt und Messpaket ergibt sich ein einzelner Ausschöpfungsgrad.

#### **4.1.3.6 Schritt 7: Statistikbildung**

Aus den messpunktweisen Ausschöpfungsgraden werden die Messpakete sinnvoll nach funktechnischer Nutzung (Rundfunk, Mobilfunk, Sonstige) gruppiert, das heißt die Ausschöpfungsgrade der zu einem Funkdienst gehörenden Messpakete werden summiert. Für die totale Grenzwertausschöpfung in den Bereichen der Stimulationswirkung und der thermischen Wirkung werden entsprechend die Ausschöpfungsgrade aller Messpakete addiert.

Ergebnis: Durch die Gruppierung ergibt sich an jedem Messpunkt für jeden Funkdienst ein einzelner Ausschöpfungsgrad. Im Idealfall liegen 403 Ausschöpfungsgrade pro Funkdienst und Messreihe vor; real sind es wegen fehlender Daten bisweilen weniger Werte.

Sortiert man die Ausschöpfungsgrade eines Funkdienstes aufsteigend nach ihrer Größe, so erhält man die jeweilige Verteilungskurve für diesen Funkdienst. Mittelwerte, Mediane, Minima, Maxima und

---

<sup>39</sup> Siehe dazu Kapitel 4.1.3.1: Die Auswerteschwelle liegt um einen gewählten Abstand über dem messtechnisch ermittelten Rauschlevel.

<sup>40</sup> Im Bereich der thermischen Wirkung wurde leistungsbezogen gemittelt. Im Bereich der Stimulationswirkungen wurde feldstärkebezogen gemittelt. Dadurch wird der während des Messzeitraums vorhandene typische Immissionswert betrachtet.

<sup>41</sup> Dennoch liegen am Ende dieses Schritts allein im Hochfrequenzbereich noch rund 1000 einzelne Datenwerte (Ausschöpfungsgrade für die Grenzwerte) pro Messpunkt vor.

Standardabweichungen ergeben sich durch Anwendung der mathematischen Funktionen auf die 403 Ausschöpfungsgrade jedes Funkdienstes.

Anmerkung: Die Summation der Ausschöpfungsgrade der Messpakete kann wegen fehlender Daten problematisch sein. Ursache fehlender Daten sind beispielsweise der Ausfall einer Antenne, eines Kabels oder unbrauchbare EFA-300 Messungen (siehe Kapitel 4.2.1.1). Für die vorliegende Auswertung gilt folgende Systematik:

- Fehlen in einer Messreihe Messungen *optionaler* Messpakete, so wird für die Gesamtsumme der Ausschöpfungsgrade der Ausschöpfungsgrad des Pakets als Null angenommen.
- Fehlt an einem Messpunkt ein *Standard*messpaket, so wird der Messpunkt komplett aus der Statistik für die daraus abgeleiteten Funkdienste und für die Gesamtsumme herausgenommen. Die Statistik enthält dann entsprechend weniger als 403 Werte.

## 4.2 Nachweisschwellen der einzelnen Frequenzbereiche

### 4.2.1 Niederfrequentes elektrisches und magnetisches Feld

#### 4.2.1.1 Das Problem verrauschter Spektren

Seit Beginn der Messungen 2002 kam es sporadisch zur Erfassung rauschähnlicher Niederfrequenzspektren auf hohem Niveau, sowohl bei der elektrischen als auch bei der magnetischen Feldstärke. Dabei liegen die Feldstärken im gesamten Frequenzbereich um teils mehrere Größenordnungen über den ansonsten typischen Werten. Eine Auswertung dieser Spektren ist nur sehr eingeschränkt möglich, sodass es bislang in allen Messreihen zu Messpunkten kam, an denen keine verwertbare Niederfrequenzmessung vorlag. Besonders auffällig war die Messreihe 2002/2003 (siehe [10] S. 21 f.), bei der fast 20 % aller Magnetfeldmessungen verworfen werden mussten. In der Messreihe 2011/2012 trat das Problem ebenfalls auf, wenngleich deutlich seltener (siehe [1] S. 14 und S. 25). Dort war auch bereits vermutet worden, es könne ein Zusammenhang mit der automatischen Messbereichswahl des EFA-300 bestehen (siehe [1] S. 160).

Vor der aktuellen Messreihe wurde diese Theorie nochmals aufgegriffen und entsprechende Szenarien gezielt provoziert. Beim Einschalten, aber auch nach dem Wechsel von der *E*- zur *B*-Feld-Sonde (oder umgekehrt) nimmt das EFA-300 eine automatische Messbereichswahl vor. Ausgehend vom maximalen Messbereich (31,6 mT) wird die Empfindlichkeit jeweils schrittweise um 10 dB erhöht, bis schließlich der empfindlichste Messbereich gefunden ist, bei dem gerade keine Übersteuerung vorliegt. Im EMF-Monitoring ist das gewöhnlich der Messbereich 1 µT. Dementsprechend unterscheiden sich zwei Messbereiche nicht nur um jeweils 10 dB in der maximal erfassbaren Feldstärke, sondern auch um jeweils 10 dB in ihrem Grundrauschen.

Der beobachtete Effekt kommt immer dann zustande, wenn die automatische Messbereichswahl nicht vollständig abgewartet wird und bereits währenddessen der Max-Hold-Modus aktiviert wird. Er dient gewöhnlich dazu, die im Zeitverlauf höchsten auftretenden Messwerte festzuhalten. Als Nebeneffekt wird aber auch das (höhere) Grundrauschen eines unempfindlicheren Messbereichs „eingefroren“. Die bessere Messempfindlichkeit des letztlich gewählten Messbereichs kommt so nicht mehr zum Tragen. Je nach konkretem Zeitpunkt, zu dem Max-Hold aktiviert wird, liegt das resultierende (rauschartige) Spektrum auf einem bestimmten Niveau. Abb. 24 zeigt exemplarisch einige Spektren, die im Laufe der Messreihen real gemessen wurden (kräftige Farben). Die im Hintergrund dargestellten blass orangefarbenen Spektren sind Grundrauschen, das gezielt für jeden einzelnen Messbereich aufgenommen wurde. Der Messbereich wurde dabei manuell fest eingestellt. Alle als „verrauscht“ aussortierten

Spektren liegen bei einer der zwölf möglichen Lagen für das Grundrauschen – und niemals dazwischen. Es kann sich somit nicht um äußere Störeinflüsse handeln, sondern nur um das Grundrauschen eines zu unempfindlichen Messbereichs.

Entsprechendes gilt auch für *E*-Feld-Messungen.

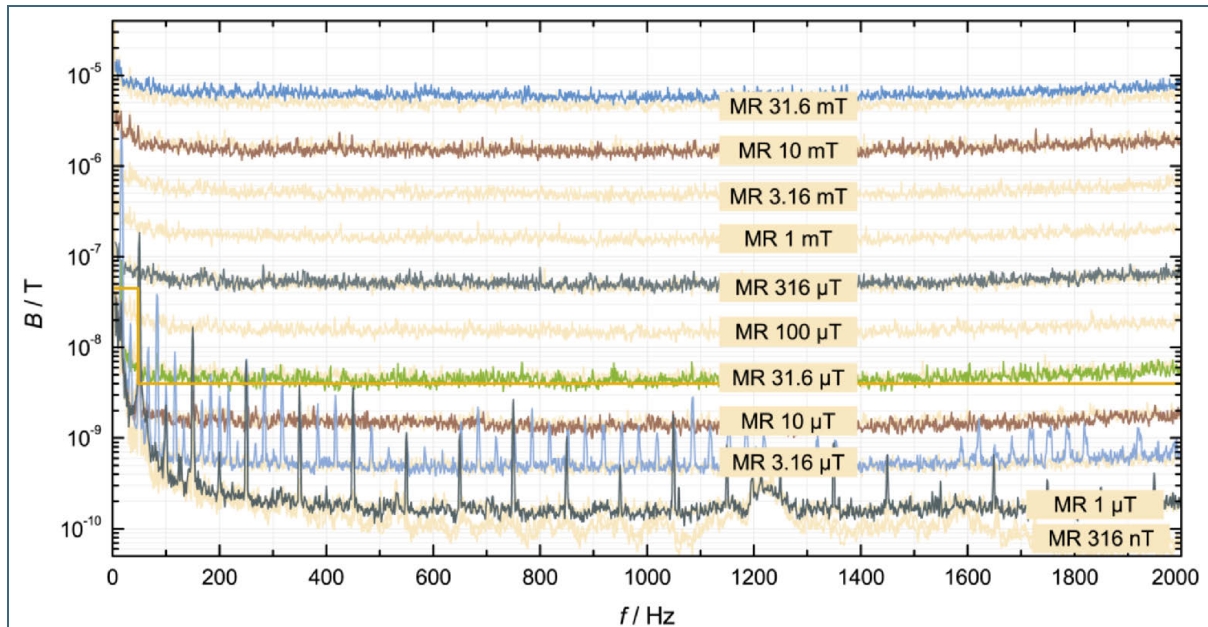


Abb. 24: Vergleich niederfrequenter Magnetfeldspektren mit unterschiedlichem Grundrauschen. Das unterste Spektrogramm stellt den Normalfall dar: Bei niedrigem Grundrauschen in der Größenordnung von 0,1 nT (Measurement Range MR 1 µT oder 316 nT) sind die typisch vorherrschenden Frequenzen klar zu erkennen. Wird dagegen während der automatischen Messbereichswahl zu früh in den Max-Hold-Modus geschaltet, so kommt es – je nach Zeitpunkt – zu einem deutlich erhöhten Grundrauschen, was die Auswertung der betroffenen Spektren unmöglich macht. Orange Linie: Nachweisschwelle des EFA-300 gemäß Hersteller (45 nT beziehungsweise 4 nT). Hell orange Spektren: Systematisch ermitteltes Grundrauschen in verschiedenen (manuell fest gewählten) Messbereichen.

Die Messreihe 2017/2018 ist dadurch die erste Messreihe, für die an allen Messpunkten Daten für das niederfrequente elektrische und magnetische Feld vorliegen. Fast überall sind je 3 Durchläufe für beide Feldarten korrekt abgespeichert. Lediglich für einen Messpunkt gibt es nur zwei Messungen des magnetischen Felds, und für fünf Messpunkte nur zwei Messungen des magnetischen Felds. Dies ist aber nicht auf unbrauchbare Messungen zurückzuführen, sondern auf vergessenes Abspeichern der Spektren.

#### 4.2.1.2 Das Problem von Artefakten im elektrischen Feld

In den Messreihen 2006/2007 und 2011/2012 wurden an praktisch allen Messpunkten unplausible Spektren für das elektrische Feld ermittelt (siehe [11] S. 22 ff. und [1] S. 25 f.). Diese treten bei den Frequenzen 100 Hz, 200 Hz, und teils auch bei 300 Hz Feldstärken knapp oberhalb der vom Hersteller angegebenen Nachweisschwelle (0,1 V/m) auf. Die Feldstärkewerte zeigen über alle 403 Messpunkte hinweg nur wenig Varianz und sind insbesondere unabhängig von einer Grundwelle bei 50 Hz zu beobachten.<sup>42</sup> Inkludiert man sie in der Auswertung, so wird der Ausschöpfungsgrad an rund 80 % aller Messorte allein durch diese Peaks bestimmt.

<sup>42</sup> Eine Klärung durch den Gerätehersteller wurde im Anschluss an die Messreihe 2006/2007 angestrebt, blieb aber erfolglos. Zunächst wurde über einen Alterungseffekt spekuliert. Das kann inzwischen ausgeschlossen werden, da die fraglichen Peaks in der dritten Messreihe bereits schwächer ausgeprägt und in der vierten Messreihe schließlich wieder vollständig verschwunden waren. Die Ursache konnte im Rahmen dieses Projekts bis heute nicht geklärt werden.

Für Abb. 25 wurden frequenzweise (und nach Messreihen getrennt) die Minima aller Messdaten zusammengestellt. In den Messreihen 2002/2003 und 2017/2018 liegen diese Minima sowohl für die magnetische Feldstärke als auch für die elektrische Feldstärke bei allen Frequenzen unterhalb der Nachweisschwelle. Das bedeutet, dass es Messpunkte gibt, an denen im Rahmen der Messempfindlichkeit des Geräts keine magnetischen oder elektrischen Felder nachweisbar waren. Zudem bilden diese Minima auch ein plausibles gleichbleibendes Grundrauschen. In der Messreihe 2006/2007 sowie in abgeschwächter Form auch 2011/2012 sind dagegen persistente Peaks deutlich zu sehen.

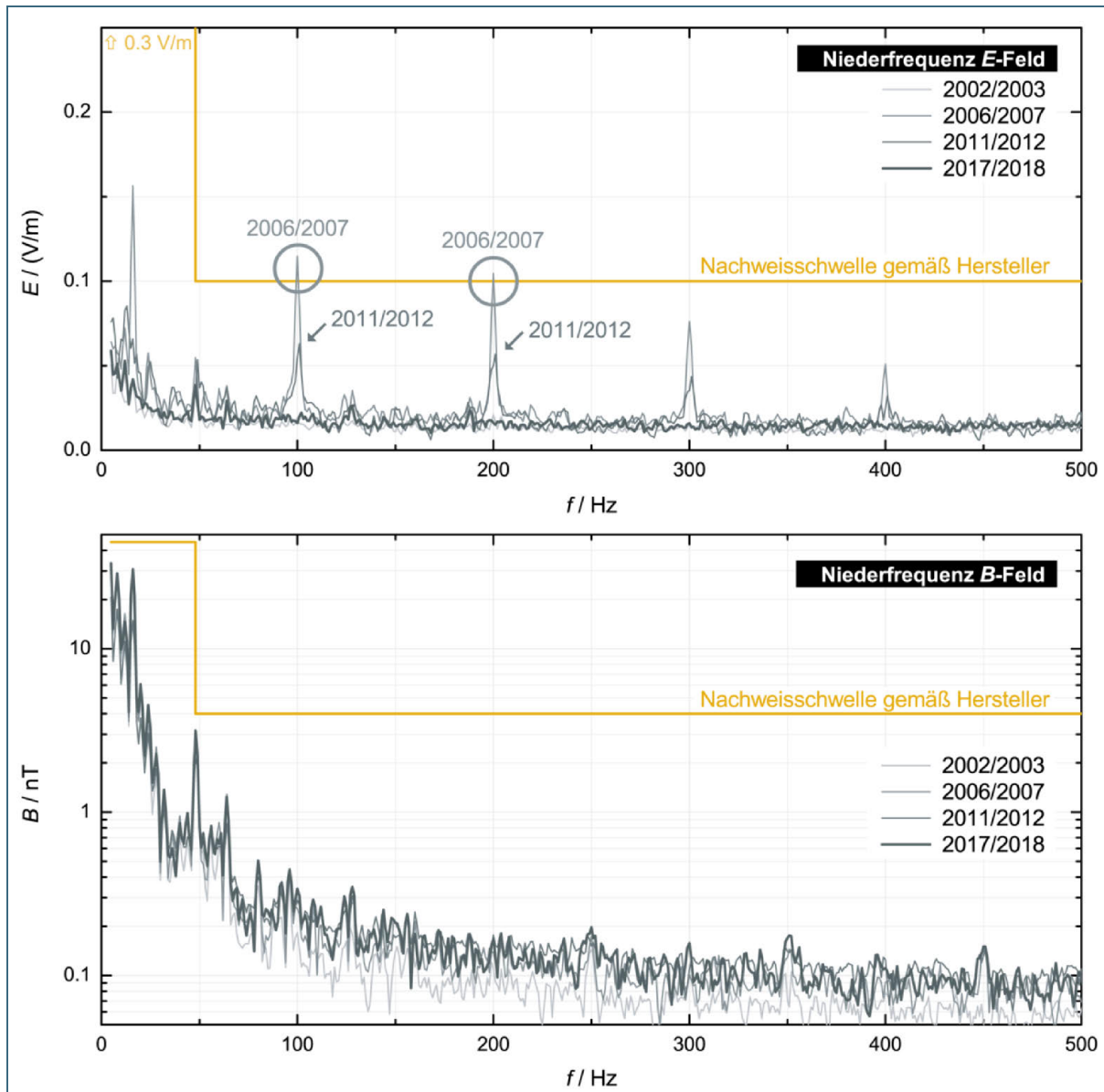


Abb. 25: Minimalwerte aller Niederfrequenzspektren pro Messreihe (untere Hüllkurve aller Spektren einer Messreihe). Die Minimalwerte des Magnetfelds liegen bei allen Messreihen durchwegs unter der Nachweisschwelle des Herstellers. Beim elektrischen Feld liegen die kleinsten gemessenen Werte bei 100 Hz und 200 Hz in der Messreihe 2006/2007 oberhalb der Nachweisschwelle. In der Messreihe 2011/2012 war der Effekt geringer ausgeprägt, aber dennoch deutlich zu sehen.

Die niederfrequenten elektrischen Felder des EMF-Monitorings liegen größtenteils nahe der Nachweisschwelle. Deshalb werden Mittelwerte und Mediane durch die persistenten Peaks der Messreihen 2006/2007 und 2011/2012 deutlich beeinflusst; sie müssen von der Auswertung ausgeschlossen werden. Beim niederfrequenten elektrischen Feld sind – anders als bei den magnetischen Feldern – höherfrequente Anteile selten. Die Immissionen werden meist von den Grundwellen bei 16,7 Hz und



50 Hz verursacht. Die Verfahrensweise, die Frequenzen 100 Hz und 200 Hz in der Auswirkung zu unterdrücken, bringt folglich keine gravierenden nachteiligen Auswirkungen mit sich.

Dennoch sollte der Eingriff in die Daten so behutsam wie möglich erfolgen. Wie bei der Auswertung der Messreihe 2011/2012 wurde dies durch Anpassung der Nachweisschwelle erreicht: Im Frequenzbereich 80 Hz – 350 Hz wurde sie von 0,1 V/m – der Originalvorgabe der Firma Narda STS – auf 0,2 V/m angehoben. Dadurch werden zuverlässig alle Artefakte unterdrückt, aber dennoch eventuell vorhandene Oberwellen ausreichender Stärke beibehalten.

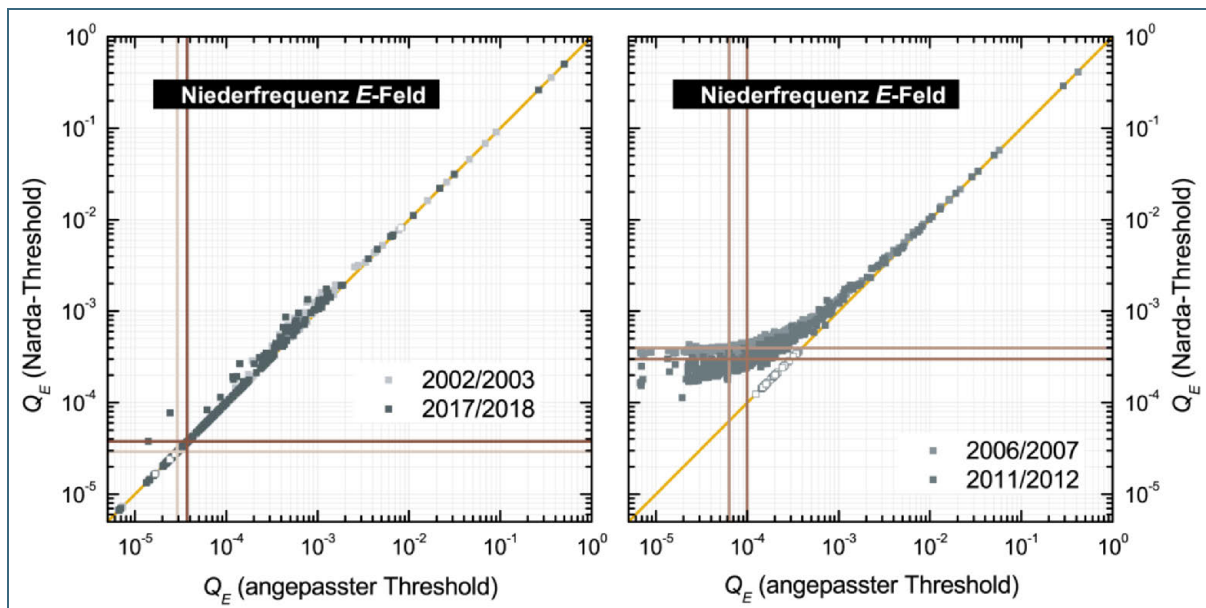


Abb. 26: Auswirkung der Anpassung der Nachweisschwelle für niederfrequente elektrische Felder. Die Grafik zeigt die Ausschöpfungsgrade bei Verwendung der original Narda-Nachweisschwelle ( $E_{thr} = 0,1 \text{ V/m}$ ) gegenüber den Ausschöpfungsgraden bei Verwendung der angepassten Nachweisschwelle ( $E_{thr} = 0,2 \text{ V/m}$ ) im Frequenzbereich 80 Hz – 350 Hz. Für die Messreihen 2002/2003 und 2017/2018 bedeutet die Anpassung nur eine geringe Abweichung der Ausschöpfungsgrade (links). Insbesondere verändert die Anpassung die Lage der Mediane (als Fadenkreuze dargestellt) nicht. Für die Messreihe 2006/2007 und 2011/2012 dagegen ist deutlich der Einfluss zu erkennen, der von konsistent vorhandenen Peaks bei 100 Hz und 200 Hz herrührt. Diese Peaks haben auch deutlichen Einfluss auf den Median, der zu höheren Ausschöpfungsgraden verschoben wäre. Offene Datenpunkte sind nur hilfsweise auf die Diagonale eingetragen; ihr Ausschöpfungsgrad wird mit angepasster Nachweisschwelle zu Null.

Die Auswirkungen der Anpassung der Nachweisschwelle zeigt Abb. 26 getrennt für die Messreihen 2002/2003 und 2017/2018 einerseits und 2006/2007 und 2011/2012 andererseits. Nur die beiden letzteren Messreihen zeigen diese persistenten Peaks. Messpunkte mit hohen Ausschöpfungsgraden werden durch die Anpassung der Nachweisschwelle nicht beeinflusst. Die Auswirkung zeigt sich erst bei niedrigeren Ausschöpfungsgraden (rechte Grafik in Abb. 26): Während bei Anwendung der angepassten Nachweisschwelle sukzessive niedrigere Ausschöpfungsgrade bis hinab zu  $Q_E = 10^{-5}$  erzielt werden, verbleibt der Ausschöpfungsgrad bei Anwendung der originalen Nachweisschwelle auf einem konstanten Basislevel in der Größenordnung bei 0,2 ‰ – 0,4 ‰. Messpunkte mit einem Ausschöpfungsgrad von Null kommen dabei gar nicht vor, während die angepasste Auswertung etliche solche Messpunkte identifiziert (offene Datenpunkte in der rechten Grafik von Abb. 26). Die Mediane der beiden betroffenen Messreihen, die durch die beiden Fadenkreuze dargestellt sind, werden durch die aufgetretenen Artefakte deutlich erkennbar zu höheren Ausschöpfungsgraden verschoben.

Kommt es durch die Anwendung der derart angepassten Nachweisschwelle umgekehrt zu einer *Unterschätzung* der realen Immissionssituation? Hierzu können die Daten der Messreihen 2002/2003 und 2017/2018 dienen, bei denen das Phänomen nicht auftrat. Sie wurden für die Aussagen in Kapitel 5 selbstverständlich mit der originalen Nachweisschwelle ausgewertet. Um den Einfluss der Anpassung



der Nachweisschwelle zu zeigen, wurde damit eine zusätzliche Auswertung vorgenommen (linke Grafik in Abb. 26). Zwar gibt es einige Messpunkte – diejenigen, deren Datenpunkte links der Diagonalen liegen –, deren Ausschöpfungsgrad durch den Eingriff verringert wird. Die Abweichung ist aber eher gering. Zudem bleibt die überwiegende Mehrzahl der Messpunkte von der Anpassung unbeeinflusst. Insgesamt führt diese Auswertung im Schnitt zu etwa 5 % geringeren Ausschöpfungsgraden als die Variante mit originaler Nachweisschwelle. Die gewählte Vorgehensweise ist für die Messreihen 2006/2007 und 2011/2012 somit durchaus vertretbar.

## 4.2.2 Bestimmung der Nachweisschwellen für die vierte Messreihe

### 4.2.2.1 Grundsätzliches

Die Auswertung der Messdaten beruht entscheidend auf der Trennung von Signal und Rauschen (siehe dazu Kapitel 4.1.3.1). Zur Ermittlung der Schwelle, die beide Bereiche voneinander trennt, wurden im Zeitraum vom 09. bis 10. Januar 2019 Referenzmessungen in einer Hochfrequenz-Schirmkammer an der Technischen Hochschule Deggendorf durchgeführt. Die Kabine hat den Zweck, äußere Felder fernzuhalten, sodass Messungen ohne Funksignale möglich werden.

Im feldfreien Raum wurde das Standard-Programm des EMF-Monitorings (einschließlich aller Erweiterungspakete) insgesamt zwölf Mal durchlaufen.<sup>43</sup> Für die Standardmesspakete ergeben sich daraus insgesamt 48 Messungen, für die Erweiterungspakete zwölf Messungen. Sie zeigen die Variation des Rauschens für das jeweilige Messpaket auf. Für jede Frequenz bilden der kleinste und der größte Feldstärkewert eine Spannweite. Über den gesamten Frequenzbereich eines Messpakets ergibt sich daraus ein Korridor für das Rauschen.

Abb. 27 zeigt die Vorgehensweise exemplarisch am Beispiel des Funkdienstes UKW. Der beige eingefärbte Korridor gibt den Bereich an, in dem sich die Feldstärken der Referenzmessungen in der Schirmkammer bewegen. Die untere Kante bilden frequenzweise die kleinsten aufgetretenen Feldstärkewerte; die obere Kante setzt sich analog dazu frequenzweise aus den höchsten Feldstärken zusammen.

In der Schirmkammer herrschen aber nicht nur hinsichtlich der Feldfreiheit besondere Bedingungen. Eine Messung dort unterscheidet sich auch klimatisch von einer typischen Monitoring-Messung, bei der das SRM-3006 bei Außentemperaturen von bis zu 40 °C und teils in der prallen Sonne<sup>44</sup> eingesetzt wurde. Es ist daher schon allein deshalb wahrscheinlich, dass reale Rauschwerte oberhalb des Rauschkorridors liegen. Zudem stellt auch das in der Schirmkammer gemessene Rauschen nur eine Stichprobe dar. Es besteht grundsätzlich immer die Möglichkeit, dass eine weitere Messung in der Schirmkammer – wenn auch nur für eine einzelne Frequenz – einen geringfügig höheren Wert liefert. Freilich sinkt die Wahrscheinlichkeit dafür mit der Anzahl der Messungen, doch dieser Umstand ist der Grund, warum die Oberkante des Rauschens nicht direkt verwendet werden kann, sondern noch ein Offset in der Größenordnung von 1 dB hinzugefügt wurde, um eine praktikable Nachweisschwelle zu erhalten.

Eine analoge Überlegung gilt auch für die Unterkante des Rauschkorridors. Hier lässt sich der Effekt direkt zeigen, indem pro Frequenz der minimale Feldstärkewert aller Messungen des EMF-Monitorings gebildet wird. Das Ergebnis ist am Beispiel von UKW die schwarze Kurve unterhalb des Rauschkorridors in Abb. 27: Sie liegt sichtbar niedriger als die Korridorunterkante. Eine reale obere

<sup>43</sup> Die Nachweisschwellen gelten deshalb für die bestmögliche Empfindlichkeit des Messgeräts.

<sup>44</sup> Das SRM-3006 musste zu Gunsten kurzer Hochfrequenzkabelwege nahe der Antennen im Freien platziert werden. Es wurde aber nach Möglichkeit zumindest Schatten gespendet, indem eine Abdeckung zum Einsatz kam.

Schranke des Rauschens dürfte etwa im gleichen Abstand über der Korridoroberkante liegen. Der gewählte Offset – bei UKW beträgt er 0,6 dB – bildet diesen Sachverhalt ab. Die Tab. 87 bis Tab. 89 (S. 197 ff.) enthalten die vollständige Liste der Offsets aller Messpakete.

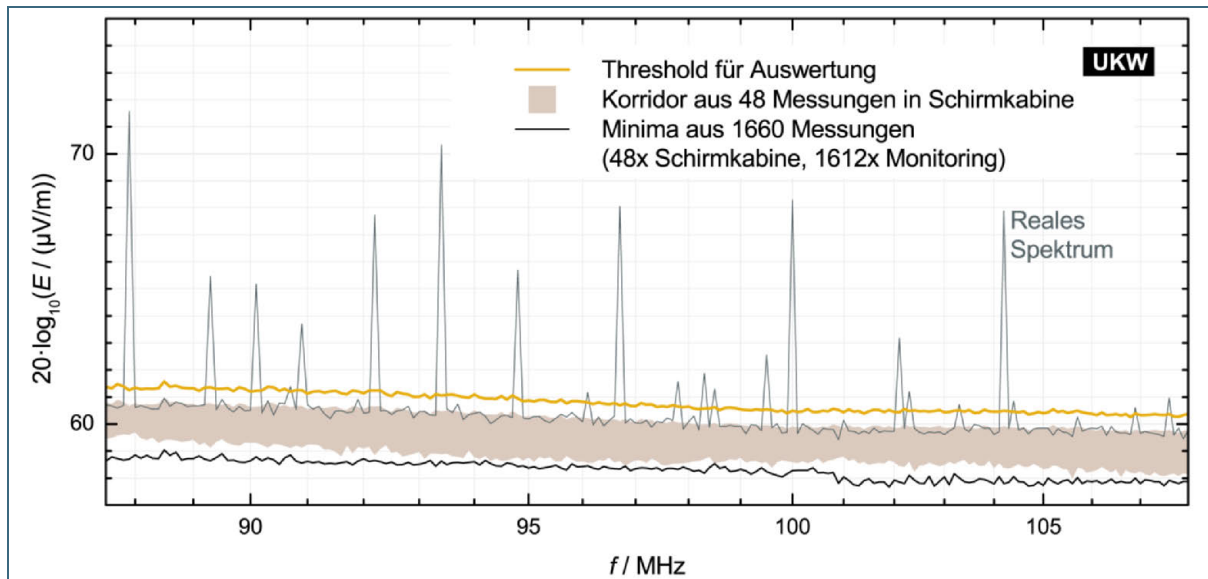


Abb. 27: Die Nachweisschwelle – diejenige Feldstärke, die Signal und Rauschen voneinander trennt – basiert maßgeblich auf Messungen in einer Schirmkabine. Die Gesamtheit dieser Messungen bildet einen Korridor, dessen obere und untere Kante sich aus den jeweils höchsten beziehungsweise niedrigsten aufgetretenen Feldstärkewerten zusammensetzen. Das typische Rauschlevel liegt innerhalb des Korridors. Die begrenzte Anzahl an Messungen in der Schirmkabine bedingt, dass der Rauschbereich nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit getroffen wird: Der jeweils kleinste während der Messreihe 2017/2018 aufgetretene Feldstärkewert (schwarze Linie) liegt deshalb sichtbar unterhalb der Korridorunterkante. Analoges gilt auch für die Oberkante des Rauschkorridors. Eine praktikable Nachweisschwelle liegt deshalb um einen Offset oberhalb der Korridoroberkante (gelbe Linie). Das Beispiel zeigt UKW mit einem Offset von 0,6 dB.

#### 4.2.2.2 Lang- und Mittelwelle

Im Frequenzbereich der Lang- und Mittelwelle gestaltet sich die Ermittlung der Nachweisschwelle komplizierter. Das Problem besteht darin, dass die verwendete Schirmkabine zu einem gewissen Grad durchlässig für die vergleichsweise niedrigen Frequenzen zwischen 60 kHz und 1,6 MHz ist. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Abb. 28 dargestellt. Der beige Korridor repräsentiert wiederum den Bereich, in dem die Referenzmessungen liegen.

Die untere Hüllkurve *aller* verfügbaren Messungen, einschließlich derjenigen aus dem EMF-Monitoring selbst, enthält keine Signalanteile mehr. Die Nachweisschwelle wurde deshalb folgendermaßen festgelegt:

1. Ausgangsbasis ist die Oberkante des Korridors (in Abb. 28 beige dargestellt) aus den Messungen in der Schirmkabine.
2. Davon wurde die Unterkante der Gesamtheit aller Messungen (schwarze Linie in Abb. 28) subtrahiert. Durch diesen Schritt wird der Frequenzgang des Antennenfaktors eliminiert; es verbleibt eine verrauschte, aber ansonsten konstante Grundlinie mit einzelnen Peaks.
3. Mittels ALS-Algorithmus<sup>45</sup> [12] wurde eine (geglättete) Basislinie ohne Peaks errechnet.

<sup>45</sup> Asymmetric Least Squares Smoothing

4. Auf diese Basislinie wurde die Unterkante der Gesamtheit aller Messungen (schwarze Linie in Abb. 28) wieder addiert. Da die Korridor-Oberkante (beiger Bereich in Abb. 28) Ausgangspunkt war, ist das Ergebnis das Maximum der Messungen in der Schirmkabine, nun jedoch ohne Signalanteile.

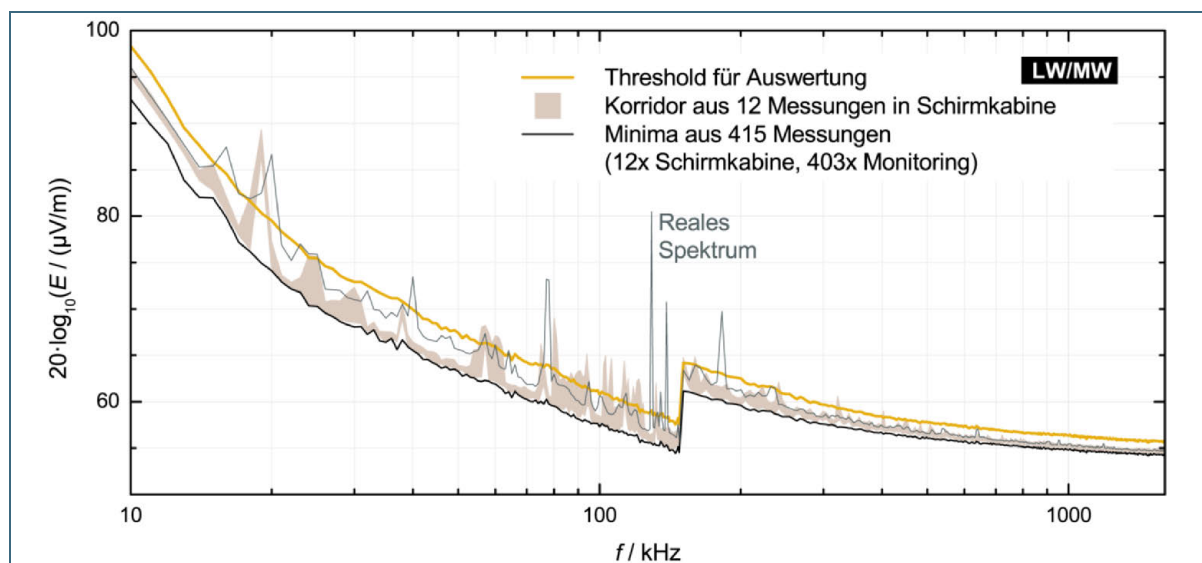


Abb. 28: Für Lang- und Mittelwelle ist die Festlegung der Nachweisschwelle komplizierter, weil die Hochfrequenzschirmkammer für deren Frequenzbereiche bereits teilweise durchlässig ist. Der beige eingefärbte Korridor zeigt den Bereich, in dem sich zwölf Messungen des Rauschens in der Schirmkabine bewegen. Es ist deutlich erkennbar, dass einzelne Signalanteile eingefangen werden. Die darunter verlaufende schwarze Kurve spiegelt die Minimalwerte aus den Messungen des EMF-Monitorings 2017/2018 wider. Reale Funksignale werden hierin fast vollständig eliminiert. Die Nachweisschwelle für die Auswertung ergibt sich aus einer Kombination der Messungen von Schirmkammer und Monitoring.

5. Einzelne Unebenheiten, die in der Unterkante aller Messungen enthalten sind, wurden manuell geglättet.
6. Mittels zusätzlichen Offsets ergibt sich schließlich die gesuchte Schwelle oberhalb des Rauschkorridors.

### 4.3 Umgang mit Daten früherer Messreihen

Wie schon bei den bisherigen Auswertungen üblich, wurden auch dieses Mal alle Rohdaten der vorangegangenen Messreihen mit der aktuellen Software erneut ausgewertet. Einerseits dient dies der Überprüfung, da Implementierungsfehler in der Auswertung deutlich auffallen sollten. Andererseits liegen durch diese Vorgehensweise nun alle Altdaten im selben Datenbankformat wie die Daten der Messreihe 2017/2018 vor.

Im Rahmen dieser Neuauswertung ist aufgefallen, dass an den Messpunkten 185, 203, 274, 275, 292, 293, 296 und 300, die im Zeitraum zwischen 16. Juli 2012 und 18. Juli 2012 gemessen worden waren, offenbar Probleme mit der aktiven Dipolantenne HE309 (Antennenspitze des damaligen Turms) vorlagen.<sup>46</sup> Die manuelle Sichtung der Daten hat ergeben, dass eine manuelle Korrektur nicht vielversprechend ist. Die betroffenen Messpunkte wurden für die Auswertung ausgeschlossen, was neben einigen optionalen Messpaketen insbesondere die Funkdienste UKW, DAB und DVB-T betrifft. Gleiches gilt auch für die Messpunkte 158, 202, 207, 213, 214, 215, 326 und 329, die im Zeitraum zwischen 11. Juni

<sup>46</sup> Es handelt sich vermutlich um einen Ausfall der Stromversorgung für die aktive Antenne.

2012 und 14. Juni 2012 gemessen worden waren, bei denen ein Kabeldefekt am gemeinsamen Hauptkabel zwischen Antennenumschalter und Spektrumanalysator aufgetreten war. In den Abb. 29 und Abb. 30 sind exemplarisch Spektren von UKW und DVB-T beziehungsweise GSM-900 am Messpunkt MP202 gezeigt. Im Rundfunk ist der Einbruch während der Messreihe 2011/2012 deutlich zu sehen.

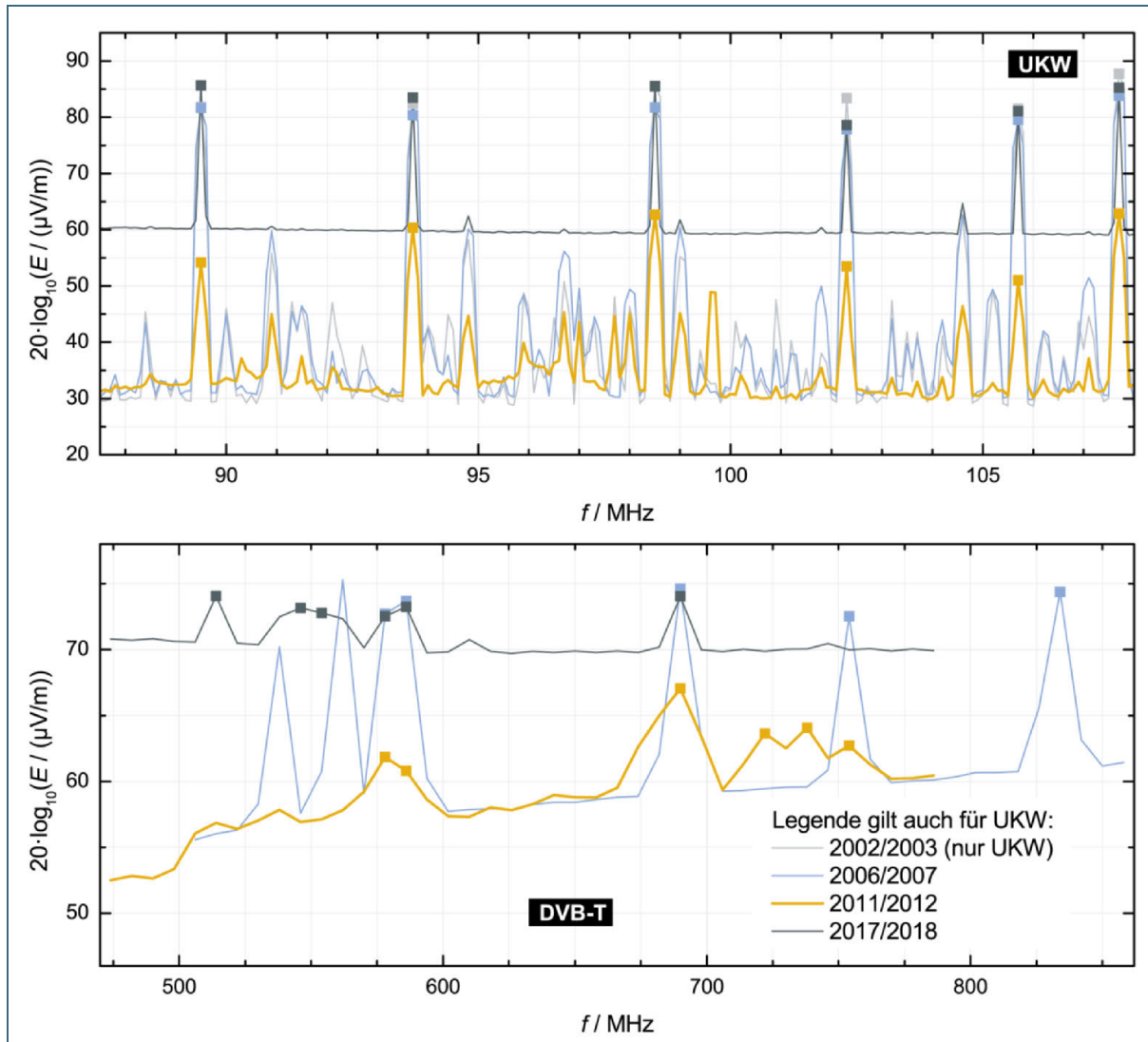


Abb. 29: UKW und DVB-T am MP202 im Vergleich zwischen den Messreihen. Die Frequenzen des zugehörigen Haussenders Wendelstein sind nochmals durch Datenpunkte hervorgehoben. Der Einbruch während der Messreihe 2011/2012 (hervorgehoben) ist deutlich zu erkennen, wohingegen die Messwerte der vorherigen und nachfolgenden Messreihe trotz geänderten Equipments nur gering voneinander abweichen. Das höhere Grundrauschen in der Messreihe 2017/2018 ist durch eine geringere Empfangsempfindlichkeit der verwendeten Messantennen bedingt.

Insgesamt ist durch die Herausnahme der Messpunkte aus der Gesamtstatistik auf Grund der geringen Anzahl betroffener Messpunkte nur ein geringer Einfluss zu erwarten.

Im Zuge der Sichtung der Daten ist darüber hinaus ein Fehler in den Nachweisschwellen der Messpakete aufgefallen, die den aktiven Vertikaldipol HE309 beinhalten. Dazu gehören im Wesentlichen die Rundfunkdienste UKW, DAB und DVB-T. Die Nachweisschwellen mussten deshalb korrigiert werden, was auch eine Neuauswertung aller Bestandsdaten erforderlich machte. Tab. 11 fasst die Änderungen

an den Nachweisschwellen zusammen. Der Einfluss auf die Ergebnisse ist insgesamt sehr gering<sup>47</sup> und nur im direkten Vergleich zwischen Auswertungen mit den beiden Nachweisschwellen zu erkennen.

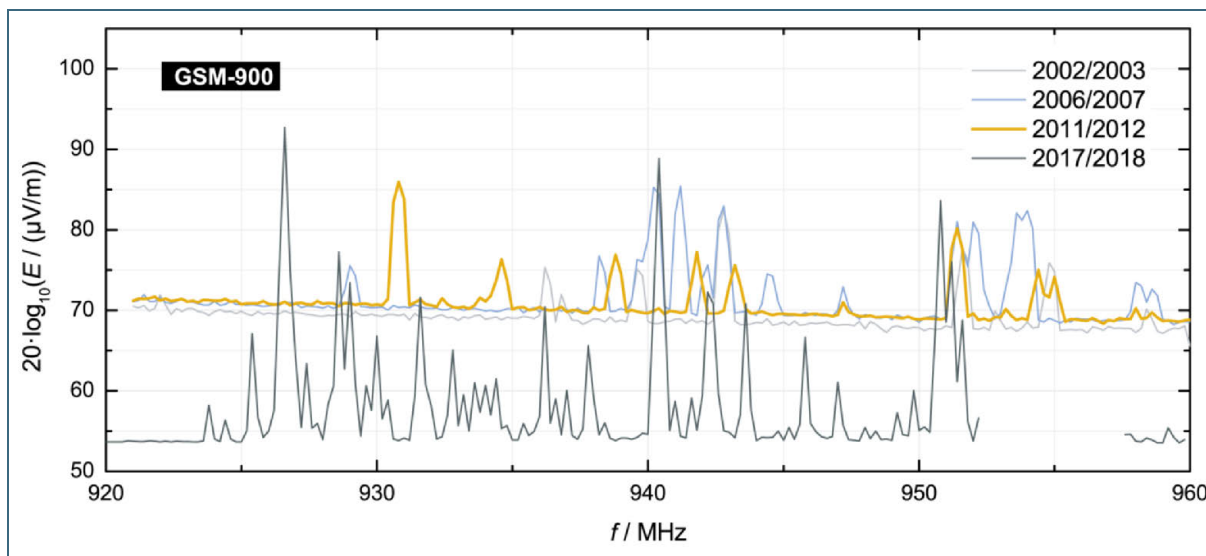


Abb. 30: GSM-900 am MP202 im Vergleich zwischen den Messreihen. Im Gegensatz zu den Rundfunkergebnissen (Abb. 29) scheint der Einfluss des beschädigten Kabels in der Messreihe 2002/2003 (hervorgehoben) auf die höheren Frequenzen nur gering gewesen zu sein. Die Mobilfunkdaten der betroffenen Messpunkte wurden deshalb beibehalten. Das niedrigere Grundrauschen in der Messreihe 2017/2018 ist durch bessere Empfangseigenschaften der verwendeten Messantennen bedingt.

Tab. 11: Anpassungen von Nachweisschwellen für die Messreihen bis einschließlich 2011/2012. Die Nachweisschwellen weisen in der Regel eine Frequenzabhängigkeit auf; angegeben sind Mittelwerte über den jeweiligen Frequenzbereich.

| Paket                     | Threshold bisher        | Threshold neu           |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
| UKW PK                    | circa 33,8 dB $\mu$ V/m | circa 44,5 dB $\mu$ V/m |
| DVBT3 RMS                 | circa 39,3 dB $\mu$ V/m | circa 47,2 dB $\mu$ V/m |
| DAB1 RMS (2011/2012)      | circa 36,0 dB $\mu$ V/m | circa 45,4 dB $\mu$ V/m |
| TETRA-BOS RMS (2011/2012) | circa 39,8 dB $\mu$ V/m | 41,0 dB $\mu$ V/m       |
| DVBT4 RMS                 | circa 49,9 dB $\mu$ V/m | circa 50,5 dB $\mu$ V/m |
| DVBT5 RMS                 | circa 57,1 dB $\mu$ V/m | circa 57,2 dB $\mu$ V/m |

<sup>47</sup> Die Mittelwerte und Mediane weichen zwischen den Auswertungen mit beiden Nachweisschwellen um weniger als  $0,01 \cdot 10^{-6}$  voneinander ab.

## 5 Ergebnisse für die nicht-thermische Wirkung (Stimulationswirkungen)

Der Bereich der Stimulationswirkungen umfasst den Frequenzbereich bis 10 MHz. Dazu gehören:

- niederfrequente Felder,
- Langwellenrundfunk,
- Mittelwellenrundfunk,
- ein Teil des Kurzwellenrundfunks (bis 10 MHz).

Stimulationswirkungen können sowohl von magnetischen als auch von elektrischen Feldern hervorgerufen werden, weshalb diese beiden Feldarten nachfolgend getrennt besprochen werden.

Die Ausschöpfungsgrade errechnen sich aus der Summe der Immissionsbeiträge:

$$Q_B = \sum_{f=1 \text{ Hz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{B(f)}{B_{\text{lim}}(f)} \quad (5.1)$$

$$Q_E = \sum_{f=1 \text{ Hz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{E(f)}{E_{\text{lim}}(f)} \quad (5.2)$$

Hierin sind B und E die gemessenen Feldstärken bei den einzelnen Frequenzen und  $B_{\text{lim}}$  beziehungsweise  $E_{\text{lim}}$  die zugehörigen Grenzwerte bei der jeweiligen Frequenz. Die Bewertung (und Summierung) erfolgt auf Basis der Feldstärken, da die biologischen Wirkungen direkt von den Feldstärken abhängen.

Ausschöpfungsgrade sind immer dimensionslos. Für den Frequenzbereich der Stimulationswirkungen sind sie in diesem Bericht in Einheiten von Promille (‰) angegeben.

An dieser Stelle sei nochmals daran erinnert, dass die Auswertung in diesem Bericht erstmals auf der 26. BImSchV aus dem Jahr 2013 basiert, die wiederum den ICNIRP-Grenzwertempfehlungen von 2010 entspricht. Zum Vergleich sind die Daten auf Basis der ICNIRP-Empfehlungen von 1998 in Anhang C zu finden.

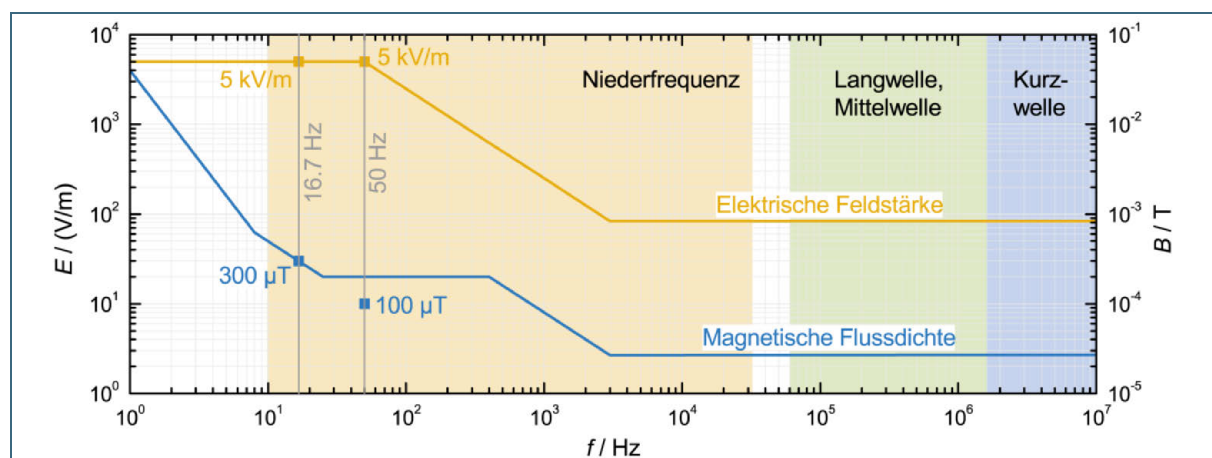


Abb. 31: Grenzwerte nach 26. BImSchV [13] für elektrische und magnetische Felder im Frequenzbereich der Stimulationswirkungen. Datenpunkte: Werte für die Frequenzen der elektrischen Energieversorgung. Man beachte, dass für die Magnetfeldexposition bei 50 Hz ein von der Kurve abweichender Grenzwert in Höhe von 100 µT gilt (§ 3 Absatz 1 26. BImSchV).



## 5.1 Magnetische Feldstärke



Abb. 32: Einer von insgesamt 12 Messpunkten mit dem niedrigsten Ausschöpfungsgrad niederfrequenter magnetischer Felder (MP045;  $Q_B = 0$ ). Dieser Messpunkt gehört gleichzeitig auch zu den 131 Messpunkten mit dem niedrigsten Ausschöpfungsgrad niederfrequenter *elektrischer* Felder ( $Q_E = 0$ ).



Abb. 33: Messpunkt mit dem höchsten Ausschöpfungsgrad niederfrequenter Magnetfelder (MP037;  $Q_B = 11,1 \text{ ‰}$ ). Ursächlich ist ein Unterverteiler direkt am Messpunkt (links neben der Straßenlaterne).

Die Exposition durch niederfrequente Magnetfelder hat drei Quellen:

- Die in den Leitungen und Anlagen der Energieversorgungsnetze fließenden Ströme (Ortsnetz, Verteilnetz, Übertragungsnetz, Umspannwerke). Die Netze können als Erdkabel oder Freileitung ausgeführt sein.
- Die Nutzung elektrischer Energie im privaten, industriellen und gewerblichen Umfeld. Magnetfelder bilden sich in der Umgebung aller Verbraucher sowie in der Umgebung derer Zuleitungen aus.
- Stromflüsse im Bahnstromnetz. Sie umfassen das Verteilnetz der Bahn und die Versorgung der Züge mit elektrischer Energie, meist per Fahrdrat. Gerade bei letzterem sind die Magnetfelder starken Schwankungen unterworfen, da die Bahnstrecken in Einspeiseabschnitte unterteilt sind. Das Magnetfeld am Fahrdrat hängt von der Position und Anzahl der Züge und deren Fahrverhalten<sup>48</sup> im jeweiligen Einspeiseabschnitt ab.<sup>49</sup>

<sup>48</sup> Der aktuelle Strombedarf eines Zugs variiert situativ: Halt am Bahnhof, Anfahrt, Beschleunigung, Abbremsung oder Ausrollen mit Rückspeisung.

<sup>49</sup> Magnetfelder von U- und Straßenbahnen werden nicht erfasst, da diese Verkehrsmittel in der Regel mit Gleichspannung betrieben werden.

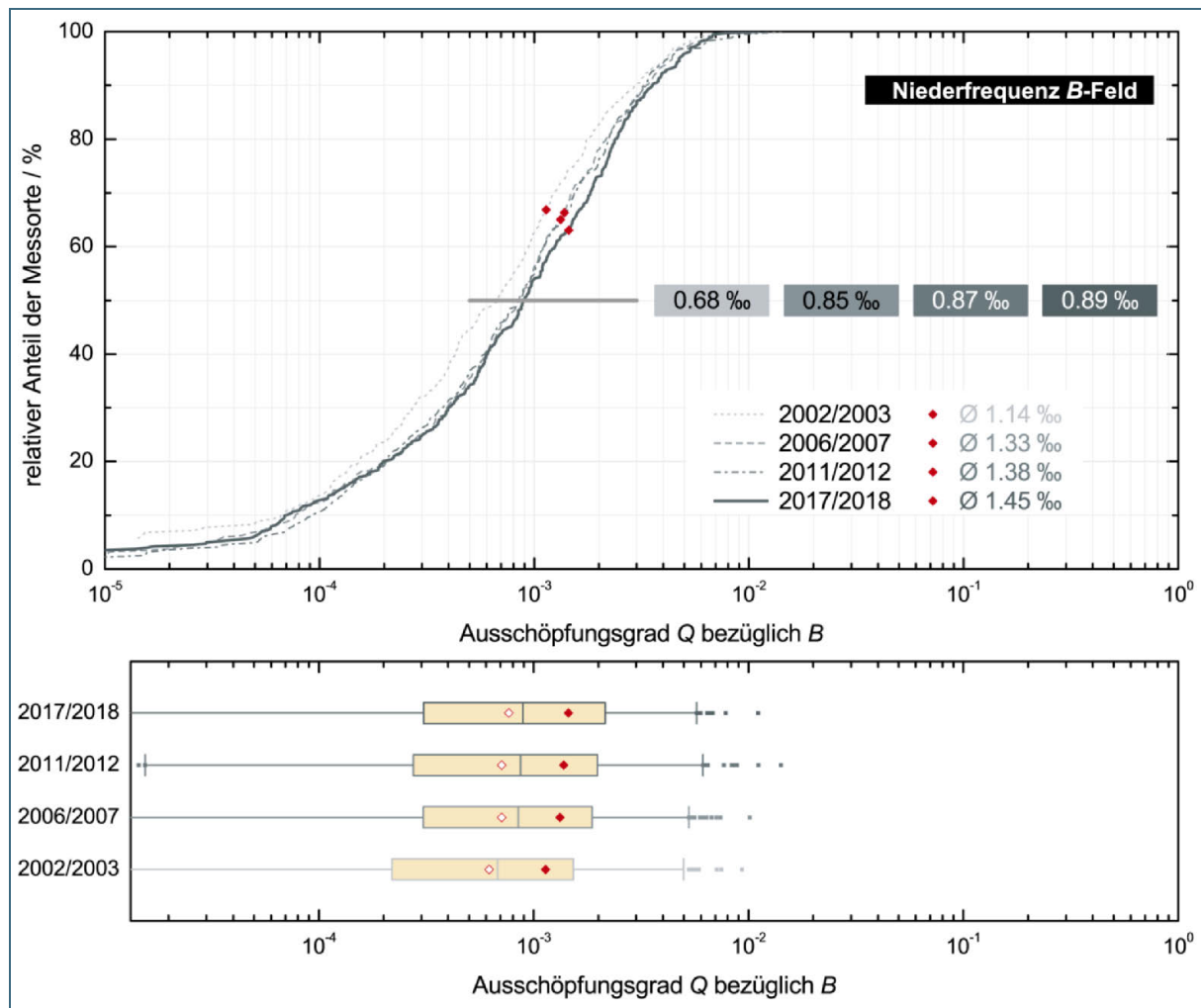


Abb. 34: Verteilung der Ausschöpfungsgrade magnetischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (nur Niederfrequenz bis 32 kHz). Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.

In den vergangenen Messreihen hat der Median der Magnetfeldimmissionen jeweils geringfügig zugenommen (Abb. 34). In der Messreihe 2017/2018 hat sich der Trend stabilisiert; der Median liegt unverändert bei knapp 0,9 ‰. Insgesamt sind die Verteilungen der Jahre 2006/2007, 2011/2012 und 2017/2018 sehr gleichbleibend. Auch die Verteilung aus 2002/2003 weicht nur wenig ab, wobei hier sicherlich berücksichtigt werden muss, dass an 53 Messpunkten überhaupt keine Daten vorliegen (siehe dazu Kapitel 4.2.1.1). Aus den gewonnenen Messdaten lässt sich ableiten, dass es seit Einführung des Monitorings zu keiner relevanten Zunahme der Magnetfeldexposition im Niederfrequenzbereich gekommen ist.

Im Bericht zur Messreihe 2011/2012 wurde festgestellt, dass die Korrelation der gemessenen Magnetfeldexposition mit langjährigen Veränderungen des Stromverbrauchs nicht klar gegeben ist (siehe [1] S. 44 f.). Das gewählte Studiendesign ist auch nicht sensitiv genug, um eine Korrelation zwischen den Messwerten und der Tageszeit herzustellen. In beiden Fällen kommt zusätzlich erschwerend hinzu, dass genaue Daten (zeitlich und örtlich) zum Stromverbrauch für die Auswertung nicht verfügbar waren, sondern nur deutschlandweite Mittelwerte.

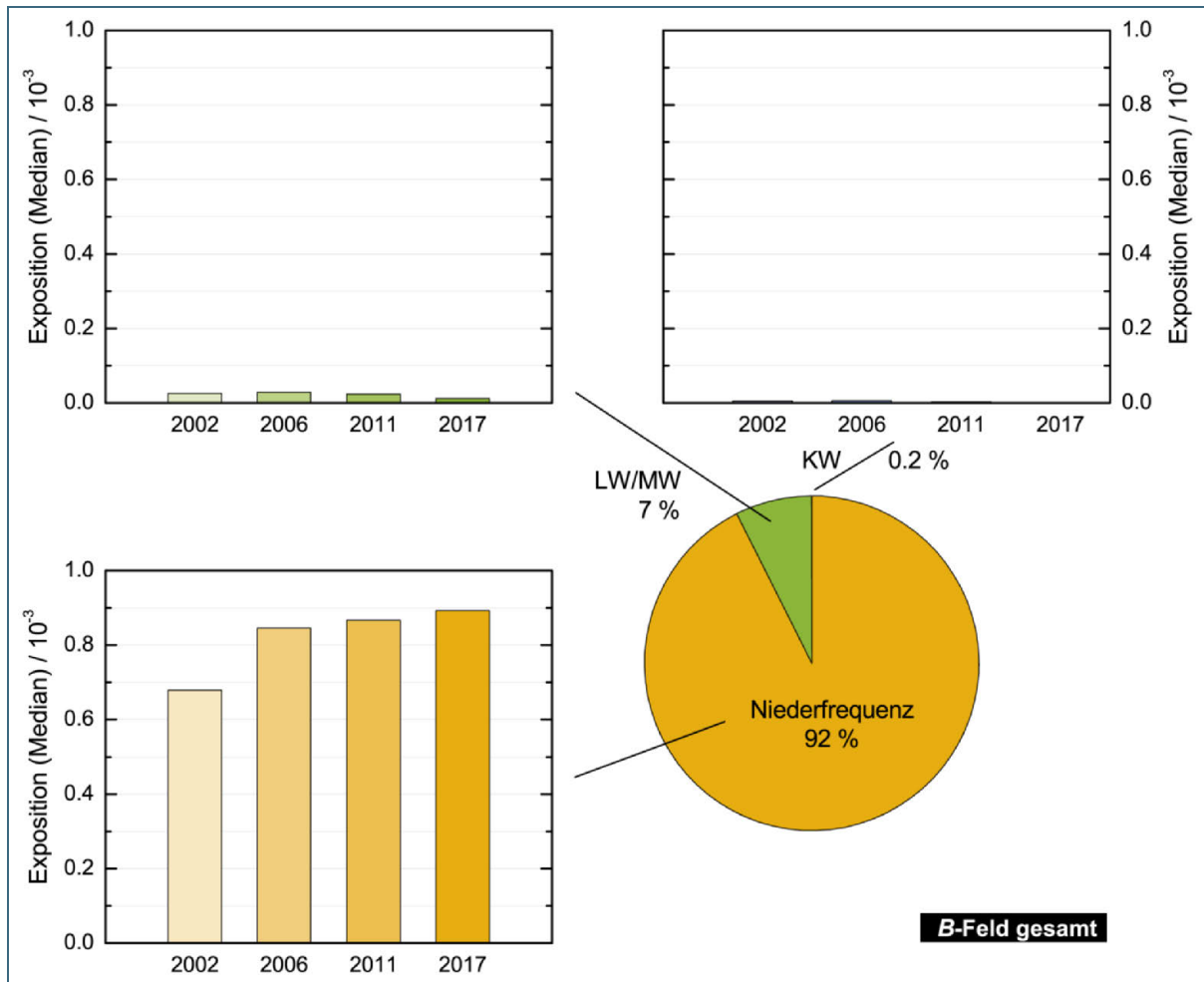


Abb. 35: Zusammensetzung der Immissionen im Bereich der Stimulationswirkungen durch magnetische Felder für die Messreihe 2017/2018. Die Balkendiagramme zeigen die zeitliche Entwicklung der Mediane der zugehörigen Beiträge von Messreihe zu Messreihe. Die korrespondierenden Frequenzbereiche können Abb. 31 entnommen werden.

Zum Gesamtbereich der Stimulationswirkung (Abb. 36) gehören neben den niederfrequenten Feldern auch diejenigen von Lang-, Mittel- und Kurzwelle bis 10 MHz. Die Rundfunkbänder liefern aber deutlich geringere Beiträge zu den Gesamtimmissionen.

Bedingt durch vielfältige Abschaltungen in diesen Rundfunkbändern (detaillierte Darstellung in Kapitel 6.1.1) haben sich deren Beiträge zu den Gesamtimmissionen seit den letzten Messreihen nochmals reduziert: Bei den Messreihen 2002/2003 und 2006/2007 hatten Kurzwellenimmissionen noch einen Anteil von 3 % und die Immissionen von Lang- und Mittelwelle von circa 10 %. In der Messreihe 2017/2018 sind die Anteile auf 0,2 % für die Kurzwelle, und auf 7 % bei Lang- und Mittelwelle zurückgegangen. Die niederfrequenten Felder der Energieversorgung entsprechen mit einem Anteil von 92 % faktisch der Gesamtimmission.

Insgesamt bleiben die Immissionen seit der ersten Messreihe auf etwa gleichbleibendem Niveau – bei ungefähr 0,9 ‰ des Grenzwerts für die magnetische Feldstärke. Es ist davon auszugehen, dass sich die Energiewende derzeit in den Immissionen noch nicht abbildet.

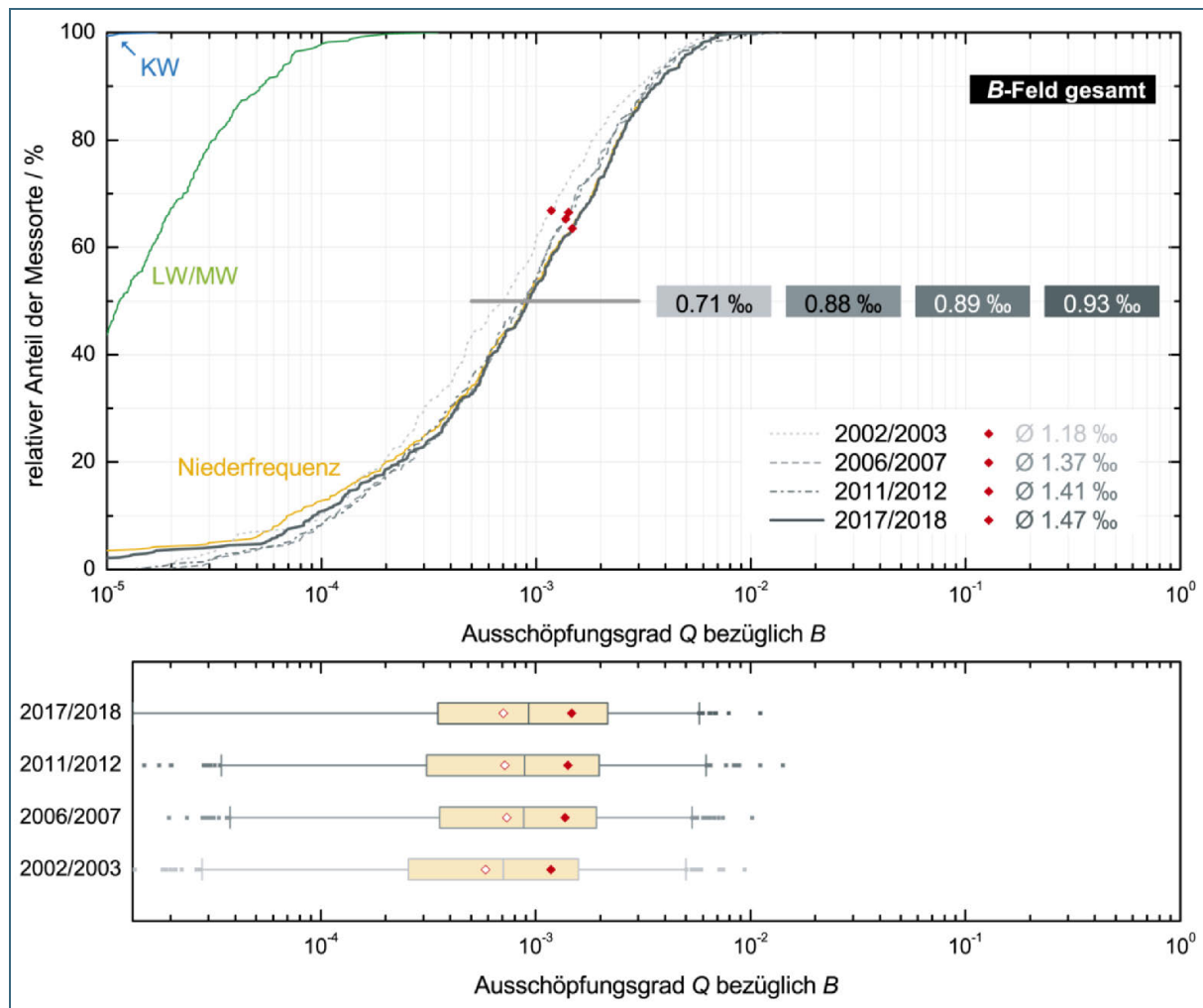


Abb. 36: Verteilung der Ausschöpfungsgrade magnetischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (Gesamtbereich bis 10 MHz). Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.

## 5.2 Elektrische Feldstärke

Hinsichtlich *elektrischer* Felder stellt sich die Situation anders dar. Elektrische Felder der Stromversorgung können sehr leicht abgeschirmt werden und sind dann nicht mehr messbar:

- Im Ortsbereich sind fast durchweg Erdverkabelungen anzutreffen.
- Elektrische Felder von Elektroinstallationen in Haushalten werden vom umgebenden Mauerwerk abgeschirmt.
- Die verbleibenden Felder – insbesondere von Freileitungen – unterliegen Witterungseinflüssen, so dass Messungen bei trockenem Wetter zu anderen Ergebnissen führen als bei Nässe.
- Unterschiede in der Vegetationsperiode, Passanten oder vorbeifahrende Fahrzeuge tragen ebenfalls zu einer Beeinflussung der Messwerte bei.

Des Weiteren ist die Erfassung der niederfrequenten elektrischen Felder ein Unterfangen, das mit hohen Messunsicherheiten behaftet ist, was bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt wurde.



Abb. 37: Dieser Messpunkt wies in bislang allen Messreihen den höchsten Ausschöpfungsgrad für das niederfrequente elektrische Feld auf (MP256;  $Q_E = 500 \text{ ‰}$ ; Exposition durch die Energieversorgung der Bahn).



Abb. 38: Messpunkt mit dem zweithöchsten Ausschöpfungsgrad (MP349;  $Q_E = 260 \text{ ‰}$ ; Exposition durch die vorbeiführende Freileitung).

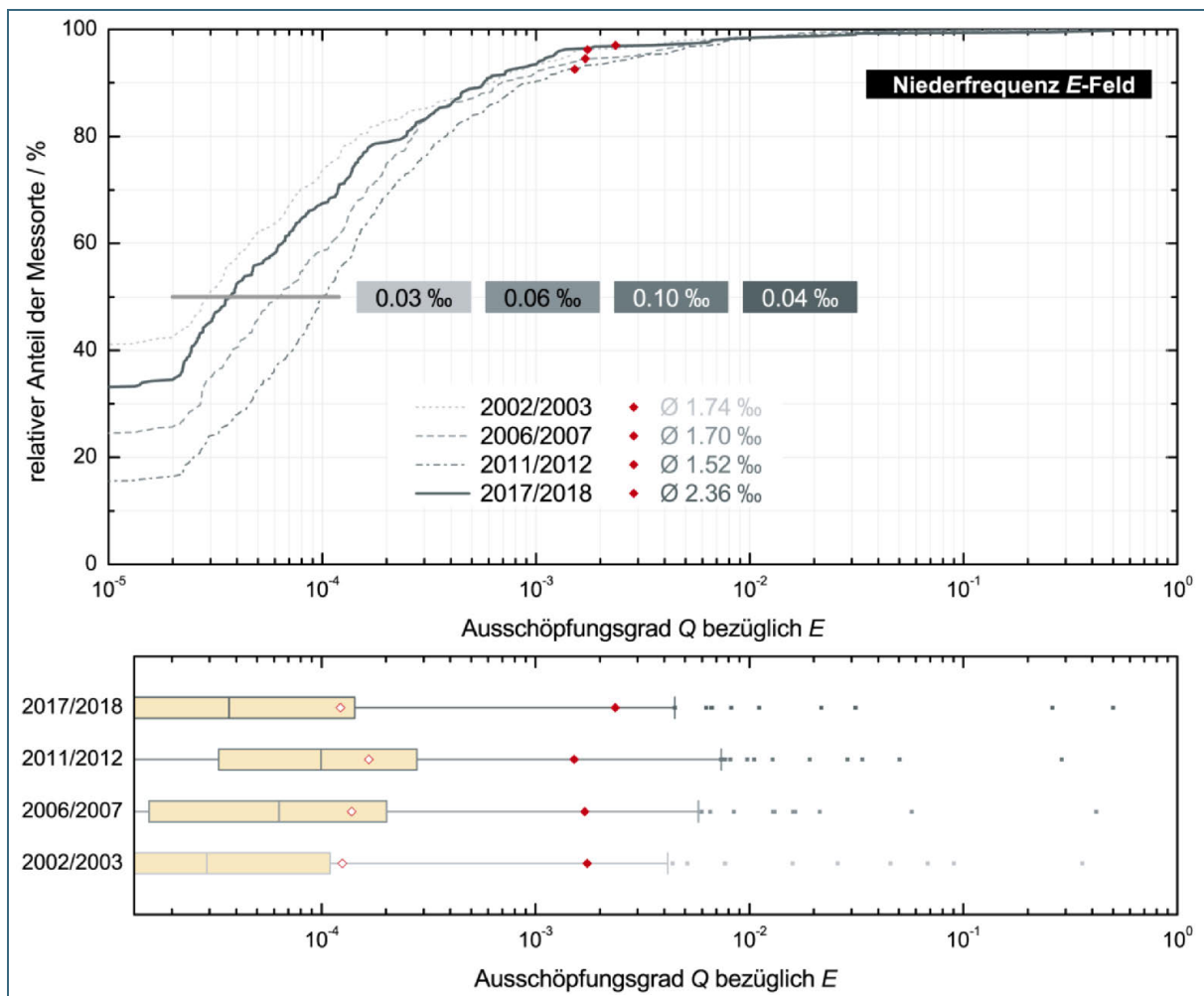


Abb. 39: Verteilung der Ausschöpfungsgrade elektrischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (nur Niederfrequenz bis 32 kHz). Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.

Die Verteilungen der Immissionen (Abb. 39) liegen auf einem äußerst geringen Niveau. Sie sind im Verlauf der Messreihen praktisch gleichbleibend. Zwar variieren insbesondere die Mediane um bis zu einem Faktor drei, was aber angesichts der beschriebenen Unsicherheiten eher auf externe Einflüsse zurückzuführen sein dürfte. Hinzu kommt, dass die Messwerte größtenteils nahe an der Nachweisgrenze des Messgeräts liegen und deshalb statistisch verteilt von der Auswerteschwelle erfasst werden oder nicht.



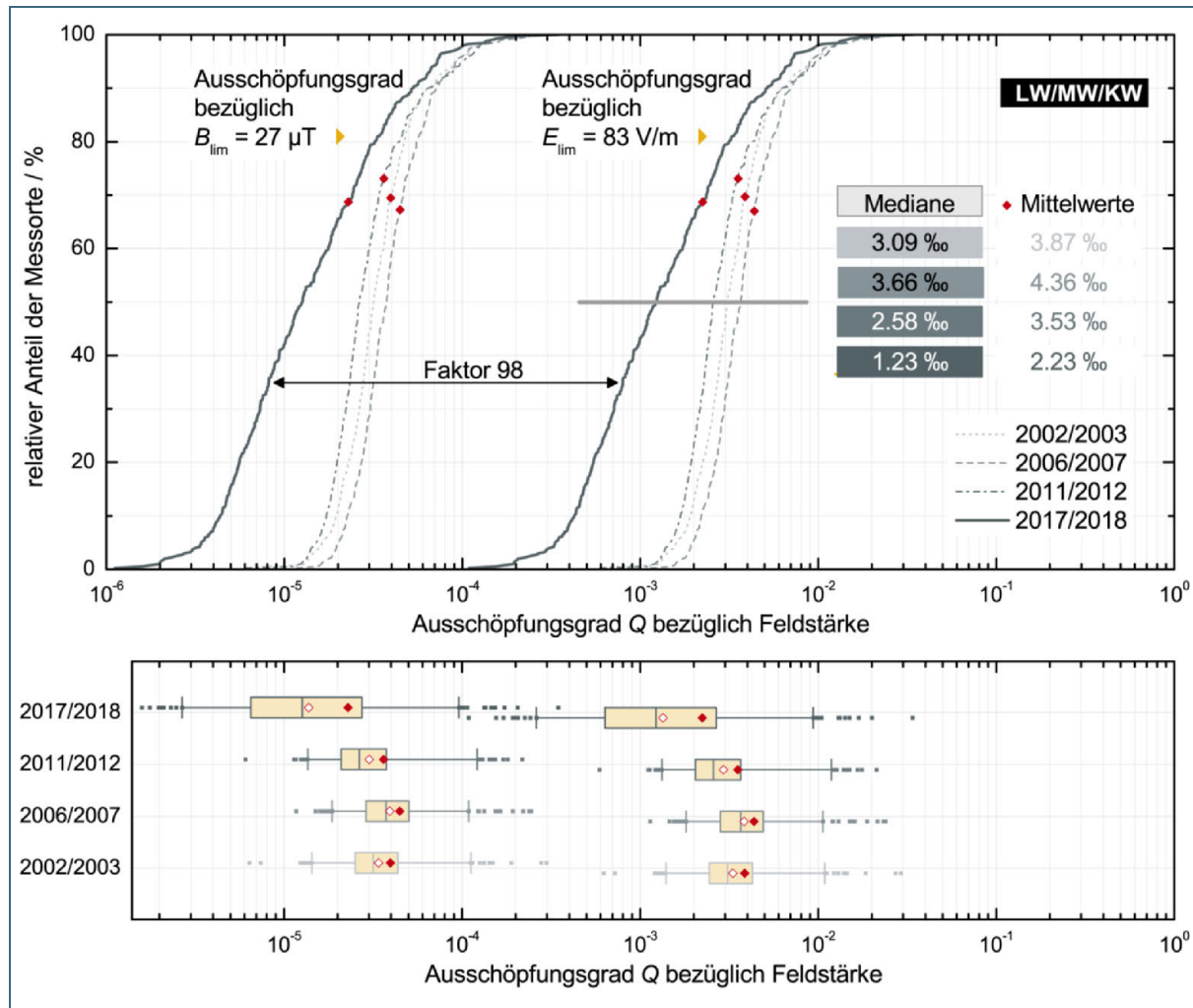


Abb. 40: Da im Frequenzbereich von Lang-, Mittel- und Kurzwelle nur eine Feldkomponente gemessen werden kann, muss die andere Komponente unter Annahme von Fernfeldbedingungen errechnet werden:  $E = B \cdot Z_0/\mu_0$ . Im Frequenzbereich 3 kHz – 10 MHz sind die Grenzwerte für elektrische und magnetische Felder konstant, sodass die Verteilungen der Grenzwertausschöpfungen exakt um einen Faktor  $Z_0/\mu_0 \cdot E_{\text{lim}}/B_{\text{lim}} \approx 98$  auseinander liegen.

Wie schon zuvor bei den Immissionen magnetischer Felder bestehen die Gesamtmissionen der elektrischen Felder im Stimulationswirkungsbereich aus niederfrequenten Feldern sowie den Rundfunkbeiträgen im Frequenzbereich bis 10 MHz. Dabei ist eine Besonderheit zu beachten: Nur die niederfrequenten Beiträge bis 32 kHz werden tatsächlich separat (als elektrische und magnetische Feldstärke) gemessen. Bei den elektromagnetischen Feldern im Bereich der Lang-, Mittel- und Kurzwelle wurde nur die magnetische Feldkomponente erfasst. Dies war auch in allen bisherigen Messreihen so der Fall. Auf die elektrische Feldstärke wurde – wie auch bisher – unter der Annahme von Fernfeldbedingungen<sup>50</sup> rückgerechnet<sup>51</sup>. Hierin sind  $Z_0$  der Wellenwiderstand des Vakuums ( $Z_0 \approx 377 \, \Omega$ ) und  $\mu_0$  die magnetische Feldkonstante ( $\mu_0 \approx 1,26 \cdot 10^{-6} \, \text{V s}/(\text{A m})$ ).

<sup>50</sup> Bei der niedrigsten relevanten Rundfunkfrequenz, 77,5 kHz, beträgt die Wellenlänge etwa 3,9 km. Der Zusammenhang  $E/H = Z_0 \approx 377 \, \Omega$  gilt für Fernfeldbedingungen (ab  $5\lambda$ ) und in guter Näherung auch bereits im strahlenden Nahfeld einer Antenne [14]. Dieses beginnt bei den im Lang-, Mittel- und Kurzwellenbereich verwendeten Monopol- oder Dipolantennen mit Abmessungen kleiner als eine Wellenlänge in etwa nach einer Wellenlänge. Abgesehen von zwei Messpunkten in nur 3,7 km beziehungsweise 3,8 km Entfernung zur Sendeanlage in Mainflingen, ist die Annahme somit gerechtfertigt.

<sup>51</sup>  $B = E \cdot \mu_0/Z_0$  beziehungsweise  $E = B \cdot Z_0/\mu_0$



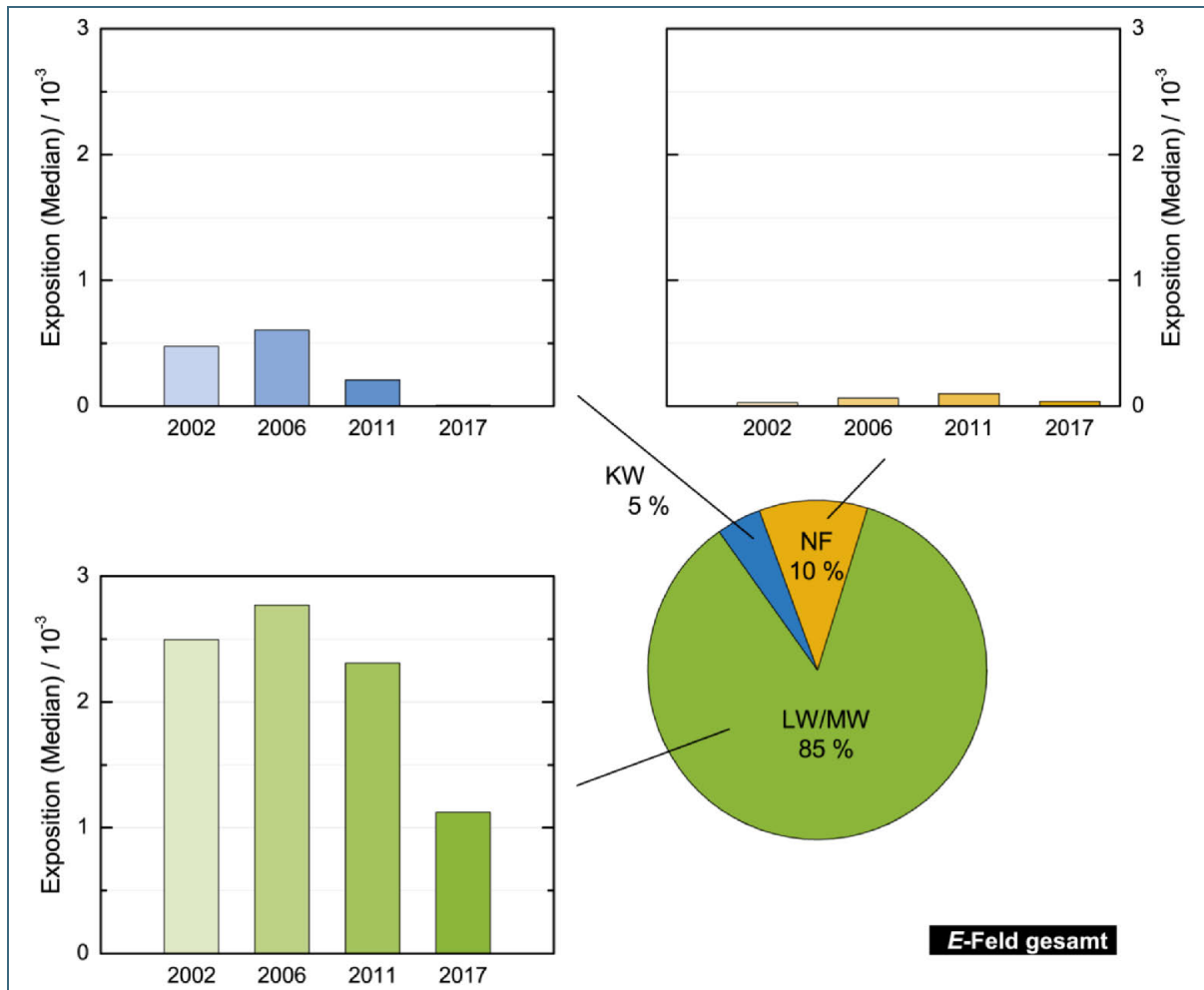


Abb. 41: Zusammensetzung der Immissionen im Bereich der Stimulationswirkungen durch elektrische Felder für die Messreihe 2017/2018. Die Balkendiagramme zeigen die zeitliche Entwicklung der Mediane der zugehörigen Beiträge von Messreihe zu Messreihe. Die korrespondierenden Frequenzbereiche können Abb. 31 entnommen werden.

Im Frequenzbereich von 3 kHz bis 10 MHz sind die Grenzwerte für die hier betrachteten nicht-thermischen Stimulationswirkungen sowohl für das elektrische als auch für das magnetische Feld konstant. Es gilt  $E_{\text{lim}} = 83 \text{ V/m}$  und  $B_{\text{lim}} = 27 \text{ } \mu\text{T}$ . Die Messwerte für elektrisches und magnetisches Feld stehen in konstantem Verhältnis zueinander. Deshalb sind auch alle Ausschöpfungsgrade mit einer festen Konstanten  $Z_0/\mu_0 \cdot E_{\text{lim}}/B_{\text{lim}} \approx 98$  ineinander umrechenbar. Die Verteilungskurven sind lediglich um zwei Größenordnungen gegeneinander verschoben, weisen aber dieselben Verläufe auf (siehe Abb. 40). Es gilt  $Q_E \approx 98 \cdot Q_B$ .

Die Ausschöpfungsgrade der niederfrequenten elektrischen Felder liegen mit einem Median von  $\lesssim 0,1 \text{ ‰}$  auf deutlich geringerem Niveau als die der niederfrequenten Magnetfelder (Median  $\approx 0,9 \text{ ‰}$ ). Für die Rundfunkbeiträge (3 kHz – 10 MHz) ergeben sich aber um zwei Größenordnungen höhere Ausschöpfungsgrade als beim magnetischen Feld. Dadurch sind die niederfrequenten Beiträge nicht mehr dominierend. Es überwiegen stattdessen die Beiträge von Lang- und Mittelwelle (siehe Abb. 41). Sie tragen in der vierten Messreihe zu rund 85 % zu den Gesamtmissionen bei. In früheren Messreihen lag dieser Beitrag bei 77 % – 80 %. Der Mittelwellenbereich war stark von Senderabschaltungen betroffen. Deshalb ist die anteilige Erhöhung *nicht* auf eine Zunahme dieser Immissionen zurückzuführen. Vielmehr sind die Immissionen im Kurzwellenbereich noch stärker zurückgegangen: Vom bislang höchsten Median-Ausschöpfungsgrad 0,61 ‰ während der Messreihe 2006/2007 auf nur noch 0,008 ‰ bei der aktuellen Messreihe. Der Beitrag der Kurzwellen zu den Gesamtmissionen liegt dadurch nur noch bei 4 % (2006/2007: 17 %). Daraus ergibt sich insgesamt eine Verschiebung der Immissionsanteile hin zu Lang- und Mittelwelle.

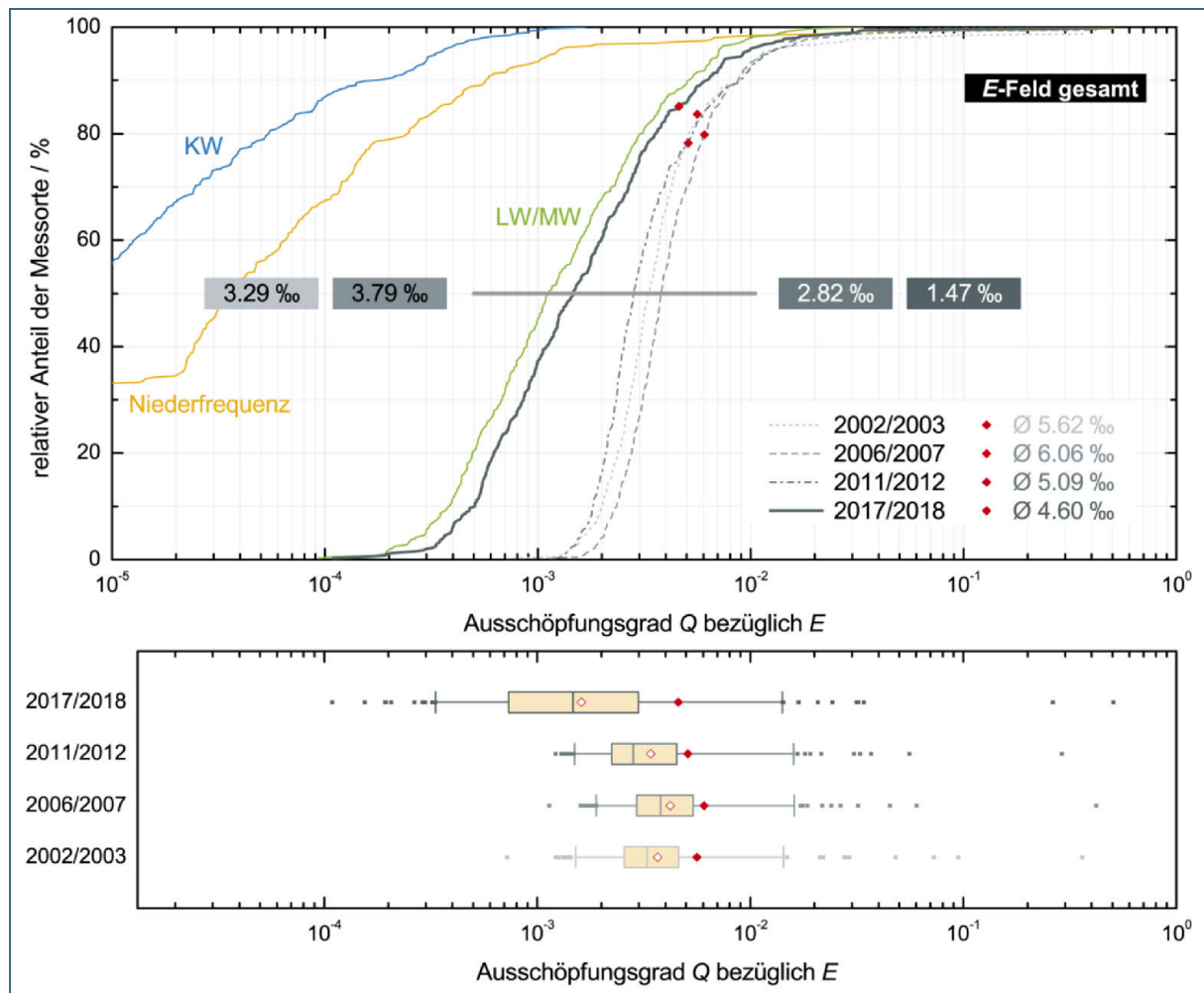


Abb. 42: Verteilung der Ausschöpfungsgrade elektrischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (Gesamtbereich bis 10 MHz). Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.

Der dominierende Beitrag der Lang- und Mittelwelle erklärt die Entwicklung der Gesamtimmissionen: Ihr Median liegt 2017/2018 bei 1,23 ‰ (Mittelwert 2,23 ‰) und hat sich gegenüber 2011/2012 (Median 2,58 ‰, Mittelwert 3,53 ‰) in etwa halbiert. Der Rückgang ist maßgeblich auf die Abschaltung der Langwellensender Aholming und Donebach und des Mittelwellensenders Ismaning zurückzuführen. Es bleibt aber weiterhin ein „Grundpegel“ bestehen, der hauptsächlich durch die Langwellensendeanlagen in Mainflingen zu Stande kommt.<sup>52</sup> Es ist somit sinnvoll, auch in künftigen Messreihen die Messung der Lang-, Mittel- und Kurzwellenbänder beizubehalten.

<sup>52</sup> Die Belegung der Rundfunkbänder wird in Kapitel 6.1.1 noch ausführlich diskutiert.

## 6 Ergebnisse für die thermische Wirkung

Thermische Wirkungen bilden die Erwärmung biologischen Gewebes durch hochfrequente elektromagnetische Felder ab. Diese Wirkung basiert auf der Energie des elektromagnetischen Feldes, die quadratisch von der Feldstärke abhängt.

Die Ausschöpfungsgrade errechnen sich aus der Quadratesumme der Immissionsbeiträge:

$$Q_{E^2} = \sum_{f=100 \text{ kHz}}^{300 \text{ GHz}} \left( \frac{E(f)}{E_{\text{lim}}(f)} \right)^2 \quad (6.1)$$

Hierin sind die Immissionsbeiträge  $E/E_{\text{lim}}$  die Verhältnisse aus elektrischer Feldstärke zu zugehörigem Grenzwert  $E_{\text{lim}}$  pro Frequenz. Die Grenzwerte sind der 26. BImSchV aus dem Jahr 2013 entnommen. Sie entsprechen den ICNIRP-Grenzwertempfehlungen aus dem Jahr 1998.

Neben  $Q_{E^2}$  existiert auch der Ausschöpfungsgrad

$$Q_{B^2} = \sum_{f=100 \text{ kHz}}^{300 \text{ GHz}} \left( \frac{B(f)}{B_{\text{lim}}(f)} \right)^2 \quad (6.2)$$

mit den Verhältnissen aus magnetischer Flussdichte zu zugehörigem Grenzwert  $B_{\text{lim}}$ . Bei elektromagnetischen Wellen sind elektrische und magnetische Feldstärke über den Wellenwiderstand des Vakuums aneinander gekoppelt. Für Frequenzen oberhalb von 10 MHz gilt das auch für  $E_{\text{lim}}$  und  $B_{\text{lim}}$ . Für  $100 \text{ kHz} \leq f < 10 \text{ MHz}$  sind die Grenzwerte für das elektrische Feld dagegen strenger als die für die magnetische Flussdichte. Deshalb wird den Ausschöpfungsgraden  $Q_{E^2}$  der Vorzug gegeben.

Ausschöpfungsgrade sind immer dimensionslos. Für die thermische Wirkung sind sie in diesem Bericht in Einheiten von  $10^{-6}$  angegeben.

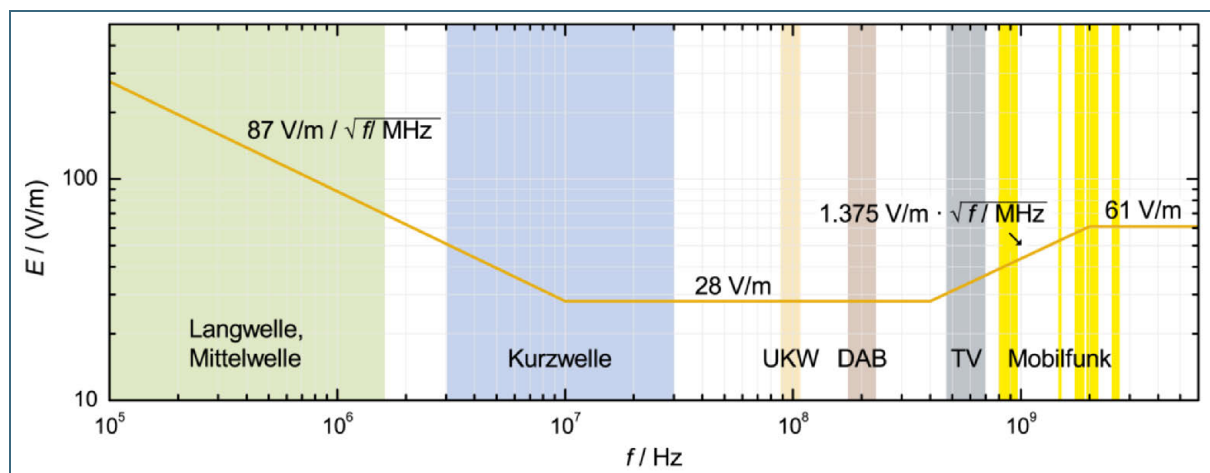


Abb. 43: Grenzwerte nach 26. BImSchV [13] für elektrische Felder im Frequenzbereich thermischer Wirkungen.

### 6.1 Rundfunk

Der Begriff *Rundfunk* (engl. broadcasting) umfasst alle öffentlichen Funkübertragungen. Im Gegensatz zum Mobilfunk wird Rundfunk mit konstanter Leistung bedarfsunabhängig gesendet. Bedarfsunabhängig heißt, dass bei der Abstrahlung nicht danach unterschieden wird, ob und wie viele Teilnehmer den

jeweiligen Dienst nutzen. Zum Rundfunk zählen insbesondere Hörfunk und Fernsehen. Daneben existieren mehrere Datendienste, von denen der bekannteste der Zeitzeichensender DCF77 ist, über den Funkuhren ihre Zeitsynchronisierung erhalten.

Veränderte Hör- und Sehgewohnheiten haben in den Jahren seit der vorherigen Messreihe zu tiefgreifenden Änderungen in der Rundfunklandschaft geführt: Bundesweit wurde der Betrieb von Lang-, Mittel- und Kurzwellensendern für den Hörfunk weitgehend eingestellt. Beim Digitalradio DAB erfolgte eine Erhöhung der Sendeleistungen sowie eine Verdichtung des Sendernetzes um neue Standorte (zum Beispiel Hof-Labyrinthberg). Und das Fernsehen befindet sich in der Umstellungsphase von DVB-T auf DVB-T2.

In allen früheren Berichten zum EMF-Monitoring waren Hörfunk und Fernsehen jeweils ein eigenes Kapitel gewidmet. Dieses Mal wird beides zusammengefasst, um der zurückgehenden Bedeutung des Rundfunks Rechnung zu tragen.

### 6.1.1 Hörfunk: Lang-, Mittel- und Kurzwelle

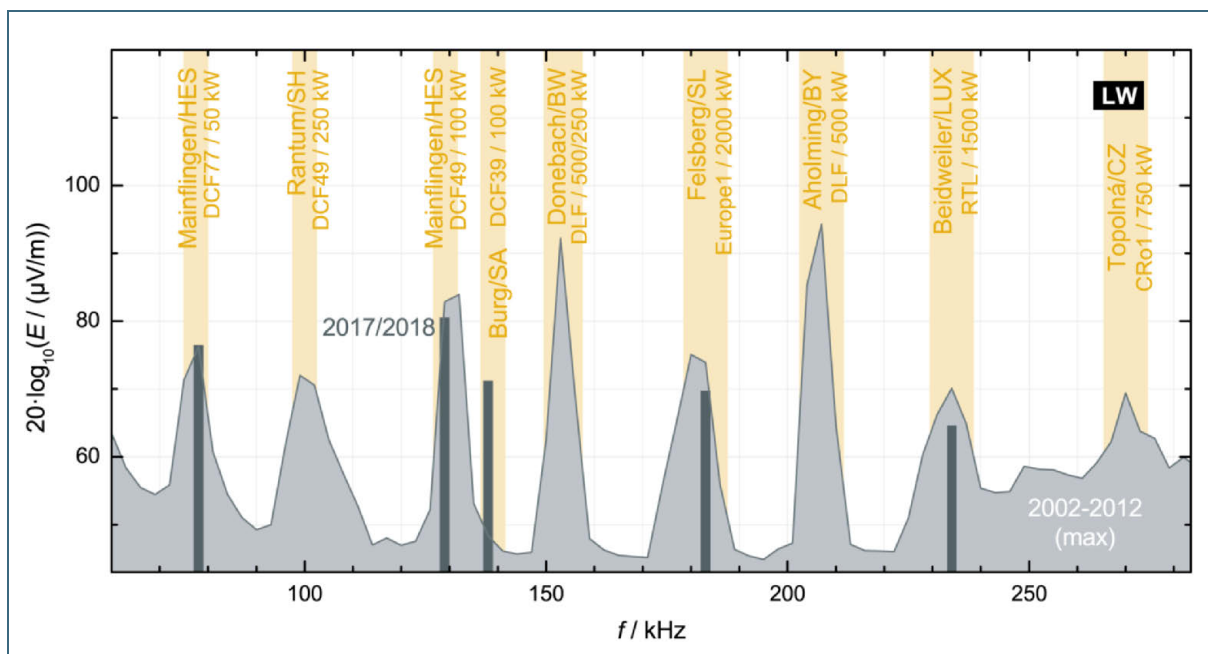


Abb. 44: Bayernweit gemittelte Spektren der Langwelle. Für die Darstellung wurden zunächst die maximalen Feldstärken jedes Messpunkts ermittelt und anschließend über alle 403 Messpunkte logarithmisch gemittelt. Frequenzen, für die an einem Messpunkt in den ersten drei Messreihen aufgrund des Messverfahrens (siehe Text) kein Messwert vorlag, gingen mit 43,5 dB  $\mu\text{V/m}$  in die Mittelung ein. Die durchgehende Fläche zeigt die Maximalwerte von 2002 bis 2012. Die Balken kennzeichnen die übrig gebliebenen Signale der Messreihe 2017/2018.

Jahrzehntelang wurden Hörfunkprogramme von leistungsstarken Lang-, Mittel- und Kurzwellensendern verbreitet. Sie ermöglichten enorme Reichweiten – im Kurzwellenbereich bis in andere Kontinente. Mit Aufkommen zunächst des UKW-Hörfunks und später des Digitalradios und der Radionutzung über mobiles Internet verlor dieser Übertragungsweg stetig an Bedeutung. Der traditionsreichen Lang-, Mittel- und Kurzwellenhörfunk erlebte dadurch seinen 100. Geburtstag am 22. Dezember 2020 nicht mehr. Mangels Zuhörern und wegen hoher Verbreitungskosten haben in Deutschland fast alle Radioprogramme ihre Programmverbreitung über LW, MW oder KW zwischen 2012 und 2015 sukzessive beendet (Tab. 12). Übrig bleiben einige Datendienste auf Langwelle – darunter der Zeitzeichensender DCF77, über den Funkuhren ihre Uhrzeit beziehen – und Einstrahlungen aus dem Ausland. Die Frequenzbereiche von LW, MW und KW werden deshalb beim EMF-Monitoring weiterhin vollständig berücksichtigt.

Tab. 12: Betriebsdaten von Lang- und Mittelwellensendeanlagen, die für das EMF-Monitoring relevant sind.

| Frequenz           | Sendeanlage                         | Programm             | Abschalttermin                                                   |
|--------------------|-------------------------------------|----------------------|------------------------------------------------------------------|
| <b>Langwelle</b>   |                                     |                      |                                                                  |
| 77,5 kHz           | Mainflingen, Hessen                 | DCF77                | in Betrieb, 50 kW                                                |
| 100 kHz            | Rantum, Schleswig-Holstein          | LORAN-C              | 2015-12-31                                                       |
| 129,1 kHz          | Mainflingen, Hessen                 | DCF49                | in Betrieb, 100 kW                                               |
| 139 kHz            | Burg, Sachsen-Anhalt                | DCF39                | in Betrieb, 100 kW                                               |
| 153 kHz            | Donebach, Baden-Württemberg         | Deutschlandfunk      | 2015-01-01                                                       |
| 183 kHz            | Felsberg, Saarland                  | Europe1              | 2019-12-31                                                       |
| 207 kHz            | Aholming, Bayern                    | Deutschlandfunk      | 2014-12-31                                                       |
| 234 kHz            | Beidweiler, Luxembourg              | RTL                  | in Betrieb, 1.500 kW                                             |
| 270 kHz            | Topolná, Tschechien                 | Radiožurnál          | in Betrieb, ursprünglich 750 kW, ab 2002 650 kW, seit 2014 50 kW |
| <b>Mittelwelle</b> |                                     |                      |                                                                  |
| 531 kHz            | Burg, Sachsen-Anhalt                | TruckRadio           | 2015-09-30                                                       |
| 540 kHz            | Solt, Ungarn                        | Kossuth Rádió        | in Betrieb, 1,7 MW                                               |
| 549 kHz            | Thurnau, Bayern                     | Deutschlandfunk      | 2015-12-31                                                       |
| 576 kHz            | Mühlacker, Baden-Württemberg        | SWR cont.ra          | 2012-01-08                                                       |
| 594 kHz            | Weiskirchen, Hessen                 | hr-info              | 2010-01-01                                                       |
| 639 kHz            | Prag Liblice, Tschechien            | Český rozhlas Dvojka | in Betrieb, 750 kW                                               |
| 666 kHz            | Bodenseesender, Baden-Württemberg   | SWR cont.ra          | 2012-01-08                                                       |
| 711 kHz            | Ulm, Baden-Württemberg              | SWR cont.ra          | 2011-12-30                                                       |
| 756 kHz            | Ravensburg, Baden-Württemberg       | Deutschlandfunk      | 2015-12-31                                                       |
| 783 kHz            | Leipzig, Sachsen                    | MDR Info             | 2013-05-06                                                       |
| 801 kHz            | Ismaning und Dillberg, beide Bayern | Bayern plus          | 2015-09-30                                                       |
| 873 kHz            | Oberursel (Taunus), Hessen          | AFN                  | 2013-05-31                                                       |
| 954 kHz            | Karlovy Vary, Tschechien            | Český rozhlas Dvojka | in Betrieb, 30 kW                                                |
| 1.017 kHz          | Rheinsender, Rheinland-Pfalz        | SWR cont.ra          | 2012-01-08                                                       |
| 1.062 kHz          | Kalundborg, Dänemark                | DR P5                | 2011-06-26                                                       |
| 1.107 kHz          | Grafenwöhr, Bayern                  | AFN                  | 2008-08-28; seither in Vilseck, Bayern, in Betrieb, 0,3 kW       |
| 1.143 kHz          | Schweinfurt, Bayern                 | AFN                  | in Betrieb, 0,3 kW                                               |
| 1.188 kHz          | Marcali, Ungarn                     | diverse              | in Betrieb, 300 kW                                               |
| 1.197 kHz          | Ismaning, Bayern                    | VoA u. a.            | 2005-03-27                                                       |
| 1.323 kHz          | Wachenbrunn, Thüringen              | Stimme Russlands     | 2012-12-31                                                       |
| 1.431 kHz          | Wilsdruff, Sachsen                  | Stimme Russlands     | 2012-12-31                                                       |
| 1.485 kHz          | Ansbach, Bayern                     | AFN                  | in Betrieb, 0,3 kW                                               |
| 1.539 kHz          | Mainflingen, Hessen                 | ERF                  | 2011-12-31                                                       |



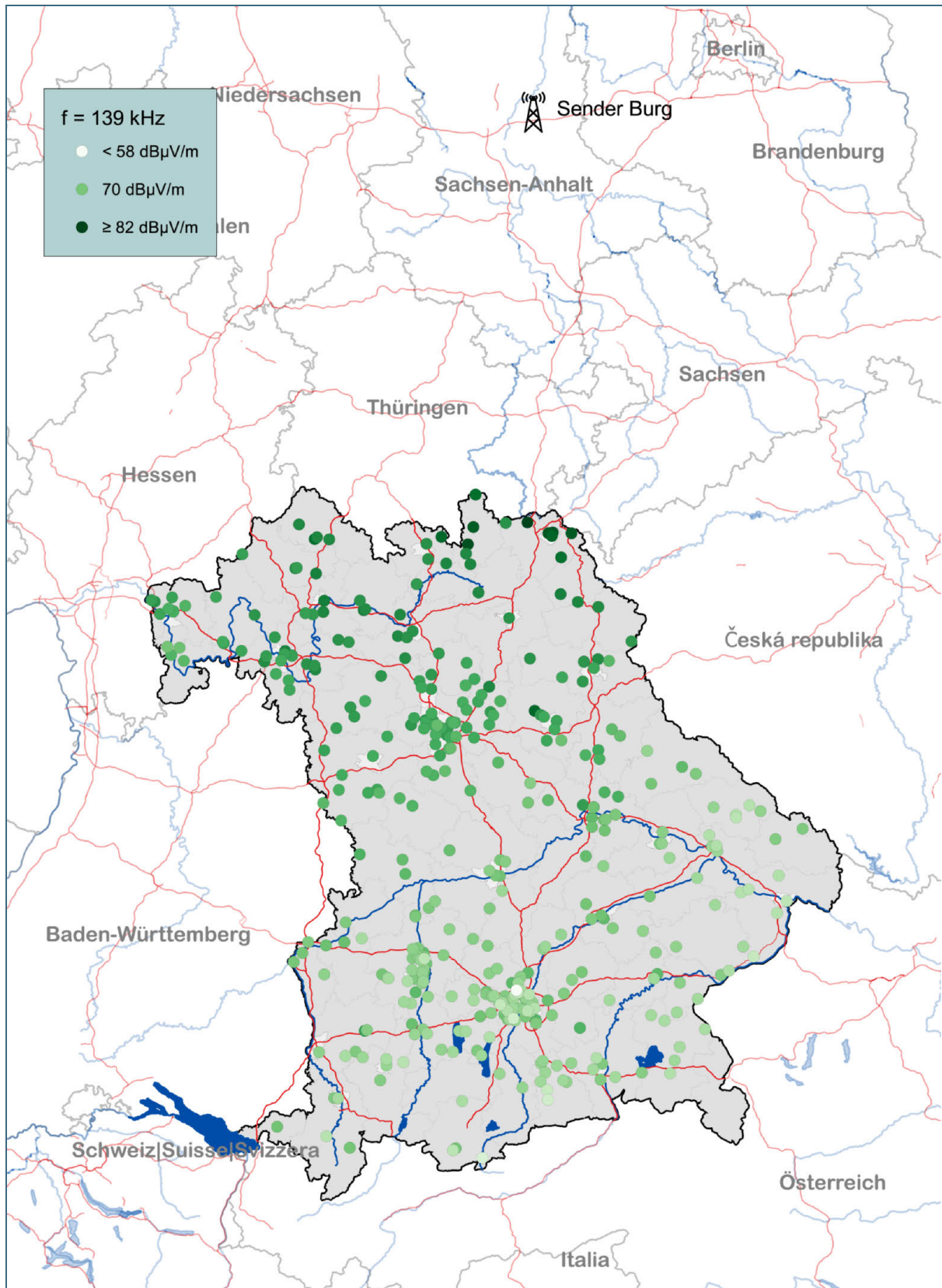


Abb. 45: Gemessene Feldstärken für die Frequenz 139 kHz vom Sender Burg bei Magdeburg.



Tab. 13: Bayernweit gemittelte Feldstärken verbliebener Langwellensender im Vergleich zwischen den Messreihen. Die Mittelung erfolgte über die logarithmierten Feldstärken in Einheiten von dB  $\mu\text{V/m}$ .

| Sender  | Frequenz | 2002/2003               | 2006/2007               | 2011/2012               | 2017/2018               |
|---------|----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| DCF77   | 77,5 kHz | 76,3 dB $\mu\text{V/m}$ | 73,8 dB $\mu\text{V/m}$ | 74,7 dB $\mu\text{V/m}$ | 76,5 dB $\mu\text{V/m}$ |
| DCF49   | 129 kHz  | 82,9 dB $\mu\text{V/m}$ | 83,9 dB $\mu\text{V/m}$ | 79,0 dB $\mu\text{V/m}$ | 80,5 dB $\mu\text{V/m}$ |
| Europe1 | 183 kHz  | 73,9 dB $\mu\text{V/m}$ | 73,1 dB $\mu\text{V/m}$ | 75,1 dB $\mu\text{V/m}$ | 69,7 dB $\mu\text{V/m}$ |
| RTL     | 234 kHz  | 68,6 dB $\mu\text{V/m}$ | 70,1 dB $\mu\text{V/m}$ | 68,1 dB $\mu\text{V/m}$ | 61,6 dB $\mu\text{V/m}$ |

| Meterband | Frequenzbereich         | Bemerkung        |
|-----------|-------------------------|------------------|
| 120 m     | 2.300 kHz – 2.495 kHz   | Tropenband       |
| 90 m      | 3.200 kHz – 3.400 kHz   | Tropenband       |
| 75 m      | 3.900 kHz – 4.000 kHz   | nicht in Amerika |
| 60 m      | 4.750 kHz – 5.060 kHz   | Tropenband       |
| 49 m      | 5.900 kHz – 6.200 kHz   | weltweit         |
| 41 m      | 7.200 kHz – 7.450 kHz   | weltweit         |
| 31 m      | 9.400 kHz – 9.900 kHz   | weltweit         |
| 25 m      | 11.600 kHz – 12.100 kHz | weltweit         |
| 22 m      | 13.570 kHz – 13.870 kHz | weltweit         |
| 19 m      | 15.100 kHz – 15.800 kHz | weltweit         |
| 16 m      | 17.480 kHz – 17.900 kHz | weltweit         |
| 15 m      | 18.900 kHz – 19.020 kHz | weltweit         |
| 13 m      | 21.450 kHz – 21.850 kHz | weltweit         |
| 11 m      | 25.670 kHz – 26.100 kHz | weltweit         |

Tab. 14: Übersicht der Rundfunkbänder im Kurzwellenbereich.

Die verbliebenen Frequenzen tragen zur Validierung des neuen Messsystems bei: Die Besonderheit weniger Standorte mit großen Reichweiten ermöglicht es – anders als beim UKW-Hörfunk oder gar Mobilfunk –, Lang- und Mittelwellenspektren bayernweit zu mitteln. Eine Überlagerung von Signalen verschiedener Senderstandorte tritt hier nicht auf. Nach Senderinbetriebnahme werden zudem oft jahrzehntelang keine Veränderungen vorgenommen.

Wie schon in früheren Abschlussberichten werden zunächst landesweit gemittelte Spektren gezeigt (Abb. 44). Um eine bestmögliche Vergleichbarkeit zwischen den Ergebnissen beider Messsysteme herstellen zu können, wurde das Vorgehen zur Mittelung der Daten geringfügig modifiziert. Das Hauptproblem besteht darin, dass das LW-MW-Messpaket in den Messreihen bis einschließlich 2012 im Modus „Peaksuche“ betrieben wurde. Dabei wird kein Kanalaraster vorgegeben, sondern Frequenz und elektrische Spannung der  $n$  stärksten Peaks<sup>53</sup> protokolliert. Aufgrund der Eigenheiten der Amplitudenmodulation muss dabei die Frequenz bei der höchsten gemessenen Feldstärke nicht zwangsweise

<sup>53</sup> In der Messreihe 2002/2003 war  $n = 10$ . Für 2006/2007 und 2011/2012 wurde  $n$  auf 20 erhöht. Ein fehlender Peak in den Daten aus 2002/2003 bedeutet also nicht zwangsläufig eine Senderinbetriebnahme nach 2003, sondern kann auch auf die geringere Gesamtzahl an erfassten Peaks zurückzuführen sein.

mit der Trägerfrequenz übereinstimmen. Die beiden empfangenen Polarisationssebenen<sup>54</sup> wurden zudem nicht gleichzeitig erfasst, sodass sich die gefundenen Peaks in ihrer Frequenz in den beiden Polarisationssebenen unterscheiden. Und schließlich sind die  $n$  stärksten Peaks der einen Polarisationssebene nicht zwingend mit denen der anderen Polarisationssebene identisch. Bei den ersten drei Messreihen gibt es deshalb Funkdienste, für die ein Feldstärkewert nur für eine einzelne Polarisationssebene vorliegt.<sup>55</sup>

Zur Vereinheitlichung wurde deshalb zunächst ein virtuelles Kanalaraster gewählt. Bei der Mittelwelle stimmt es mit einer Rasterweite von 9 kHz mit dem tatsächlichen Mittelwellenraster überein. Für die Langwelle beträgt es aber nur 3 kHz. Diese Notwendigkeit ergibt sich daraus, dass nicht alle Langwellensender ihre Mittenfrequenz bei einem Vielfachen von 9 kHz haben; insbesondere die Datendienste und die Frequenz 183 kHz weichen davon ab.

Für die früheren Messreihen wird so der maximale Feldstärkewert aller Frequenzen innerhalb eines Kanals – jeweils pro Messdurchlauf an einem Messpunkt – ermittelt. Diese Vorgehensweise ist zulässig, weil die Peaks mit einer RBW von 10 kHz erfasst wurden. Jeder Peak enthält deshalb das vollständige Signal. Bei der jüngsten Messreihe (mit SRM-3006) wurden dagegen alle Feldstärkewerte, die innerhalb desselben virtuellen Kanals vorliegen, aufsummiert. Am Ende liegt pro Messpunkt und virtuellem Kanal genau ein Feldstärkewert vor. Diese werden schließlich kanalweise und in Einheiten von dB  $\mu$ V/m gemittelt. Daraus ergibt sich Abb. 44.

Erwartungsgemäß präsentiert sich das Mittelwellenband praktisch leer. Es wurden sämtliche für Bayern relevante Sendeanlagen bis spätestens Ende 2015 stillgelegt; die meisten davon wurden zwischenzeitlich auch demontiert. Wenige schwache<sup>56</sup> Signale sind dennoch deutlich erkennbar. Diese resultieren von den wenigen verbliebenen Mittelwellensendern im Ausland, insbesondere in Tschechien und Ungarn<sup>57</sup>. Beim Mittelwellenempfang ist generell zu beachten, dass Sender eine Boden- und eine Raumwelle abstrahlen. Die Raumwelle wird an der Ionosphäre reflektiert und sorgt für Reichweiten bis über tausend Kilometer. Tagsüber gibt es auf Grund atmosphärischer Besonderheiten eine stärkere Dämpfung. Die weitgehend tagsüber durchgeführten Messungen des EMF-Monitorings sind deshalb in dieser Hinsicht nicht unbedingt als repräsentativ zu sehen. Auch die Entscheidung, welche Messpunkte zu welcher Tageszeit abgearbeitet werden, beeinflusst gerade bei entfernteren Mittelwellensendern die Zusammensetzung der Messwerte und damit letztlich auch den Mittelwert.

Im Langwellenband zeigt sich die in Deutschland vollzogene Abschaltung von Hörfunksendern ebenfalls sehr deutlich. Die stärksten Immissionen durch die Sender Donebach (Baden-Württemberg) sowie Aholming (Bayern) sind inzwischen weggefallen. Anders als bei der Mittelwelle sind aber im Langwellenbereich zumindest vier Rundfunksender weiterhin für das EMF-Monitoring relevant. Dazu gehören die DCF-Datendienste für Funkrundsteuerung und für die Zeitsynchronisation von Funkuhren sowie verbliebene weiter entfernte Hörfunksender aus Tschechien, dem Saarland und Luxemburg. Langwellen breiten sich als Bodenwelle aus und zeigen eine nur schwach ausgeprägte Raumwelle. Sie sind deshalb gegenüber wechselnden Messzeiten weniger empfindlich als Mittel- und Kurzwellen.

---

<sup>54</sup> Man kann in diesem Fall nicht von *horizontaler* und *vertikaler* Polarisation sprechen. Es handelt sich vielmehr insgesamt nur um die horizontale Polarisationssebene, die aus zwei Teilkomponenten zusammengesetzt wird.

<sup>55</sup> Dasselbe Problem erschwert auch die weitere Auswertung der Immissionen, ist dann aber nicht mehr ganz so kritisch, weil Frequenzunterschiede nicht mehr ausgeglichen werden müssen.

<sup>56</sup> Der Begriff „schwach“ ist hier relativ zu sehen; die Empfangsempfindlichkeit der Antenne 3AXH 250M des SRM-Messsystems ist im Lang- und Mittelwellenbereich deutlich geringer als die der zuvor verwendeten Antennen vom Typ HFH2-Z2. Unter Einbezug des Gesamtsystems ist die Nachweischwelle des Narda-Messsystems gut 10 dB höher als diejenige des Rohde & Schwarz Messsystems.

<sup>57</sup> Die Einstrahlung des ungarischen Kossuth Rádió vom Sender Solt (460 km Luftlinie nach Passau) mag auf den ersten Blick verwundern, erklärt sich aber angesichts der verwendeten Sendeleistung von 1,7 MW.

Tab. 13 und Abb. 44 vergleichen die mittleren Feldstärken der verbliebenen Langwellensender. Obwohl die verwendete Mittelungsmethode recht grob ist, sind die Ergebnisse gut vergleichbar.<sup>58</sup>

Hinsichtlich der Immissionen machen sich die vielfältigen Senderabschaltungen deutlich bemerkbar (siehe Abb. 71 auf S. 114 und Tab. 27 auf S. 115). Sowohl Mediane als auch Mittelwerte sind jeweils um mindestens eine Größenordnung zurückgegangen. Im Mittel trägt der Lang- und Mittelwellenbereich noch rund 4 % zu den Rundfunkimmissionen bei. Weitere 8 % sind Kurzwellenimmissionen. In absoluten Zahlen ergibt sich für den Ausschöpfungsgrad ein Median von  $0,002 \cdot 10^{-6}$  für Lang- und Mittelwelle (Mittelwert  $0,06 \cdot 10^{-6}$ ) und von  $0,02 \cdot 10^{-6}$  für die Kurzwelle (Mittelwert  $0,04 \cdot 10^{-6}$ ).

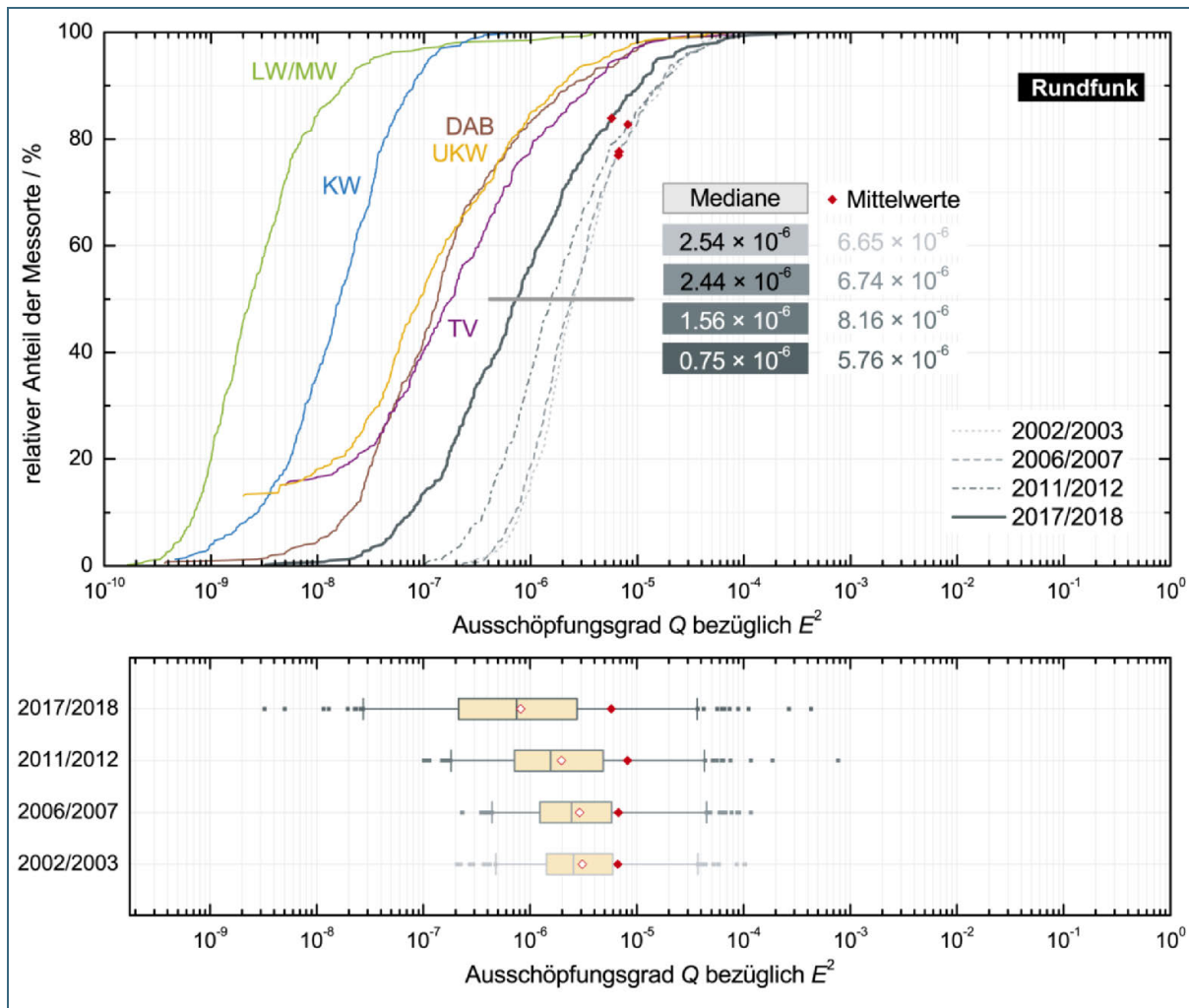


Abb. 46: Verteilung der Ausschöpfungsgrade beim Rundfunk. Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.

<sup>58</sup> Auffällig ist, dass bei 77,5 kHz die Spannweite der Messwerte 2,7 dB beträgt, mit zunehmender Frequenz aber auf bis zu 8,5 dB bei 234 kHz ansteigt. Es könnte sein, dass diese Variation in der bereits angesprochenen frequenzabhängigen Ausprägung der Raumwelle begründet liegt. Ebenso könnte die Messempfindlichkeit ursächlich dafür sein. Insgesamt bestätigen die Daten aber die Vergleichbarkeit der beiden Messsysteme.

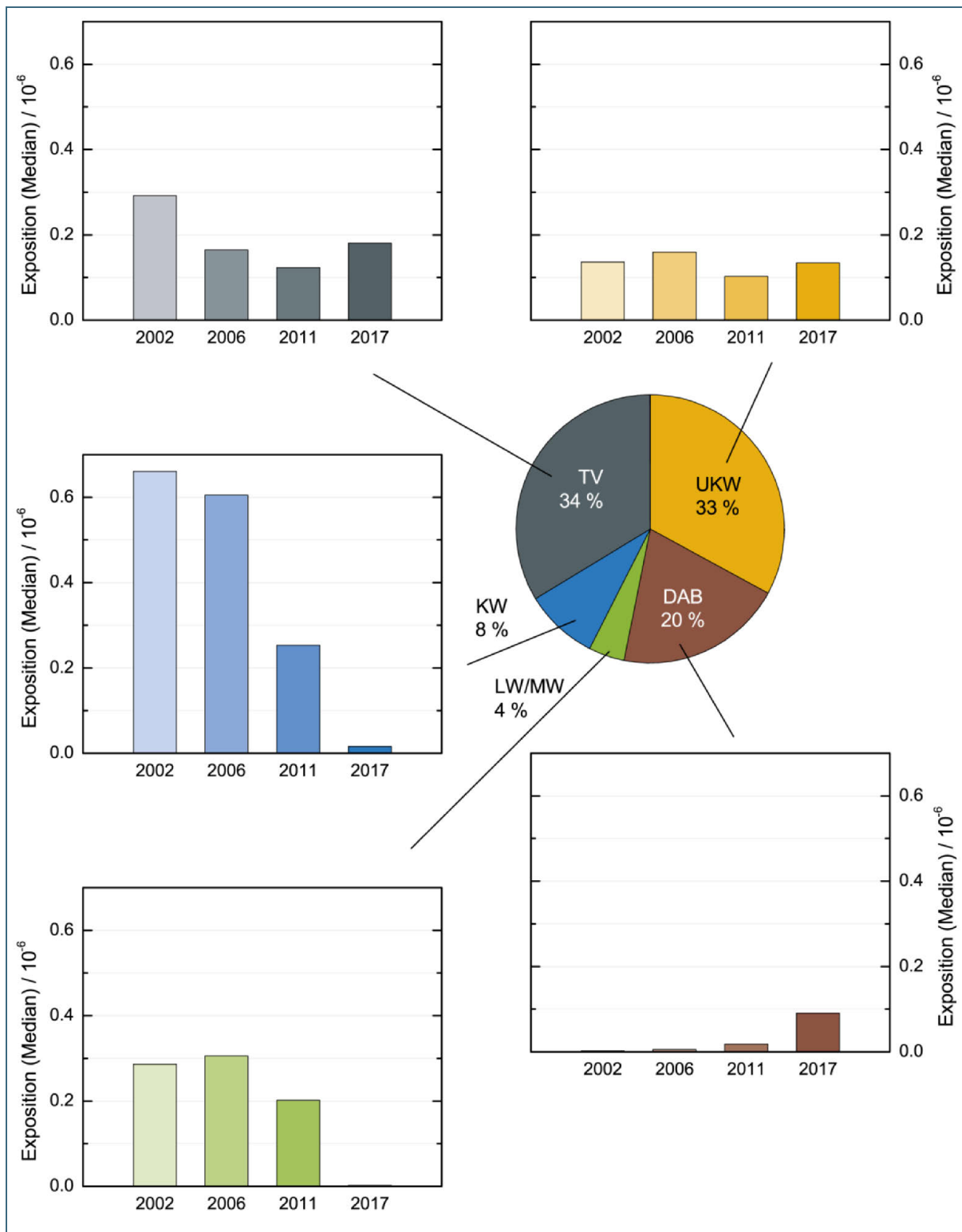


Abb. 47: Zusammensetzung der Rundfunkimmissionen aus den Funkdiensten UKW, DAB, Langwelle, Mittelwelle, Kurzwelle und Fernsehen (Kreisdiagramm) für die Messreihe 2017/2018. Die Balkendiagramme zeigen die zeitliche Entwicklung der Mediane der Rundfunkdienste von Messreihe zu Messreihe. Das Ende der Ära leistungsstarker Lang-, Mittel- und Kurzwellensender zwischen dritter und vierter Messreihe beeinflusst die Immissionssituation wesentlich. Die verbleibenden Immissionen stammen vor allem von aus dem Ausland empfangenen Programmen, sowie von Rufzeichensendern wie beispielsweise dem Zeitzeichensender DCF77.

### 6.1.2 Hörfunk: UKW und DAB

Der UKW-Hörfunk lässt sich schon seit vielen Jahren am besten mit dem Wort „ausentwickelt“ beschreiben. Die letzten großflächigen Änderungen gab es in den späten 1980er und den 1990er Jahren mit dem Aufkommen landesweiter Privatsender. Speziell in Bayern waren die letzten landesweiten Änderungen der Beginn der Verbreitungen von Antenne Bayern im September 1988 und von B5 Aktuell im Mai 1991. Seither kommt es nur noch zu kleinräumigen Auf- oder Abschaltungen von Lokalsendern oder Füllsendern. Selbst die Verbreitung von Deutschlandfunk und Deutschlandfunk Kultur erfolgt nur punktuell. Mit entsprechend wenig Variation präsentieren sich dementsprechend auch die Verteilungen der UKW-Immissionen im Laufe der Jahre (Abb. 73 (S. 118) und Tab. 29 (S. 119)). Der Median schwankt lediglich im Bereich statistischer und messtechnischer Unsicherheiten auf sehr niedrigem Niveau zwischen  $0,1 \cdot 10^{-6}$  und  $0,2 \cdot 10^{-6}$ . Die Mittelwerte bewegen sich zwischen  $1,5 \cdot 10^{-6}$  und  $2,0 \cdot 10^{-6}$  – mit Ausnahme der Messreihe 2011/2012, die durch einen höheren Mittelwert ( $3,2 \cdot 10^{-6}$ ) auffällt. Er wurde aber durch einen UKW-Füllsender<sup>59</sup> unmittelbar an einem der Messpunkte beeinflusst, wie man an den „höchsten Werten der Messorte“ in Tab. 29 erkennen kann.

Während es im UKW-Bereich bereits seit vielen Jahren kaum mehr Veränderungen gibt, wurde der DAB-Ausbau seit Ende der letzten Messreihe forciert.

Die DAB-Infrastruktur lässt sich im Prinzip in bundesweite, landesweite, regionale und lokale Senderketten unterteilen. Während der Messreihe 2017/2018 wurde nur ein bundesweiter DAB-Multiplex<sup>60</sup> (Kanal 5C) ausgestrahlt; der inzwischen verfügbare zweite bundesweit verbreitete Multiplex, der „Bundesmux“, kam erst im Oktober 2020 dazu.



Abb. 48: links: Messpunkt mit dem höchsten thermischen Ausschöpfungsgrad beim Hörfunk, Messpunkt 075;  $QE_2 = 105 \cdot 10^{-6}$ ). Vom Messpunkt aus besteht Sichtverbindung zum Münchener Olympiaturm

Abb. 49: Mitte: Münchener Olympiaturm mit einer Gesamtsendeleistung von 37 kW ERP zur Versorgung Münchens mit UKW- und DAB-Radio. Sicht vom Messpunkt 075. (Anmerkung: In der vergangenen Messreihe war Messpunkt 017 am stärksten exponiert; er befand sich unmittelbar neben einem UKW-Füllsender, der aber zwischenzeitlich auf einen anderen Standort verlagert wurde.)

Abb. 50: rechts: Messpunkt mit dem niedrigsten thermischen Ausschöpfungsgrad beim Hörfunk, Messpunkt 270;  $QE_2 = 0,003 \cdot 10^{-6}$ .

<sup>59</sup> Es handelt sich um den Füllsender des Bayerischen Rundfunks auf dem Studentenwohnheim an der Lechbrücke (Berliner Allee Ecke Lechhauser Straße) in Augsburg. Von diesem Standort wurden seit Ende 2008 alle fünf Programme des Bayerischen Rundfunks mit jeweils 100 W gesendet. Die Sendeanlage wurde am 01. Juli 2014 um etwa 2,5 km zum Hotelturm verlagert.

<sup>60</sup> Bei den digitalen Rundfunkdiensten DAB, DVB-T und DVB-T2 steht pro Kanal – das heißt pro Frequenzblock – eine feste Datenrate zur Verfügung. Bei DAB sind das 2,3 Mbit/s. Bei DVB-T und DVB-T2 hängt die Datenrate von den gewählten Systemparametern ab. Ein einzelnes digitales Radio- oder Fernsehprogramm kommt mit einem Bruchteil der verfügbaren Datenrate aus. Es können deshalb mehrere Programme gemeinsam in einem Kanal ausgestrahlt werden. Dieses Programmbündel wird als „Bouquet“ oder „Multiplex“ bezeichnet.



Zur Messreihe 2011/2012 waren darüber hinaus neben einzelnen lokalen<sup>61</sup> Multiplexen (siehe Abb. 51) zwei landesweite Multiplexe mit öffentlich-rechtlichen und privaten Programmen auf den Kanälen 11D und 12D in Betrieb. 2015 begann der Bayerische Rundfunk mit einer Restrukturierung des gesamten DAB-Netzes. Seither befinden sich die landesweit einheitlichen BR-Programme auf dem neuen Kanal 11D, während für die Regierungsbezirke sechs<sup>62</sup> regionale Multiplexe mit einer Mischung aus regionalen Programmen des BR und privaten Radiosendern betrieben werden. Im Zuge dessen wurden auch Sendeleistungen an bestehenden Standorten erhöht und zusätzliche Füllsender ins Netz integriert. Sowohl Reichweite als auch Feldstärken haben sich dadurch seit der letzten Messreihe deutlich erhöht (siehe Abb. 51).

Die Immissionsentwicklung deckt sich mit dem Netzausbau: Im Median haben die DAB-Immissionen von 2011/2012 bis 2017/2018 von  $0,02 \cdot 10^{-6}$  auf  $0,09 \cdot 10^{-6}$  zugenommen. Die gesamte Verteilung ist im Anhang in Abb. 74 dargestellt.

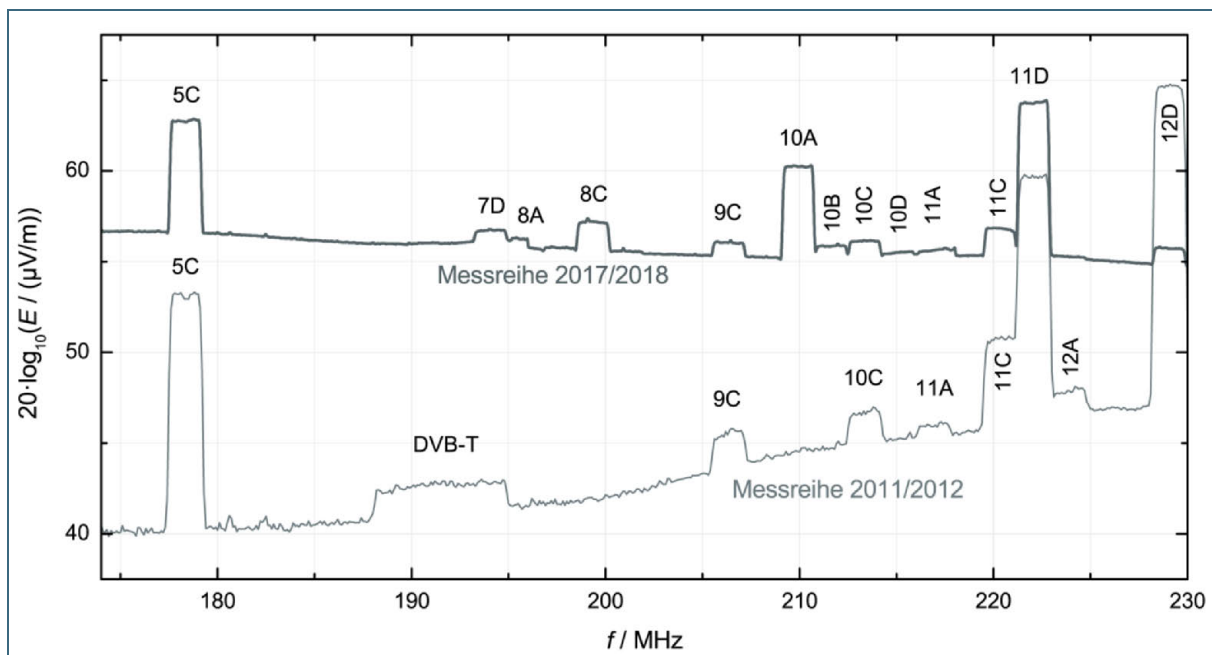


Abb. 51: Bayernweit gemittelte Spektren des für Digitalradio genutzten VHF-III-Frequenzbands. Zur Messreihe 2011/2012 wurde Kanal 11D für das (landesweite) Ensemble des Bayerischen Rundfunks und 12D für das der Bayern Digitalradio verwendet. Die weiteren Kanäle wurden regional genutzt: 9C in Augsburg, 10C in Nürnberg, 11A in Ingolstadt, 11C in München und 12A für Testausstrahlungen. Bei Kanal 5C handelt es sich um den bundesweit einheitlichen Multiplex. Nach umfangreichen Umstrukturierungen im Sendernetz des Bayerischen Rundfunks sieht die Nutzung 2017/2018 folgendermaßen aus: 11D weiterhin für das landesweite BR-Ensemble. Regionale (bezirksspezifische) Ensembles für Niederbayern (7D), Mittelfranken (8C), Unterfranken (10A), Oberbayern und Schwaben (10A), Oberfranken (10B), sowie die Oberpfalz (12D). Kanal 9C ist weiterhin in Augsburg in Gebrauch, 10C in Nürnberg, 11A in Ingolstadt und 11C in München. Der „Bundesmux“ befindet sich unverändert auf Kanal 5C. Man sieht sehr gut die Leistungserhöhung der DAB-Sender von 1 kW auf 10 kW ERP. Die Immissionswerte haben bei den Blöcken, die 2011/2012 und 2017/2018 vorhanden waren, um typisch 5 dB – 10 dB zugenommen.

Der Mittelwert hat bei DAB geringfügig von  $1,6 \cdot 10^{-6}$  auf  $1,3 \cdot 10^{-6}$  abgenommen. Die Antennen des SRM-3006 Messsystems weisen im VHF<sup>63</sup>-Bereich eine geringere Empfangsempfindlichkeit auf als die in früheren Messreihen verwendeten Antennen von Rohde & Schwarz. Bei der Messreihe 2011/2012 lag

<sup>61</sup> Anfangs wurden hierfür Frequenzen im L-Band eingesetzt. Nachdem sich dieser Frequenzbereich von 1.452 MHz bis 1.492 MHz nur unzureichend für den Rundfunk eignete, erfolgte die Verlagerung der Programme in das VHF-Band III. Im Rahmen der Frequenzauktion „Digitale Dividende II“ wurden die L-Band-Frequenzen 2015 dem Mobilfunk zugewiesen.

<sup>62</sup> Schwaben und Oberbayern verfügen über einen gemeinsamen Multiplex auf Kanal 10A. Die Aufteilung ist in der Visualisierung der gemessenen Feldstärken in Abb. 52 sehr gut zu erkennen.

<sup>63</sup> Band II: 87,5 MHz – 108 MHz; Band III: 174 MHz – 230 MHz



die Nachweisgrenze bei  $Q_{E2} \approx 8 \cdot 10^{-11}$  (circa 0,2 mV/m). Mit dem neuen System können Immissionen ab  $Q_{E2} \approx 2 \cdot 10^{-9}$  (circa 1,2 mV/m) berücksichtigt werden. Dadurch gab es 2017/2018 insgesamt 52 Messpunkte mit Messwerten unter der Nachweisgrenze (2011/2012: 16 Messpunkte). Sie gehen mit  $Q_{E2} = 0$  in die Statistik ein und verschieben dadurch den Mittelwert zu kleineren Werten.<sup>64</sup>

Tab. 15: DAB-Kanalnutzung im Frequenzband VHF III während der Messreihe 2017/2018.

| DAB-Kanal | Frequenz    | Multiplex                                                                        |
|-----------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 5C        | 177,584 MHz | Digitalradio Deutschland                                                         |
| 6C        | 185,360 MHz | ungenutzt (heute: Oberpfalz)                                                     |
| 7A        | 188,928 MHz | ungenutzt (heute: Voralpen)                                                      |
| 7D        | 194,064 MHz | Niederbayern und Oberpfalz (heute: Niederbayern)                                 |
| 8A        | 195,936 MHz | SWR Baden-Württemberg Süd                                                        |
| 8B        | 197,648 MHz | ungenutzt (heute: Allgäu)                                                        |
| 8C        | 199,360 MHz | Mittelfranken                                                                    |
| 9C        | 206,352 MHz | Augsburg                                                                         |
| 10A       | 209,936 MHz | Oberbayern und Schwaben (siehe auch Abb. 52)                                     |
| 10A       | 209,936 MHz | Unterfranken                                                                     |
| 10B       | 211,648 MHz | Oberfranken                                                                      |
| 10C       | 213,360 MHz | Nürnberg                                                                         |
| 10D       | 215,072 MHz | Oberbayern und Schwaben (Kanalwechsel nach 10A zwischen Juli und September 2017) |
| 11A       | 216,928 MHz | Ingolstadt                                                                       |
| 11C       | 220,352 MHz | München                                                                          |
| 11D       | 222,064 MHz | Bayern (landesweit)                                                              |
| 12D       | 229,072 MHz | Niederbayern und Oberpfalz (heute ungenutzt)                                     |

Zusammenfassend ergab sich für DAB eine Zunahme des Medians bei gleichzeitig unverändertem Mittelwert. Man kann dieses Resultat – auch in Übereinstimmung mit der Verteilungskurve (Abb. 74) – dahingehend interpretieren, dass sich die Immissionssituation an gut versorgten Messpunkten kaum verändert hat. Insgesamt ist eine Empfangsverbesserung festzustellen. Durch Inbetriebnahme zusätzlicher Senderstandorte wurden unterversorgte Regionen mit DAB erschlossen.

<sup>64</sup> Der Mittelwert über die 351 Messpunkte der Messreihe 2017/2018 mit Ausschöpfungsgraden  $Q_{E2} > 0$  beträgt  $1,5 \cdot 10^{-6}$  – im Rahmen der Messgenauigkeit praktisch eine Übereinstimmung mit dem Mittelwert von  $1,6 \cdot 10^{-6}$  der Messreihe 2011/2012.

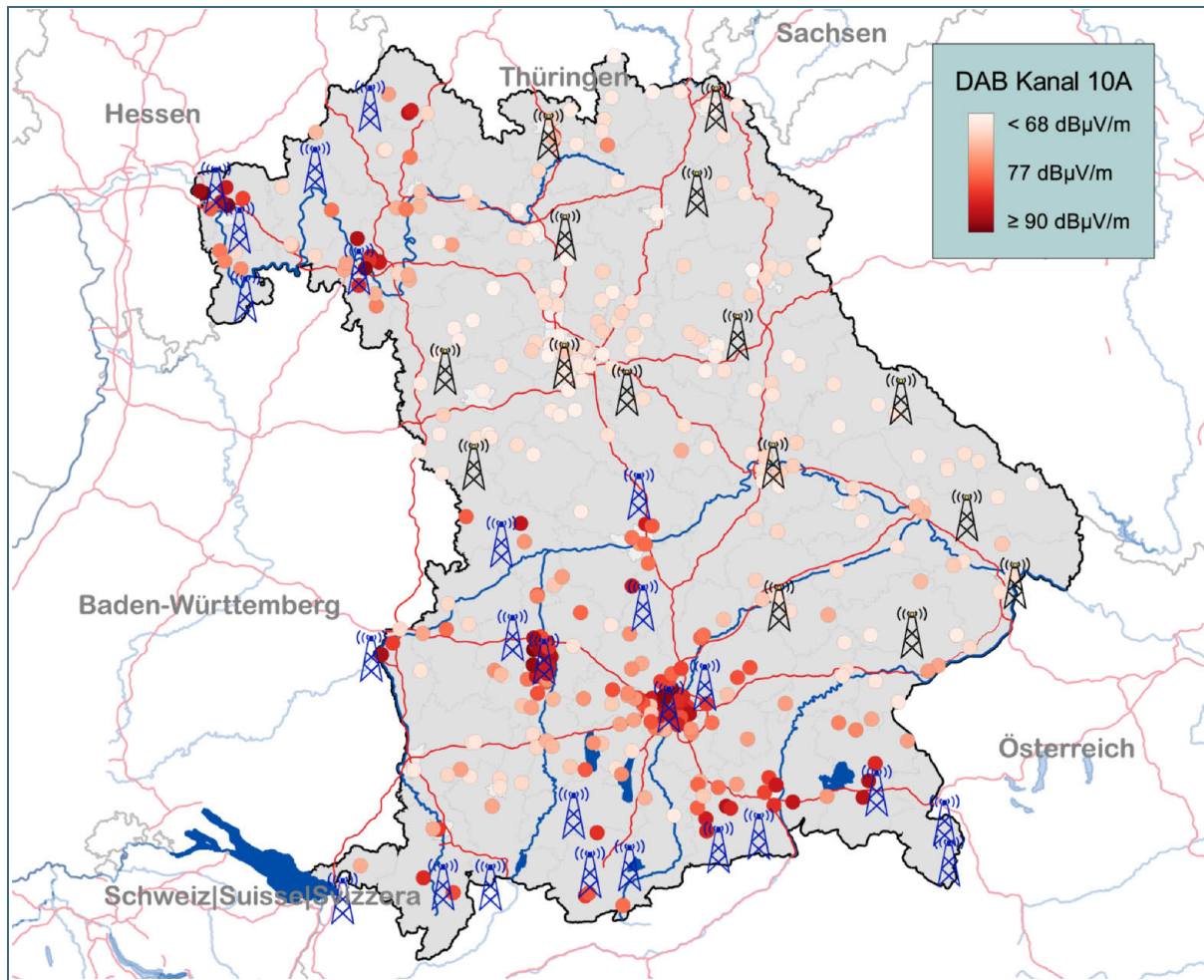


Abb. 52: Gemessene Feldstärken für DAB-Kanal 10A. Der Kanal kommt für die Ensembles Oberbayern und Schwaben sowie Unterfranken zum Einsatz. Zusätzlich sind die DAB-Senderstandorte eingezeichnet (stilisierte Sendetürme; Blau: Standorte, von denen Kanal 10A gesendet wird. Schwarz: Sonstige Standorte). Es ist deutlich zu sehen, wie die Feldstärken im Gegensatz zur Langwelle mit der Entfernung zum Sender rasch abnehmen, weil die Ausbreitung im VHF-Band III überwiegend quasioptisch erfolgt.

### 6.1.3 Terrestrisches Fernsehen

Die Analog-Digital-Umstellung beim terrestrischen Fernsehen war bereits zu Beginn der dritten Messreihe abgeschlossen. Zwar erfolgt derzeit ein Systemwechsel von DVB-T zu DVB-T2. Dies ist aber keine Änderung, die für den Immissionsschutz relevant ist, da die technischen Parameter beider Systeme einander sehr ähnlich sind (siehe Tab. 16). Auch die Umwidmung ehemaliger Fernsehfrequenzen im Frequenzband 700 MHz zu Gunsten des Mobilfunks – die sogenannte „Digitale Dividende II“ – spielt für die Messreihe 2017/2018 noch keine Rolle. Die zugehörige Frequenzauktion fand zwar bereits Mitte 2015 statt; die Frequenzen standen den Mobilfunkbetreibern aber erst ab Anfang Juli 2019 zur Verfügung.

Die Immissionen  $Q_{E2}$  bewegen sich weiterhin in der gleichen niedrigen Größenordnung wie in den vorangegangenen Messreihen (siehe Tab. 32 (S. 125)). Auffällig ist in erster Linie der am stärksten exponierte Messpunkt. Dessen Ausschöpfungsgrad liegt in der jüngsten Messreihe mit rund  $300 \cdot 10^{-6}$  deutlich über den durchschnittlich  $100 \cdot 10^{-6}$  vergangener Messreihen. Bei der ersten Messreihe befand sich der zugehörige Messpunkt rund 3 km vom Funkturm Würzburg-Frankenwarte entfernt, von wo aus seinerzeit ein Fernsehprogramm mit einer Sendeleistung von 410 kW ERP abgestrahlt wurde. Mit der Umstellung auf DVB-T sind die Immissionen dort zurückgegangen. Seither befindet sich der am stärksten exponierte Messpunkt in der Nähe des Münchener Olympiaturms (Luftlinie circa 3 km;

Abb. 48 und Abb. 49). Zu Zeiten der Messreihe 2006/2007 wurden von dort sechs DVB-T-Multiplexe mit einer Gesamtsendeleistung von 520 kW ERP übertragen, 2011/2012 sechs Multiplexe mit zusammen 600 kW ERP<sup>65</sup>. Inzwischen werden ebenfalls sechs Multiplexe mit 600 kW im Standard DVB-T2 gesendet. Die Variationen der Ergebnisse sind deshalb vermutlich auf die Nutzung unterschiedlicher Kanäle<sup>66</sup> und Unterschiede in der Vegetation<sup>67</sup> zurückzuführen.

Tab. 16: Systemparameter von DVB-T und DVB-T2 im Vergleich. Nur *kursiv dargestellte* Parameter sind auch für die Immissionssituation relevant.

| Parameter                                       | DVB-T                     | DVB-T2                                                              |
|-------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Kanalbandbreite (UHF)                           | 8,0 MHz                   | 8,0 MHz                                                             |
| <i>Signalbandbreite</i> (UHF)                   | 7,61 MHz                  | 7,61 MHz (normal carrier mode),<br>7,77 MHz (extended carrier mode) |
| Modulationsverfahren                            | QPSK, 16–QAM, 64–QAM      | QPSK, 16–QAM, 64–QAM, 256–QAM                                       |
| OFDM-Träger                                     | 2k, 8k                    | 2k, 8k, 32k                                                         |
| Anzahl <i>Multiplexe</i> in Ballungsräumen      | typisch 6                 | typisch 6                                                           |
| Anzahl <i>Multiplexe</i> in ländlichen Regionen | typisch 3                 | typisch 3                                                           |
| <i>Sendeleistung</i> (ERP) bei Grundnetzsendern | typisch 50 kW oder 100 kW | typisch 50 kW oder 100 kW                                           |

Der Median des Ausschöpfungsgrads hat sich seit der DVB-T-Umstellung kaum verändert und liegt im Rahmen messtechnischer Unsicherheiten zwischen  $0,1 \cdot 10^{-6}$  und  $0,2 \cdot 10^{-6}$ . Der Mittelwert liegt in den ersten drei Messreihen im gleichen Wertebereich und hat sich in der vierten Messreihe von  $1,5 \cdot 10^{-6}$  auf  $2,8 \cdot 10^{-6}$  erhöht. Diese Verdopplung des Mittelwerts kann auf Ausreißer an den am stärksten exponierten Messpunkten zurückgeführt werden.

<sup>65</sup> Zur Änderung der Sendeleistung kam es am 2009-07-15. Im Zuge der Räumung des VHF-III-Frequenzbands von Fernsehdiensten wechselte der Bayerische Rundfunk von Kanal 10 nach Kanal 54. Die Sendeleistung wurde dabei von 20 kW auf 100 kW angehoben. 2010 kam es zu weiteren Kanalwechseln, aber ohne Änderung der Sendeleistung

<sup>66</sup> Fadingeffekte haben eine ausgeprägte Frequenzabhängigkeit und können problemlos Empfangspegelunterschiede von 10 dB innerhalb weniger Meter verursachen. [15]

<sup>67</sup> Die Messungen fanden am 14. August 2006, 01. September 2011 und 30. Oktober 2018 statt.

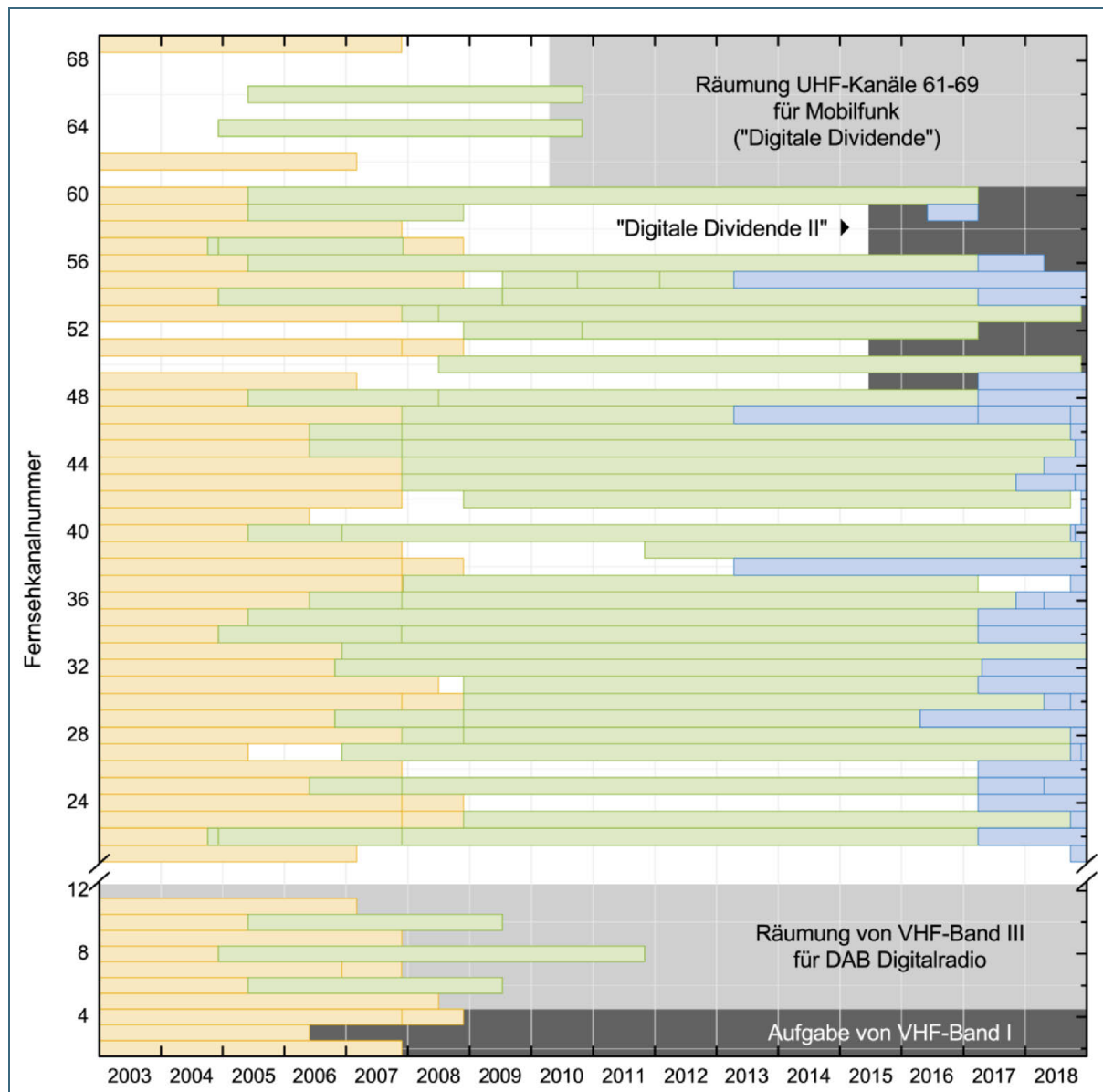


Abb. 53: Entwicklungen beim terrestrischen Fernsehen seit Beginn des EMF-Monitorings. Gezeigt sind die für das Fernsehen genutzten TV-Kanäle in Bayern und angrenzenden Ländern (ohne Gewähr für die Vollständigkeit). Orange: analoges Fernsehen. Grün: DVB-T. Blau: DVB-T2. Weiß: Kanäle, die zwar für das Fernsehen gewidmet waren, aber im Raum Bayern nicht genutzt wurden. Von ursprünglich 59 Kanälen sind inzwischen nur noch 28 (E21 bis E48) dem Fernsehen gewidmet; die restlichen Kanäle sind weggefallen (in Grautönen hinterlegt). Die in der Grafik noch belegten Kanäle im Bereich der „Digitalen Dividende II“ (E49 bis E60) wurden bis Mitte 2020 durch Kanalwechsel frei gemacht.

## 6.2 Kommerzieller Mobilfunk

### 6.2.1 Generelles

#### 6.2.1.1 GSM

Das *Global System for Mobile Communications*, kurz GSM, stellte zur Zeit seiner Einführung einen Meilenstein dar. Erstmals erfolgte mobile Telefonie in digitaler Form und mit besserer Sprachverständlichkeit. GSM ermöglichte erstmals das heute selbstverständliche Roaming auch über Ländergrenzen hinweg.

Die Frequenzbänder sind weiterhin vollständig belegt. Die Nutzung mit GSM ist allerdings rückläufig:

- Die Deutsche Telekom begann bereits frühzeitig, ihren Frequenzblock bei 1.800 MHz, den sie 2010 zugewiesen bekam, von GSM zu räumen. 2012 wurde damit begonnen, dort stattdessen LTE anzubieten. Zum Zeitpunkt der vierten Messreihe war dieser LTE-Block (1.805 MHz – 1.825 MHz) an 60 % aller Messpunkte zu empfangen (Abb. 54). Das darüber hinaus der Telekom zugewiesene Spektrum von 1.825 MHz bis 1.835 MHz wird ebenfalls zunehmend für LTE genutzt. Dieser zweite LTE-Block trat an 12 % der Messpunkte in Erscheinung. 2017/2018 gab es seitens der Telekom kein GSM mehr bei 1.800 MHz.
- Vodafone verfolgte eine ähnliche Strategie, allerdings mit zeitlicher Verzögerung. Der Betreiber begann 2016 mit der Räumung seines 1.800 MHz Frequenzblocks von GSM und der sukzessiven Inbetriebnahme von LTE. Zur Messreihe 2017/2018 gab es kein Vodafone-GSM bei 1.800 MHz mehr. LTE war aber auch erst an 7 % der Messpunkte zu empfangen.
- Nochmals später begann Telefónica mit dem LTE-Ausbau bei 1.800 MHz. Hier kam es aber nicht zu einer großflächigen Räumung von GSM, sondern zu einer sukzessiven, kleinräumigen und uneinheitlichen Umstellung. Während der Messreihe 2017/2018 war vielerorts noch GSM in wechselndem Umfang vorhanden. An etwa jedem vierten (24 %) Messpunkt war ein LTE-Signal vorhanden. Die LTE-Bandbreite war dabei uneinheitlich und betrug teils 10 MHz, teils auch 20 MHz. Die Monitoring-Messungen wurden dadurch deutlich erschwert, denn GSM und LTE sind funktions-technisch zu verschieden und benötigen getrennte Messungen mit jeweils angepassten Messparametern. Der Telefónica-Frequenzbereich wurde deshalb doppelt mit jeweils angepassten Parametern gemessen.
- Im Gegensatz zu dem Frequenzband bei 1.800 MHz kommt bei 900 MHz weiterhin vorwiegend GSM zum Einsatz. Das betrifft alle Betreiber, einschließlich der Deutschen Bahn. Lediglich die Deutsche Telekom hatte zu Beginn der vierten Messreihe bereits damit begonnen, einen 5 MHz breiten Frequenzblock von GSM freizuräumen, der während der Messung an 10 % aller Messpunkte bereits für LTE genutzt wurde. Seitens Vodafone gab es ähnliche Pläne, aber bis zum Ende der Messungen war dererseits bei 900 MHz ausschließlich GSM im Einsatz.

Bei der Erstellung der Messpakete für die erste Messreihe spielten manche Eigenheiten von GSM noch keine Rolle, da EDGE seinerzeit noch gar nicht<sup>68</sup> und Frequency Hopping nur vereinzelt eingesetzt wurden. Das Paket wurde deshalb auf schnelle Messzeit hin optimiert und seither aus Kompatibilitätsgründen beibehalten. Die Umstellung des Messsystems bot die Möglichkeit, die Messungen nun endgültig auch mit einem geänderten GSM-Setup durchzuführen, das einen deutlich besseren, wenn auch nach wie vor nicht perfekten, RMS-Wert der GSM-Immissionen ermittelt.

<sup>68</sup> In Österreich und der Schweiz war EDGE Mitte 2005 schon fast flächendeckend ausgebaut. In Deutschland begannen die Netzbetreiber dagegen erst 2006 mit der Einführung von EDGE.

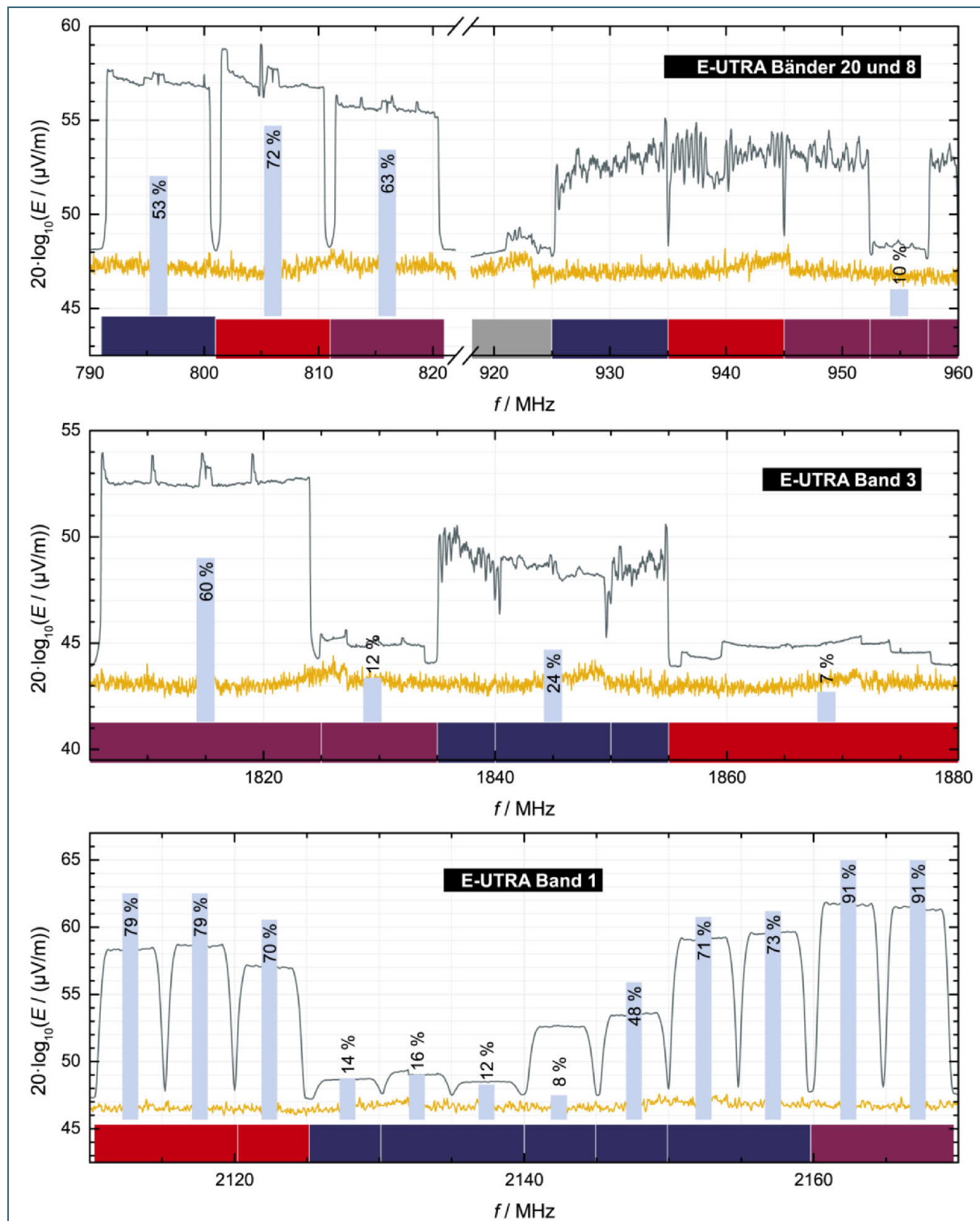


Abb. 54: Bayernweit gemittelte Mobilfunkspektren der Messreihe 2017/2018. Von oben nach unten: LTE-800 (so genannte „Digitale Dividende I“) und GSM-900, ehemaliges GSM-1800-Frequenzband (heute überwiegend LTE) und UMTS-Band. Die farbigen Blöcke kennzeichnen die Betreiberzuordnung: Telekom (magenta), Vodafone (rot), Telefónica (blau; inklusive der Frequenzbereiche, die durch die Fusion mit E-plus übernommen wurden). Für UMTS und LTE geben die Säulen den Anteil an Messpunkten an, an denen die jeweilige Frequenz decodierbar war. Sie stellen somit ein rudimentäres Äquivalent zum Versorgungsgrad dar. Zur besseren Einschätzbarkeit des Signal-Rausch-Verhältnisses ist zusätzlich das Grundrauschen (orange) dargestellt. Hinweis: Bei diesen Abbildungen handelt es sich um spektrale Messungen, die hinsichtlich ihrer Messparameter auf visuelle Erkennbarkeit der Signalart optimiert wurden. Ohne zusätzliche Umrechnung lassen sich daraus keine Absolutwerte für die Exposition ableiten.



Die Vergleichbarkeit früherer mit den aktuellen Messungen wurde bereits in Kapitel 3.3.1.3 diskutiert. Kurz gesagt:

- An zwölf ausgewählten Messpunkten wurde das vollständige EMF-Monitoring-Messprogramm sowohl mit dem Original-Aufbau mit Rohde & Schwarz-Messtechnik und den Messpaketen aus den früheren Messreihen als auch mit der neueren SRM-Messtechnik und den für die vierte Messreihe vorgesehen Messpaketen durchlaufen.
- Unter Einsatz des Vektorsignalgenerators Rohde & Schwarz SMIQ03B wurden gezielte Vergleichsmessungen an definierten GSM-Signalen durchgeführt.<sup>69</sup> Die Komplexität dieser Simulationen würde den Rahmen an dieser Stelle sprengen. Die Ergebnisse sind deshalb im Anhang D (S. 189) zu finden.

Aus den Vergleichsmessungen wurde eine mittlere Differenz in Höhe von  $-6,3$  dB bei GSM-900 und  $-7,0$  dB bei GSM-1800 ermittelt. Sie dient als Umrechnungsfaktor von Spitzenwerten auf Effektivwerte.

#### 6.2.1.2 UMTS

Für UMTS gab es bereits in den früheren Messreihen ein am Signalgenerator validiertes und funktionierendes RMS-Messpaket<sup>70</sup>. Es wurde für die Messreihe 2017/2018 nahezu identisch umgesetzt und erneut am Signalgenerator validiert. Die UMTS-Ergebnisse weisen somit eine hervorragende Vergleichbarkeit auf.

In Deutschland arbeitet UMTS seit seiner Einführung im Jahr 2003 im Frequenzbereich 2.110 MHz – 2.170 MHz (E-UTRA Band 1). Er ist in zwölf Kanäle mit einer Breite von jeweils 4,95 MHz unterteilt. Tab. 17 zeigt die Zuordnung der UMTS-Kanäle auf die Mobilfunknetzbetreiber.

2018 hat zunächst Vodafone damit begonnen, Teile seines UMTS-Spektrums für LTE umzuwidmen.<sup>71</sup> Da die Messungen als RMS-Kanalleistungsmessungen konzipiert sind, ist es für die Beurteilung der Immissionen nicht von Bedeutung, welche Art Signal tatsächlich ausgestrahlt wird; das Messpaket eignet sich für beide Mobilfunkarten.

---

<sup>69</sup> Der Vektorsignalgenerator wurde uns von der Technischen Hochschule Deggendorf für einige Wochen zur Verfügung gestellt. An dieser Stelle nochmals ausdrücklicher Dank an Herrn Prof. Dr.-Ing. Wuschek von der Fakultät Elektrotechnik und Medientechnik.

<sup>70</sup> Lediglich in der Messreihe 2002/2003 kam ein Nicht-RMS-fähiges Messpaket zum Einsatz. Da seinerzeit an nur 14 Messpunkten UMTS-Signale vorhanden waren, hat dies keine Auswirkungen auf das Mobilfunkergebnis.

<sup>71</sup> Seit 2020 werden weitere UMTS-Frequenzen für LTE zusammen mit 5G verwendet.

Tab. 17: Betreiberzuordnung der UMTS- und LTE-Frequenzen (Bandnummern gemäß E-UTRA).

| Dienst         | Mittenfrequenz | Netzbetreiber | Verfügbar seit | Bemerkung            |
|----------------|----------------|---------------|----------------|----------------------|
| <b>Band 20</b> |                |               |                |                      |
| LTE            | 796,0 MHz      | Telefónica    | 2010           |                      |
| LTE            | 806,0 MHz      | Vodafone      | 2010           |                      |
| LTE            | 816,0 MHz      | Telekom       | 2010           |                      |
| <b>Band 28</b> |                |               |                |                      |
| LTE            | 773,0 MHz      | Telefónica    | 2010           |                      |
| <b>Band 8</b>  |                |               |                |                      |
| LTE            | 954,9 MHz      | Telekom       | 2017           |                      |
| <b>Band 32</b> |                |               |                |                      |
| LTE            | 1.462,0 MHz    | Telekom       | 2015           | TDD; ungenutzt       |
| LTE            | 1.482,0 MHz    | Vodafone      | 2015           | TDD; ungenutzt       |
| <b>Band 3</b>  |                |               |                |                      |
| LTE            | 1.815,0 MHz    | Telekom       | 2010           |                      |
| LTE            | 1.829,4 MHz    | Telekom       | 2016           |                      |
| LTE            | 1.845,0 MHz    | Telefónica    | 1997           | Mischnutzung mit GSM |
| LTE            | 1.868,6 MHz    | Vodafone      | 2016           |                      |
| <b>Band 1</b>  |                |               |                |                      |
| UMTS           | 2.112,8 MHz    | Vodafone      | 2000           |                      |
| UMTS           | 2.117,6 MHz    | Vodafone      | 2000           | seit 2018 auch LTE   |
| UMTS           | 2.122,4 MHz    | Vodafone      | 2010           | seit 2018 auch LTE   |
| UMTS           | 2.127,8 MHz    | Telefónica    | 2010           | bis 2014 E-plus      |
| UMTS           | 2.132,6 MHz    | Telefónica    | 2000           | bis 2014 E-plus      |
| UMTS           | 2.137,4 MHz    | Telefónica    | 2000           | bis 2014 E-plus      |
| UMTS           | 2.142,4 MHz    | Telefónica    | 2010           | bis 2014 E-plus      |
| UMTS           | 2.147,6 MHz    | Telefónica    | 2010           |                      |
| UMTS           | 2.152,4 MHz    | Telefónica    | 2000           |                      |
| UMTS           | 2.157,2 MHz    | Telefónica    | 2000           |                      |
| UMTS           | 2.162,4 MHz    | Telekom       | 2000           |                      |
| UMTS           | 2.167,2 MHz    | Telekom       | 2000           |                      |
| <b>Band 7</b>  |                |               |                |                      |
| LTE            | 2.630,0 MHz    | Vodafone      | 2010           |                      |
| LTE            | 2.650,0 MHz    | Telekom       | 2010           |                      |
| LTE            | 2.665,0 MHz    | Telefónica    | 2010           |                      |
| LTE            | 2.680,0 MHz    | Telefónica    | 2010           |                      |

### 6.2.1.3 LTE

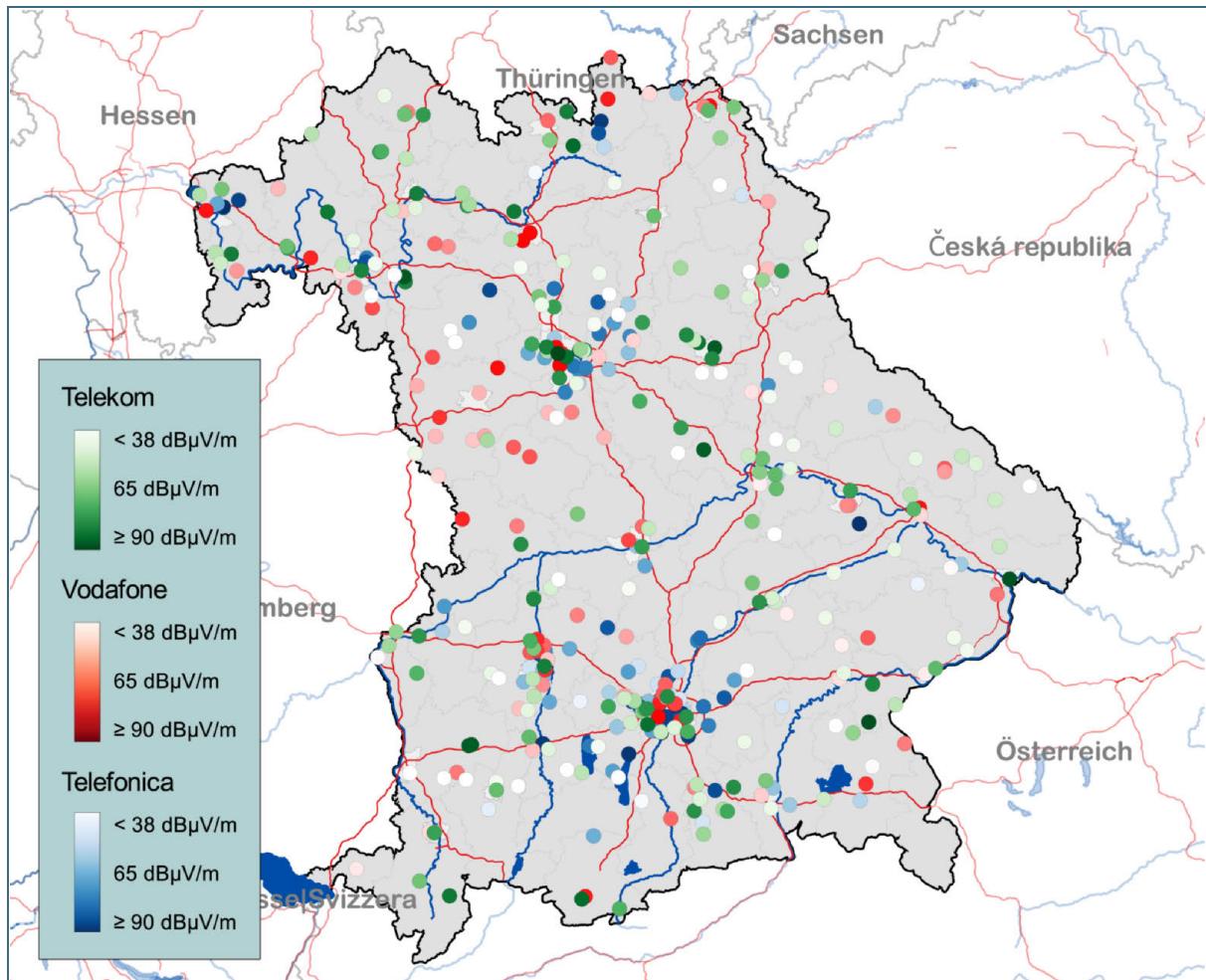


Abb. 55: Gemessene Feldstärken der jeweils stärksten LTE-Frequenz (PSS-Signal). Die Farbe gibt an, von welchem Betreiber das empfangsstärkste LTE-Signal detektiert wurde; die Schattierung ist proportional zur Feldstärke. Das stärkste Signal wurden an 168 Messpunkten von der Deutschen Telekom, an 97 Messpunkten von Vodafone und an 113 Messpunkten von Telefonica registriert. Das bedeutet nicht, dass die Telekom stärker sendet, sondern dass deren Netz dichter ist. An 25 Messpunkten lag die Feldstärke unterhalb der Nachweisgrenze des Messsystems.

Der Aufbau von LTE-Netzen begann pressewirksam am 30. August 2010 im brandenburgischen Kyritz. Für den Ausbau kamen zunächst ehemalige TV-Frequenzen der sogenannten „Digitalen Dividende“ bei 800 MHz zum Einsatz<sup>72</sup>. Sie zeichnen sich durch vergleichsweise große Reichweiten aus und ermöglichen dadurch, rasch eine hohe Flächenabdeckung zu erreichen.

Die Messreihe 2011/2012 war die erste, für die LTE relevant war. Trotz der kurzen Zeitspanne seit der Premiere im August 2010 gab es in dieser Messreihe bereits 283 Messpunkte, an denen LTE bei 800 MHz zu detektieren war. Darüber hinaus gab es an zwei Münchener Messpunkten ein LTE-Signal im Frequenzband bei 2,6 GHz des Netzbetreibers Telefonica, damals noch E-plus.

<sup>72</sup> Die „Digitale Dividende“ umfasst die ehemaligen Fernsehkanäle 61 bis 69 im Frequenzbereich 790 MHz – 862 MHz.

Seither ist die Verbreitung von LTE sprunghaft angestiegen:

- Der Einsatz von LTE in den GSM- und UMTS-Frequenzbändern wurde bereits in den dortigen Kapiteln aufgezeigt (siehe Kapitel 6.2.1.1 und 6.2.1.2).
- Bei 800 MHz lässt sich inzwischen von einer fast flächendeckenden Versorgung<sup>73</sup> sprechen: An 365 der 403 Messpunkte (91 % aller Messpunkte) lag LTE-800 von zumindest einem Netzbetreiber über der Nachweisschwelle des EMF-Messsystems. Die individuellen Empfangsgrade<sup>74</sup> variieren zwischen den Betreibern von 53 % bei Telefónica bis 72 % bei Vodafone (Abb. 54).
- Im städtischen Umfeld erfolgt die Versorgung primär über die Frequenzbänder 1,8 GHz und 2,1 GHz. Zur Verstärkung der Netzkapazität kommen inzwischen vermehrt<sup>75</sup> Frequenzen bei 2,6 GHz zum Einsatz. Die Nutzung dieses Frequenzbands ist aber noch übersichtlich: an 13 % aller Messpunkte wurde ein LTE-Signal decodiert. Die Versorgung der einzelnen Betreiber betrug bei Telekom und Vodafone jeweils 5 % und bei Telefónica 3 % der Messpunkte.
- Als sogenannte „Digitale Dividende II“ vergab die Bundesnetzagentur weitere Fernsehfrequenzen an den Mobilfunk. Es handelt sich um die ehemaligen TV-Kanäle E49 bis E60 im Frequenzbereich von 694 MHz bis 790 MHz, weshalb sie als „Frequenzband bei 700 MHz“, kurz: LTE-700, zusammengefasst werden. Die Mobilfunknetzbetreiber mussten für die Verwendung dieses Frequenzbands die Räumung durch DVB-T abwarten, die sich bis 2019 hinzog<sup>76</sup>. Entsprechend beschränkte sich die LTE-700-Nutzung während des Monitorings auf einen einzelnen Messpunkt mit einem Testbetrieb in München.
- Ebenfalls um ehemalige Rundfunkfrequenzen handelt es sich bei einem Teil des L-Bands, dem Frequenzband zwischen 1.452 MHz und 1.492 MHz. Die Frequenzen standen ursprünglich für DAB zur Verfügung. Auf Grund ihrer Ausbreitungseigenschaften mit eher geringer Reichweite eignen sie sich nur schlecht für die Rundfunkversorgung und wurden deshalb 2015 an den Mobilfunk vergeben. Die beiden Lizenznehmer, Telekom und Vodafone, halten sich mit der Nutzung allerdings zurück: Lediglich an einem Messpunkt in Mitterteich wurde im Rahmen der Messempfindlichkeit ein Signal gemessen – welches auf Grund der Nähe zu Tschechien vermutlich von dort kam.

Die vollständige Liste der LTE-Frequenzen, die während der Messreihe 2017/2018 zur Verfügung standen, ist in Tab. 17 abgedruckt.

LTE bildete während der vierten Messreihe den bevorzugten Mobilfunkdienst. Dies gilt nicht nur für die Versorgung mit den Signalen der Basisstationen, sondern auch auf Seiten der Endgeräte. Zur Zeit der vierten Messreihe hatten sich Smartphones bereits auf breiter Front durchgesetzt. Sie nutzen standardmäßig LTE als schnellstes Netz; dazu mehr in Kapitel 6.2.2.1.

Bei LTE sind die Messergebnisse genau wie bei UMTS mit früheren Messreihen vollständig kompatibel. Lediglich die Besonderheit der gemischten Nutzung von LTE und GSM im Telefónica-Frequenzbereich von 1.835 MHz bis 1.855 MHz bringt geringe messtechnische Unsicherheiten mit sich. Alle 403 Messpunkte wurden zwar sowohl automatisch als auch zusätzlich durch manuelle Sichtung auf die vorliegende Signalart hin abgeprüft. An manchen Messpunkten wurde aber LTE von GSM (oder

---

<sup>73</sup> Hiermit ist keine Aussage über die LTE-Versorgung hinsichtlich der Versorgungsaufgaben verbunden.

<sup>74</sup> Gemeint ist hier, an wie vielen Messpunkten der Feldstärkepegel oberhalb der Nachweisschwelle lag.

<sup>75</sup> Es handelt sich um insgesamt 16 Städte in Bayern: Augsburg, Bamberg, Burghausen, Garmisch-Partenkirchen, Ingolstadt, Mittenwald, Neu-Ulm, Neuburg am Inn, Nürnberg, Ottobrunn, Passau, Regensburg, Simbach am Inn, Starnberg und Zirndorf.

<sup>76</sup> In Bayern wurde der Frequenzbereich erst am 03. April 2019 vollständig frei; bis dahin waren die Kanäle E49, E54 und E55 vom Fernmeldeturm in Nürnberg genutzt worden. Am Sender Gaisberg (Salzburg) war E55 für Österreich bis 18. Juni 2019 in Verwendung.



anders herum) überlagert. Durch gemischte LTE-Signalbandbreiten (standardmäßig 10 MHz, teilweise aber 20 MHz) können vereinzelt Zuordnungsfehler zwischen LTE und GSM aufgetreten sein.

#### 6.2.1.4 5G

Der Mobilfunk der fünften Generation, 5G, war zum Zeitpunkt der Messreihe 2017/2018 noch nicht in Betrieb.

### 6.2.2 Ergebnisse

Die vorliegende Messreihe ist die erste, die RMS-Messungen konsequent umgesetzt hat. Es ist daher auch die erste Messreihe, die die Mobilfunkimmissionen valide – ohne Verzerrungen durch mögliche Überbewertungen – nach den Netzgenerationen (GSM, UMTS und LTE) unterscheiden kann. Die Ergebnisse der vierten Messreihe können deshalb als Referenz betrachtet werden.



Abb. 56: Besondere Messpunkte des Mobilfunks 2017/2018: Ausschöpfungsgrad Null – dieser Messpunkt (MP275) ist der einzige Messpunkt in der Messreihe 2017/2018, für den im Rahmen der Messempfindlichkeit kein Mobilfunk nachweisbar war.

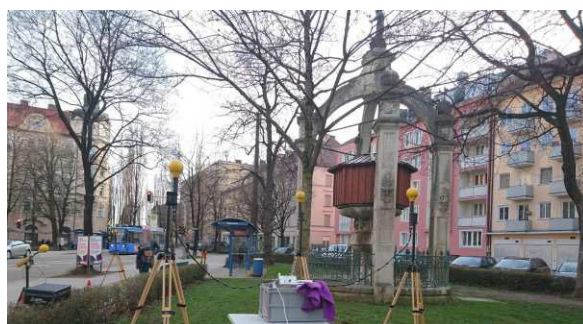


Abb. 57: Besondere Messpunkte des Mobilfunks 2017/2018: Dieser Platz in München-Au (MP063) weist für die Mobilfunk-Gesamtmissionen ebenso wie für jede Mobilfunkgeneration einzeln jeweils die zweit- oder dritthöchsten Immissionen auf.



Abb. 58: Besondere Messpunkte des Mobilfunks 2017/2018: Die Mobilfunkanlage (nicht im Bild) auf dem Dach des rechten Hauses sorgt an diesem Messpunkt (MP048) in München für die höchsten UMTS-Immissionen.



Abb. 59: Besondere Messpunkte des Mobilfunks 2017/2018: An diesem Messpunkt im oberfränkischen Kronach (MP239) liegen die höchsten GSM- und damit auch insgesamt die höchsten Mobilfunkimmissionen vor. Die verursachende Anlage ist auf dem Haus zu erkennen, das in der Flucht des Straßenverlaufs liegt.

#### 6.2.2.1 Zusammensetzung der Mobilfunkimmissionen

Vor den Vergleichen mit den bisherigen Messreihen soll der Fokus zunächst auf den aktuellen Daten liegen. Dabei sticht zunächst die weiterhin vorliegende Dominanz der GSM-Immissionen ins Auge: 56 % der Mobilfunkimmissionen sind auf GSM zurückzuführen (Abb. 60) – wie verträgt sich das mit der allgegenwärtigen Dominanz von LTE und dessen Netzausbau? Ein Immissionsanteil von 56 % be-

deutet nicht automatisch, dass auch die tatsächliche *Nutzung* der GSM-Dienste bei 56 % lag. Während der Messreihe 2017/2018 waren kaum noch andere Endgeräte als Smartphones, Tablets, oder Mobilfunk-Router im Einsatz. Alle Geräte verwenden die Voreinstellung „bevorzugter Netzwerktyp: Automatik“ als Standard. Im Regelfall bedeutet dies die Nutzung des LTE-Netzes bei Verfügbarkeit. Steht kein LTE-Netz zur Verfügung<sup>77</sup>, erfolgt ein Fallback. Der Fallback ins GSM-Netz ist auf Grund der Verfügbarkeit und Reichweite des GSM-Netzes am wahrscheinlichsten. Jeder Fallback ins GSM-Netz bedeutet für die Sendezeit im GSM-Netz folgendes: Die GSM-Datenrate liegt bei 0,2 Mbit/s, das heißt die Übertragung dauert rund tausendmal so lang wie über LTE. Sendepausen sind bei GSM weit unwahrscheinlicher als bei LTE. Selbst die Übertragung einer kleinen Datenmenge hat über GSM eine weit höhere Wahrscheinlichkeit, sich in den Messergebnissen wiederzufinden, als über UMTS oder LTE. Neuere Netzgenerationen verhalten sich deshalb hinsichtlich ihrer Immissionen weitaus günstiger als ältere.

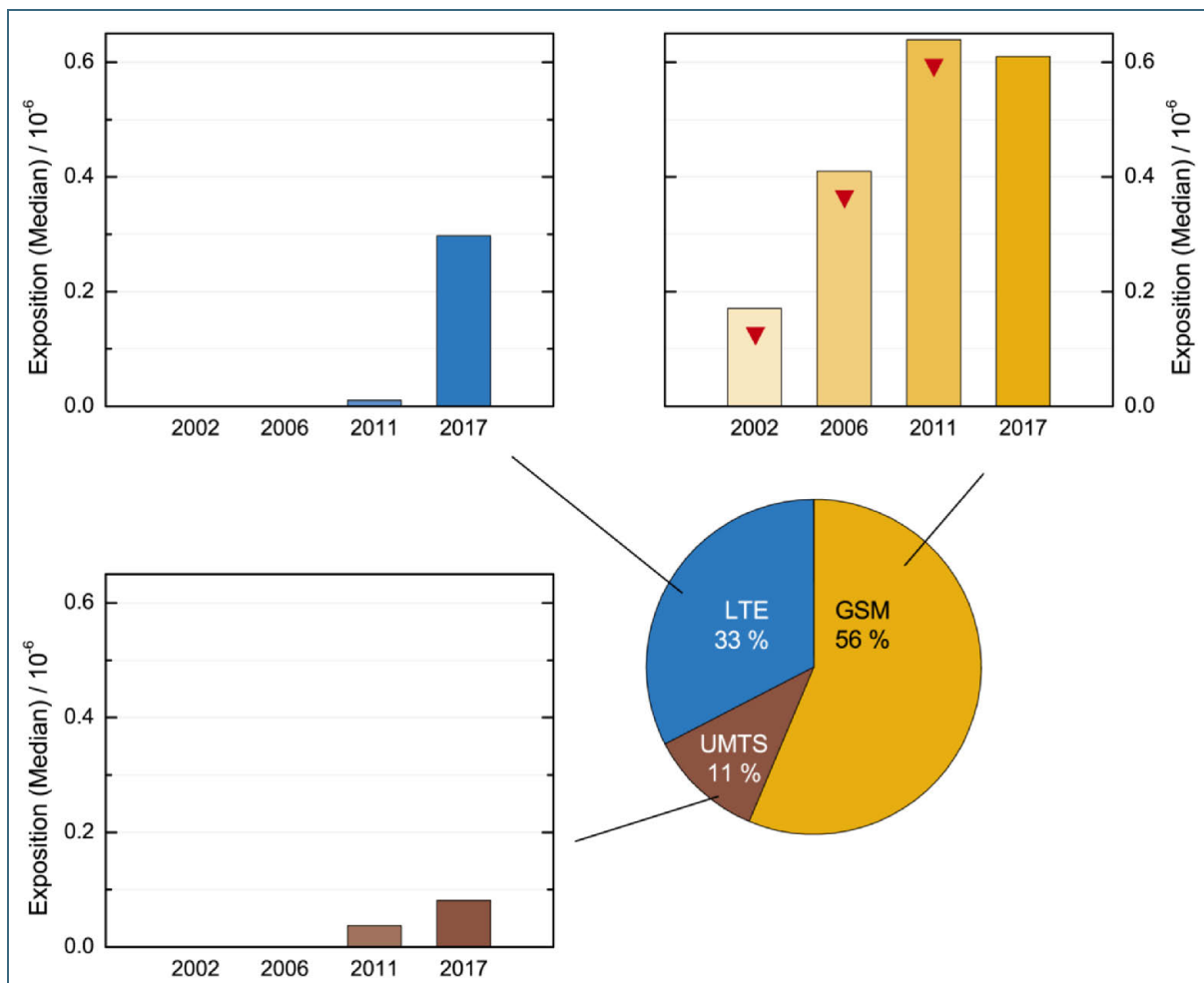


Abb. 60: Zusammensetzung der Mobilfunkimmissionen aus den Funkdiensten GSM, UMTS und LTE (Kreisdiagramm) für die Messreihe 2017/2018. Die Balkendiagramme zeigen die zeitliche Entwicklung der Mediane der Mobilfunkdienste von Messreihe zu Messreihe. Man beachte: Auf Basis von Vergleichsmessungen wurden die GSM-Immissionen aus den Messreihen bis einschließlich 2012 um -6,3 dB (GSM-900) beziehungsweise -7,0 dB (GSM-1800) korrigiert (siehe Kapitel 3.3.1.3).

<sup>77</sup> Neben den Endgeräten muss auch der gewählte Mobilfunktarif schnelle Datenverbindungen erlauben. Dies war im Zeitraum 2017/2018 für alle uns bekannten Tarife zumindest für UMTS der Fall. Die LTE-Nutzung war dagegen tatsächlich vereinzelt nicht gestattet und ist beispielsweise bei congstar erst seit Sommer 2019 möglich.



Das trifft auch für die Betrachtung des lastunabhängigen Signalisierungsanteils zu: Bei UMTS und LTE dienen je nach Konfiguration  $\leq 20\%$  der zur Verfügung stehenden Sendeleistung der Signalisierung. Bei GSM ist eine Carrierfrequenz – der BCCH-Träger – lastunabhängig permanent mit voller Sendeleistung in Betrieb. Gerade im ländlichen Umfeld liefert GSM überproportionale Immissionen. Dort werden oftmals nur zwei Carrierfrequenzen betrieben, sodass bis zu 50 % der Gesamtsendeleistung on air sind. Das sind typischerweise 4 dB – 7 dB mehr als bei der Signalisierung in modernen Netzen.

Wenn jede neuere Netzgeneration effizienter als die vorherige ist, warum ist dann der Anteil von LTE mit 33 % rund dreimal so groß wie der von UMTS mit 11 %? UMTS dürfte im Untersuchungszeitraum der schwächste „Fallback“ gewesen sein. Die LTE-Netze aller Betreiber waren durchwegs besser ausgebaut als deren UMTS-Netze. Zusätzlich ergab sich durch die Nutzung niedrigerer Frequenzen in den Bändern 700 MHz, 800 MHz und sogar 1.800 MHz eine deutlich bessere Reichweite der LTE-Zellen als es bei UMTS (2,1 GHz) der Fall war. UMTS dürfte deshalb vor allem in folgenden Fällen eingesetzt worden sein:

- von Nutzern ohne LTE-fähigem Endgerät,
- von denjenigen Kunden, deren Tarif keine LTE-Nutzung gestattete, und
- für Telefongespräche, die nicht über VoLTE<sup>78</sup> abgewickelt wurden.

In Verbindung mit den im Vergleich zu GSM deutlich schlechter ausgebauten UMTS-Netzen ist verständlich, dass in beiden Fällen tendenziell eher auf GSM als auf UMTS zurückgegriffen wurde. Das erklärt sowohl den recht geringen Anteil von UMTS an den Mobilfunk-Immissionen als auch den weiterhin hohen GSM-Beitrag. Hinzu kommt, dass GSM oftmals die alleinige Anbindung bei Machine-to-Machine-Kommunikation darstellt. Dabei tauschen beispielsweise Maschinen, Automaten, Gebäude oder Sicherheitstechnik Informationen mit einer zentralen Leitstelle aus.

Die relativen Anteile der Immissionen einzelner Netzgenerationen an den gesamten Mobilfunkimmissionen unterscheiden sich zwischen den Netzbetreibern nicht wesentlich<sup>79</sup>. Bei Telefónica ist zwar der GSM-Anteil höher und der LTE-Anteil entsprechend geringer. Dies kann sowohl in einem schlechteren LTE-Netzausbau begründet sein als auch daran liegen, dass die Zuordnung zu GSM oder LTE im Frequenzbereich 1.835 MHz – 1.855 MHz aufgrund der GSM-LTE-Mischbelegung in Kombination mit uneinheitlichen LTE-Bandbreiten teilweise schwierig ist.

### 6.2.3 Mobilfunkimmissionen – Vergleich mit früheren Messreihen

Wir beginnen den Vergleich mit früheren Messreihen zunächst mit UMTS und LTE. Diese Ergebnisse sind zwischen allen Messreihen sehr gut vergleichbar. Die Einzeldarstellungen sind aus Übersichtlichkeitsgründen nur im Anhang abgedruckt (Abb. 80 (S. 134) und Abb. 81 (S. 137), sowie Tab. 38 (S. 135) und Tab. 39 (S. 136)).

Das Bild ist für beide Mobilfunkgenerationen konsistent und spiegelt den Netzausbau der vergangenen zwei Jahrzehnte wider: Zu Beginn des EMF-Monitorings basierte Mobilfunk praktisch allein auf GSM. Die UMTS-Lizenzen waren zwar bereits versteigert<sup>80</sup>, aber der Netzausbau zog sich lange hin

<sup>78</sup> Voice over LTE (VoLTE) bezeichnet Sprachtelefonie über das LTE-Netz. Es ist keine Selbstverständlichkeit: Noch im ersten Halbjahr 2020 konnten beispielsweise Vodafone-Prepaid-Kunden kein VoLTE nutzen. In diesem Fall findet ein sogenannter *Circuit Switched Fallback* statt: Das Endgerät schaltet für ein Telefonat in das GSM-Netz oder – sofern verfügbar – zu UMTS um und nach Beendigung des Telefonats wieder auf LTE zurück.

<sup>79</sup> Telekom: GSM 51 %, UMTS 12 %, LTE 37 %. Vodafone: GSM 55 %, UMTS 13 %, LTE 31 %. Telefónica: GSM 65 %, UMTS 12 %, LTE 23 %.

<sup>80</sup> Es handelte sich um die Frequenzauktion im Jahr 2000 auf dem Höhepunkt des ersten Mobilfunkbooms, die Rekorderlöse in Höhe von 50,8 Mrd. € ergab.

und begann erst vereinzelt im Jahr 2003. In der zweiten Messreihe war UMTS vielerorts – an etwa jedem zweiten Messpunkt – ausgerollt und verfügbar. Mangels konkreter Anwendungsszenarien<sup>81</sup> sind die Immissionen aber noch sehr übersichtlich. Der Median für den Ausschöpfungsgrad ist kleiner als  $10^{-9}$ , der Mittelwert beträgt  $0,24 \cdot 10^{-6}$ .

Von der zweiten zur dritten und weiter zur vierten Messreihe sind die UMTS-Immissionen kontinuierlich angestiegen, sowohl was Median und Mittelwert angeht, als auch hinsichtlich des Versorgungsgrads. Für 2017/2018 erreichte der Median einen Ausschöpfungsgrad von  $0,08 \cdot 10^{-6}$  und der Mittelwert  $2,10 \cdot 10^{-6}$ . Gleichzeitig wird diese Messreihe die letzte mit UMTS sein, denn alle Netzbetreiber haben die Abschaltung ihrer UMTS-Netze für das Jahr 2021 bekannt gegeben. Bis dahin werden UMTS-Frequenzblöcke sukzessive für LTE oder 5G umgewidmet.<sup>82</sup>

LTE ging in Deutschland 2010 in Betrieb. Ähnlich wie bei UMTS sind auch die LTE-Immissionen zu Beginn für die Summe der Mobilfunkimmissionen ohne Bedeutung: Die Messreihe 2011/2012 weist für den Ausschöpfungsgrad einen Median von  $0,01 \cdot 10^{-6}$  und einen Mittelwert von  $0,47 \cdot 10^{-6}$  aus. In der aktuellen Messreihe ist beides deutlich angestiegen; Median und Mittelwert betragen nun  $0,30 \cdot 10^{-6}$  beziehungsweise  $5,52 \cdot 10^{-6}$ . Die LTE-Immissionen liegen damit höher als diejenigen von UMTS, wie im vorherigen Abschnitt bereits diskutiert wurde.

Die Vergleichbarkeit der GSM-Ergebnisse unterliegt größeren Unsicherheiten, die aus der nachträglichen Umrechnung von Spitzenwerten in RMS-Werte resultieren. Die Vorgehensweise wurde in Kapitel 3.3.1.3 (S. 26) erläutert. Zusammengefasst wurden alle GSM-900-Ergebnisse der ersten drei Messreihen um  $-6,3$  dB und alle GSM-1800-Ergebnisse dieser Messreihen um  $-7,0$  dB korrigiert. Die Originaldaten sind parallel dazu im Anhang A zu finden. Alle korrigierten Werte sind mit dem Zeichen ▼ gekennzeichnet. Es soll darauf aufmerksam machen, dass eine exakte Umrechnung der früheren Messdaten von Spitzenwerten (Max-Peak) in RMS-Mittelwerte nicht möglich ist (siehe auch Anhang D auf S. 189) und die gewählte Vorgehensweise eine Näherung darstellt.

Betrachten wir die GSM-Frequenzbänder zunächst getrennt (Abb. 78 (S. 130) und Abb. 79 (S. 133)). Bei GSM-900 (Abb. 78) ergibt sich im Laufe der ersten Messreihen eine beinahe lineare Zunahme der Immissionen (Mediane:  $0,11 \cdot 10^{-6}$ ,  $0,26 \cdot 10^{-6}$ ,  $0,44 \cdot 10^{-6}$ ). Auch in der vierten Messreihe haben die Immissionen zugenommen (Median:  $0,51 \cdot 10^{-6}$ ), aber gegenüber der dritten Messreihe in deutlich geringerem Ausmaß als zuvor. Demgegenüber lag die Exposition bei GSM-1800 schon von Beginn an etwa eine Größenordnung darunter. Der Trend der ersten drei Messreihen deckt sich mit dem Trend bei GSM-900: Von 2002 bis 2012 haben die GSM-1800-Immissionen linear zugenommen. Die Mediane sind von  $0,02 \cdot 10^{-6}$  (2002/2003) über  $0,04 \cdot 10^{-6}$  (2006/2007) auf  $0,06 \cdot 10^{-6}$  (2011/2012) gestiegen. In der vierten Messreihe ist der Median um zwei Größenordnungen zurückgegangen.

Die beobachtete Entwicklung erscheint plausibel: Das GSM-1800-Frequenzband wurde weitgehend von GSM-Diensten geräumt und wird stattdessen für LTE genutzt. Die GSM-Verbindungen müssen aber weiterhin irgendwo abgewickelt werden. Hierfür kommt nur GSM-900 in Frage – bei allen Netzbetreibern. Dort wiederum muss weitgehend auf den schon seit einigen Jahren bestehenden Ausbaustand zurückgegriffen werden, denn das GSM-900-Frequenzband ist fast vollständig belegt und weist kaum Spielraum für Immissionszunahmen auf. Aus Sicht der Endgeräte war zudem die GSM-Nutzung zur Zeit der vierten Messreihe noch stark ausgeprägt (siehe Kapitel 6.2.2.1): GSM dient als Fallback sowohl für UMTS als auch für LTE, bietet dabei aber eine weitaus geringere Geschwindigkeit, sodass

<sup>81</sup> Zu dieser Zeit waren Smartphones noch mit Nokia Communicator oder Blackberry gleichzusetzen. Die Datenrate lag in vielen UMTS-Netzen nur unwesentlich über der von GSM; die schnellere UMTS-Weiterentwicklung HSDPA war erst bei manchen Netzbetreibern eingeführt.

<sup>82</sup> Die GSM-Netze werden weiterhin in Betrieb bleiben.

GSM-Übertragungen deshalb statistisch häufiger erfasst werden. Es darf zudem nicht unterschätzt werden, dass für Machine-to-Machine-Kommunikation lange Zeit ausschließlich das GSM-Netz genutzt wurde. UMTS wurde für diese Art des Datenaustauschs übersprungen; erst bei LTE stehen mit LTE-M (Machine Type Communication) und NB-IoT (Narrowband Internet of Things) entsprechende Nachfolgetechniken zur Verfügung.

Die Summe der GSM-Immissionen (Abb. 77, S. 127) folgt überwiegend der Entwicklung bei GSM-900, weil der zusätzliche Beitrag von GSM-1800 jeweils deutlich geringer ausfällt. Die lineare Entwicklung der Mediane der ersten drei Messreihen findet sich deshalb auch in den GSM-Gesamtmissionen wieder ( $0,17 \cdot 10^{-6}$ ,  $0,41 \cdot 10^{-6}$  und  $0,64 \cdot 10^{-6}$ ). 2017/2018 fällt eine nur geringe Zunahme bei GSM-900 mit einer deutlichen Abnahme bei GSM-1800 zusammen. Der Gesamtmedian zeigt dadurch ebenfalls einen leichten Rückgang (orange Balken in Abb. 60). Er liegt inzwischen bei  $0,61 \cdot 10^{-6}$ .

Der Mittelwert der GSM-Gesamtmissionen hat im Laufe der Messreihen – einschließlich von der dritten zur vierten Messreihe – sukzessive von  $2,05 \cdot 10^{-6}$  (Messreihe 2002/2003) auf  $13,6 \cdot 10^{-6}$  zugenommen. Dazu trägt bei, dass die Immissionen im für die GSM-Gesamtmissionen dominierenden GSM-900-Frequenzband 2017/2018 gerade bei den hohen Ausschöpfungsgraden (im Bereich zwischen  $1 \cdot 10^{-4}$  und  $1 \cdot 10^{-3}$ ) zugenommen haben. Dadurch ergibt sich eine deutliche Zunahme des GSM-900-Mittelwerts. Bei den GSM-1800-Immissionen auf der anderen Seite gab es nur einen einzigen Messpunkt mit Immissionen oberhalb von  $Q_E > 1 \cdot 10^{-4}$ . Der GSM-1800-Mittelwert war jederzeit kleiner als die Zunahme des GSM-900-Mittelwerts von 2011/2012 nach 2017/2018. Für den Mittelwert der GSM-Gesamtmissionen konnte sich somit keine Abnahme ergeben.

Die *gesamten* Mobilfunkimmissionen (Abb. 61) setzen sich aus der Summe von GSM, UMTS und LTE zusammen. Sie weisen von der ersten bis zur aktuellen Messreihe eine kontinuierliche Zunahme auf, wobei der Hauptbeitrag von GSM stammt. Die Immissionsentwicklung stimmt mit Ausbau und Nutzung des Mobilfunks überein. Obwohl die Anwendung einer Korrektur auf die alten GSM-Ergebnisse mit Unsicherheiten behaftet ist, sind die Resultate sowohl bei GSM allein als auch beim Mobilfunk insgesamt plausibel. Die Vergleichbarkeit zwischen den Messreihen hat bislang an allen Stellen gut funktioniert und ist auch beim Mobilfunk gewährleistet.

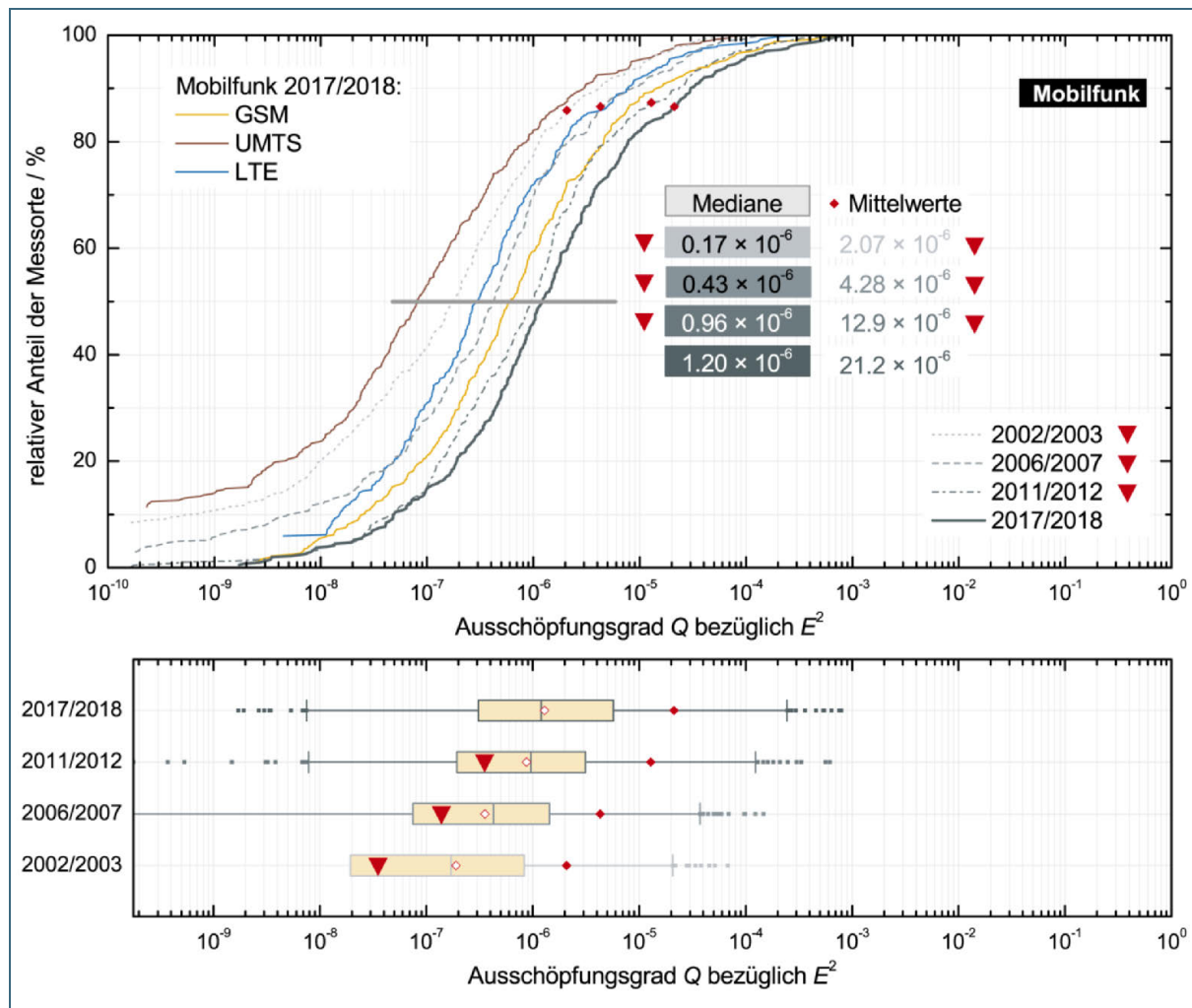


Abb. 61: Verteilung der Ausschöpfungsgrade beim Mobilfunk (2002 – 2012: Darstellung auf Effektivwerte umgerechnet). Die Ergebnisse der früheren Messreihen wurden zur Vergleichbarkeit mit der aktuellen Messreihe auf RMS-Werte korrigiert. Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.

### 6.3 Mobilfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS-Funk)

BOS-Funk ist die Sammelbezeichnung für den nicht-öffentlichen Mobilfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben. Er besteht aus analogen und digitalen Funksystemen in verschiedenen Frequenzbereichen (Tab. 18). Die seit Jahrzehnten etablierte analoge Kommunikation zwischen den Teilnehmern wird seit einigen Jahren durch ein gemeinsames digitales Mobilfunknetz abgelöst. Während der vierten Messreihe – und auch noch im Jahre 2020 – waren analoge und digitale Netze parallel in Betrieb.

Die analogen BOS-Netze zeichnet eine Gemeinsamkeit aus: Im Gegensatz zu digitalen Funknetzen sind sie netzseitig nicht organisiert, das heißt eine Funkaktivität kommt immer nur dann zu Stande, wenn der jeweilige Teilnehmer die Sprechfunktaste betätigt. Dagegen arbeitet das digitale TETRA-System sehr ähnlich wie GSM und strahlt einen permanenten Organisationskanal aus, an dem mobile Endgeräte das BOS-Netz erkennen und sich einbuchen können. Für die Immissionen bedeutet das, dass analoge BOS-Netze für das EMF-Monitoring quasi unsichtbar sind. Es kommt lediglich dann zu

einem von Null verschiedenen Immissionswert, wenn während der kurzen Zeitspanne, in der das entsprechende Messpaket für analogen BOS-Funk aktiv ist<sup>83</sup>, eine Funkübertragung stattfindet. Das war sogar erstaunlich oft an 30 % der Messpunkte der Fall. Die BOS-Immissionen stammen deshalb hauptsächlich (2017/2018 zu 92 %) von TETRA, das unabhängig von der Netzauslastung zumindest eine Grundexposition durch den Organisationskanal erzeugt. An 398 der 403 Messpunkte lagen folglich auch von Null verschiedene Immissionen vor. An den verbleibenden fünf Messpunkten könnte das digitale BOS-Netz zwar ebenfalls verfügbar gewesen sein, jedoch mit zu geringer Feldstärke, um vom Messsystem erfasst zu werden.

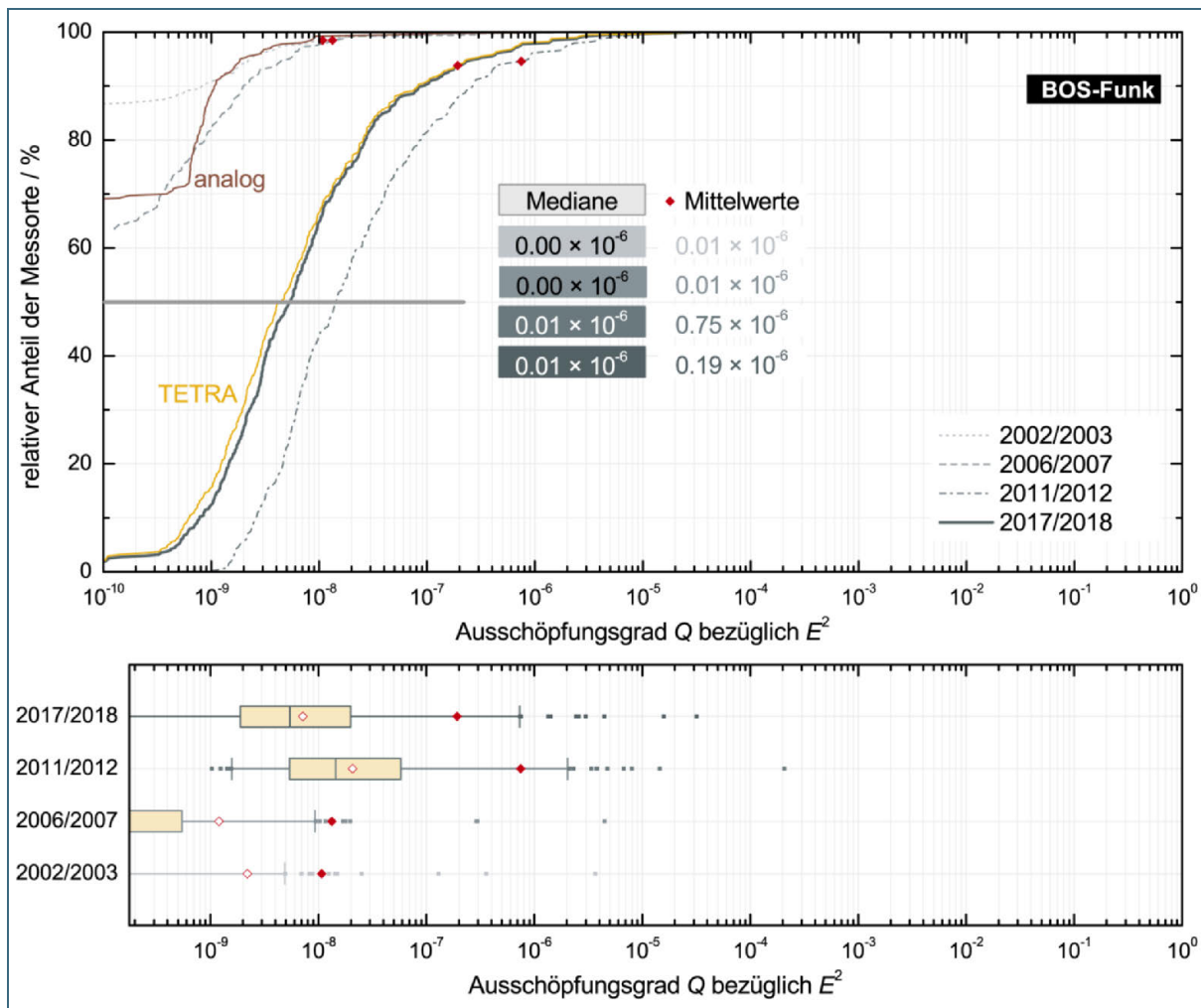


Abb. 62: Verteilung der Ausschöpfungsgrade beim Mobilfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben. Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.

<sup>83</sup> Als Erweiterungspaket wird es an jedem Messpunkt nur einmal durchlaufen. Die Messzeit beträgt circa 45 s.



Tab. 18: BOS-Frequenzbereiche.

| Frequenzbereich Mobilteilnehmer | Frequenzbereich Relaisstation | Bezeichnung          | Nutzung              |
|---------------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|
| 34,35 MHz – 35,81 MHz           | 38,45 MHz – 39,91 MHz         | 8-Meter-Band, analog | Richtfunkstrecken    |
| 74,2 MHz – 77,5 MHz             | 84,0 MHz – 87,3 MHz           | 4-Meter-Band, analog | Leitstellenfunk      |
| 165,2 MHz – 169,4 MHz           | 169,8 MHz – 174,0 MHz         | 2-Meter-Band, analog | Einsatzstellenfunk   |
| 443,6 MHz – 445,0 MHz           | 448,6 MHz – 450,0 MHz         | 70-cm-Band, analog   | Richtfunkstrecken    |
| 380 MHz – 390 MHz               | 390 MHz – 400 MHz             | TETRA                | digitaler Bündelfunk |

Beim BOS-Funk – egal ob analog oder digital – ist es im Gegensatz zum kommerziellen Mobilfunk möglich, auch die Uplinks der Mobilteilnehmer in die BOS-Immissionen einzubeziehen. Es ist weder im Messwagen ein BOS-Funkgerät verbaut noch verfügen die Mitarbeiter über private oder dienstliche BOS-Handfunkgeräte. Eine intrinsische Beeinflussung der Exposition ist somit ausgeschlossen. Die BOS-Auswertungen beziehen deshalb in allen Frequenzbereichen auch die Immissionen der Endgeräte mit ein, wenngleich auch für sie gilt: Ein Signal kann nur dann detektiert werden, wenn ein Mobilteilnehmer die Sprechfunktaste betätigt. Die geringe Auslastung aller BOS-Netze führt dazu, dass die gesamten BOS-Immissionen im Schnitt zu 92 % aus den Immissionen des BOS-TETRA-Downlinks bestehen. Ähnlich wie bei GSM ist auch bei TETRA ein Carrier permanent und lastunabhängig in der Luft – TETRA wird folglich nicht nur dann gemessen, wenn ein Funkruf erfolgt, sondern jederzeit, solange das Netz am Messpunkt mit ausreichender Feldstärke empfangen wird. Eine weitere Separation in Organisations- und Verkehrskanäle des Downlinks ist leider nicht möglich, da ebenso wie bei GSM die Möglichkeit besteht, Verkehr zunächst auf ungenutzten Zeitschlitzten im Organisationskanal unterzubringen. Ein Funkruf auf diesem Kanal würde dann lediglich eine Variation seiner Feldstärke bedeuten und ist deshalb nicht isolierbar.

Insgesamt betrachtet spielt BOS für die Immissionssituation eine untergeordnete Rolle.<sup>84</sup> Dessen Immissionen liegen etwa zwei Größenordnungen unter denen des kommerziellen Mobilfunks. 2017/2018 ergab sich für den Ausschöpfungsgrad  $Q_{E2}$  ein Median von nur  $0,01 \cdot 10^{-6}$  und ein Mittelwert von  $0,19 \cdot 10^{-6}$  (Abb. 62 und Tab. 42 (S. 142)).

## 6.4 Sonstige Funkdienste

Die sonstigen Funkdienste sind in Tab. 19 aufgelistet. Dazu gehören zum Beispiel CB-Funk, Taxifunk, Pagerdienste oder DECT. *Nicht* zu den sonstigen Funkdiensten gehören die Uplinks des Mobilfunks, da sich hier unweigerlich private und dienstliche Mobilgeräte wiederfinden, deren Beiträge auf Grund der Nähe zu den Monitoring-Antennen stets dominieren. Gleiches gilt für WLAN, das ebenfalls angenommen wurde.

<sup>84</sup> Erwähnenswert ist lediglich, dass in der vorherigen Messreihe ein höherer Mittelwert von  $0,75 \cdot 10^{-6}$  gemessen wurde, und auch der Median höher lag – wenngleich er rundungsbedingt mit ebenfalls  $0,01 \cdot 10^{-6}$  ausgewiesen ist. Zwar verwendet TETRA ähnliche Konzepte wie GSM, aber es arbeitet mit anderen Modulationsverfahren. Bei der Verwendung eines Peakdetektors oder – wie bei RFEX der Fall – eines schlecht angesteuerten RMS-Detektors führt das Modulationsverfahren ähnlich wie bei EDGE zu einer Überbewertung von circa 3 dB. Das Messpaket der aktuellen Messreihe wurde hingegen mittels Signa generator validiert und gilt als zuverlässig. Daher kommt vermutlich der scheinbare Immissionsrückgang in der aktuellen Messung. Auf den Versuch einer aufwändigen Korrektur der BOS-Ergebnisse aus der Messreihe 2011/2012 wurde allerdings angesichts der untergeordneten Bedeutung der Immissionen dieses Funkdienstes verzichtet. Der scheinbare Rückgang kann zudem auch in einer besondere Sensitivität der Auswertung für die Wahl der Nachweisschwelle begründet sein: Da mit Werten nahe der Nachweisschwelle hantiert wird, sorgt bereits eine geringe Variation derselben dafür, dass entweder Rauschen als schwacher Peak eingestuft wird, oder umgekehrt ein schwaches Signal herausgefiltert wird. Zudem ist das Messsystem der aktuellen Messreihe bei TETRA-BOS etwa 7 dB unempfindlicher als das alte Messsystem. Manch schwache Immission ließ sich deshalb nicht mehr detektieren.

Die Immissionen sonstiger Funkdienste sind ebenso wie die des BOS-Funks nur von geringer Bedeutung für die Gesamtimmissionen. Sie kommen in erster Linie durch DECT-Anlagen zu Stande, die schon seit zwei Jahrzehnten in fast jedem Haushalt anzutreffen sind. Der DECT-Standard kann als „häusliches Pendant“ zu GSM betrachtet werden: Eine Basisstation dient als Vermittlung zwischen den über Funk angebundenen Mobilteilen und dem Telefonnetz<sup>85</sup>. Sie sendet periodisch ein Bereitschaftssignal, an dem die Mobilteile die Verfügbarkeit und Empfangsstärke der Basisstation erkennen können.<sup>86</sup> Wie bei GSM oder TETRA ergibt sich daraus ein gewisser Grundpegel an Feldstärke und Exposition, der durch Telefongespräche geringfügig ansteigt. Eine Separation in die Immissionsanteile des Organisationskanals der Basisstation einerseits und Verkehrsdaten andererseits ist nicht möglich.

Tab. 19: Sonstige Funkdienste.

| Frequenzbereich    | Erläuterung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1,6 MHz – 30 MHz   | Alle Kurzwellenfrequenzen, die nicht in einem der in Tab. 14 genannten Rundfunkbänder liegen. Darunter fällt beispielsweise CB-Funk.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 30 MHz – 87,5 MHz  | Frequenzbereiche, die nicht in einem der in Tab. 18 genannten BOS-Frequenzbänder liegen. Beinhaltet das ehemalige und (terrestrisch) inzwischen brachliegende Fernsehband VHF I mit den TV-Kanälen E2, E3 und E4. Durch Leckagen in den Kabelnetzen werden hier weiterhin geringe Immissionen gemessen.                                                                                                                                                                                                                           |
| 108 MHz – 174 MHz  | Frequenzband zwischen UKW und VHF III (Digitalradio). Beinhaltet den zivilen Flugfunk, Navigationssender der Flugsicherung, private nicht öffentliche Funknetze (zum Beispiel Taxi, Fuhrunternehmen, Baustellenfahrzeuge).                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 230 MHz – 380 MHz  | Frequenzband zwischen VHF III (Digitalradio) und TETRA-BOS. Beinhaltet zum Beispiel militärischen Flugfunk.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 400 MHz – 470 MHz  | Frequenzbereiche, die nicht in einem der in Tab. 18 genannten BOS-Frequenzbänder liegen. Beinhaltet zwei Frequenzbereiche, in denen Kommunikation von Nicht-BOS-Organisationen nach dem TETRA-Standard abgewickelt wird. Hierzu zählen beispielsweise manche Stadtwerke, deren Leitstelle dort mit U-Bahnen, Trams sowie Bussen kommuniziert. Bei 466 MHz wird der Pager-Dienst e*Cityruf betrieben. Auch ISM-Nutzung bei 433 MHz ist hier enthalten, beispielsweise für Funkthermometer, Fahrzeugschlüssel oder Funktürklingeln. |
| 863 MHz – 870 MHz  | ISM-Frequenzband, beispielsweise für Funkthermometer oder Alarmanlagen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 0,96 GHz – 6,0 GHz | Verschiedene Frequenzbereiche, die nicht dem kommerziellen Mobilfunk zugewiesen sind, darunter DECT. WLAN ist ausgenommen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

Der Anteil von DECT an den gesamten sonstigen Immissionen betrug 2017/2018 etwa 41 %. In der vorherigen Messreihe hatte er sogar bei 63 % gelegen. Von 2011/2012 bis 2017/2018 ist der DECT-Median von  $0,02 \cdot 10^{-6}$  auf unter  $0,01 \cdot 10^{-6}$  gefallen, der Mittelwert von  $0,03 \cdot 10^{-6}$  auf  $0,01 \cdot 10^{-6}$ . Die Zahl der Festnetz-Telefonanschlüsse liegt aber schon seit 20 Jahren bei  $38 \pm 1$  Millionen, sodass in derart massiver Rückgang der DECT-Immissionen sicherlich nicht auf den Rückbau von DECT-Anlagen zurückzuführen ist.

<sup>85</sup> Ursprünglich analoges Festnetz oder ISDN, inzwischen in der Regel Voice-over-IP am Internetanschluss.

<sup>86</sup> Es gibt auch Systeme, die auf diese periodische Signalisierung unter bestimmten Umständen verzichten, was als „Eco-DECT“ oder „Eco Mode Plus“ vermarktet wird. Solche Basisstationen entsprechen aber nicht mehr dem DECT-Standard und sind auch nicht sonderlich verbreitet.

Mögliche Gründe sind stattdessen:

- Die Anzahl der Gesprächsminuten im Festnetz ist seit über 10 Jahren rückläufig.
- Genau wie bei TETRA<sup>87</sup> reagiert die Auswertung bei Immissionen dieser Größenordnung empfindlich auf die Festlegung der Nachweisschwelle. Dadurch kommen Unsicherheiten zu Stande.
- Ein weiterer Einflussfaktor ist die dynamische Kanalwahl mancher Basisstationen, die im Prinzip dem von GSM bekannten Frequency Hopping entspricht. Ein und dasselbe DECT-Signal wird dadurch gleichzeitig auf scheinbar mehreren DECT-Kanälen erfasst, woraus eine entsprechende Überbewertung resultiert, wenn die Messeinstellungen diesem Umstand nicht penibel Rechnung tragen. Das mit Signalgenerator validierte RMS-Messpaket der Messreihe 2017/2018 verdient in dieser Hinsicht größeres Vertrauen.

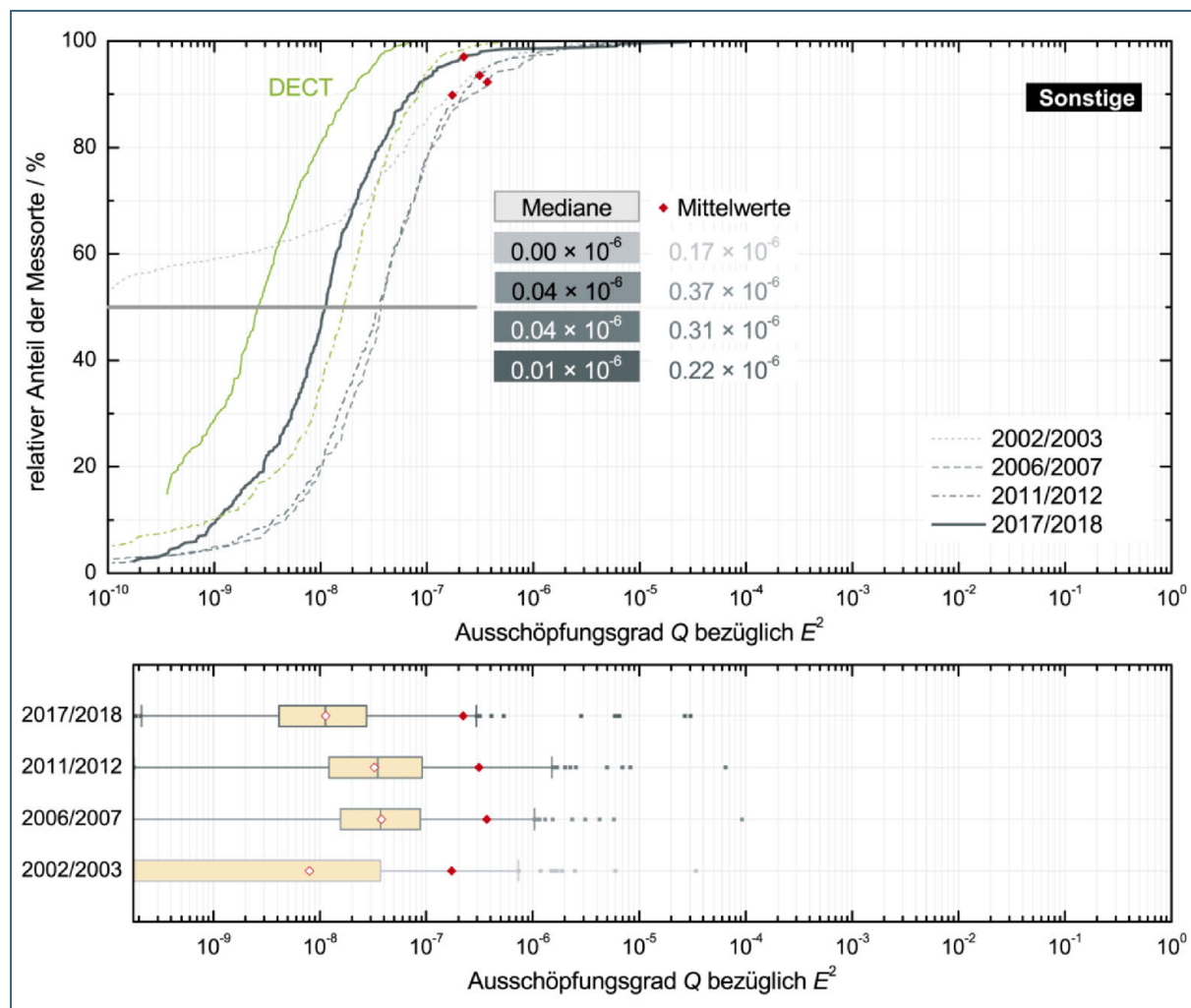


Abb. 63: Verteilung der Ausschöpfungsgrade sonstiger Funkdienste. Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.

<sup>87</sup> Bei TETRA wurde darüber hinaus angemerkt, dass die mit RFEX Version 4.1.6 gewonnenen RMS-Daten fehlerbehaftet sein könnten und die tatsächliche Exposition überschätzen. Um dies auszuschließen erfolgte die Auswertung der DECT-Daten 2011/2012 auf Basis der MaxPeak-Werte, die parallel zu den RMS-Werten erfasst wurden. Sie wurden um -14 dB korrigiert, was der Annahme entspricht, dass von den 24 Zeitschlitzten eines DECT-Frames nur jeweils einer – entweder als Bereitstellungssignal der Basisstation oder als Verkehrsdaten der Mobilstation – belegt ist. Dies entspricht der Vorgehensweise der Messreihen 2002/2003 und 2006/2007.

Insgesamt sollte deshalb nicht von einem „deutlichen Rückgang“ sonstiger Immissionen gesprochen werden. Vielmehr legen die Ergebnisse nahe, dass die sonstigen Immissionen im Rahmen der Messunsicherheiten etwa gleichbleibend auf sehr niedrigem Niveau in der Größenordnung von  $0,01 \cdot 10^{-6}$  liegen.

## 6.5 Gesamtbetrachtung

Die Gesamtexposition für die thermische Wirkung setzt sich aus Rundfunk, (kommerziellem) Mobilfunk, BOS-Funk und sonstigen Funkdiensten zusammen. Beim Mobilfunk fließen bei den ersten drei Messreihen die umgerechneten GSM-Effektivwerte in die Gesamtbetrachtung ein. Die vollständigen unveränderten Daten und die zugehörigen Verteilungskurven sind in Tab. 44 (S. 146) und Abb. 85 (S. 145) gezeigt.

Abb. 64 fasst noch einmal die Immissionsbeiträge und deren Entwicklung zusammen:

- Die Rundfunkimmissionen sind seit Beginn des Monitorings kontinuierlich gesunken. Zuletzt hat die deutschlandweite Abschaltung des Lang-, Mittel- und Kurzwellenhörfunks zu einer weiteren deutlichen Immissionsabnahme geführt.
- Auf der anderen Seite sind Mobilfunkimmissionen stetig gestiegen. Einst Luxusgut und Statussymbol für Manager hat Mobilfunk längst den Durchbruch auf breiter Front geschafft. Infolgedessen sind inzwischen vier (zum Zeitpunkt der Messreihe 2017/2018: drei) Netzgenerationen je dreier Netzbetreiber parallel in Betrieb, die nun auch abgelegene Wohngebiete in kleinen Ortsteilen bis hin zu Einzelanwesen erreichen.
- BOS- und andere Funkdienste spielen nach wie vor eine untergeordnete Rolle.

In der Summe haben diese Entwicklungen dazu geführt, dass in der Messreihe 2017/2018 Mobilfunk erstmals die dominierende Expositionsquelle bildet. Zuletzt (2011/2012) war dies schon in städtischen Gebieten der Fall, aber noch nicht landesweit. Der Mobilfunk hat hierfür aber Schützenhilfe erhalten: Die massiven Senderabschaltungen beim Hörfunk haben wesentlich zur Umverteilung der Immissionsanteile beigetragen.<sup>88</sup> Bereits der Abschlussbericht zur dritten Messreihe zog die Schlussfolgerung, Mobilfunk sei die bayernweit dominierende Immissionsquelle geworden [1] (S. 108 f.). Nach den damaligen Maßstäben war dem auch so. Es war bekannt, dass eine Überschätzung der Mobilfunkimmissionen vorliegt; sie konnte aber nicht quantifiziert und mit der seinerzeit eingesetzten Messtechnik auch nicht beseitigt werden. Die Messreihe 2017/2018 ist die erste, die für alle Funkdienste valide RMS-Messwerte zur Grundlage hat. Auf dieser Basis beruht auch die Feststellung des Mobilfunks als dominierende Immissionsquelle – das ist Fakt. Mit Unsicherheiten verbunden ist dagegen der Versuch, die Mobilfunkergebnisse der Messreihe 2011/2012 direkt vergleichbar zu machen, das heißt eine Abschätzung vorzunehmen, wie hoch die RMS-Immissionen seinerzeit ausgefallen wären. Und auf dieser Basis lag der Immissionsanteil des Mobilfunks 2011/2012 bei 38 %, der des Hörfunks bei 47 % und der des Fernsehens bei 11 %. Retrospektiv betrachtet lag der Hauptbeitrag deshalb während der dritten Messreihe noch beim Hörfunk.

<sup>88</sup> Zum Vergleich: Hätten sich die Hörfunkimmissionen seit 2011/2012 nicht verändert, dann ergäbe sich folgende Zusammensetzung: 43 % Hörfunk, 11 % Fernsehen, 43 % Mobilfunk, 2 % BOS und 1 % sonstige Funkdienste.

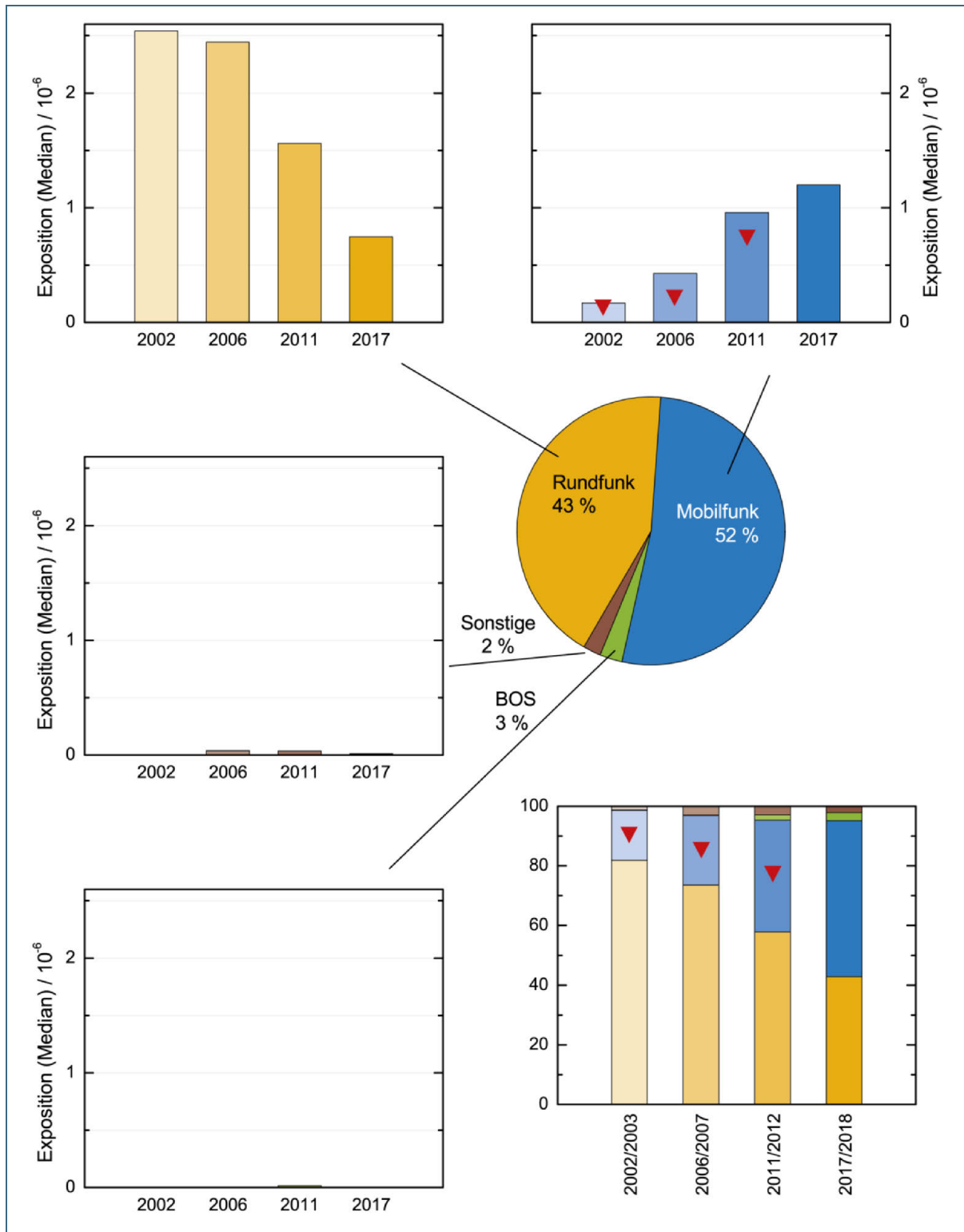


Abb. 64: Zusammensetzung der Gesamtmissionen aus den Funkdiensten Rundfunk, Mobilfunk, BOS-Funk und Sonstigen (Kreisdiagramm) für die Messreihe 2017/2018. Die zugehörigen Balkendiagramme zeigen die zeitliche Entwicklung der Mediane der Gesamtmissionen von Messreihe zu Messreihe. Rechts unten: Entwicklung der Zusammensetzung der Gesamtmissionen im Laufe der Messreihen. In allen Beiträgen des Mobilfunks erfolgte zur Vergleichbarkeit mit der aktuellen Messreihe eine Umrechnung der GSM-Beiträge früherer Messreihen auf RMS-Werte.



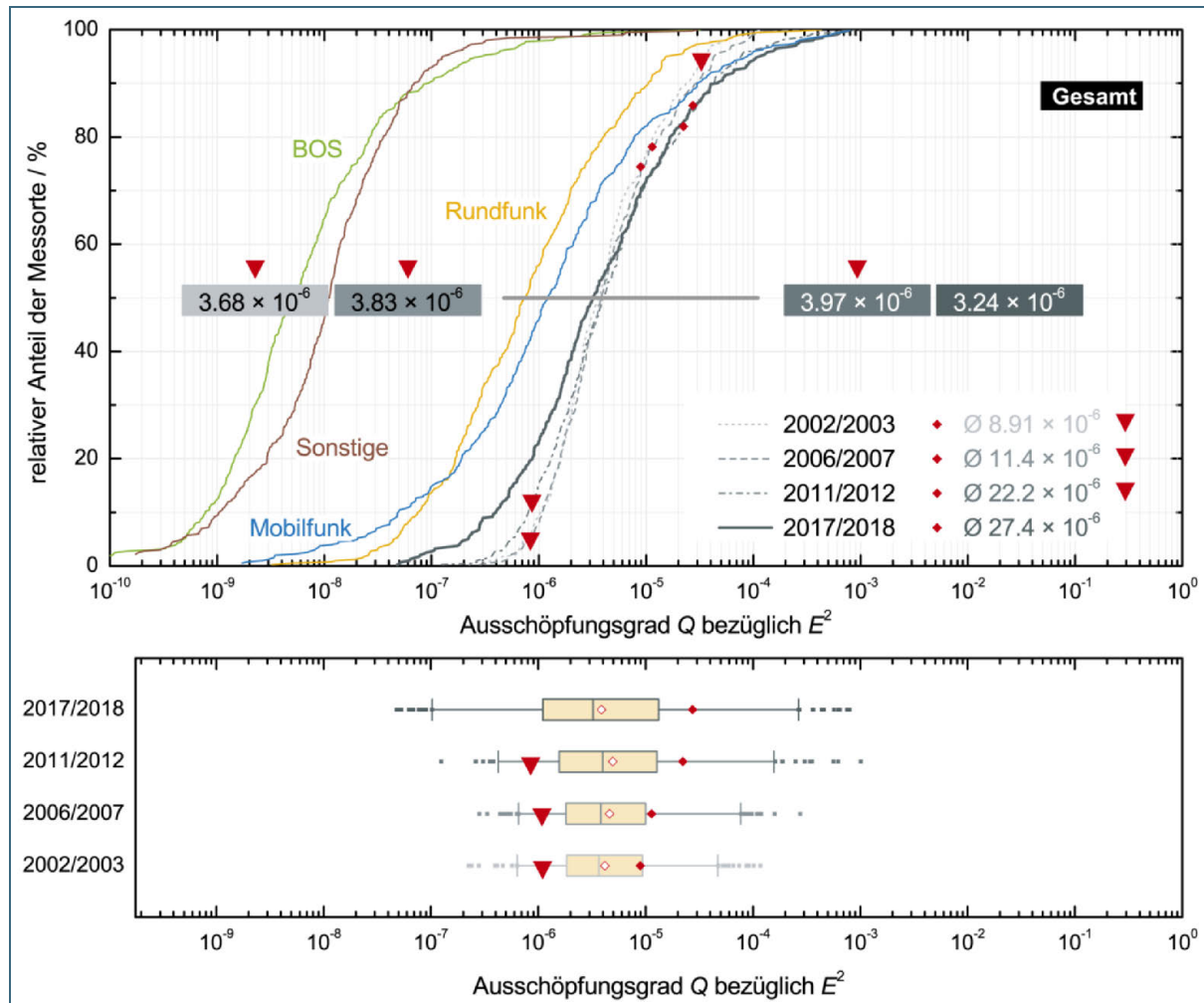


Abb. 65: Verteilung der Ausschöpfungsgrade im Gesamtbereich thermischer Wirkung (2002 – 2012: Darstellung auf Effektivwerte umgerechnet). Die GSM-Beiträge der früheren Messreihen wurden zur Vergleichbarkeit mit der aktuellen Messreihe auf RMS-Werte korrigiert. Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.

In der dritten Messreihe war ferner eine moderate Zunahme der Gesamtmissionen im Zeitraum von 2006/2007 bis 2011/2012 festgestellt worden. Jetzt kommt es erstmals zu einem geringen Rückgang der Immissionen. Offensichtlich ist es so, dass sich verschiedene Entwicklungen gegenseitig gut kompensieren:

- Der geringe Rückgang der Rundfunkimmissionen zwischen 2002/2003 und 2006/2007 gleicht die ebenfalls geringe Zunahme der Mobilfunkimmissionen aus.
- Zwischen 2006/2007 und 2011/2012 halten sich der deutliche Anstieg – mehr als eine Verdoppelung – beim Mobilfunk und ein ebenfalls deutlicher Rückgang beim Rundfunk die Waage.
- Auch zwischen dritter und vierter Messreihe kompensiert die Abnahme der Rundfunkimmissionen die Zunahme der Mobilfunkimmissionen.

Leistungsstarke Lang-, Mittel- und Kurzwellensender waren von jeher die (ge)wichtigsten Immissionsbeiträge. Ihr Wegfall halbiert den Rundfunkmedian innerhalb des Zeitraums zwischen 2012 und 2017 ( $1,56 \cdot 10^{-6} \rightarrow 0,75 \cdot 10^{-6}$ ). Der Mobilfunkmedian hat währenddessen aber weniger stark zugenommen ( $0,73 \cdot 10^{-6} \rightarrow 1,20 \cdot 10^{-6}$ ), sodass unter dem Strich eine Abnahme der Gesamtmissionen verbleibt.

Angesichts der Unsicherheiten, die mit der Abschätzung der RMS-Mobilfunkergebnisse für die früheren Messreihen verbunden sind, sollte dieser mathematische Expositionsrückgang allerdings nicht als solcher interpretiert werden. Die Daten erlauben durchaus die Interpretation einer annähernd gleichbleibenden Exposition in bayerischen Wohngebieten – bereits seit der ersten Messreihe.

Schließlich darf die Diskussion um Zu- und Abnahmen nicht darüber hinwegtäuschen, dass sich das Immissionsniveau weiterhin gut fünf Größenordnungen unterhalb des Grenzwerts bewegt. Selbst der am stärksten exponierte Messpunkt erreicht gerade 1 ‰ des Grenzwerts. Das heißt freilich nicht, dass es in Bayern keine hoch exponierten Immissionsorte gibt, sondern lediglich, dass an den (statistisch ausgewählten) Stellen in Wohngebieten, an denen im Rahmen des Monitorings gemessen wurde, sehr niedrige Immissionen vorherrschen.

## 6.6 Gegenüberstellung der Immissionsverteilungen von Rundfunk und Mobilfunk

Zum Abschluss sollen die Immissionen der Rundfunk- und Mobilfunkimmissionen nochmals direkt gegenübergestellt werden. Die Verteilungen wurden in Klassen eingeteilt. Die zeitliche Entwicklung wird so gut sichtbar.

Die resultierenden Histogramme sind in Abb. 66 dargestellt. Alle acht Grafiken sind identisch skaliert. Die Anzahl der Klassen wurde nach der Rice-Regel<sup>89</sup> ermittelt:

$$n = \lceil 2 \cdot \sqrt[3]{N} \rceil = 15 \quad (6.3)$$

Da sich die Ausschöpfungsgrade über mehrere Größenordnungen erstrecken, wurden sie logarithmisch in Immissionsklassen eingeteilt. Die (logarithmische) Klassenbreite wurde gemäß der Regel von Freedman und Diaconis berechnet:

$$h = \frac{2 \cdot \text{IQR}}{\sqrt[3]{N}} \approx 0,33 \quad (6.4)$$

Je drei aufeinander folgende Klassen ergeben somit eine Größenordnung. Mit Ausnahme der ganz linken ( $Q_{E2} \lesssim 7 \cdot 10^{-9}$ ) und ganz rechten Klassen ( $Q_{E2} \gtrsim 1,5 \cdot 10^{-4}$ ) sind alle Klassen in allen Diagrammen gleich breit. Deren Höhen spiegeln deshalb direkt die Häufigkeitsverhältnisse wider. Die Klassen an den Rändern sind dagegen breiter, weil sie sich bis zum kleinsten beziehungsweise größten Immissionswert erstrecken müssen.

Die Klasseneinteilung von der kleinsten zur größten Klasse ist zum Zweck der direkten Vergleichbarkeit ebenfalls für alle Histogramme identisch gewählt. Die Zentralklasse liegt bei  $Q_{E2} = 1 \cdot 10^{-6}$ ; je sieben Klassen bilden niedrigere und höhere Ausschöpfungsgrade ab. Die graue Linie markiert jeweils die Lage des Medians. Sie teilt die Häufigkeiten links und rechts davon hälftig auf.

<sup>89</sup> Benannt nach der William Marsh Rice University in Houston, Texas.

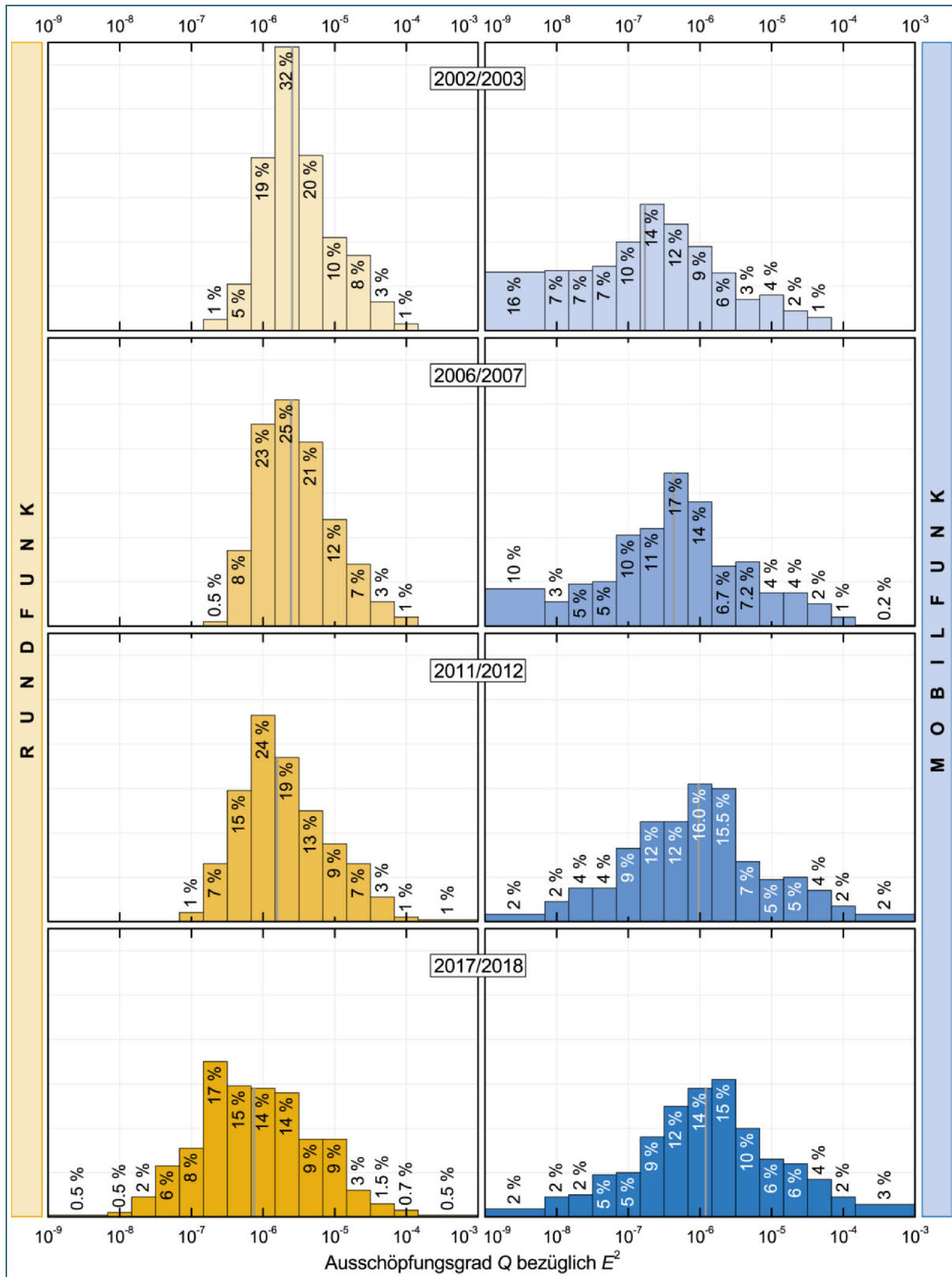


Abb. 66: Histogramme der Rundfunk- und Mobilfunkimmissionen. Die graue Linie markiert den Median. Alle Diagramme sind identisch skaliert. Die Klassen links und rechts eines Teilstrichs entsprechen circa der Hälfte beziehungsweise dem Doppelten des dort genannten Ausschöpfungsgrads. Abweichungen der Summe von 100 % sind durch Rundungsdifferenzen bedingt.

In der Grafik ist sehr gut zu erkennen, wie sich die Rundfunkimmissionen einerseits tendenziell in Richtung kleinerer Werte verschieben und andererseits auch eine zusehends breitere Verteilung aufweisen. Die Verbreiterung kommt zu Stande, da inzwischen auch kleinere Ausschöpfungsgrade mehr Gewicht erhalten – also häufiger auftreten – und Werte von  $Q_{E2} \lesssim 10^{-7}$  inzwischen erstmals auftreten. In den früheren Messreihen kam es durch die flächendeckende Versorgung mit Lang-, Mittel- und Kurzwellenrundfunk im Prinzip überall zu einem gewissen Mindestlevel der Exposition.

Umgekehrt sind beim Mobilfunk niedrige Ausschöpfungsgrade ( $Q_{E2} \lesssim 10^{-7}$ ) deutlich rückläufig. Die Breite der Verteilung verändert sich von Messreihe zu Messreihe kaum. Stattdessen verschiebt sich die Verteilung sukzessive zu höheren Ausschöpfungsgraden. Werte von  $Q_{E2} \gtrsim 10^{-5}$  werden häufiger und treten zum Teil erst allmählich in Erscheinung.

## 7 Zusammenfassung

Das EMF-Monitoring des Freistaats Bayern ist ein statistisch angelegtes Messprogramm, das seit 2002 an grundsätzlich jeweils denselben Messpunkten in Wohngebieten durchgeführt wird. Es ist in seiner Form weltweit einmalig und beantwortet die Fragen nach Art, Herkunft und langfristigen Trends der Immissionen durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder. Mit den nun vorliegenden Ergebnissen der vierten Messreihe der Jahre 2017 und 2018 ergibt sich ein wertvoller Datenbestand, der insbesondere die Funklandschaft mit ihren vielfältigen Entwicklungen der vergangenen zwei Dekaden dokumentiert.

Die vierte Messreihe stellt eine messtechnische Neukonzeption des EMF-Monitorings dar. Mit vollständig neuer Messausrüstung im Bereich der hochfrequenten elektromagnetischen Felder konnte der Frequenzbereich nach oben erweitert werden. Er erstreckt sich nun lückenlos von 10 Hz bis 6 GHz. Damit wurde die Voraussetzung geschaffen, künftig auch die neuen 5G-Frequenzen zwischen 3,4 GHz und 3,7 GHz einzubeziehen, für die die Bundesnetzagentur 2019 den Weg freigemacht hat. Eine neu entwickelte Software steuert das Gesamtpaket an Messgeräten, liest die Messdaten aus, speichert sie ab und übernimmt die Auswertung. Alle Messungen basieren nun konsequent auf Effektivwerten; es werden also leistungsbezogene Immissionsmittelwerte erfasst, die im Hochfrequenzbereich direkt proportional zu den biologischen Wirkungen sind. Dadurch ist dies auch die erste Messreihe, die die Mobilfunkimmissionen valide – ohne Verzerrungen durch mögliche Überbewertungen – nach den Netzgenerationen (GSM, UMTS und LTE) trennen kann. Die Ergebnisse dieser Messreihe können deshalb als Referenz betrachtet werden. Dennoch ist die Vergleichbarkeit der Messdaten mit denen früherer Messreihen gewährleistet. Die fünfte und damit die nächste Messreihe wird auf den Erfahrungen und der geleisteten Arbeit aufbauen und mit Anpassungen der Messpakete an 5G fortfahren können – Kapitel 8 gibt einen Ausblick, welche Weiterentwicklungen bis dahin zu erwarten sind.

Daneben gibt es auch eine bemerkenswerte Kontinuität: Von den insgesamt 403 Messpunkten sind 398 seit Beginn der Messungen im Jahr 2002 gleichgeblieben – trotz vieler baulicher Änderungen im Umfeld sowohl städtischer als auch ländlicher Messpunkte.

Elektromagnetische Felder verschiedener Frequenzen führen zu unterschiedlichen biologischen Wirkungen. Der Gesetzgeber trägt diesem Umstand Rechnung, indem er zum einen nach *Stimulationswirkungen* (beim Einwirken von Frequenzen bis 10 MHz) und *thermischen Wirkungen* (bei Frequenzen ab 100 kHz) differenziert, und zum anderen eine Frequenzabhängigkeit der Grenzwerte vorgibt. Die Monitoringberichte folgen dieser Systematik, bilden Ausschöpfungsgrade gemäß den Summationsregeln für Immissionsbeiträge und separieren nach den Wirkmodellen.

### 7.1 Ergebnisse im Frequenzbereich der Stimulationswirkungen (bis 10 MHz)

Die Exposition im Frequenzbereich der *Stimulationswirkungen* besteht aus den Beiträgen niederfrequenter Felder und den Funkwellen des Lang-, Mittel- und Kurzwellenrundfunks.

Niederfrequente Felder rühren von der Energieversorgung her. Für Industrie, Gewerbe und Haushalte kommen Wechselspannungen (→ elektrische Wechselfelder) und Wechselströme (→ magnetische Wechselfelder) der Frequenz 50 Hz zum Einsatz. Die Bahn betreibt darüber hinaus ein unabhängiges Energienetz mit der Frequenz 16,7 Hz. Niederfrequente Felder bilden mit einem Anteil von rund 90 % den Hauptbeitrag zu den Gesamtmissionen durch *magnetische Felder* (obere Grafiken in Abb. 67). Sie bleiben seit Beginn des EMF-Monitorings auf etwa gleichem Niveau mit einem Median von circa



0,9 ‰ des Grenzwerts für die magnetische Feldstärke. Die bisherigen Maßnahmen im Rahmen der Energiewende zeigen bislang keinen Einfluss auf die Immissionen.

Der Hauptbeitrag zu den Gesamtimmissionen *elektrischer Felder* stammt vom Lang- und Mittelwellenrundfunk (untere Grafiken in Abb. 67). Dort wurde die Hörfunkverbreitung fast vollständig beendet. Dadurch ergibt sich ein deutlicher Rückgang der Exposition: Der Median für die vierte Messreihe liegt bei 1,5 ‰ des Grenzwerts. In den ersten beiden Messreihen hatte er noch 3 ‰ – 4 ‰ betragen. Die verbleibenden Immissionen stammen fast ausschließlich von Datendiensten im Langwellenband, wie beispielsweise dem Zeitzeichensender in Mainflingen.

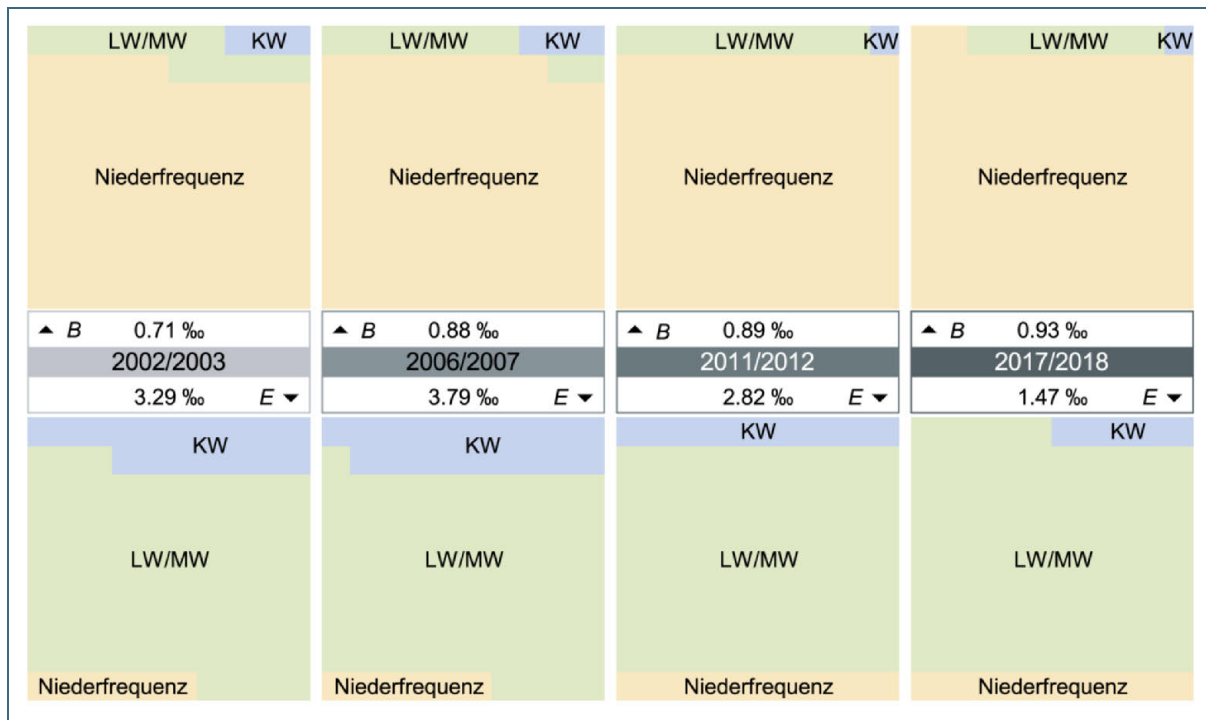


Abb. 67: Zusammensetzung und Entwicklung der Immissionen im Frequenzbereich der Stimulationswirkungen. Oben: magnetische Feldstärke. Unten: elektrische Feldstärke. Die Flächen entsprechen den relativen Anteilen der einzelnen Funkdienste an den Gesamtimmissionen. Die Mediane sind in den Textkästen nochmals genannt.

## 7.2 Ergebnisse im Frequenzbereich thermischer Wirkungen (ab 100 kHz)

Rundfunk und Mobilfunk bilden die Eckpfeiler für die Immissionen im Frequenzbereich der thermischen Wirkung.

**Rundfunkimmissionen** – dazu gehören Hörfunk und Fernsehen – waren zu Beginn des EMF-Monitorings fast alleinige Expositionsquelle im Hochfrequenzbereich. Im Laufe fast zweier Jahrzehnte haben vor allem die Entwicklungen der Lang-, Mittel- und Kurzwellenverbreitung von Hörfunkprogrammen zu einer deutlichen Abnahme der Rundfunkimmissionen geführt: Seit 2002 ist der Median um gut zwei Drittel zurückgegangen. Dabei ist bereits berücksichtigt, dass insbesondere das Digitalradio DAB durch mehr Senderstandorte, höhere Sendeleistungen und der Verbreitung von mehr Bouquets deutlich ausgebaut wurde. Insgesamt setzt sich die Rundfunkexposition heute zu je einem Drittel aus UKW- und DVB-T2-Immissionen zusammen. Das verbleibende Drittel teilt sich DAB mit den Immissionen der übrig gebliebenen Lang-, Mittel- und Kurzwellensendeanlagen, zum Beispiel für Datendienste oder im Ausland.

Die mediale Aufmerksamkeit liegt dagegen schon seit der Zeit der ersten Monitoring-Messreihe beim **Mobilfunk**. Insbesondere dessen rege Bautätigkeit, die Einführung immer neuer Standards und die

Verwendung höherer Frequenzen lösen Verunsicherung und Ängste in der Bevölkerung aus. Die Dynamik in der Mobilfunkentwicklung ist bemerkenswert: Mit Erscheinen dieses Berichts ist bereits die fünfte Mobilfunkgeneration – schlicht „5G“ genannt – großflächig in Betrieb. Zum Zeitpunkt der Messungen war dies noch nicht der Fall; es gab „nur“ drei parallel betriebene Mobilfunkgenerationen von jeweils drei Netzbetreibern.

Nicht nur die Entwicklung des Mobilfunks verläuft außerordentlich rasant, auch dessen Signale weisen eine bemerkenswerte Dynamik auf. Mobilfunk passt sich innerhalb von Sekundenbruchteilen an sich verändernde Umgebungsbedingungen an: Sendeleistungen werden für jede einzelne Verbindung der Teilnehmer laufend an die Qualität der Funkstrecke angepasst und die Netzgeneration – also GSM, UMTS oder LTE – wird bei Bedarf bei laufender Verbindung gewechselt. Die Immissionen hängen deshalb von der Nutzung der Mobilfunknetze während der Messungen ab. Die vierte Messreihe setzt konsequent auf die Bestimmung der Exposition in Form von Effektivwerten. Die Ergebnisse vorheriger Messreihen wurden bestmöglich umgerechnet, werden aber zusätzlich auch in der bisherigen Form dargestellt.

Die Mobilfunkexposition zeigt den zum Rundfunk entgegengesetzten Trend: Die Immissionen nehmen seit Beginn des EMF-Monitorings kontinuierlich zu. Rundfunk und Mobilfunk haben dadurch im Laufe der Zeit allmählich die Rollen getauscht: 2002/2003 bestand die Gesamtexposition im Frequenzbereich der thermischen Wirkung zu 82 % aus Rundfunkimmissionen. Inzwischen ist der Anteil des Mobilfunks auf 52 % gestiegen und der des Rundfunks auf 43 % zurückgegangen. Insgesamt kompensieren sich die beiden gegenläufigen Trends weitgehend, sodass es unter dem Strich lediglich zu einer Verschiebung der Immissionsanteile kommt. Die Absolutwerte der Mediane der Gesamtimmissionen bleiben dagegen annähernd konstant (Abb. 68).

*Andere Funkdienste* machen zusammen gerade einmal 5 % der Gesamtexposition aus. Darin ist auch der *Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (TETRA-BOS)* eingeschlossen. Dessen Netzausbau ist inzwischen flächendeckend erfolgt und sorgte ebenso wie der Ausbau der kommerziellen Mobilfunknetze für Diskussionen in den betroffenen Gemeinden. Aus Immissionssicht ist sein Beitrag jedoch vernachlässigbar. Das war bereits abzusehen, denn die Rechtsgrundlage des digitalen BOS-Funks sieht eine maximale Sendeleistung der Basisstationen vor, die deutlich unterhalb derjenigen der Anlagen für die kommerziellen Netze – von denen es darüber hinaus mehrere gibt – liegt.

Die Absolutwerte der Mediane der Gesamtimmissionen im Hochfrequenzbereich bleiben annähernd konstant, aktuell bei  $3,24 \cdot 10^{-6}$  für den Ausschöpfungsgrad der Grenzwerte in Bezug auf das Quadrat der elektrischen Feldstärke.

Die Abschlussgrafik (Abb. 68) fasst die Immissionsentwicklung nochmals gebündelt zusammen.

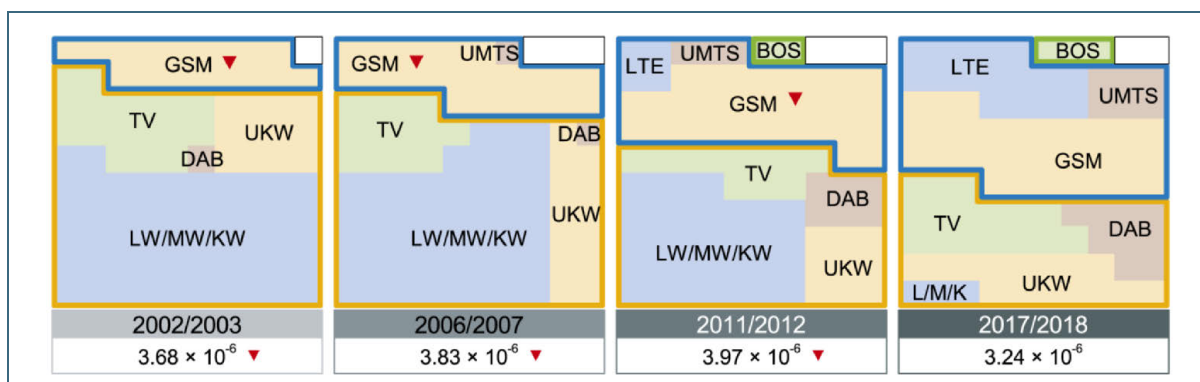


Abb. 68: Zusammensetzung und Entwicklung der Hochfrequenzimmissionen. Orange umrandet: Rundfunkimmissionen. Blau umrandet: Mobilfunkimmissionen. Die Flächen entsprechen den relativen Anteilen der einzelnen Funkdienste an den Gesamtimmissionen. Die Mediane sind in den Textkästen nochmals genannt.

## 8 Ausblick

Das EMF-Monitoring zeichnet sich nicht nur durch sein langjähriges Bestehen und die daraus resultierende Datenmenge aus, sondern auch durch die ständige Anpassung an neue Gegebenheiten. In der Vergangenheit betraf dies beispielsweise neue Mobilfunktechniken – insbesondere LTE, aber auch TETRA-BOS – und die Digitalisierung des Fernsehens. Auch bis zur nächsten Messreihe wird die Zeit nicht stehen bleiben.

### 8.1 Statische Felder

Statische Felder finden sich bislang insbesondere in der Umgebung des öffentlichen Personennahverkehrs, denn U- und Straßenbahnen nutzen üblicherweise eine elektrische Gleichspannung zur Energieversorgung. Daraus resultieren elektrische und magnetische Gleichfelder. Für letztere gibt es eine andere omnipräsente Quelle: den Geodynamo. Das aufgebaute Erdmagnetfeld tritt in Mitteleuropa mit einer durchschnittlichen Flussdichte von 48  $\mu\text{T}$  zu Tage. Befindet man sich nicht in unmittelbarer Nähe zu einer technischen Quelle magnetischer Gleichfelder, wird der Einfluss des Erdmagnetfelds rasch überwiegen. Statische Magnetfelder spielen in der Praxis aus diesem Grund kaum eine Rolle.

In den letzten Jahren kamen Gleichfelder aber fern von U- und Straßenbahnen in die Diskussion: Im Rahmen der Energiewende sind Neubauten leistungsstarker Hochspannungsleitungen in Planung. Einige<sup>90</sup> davon werden die Technik der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HVDC) nutzen, so dass von ihnen im Betrieb statische elektrische und magnetische Felder ausgehen werden. Die Neubauten sind in der Bevölkerung teils heftig umstritten. Das EMF-Monitoring sollte deshalb um Gleichfelder ergänzt werden.

Da zum Zeitpunkt der kommenden Messreihe noch nicht mit einer Fertigstellung dieser Vorhaben zu rechnen ist, kann zunächst eine Bestandsaufnahme zur Vorbereitung durchgeführt werden. Das übernächste EMF-Monitoring kann dann aufzeigen, ob HVDC-Anlagen überhaupt vom Erdmagnetfeld unterscheidbare Immissionen verursachen.

### 8.2 Mobilfunk

Der Mobilfunk der fünften Generation – kurz 5G genannt – spielte für die vierte Messreihe noch keine Rolle. Es sind aber alle Vorbereitungen erfolgt, um ihn in der kommenden Messreihe vollumfänglich erfassen zu können. Insbesondere wurde der Frequenzbereich nach oben auf 6,0 GHz erweitert und bereits durchgehend gemessen. Die Immissionen der bei der Frequenzauktion 2019 neu zugeteilten Frequenzen im Bereich 3,4 GHz – 3,7 GHz können künftig direkt mit der heutigen Ausgangssituation verglichen werden. So kann beobachtet werden, welche Veränderungen der Exposition der Bevölkerung der weitere Netzausbau inklusive 5G mit sich bringt.

Offen bleibt allerdings, inwieweit die Aufschlüsselung der Mobilfunkimmissionen nach Netzgenerationen Bestand haben kann. *Dynamic Spectrum Sharing* (DSS) ermöglicht es, LTE und 5G gleichzeitig im selben Frequenzblock zu betreiben. Die verfügbare Funkressource wird – zeitlich und/oder spektral –

---

<sup>90</sup> Projekt A-Nord: Emden Ost – Meerbusch (Osterath); Projekt Ultramet: Meerbusch (Osterath) – Philippsburg; Projekt SuedLink: Brunsbüttel – Leingarten (Großgartach) und Wilster – Bergheinfeld West; Projekt SuedOstLink: Wolmirstedt – Essenbach (Isar). Die Vorhaben wurden im Bundesbedarfsplangesetz [16, 17] verabschiedet.

bedarfsweise auf 4G- und 5G-Endgeräte verteilt. Die Frequenz lässt sich dadurch nicht mehr eindeutig einer Mobilfunkgeneration zuordnen. Möglicherweise muss der nächste Bericht deshalb den Mobilfunk alternativ nach Frequenzbändern gliedern.

Ein anderer Trend wird erschwerend hinzukommen: Bislang wurden die beiden Übertragungsrichtungen „up“ und „down“, also vom Mobilgerät zur Basisstation beziehungsweise umgekehrt, auf getrennten Frequenzen abgewickelt. Es zeichnet sich ab, dass dieses Verfahren künftig durch einen Zeitduplex (TDD) abgelöst wird. Basisstation und Mobilgerät verwenden dann dieselbe Frequenz und wechseln sich zeitlich ab. Für die Netzbetreiber bringt das den Vorteil mit sich, dass die Funkressource besser genutzt werden kann, denn die verfügbare Kapazität zwischen Up- und Downlink muss nicht mehr zwingend 1:1 betragen. Je nach Bedarf kann den einzelnen Übertragungsrichtungen anteilig mehr oder weniger Zeit – und damit mehr oder weniger Bandbreite – zur Verfügung gestellt werden. Für das EMF-Monitoring ergibt sich jedoch der Nachteil, dass die Immissionen von Basisstationen und Endgeräten zwangsläufig vermischt werden. Wie damit umgegangen werden kann, muss vor der kommenden Messreihe diskutiert werden.

### 8.3 Rundfunk

Bislang werden Radio und Fernsehen über eigene Netze und mit eigenen analogen und digitalen Übertragungstechniken verbreitet. Das könnte sich eines Tages ändern: Mit eMBMS und FeMBMS stehen bereits heute Standards bereit, um Fernsehen über LTE- beziehungsweise 5G-Netze zu übertragen. Die Besonderheit ist, dass es sich nicht um Streams handelt, die einzelne Teilnehmer ohnehin jederzeit in den Datennetzen abrufen können, sondern um Broadcast-Verfahren. Sie lehnen sich an die bedarfsunabhängige Ausstrahlung des klassischen Rundfunks an. Die Verbreitung kann aber auf einzelne Regionen beschränkt sein oder auch ganz entfallen, wenn keine Nachfrage nach den Inhalten besteht.

Mit „5G Today“ besteht seit 2017 ein Pilotprojekt des Instituts für Rundfunktechnik (IRT), des Bayerischen Rundfunks (BR), Kathrein, Rohde & Schwarz und Telefónica [18]. Ein Regelbetrieb ist bislang nicht angedacht, dürfte aber letztlich nur eine Frage der Zeit sein. Je nach konkreter Ausgestaltung könnte „5G Broadcast“ – so der griffigere Arbeitstitel für FeMBMS – auch das EMF-Monitoring vor weitere Herausforderungen stellen. Es ist zwar möglich, 5G Broadcast klassisch mit einem eigenen Sendernetz auszustatten. Bei diesem sogenannten High-Power-High-Tower-Szenario kommen leistungsstarke und exponierte Senderstandorte zum Einsatz, so wie es bislang beim Rundfunk üblich ist. Genauso gut kann 5G Broadcast aber auch in die zellulären kommerziellen Mobilfunknetze integriert werden. Dann werden Mobilfunkdaten und Rundfunkdaten über dieselben Frequenzen abgewickelt, was selbst die grundlegende Trennung der Immissionen in die Kategorien „Rundfunk“ und „Mobilfunk“ unmöglich machen könnte.

## A Verteilungen einzelner Funkdienste

### A.1 Erläuterung

Alle Tabellen in diesem Anhang sind nach einem einheitlichen Schema aufgebaut. Sie geben einen Überblick über die wichtigsten statistischen Kenndaten der Ausschöpfungsgrade. Bezüglich deren Einheiten gilt:

- Alle Werte im Anhang A.2 sind in Einheiten von Promille des Grenzwerts für die magnetische Flussdichte angegeben. Der Wert 1 bedeutet  $B = 1 ‰ \cdot B_{\text{lim}}$ .
- Alle Werte im Anhang A.3 sind in Einheiten von Promille des Grenzwerts für die elektrische Feldstärke angegeben. Der Wert 1 bedeutet  $E = 1 ‰ \cdot E_{\text{lim}}$ .
- Alle Werte im Anhang A.4 beziehen sich auf das Quadrat des Verhältnisses von elektrischer Feldstärke zu zugehörigem Grenzwert, also  $(E/E_{\text{lim}})^2$ . Sie sind in Einheiten von  $10^{-6}$  angegeben. Der Wert 1 bedeutet  $E^2 = 10^{-6} \cdot E_{\text{lim}}^2$ .

Die Messpakete wurden an den Messpunkten in der Regel mehrfach durchlaufen. Die Spalten der Tabellen beziehen sich auf die (zeitliche) Statistik über die verschiedenen Durchläufe an den Messpunkten. Die Zeilen ergeben die Statistik über die Messpunkte selbst. Die Tabelle ist in verschiedene Abschnitte unterteilt, die sich auf die vier Messreihen beziehen. Jeder Abschnitt beginnt mit der fett gedruckten Zeile „Messreihe“ (1).

Der Beispiel Tab. 20 liegt ein Funkdienst einer Messreihe mit drei Messpunkten und jeweils zwei Durchläufen pro Messpunkt zu Grunde. An den Messpunkten haben sich folgende Ausschöpfungsgrade ergeben:

- Messpunkt A: 7,0 und 8,0 (→ Mittelwert AVG 7,5, Minimum MIN 7,0, Maximum MAX 8,0, Standardabweichung SD 0,7)
- Messpunkt B: 24,0 und 19,0 (→ Mittelwert AVG 21,5, Minimum MIN 19,0, Maximum MAX 24,0, Standardabweichung SD 3,5)
- Messpunkt C: 15,0 und 13,0 (→ Mittelwert AVG 14,0, Minimum MIN 13,0, Maximum MAX 15,0, Standardabweichung SD 1,4)

Tab. 20: Beispiel für die Tabellen „Statistische Kenndaten der Ausschöpfungsgrade“.

|                                   | AVG 2 | MIN 3 | MAX 4 | SD 5 |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|------|
| <b>1 Messreihe 1897/1898</b>      |       |       |       |      |
| höchster Wert der Messorte 6      | 21,5  | 19,0  | 24,0  | 3,5  |
| Mittelwert über die Messorte 7    | 14,3  | 13,0  | 15,7  | 1,9  |
| Standardabweichung 8              | 7,0   | 6,0   | 8,0   | 1,5  |
| Variationskoeffizient 9           | 0,49  | 0,46  | 0,51  | 0,78 |
| Median 10                         | 14,0  | 13,0  | 15,0  | 1,4  |
| Quartilsdispersionskoeffizient 11 | 0,13  | 0,12  | 0,15  | 0,38 |

Die Spalten haben folgende Bedeutung (Lesebeispiel im Anschluss):

- AVG (②) bezieht sich auf die Statistik aus den *Mittelwerten* über die Messdurchläufe. Sofern nicht ausdrücklich anderes genannt wird, arbeitet dieser Bericht mit den AVG-Daten.
- MIN (③) und MAX (④) beziehen sich auf die Statistik aus den *Minimal-* und *Maximalwerten* der Messdurchläufe.
- SD (⑤) bildet die Statistik über die Standardabweichung der Messdurchläufe.

Für die Zeilen gilt:

- Der „höchste Wert der Messorte“ (⑥) ist der Maximalwert der Messpunkte. Die Messpunkte haben über ihre jeweils beiden Durchläufe die Mittelwerte 7,5, 21,5 und 14,0. Der höchste Wert daraus ist 21,5. Entsprechend haben die Messpunkte Minimal- und Maximalwerte ihrer Durchläufe: 7,0, 19,0 und 13,0 für die Minima, 8,0, 24,0 und 15,0 für die Maxima. Der höchste Minimalwert ist 19,0, der höchste Maximalwert ist 24,0. Für die höchste Standardabweichung gilt analoges.
- Für den Mittelwert über die Messorte (⑦) werden entsprechend die mittleren, minimalen und maximalen Werte der Durchläufe sowie deren Standardabweichungen gemittelt. Die Messpunkte haben über ihre jeweils beiden Durchläufe die Mittelwerte 7,5, 21,5 und 14,0. Der Mittelwert daraus ist 14,3. Entsprechendes gilt für die Mittelwerte der Minimalwerte der Durchläufe, die Mittelwerte der Maximalwerte der Durchläufe und die Mittelwerte der Standardabweichungen der Durchläufe.
- Entsprechend werden die Standardabweichung (⑧) und der Median (⑩) ermittelt, indem die entsprechenden Statistikfunktionen auf die messpunktweise zusammengefassten Daten angewendet werden.
- Der Variationskoeffizient (⑨) ist ein rechnerisches Ergebnis, das sich aus dem Verhältnis von Standardabweichung (⑧) zu Mittelwert (⑦) ergibt.
- Analog dazu gilt für den Quartilsdispersionskoeffizienten (⑪) das Verhältnis aus Interquartilsabstand (75-Perzentil minus 25-Perzentil; in der Tabelle nicht abgebildet) zu Median (⑩).

Der Hauptteil des Berichts arbeitet mit den AVG-Ergebnissen (②). Mittelwerte (⑦) und Mediane (⑩) über alle Messwerte sind jeweils numerisch genannt. Zur Verdeutlichung sind diese Angaben in den nachfolgenden Tabellen **fett** gedruckt.



## A.2 Ergebnisse der Stimulationswirkung; Exposition durch magnetische Felder

Tab. 21: Statistische Kenndaten der nicht-thermischen Ausschöpfungsgrade niederfrequenter magnetischer Felder (bis 32 kHz).

|                                     | AVG         | MIN   | MAX   | SD   |
|-------------------------------------|-------------|-------|-------|------|
| <b>Messreihe 2002/2003</b>          |             |       |       |      |
| höchster Wert der Messorte          | 9,33        | 7,20  | 11,45 | 4,36 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,14</b> | 0,86  | 1,43  | 0,31 |
| Standardabweichung                  | 1,37        | 1,06  | 1,75  | 0,53 |
| Variationskoeffizient               | 1,20        | 1,24  | 1,23  | 1,71 |
| <b>Median</b>                       | <b>0,68</b> | 0,50  | 0,80  | 0,14 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 1,95        | 2,01  | 2,00  | 1,97 |
| <b>Messreihe 2006/2007</b>          |             |       |       |      |
| höchster Wert der Messorte          | 10,14       | 8,34  | 11,51 | 3,19 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,33</b> | 1,03  | 1,66  | 0,33 |
| Standardabweichung                  | 1,46        | 1,22  | 1,80  | 0,42 |
| Variationskoeffizient               | 1,10        | 1,18  | 1,08  | 1,26 |
| <b>Median</b>                       | <b>0,85</b> | 0,60  | 1,06  | 0,18 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 1,87        | 1,96  | 1,83  | 2,02 |
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |             |       |       |      |
| höchster Wert der Messorte          | 14,12       | 10,29 | 16,37 | 4,51 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,38</b> | 1,05  | 1,72  | 0,36 |
| Standardabweichung                  | 1,69        | 1,37  | 2,10  | 0,55 |
| Variationskoeffizient               | 1,23        | 1,30  | 1,22  | 1,53 |
| <b>Median</b>                       | <b>0,87</b> | 0,63  | 1,03  | 0,15 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 1,96        | 1,74  | 2,03  | 2,52 |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |             |       |       |      |
| höchster Wert der Messorte          | 11,08       | 10,08 | 12,05 | 3,20 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,45</b> | 1,17  | 1,75  | 0,28 |
| Standardabweichung                  | 1,58        | 1,36  | 1,88  | 0,38 |
| Variationskoeffizient               | 1,09        | 1,16  | 1,07  | 1,34 |
| <b>Median</b>                       | <b>0,89</b> | 0,69  | 1,09  | 0,14 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 2,07        | 2,09  | 2,06  | 2,19 |

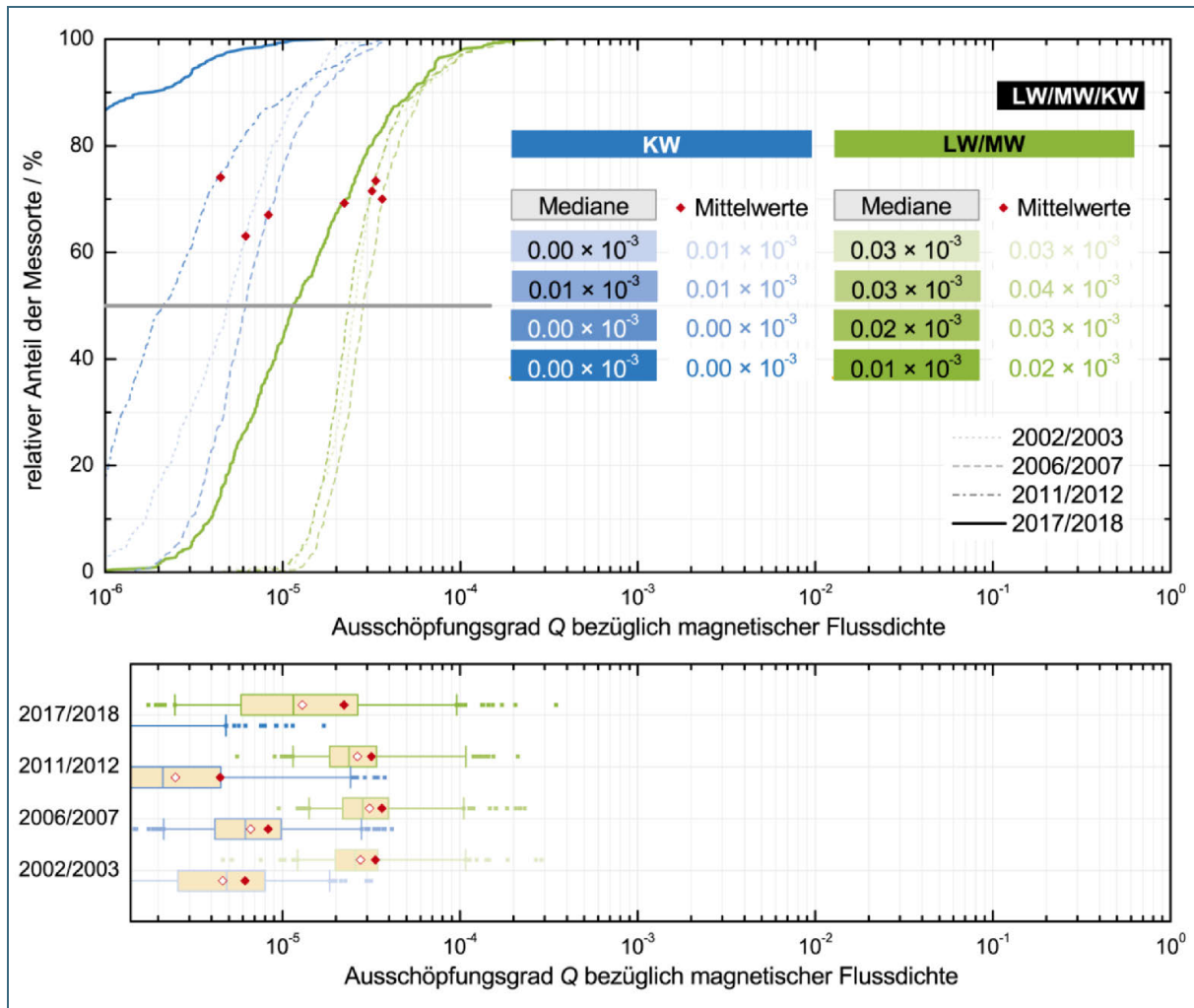


Abb. 69: Verteilung der Ausschöpfungsgrade für Stimulationseffekte durch Magnetfeldexposition bei Lang-, Mittel- und Kurzwellen. Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.

Tab. 22: Statistische Kenndaten der Ausschöpfungsgrade für Stimulationswirkungen durch Magnetfeldexposition von Lang-, Mittel- und Kurzwelle.

|                                     | AVG         | MIN  | MAX  | SD   |
|-------------------------------------|-------------|------|------|------|
| <b>Messreihe 2002/2003</b>          |             |      |      |      |
| höchster Wert der Messorte          | 0,30        | 0,28 | 0,32 | 0,07 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,04</b> | 0,03 | 0,05 | 0,00 |
| Standardabweichung                  | 0,03        | 0,03 | 0,03 | 0,00 |
| Variationskoeffizient               | 0,74        | 0,80 | 0,71 | 1,23 |
| <b>Median</b>                       | <b>0,03</b> | 0,03 | 0,04 | 0,00 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 0,59        | 0,59 | 0,61 | 0,91 |
| <b>Messreihe 2006/2007</b>          |             |      |      |      |
| höchster Wert der Messorte          | 0,25        | 0,23 | 0,30 | 0,09 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,04</b> | 0,04 | 0,06 | 0,00 |
| Standardabweichung                  | 0,03        | 0,03 | 0,04 | 0,01 |
| Variationskoeffizient               | 0,65        | 0,69 | 0,69 | 1,53 |
| <b>Median</b>                       | <b>0,04</b> | 0,03 | 0,04 | 0,00 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 0,57        | 0,56 | 0,64 | 1,06 |
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |             |      |      |      |
| höchster Wert der Messorte          | 0,22        | 0,20 | 0,26 | 0,03 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,04</b> | 0,03 | 0,04 | 0,00 |
| Standardabweichung                  | 0,03        | 0,02 | 0,04 | 0,00 |
| Variationskoeffizient               | 0,79        | 0,80 | 0,80 | 1,12 |
| <b>Median</b>                       | <b>0,03</b> | 0,02 | 0,03 | 0,00 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 0,63        | 0,61 | 0,69 | 1,14 |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |             |      |      |      |
| höchster Wert der Messorte          | 0,35        | 0,35 | 0,35 | 0,00 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,02</b> | 0,02 | 0,02 | 0,00 |
| Standardabweichung                  | 0,03        | 0,03 | 0,03 | 0,00 |
| Variationskoeffizient               | 1,34        | 1,34 | 1,34 | —    |
| <b>Median</b>                       | <b>0,01</b> | 0,01 | 0,01 | 0,00 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 1,67        | 1,67 | 1,67 | —    |

Tab. 23: Statistische Kenndaten der Gesamtexposition bei Stimulationswirkungen durch magnetische Felder.

|                                     | AVG         | MIN   | MAX   | SD   |
|-------------------------------------|-------------|-------|-------|------|
| <b>Messreihe 2002/2003</b>          |             |       |       |      |
| höchster Wert der Messorte          | 9,39        | 7,26  | 11,53 | 4,36 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,18</b> | 0,78  | 1,29  | 0,27 |
| Standardabweichung                  | 1,37        | 1,03  | 1,71  | 0,50 |
| Variationskoeffizient               | 1,17        | 1,33  | 1,33  | 1,86 |
| <b>Median</b>                       | <b>0,71</b> | 0,36  | 0,62  | 0,10 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 1,89        | 2,60  | 2,48  | 2,73 |
| <b>Messreihe 2006/2007</b>          |             |       |       |      |
| höchster Wert der Messorte          | 10,19       | 8,38  | 11,56 | 3,19 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,37</b> | 1,07  | 1,72  | 0,33 |
| Standardabweichung                  | 1,47        | 1,22  | 1,80  | 0,41 |
| Variationskoeffizient               | 1,07        | 1,14  | 1,05  | 1,26 |
| <b>Median</b>                       | <b>0,88</b> | 0,64  | 1,11  | 0,18 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 1,78        | 1,87  | 1,75  | 2,02 |
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |             |       |       |      |
| höchster Wert der Messorte          | 14,14       | 10,31 | 16,39 | 4,51 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,41</b> | 0,98  | 1,61  | 0,32 |
| Standardabweichung                  | 1,72        | 1,34  | 2,06  | 0,53 |
| Variationskoeffizient               | 1,21        | 1,37  | 1,28  | 1,64 |
| <b>Median</b>                       | <b>0,89</b> | 0,54  | 0,92  | 0,13 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 1,88        | 2,01  | 2,30  | 2,80 |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |             |       |       |      |
| höchster Wert der Messorte          | 11,12       | 10,12 | 12,09 | 3,20 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,47</b> | 1,19  | 1,77  | 0,28 |
| Standardabweichung                  | 1,58        | 1,36  | 1,88  | 0,38 |
| Variationskoeffizient               | 1,07        | 1,14  | 1,06  | 1,34 |
| <b>Median</b>                       | <b>0,93</b> | 0,70  | 1,14  | 0,14 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 1,95        | 2,05  | 1,97  | 2,19 |

### A.3 Ergebnisse der Stimulationswirkung; Exposition durch elektrische Felder

Tab. 24: Statistische Kenndaten der nicht-thermischen Ausschöpfungsgrade niederfrequenter elektrischer Felder (bis 32 kHz).

|                                     | AVG         | MIN    | MAX    | SD     |
|-------------------------------------|-------------|--------|--------|--------|
| <b>Messreihe 2002/2003</b>          |             |        |        |        |
| höchster Wert der Messorte          | 358,90      | 310,34 | 435,96 | 67,49  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,74</b> | 1,43   | 2,20   | 0,41   |
| Standardabweichung                  | 19,02       | 16,26  | 23,63  | 4,56   |
| Variationskoeffizient               | 10,91       | 11,40  | 10,74  | 11,04  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,03</b> | 0,02   | 0,04   | 0,00   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 3,81        | 3,67   | 4,27   | 24,96  |
| <b>Messreihe 2006/2007</b>          |             |        |        |        |
| höchster Wert der Messorte          | 417,73      | 316,57 | 526,32 | 105,07 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,70</b> | 1,31   | 2,15   | 0,44   |
| Standardabweichung                  | 21,11       | 16,08  | 26,57  | 5,30   |
| Variationskoeffizient               | 12,42       | 12,26  | 12,34  | 12,08  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,06</b> | 0,03   | 0,10   | 0,02   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 2,94        | 3,32   | 2,94   | 3,60   |
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |             |        |        |        |
| höchster Wert der Messorte          | 287,23      | 209,25 | 367,95 | 79,38  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,52</b> | 1,20   | 1,86   | 0,35   |
| Standardabweichung                  | 14,74       | 10,94  | 18,70  | 3,97   |
| Variationskoeffizient               | 9,72        | 9,15   | 10,03  | 11,48  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,10</b> | 0,05   | 0,16   | 0,04   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 2,49        | 3,37   | 2,32   | 2,76   |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |             |        |        |        |
| höchster Wert der Messorte          | 500,07      | 467,91 | 516,85 | 27,85  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>2,35</b> | 2,18   | 2,49   | 0,17   |
| Standardabweichung                  | 28,15       | 26,55  | 29,03  | 1,55   |
| Variationskoeffizient               | 11,97       | 12,16  | 11,65  | 9,40   |
| <b>Median</b>                       | <b>0,04</b> | 0,03   | 0,05   | 0,00   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 3,87        | 4,04   | 4,25   | 25,66  |

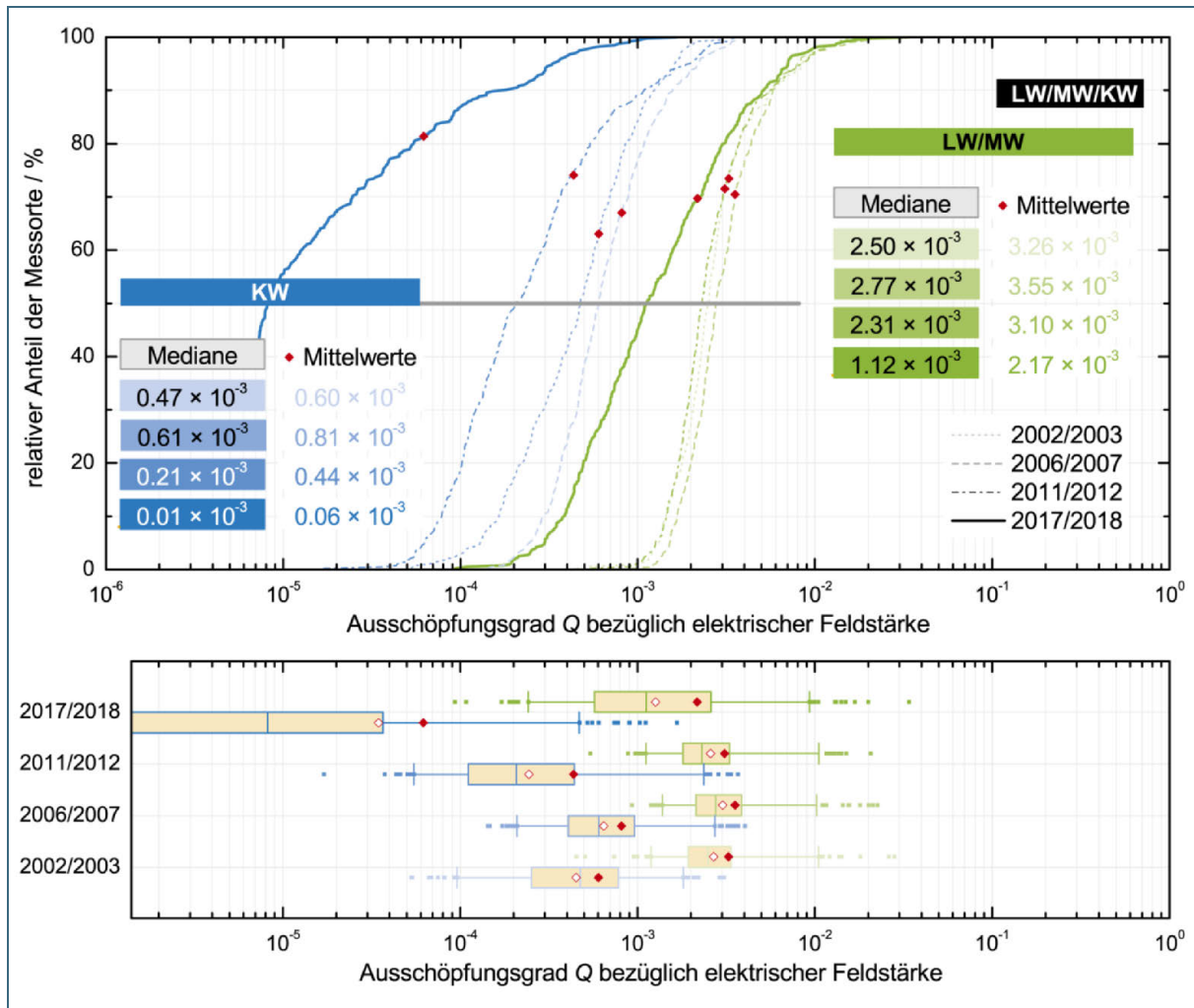


Abb. 70: Verteilung der Ausschöpfungsgrade für Stimulationseffekte durch elektrische Felder der Lang-, Mittel- und Kurzwele. Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.



Tab. 25: Statistische Kenndaten der Ausschöpfungsgrade für Stimulationswirkungen durch elektrische Felder der Lang-, Mittel- und Kurzwelle.

|                                     | AVG         | MIN   | MAX   | SD   |
|-------------------------------------|-------------|-------|-------|------|
| <b>Messreihe 2002/2003</b>          |             |       |       |      |
| höchster Wert der Messorte          | 29,08       | 27,16 | 30,74 | 6,70 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>3,87</b> | 3,27  | 4,69  | 0,36 |
| Standardabweichung                  | 2,87        | 2,60  | 3,33  | 0,44 |
| Variationskoeffizient               | 0,74        | 0,80  | 0,71  | 1,23 |
| <b>Median</b>                       | <b>3,09</b> | 2,60  | 3,83  | 0,24 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 0,59        | 0,59  | 0,61  | 0,91 |
| <b>Messreihe 2006/2007</b>          |             |       |       |      |
| höchster Wert der Messorte          | 23,92       | 22,54 | 29,45 | 8,30 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>4,36</b> | 3,64  | 5,49  | 0,48 |
| Standardabweichung                  | 2,81        | 2,51  | 3,80  | 0,74 |
| Variationskoeffizient               | 0,65        | 0,69  | 0,69  | 1,53 |
| <b>Median</b>                       | <b>3,66</b> | 2,98  | 4,38  | 0,29 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 0,57        | 0,56  | 0,64  | 1,06 |
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |             |       |       |      |
| höchster Wert der Messorte          | 21,25       | 19,08 | 25,53 | 3,16 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>3,54</b> | 2,94  | 4,38  | 0,38 |
| Standardabweichung                  | 2,78        | 2,35  | 3,49  | 0,43 |
| Variationskoeffizient               | 0,79        | 0,80  | 0,80  | 1,12 |
| <b>Median</b>                       | <b>2,58</b> | 2,16  | 3,17  | 0,23 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 0,63        | 0,61  | 0,69  | 1,14 |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |             |       |       |      |
| höchster Wert der Messorte          | 33,89       | 33,89 | 33,89 | 0,00 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>2,23</b> | 2,23  | 2,23  | 0,00 |
| Standardabweichung                  | 2,99        | 2,99  | 2,99  | 0,00 |
| Variationskoeffizient               | 1,34        | 1,34  | 1,34  | —    |
| <b>Median</b>                       | <b>1,23</b> | 1,23  | 1,23  | 0,00 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 1,67        | 1,67  | 1,67  | —    |

Tab. 26: Statistische Kenndaten der Gesamtexposition bei Stimulationswirkungen durch elektrische Felder.

|                                     | AVG         | MIN    | MAX    | SD     |
|-------------------------------------|-------------|--------|--------|--------|
| <b>Messreihe 2002/2003</b>          |             |        |        |        |
| höchster Wert der Messorte          | 361,80      | 312,87 | 439,20 | 67,49  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>5,62</b> | 4,70   | 6,90   | 0,74   |
| Standardabweichung                  | 19,20       | 16,43  | 23,82  | 4,55   |
| Variationskoeffizient               | 3,42        | 3,49   | 3,45   | 6,13   |
| <b>Median</b>                       | <b>3,29</b> | 2,76   | 4,04   | 0,26   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 0,62        | 0,59   | 0,64   | 0,91   |
| <b>Messreihe 2006/2007</b>          |             |        |        |        |
| höchster Wert der Messorte          | 420,22      | 318,50 | 529,19 | 105,07 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>6,06</b> | 4,95   | 7,65   | 0,85   |
| Standardabweichung                  | 21,29       | 16,28  | 26,81  | 5,33   |
| Variationskoeffizient               | 3,51        | 3,29   | 3,51   | 6,24   |
| <b>Median</b>                       | <b>3,79</b> | 3,18   | 4,66   | 0,31   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 0,65        | 0,59   | 0,75   | 1,11   |
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |             |        |        |        |
| höchster Wert der Messorte          | 289,77      | 211,02 | 372,49 | 79,39  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>5,09</b> | 4,17   | 6,29   | 0,68   |
| Standardabweichung                  | 15,24       | 11,36  | 19,38  | 4,04   |
| Variationskoeffizient               | 2,99        | 2,72   | 3,08   | 5,97   |
| <b>Median</b>                       | <b>2,82</b> | 2,32   | 3,51   | 0,27   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 0,81        | 0,74   | 0,91   | 1,36   |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |             |        |        |        |
| höchster Wert der Messorte          | 506,18      | 474,02 | 522,96 | 27,85  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>4,60</b> | 4,43   | 4,74   | 0,17   |
| Standardabweichung                  | 28,48       | 26,89  | 29,35  | 1,58   |
| Variationskoeffizient               | 6,20        | 6,07   | 6,20   | 9,19   |
| <b>Median</b>                       | <b>1,47</b> | 1,46   | 1,50   | 0,00   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 1,53        | 1,53   | 1,52   | 25,39  |

## A.4 Ergebnisse der thermischen Wirkung

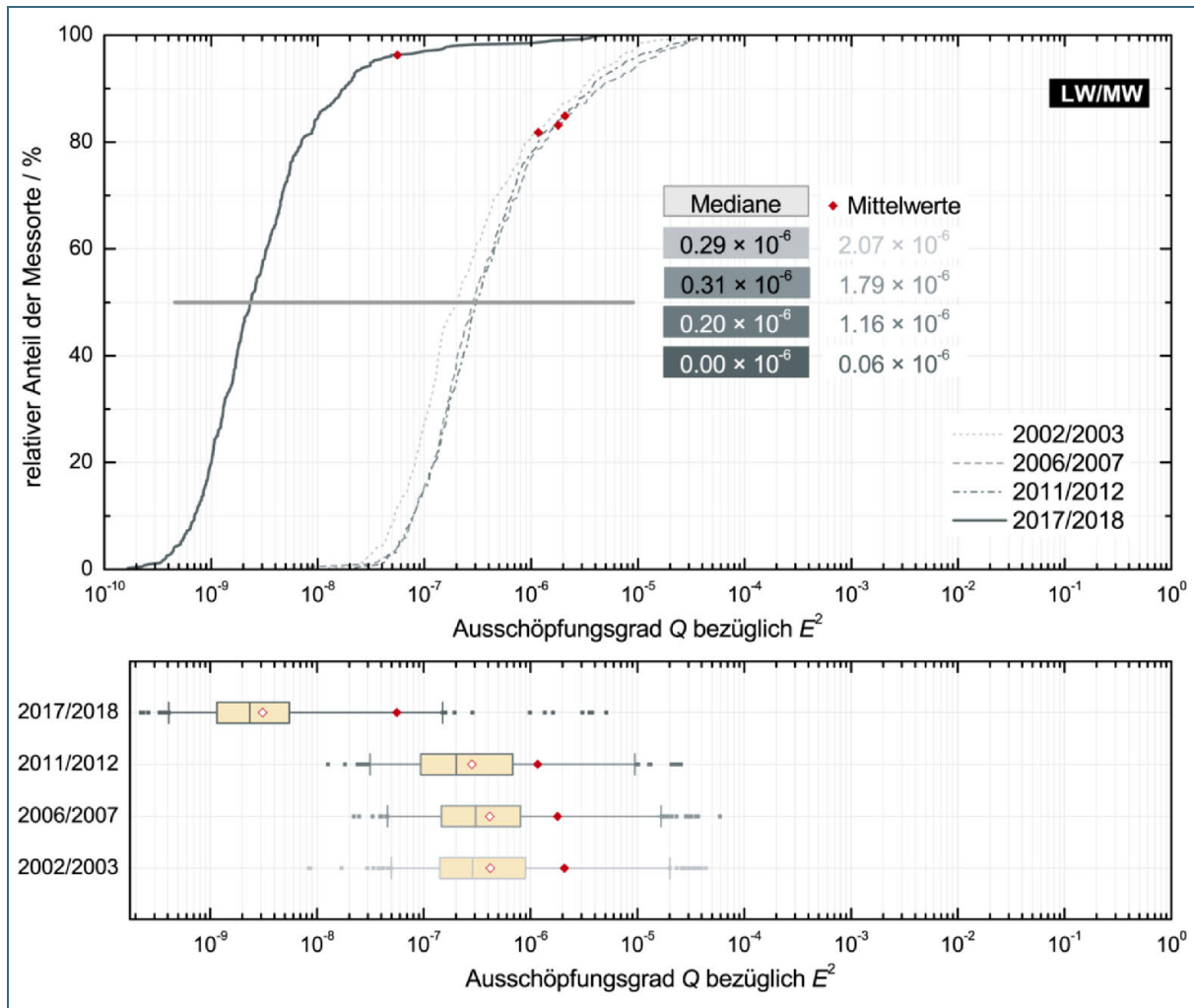


Abb. 71: Verteilung der Ausschöpfungsgrade bei Lang- und Mittelwelle (thermische Wirkung). Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.

Tab. 27: Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade bei Lang- und Mittelwelle.

|                                     | AVG         | MIN   | MAX   | SD    |
|-------------------------------------|-------------|-------|-------|-------|
| <b>Messreihe 2002/2003</b>          |             |       |       |       |
| höchster Wert der Messorte          | 43,93       | 39,74 | 52,93 | 9,97  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>2,07</b> | 1,61  | 2,57  | 0,30  |
| Standardabweichung                  | 5,73        | 4,59  | 7,02  | 0,88  |
| Variationskoeffizient               | 2,76        | 2,84  | 2,73  | 2,93  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,29</b> | 0,20  | 0,39  | 0,05  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 2,67        | 2,83  | 2,59  | 2,60  |
| <b>Messreihe 2006/2007</b>          |             |       |       |       |
| höchster Wert der Messorte          | 59,25       | 28,23 | 72,77 | 14,80 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,79</b> | 1,32  | 2,32  | 0,32  |
| Standardabweichung                  | 5,37        | 3,69  | 6,65  | 1,07  |
| Variationskoeffizient               | 3,01        | 2,80  | 2,87  | 3,38  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,31</b> | 0,21  | 0,40  | 0,05  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 2,16        | 2,30  | 2,84  | 3,52  |
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |             |       |       |       |
| höchster Wert der Messorte          | 25,42       | 21,56 | 35,91 | 7,23  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,16</b> | 0,87  | 1,57  | 0,23  |
| Standardabweichung                  | 3,01        | 2,28  | 4,01  | 0,62  |
| Variationskoeffizient               | 2,58        | 2,63  | 2,55  | 2,70  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,20</b> | 0,13  | 0,27  | 0,04  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 2,93        | 2,71  | 3,02  | 4,07  |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |             |       |       |       |
| höchster Wert der Messorte          | 5,10        | 5,10  | 5,10  | 0,00  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,06</b> | 0,06  | 0,06  | 0,00  |
| Standardabweichung                  | 0,41        | 0,41  | 0,41  | 0,00  |
| Variationskoeffizient               | 7,28        | 7,28  | 7,28  | —     |
| <b>Median</b>                       | <b>0,00</b> | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 1,87        | 1,87  | 1,87  | —     |

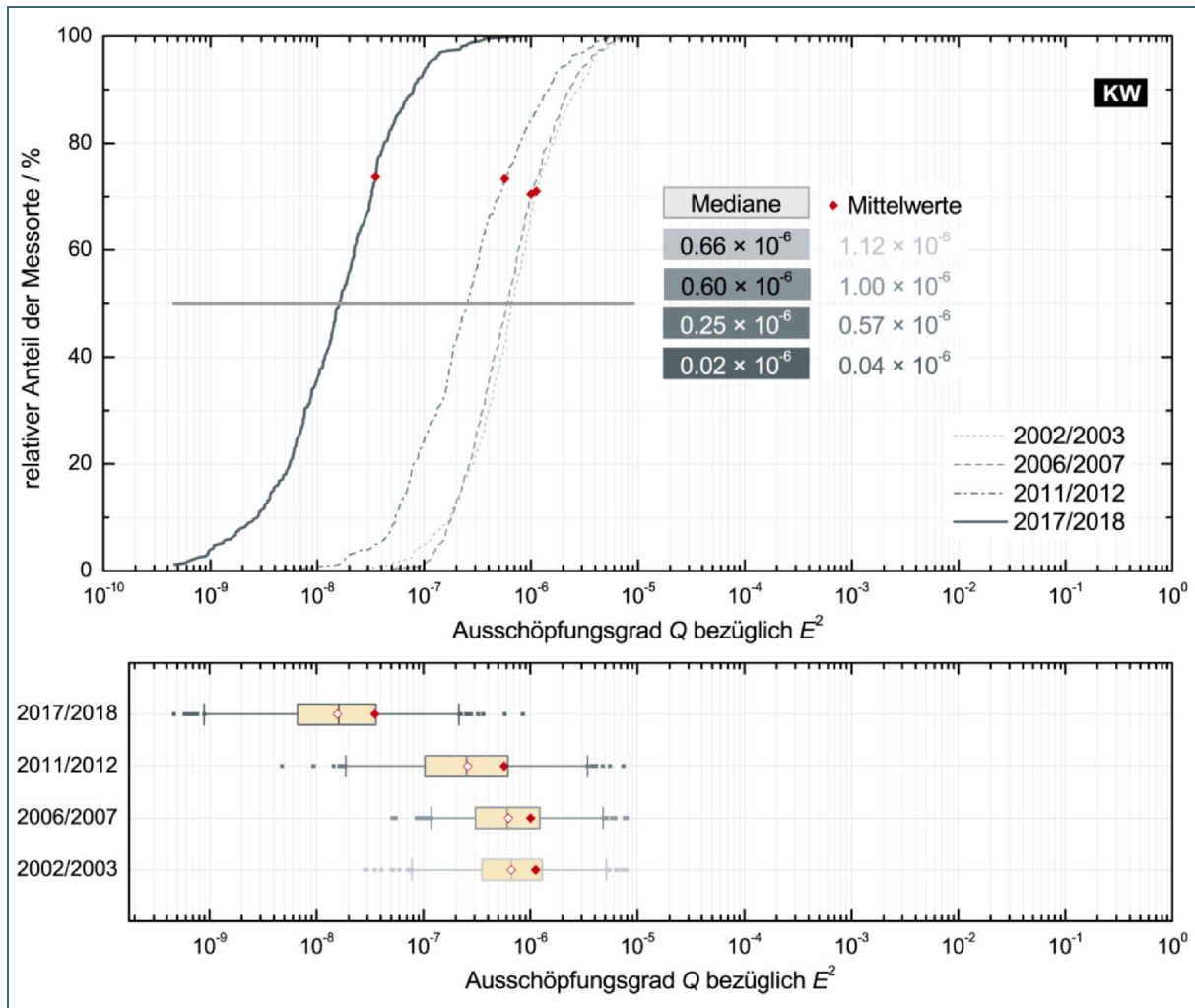


Abb. 72: Verteilung der Ausschöpfungsgrade bei Kurzwele (thermische Wirkung). Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.

Tab. 28: Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade bei Kurzwelle.

|                                     | AVG         | MIN  | MAX   | SD   |
|-------------------------------------|-------------|------|-------|------|
| <b>Messreihe 2002/2003</b>          |             |      |       |      |
| höchster Wert der Messorte          | 7,91        | 4,62 | 26,21 | 7,12 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,12</b> | 0,59 | 2,17  | 0,49 |
| Standardabweichung                  | 1,29        | 0,74 | 2,78  | 0,69 |
| Variationskoeffizient               | 1,16        | 1,25 | 1,28  | 1,42 |
| <b>Median</b>                       | <b>0,66</b> | 0,34 | 1,28  | 0,28 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 1,43        | 1,56 | 1,42  | 1,48 |
| <b>Messreihe 2006/2007</b>          |             |      |       |      |
| höchster Wert der Messorte          | 7,89        | 4,77 | 18,21 | 5,28 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,00</b> | 0,51 | 1,99  | 0,48 |
| Standardabweichung                  | 1,16        | 0,69 | 2,38  | 0,62 |
| Variationskoeffizient               | 1,16        | 1,35 | 1,19  | 1,30 |
| <b>Median</b>                       | <b>0,60</b> | 0,28 | 1,17  | 0,27 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 1,52        | 1,59 | 1,55  | 1,59 |
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |             |      |       |      |
| höchster Wert der Messorte          | 7,39        | 3,02 | 12,23 | 3,54 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,57</b> | 0,25 | 1,15  | 0,30 |
| Standardabweichung                  | 0,88        | 0,42 | 1,77  | 0,48 |
| Variationskoeffizient               | 1,55        | 1,67 | 1,53  | 1,62 |
| <b>Median</b>                       | <b>0,25</b> | 0,09 | 0,50  | 0,12 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 2,03        | 2,42 | 2,23  | 2,07 |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |             |      |       |      |
| höchster Wert der Messorte          | 0,85        | 0,85 | 0,85  | 0,00 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,04</b> | 0,04 | 0,04  | 0,00 |
| Standardabweichung                  | 0,07        | 0,07 | 0,07  | 0,00 |
| Variationskoeffizient               | 1,94        | 1,94 | 1,94  | —    |
| <b>Median</b>                       | <b>0,02</b> | 0,02 | 0,02  | 0,00 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 1,82        | 1,82 | 1,82  | —    |



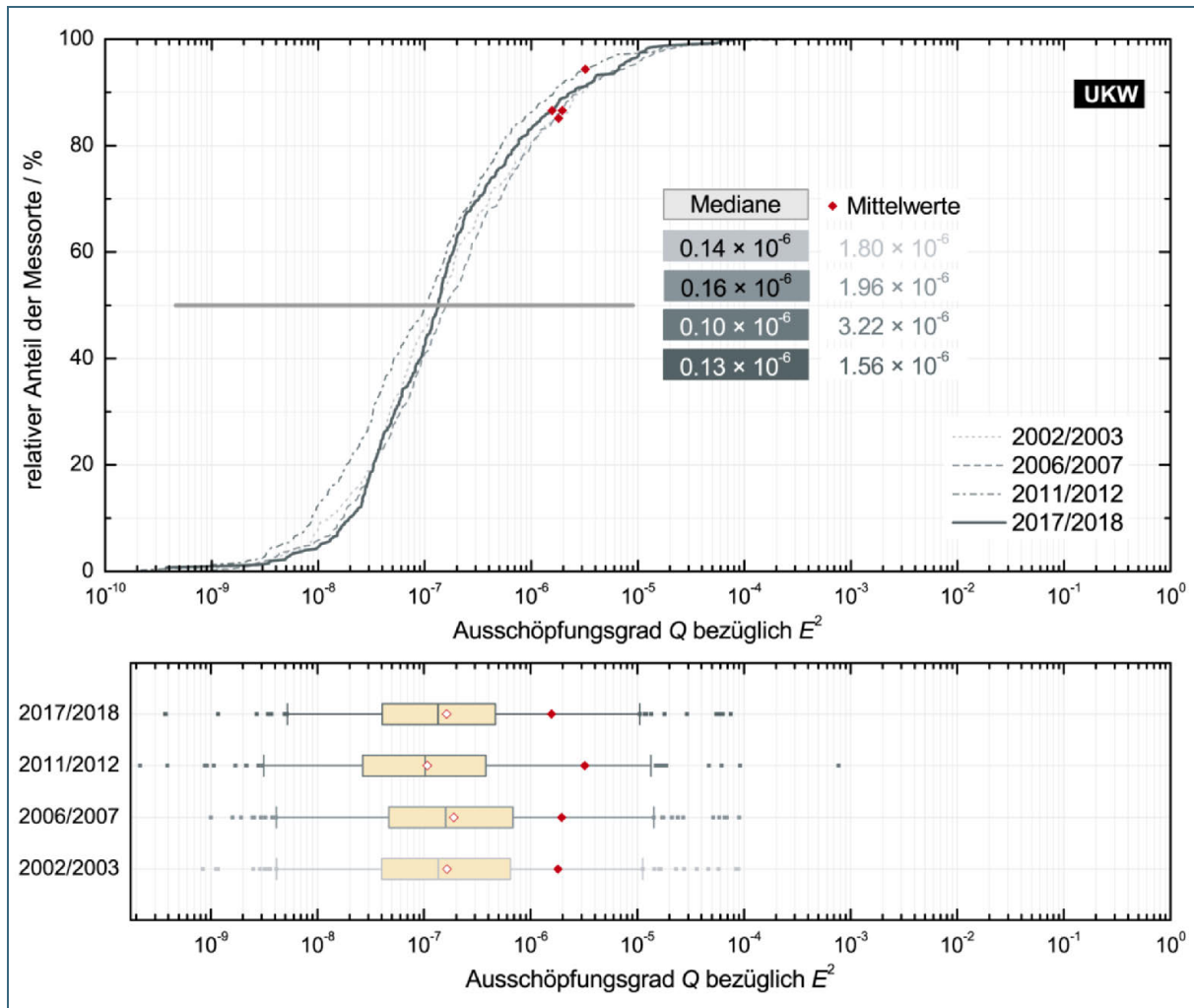


Abb. 73: Verteilung der Ausschöpfungsgrade bei UKW. Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.

Tab. 29: Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade bei UKW.

|                                     | AVG         | MIN    | MAX    | SD    |
|-------------------------------------|-------------|--------|--------|-------|
| <b>Messreihe 2002/2003</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 88,85       | 77,53  | 100,00 | 10,07 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,80</b> | 1,48   | 2,08   | 0,20  |
| Standardabweichung                  | 7,73        | 6,74   | 8,74   | 0,83  |
| Variationskoeffizient               | 4,29        | 4,56   | 4,21   | 4,23  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,14</b> | 0,09   | 0,16   | 0,01  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 4,59        | 4,89   | 4,44   | 5,24  |
| <b>Messreihe 2006/2007</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 89,92       | 72,23  | 107,29 | 11,81 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,96</b> | 1,69   | 2,23   | 0,17  |
| Standardabweichung                  | 8,06        | 6,90   | 9,31   | 0,86  |
| Variationskoeffizient               | 4,12        | 4,09   | 4,18   | 5,08  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,16</b> | 0,13   | 0,18   | 0,01  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 3,99        | 4,06   | 4,12   | 4,30  |
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 771,49      | 727,52 | 820,67 | 32,01 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>3,22</b> | 2,88   | 3,63   | 0,25  |
| Standardabweichung                  | 39,68       | 37,35  | 42,38  | 1,87  |
| Variationskoeffizient               | 12,32       | 12,99  | 11,68  | 7,59  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,10</b> | 0,09   | 0,12   | 0,01  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 3,49        | 3,34   | 3,31   | 3,86  |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 75,22       | 74,92  | 75,60  | 1,56  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,56</b> | 1,52   | 1,60   | 0,03  |
| Standardabweichung                  | 6,73        | 6,59   | 6,85   | 0,14  |
| Variationskoeffizient               | 4,30        | 4,32   | 4,28   | 4,28  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,13</b> | 0,13   | 0,14   | 0,00  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 3,21        | 3,15   | 3,24   | 2,02  |

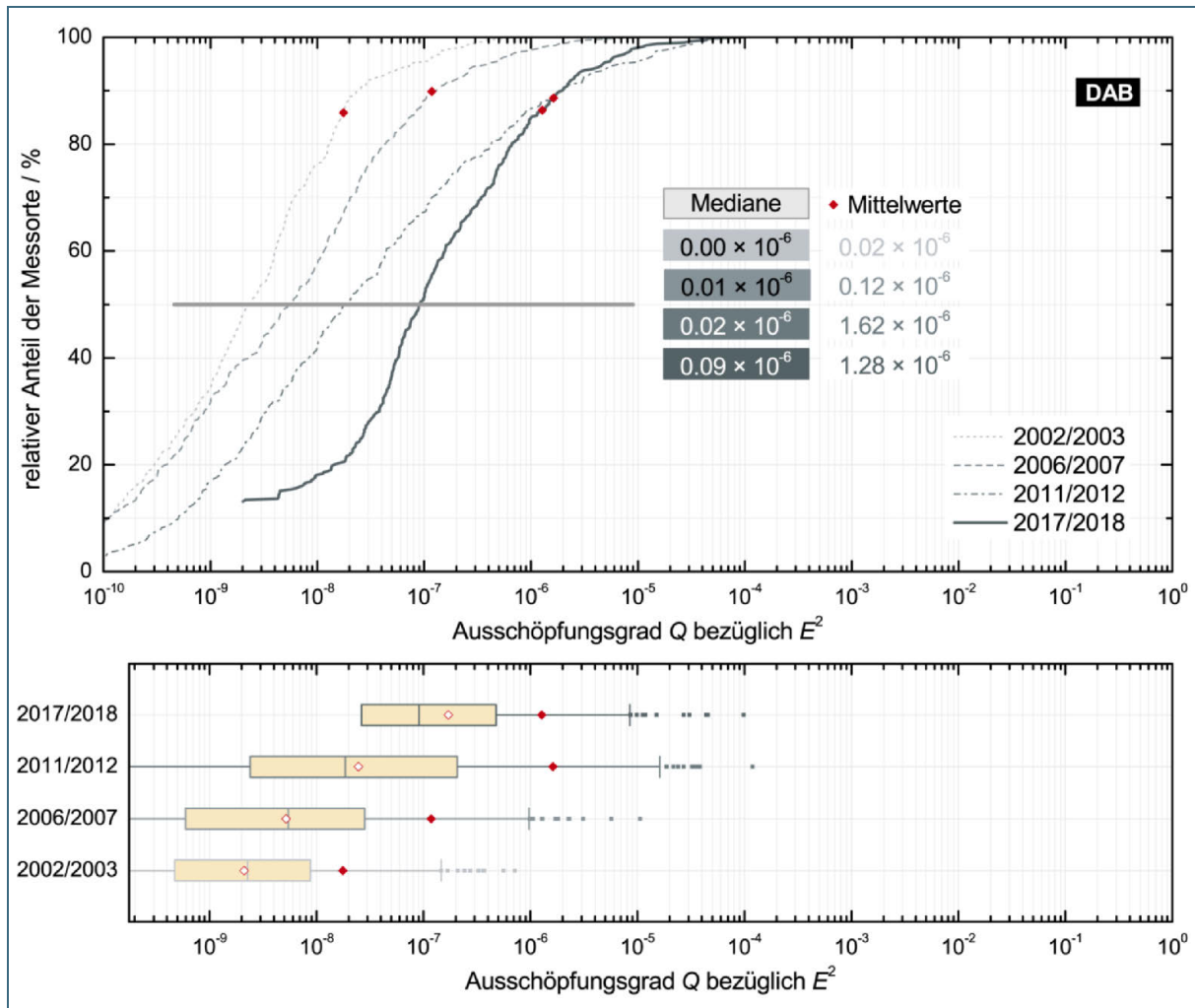


Abb. 74: Verteilung der Ausschöpfungsgrade bei DAB. Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.

Tab. 30: Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade bei DAB.

|                                     | AVG         | MIN    | MAX    | SD   |
|-------------------------------------|-------------|--------|--------|------|
| <b>Messreihe 2002/2003</b>          |             |        |        |      |
| höchster Wert der Messorte          | 0,71        | 0,61   | 0,81   | 0,09 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,02</b> | 0,01   | 0,02   | 0,00 |
| Standardabweichung                  | 0,06        | 0,05   | 0,07   | 0,01 |
| Variationskoeffizient               | 3,52        | 3,91   | 3,12   | 2,76 |
| <b>Median</b>                       | <b>0,00</b> | 0,00   | 0,00   | 0,00 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 3,70        | 4,73   | 3,11   | 3,82 |
| <b>Messreihe 2006/2007</b>          |             |        |        |      |
| höchster Wert der Messorte          | 10,59       | 9,81   | 12,37  | 0,81 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,12</b> | 0,11   | 0,13   | 0,01 |
| Standardabweichung                  | 0,66        | 0,61   | 0,75   | 0,05 |
| Variationskoeffizient               | 5,60        | 5,75   | 5,60   | 5,32 |
| <b>Median</b>                       | <b>0,01</b> | 0,00   | 0,01   | 0,00 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 5,14        | 5,06   | 5,14   | 6,41 |
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |             |        |        |      |
| höchster Wert der Messorte          | 118,87      | 114,99 | 122,66 | 3,93 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,62</b> | 1,48   | 1,80   | 0,10 |
| Standardabweichung                  | 7,80        | 7,34   | 8,35   | 0,44 |
| Variationskoeffizient               | 4,80        | 4,95   | 4,65   | 4,19 |
| <b>Median</b>                       | <b>0,02</b> | 0,02   | 0,02   | 0,00 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 11,06       | 10,72  | 11,35  | 9,92 |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |             |        |        |      |
| höchster Wert der Messorte          | 97,94       | 95,12  | 101,58 | 2,55 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,28</b> | 1,23   | 1,33   | 0,04 |
| Standardabweichung                  | 6,30        | 6,10   | 6,57   | 0,21 |
| Variationskoeffizient               | 4,94        | 4,96   | 4,94   | 4,81 |
| <b>Median</b>                       | <b>0,09</b> | 0,09   | 0,09   | 0,00 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 5,02        | 4,94   | 4,96   | 2,69 |

Tab. 31: Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade beim Hörfunk (LW, MW, KW, UKW und DAB).

|                                     | AVG         | MIN    | MAX    | SD    |
|-------------------------------------|-------------|--------|--------|-------|
| <b>Messreihe 2002/2003</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 94,69       | 79,21  | 123,09 | 10,08 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>5,01</b> | 3,70   | 6,84   | 0,83  |
| Standardabweichung                  | 9,68        | 8,11   | 11,82  | 1,27  |
| Variationskoeffizient               | 1,93        | 2,19   | 1,73   | 1,53  |
| <b>Median</b>                       | <b>1,87</b> | 1,13   | 3,08   | 0,43  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 1,74        | 2,15   | 1,60   | 1,71  |
| <b>Messreihe 2006/2007</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 90,68       | 72,71  | 108,44 | 14,80 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>4,87</b> | 3,62   | 6,67   | 0,83  |
| Standardabweichung                  | 9,81        | 7,98   | 11,71  | 1,39  |
| Variationskoeffizient               | 2,02        | 2,20   | 1,76   | 1,68  |
| <b>Median</b>                       | <b>1,81</b> | 1,06   | 2,88   | 0,39  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 1,84        | 2,31   | 1,82   | 1,80  |
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 773,38      | 729,11 | 822,95 | 32,01 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>6,67</b> | 5,38   | 8,00   | 0,72  |
| Standardabweichung                  | 40,94       | 37,85  | 43,12  | 1,98  |
| Variationskoeffizient               | 6,14        | 7,04   | 5,39   | 2,76  |
| <b>Median</b>                       | <b>1,19</b> | 0,71   | 1,83   | 0,25  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 2,80        | 3,09   | 2,34   | 2,09  |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 105,49      | 102,60 | 109,22 | 2,55  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>2,93</b> | 2,84   | 3,02   | 0,07  |
| Standardabweichung                  | 9,58        | 9,33   | 9,85   | 0,24  |
| Variationskoeffizient               | 3,27        | 3,28   | 3,26   | 3,53  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,36</b> | 0,35   | 0,37   | 0,01  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 4,03        | 3,90   | 3,99   | 3,07  |

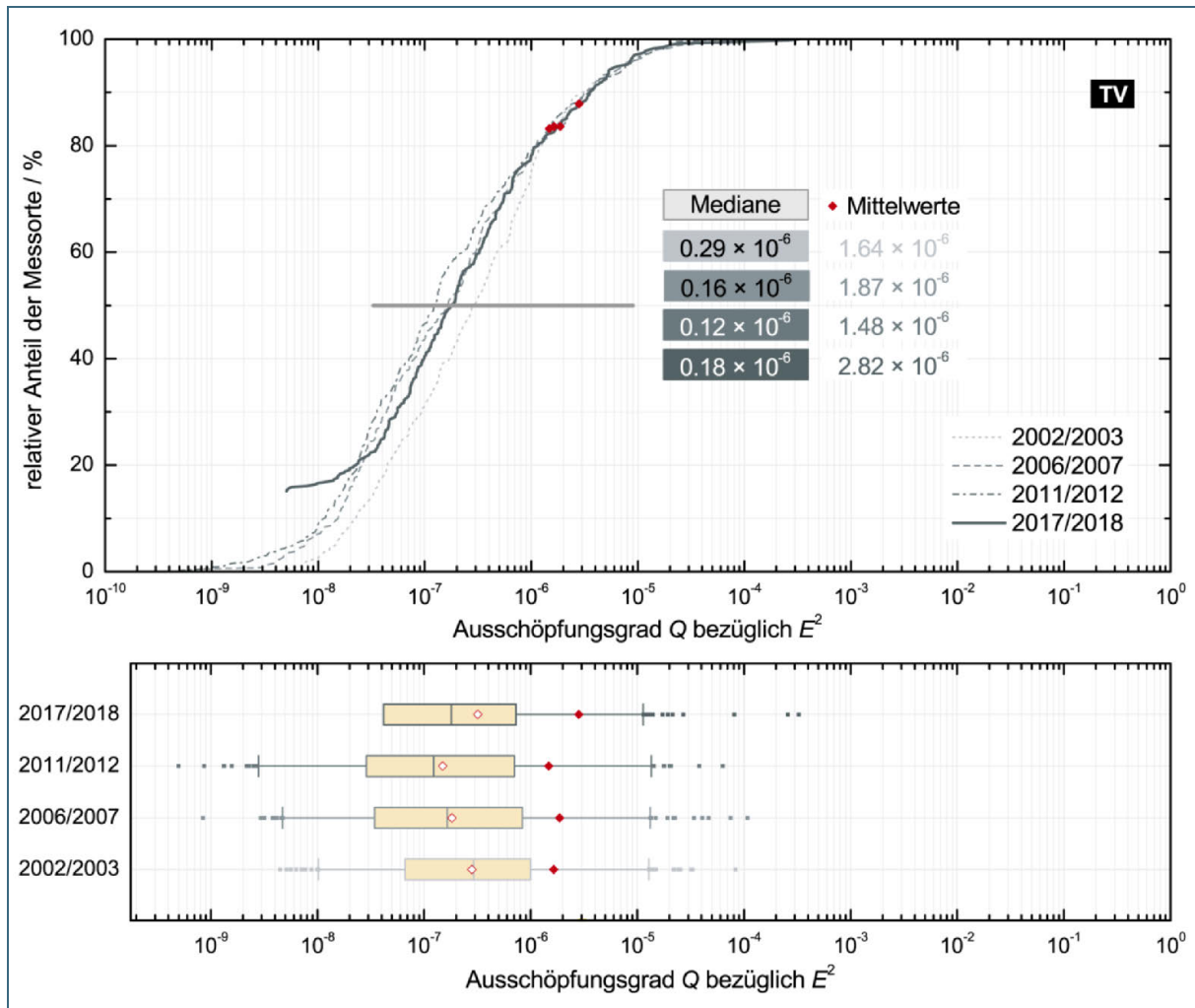


Abb. 75: Verteilung der Ausschöpfungsgrade beim terrestrischen Fernsehen. Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.



Tab. 32: Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade beim terrestrischen Fernsehen (analoges Fernsehen, DVB-T und DVB-T2).

|                                     | AVG         | MIN    | MAX    | SD    |
|-------------------------------------|-------------|--------|--------|-------|
| <b>Messreihe 2002/2003</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 83,02       | 70,70  | 94,73  | 12,89 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,64</b> | 1,23   | 2,15   | 0,30  |
| Standardabweichung                  | 5,55        | 4,46   | 6,69   | 1,01  |
| Variationskoeffizient               | 3,39        | 3,62   | 3,12   | 3,37  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,29</b> | 0,21   | 0,39   | 0,04  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 3,21        | 3,51   | 3,17   | 4,38  |
| <b>Messreihe 2006/2007</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 107,96      | 101,62 | 114,40 | 7,21  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,87</b> | 1,70   | 2,12   | 0,13  |
| Standardabweichung                  | 7,80        | 7,27   | 8,47   | 0,53  |
| Variationskoeffizient               | 4,18        | 4,28   | 3,99   | 3,93  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,16</b> | 0,14   | 0,22   | 0,01  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 4,93        | 5,04   | 4,52   | 5,24  |
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 63,37       | 61,04  | 66,61  | 3,44  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,48</b> | 1,34   | 1,67   | 0,11  |
| Standardabweichung                  | 4,83        | 4,51   | 5,29   | 0,35  |
| Variationskoeffizient               | 3,27        | 3,38   | 3,18   | 3,13  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,12</b> | 0,11   | 0,14   | 0,01  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 5,55        | 5,01   | 5,44   | 6,46  |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 325,86      | 319,34 | 331,31 | 4,57  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>2,82</b> | 2,72   | 2,92   | 0,08  |
| Standardabweichung                  | 21,19       | 20,84  | 21,48  | 0,33  |
| Variationskoeffizient               | 7,50        | 7,66   | 7,37   | 3,96  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,18</b> | 0,16   | 0,19   | 0,01  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 3,85        | 4,08   | 3,75   | 3,20  |

Tab. 33: Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade beim Rundfunk.

|                                     | AVG         | MIN    | MAX    | SD    |
|-------------------------------------|-------------|--------|--------|-------|
| <b>Messreihe 2002/2003</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 103,34      | 87,71  | 130,63 | 12,89 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>6,65</b> | 4,93   | 8,99   | 1,03  |
| Standardabweichung                  | 11,84       | 9,88   | 14,26  | 1,53  |
| Variationskoeffizient               | 1,78        | 2,00   | 1,59   | 1,48  |
| <b>Median</b>                       | <b>2,54</b> | 1,61   | 4,23   | 0,55  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 1,80        | 1,98   | 1,54   | 1,50  |
| <b>Messreihe 2006/2007</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 117,35      | 110,16 | 124,97 | 14,80 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>6,74</b> | 5,32   | 8,79   | 0,90  |
| Standardabweichung                  | 13,03       | 11,28  | 15,03  | 1,46  |
| Variationskoeffizient               | 1,93        | 2,12   | 1,71   | 1,62  |
| <b>Median</b>                       | <b>2,44</b> | 1,52   | 4,07   | 0,43  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 1,91        | 2,38   | 1,80   | 1,68  |
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 773,52      | 729,24 | 823,09 | 32,01 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>8,16</b> | 6,69   | 9,64   | 0,76  |
| Standardabweichung                  | 41,99       | 38,82  | 44,25  | 2,00  |
| Variationskoeffizient               | 5,14        | 5,80   | 4,59   | 2,62  |
| <b>Median</b>                       | <b>1,56</b> | 0,99   | 2,35   | 0,27  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 2,67        | 2,86   | 2,25   | 2,26  |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 431,35      | 421,93 | 440,53 | 5,23  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>5,76</b> | 5,56   | 5,94   | 0,13  |
| Standardabweichung                  | 27,26       | 26,70  | 27,79  | 0,41  |
| Variationskoeffizient               | 4,74        | 4,80   | 4,68   | 3,20  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,75</b> | 0,69   | 0,80   | 0,02  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 3,41        | 3,57   | 3,34   | 3,51  |

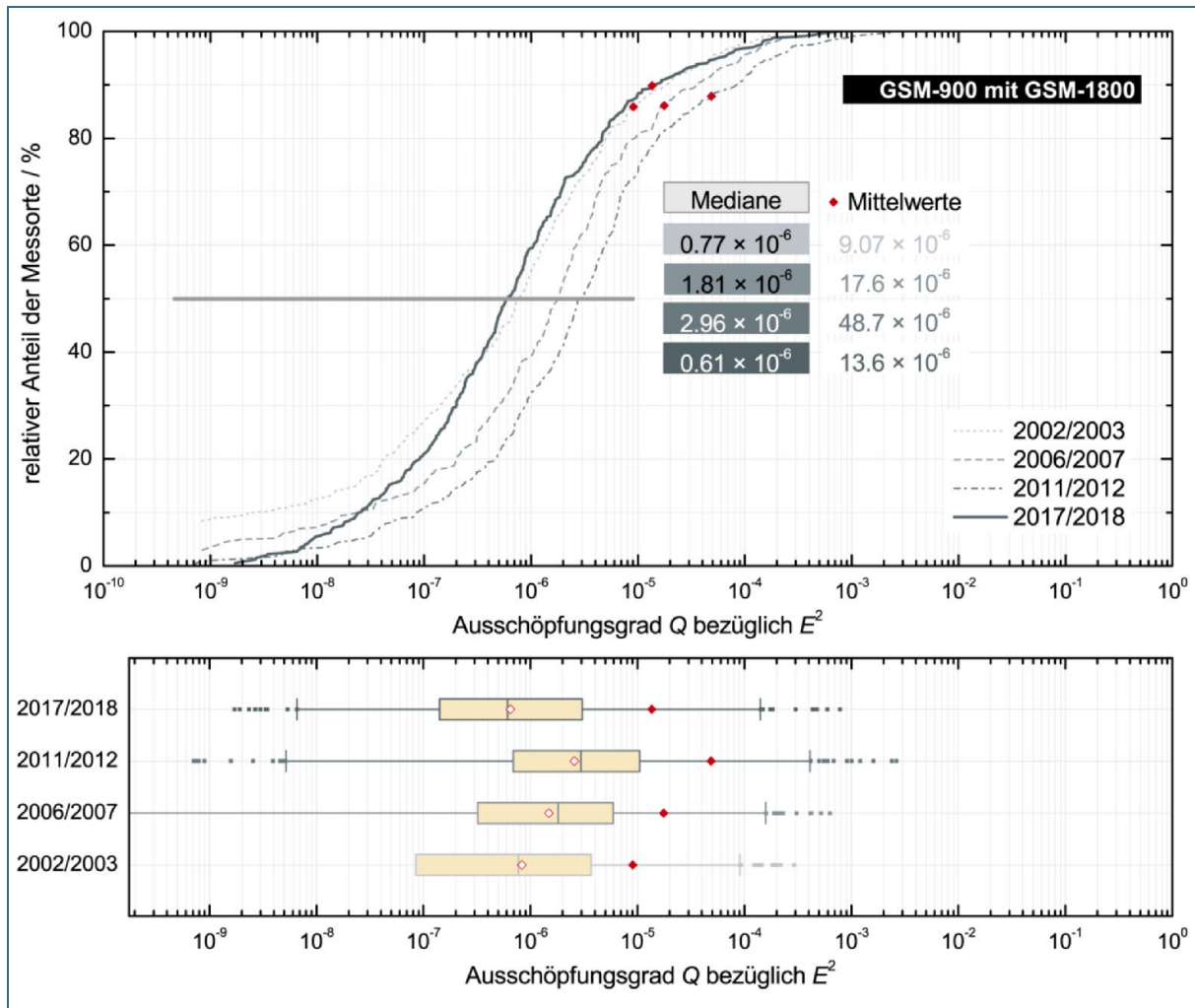


Abb. 76: Verteilung der Ausschöpfungsgrade bei GSM (GSM-900 und GSM-1800; unveränderte Originaldaten (2002 – 2012: Spitzenwerte)). Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.

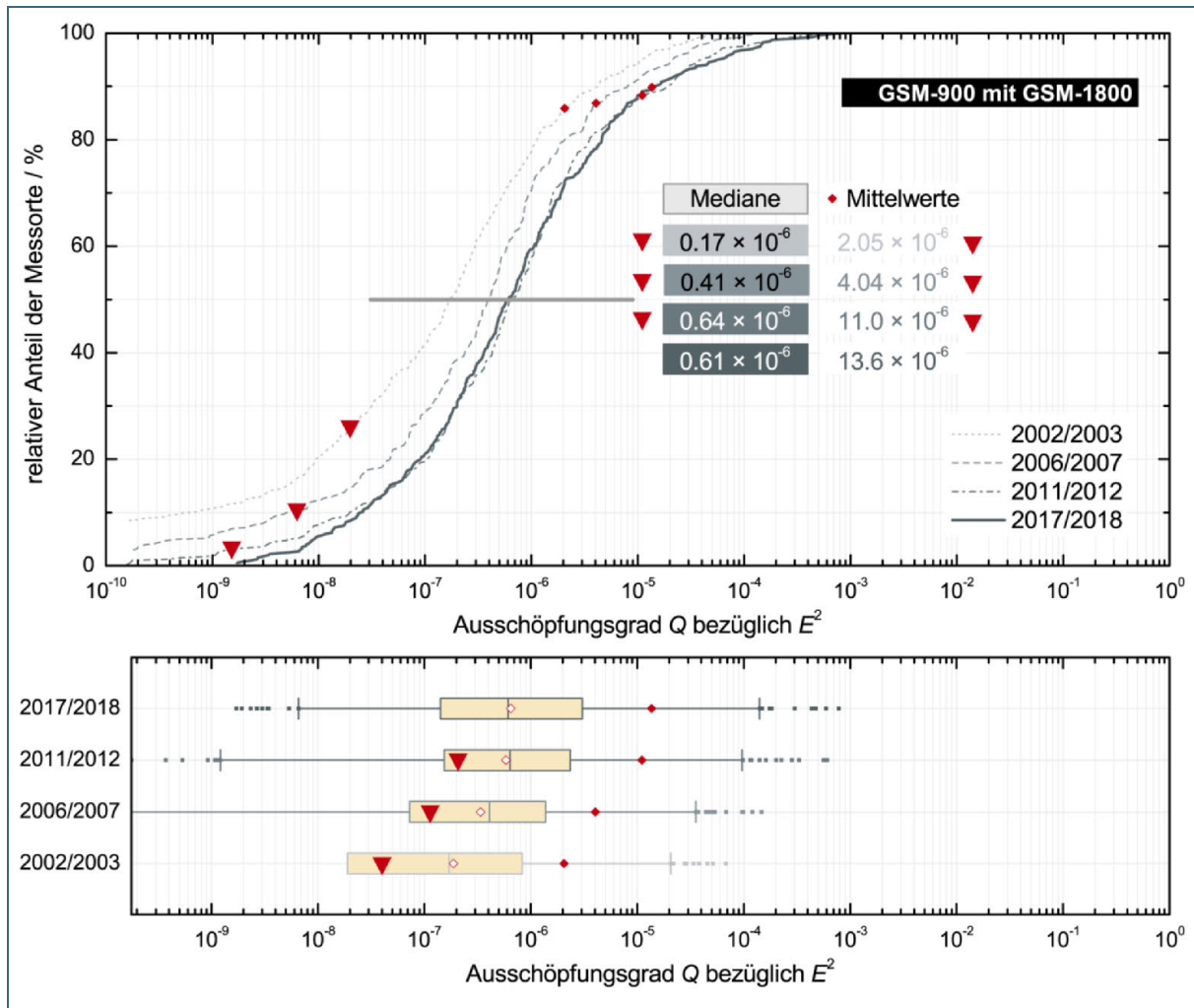


Abb. 77: Verteilung der Ausschöpfungsgrade bei GSM (GSM-900 und GSM-1800; 2002 – 2012: Darstellung auf Effektivwerte umgerechnet). Die Ergebnisse der früheren Messreihen wurden zur Vergleichbarkeit mit der aktuellen Messreihe auf RMS-Werte korrigiert (siehe Kapitel 6.2.3 auf S. 85). Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.

Tab. 34: Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade bei GSM-900 (unveränderte Originaldaten (2002 – 2012: Spitzenwerte)).

|                                     | AVG          | MIN      | MAX      | SD     |
|-------------------------------------|--------------|----------|----------|--------|
| <b>Messreihe 2002/2003</b>          |              |          |          |        |
| höchster Wert der Messorte          | 269,72       | 173,50   | 446,36   | 117,77 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>6,68</b>  | 4,40     | 9,77     | 1,74   |
| Standardabweichung                  | 24,88        | 16,09    | 37,88    | 8,20   |
| Variationskoeffizient               | 3,72         | 3,66     | 3,88     | 4,72   |
| <b>Median</b>                       | <b>0,48</b>  | 0,34     | 0,63     | 0,08   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 4,71         | 4,80     | 4,89     | 4,53   |
| <b>Messreihe 2006/2007</b>          |              |          |          |        |
| höchster Wert der Messorte          | 582,87       | 438,01   | 665,38   | 139,68 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>14,60</b> | 9,34     | 19,85    | 3,56   |
| Standardabweichung                  | 55,07        | 39,33    | 69,86    | 12,61  |
| Variationskoeffizient               | 3,77         | 4,21     | 3,52     | 3,55   |
| <b>Median</b>                       | <b>1,09</b>  | 0,75     | 1,39     | 0,18   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 3,43         | 3,43     | 3,74     | 4,13   |
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |              |          |          |        |
| höchster Wert der Messorte          | 2.394,23     | 1.945,86 | 3.104,40 | 804,93 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>36,88</b> | 23,02    | 50,44    | 9,26   |
| Standardabweichung                  | 190,78       | 122,65   | 260,38   | 57,71  |
| Variationskoeffizient               | 5,17         | 5,33     | 5,16     | 6,23   |
| <b>Median</b>                       | <b>1,87</b>  | 1,45     | 2,46     | 0,26   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 3,81         | 3,50     | 3,51     | 4,69   |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |              |          |          |        |
| höchster Wert der Messorte          | 780,76       | 689,45   | 951,83   | 116,65 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>12,78</b> | 11,71    | 14,14    | 1,08   |
| Standardabweichung                  | 61,44        | 56,99    | 69,34    | 6,54   |
| Variationskoeffizient               | 4,81         | 4,87     | 4,90     | 6,04   |
| <b>Median</b>                       | <b>0,51</b>  | 0,44     | 0,57     | 0,04   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 5,29         | 5,29     | 5,22     | 5,76   |

Tab. 35: Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade bei GSM-900 (2002 – 2012: korrigierte Daten).

|                                     | AVG           | MIN      | MAX      | SD       |
|-------------------------------------|---------------|----------|----------|----------|
| <b>Messreihe 2002/2003 ▼</b>        |               |          |          |          |
| höchster Wert der Messorte          | 63,48 ▼       | 40,84 ▼  | 105,05 ▼ | 27,72 ▼  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,57 ▼</b> | 1,03 ▼   | 2,30 ▼   | 0,41 ▼   |
| Standardabweichung                  | 5,85 ▼        | 3,79 ▼   | 8,92 ▼   | 1,93 ▼   |
| Variationskoeffizient               | 3,72 ▼        | 3,66 ▼   | 3,88 ▼   | 4,72 ▼   |
| <b>Median</b>                       | <b>0,11 ▼</b> | 0,08 ▼   | 0,15 ▼   | 0,02 ▼   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 4,71 ▼        | 4,80 ▼   | 4,89 ▼   | 4,53 ▼   |
| <b>Messreihe 2006/2007 ▼</b>        |               |          |          |          |
| höchster Wert der Messorte          | 137,18 ▼      | 103,09 ▼ | 156,60 ▼ | 32,87 ▼  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>3,44 ▼</b> | 2,20 ▼   | 4,67 ▼   | 0,84 ▼   |
| Standardabweichung                  | 12,96 ▼       | 9,26 ▼   | 16,44 ▼  | 2,97 ▼   |
| Variationskoeffizient               | 3,77 ▼        | 4,21 ▼   | 3,52 ▼   | 3,55 ▼   |
| <b>Median</b>                       | <b>0,26 ▼</b> | 0,18 ▼   | 0,33 ▼   | 0,04 ▼   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 3,43 ▼        | 3,43 ▼   | 3,74 ▼   | 4,13 ▼   |
| <b>Messreihe 2011/2012 ▼</b>        |               |          |          |          |
| höchster Wert der Messorte          | 563,50 ▼      | 457,97 ▼ | 730,64 ▼ | 189,44 ▼ |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>8,68 ▼</b> | 5,42 ▼   | 11,87 ▼  | 2,18 ▼   |
| Standardabweichung                  | 44,90 ▼       | 28,87 ▼  | 61,28 ▼  | 13,58 ▼  |
| Variationskoeffizient               | 5,17 ▼        | 5,33 ▼   | 5,16 ▼   | 6,23 ▼   |
| <b>Median</b>                       | <b>0,44 ▼</b> | 0,34 ▼   | 0,58 ▼   | 0,06 ▼   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 3,81 ▼        | 3,50 ▼   | 3,51 ▼   | 4,69 ▼   |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |               |          |          |          |
| höchster Wert der Messorte          | 780,78        | 689,45   | 951,83   | 116,65   |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>12,78</b>  | 11,71    | 14,14    | 1,08     |
| Standardabweichung                  | 61,44         | 56,99    | 69,34    | 6,54     |
| Variationskoeffizient               | 4,81          | 4,87     | 4,90     | 6,04     |
| <b>Median</b>                       | <b>0,51</b>   | 0,44     | 0,57     | 0,04     |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 5,29          | 5,29     | 5,22     | 5,76     |



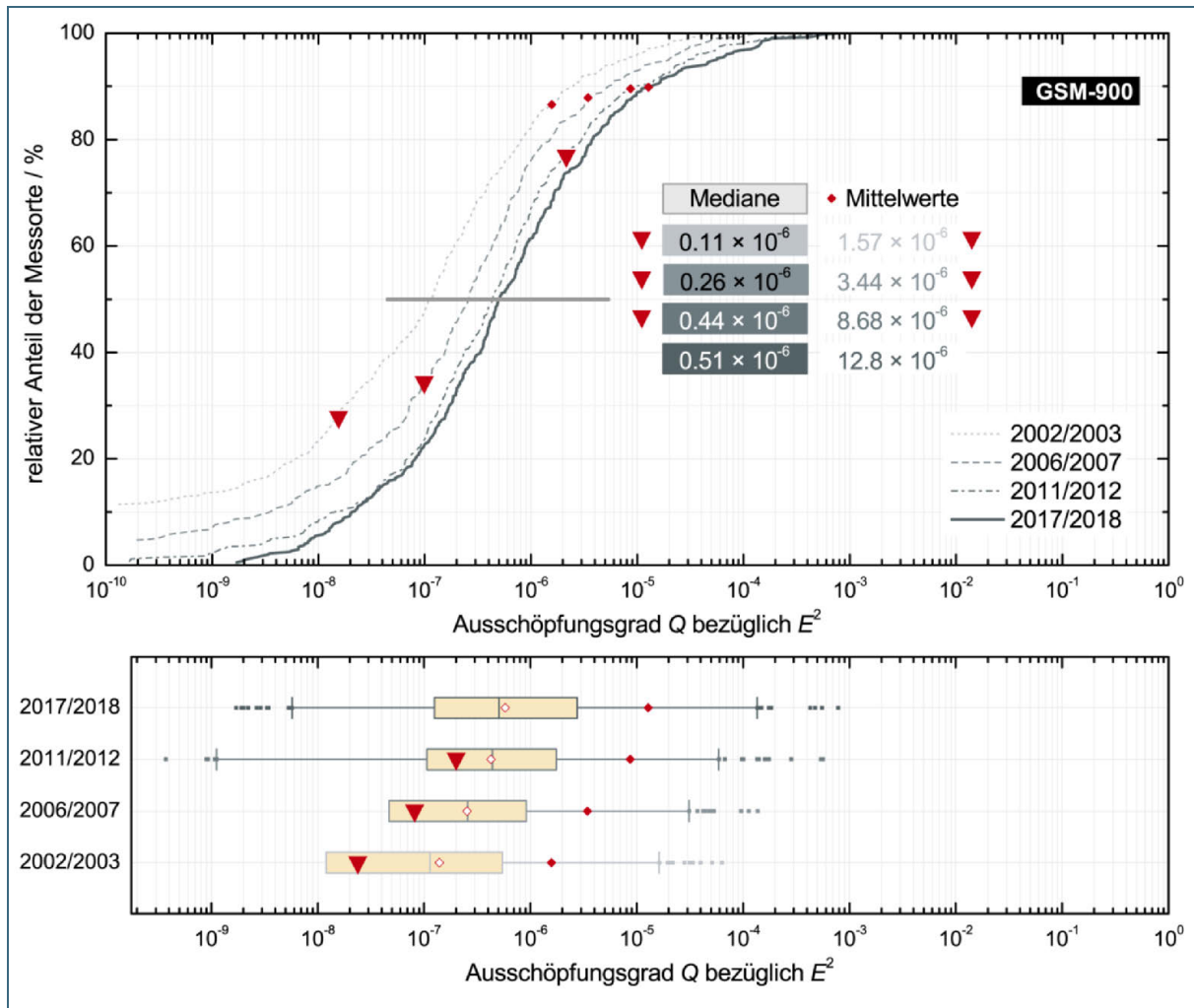


Abb. 78: Verteilung der Ausschöpfungsgrade bei GSM-900 (2002 – 2012: Darstellung auf Effektivwerte umgerechnet). Die Ergebnisse der früheren Messreihen wurden zur Vergleichbarkeit mit der aktuellen Messreihe auf RMS-Werte korrigiert (siehe Kapitel 6.2.3 auf S. 85). Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.

Tab. 36: Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade bei GSM-1800 (unveränderte Originaldaten (2002 – 2012: Spitzenwerte)).

|                                     | AVG          | MIN      | MAX      | SD     |
|-------------------------------------|--------------|----------|----------|--------|
| <b>Messreihe 2002/2003</b>          |              |          |          |        |
| höchster Wert der Messorte          | 130,20       | 102,19   | 325,77   | 85,33  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>2,39</b>  | 1,76     | 3,64     | 0,57   |
| Standardabweichung                  | 9,99         | 7,60     | 19,97    | 4,45   |
| Variationskoeffizient               | 4,18         | 4,33     | 5,48     | 7,86   |
| <b>Median</b>                       | <b>0,08</b>  | 0,05     | 0,11     | 0,02   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 7,07         | 8,87     | 6,42     | 5,81   |
| <b>Messreihe 2006/2007</b>          |              |          |          |        |
| höchster Wert der Messorte          | 122,17       | 110,47   | 157,85   | 22,69  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>3,01</b>  | 2,30     | 3,91     | 0,51   |
| Standardabweichung                  | 11,43        | 9,34     | 14,44    | 1,93   |
| Variationskoeffizient               | 3,80         | 4,06     | 3,69     | 3,76   |
| <b>Median</b>                       | <b>0,23</b>  | 0,16     | 0,29     | 0,03   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 5,33         | 5,43     | 5,32     | 5,46   |
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |              |          |          |        |
| höchster Wert der Messorte          | 1.320,83     | 1.144,62 | 1.604,54 | 170,77 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>11,85</b> | 7,91     | 16,54    | 2,96   |
| Standardabweichung                  | 75,56        | 61,35    | 96,59    | 14,80  |
| Variationskoeffizient               | 6,38         | 7,75     | 5,84     | 5,00   |
| <b>Median</b>                       | <b>0,31</b>  | 0,22     | 0,43     | 0,06   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 6,42         | 6,60     | 5,89     | 7,23   |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |              |          |          |        |
| höchster Wert der Messorte          | 165,22       | 145,40   | 187,46   | 19,66  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,82</b>  | 0,72     | 0,94     | 0,10   |
| Standardabweichung                  | 8,66         | 7,62     | 9,86     | 1,05   |
| Variationskoeffizient               | 10,58        | 10,65    | 10,52    | 10,12  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,00</b>  | 0,00     | 0,00     | 0,00   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 41,77        | 44,73    | 40,52    | 38,45  |

Tab. 37: Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade bei GSM-1800 (2002 – 2012: korrigierte Daten).

|                                     | AVG           | MIN      | MAX      | SD      |
|-------------------------------------|---------------|----------|----------|---------|
| <b>Messreihe 2002/2003 ▼</b>        |               |          |          |         |
| höchster Wert der Messorte          | 25,91 ▼       | 20,34 ▼  | 64,84 ▼  | 16,98 ▼ |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,48 ▼</b> | 0,35 ▼   | 0,73 ▼   | 0,11 ▼  |
| Standardabweichung                  | 1,99 ▼        | 1,51 ▼   | 3,98 ▼   | 0,89 ▼  |
| Variationskoeffizient               | 4,18 ▼        | 4,33 ▼   | 5,48 ▼   | 7,86 ▼  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,02 ▼</b> | 0,01 ▼   | 0,02 ▼   | 0,00 ▼  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 7,07 ▼        | 8,87 ▼   | 6,42 ▼   | 5,81 ▼  |
| <b>Messreihe 2006/2007 ▼</b>        |               |          |          |         |
| höchster Wert der Messorte          | 24,32 ▼       | 21,99 ▼  | 31,42 ▼  | 4,52 ▼  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,60 ▼</b> | 0,46 ▼   | 0,78 ▼   | 0,10 ▼  |
| Standardabweichung                  | 2,28 ▼        | 1,86 ▼   | 2,87 ▼   | 0,38 ▼  |
| Variationskoeffizient               | 3,80 ▼        | 4,06 ▼   | 3,69 ▼   | 3,76 ▼  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,04 ▼</b> | 0,03 ▼   | 0,06 ▼   | 0,01 ▼  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 5,33 ▼        | 5,43 ▼   | 5,32 ▼   | 5,46 ▼  |
| <b>Messreihe 2011/2012 ▼</b>        |               |          |          |         |
| höchster Wert der Messorte          | 262,89 ▼      | 227,82 ▼ | 319,36 ▼ | 33,99 ▼ |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>2,36 ▼</b> | 1,57 ▼   | 3,29 ▼   | 0,59 ▼  |
| Standardabweichung                  | 15,04 ▼       | 12,21 ▼  | 19,22 ▼  | 2,95 ▼  |
| Variationskoeffizient               | 6,38 ▼        | 7,75 ▼   | 5,84 ▼   | 5,00 ▼  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,06 ▼</b> | 0,04 ▼   | 0,09 ▼   | 0,01 ▼  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 6,42 ▼        | 6,60 ▼   | 5,89 ▼   | 7,23 ▼  |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |               |          |          |         |
| höchster Wert der Messorte          | 165,22        | 145,40   | 187,46   | 19,66   |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,82</b>   | 0,72     | 0,94     | 0,10    |
| Standardabweichung                  | 8,66          | 7,62     | 9,86     | 1,05    |
| Variationskoeffizient               | 10,58         | 10,65    | 10,52    | 10,12   |
| <b>Median</b>                       | <b>0,00</b>   | 0,00     | 0,00     | 0,00    |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 41,77         | 44,73    | 40,52    | 38,45   |

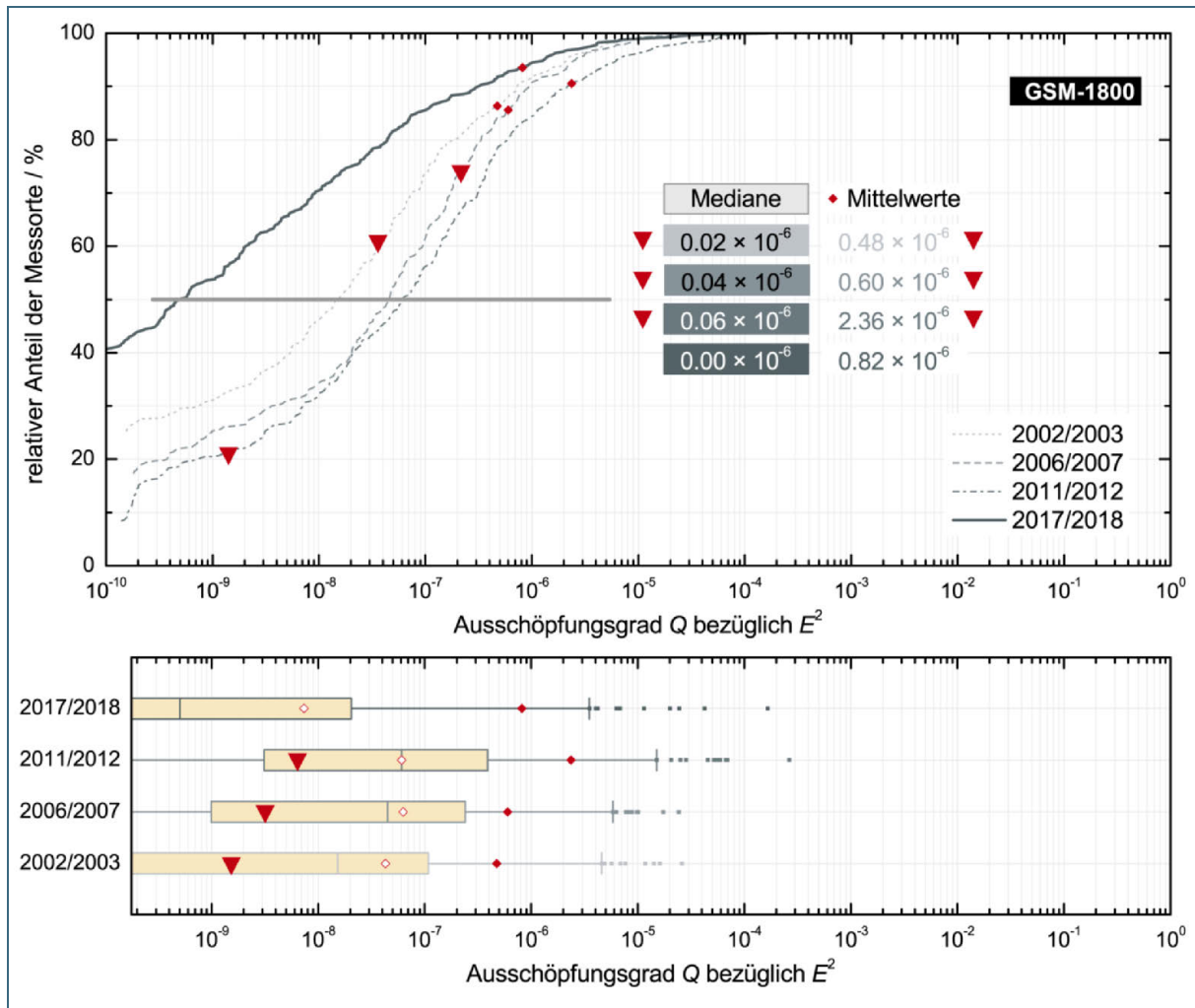


Abb. 79: Verteilung der Ausschöpfungsgrade bei GSM-1800 (2002 – 2012: Darstellung auf Effektivwerte umgerechnet). Die Ergebnisse der früheren Messreihen wurden zur Vergleichbarkeit mit der aktuellen Messreihe auf RMS-Werte korrigiert (siehe Kapitel 6.2.3 auf S. 85). Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.

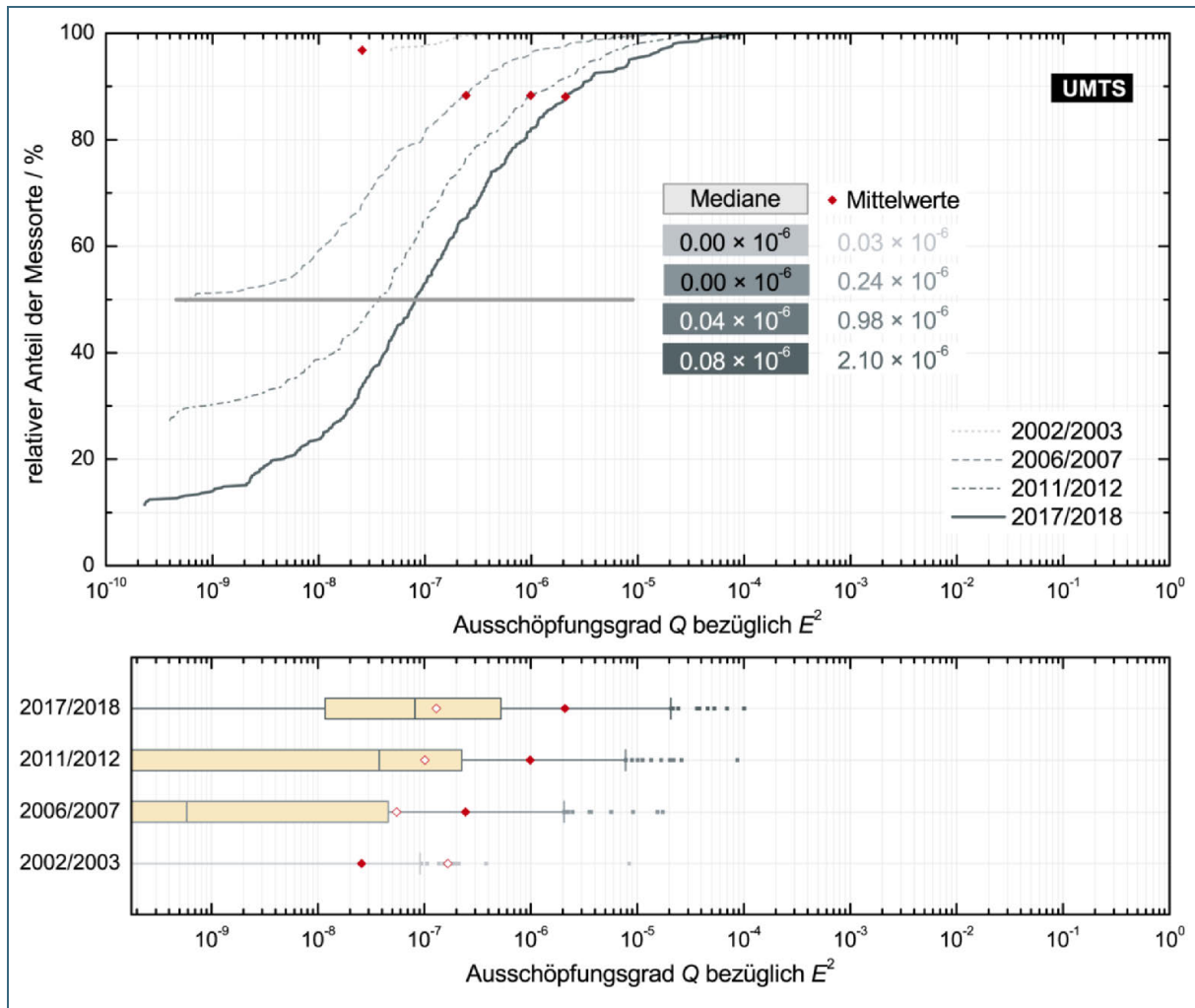


Abb. 80: Verteilung der Ausschöpfungsgrade bei UMTS. Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.

Tab. 38: Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade bei UMTS.

|                                     | AVG         | MIN   | MAX    | SD    |
|-------------------------------------|-------------|-------|--------|-------|
| <b>Messreihe 2002/2003</b>          |             |       |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 8,42        | 6,76  | 10,28  | 1,04  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,03</b> | 0,02  | 0,03   | 0,00  |
| Standardabweichung                  | 0,42        | 0,34  | 0,51   | 0,05  |
| Variationskoeffizient               | 16,40       | 16,19 | 16,51  | 17,02 |
| <b>Median</b>                       | <b>0,00</b> | 0,00  | 0,00   | 0,00  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | —           | —     | —      | —     |
| <b>Messreihe 2006/2007</b>          |             |       |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 17,33       | 14,21 | 21,23  | 1,86  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,24</b> | 0,19  | 0,30   | 0,03  |
| Standardabweichung                  | 1,34        | 1,07  | 1,61   | 0,17  |
| Variationskoeffizient               | 5,53        | 5,76  | 5,38   | 4,97  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,00</b> | 0,00  | 0,01   | 0,00  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 78,04       | —     | 10,20  | 36,69 |
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |             |       |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 86,78       | 68,60 | 134,09 | 21,94 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,98</b> | 0,70  | 1,53   | 0,27  |
| Standardabweichung                  | 5,10        | 3,88  | 8,19   | 1,47  |
| Variationskoeffizient               | 5,19        | 5,56  | 5,37   | 5,40  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,04</b> | 0,02  | 0,05   | 0,01  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 6,06        | 6,13  | 7,27   | 7,29  |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |             |       |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 100,91      | 87,67 | 125,84 | 24,82 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>2,10</b> | 1,76  | 2,51   | 0,33  |
| Standardabweichung                  | 8,72        | 7,31  | 10,76  | 1,75  |
| Variationskoeffizient               | 4,16        | 4,14  | 4,29   | 5,37  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,08</b> | 0,07  | 0,09   | 0,01  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 6,30        | 5,93  | 6,47   | 7,64  |



Tab. 39: Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade bei LTE.

|                                     | AVG         | MIN    | MAX    | SD    |
|-------------------------------------|-------------|--------|--------|-------|
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 47,58       | 25,43  | 63,88  | 12,98 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,47</b> | 0,32   | 0,59   | 0,09  |
| Standardabweichung                  | 3,34        | 2,16   | 4,25   | 0,80  |
| Variationskoeffizient               | 7,05        | 6,69   | 7,24   | 8,38  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,01</b> | 0,00   | 0,02   | 0,01  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 5,01        | —      | 3,21   | 2,09  |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 364,22      | 307,49 | 410,15 | 43,09 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>5,52</b> | 4,37   | 6,85   | 1,06  |
| Standardabweichung                  | 26,27       | 21,55  | 30,91  | 4,29  |
| Variationskoeffizient               | 4,76        | 4,93   | 4,51   | 4,06  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,30</b> | 0,24   | 0,40   | 0,05  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 4,80        | 4,37   | 4,29   | 5,39  |

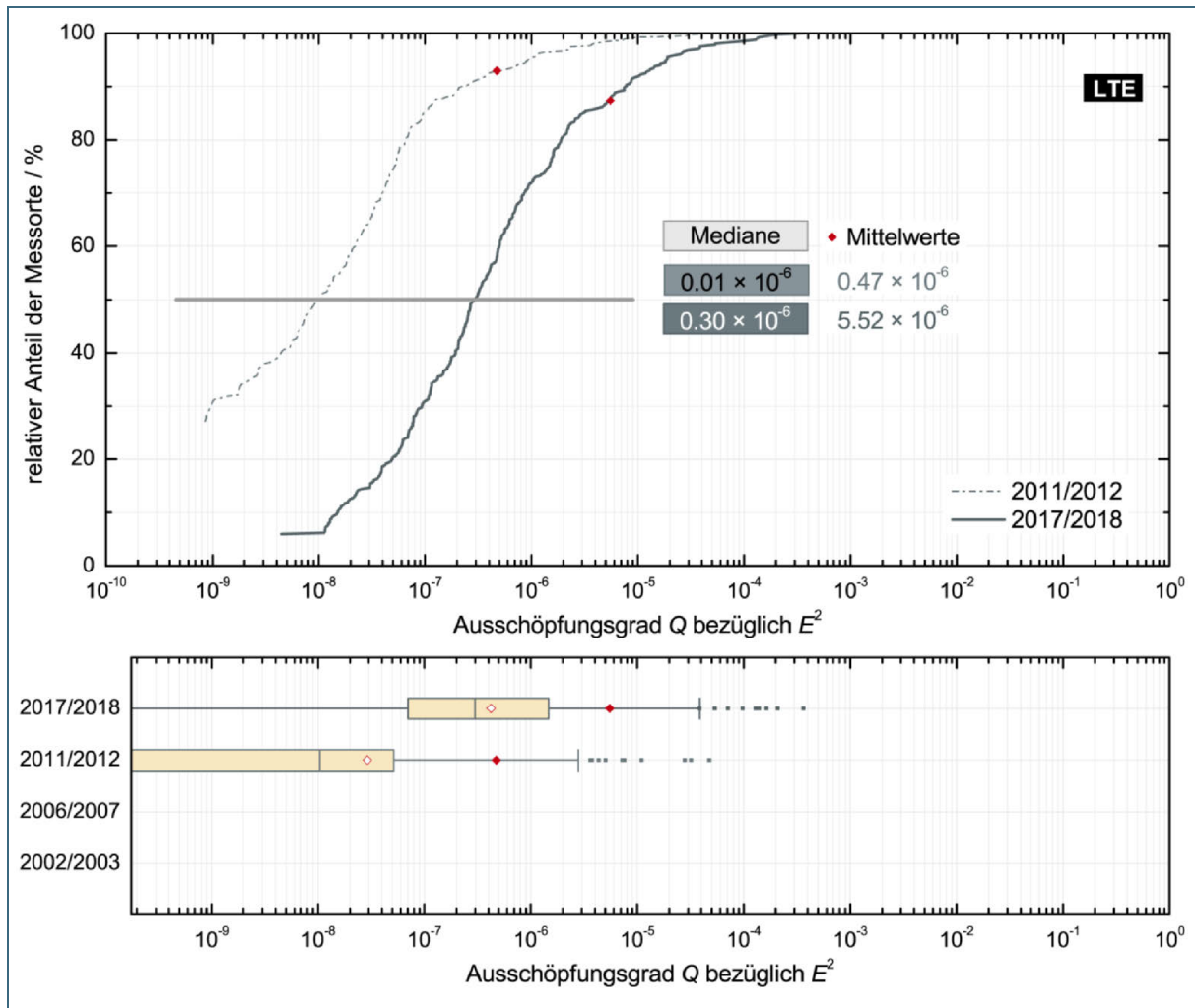


Abb. 81: Verteilung der Ausschöpfungsgrade bei LTE. Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.

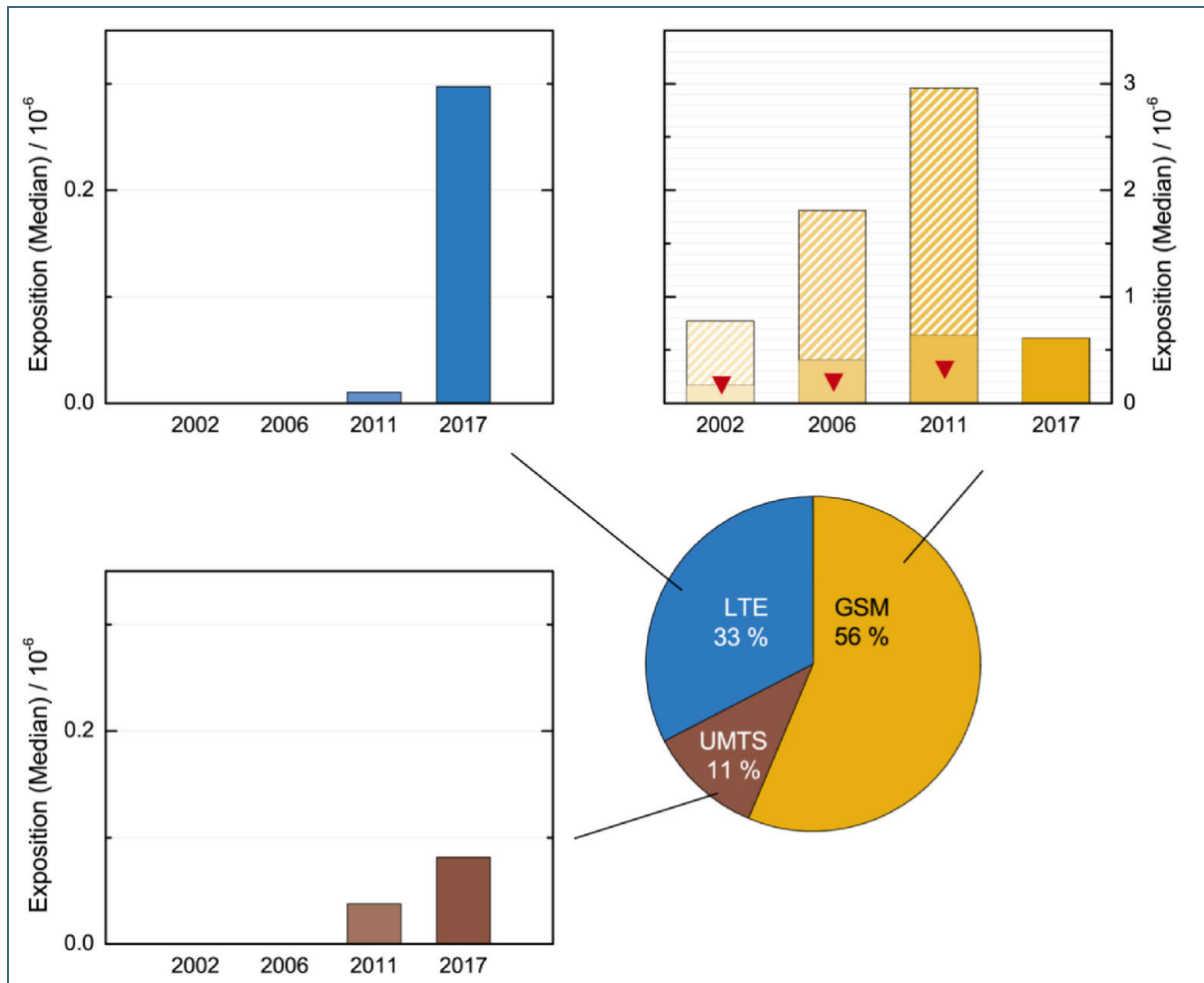


Abb. 82: Zusammensetzung der Mobilfunkimmissionen aus den Funkdiensten GSM, UMTS und LTE (Kreisdiagramm) für die Messreihe 2017/2018. Die Balkendiagramme zeigen die zeitliche Entwicklung der Mediane der Mobilfunkdienste von Messreihe zu Messreihe. Die Ergebnisse der früheren Messreihen wurden zur Vergleichbarkeit mit der aktuellen Messreihe auf RMS-Werte korrigiert (siehe Kapitel 6.2.3 auf S. 85). Die schraffierten Balken zeigen zum Vergleich die Originalwerte.

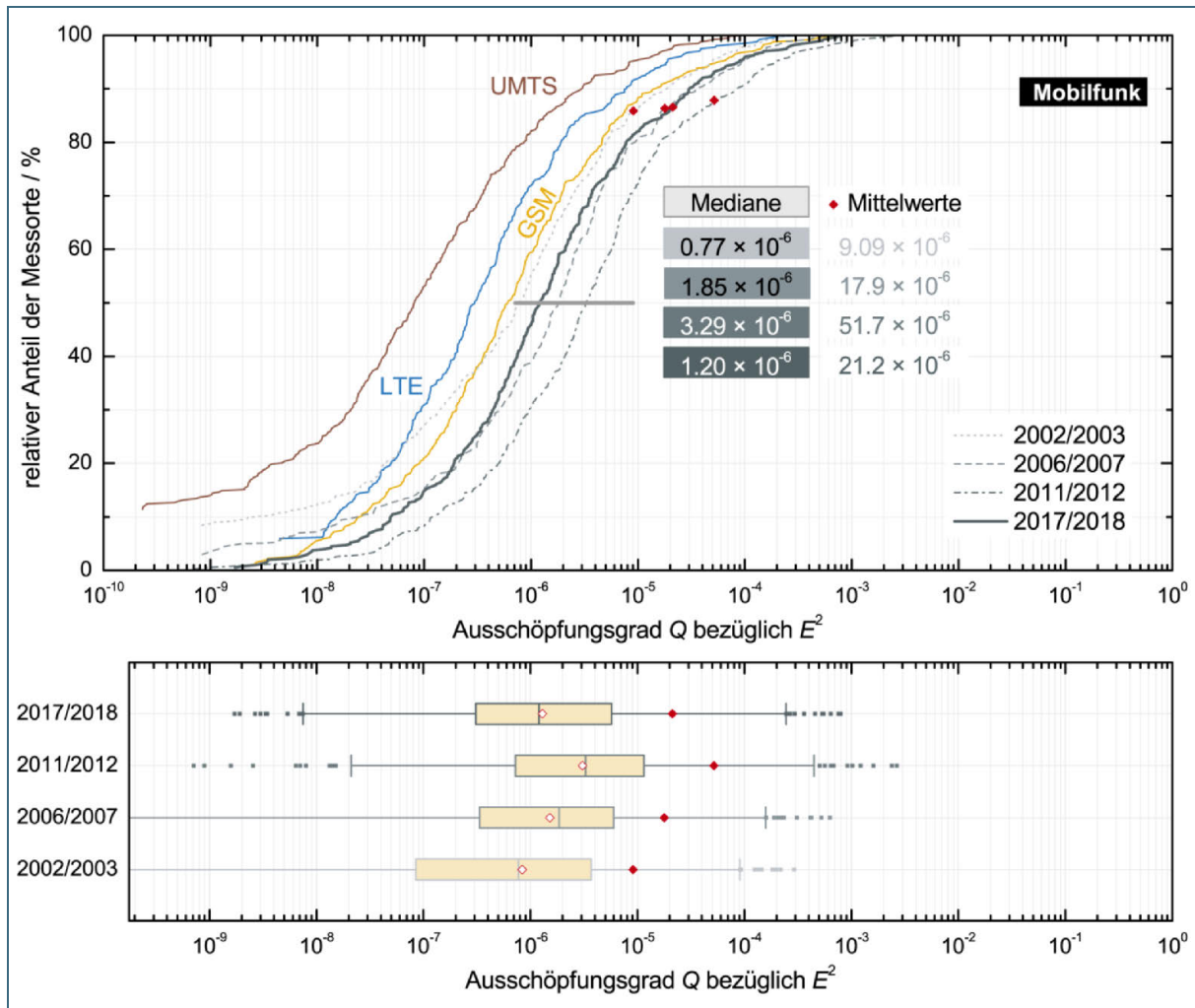


Abb. 83: Verteilung der Ausschöpfungsgrade beim Mobilfunk (unveränderte Originaldaten (2002 – 2012: Spitzenwerte bei GSM)). Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.

Tab. 40: Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade beim Mobilfunk (GSM-900, GSM-1800, UMTS und LTE; unveränderte Originaldaten (2002 – 2012: Spitzenwerte bei GSM)).

|                                     | AVG          | MIN      | MAX      | SD     |
|-------------------------------------|--------------|----------|----------|--------|
| <b>Messreihe 2002/2003</b>          |              |          |          |        |
| höchster Wert der Messorte          | 290,90       | 173,77   | 472,75   | 117,80 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>9,09</b>  | 6,17     | 13,45    | 2,10   |
| Standardabweichung                  | 29,32        | 19,42    | 46,89    | 9,27   |
| Variationskoeffizient               | 3,22         | 3,14     | 3,49     | 4,42   |
| <b>Median</b>                       | <b>0,77</b>  | 0,54     | 1,02     | 0,11   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 4,72         | 4,80     | 4,54     | 4,69   |
| <b>Messreihe 2006/2007</b>          |              |          |          |        |
| höchster Wert der Messorte          | 632,24       | 471,77   | 735,69   | 139,70 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>17,85</b> | 11,83    | 24,06    | 3,79   |
| Standardabweichung                  | 60,43        | 43,21    | 76,48    | 12,70  |
| Variationskoeffizient               | 3,39         | 3,65     | 3,18     | 3,35   |
| <b>Median</b>                       | <b>1,85</b>  | 1,22     | 2,35     | 0,26   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 3,26         | 3,24     | 3,46     | 3,55   |
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |              |          |          |        |
| höchster Wert der Messorte          | 2.650,15     | 2.115,94 | 3.339,03 | 804,97 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>51,72</b> | 32,98    | 71,12    | 11,57  |
| Standardabweichung                  | 229,64       | 155,69   | 307,45   | 60,50  |
| Variationskoeffizient               | 4,44         | 4,72     | 4,32     | 5,23   |
| <b>Median</b>                       | <b>3,29</b>  | 2,31     | 4,35     | 0,43   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 3,32         | 3,42     | 3,40     | 4,27   |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |              |          |          |        |
| höchster Wert der Messorte          | 791,05       | 698,07   | 966,54   | 116,69 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>21,22</b> | 18,56    | 24,44    | 2,01   |
| Standardabweichung                  | 84,46        | 75,46    | 96,35    | 8,14   |
| Variationskoeffizient               | 3,98         | 4,07     | 3,94     | 4,04   |
| <b>Median</b>                       | <b>1,20</b>  | 1,00     | 1,41     | 0,11   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 4,62         | 4,59     | 4,39     | 5,16   |

Tab. 41: Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade beim Mobilfunk (GSM-900(2002 – 2012: korrigierte Daten), GSM-1800, UMTS und LTE).

|                                     | AVG            | MIN      | MAX      | SD       |
|-------------------------------------|----------------|----------|----------|----------|
| <b>Messreihe 2002/2003 ▼</b>        |                |          |          |          |
| höchster Wert der Messorte          | 67,69 ▼        | 40,89 ▼  | 110,30 ▼ | 27,72 ▼  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>2,07 ▼</b>  | 1,41 ▼   | 3,06 ▼   | 0,48 ▼   |
| Standardabweichung                  | 6,73 ▼         | 4,44 ▼   | 10,64 ▼  | 2,11 ▼   |
| Variationskoeffizient               | 3,25 ▼         | 3,16 ▼   | 3,48 ▼   | 4,41 ▼   |
| <b>Median</b>                       | <b>0,17 ▼</b>  | 0,12 ▼   | 0,23 ▼   | 0,03 ▼   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 4,79 ▼         | 4,62 ▼   | 6,61 ▼   | 4,45 ▼   |
| <b>Messreihe 2006/2007 ▼</b>        |                |          |          |          |
| höchster Wert der Messorte          | 147,18 ▼       | 109,96 ▼ | 170,79 ▼ | 32,88 ▼  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>4,28 ▼</b>  | 2,84 ▼   | 5,75 ▼   | 0,89 ▼   |
| Standardabweichung                  | 14,29 ▼        | 10,20 ▼  | 18,12 ▼  | 2,99 ▼   |
| Variationskoeffizient               | 3,34 ▼         | 3,59 ▼   | 3,15 ▼   | 3,37 ▼   |
| <b>Median</b>                       | <b>0,43 ▼</b>  | 0,29 ▼   | 0,54 ▼   | 0,06 ▼   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 3,33 ▼         | 3,15 ▼   | 3,44 ▼   | 3,51 ▼   |
| <b>Messreihe 2011/2012 ▼</b>        |                |          |          |          |
| höchster Wert der Messorte          | 617,10 ▼       | 496,85 ▼ | 776,73 ▼ | 189,60 ▼ |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>12,86 ▼</b> | 8,27 ▼   | 17,78 ▼  | 2,75 ▼   |
| Standardabweichung                  | 53,98 ▼        | 36,28 ▼  | 73,12 ▼  | 14,20 ▼  |
| Variationskoeffizient               | 4,20 ▼         | 4,39 ▼   | 4,11 ▼   | 5,16 ▼   |
| <b>Median</b>                       | <b>0,96 ▼</b>  | 0,71 ▼   | 1,23 ▼   | 0,12 ▼   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 3,07 ▼         | 3,04 ▼   | 3,32 ▼   | 4,52 ▼   |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |                |          |          |          |
| höchster Wert der Messorte          | 791,05         | 698,07   | 966,54   | 116,69   |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>21,22</b>   | 18,56    | 24,44    | 2,01     |
| Standardabweichung                  | 84,46          | 75,46    | 96,35    | 8,14     |
| Variationskoeffizient               | 3,98           | 4,07     | 3,94     | 4,04     |
| <b>Median</b>                       | <b>1,20</b>    | 1,00     | 1,41     | 0,11     |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 4,62           | 4,59     | 4,39     | 5,16     |



Tab. 42: Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade beim Mobilfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS-Funk).

|                                     | AVG         | MIN    | MAX    | SD    |
|-------------------------------------|-------------|--------|--------|-------|
| <b>Messreihe 2002/2003</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 4,45        | 1,30   | 12,79  | 4,49  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,01</b> | 0,00   | 0,05   | 0,02  |
| Standardabweichung                  | 0,22        | 0,06   | 0,66   | 0,23  |
| Variationskoeffizient               | 16,76       | 18,90  | 14,32  | 14,65 |
| <b>Median</b>                       | <b>0,00</b> | 0,00   | 0,00   | 0,00  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | —           | —      | —      | —     |
| <b>Messreihe 2006/2007</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 4,45        | 1,30   | 12,79  | 4,49  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,01</b> | 0,00   | 0,05   | 0,02  |
| Standardabweichung                  | 0,22        | 0,06   | 0,66   | 0,23  |
| Variationskoeffizient               | 16,76       | 18,90  | 14,32  | 14,65 |
| <b>Median</b>                       | <b>0,00</b> | 0,00   | 0,00   | 0,00  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | —           | —      | —      | —     |
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 207,19      | 195,69 | 216,29 | 25,34 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,75</b> | 0,64   | 0,95   | 0,12  |
| Standardabweichung                  | 10,57       | 9,96   | 11,46  | 1,34  |
| Variationskoeffizient               | 14,15       | 15,51  | 12,04  | 11,48 |
| <b>Median</b>                       | <b>0,01</b> | 0,01   | 0,02   | 0,00  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 3,76        | 3,95   | 3,73   | 4,76  |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 31,82       | 31,82  | 31,82  | 0,00  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,19</b> | 0,19   | 0,19   | 0,00  |
| Standardabweichung                  | 1,80        | 1,80   | 1,80   | 0,00  |
| Variationskoeffizient               | 9,34        | 9,34   | 9,34   | —     |
| <b>Median</b>                       | <b>0,01</b> | 0,01   | 0,01   | 0,00  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 3,38        | 3,38   | 3,38   | —     |

Tab. 43: Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade sonstiger Funkdienste.

|                                     | AVG         | MIN   | MAX    | SD    |
|-------------------------------------|-------------|-------|--------|-------|
| <b>Messreihe 2002/2003</b>          |             |       |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 34,15       | 22,15 | 83,59  | 18,21 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,17</b> | 0,11  | 0,40   | 0,09  |
| Standardabweichung                  | 1,74        | 1,14  | 4,24   | 0,93  |
| Variationskoeffizient               | 10,07       | 10,82 | 10,65  | 10,52 |
| <b>Median</b>                       | <b>0,00</b> | 0,00  | 0,00   | 0,00  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 522,47      | —     | 111,74 | 60,98 |
| <b>Messreihe 2006/2007</b>          |             |       |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 92,09       | 72,22 | 129,91 | 18,56 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,37</b> | 0,27  | 0,59   | 0,10  |
| Standardabweichung                  | 4,60        | 3,61  | 6,52   | 0,96  |
| Variationskoeffizient               | 12,42       | 13,45 | 11,02  | 9,22  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,04</b> | 0,02  | 0,06   | 0,01  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 1,95        | 2,05  | 2,34   | 2,89  |
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |             |       |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 64,76       | 59,35 | 75,64  | 11,28 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,31</b> | 0,22  | 0,60   | 0,14  |
| Standardabweichung                  | 3,28        | 2,97  | 4,39   | 0,88  |
| Variationskoeffizient               | 10,52       | 13,76 | 7,28   | 6,48  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,04</b> | 0,02  | 0,06   | 0,01  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 2,27        | 2,17  | 2,22   | 2,65  |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |             |       |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 30,28       | 30,28 | 30,28  | 0,00  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,22</b> | 0,22  | 0,22   | 0,00  |
| Standardabweichung                  | 2,08        | 2,08  | 2,08   | 0,00  |
| Variationskoeffizient               | 9,37        | 9,37  | 9,37   | —     |
| <b>Median</b>                       | <b>0,01</b> | 0,01  | 0,01   | 0,00  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 2,08        | 2,08  | 2,08   | —     |

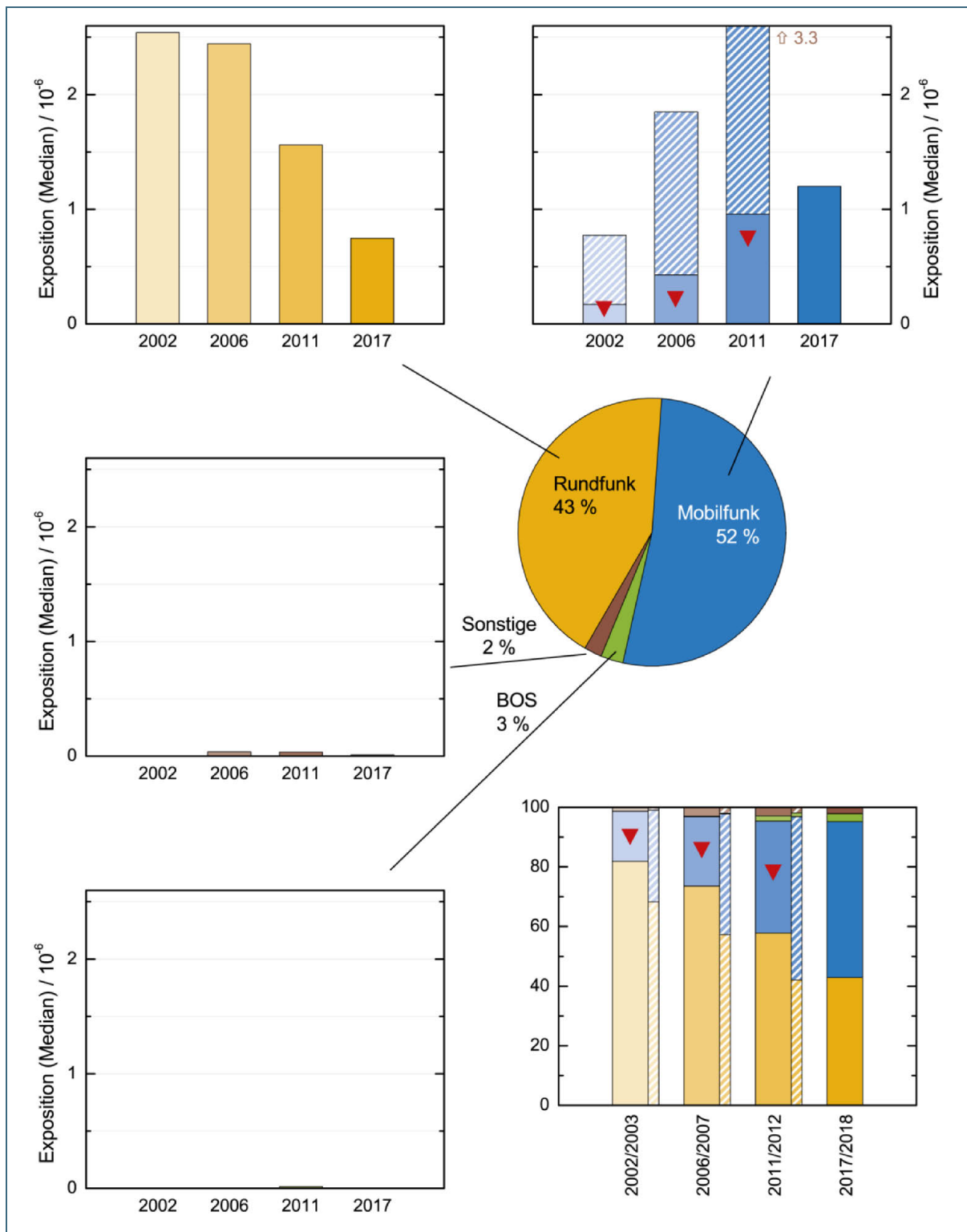


Abb. 84: Zusammensetzung der Gesamtmissionen aus den Funkdiensten Rundfunk, Mobilfunk, BOS-Funk und Sonstigen (Kreisdiagramm) für die Messreihe 2017/2018. Die zugehörigen Balkendiagramme zeigen die zeitliche Entwicklung der Mediane der Gesamtmissionen von Messreihe zu Messreihe. Rechts unten: Entwicklung der Zusammensetzung der Gesamtmissionen im Laufe der Messreihen. In allen Beiträgen des Mobilfunks erfolgte zur Vergleichbarkeit mit der aktuellen Messreihe eine Korrektur der GSM-Beiträge früherer Messreihen auf RMS-Werte. Die schraffierten Balken zeigen zum Vergleich jeweils die Zusammensetzung anhand der Originalergebnisse.

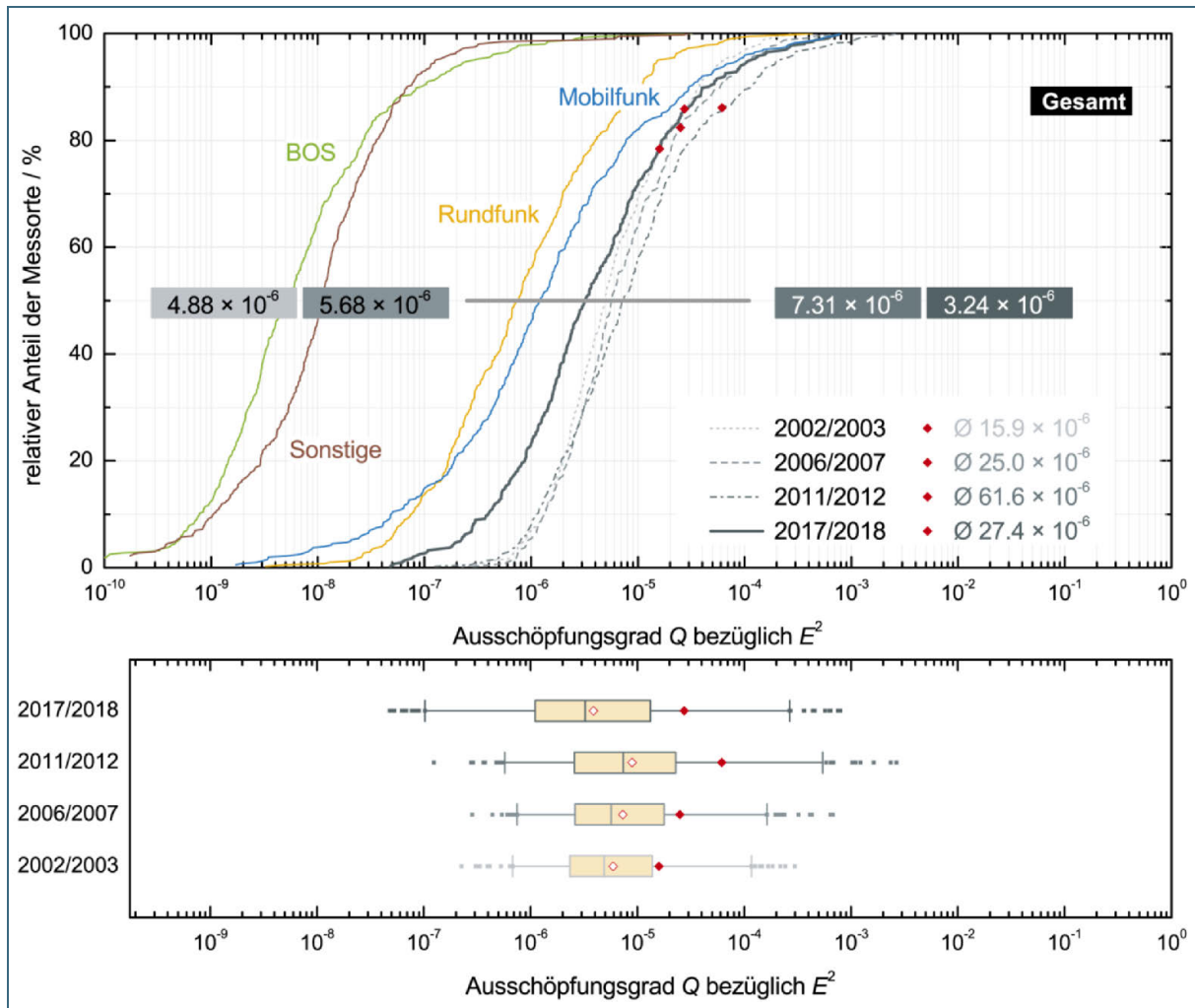


Abb. 85: Verteilung der Ausschöpfungsgrade im Gesamtbereich thermischer Wirkung. Enthält Spitzenwerte für GSM im Zeitraum 2002 – 2012. Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.

Tab. 44: Statistische Kenndaten der Gesamtexposition für die thermische Wirkung durch elektrische Felder (unveränderte Originaldaten; enthält Spitzenwerte für GSM im Zeitraum 2002 – 2012).

|                                     | AVG          | MIN      | MAX      | SD     |
|-------------------------------------|--------------|----------|----------|--------|
| <b>Messreihe 2002/2003</b>          |              |          |          |        |
| höchster Wert der Messorte          | 297,87       | 181,07   | 488,84   | 117,83 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>15,93</b> | 11,21    | 22,87    | 2,92   |
| Standardabweichung                  | 32,87        | 22,80    | 51,03    | 9,28   |
| Variationskoeffizient               | 2,06         | 2,03     | 2,23     | 3,18   |
| <b>Median</b>                       | <b>4,88</b>  | 3,30     | 7,28     | 0,77   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 2,40         | 2,53     | 2,00     | 1,85   |
| <b>Messreihe 2006/2007</b>          |              |          |          |        |
| höchster Wert der Messorte          | 674,97       | 552,46   | 811,04   | 139,70 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>24,97</b> | 17,42    | 33,49    | 4,44   |
| Standardabweichung                  | 65,83        | 48,06    | 82,94    | 12,64  |
| Variationskoeffizient               | 2,64         | 2,76     | 2,48     | 2,85   |
| <b>Median</b>                       | <b>5,68</b>  | 4,08     | 9,06     | 0,87   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 2,70         | 2,93     | 2,09     | 2,11   |
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |              |          |          |        |
| höchster Wert der Messorte          | 2.655,48     | 2.120,24 | 3.345,21 | 804,97 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>61,58</b> | 41,15    | 83,52    | 12,25  |
| Standardabweichung                  | 239,07       | 166,15   | 316,83   | 60,84  |
| Variationskoeffizient               | 3,88         | 4,04     | 3,79     | 4,97   |
| <b>Median</b>                       | <b>7,31</b>  | 5,10     | 10,24    | 0,97   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 2,78         | 2,99     | 2,42     | 2,58   |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |              |          |          |        |
| höchster Wert der Messorte          | 791,30       | 698,31   | 966,79   | 116,69 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>27,39</b> | 24,54    | 30,79    | 2,09   |
| Standardabweichung                  | 90,63        | 81,84    | 102,21   | 8,13   |
| Variationskoeffizient               | 3,31         | 3,34     | 3,32     | 3,90   |
| <b>Median</b>                       | <b>3,24</b>  | 2,88     | 3,57     | 0,16   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 3,82         | 3,96     | 3,65     | 4,01   |

Tab. 45: Statistische Kenndaten der Gesamtexposition für die thermische Wirkung durch elektrische Felder (2002 – 2012: korrigierte Daten).

|                                     | AVG            | MIN      | MAX        | SD       |
|-------------------------------------|----------------|----------|------------|----------|
| <b>Messreihe 2002/2003 ▼</b>        |                |          |            |          |
| höchster Wert der Messorte          | 117,38 ▼       | 97,72 ▼  | 156,71 ▼   | 27,88 ▼  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>8,91 ▼</b>  | 6,44 ▼   | 12,48 ▼    | 1,44 ▼   |
| Standardabweichung                  | 14,40 ▼        | 11,36 ▼  | 19,55 ▼    | 2,63 ▼   |
| Variationskoeffizient               | 1,62 ▼         | 1,76 ▼   | 1,57 ▼     | 1,82 ▼   |
| <b>Median</b>                       | <b>3,68 ▼</b>  | 2,38 ▼   | 5,62 ▼     | 0,63 ▼   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 2,10 ▼         | 2,29 ▼   | 1,84 ▼     | 1,58 ▼   |
| <b>Messreihe 2006/2007 ▼</b>        |                |          |            |          |
| höchster Wert der Messorte          | 275,53 ▼       | 214,67 ▼ | 349,31 ▼   | 32,88 ▼  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>11,40 ▼</b> | 8,43 ▼   | 15,18 ▼    | 1,67 ▼   |
| Standardabweichung                  | 23,02 ▼        | 18,03 ▼  | 28,48 ▼    | 3,29 ▼   |
| Variationskoeffizient               | 2,02 ▼         | 2,14 ▼   | 1,88 ▼     | 1,97 ▼   |
| <b>Median</b>                       | <b>3,83 ▼</b>  | 2,52 ▼   | 5,80 ▼     | 0,61 ▼   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 2,14 ▼         | 2,64 ▼   | 1,86 ▼     | 1,77 ▼   |
| <b>Messreihe 2011/2012 ▼</b>        |                |          |            |          |
| höchster Wert der Messorte          | 1.009,88 ▼     | 941,04 ▼ | 1.083,24 ▼ | 189,60 ▼ |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>22,24 ▼</b> | 16,13 ▼  | 29,51 ▼    | 3,50 ▼   |
| Standardabweichung                  | 76,96 ▼        | 62,49 ▼  | 94,39 ▼    | 14,39 ▼  |
| Variationskoeffizient               | 3,46 ▼         | 3,87 ▼   | 3,20 ▼     | 4,11 ▼   |
| <b>Median</b>                       | <b>3,97 ▼</b>  | 2,77 ▼   | 5,77 ▼     | 0,57 ▼   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 2,82 ▼         | 3,00 ▼   | 2,55 ▼     | 2,57 ▼   |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |                |          |            |          |
| höchster Wert der Messorte          | 791,30         | 698,31   | 966,79     | 116,69   |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>27,39</b>   | 24,54    | 30,79      | 2,09     |
| Standardabweichung                  | 90,63          | 81,84    | 102,21     | 8,13     |
| Variationskoeffizient               | 3,31           | 3,34     | 3,32       | 3,90     |
| <b>Median</b>                       | <b>3,24</b>    | 2,88     | 3,57       | 0,16     |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 3,82           | 3,96     | 3,65       | 4,01     |



## B Einzelergebnisse der Messpunkte

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

|               |                                                                                                                                                                                                               |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MP            | Messpunkt-Nummer und Angabe der Messreihe.                                                                                                                                                                    |
| NF <i>B</i>   | Ausschöpfungsgrad des niederfrequenten magnetischen Felds von 10 Hz bis 32 kHz in Einheiten von ‰ (Stimulationswirkung).                                                                                      |
| <i>B</i> ges. | Summe des Ausschöpfungsgrads des magnetischen Felds für Stimulationswirkung (von 10 Hz bis 10 MHz) in Einheiten von ‰.                                                                                        |
| NF <i>E</i>   | Ausschöpfungsgrad des niederfrequenten elektrischen Felds von 10 Hz bis 32 kHz in Einheiten von ‰ (Stimulationswirkung).                                                                                      |
| <i>E</i> ges. | Summe des Ausschöpfungsgrads des elektrischen Felds für Stimulationswirkung (von 10 Hz bis 10 MHz) in Einheiten von ‰.                                                                                        |
| Rundf.        | Thermischer Ausschöpfungsgrad des Rundfunks (Hörfunk und Fernsehen) in Einheiten von $10^{-6}$ .                                                                                                              |
| TV            | Thermischer Ausschöpfungsgrad des Fernsehens in Einheiten von $10^{-6}$ .                                                                                                                                     |
| Mobilf.       | Thermischer Ausschöpfungsgrad des Mobilfunks in Einheiten von $10^{-6}$ .                                                                                                                                     |
| Mobilf. ▼     | Thermischer Ausschöpfungsgrad des Mobilfunks in Einheiten von $10^{-6}$ . Die Werte beinhalten die für die Messreihen 2002/2003, 2006/2007, 2011/2012 vorgenommene Korrektur der GSM-Ergebnisse.              |
| Sonst.        | Thermischer Ausschöpfungsgrad sonstiger Funkdienste inklusive BOS in Einheiten von $10^{-6}$ .                                                                                                                |
| HF ges.       | Thermischer Ausschöpfungsgrad der Summe aller Funkdienste in Einheiten von $10^{-6}$ .                                                                                                                        |
| HF ges. ▼     | Thermischer Ausschöpfungsgrad der Summe aller Funkdienste in Einheiten von $10^{-6}$ . Die Werte beinhalten die für die Messreihen 2002/2003, 2006/2007, 2011/2012 vorgenommene Korrektur der GSM-Ergebnisse. |

Tab. 46: Einzelergebnisse an den Messpunkten 1 – 13

| MP             | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 1 (2002/2003)  | 1,7  | 1,8    | 0,02 | 2,5    | 1,6    | 0,03    | 0,01      |      | 0,00   | 1,7     | 1,6       |
| 1 (2006/2007)  | 1,2  | 1,2    | 0,00 | 2,7    | 1,0    | 0,31    | 0,06      | 0,00 | 0,01   | 1,3     | 1,1       |
| 1 (2011/2012)  | 3,7  | 3,8    | 0,41 | 2,7    | 0,39   | 0,34    | 0,1       | 0,01 | 0,01   | 0,75    | 0,51      |
| 1 (2017/2018)  | 3,9  | 4,0    | 0,00 | 5,0    | 1,5    | 0,75    |           | 0,01 | 0,00   | 2,2     |           |
| 2 (2002/2003)  | 5,0  | 5,0    | 0,02 | 5,0    | 4,7    | 0,16    | 0,04      |      | 0,00   | 4,8     | 4,7       |
| 2 (2006/2007)  | 5,6  | 5,6    | 0,05 | 3,4    | 1,4    | 0,22    | 0,06      | 0,00 | 0,08   | 1,7     | 1,5       |
| 2 (2011/2012)  | 4,7  | 4,7    | 0,07 | 3,2    | 1,0    | 0,29    | 0,15      | 0,00 | 0,03   | 1,3     | 1,2       |
| 2 (2017/2018)  | 4,6  | 4,6    | 0,15 | 7,3    | 0,84   | 0,18    |           | 0,00 | 0,00   | 1,0     |           |
| 3 (2002/2003)  | 2,0  | 2,0    | 0,11 | 4,0    | 2,6    | 0,44    | 0,09      |      | 0,00   | 3,1     | 2,7       |
| 3 (2006/2007)  | 1,9  | 1,9    | 0,03 | 2,1    | 0,23   | 0,43    | 0,08      |      | 0,02   | 0,68    | 0,34      |
| 3 (2011/2012)  | 2,3  | 2,4    | 0,17 | 1,7    | 0,37   | 2,3     | 0,57      | 0,00 | 0,15   | 2,9     | 1,1       |
| 3 (2017/2018)  | 2,8  | 2,8    | 0,12 | 0,98   | 0,02   | 0,2     |           | 0,00 | 0,00   | 0,23    |           |
| 4 (2002/2003)  | 4,3  | 4,3    | 0,02 | 1,8    | 0,84   | 0,06    | 0,01      |      | 0,00   | 0,9     | 0,86      |
| 4 (2006/2007)  | 3,9  | 3,9    | 0,00 | 2,8    | 1,4    | 0,06    | 0,01      |      | 0,00   | 1,4     | 1,4       |
| 4 (2011/2012)  | 4,6  | 4,6    | 0,00 | 1,8    | 0,96   | 0,12    | 0,05      | 0,01 | 0,00   | 1,1     | 1,0       |
| 4 (2017/2018)  | 3,3  | 3,3    | 0,00 | 2,0    | 0,34   | 0,08    |           | 0,00 | 0,01   | 0,43    |           |
| 5 (2002/2003)  | 0,35 | 0,37   | 0,09 | 1,6    | 0,62   | 8,3     | 1,9       |      | 0,00   | 8,9     | 2,6       |
| 5 (2006/2007)  | 0,75 | 0,77   | 0,05 |        | 0,44   | 10      | 2,3       |      | 0,04   | 11      | 2,8       |
| 5 (2011/2012)  | 0,23 | 0,24   | 0,19 | 1,3    | 0,18   | 9,6     | 2,3       | 0,01 | 0,01   | 9,8     | 2,5       |
| 5 (2017/2018)  | 0,26 | 0,26   | 0,07 | 0,26   | 0,05   | 0,83    |           | 0,01 | 0,01   | 0,9     |           |
| 6 (2002/2003)  | 1,7  | 1,7    | 0,00 | 1,6    | 4,8    | 7,6     | 1,8       |      | 0,2    | 13      | 6,8       |
| 6 (2006/2007)  | 1,5  | 1,6    | 0,28 | 3,5    | 1,3    | 3,6     | 0,84      |      | 0,01   | 5,0     | 2,2       |
| 6 (2011/2012)  | 8,5  | 8,5    | 0,15 | 1,4    | 0,18   | 12      | 2,9       | 0,00 | 0,02   | 13      | 3,1       |
| 6 (2017/2018)  | 2,3  | 2,4    | 0,00 | 2,1    | 0,15   | 2,9     |           | 0,00 | 0,00   | 3,0     |           |
| 7 (2002/2003)  | 2,2  | 2,3    | 0,14 | 2,1    | 0,58   | 0,06    | 0,05      |      | 0,00   | 0,64    | 0,63      |
| 7 (2006/2007)  | 6,4  | 6,4    | 0,15 | 3,3    | 0,53   | 0,32    | 0,07      |      | 0,03   | 0,88    | 0,63      |
| 7 (2011/2012)  | 3,4  | 3,4    | 0,13 | 2,1    | 0,57   | 0,75    | 0,21      | 0,00 | 0,3    | 1,6     | 1,1       |
| 7 (2017/2018)  | 7,8  | 7,9    | 0,42 | 7,5    | 0,26   | 0,63    |           | 0,00 | 0,01   | 0,9     |           |
| 8 (2002/2003)  | 1,1  | 1,1    | 0,00 | 2,5    | 0,8    | 45      | 10        |      | 0,00   | 46      | 11        |
| 8 (2006/2007)  | 0,7  | 0,73   | 0,00 |        | 0,57   | 153     | 40        | 0,00 | 0,00   | 154     | 40        |
| 8 (2011/2012)  | 1,9  | 1,9    | 0,00 | 2,3    | 0,47   | 261     | 65        | 0,00 | 0,00   | 262     | 65        |
| 8 (2017/2018)  | 3,8  | 3,8    | 0,00 | 0,56   | 0,24   | 90      |           | 0,01 | 0,03   | 90      |           |
| 9 (2002/2003)  | 0,89 | 0,91   | 0,00 | 2,4    | 1,0    | 0,31    | 0,07      |      | 0,00   | 1,3     | 1,1       |
| 9 (2006/2007)  | 1,3  | 1,3    | 0,18 | 2,8    | 0,65   | 0,66    | 0,14      |      | 0,07   | 1,4     | 0,86      |
| 9 (2011/2012)  | 1,2  | 1,2    | 0,03 | 1,9    | 0,5    | 0,59    | 0,14      | 0,00 | 0,08   | 1,2     | 0,73      |
| 9 (2017/2018)  | 1,5  | 1,6    | 0,03 | 2,7    | 0,3    | 0,2     |           | 0,00 | 0,00   | 0,5     |           |
| 10 (2002/2003) | 2,4  | 2,5    | 0,06 | 2,3    | 0,59   | 3,8     | 0,79      |      | 0,00   | 4,4     | 1,4       |
| 10 (2006/2007) | 1,9  | 1,9    | 0,08 | 2,9    | 0,86   | 1,5     | 0,34      | 0,00 | 0,11   | 2,5     | 1,3       |
| 10 (2011/2012) | 2,2  | 2,2    | 0,1  | 2,5    | 1,4    | 6,0     | 1,3       | 0,00 | 0,02   | 7,4     | 2,7       |
| 10 (2017/2018) | 0,94 | 0,97   | 0,04 | 2,9    | 5,4    | 0,48    |           | 0,00 | 0,01   | 5,9     |           |
| 11 (2002/2003) | 0,27 | 0,32   | 0,03 | 5,1    | 4,5    | 0,06    | 0,01      |      | 0,00   | 4,5     | 4,5       |
| 11 (2006/2007) | 0,47 | 0,5    | 0,26 | 3,1    | 0,79   | 0,22    | 0,05      |      | 0,01   | 1,0     | 0,85      |
| 11 (2011/2012) | 0,55 | 0,58   | 0,12 | 2,5    | 0,38   | 0,52    | 0,12      | 0,01 | 0,00   | 0,91    | 0,51      |
| 11 (2017/2018) | 0,36 | 0,36   | 0,02 | 0,35   | 0,19   | 0,51    |           | 0,01 | 0,01   | 0,71    |           |
| 12 (2002/2003) | 0,12 | 0,14   | 0,07 | 2,0    | 1,7    | 0,22    | 0,05      |      | 0,00   | 2,0     | 1,8       |
| 12 (2006/2007) | 0,11 | 0,15   | 0,31 | 3,5    | 1,3    | 0,32    | 0,07      | 0,00 | 0,06   | 1,6     | 1,4       |
| 12 (2011/2012) | 0,32 | 0,34   | 0,03 | 2,4    | 3,8    | 1,4     | 0,32      | 0,01 | 0,09   | 5,4     | 4,3       |
| 12 (2017/2018) | 0,07 | 0,09   | 0,03 | 2,0    | 0,3    | 2,8     |           | 0,05 | 0,06   | 3,2     |           |
| 13 (2002/2003) | 2,2  | 2,2    | 0,07 | 4,3    | 2,9    | 7,6     | 1,6       | 0,00 | 0,00   | 10      | 4,5       |
| 13 (2006/2007) | 1,9  | 1,9    | 0,04 | 2,8    | 0,86   | 17      | 4,1       |      | 0,04   | 18      | 5,0       |
| 13 (2011/2012) | 2,3  | 2,3    | 0,06 | 3,9    | 1,1    | 23      | 5,7       | 0,15 | 0,07   | 25      | 7,0       |
| 13 (2017/2018) | 0,47 | 0,49   | 0,13 | 2,6    | 26     | 6,5     |           | 0,00 | 0,00   | 33      |           |

Tab. 47: Einzelergebnisse an den Messpunkten 14 – 26

| MP             | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 14 (2002/2003) | 0,13 | 0,17   | 0    | 3,1    | 3,1    | 0,7     | 0,16      |      | 0,00   | 3,8     | 3,3       |
| 14 (2006/2007) | 0,39 | 0,41   | 0    | 2,0    | 0,41   | 0,36    | 0,08      |      | 0,02   | 0,79    | 0,52      |
| 14 (2011/2012) | 0,25 | 0,26   | 0,01 | 1,8    | 0,43   | 0,6     | 0,16      | 0,01 | 0,02   | 1,1     | 0,62      |
| 14 (2017/2018) | 0,41 | 0,42   | 0,12 | 0,57   | 0,16   | 0,34    |           | 0,01 | 0,02   | 0,53    |           |
| 15 (2002/2003) | 0,22 | 0,24   | 0    | 2,0    | 1,4    | 0,01    | 0,00      |      | 0,00   | 1,4     | 1,4       |
| 15 (2006/2007) | 0,26 | 0,28   | 0,12 | 2,3    | 1,8    | 0,00    | 0,00      |      | 0,2    | 2,0     | 2,0       |
| 15 (2011/2012) | 0,29 | 0,31   | 0,04 | 2,6    | 0,81   | 0,28    | 0,07      | 0,00 | 0,09   | 1,2     | 0,97      |
| 15 (2017/2018) | 0,66 | 0,66   | 0,04 | 0,34   | 0,1    | 0,07    |           | 0,04 | 0,01   | 0,22    |           |
| 16 (2002/2003) | 2,3  | 2,3    | 0,5  | 2,5    | 1,00   | 0,99    | 0,27      |      | 0,02   | 2,0     | 1,3       |
| 16 (2006/2007) | 2,0  | 2,0    | 0,55 | 2,8    | 3,6    | 16      | 4,1       | 0,00 | 0,29   | 20      | 8,0       |
| 16 (2011/2012) | 2,7  | 2,8    | 0,55 | 2,8    | 2,5    | 34      | 7,6       | 0,12 | 0,08   | 37      | 10        |
| 16 (2017/2018) | 5,1  | 5,1    | 0,59 | 2,6    | 7,4    | 32      |           | 0,01 | 0,03   | 40      |           |
| 17 (2002/2003) | 0,88 | 0,9    |      |        | 6,8    | 13      | 2,9       | 0,01 | 0,00   | 20      | 9,6       |
| 17 (2006/2007) | 1,0  | 1,1    | 0,16 | 2,4    | 5,4    | 23      | 5,1       | 0,01 | 0,36   | 29      | 11        |
| 17 (2011/2012) | 0,89 | 0,91   | 0,02 | 2,4    | 774    | 121     | 27        | 207  | 2,5    | 1.104   | 1.010     |
| 17 (2017/2018) | 0,81 | 0,83   | 0,15 | 2,1    | 2,5    | 37      |           | 0,49 | 0,05   | 40      |           |
| 18 (2002/2003) | 1,4  | 1,4    | 0,00 | 3,3    | 1,00   | 3,4     | 0,77      | 0,00 | 0,04   | 4,5     | 1,9       |
| 18 (2006/2007) | 0,39 | 0,42   | 0,00 |        | 0,62   | 22      | 7,4       | 0,00 | 0,02   | 23      | 8,1       |
| 18 (2011/2012) | 1,3  | 1,3    | 0,03 | 2,0    | 0,59   | 50      | 28        | 0,02 | 0,06   | 51      | 28        |
| 18 (2017/2018) | 1,1  | 1,1    | 0,00 | 1,2    | 11     | 27      |           | 0,08 | 0,03   | 39      |           |
| 19 (2002/2003) | 4,9  | 4,9    | 0,00 | 1,9    | 1,5    | 0,58    | 0,14      |      | 0,00   | 2,1     | 1,6       |
| 19 (2006/2007) | 6,7  | 6,8    | 0,00 | 2,3    | 0,88   | 1,5     | 0,37      | 0,00 | 0,74   | 3,1     | 2,0       |
| 19 (2011/2012) | 2,4  | 2,4    | 0,15 | 2,1    | 2,8    | 2,9     | 0,74      | 0,02 | 0,08   | 5,9     | 3,7       |
| 19 (2017/2018) | 1,2  | 1,2    | 0    | 2,4    | 10     | 5,0     |           | 0,03 | 0,01   | 16      |           |
| 20 (2002/2003) | 1,4  | 1,4    | 0,02 | 2,1    | 1,4    | 12      | 2,7       |      | 0,25   | 13      | 4,3       |
| 20 (2006/2007) | 2,4  | 2,4    | 0,03 | 2,4    | 1,4    | 4,3     | 1,1       |      | 0,05   | 5,7     | 2,5       |
| 20 (2011/2012) | 2,8  | 2,8    | 0    | 2,9    | 4,0    | 10      | 2,6       | 0,01 | 0,08   | 14      | 6,7       |
| 20 (2017/2018) | 1,9  | 1,9    | 0,27 | 0,93   | 14     | 11      |           | 0,00 | 0,07   | 25      |           |
| 21 (2002/2003) | 1,2  | 1,3    | 0,00 | 1,6    | 0,63   | 5,6     | 1,3       | 0,00 | 0,06   | 6,3     | 2,0       |
| 21 (2006/2007) | 1,5  | 1,5    | 0,00 | 1,9    | 0,46   | 2,1     | 0,48      | 0,00 | 0,03   | 2,6     | 0,98      |
| 21 (2011/2012) | 0,89 | 0,91   | 0,00 | 1,9    | 4,2    | 111     | 27        | 0,01 | 0,2    | 115     | 31        |
| 21 (2017/2018) | 1,8  | 1,8    | 0,00 | 0,65   | 5,7    | 88      |           | 0,00 | 0,00   | 94      |           |
| 22 (2002/2003) | 0,9  | 0,92   | 0,04 | 2,4    | 34     | 0,49    | 0,1       | 0,00 | 0,37   | 35      | 34        |
| 22 (2006/2007) | 0,4  | 0,44   | 0,17 | 3,9    | 0,94   | 2,2     | 0,49      | 0,00 | 0,12   | 3,2     | 1,6       |
| 22 (2011/2012) | 3,3  | 3,4    | 0,21 | 6,9    | 1,6    | 2,1     | 0,83      | 0,01 | 0,14   | 3,8     | 2,6       |
| 22 (2017/2018) | 0,98 | 0,99   | 0,02 | 1,1    | 4,7    | 1,0     |           | 0,00 | 0,04   | 5,8     |           |
| 23 (2002/2003) | 0,76 | 0,79   | 0,00 | 3,2    | 2,3    | 91      | 21        | 0,36 | 0,01   | 94      | 23        |
| 23 (2006/2007) | 0,96 | 0,99   | 0,00 | 3,0    | 1,1    | 90      | 22        |      | 0,13   | 91      | 23        |
| 23 (2011/2012) | 0,57 | 0,59   | 0,04 | 2,4    | 1,5    | 225     | 53        | 0,22 | 0,04   | 227     | 55        |
| 23 (2017/2018) | 0,95 | 1,0    | 0,02 | 5,8    | 7,7    | 8,9     |           | 0,01 | 0,04   | 17      |           |
| 24 (2002/2003) | 0,02 | 0,04   | 0,03 | 2,1    | 1,8    | 2,9     | 0,66      |      | 0,1    | 4,8     | 2,6       |
| 24 (2006/2007) | 0,09 | 0,11   | 0,03 | 2,0    | 0,92   | 3,8     | 0,89      |      | 0,4    | 5,1     | 2,2       |
| 24 (2011/2012) | 0,1  | 0,12   | 0,04 | 1,9    | 22     | 1,9     | 0,5       | 0,01 | 0,04   | 24      | 23        |
| 24 (2017/2018) | 0,07 | 0,08   | 0,08 | 0,65   | 266    | 0,54    |           | 0,01 | 0,02   | 267     |           |
| 25 (2002/2003) | 1,1  | 1,1    | 0,03 | 1,7    | 26     | 0,13    | 0,03      | 3,7  | 0,31   | 30      | 30        |
| 25 (2006/2007) | 1,2  | 1,2    | 0,26 | 6,8    | 1,3    | 0,36    | 0,08      | 4,5  | 0,11   | 6,3     | 6,0       |
| 25 (2011/2012) | 2,1  | 2,2    | 0,09 | 2,5    | 0,68   | 1,1     | 0,25      | 0,00 | 1,5    | 3,4     | 2,5       |
| 25 (2017/2018) | 2,1  | 2,1    | 0,14 | 0,66   | 0,59   | 0,39    |           | 0,01 | 6,5    | 7,5     |           |
| 26 (2002/2003) | 4,1  | 4,1    | 0,03 | 2,6    | 2,5    | 50      | 12        |      | 0,03   | 53      | 14        |
| 26 (2006/2007) | 3,6  | 3,6    | 0,04 | 2,6    | 0,86   | 136     | 32        |      | 0,15   | 137     | 33        |
| 26 (2011/2012) | 3,8  | 3,9    | 0,16 | 2,2    | 1,3    | 99      | 24        | 0,01 | 0,09   | 101     | 25        |
| 26 (2017/2018) | 2,6  | 2,6    | 0,04 | 1,3    | 5,7    | 7,2     |           | 0,01 | 0,01   | 13      |           |

Tab. 48: Einzelergebnisse an den Messpunkten 27 – 39

| MP             | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 27 (2002/2003) | 2,8  | 2,9    | 0,05 | 2,7    | 2,4    | 1,8     | 0,39      |      | 0,00   | 4,2     | 2,8       |
| 27 (2006/2007) | 3,4  | 3,5    | 0,14 | 3,2    | 3,4    | 2,2     | 0,53      |      | 0,12   | 5,7     | 4,0       |
| 27 (2011/2012) |      |        | 0,57 | 2,7    | 7,9    | 3,8     | 1,2       | 0,01 | 0,02   | 12      | 9,0       |
| 27 (2017/2018) | 4,7  | 4,7    | 0,07 | 1,0    | 5,2    | 2,5     |           | 0,03 | 0,01   | 7,8     |           |
| 28 (2002/2003) | 0,68 | 0,7    | 0,04 | 1,4    | 0,41   | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 0,41    | 0,41      |
| 28 (2006/2007) | 1,2  | 1,2    | 0,01 | 2,2    | 0,44   | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 0,44    | 0,44      |
| 28 (2011/2012) | 0,08 | 0,1    | 0,04 | 1,7    | 0,81   | 0,00    | 0,00      | 0,00 | 0,08   | 0,9     | 0,9       |
| 28 (2017/2018) | 0,62 | 0,66   | 0,03 | 4,0    | 0,03   | 0,01    |           | 0,01 | 0,03   | 0,08    |           |
| 29 (2002/2003) | 0,67 | 0,71   | 0,00 | 3,7    | 1,8    | 0,09    | 0,02      |      | 0,00   | 1,9     | 1,8       |
| 29 (2006/2007) | 0,31 | 0,35   | 0,00 |        | 1,5    | 0,41    | 0,1       |      | 0,11   | 2,0     | 1,7       |
| 29 (2011/2012) | 0,69 | 0,72   | 0,00 | 2,7    | 0,41   | 0,7     | 0,16      | 0,00 | 0,06   | 1,2     | 0,64      |
| 29 (2017/2018) | 0,42 | 0,52   | 0,02 | 9,7    | 0,06   | 0,64    |           | 0,00 | 0,01   | 0,71    |           |
| 30 (2002/2003) | 0,98 | 1,0    | 0,34 | 2,4    | 2,1    | 1,3     | 0,3       |      | 0,11   | 3,5     | 2,5       |
| 30 (2006/2007) | 1,4  | 1,4    | 0,05 | 3,3    | 3,0    | 1,1     | 0,25      |      | 0,16   | 4,3     | 3,4       |
| 30 (2011/2012) | 1,2  | 1,2    | 0,13 | 3,1    | 1,3    | 1,6     | 0,38      | 0,15 | 0,1    | 3,1     | 1,9       |
| 30 (2017/2018) | 3,0  | 3,0    | 0,03 | 3,0    | 1,3    | 1,8     |           | 0,00 | 0,00   | 3,1     |           |
| 31 (2002/2003) | 0,68 | 0,7    | 0,15 | 2,3    | 0,42   | 1,5     | 0,34      |      | 0,00   | 1,9     | 0,76      |
| 31 (2006/2007) | 1,0  | 1,1    | 0,26 |        | 0,35   | 1,9     | 0,44      |      | 0,04   | 2,3     | 0,83      |
| 31 (2011/2012) |      |        | 0,14 | 1,8    | 0,27   | 6,1     | 1,4       | 0,01 | 0,01   | 6,4     | 1,7       |
| 31 (2017/2018) | 1,1  | 1,1    | 0,23 | 1,8    | 0,17   | 3,5     |           | 0,00 | 0,01   | 3,7     |           |
| 32 (2002/2003) | 4,0  | 4,1    | 0,00 | 4,0    | 3,4    | 10      | 2,3       |      | 0,00   | 14      | 5,7       |
| 32 (2006/2007) | 0,55 | 0,6    | 0,22 |        | 2,9    | 15      | 3,5       |      | 0,00   | 18      | 6,4       |
| 32 (2011/2012) | 0,63 | 0,64   | 0,14 | 1,4    | 1,0    | 26      | 6,2       | 0,01 | 0,00   | 27      | 7,2       |
| 32 (2017/2018) | 0,58 | 0,59   | 0,03 | 0,73   | 0,88   | 17      |           | 0,00 | 0,00   | 18      |           |
| 33 (2002/2003) | 0,54 | 0,59   | 0,23 | 5,2    | 16     | 0,06    | 0,01      |      | 0,64   | 17      | 17        |
| 33 (2006/2007) | 1,1  | 1,1    | 0,06 | 2,4    | 0,4    | 0,2     | 0,05      |      | 0,03   | 0,63    | 0,48      |
| 33 (2011/2012) | 8,8  | 8,9    | 0,00 | 3,9    | 0,64   | 0,36    | 0,16      | 0,01 | 0,00   | 1,0     | 0,81      |
| 33 (2017/2018) | 4,6  | 4,6    | 0,00 | 3,5    | 0,05   | 0,1     |           | 0,02 | 0,00   | 0,17    |           |
| 34 (2002/2003) | 0,98 | 0,99   | 0,00 | 1,3    | 11     | 3,1     | 0,65      |      | 0,00   | 14      | 12        |
| 34 (2006/2007) | 0,44 | 0,46   | 0,00 |        | 18     | 7,0     | 1,6       |      | 0,93   | 26      | 20        |
| 34 (2011/2012) | 1,1  | 1,1    | 0,00 | 1,9    | 7,1    | 5,7     | 1,4       | 0,93 | 0,08   | 14      | 9,5       |
| 34 (2017/2018) | 2,7  | 2,7    | 0,03 | 0,58   | 11     | 2,8     |           | 0,00 | 0,02   | 14      |           |
| 35 (2002/2003) | 0,1  | 0,12   | 0,00 | 1,9    | 0,76   | 0,04    | 0,01      |      | 0,00   | 0,8     | 0,77      |
| 35 (2006/2007) | 0,05 | 0,08   | 0,02 | 2,8    | 1,1    | 7,7     | 1,8       |      | 0,00   | 8,8     | 2,9       |
| 35 (2011/2012) | 0,07 | 0,09   | 0,36 | 2,0    | 0,36   | 1,1     | 0,28      | 0,00 | 0,00   | 1,4     | 0,64      |
| 35 (2017/2018) | 0,11 | 0,11   | 0,07 | 0,41   | 0,6    | 1,4     |           | 0,03 | 0,00   | 2,0     |           |
| 36 (2002/2003) | 0,97 | 1,00   | 0,76 | 3,5    | 0,85   | 0,09    | 0,02      |      | 0,00   | 0,93    | 0,87      |
| 36 (2006/2007) | 1,2  | 1,3    | 0,19 | 6,2    | 2,1    | 0,7     | 0,15      |      | 0,03   | 2,8     | 2,3       |
| 36 (2011/2012) | 0,77 | 0,79   | 0,12 | 2,4    | 0,35   | 6,5     | 1,6       | 0,00 | 0,02   | 6,9     | 1,9       |
| 36 (2017/2018) | 1,5  | 1,5    | 0,07 | 0,6    | 0,07   | 5,1     |           | 0,01 | 0,00   | 5,2     |           |
| 37 (2002/2003) | 0,48 | 0,51   | 0,56 | 3,1    | 2,6    | 0,01    | 0,00      |      | 0,00   | 2,6     | 2,6       |
| 37 (2006/2007) | 2,1  | 2,1    | 0,26 | 2,7    | 2,8    | 0,02    | 0,00      | 0,00 | 0,04   | 2,9     | 2,8       |
| 37 (2011/2012) | 2,3  | 2,4    | 0,1  | 1,6    | 0,34   | 0,01    | 0,01      | 0,01 | 0,01   | 0,37    | 0,37      |
| 37 (2017/2018) | 11   | 11     | 0,32 | 4,0    | 0,04   | 0,01    |           | 0,01 | 0,00   | 0,06    |           |
| 38 (2002/2003) | 0,11 | 0,13   | 0,00 | 2,0    | 0,5    | 0,63    | 0,14      |      | 0,00   | 1,1     | 0,64      |
| 38 (2006/2007) | 0,22 | 0,24   | 0,00 | 2,4    | 0,67   | 4,0     | 0,89      |      | 0,02   | 4,6     | 1,6       |
| 38 (2011/2012) | 0,64 | 0,65   | 0,71 | 2,1    | 0,22   | 1,4     | 0,33      | 0,01 | 0,06   | 1,7     | 0,61      |
| 38 (2017/2018) | 0,13 | 0,13   | 0,00 | 0,21   | 0,05   | 0,27    |           | 0,04 | 0,02   | 0,38    |           |
| 39 (2002/2003) | 0,85 | 0,87   | 0,1  | 2,0    | 0,75   | 0,9     | 0,21      | 0,00 | 0,00   | 1,7     | 0,97      |
| 39 (2006/2007) | 2,1  | 2,1    | 0,09 | 3,8    | 1,1    | 4,4     | 1,0       |      | 0,16   | 5,7     | 2,3       |
| 39 (2011/2012) | 2,0  | 2,0    | 0,12 | 1,5    | 0,15   | 4,6     | 1,2       | 0,01 | 0,08   | 4,8     | 1,4       |
| 39 (2017/2018) | 2,1  | 2,1    | 0,11 | 0,4    | 0,06   | 2,8     |           | 0,01 | 0,11   | 3,0     |           |

Tab. 49: Einzelergebnisse an den Messpunkten 40 – 52

| MP             | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 40 (2002/2003) | 0,12 | 0,14   | 0,00 | 1,4    | 2,3    | 0,01    | 0,00      |      | 0,02   | 2,3     | 2,3       |
| 40 (2006/2007) | 0,09 | 0,11   | 0,00 | 1,9    | 3,3    | 0,02    | 0,00      |      | 0,01   | 3,3     | 3,3       |
| 40 (2011/2012) | 0,25 | 0,27   | 0,08 | 2,0    | 4,4    | 4,1     | 1,1       | 0,4  | 0,00   | 9,0     | 5,9       |
| 40 (2017/2018) | 0,14 | 0,15   | 0,00 | 0,99   | 3,8    | 2,1     |           | 0,00 | 0,00   | 5,9     |           |
| 41 (2002/2003) | 1,8  | 1,9    | 0,00 | 2,6    | 6,5    | 0,01    | 0,00      |      | 0,00   | 6,5     | 6,5       |
| 41 (2006/2007) | 3,2  | 3,2    | 0,00 |        | 10     | 0,00    | 0,00      |      | 0,04   | 10      | 10        |
| 41 (2011/2012) | 2,4  | 2,4    | 0,09 | 1,8    | 6,9    | 1,7     | 0,4       | 0,88 | 0,04   | 9,5     | 8,2       |
| 41 (2017/2018) | 1,9  | 1,9    | 0,03 | 0,54   | 8,9    | 0,5     |           | 0,00 | 0,01   | 9,4     |           |
| 42 (2002/2003) | 0,07 | 0,1    | 0,16 | 3,0    | 4,2    | 0,86    | 0,2       |      | 0,03   | 5,1     | 4,4       |
| 42 (2006/2007) | 0,03 | 0,05   | 0,02 | 1,8    | 0,73   | 0,57    | 0,13      | 0,00 | 0,12   | 1,4     | 0,99      |
| 42 (2011/2012) | 0,02 | 0,03   | 0,22 | 1,5    | 0,57   | 0,77    | 0,23      | 0,01 | 0,09   | 1,5     | 0,92      |
| 42 (2017/2018) | 0,06 | 0,07   | 0,00 | 0,44   | 0,38   | 0,17    |           | 0,01 | 0,02   | 0,57    |           |
| 43 (2002/2003) | 1,1  | 1,2    | 0,00 | 2,5    | 0,62   | 12      | 2,7       |      | 0,00   | 12      | 3,3       |
| 43 (2006/2007) | 1,5  | 1,6    | 0,02 |        | 1,1    | 14      | 3,4       |      | 0,03   | 15      | 4,5       |
| 43 (2011/2012) | 1,1  | 1,1    | 0,12 | 2,4    | 0,87   | 11      | 3,0       | 0,02 | 0,01   | 12      | 3,9       |
| 43 (2017/2018) | 1,6  | 1,6    | 0,14 | 0,67   | 0,2    | 6,6     |           | 0,01 | 0,01   | 6,9     |           |
| 44 (2002/2003) | 0,07 | 0,09   | 0,08 | 2,1    | 1,7    | 0,04    | 0,01      | 0,00 | 0,01   | 1,8     | 1,7       |
| 44 (2006/2007) | 0,03 | 0,06   | 0,11 |        | 2,4    | 0,08    | 0,02      |      | 0,01   | 2,5     | 2,4       |
| 44 (2011/2012) | 0,12 | 0,14   | 0,32 | 2,2    | 1,7    | 0,13    | 0,1       | 0,16 | 0,03   | 2,0     | 2,0       |
| 44 (2017/2018) | 0,09 | 0,11   | 0,3  | 2,1    | 1,5    | 0,03    |           | 0,02 | 0,03   | 1,6     |           |
| 45 (2002/2003) | 0,00 | 0,02   | 0,00 | 1,9    | 1,4    | 0,03    | 0,01      |      | 0,03   | 1,5     | 1,4       |
| 45 (2006/2007) | 0,00 | 0,02   | 0,03 | 1,9    | 0,8    | 3,7     | 0,87      |      | 0,07   | 4,6     | 1,7       |
| 45 (2011/2012) |      |        | 0,00 | 2,4    | 1,2    | 3,1     | 1,6       | 0,01 | 0,12   | 4,5     | 3,0       |
| 45 (2017/2018) | 0,00 | 0,01   | 0,00 | 0,5    | 0,48   | 0,32    |           | 0,63 | 0,06   | 1,5     |           |
| 46 (2002/2003) | 0,13 | 0,15   | 0,32 | 1,8    | 0,22   | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 0,22    | 0,22      |
| 46 (2006/2007) | 0,17 | 0,19   | 0,3  |        | 0,23   | 0,00    | 0,00      |      | 0,05   | 0,28    | 0,28      |
| 46 (2011/2012) | 0,1  | 0,12   | 9,8  | 11     | 0,27   | 0,03    | 0,02      | 0,01 | 0,06   | 0,36    | 0,36      |
| 46 (2017/2018) | 0,08 | 0,09   | 0,39 | 0,88   | 0,06   | 0,01    |           | 0,00 | 0,03   | 0,1     |           |
| 47 (2002/2003) | 0,08 | 0,11   | 0,03 | 3,1    | 0,75   | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 0,75    | 0,75      |
| 47 (2006/2007) | 0,07 | 0,1    | 0,03 |        | 1,1    | 0,00    | 0,00      |      | 0,01   | 1,2     | 1,2       |
| 47 (2011/2012) | 0,09 | 0,1    | 0,02 | 1,8    | 0,11   | 0,00    | 0,00      | 0,01 | 0,01   | 0,12    | 0,12      |
| 47 (2017/2018) | 0,01 | 0,02   | 0,04 | 0,3    | 0,04   | 0,00    |           | 0,00 | 0,00   | 0,05    |           |
| 48 (2002/2003) | 7,1  | 7,1    | 0,04 | 3,4    | 1,3    | 71      | 14        |      | 0,00   | 72      | 15        |
| 48 (2006/2007) | 7,1  | 7,1    | 0,18 | 2,4    | 1,6    | 66      | 26        |      | 0,25   | 68      | 27        |
| 48 (2011/2012) | 8,3  | 8,4    | 0,06 | 1,9    | 1,2    | 298     | 76        | 0,01 | 0,07   | 300     | 77        |
| 48 (2017/2018) | 3,7  | 3,7    | 0,00 | 0,55   | 1,4    | 269     |           | 0,00 | 0,00   | 271     |           |
| 49 (2002/2003) | 1,3  | 1,4    | 0,00 | 5,2    | 3,7    | 1,7     | 0,35      |      | 0,00   | 5,4     | 4,1       |
| 49 (2006/2007) | 0,59 | 0,63   | 5,3  | 9,1    | 2,2    | 1,9     | 0,41      | 0,00 | 0,13   | 4,3     | 2,8       |
| 49 (2011/2012) | 0,65 | 0,68   | 0,05 | 2,8    | 1,5    | 12      | 2,4       | 0,02 | 0,09   | 13      | 4,0       |
| 49 (2017/2018) | 0,79 | 0,8    | 0,00 | 0,65   | 0,66   | 1,8     |           | 0,00 | 0,02   | 2,5     |           |
| 50 (2002/2003) | 0,87 | 0,98   | 0,00 | 11     | 35     | 0,51    | 0,11      |      | 0,00   | 35      | 35        |
| 50 (2006/2007) | 2,7  | 2,8    | 0,18 | 7,2    | 19     | 25      | 6,1       |      | 0,15   | 44      | 25        |
| 50 (2011/2012) |      |        | 4,9  | 15     | 11     | 48      | 12        | 0,14 | 0,23   | 60      | 23        |
| 50 (2017/2018) | 1,9  | 1,9    | 0,02 | 3,3    | 2,7    | 84      |           | 0,00 | 0,07   | 87      |           |
| 51 (2002/2003) | 0,51 | 0,56   | 0,00 | 5,0    | 19     | 32      | 7,2       |      | 0,07   | 51      | 26        |
| 51 (2006/2007) | 0,16 | 0,19   | 0,00 | 3,1    | 31     | 15      | 4,0       |      | 0,13   | 46      | 35        |
| 51 (2011/2012) | 0,18 | 0,21   | 0,05 | 3,0    | 56     | 41      | 12        | 0,18 | 0,08   | 97      | 68        |
| 51 (2017/2018) | 0,19 | 0,19   | 0,00 | 0,35   | 74     | 40      |           | 0,00 | 0,02   | 115     |           |
| 52 (2002/2003) | 1,2  | 1,2    | 0,00 | 5,5    | 18     | 47      | 17        |      | 0,13   | 64      | 35        |
| 52 (2006/2007) | 0,96 | 1,0    | 0,04 | 4,7    | 18     | 3,4     | 0,72      | 0,00 | 0,04   | 21      | 19        |
| 52 (2011/2012) | 1,0  | 1,0    | 0,02 | 3,6    | 37     | 10      | 2,5       | 0,1  | 0,04   | 47      | 39        |
| 52 (2017/2018) | 0,81 | 0,81   | 0,00 | 0,61   | 23     | 2,2     |           | 0,00 | 0,02   | 25      |           |

Tab. 50: Einzelergebnisse an den Messpunkten 53 – 65

| MP             | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 53 (2002/2003) | 1,2  | 1,3    | 0,00 | 7,1    | 9,9    | 3,7     | 0,77      |      | 0,00   | 14      | 11        |
| 53 (2006/2007) | 2,2  | 2,3    | 0,00 | 6,1    | 6,1    | 4,2     | 0,95      | 0,00 | 0,1    | 10      | 7,1       |
| 53 (2011/2012) | 0,65 | 0,71   | 0,00 | 5,7    | 5,5    | 82      | 19        | 0,01 | 0,14   | 88      | 25        |
| 53 (2017/2018) | 0,61 | 0,66   | 0,00 | 5,2    | 1,0    | 7,7     |           | 0,00 | 0,12   | 8,9     |           |
| 54 (2002/2003) | 0,38 | 0,41   | 0,00 | 3,7    | 1,7    | 0,02    | 0,01      | 0,00 | 0,00   | 1,7     | 1,7       |
| 54 (2006/2007) | 0,48 | 0,57   | 0,00 | 8,9    | 3,6    | 0,11    | 0,02      |      | 0,01   | 3,7     | 3,6       |
| 54 (2011/2012) | 0,91 | 0,95   | 0,00 | 3,6    | 3,5    | 0,79    | 0,19      | 0,05 | 0,01   | 4,3     | 3,7       |
| 54 (2017/2018) | 1,1  | 1,1    | 0,00 | 0,33   | 1,3    | 0,12    |           | 0,00 | 0,00   | 1,5     |           |
| 55 (2002/2003) | 0,27 | 0,34   | 0,00 | 6,7    | 11     | 1,7     | 0,38      | 0,00 | 0,01   | 12      | 11        |
| 55 (2006/2007) | 0,27 | 0,31   | 0,00 | 4,3    | 8,0    | 4,9     | 1,2       | 0,00 | 0,02   | 13      | 9,3       |
| 55 (2011/2012) | 0,14 | 0,18   | 0,00 | 3,3    | 7,0    | 4,4     | 1,4       | 0,03 | 0,09   | 12      | 8,5       |
| 55 (2017/2018) | 0,14 | 0,15   | 0,00 | 1,2    | 2,9    | 7,3     |           | 0,01 | 0,08   | 10      |           |
| 56 (2002/2003) | 2,3  | 2,4    | 0,2  | 9,9    | 28     | 0,72    | 0,15      |      | 0,00   | 28      | 28        |
| 56 (2006/2007) | 0,46 | 0,52   | 0,13 | 5,5    | 10     | 0,76    | 0,15      |      | 0,02   | 11      | 10        |
| 56 (2011/2012) | 0,83 | 0,89   | 0,15 | 5,9    | 12     | 1,7     | 0,39      | 0,04 | 0,03   | 14      | 13        |
| 56 (2017/2018) | 0,6  | 0,61   | 0,15 | 1,4    | 0,67   | 0,23    |           | 0,00 | 0,01   | 0,91    |           |
| 57 (2002/2003) | 0,38 | 0,47   | 0,06 | 8,6    | 17     | 2,6     | 0,55      |      | 0,01   | 19      | 17        |
| 57 (2006/2007) | 0,24 | 0,3    | 0,00 | 6,1    | 12     | 3,5     | 0,91      |      | 0,00   | 16      | 13        |
| 57 (2011/2012) | 0,33 | 0,38   | 0,00 | 5,6    | 14     | 24      | 6,9       | 0,04 | 0,00   | 38      | 21        |
| 57 (2017/2018) | 0,29 | 0,31   | 0,00 | 1,2    | 1,5    | 20      |           | 0,00 | 0,09   | 21      |           |
| 58 (2002/2003) | 1,3  | 1,3    | 0,07 | 4,1    | 2,2    | 0,92    | 0,21      |      | 0,02   | 3,2     | 2,5       |
| 58 (2006/2007) | 0,82 | 0,85   | 0,11 | 3,3    | 2,4    | 1,4     | 0,31      |      | 0,06   | 3,8     | 2,8       |
| 58 (2011/2012) | 0,82 | 0,84   | 0,00 | 2,3    | 2,6    | 2,6     | 0,64      | 0,12 | 0,00   | 5,3     | 3,4       |
| 58 (2017/2018) | 1,2  | 1,2    | 0,03 | 0,59   | 1,2    | 1,1     |           | 0,01 | 0,00   | 2,3     |           |
| 59 (2002/2003) | 0,00 | 0,04   | 0,00 | 3,6    | 24     | 4,4     | 0,91      | 0,01 | 0,04   | 29      | 25        |
| 59 (2006/2007) | 0,02 | 0,05   | 0,00 | 3,0    | 13     | 3,9     | 0,82      | 0,01 | 0,01   | 17      | 14        |
| 59 (2011/2012) | 0,00 | 0,02   | 0,39 | 2,4    | 7,5    | 6,1     | 1,4       | 0,08 | 0,05   | 14      | 9,0       |
| 59 (2017/2018) | 0,03 | 0,04   | 0,03 | 0,73   | 4,1    | 0,6     |           | 0,00 | 0,02   | 4,7     |           |
| 60 (2002/2003) | 1,8  | 1,8    | 0,00 | 3,6    | 2,0    | 10      | 2,4       |      | 0,07   | 13      | 4,4       |
| 60 (2006/2007) | 2,1  | 2,2    | 0,00 | 2,5    | 2,4    | 6,7     | 1,5       | 0,00 | 0,14   | 9,3     | 4,1       |
| 60 (2011/2012) | 2,5  | 2,5    | 0,03 | 2,5    | 2,7    | 10      | 2,4       | 0,01 | 0,26   | 13      | 5,4       |
| 60 (2017/2018) | 2,6  | 2,6    | 0,04 | 0,73   | 2,0    | 11      |           | 0,00 | 0,03   | 13      |           |
| 61 (2002/2003) | 0,12 | 0,16   | 0,00 | 3,6    | 1,5    | 31      | 7,2       |      | 0      | 33      | 8,7       |
| 61 (2006/2007) | 0,11 | 0,14   | 0,03 | 3,0    | 1,5    | 23      | 5,3       |      | 0,02   | 25      | 6,8       |
| 61 (2011/2012) | 0,2  | 0,23   | 0,13 | 2,8    | 2,2    | 51      | 12        | 0,01 | 0,02   | 53      | 14        |
| 61 (2017/2018) | 0,22 | 0,23   | 0,13 | 0,86   | 1,2    | 17      |           | 0,00 | 0,04   | 18      |           |
| 62 (2002/2003) | 9,3  | 9,4    | 0,03 | 6,5    | 16     | 22      | 5,0       |      | 0,28   | 38      | 22        |
| 62 (2006/2007) | 3,3  | 3,4    | 0,13 | 7,4    | 45     | 14      | 3,4       |      | 0,1    | 59      | 49        |
| 62 (2011/2012) | 4,6  | 4,7    | 0,00 | 4,5    | 65     | 16      | 4,0       | 0,2  | 0,26   | 81      | 69        |
| 62 (2017/2018) | 4,9  | 4,9    | 0,00 | 0,4    | 111    | 23      |           | 0,01 | 0,04   | 134     |           |
| 63 (2002/2003) | 1,2  | 1,2    | 0,00 | 5,6    | 1,8    | 182     | 38        |      | 0,00   | 184     | 40        |
| 63 (2006/2007) | 1,5  | 1,5    | 0,00 | 3,9    | 1,3    | 79      | 18        | 0,00 | 0,47   | 81      | 20        |
| 63 (2011/2012) | 0,97 | 1,0    | 0,00 | 3,4    | 2,0    | 1.024   | 248       | 0,1  | 0,44   | 1.026   | 250       |
| 63 (2017/2018) | 3,2  | 3,3    | 0,00 | 5,5    | 1,1    | 754     |           | 0,00 | 0,05   | 755     |           |
| 64 (2002/2003) | 2,3  | 2,3    | 0,00 | 7,1    | 28     | 0,68    | 0,15      |      | 0,06   | 29      | 28        |
| 64 (2006/2007) | 1,7  | 1,8    | 0,08 | 5,8    | 87     | 0,8     | 0,19      |      | 0,1    | 88      | 88        |
| 64 (2011/2012) | 1,2  | 1,2    | 0,26 | 6,0    | 43     | 0,96    | 0,23      | 0,16 | 0,08   | 45      | 44        |
| 64 (2017/2018) | 1,9  | 1,9    | 0,00 | 0,6    | 25     | 0,56    |           | 0,01 | 0,01   | 25      |           |
| 65 (2002/2003) | 1,7  | 1,8    | 90   | 95     | 5,1    | 1,5     | 0,32      |      | 0,03   | 6,6     | 5,5       |
| 65 (2006/2007) | 4,5  | 4,5    | 57   | 60     | 5,3    | 2,2     | 0,5       | 0,00 | 0,06   | 7,6     | 5,8       |
| 65 (2011/2012) | 3,7  | 3,8    | 50   | 56     | 9,2    | 7,2     | 1,8       | 0,04 | 0,08   | 16      | 11        |
| 65 (2017/2018) | 3,2  | 3,2    | 31   | 32     | 3,1    | 1,9     |           | 0,01 | 0,01   | 5,0     |           |



Tab. 51: Einzelergebnisse an den Messpunkten 66 – 78

| MP             | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 66 (2002/2003) | 1,7  | 1,8    | 0,07 | 6,9    | 12     | 0,89    | 0,2       |      | 0,22   | 13      | 13        |
| 66 (2006/2007) | 1,0  | 1,1    | 0,16 | 5,5    | 16     | 3,6     | 0,92      |      | 0,99   | 20      | 18        |
| 66 (2011/2012) | 6,2  | 6,3    | 0,14 | 4,6    | 22     | 2,7     | 0,63      | 0,03 | 0,04   | 25      | 23        |
| 66 (2017/2018) | 2,1  | 2,1    | 0,14 | 1,9    | 3,4    | 2,0     |           | 0,00 | 0,08   | 5,5     |           |
| 67 (2002/2003) | 1,0  | 1,1    | 0,00 | 3,5    | 2,4    | 0,81    | 0,18      |      | 0,12   | 3,4     | 2,7       |
| 67 (2006/2007) | 0,59 | 0,62   | 0,00 | 2,6    | 3,5    | 1,9     | 0,42      | 0,02 | 0,14   | 5,5     | 4,1       |
| 67 (2011/2012) | 1,1  | 1,2    | 0,14 | 2,4    | 15     | 2,4     | 0,6       | 0,03 | 0,07   | 17      | 16        |
| 67 (2017/2018) | 1,5  | 1,5    | 0,00 | 2,7    | 9,0    | 2,6     |           | 0,01 | 0,03   | 12      |           |
| 68 (2002/2003) | 1,8  | 1,8    | 0,00 | 4,7    | 7,9    | 4,5     | 0,91      |      | 0,00   | 12      | 8,8       |
| 68 (2006/2007) | 0,67 | 0,71   | 0,03 | 3,8    | 14     | 49      | 11        | 0,00 | 0,05   | 62      | 25        |
| 68 (2011/2012) | 1,1  | 1,1    | 0,01 | 4,6    | 18     | 108     | 26        | 0,03 | 0,11   | 126     | 43        |
| 68 (2017/2018) | 0,42 | 0,43   | 0,26 | 0,73   | 11     | 7,6     |           | 0,03 | 0,02   | 19      |           |
| 69 (2002/2003) | 0,15 | 0,19   | 0,00 | 3,9    | 2,7    | 0,09    | 0,02      |      | 0,00   | 2,8     | 2,8       |
| 69 (2006/2007) | 0,57 | 0,6    | 0,08 | 3,1    | 2,2    | 0,38    | 0,21      | 0,01 | 0,08   | 2,7     | 2,5       |
| 69 (2011/2012) | 0,3  | 0,32   | 0,1  | 2,3    | 3,5    | 3,0     | 2,2       | 0,16 | 0,03   | 6,7     | 5,9       |
| 69 (2017/2018) | 0,89 | 0,9    | 0,00 | 0,77   | 1,8    | 247     |           | 0,05 | 0,01   | 248     |           |
| 70 (2002/2003) | 1,2  | 1,3    | 0,00 | 7,3    | 15     | 2,4     | 0,48      |      | 0,03   | 17      | 15        |
| 70 (2006/2007) | 0,7  | 0,74   | 0,00 | 4,0    | 19     | 2,7     | 0,58      |      | 0,08   | 21      | 19        |
| 70 (2011/2012) | 0,9  | 0,93   | 0,53 | 4,3    | 18     | 6,5     | 1,4       | 0,09 | 0,05   | 24      | 19        |
| 70 (2017/2018) | 1,3  | 1,3    | 0,01 | 0,4    | 14     | 0,84    |           | 0,03 | 0,02   | 15      |           |
| 71 (2002/2003) | 2,0  | 2,1    | 0,12 | 3,7    | 6,3    | 0,04    | 0,01      | 0,00 | 0,06   | 6,4     | 6,4       |
| 71 (2006/2007) | 1,3  | 1,3    | 0,13 | 4,2    | 3,0    | 0,13    | 0,03      | 0,00 | 1,5    | 4,7     | 4,6       |
| 71 (2011/2012) | 0,31 | 0,33   | 0,19 | 2,0    | 1,6    | 0,71    | 0,18      | 0,01 | 0,14   | 2,4     | 1,9       |
| 71 (2017/2018) | 1,8  | 1,8    | 0,00 | 0,19   | 0,59   | 1,0     |           | 0,00 | 0,04   | 1,7     |           |
| 72 (2002/2003) | 0,15 | 0,21   | 0,00 | 6,0    | 8,7    | 6,0     | 1,3       |      | 0,00   | 15      | 10,0      |
| 72 (2006/2007) | 0,14 | 0,2    | 0,00 | 5,2    | 10     | 133     | 32        | 0,00 | 0,07   | 143     | 42        |
| 72 (2011/2012) | 0,15 | 0,19   | 0,00 | 4,3    | 9,4    | 186     | 48        | 0,04 | 0,06   | 196     | 58        |
| 72 (2017/2018) | 0,6  | 0,6    | 0,00 | 0,38   | 1,1    | 26      |           | 0,01 | 0,03   | 27      |           |
| 73 (2002/2003) | 2,9  | 3,0    | 0,16 | 4,9    | 2,8    | 1,1     | 0,23      | 0,00 | 0,02   | 3,9     | 3,1       |
| 73 (2006/2007) | 4,9  | 5,0    | 0,18 | 3,9    | 2,3    | 1,9     | 0,44      |      | 0,04   | 4,3     | 2,8       |
| 73 (2011/2012) | 2,9  | 2,9    | 0,14 | 3,5    | 2,0    | 6,3     | 1,5       | 0,06 | 0,03   | 8,4     | 3,6       |
| 73 (2017/2018) | 5,9  | 5,9    | 0,1  | 1,2    | 0,78   | 1,2     |           | 0,02 | 0,02   | 2,0     |           |
| 74 (2002/2003) | 5,9  | 5,9    | 0,00 | 3,3    | 1,2    | 218     | 51        |      | 0,00   | 219     | 52        |
| 74 (2006/2007) | 3,5  | 3,5    | 0,00 | 2,4    | 2,0    | 159     | 37        |      | 0,3    | 161     | 40        |
| 74 (2011/2012) | 3,2  | 3,2    | 0,00 | 3,5    | 3,1    | 416     | 98        | 0,00 | 0,21   | 419     | 101       |
| 74 (2017/2018) | 3,9  | 3,9    | 0,00 | 0,8    | 0,9    | 0,26    |           | 0,00 | 0,01   | 1,2     |           |
| 75 (2002/2003) | 1,7  | 1,8    | 1,5  | 5,5    | 32     | 4,7     | 1,0       | 0,00 | 0,08   | 36      | 33        |
| 75 (2006/2007) | 1,1  | 1,2    | 0,69 | 6,6    | 117    | 7,2     | 1,7       |      | 0,09   | 125     | 119       |
| 75 (2011/2012) | 3,0  | 3,1    | 1,7  | 6,1    | 187    | 6,1     | 1,6       | 0,43 | 0,22   | 194     | 189       |
| 75 (2017/2018) | 1,8  | 1,9    | 0,54 | 7,4    | 431    | 6,4     |           | 0,00 | 0,15   | 438     |           |
| 76 (2002/2003) | 1,2  | 1,2    | 0,00 | 4,0    | 4,3    | 0,19    | 0,04      |      | 0,00   | 4,5     | 4,3       |
| 76 (2006/2007) | 1,8  | 1,8    | 0,02 | 3,0    | 4,2    | 0,69    | 0,15      |      | 0,06   | 4,9     | 4,4       |
| 76 (2011/2012) | 1,6  | 1,6    | 0,1  | 2,5    | 2,0    | 1,3     | 0,29      | 0,01 | 0,03   | 3,4     | 2,4       |
| 76 (2017/2018) | 1,2  | 1,2    | 0,00 | 0,43   | 2,1    | 0,72    |           | 0,00 | 0,00   | 2,8     |           |
| 77 (2002/2003) | 3,3  | 3,3    | 5,1  | 8,8    | 6,9    | 291     | 68        |      | 0,1    | 298     | 75        |
| 77 (2006/2007) | 3,7  | 3,7    | 13   | 16     | 12     | 632     | 147       | 0,01 | 0,14   | 645     | 160       |
| 77 (2011/2012) | 3,0  | 3,0    | 8,1  | 11     | 20     | 1.609   | 333       | 0,05 | 0,12   | 1.630   | 353       |
| 77 (2017/2018) | 6,8  | 6,8    | 22   | 24     | 6,3    | 7,1     |           | 0,01 | 0,09   | 14      |           |
| 78 (2002/2003) | 1,1  | 1,2    | 0,00 | 3,6    | 2,0    | 1,5     | 0,35      |      | 0,02   | 3,6     | 2,4       |
| 78 (2006/2007) | 0,96 | 0,99   | 0,00 | 3,3    | 9,5    | 1,9     | 0,49      |      | 0,04   | 11      | 10,0      |
| 78 (2011/2012) | 1,0  | 1,1    | 0,00 | 4,7    | 5,5    | 2,1     | 0,67      | 0,04 | 0,04   | 7,7     | 6,3       |
| 78 (2017/2018) | 0,88 | 0,88   | 0,12 | 0,32   | 7,1    | 1,8     |           | 0,01 | 0,04   | 8,9     |           |

Tab. 52: Einzelergebnisse an den Messpunkten 79 – 91

| MP             | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 79 (2002/2003) | 1,3  | 1,4    | 1,6  | 6,5    | 7,1    | 8,3     | 1,9       |      | 0,08   | 16      | 9,1       |
| 79 (2006/2007) | 1,1  | 1,1    | 4,2  | 8,6    | 20     | 20      | 4,6       |      | 0,1    | 40      | 25        |
| 79 (2011/2012) | 0,83 | 0,87   | 1,7  | 6,1    | 39     | 20      | 4,7       | 0,04 | 0,12   | 59      | 44        |
| 79 (2017/2018) | 0,89 | 0,89   | 0,94 | 1,2    | 6,0    | 5,1     |           | 0,00 | 0,00   | 11      |           |
| 80 (2002/2003) | 1,3  | 1,4    | 0,02 | 13     | 57     | 0,07    | 0,02      |      | 0,00   | 57      | 57        |
| 80 (2006/2007) | 2,6  | 2,7    | 0    | 8,9    | 49     | 0,97    | 0,2       |      | 0,04   | 50      | 49        |
| 80 (2011/2012) | 2,4  | 2,4    | 0,02 | 5,2    | 43     | 1,4     | 0,34      | 0,09 | 0,07   | 44      | 43        |
| 80 (2017/2018) | 2,5  | 2,5    | 0,00 | 2,0    | 1,9    | 0,24    |           | 0,00 | 0,05   | 2,2     |           |
| 81 (2002/2003) | 0,64 | 0,68   | 0,00 | 4,3    | 4,5    | 0,03    | 0,01      |      | 0,00   | 4,6     | 4,5       |
| 81 (2006/2007) | 0,41 | 0,48   | 0,53 | 7,3    | 8,4    | 0,31    | 0,07      | 0,00 | 0,08   | 8,8     | 8,6       |
| 81 (2011/2012) | 0,36 | 0,4    | 0,00 | 3,4    | 7,5    | 0,92    | 0,2       | 0,09 | 0,05   | 8,6     | 7,9       |
| 81 (2017/2018) | 0,19 | 0,2    | 0,00 | 0,29   | 3,8    | 0,25    |           | 0,00 | 0,01   | 4,0     |           |
| 82 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 3,3    | 3,5    | 0,05    | 0,01      | 0,00 | 0,00   | 3,5     | 3,5       |
| 82 (2006/2007) | 0,97 | 1,0    | 0,12 | 3,6    | 3,5    | 56      | 26        | 0,00 | 0,18   | 60      | 30        |
| 82 (2011/2012) | 0,16 | 0,2    | 0,00 | 3,4    | 3,8    | 346     | 146       | 0,18 | 0,12   | 351     | 150       |
| 82 (2017/2018) | 0,36 | 0,36   | 0,00 | 0,67   | 2,9    | 362     |           | 0,01 | 0,01   | 365     |           |
| 83 (2002/2003) |      |        | 0,02 | 2,4    | 3,3    | 0,72    | 0,15      |      | 0,00   | 4,0     | 3,4       |
| 83 (2006/2007) | 0,64 | 0,68   | 0,00 | 3,8    | 1,3    | 2,5     | 0,57      |      | 0,14   | 4,0     | 2,0       |
| 83 (2011/2012) | 0,5  | 0,53   | 0,00 | 2,8    | 0,77   | 2,2     | 0,51      | 0,03 | 0,08   | 3,1     | 1,4       |
| 83 (2017/2018) | 0,59 | 0,6    | 0,00 | 0,58   | 0,72   | 0,9     |           | 0,01 | 0,02   | 1,7     |           |
| 84 (2002/2003) | 0,93 | 0,96   | 0,12 | 3,0    | 1,4    | 0,01    | 0,00      |      | 0,00   | 1,4     | 1,4       |
| 84 (2006/2007) | 2,3  | 2,3    | 0,25 | 3,7    | 1,8    | 0,08    | 0,02      |      | 0,17   | 2,0     | 2,0       |
| 84 (2011/2012) | 0,88 | 0,91   | 0,28 | 2,9    | 1,2    | 0,04    | 0,01      | 0,01 | 0,01   | 1,2     | 1,2       |
| 84 (2017/2018) | 0,99 | 1,00   | 0,71 | 1,3    | 0,82   | 10      |           | 0,00 | 0,01   | 11      |           |
| 85 (2002/2003) | 0,41 | 0,44   | 0,00 | 2,8    | 1,5    | 0,00    | 0,00      |      | 0,07   | 1,6     | 1,6       |
| 85 (2006/2007) | 1,8  | 1,8    | 1,3  |        | 2,1    | 1,1     | 0,27      |      | 0,15   | 3,4     | 2,5       |
| 85 (2011/2012) |      |        | 0,00 | 3,1    | 2,0    | 3,8     | 0,87      | 0,02 | 0,03   | 5,8     | 2,9       |
| 85 (2017/2018) | 0,97 | 0,98   | 0,00 | 0,62   | 1,7    | 3,7     |           | 0,01 | 0,03   | 5,5     |           |
| 86 (2002/2003) | 0,18 | 0,2    | 0,00 | 2,0    | 0,68   | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 0,68    | 0,68      |
| 86 (2006/2007) | 0,15 | 0,17   | 0,00 | 2,4    | 0,64   | 0,14    | 0,03      |      | 0,03   | 0,81    | 0,69      |
| 86 (2011/2012) | 0,26 | 0,27   | 0,03 | 1,4    | 0,56   | 0,73    | 0,15      | 0,01 | 0,04   | 1,3     | 0,76      |
| 86 (2017/2018) | 0,12 | 0,12   | 0,00 | 0,16   | 0,55   | 0,18    |           | 0,00 | 0,01   | 0,75    |           |
| 87 (2002/2003) | 0,11 | 0,22   | 0,01 | 10     | 37     | 0,22    | 0,05      |      | 0,00   | 38      | 37        |
| 87 (2006/2007) | 0,2  | 0,27   | 0,00 | 6,4    | 17     | 10      | 2,4       |      | 0,04   | 27      | 19        |
| 87 (2011/2012) |      |        | 0,33 | 5,1    | 11     | 13      | 2,8       | 0,03 | 0,04   | 23      | 13        |
| 87 (2017/2018) | 0,17 | 0,2    | 0,00 | 2,0    | 6,0    | 3,8     |           | 0,00 | 0,03   | 9,8     |           |
| 88 (2002/2003) | 0,27 | 0,3    | 0,03 | 3,1    | 5,3    | 3,6     | 0,74      |      | 0,00   | 8,9     | 6,1       |
| 88 (2006/2007) | 0,2  | 0,24   | 0,00 | 3,7    | 12     | 4,8     | 1,1       | 0,00 | 0,05   | 16      | 13        |
| 88 (2011/2012) | 0,11 | 0,16   | 1,2  | 5,3    | 28     | 47      | 10        | 0,37 | 0,07   | 75      | 38        |
| 88 (2017/2018) | 0,37 | 0,38   | 0,04 | 0,58   | 15     | 1,6     |           | 0,00 | 0,03   | 16      |           |
| 89 (2002/2003) | 0,37 | 0,41   | 0,07 | 3,8    | 27     | 4,5     | 1,00      | 0,00 | 0,00   | 31      | 28        |
| 89 (2006/2007) | 0,35 | 0,39   | 0,08 |        | 43     | 4,6     | 1,2       | 0,01 | 0,08   | 48      | 44        |
| 89 (2011/2012) | 0,35 | 0,37   | 0,14 | 2,7    | 3,1    | 11      | 2,4       | 0,2  | 0,02   | 14      | 5,7       |
| 89 (2017/2018) | 0,55 | 0,55   | 0,08 | 0,54   | 7,0    | 1,00    |           | 0,01 | 0,01   | 8,1     |           |
| 90 (2002/2003) | 0,13 | 0,17   | 0,16 | 4,8    | 7,1    | 24      | 5,2       |      | 0,02   | 31      | 12        |
| 90 (2006/2007) | 0,25 | 0,28   | 0,13 |        | 13     | 27      | 6,6       |      | 1,3    | 41      | 21        |
| 90 (2011/2012) | 0,38 | 0,42   | 0,28 | 3,6    | 5,4    | 12      | 3,1       | 2,1  | 0,08   | 19      | 11        |
| 90 (2017/2018) | 0,44 | 0,45   | 0,16 | 1,2    | 14     | 2,8     |           | 0,00 | 0,02   | 17      |           |
| 91 (2002/2003) | 0,1  | 0,14   | 0,02 | 4,6    | 15     | 0,95    | 0,22      |      | 0,00   | 16      | 16        |
| 91 (2006/2007) | 0,51 | 0,55   | 0,06 | 3,7    | 11     | 1,5     | 0,34      | 0,00 | 0,03   | 13      | 12        |
| 91 (2011/2012) | 0,28 | 0,3    | 0,04 | 2,1    | 3,7    | 8,3     | 3,7       | 0,11 | 0,04   | 12      | 7,6       |
| 91 (2017/2018) | 1,5  | 1,5    | 0,06 | 3,8    | 1,4    | 4,3     |           | 0,01 | 0,02   | 5,7     |           |

Tab. 53: Einzelergebnisse an den Messpunkten 92 – 104

| MP              | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|-----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 92 (2002/2003)  | 1,1  | 1,1    | 0,05 | 2,8    | 1,6    | 0,26    | 0,06      | 0    | 0,01   | 1,8     | 1,6       |
| 92 (2006/2007)  | 1,4  | 1,4    | 0,08 |        | 1,1    | 0,21    | 0,05      |      | 0,02   | 1,4     | 1,2       |
| 92 (2011/2012)  | 1,1  | 1,1    | 0,31 | 3,5    | 1,1    | 1,5     | 0,36      | 0,03 | 0,02   | 2,6     | 1,5       |
| 92 (2017/2018)  | 2,4  | 2,5    | 1,0  | 3,1    | 0,11   | 1,5     |           | 0,43 | 0,00   | 2,0     |           |
| 93 (2002/2003)  | 0,00 | 0,02   | 0,00 | 2,2    | 1,4    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 1,4     | 1,4       |
| 93 (2006/2007)  | 0,15 | 0,17   | 0,02 | 2,1    | 0,54   | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 0,54    | 0,54      |
| 93 (2011/2012)  | 1,2  | 1,2    | 0,05 | 2,4    | 1,4    | 0,00    | 0,00      | 0,02 | 0,28   | 1,7     | 1,7       |
| 93 (2017/2018)  | 3,1  | 3,1    | 0,00 | 0,91   | 0,08   | 0,00    |           | 0,00 | 0,01   | 0,09    |           |
| 94 (2002/2003)  | 1,1  | 1,1    | 0,08 | 3,7    | 2,8    | 0,11    | 0,02      |      | 0,00   | 3,0     | 2,9       |
| 94 (2006/2007)  | 3,1  | 3,2    | 0,02 | 3,8    | 1,4    | 0,31    | 0,07      |      | 0,02   | 1,7     | 1,5       |
| 94 (2011/2012)  | 1,9  | 1,9    | 0,07 | 2,1    | 1,7    | 0,96    | 0,23      | 0,11 | 0,01   | 2,8     | 2,1       |
| 94 (2017/2018)  | 3,0  | 3,1    | 0,15 | 11     | 1,1    | 0,29    |           | 0,00 | 0,01   | 1,4     |           |
| 95 (2002/2003)  | 0,01 | 0,04   | 0    | 2,5    | 1,3    | 1,2     | 0,28      |      | 0,00   | 2,5     | 1,6       |
| 95 (2006/2007)  | 0,04 | 0,07   | 0,03 | 2,8    | 0,69   | 0,7     | 0,16      |      | 0,00   | 1,4     | 0,86      |
| 95 (2011/2012)  | 0,06 | 0,08   | 0,07 | 1,8    | 0,11   | 15      | 6,9       | 0,00 | 0,00   | 15      | 7,0       |
| 95 (2017/2018)  | 0,06 | 0,06   | 0,03 | 0,33   | 0,01   | 19      |           | 0,00 | 0,00   | 19      |           |
| 96 (2002/2003)  | 0,74 | 0,76   | 7,7  | 9,5    | 0,27   | 0,04    | 0,01      |      | 0,00   | 0,31    | 0,28      |
| 96 (2006/2007)  | 0,74 | 0,76   | 4,6  |        | 0,36   | 1,3     | 0,31      |      | 0,05   | 1,7     | 0,72      |
| 96 (2011/2012)  | 1,0  | 1,0    | 7,4  | 9,9    | 0,42   | 2,0     | 0,48      | 0,01 | 0,01   | 2,5     | 0,92      |
| 96 (2017/2018)  | 0,83 | 0,84   | 11   | 12     | 0,05   | 1,8     |           | 0,00 | 0,00   | 1,8     |           |
| 97 (2002/2003)  | 1,7  | 1,8    | 0,00 | 2,3    | 0,29   | 143     | 34        |      | 2,5    | 146     | 37        |
| 97 (2006/2007)  | 1,3  | 1,3    | 0,03 | 3,6    | 0,38   | 21      | 5,0       |      | 0,26   | 22      | 5,6       |
| 97 (2011/2012)  | 1,1  | 1,2    | 0,11 | 2,1    | 0,27   | 75      | 20        | 0,00 | 0,02   | 75      | 20        |
| 97 (2017/2018)  | 2,3  | 2,3    | 0,00 | 3,6    | 0,04   | 27      |           | 0,01 | 0,05   | 27      |           |
| 98 (2002/2003)  | 0    | 0,02   | 0,5  | 2,3    | 1,8    | 5,0     | 1,1       |      | 0,00   | 6,8     | 3,0       |
| 98 (2006/2007)  | 0,12 | 0,13   | 0,03 |        | 0,59   | 8,0     | 1,9       |      | 0,00   | 8,6     | 2,4       |
| 98 (2011/2012)  | 0,08 | 0,11   | 0,24 | 2,3    | 1,2    | 32      | 7,4       | 0,01 | 0,00   | 33      | 8,6       |
| 98 (2017/2018)  | 0,12 | 0,12   | 0,08 | 0,34   | 0,04   | 30      |           | 0,02 | 0,00   | 30      |           |
| 99 (2002/2003)  | 1,6  | 1,6    | 0,04 | 3,8    | 1,5    | 1,2     | 0,27      |      | 0,00   | 2,7     | 1,8       |
| 99 (2006/2007)  | 0,67 | 0,71   | 0,00 | 3,6    | 0,78   | 1,5     | 0,35      |      | 0,01   | 2,3     | 1,1       |
| 99 (2011/2012)  |      |        | 0,18 | 2,9    | 0,96   | 2,5     | 0,65      | 0,01 | 0,01   | 3,5     | 1,6       |
| 99 (2017/2018)  | 2,7  | 2,7    | 0,04 | 3,8    | 0,2    | 1,8     |           | 0,1  | 0,01   | 2,1     |           |
| 100 (2002/2003) | 0,00 | 0,03   | 1,1  | 3,9    | 2,0    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 2,0     | 2,0       |
| 100 (2006/2007) | 0,00 | 0,03   | 1,2  |        | 1,5    | 0,00    | 0,00      |      | 0,01   | 1,5     | 1,5       |
| 100 (2011/2012) | 0,00 | 0,02   | 0,72 | 2,7    | 0,44   | 0,05    | 0,01      | 0,00 | 0,00   | 0,5     | 0,46      |
| 100 (2017/2018) | 0,00 | 0,00   | 0,35 | 0,59   | 0,16   | 0,02    |           | 0,01 | 0,00   | 0,19    |           |
| 101 (2002/2003) | 0,14 | 0,19   | 0,76 | 6,0    | 3,7    | 0,26    | 0,05      |      | 0,03   | 4,0     | 3,8       |
| 101 (2006/2007) | 0,23 | 0,27   | 0,99 | 5,2    | 2,0    | 0,34    | 0,08      |      | 0,1    | 2,4     | 2,2       |
| 101 (2011/2012) | 0,47 | 0,49   | 0,28 | 2,1    | 0,69   | 0,23    | 0,12      | 0,01 | 0,09   | 1,0     | 0,91      |
| 101 (2017/2018) | 0,48 | 0,51   | 0,28 | 2,9    | 0,15   | 0,18    |           | 0,01 | 0,11   | 0,45    |           |
| 102 (2002/2003) | 0,08 | 0,1    | 0,00 | 1,6    | 0,62   | 0,04    | 0,01      |      | 0,00   | 0,66    | 0,63      |
| 102 (2006/2007) | 0,04 | 0,09   | 0,12 | 5,6    | 1,1    | 0,03    | 0,01      |      | 0,02   | 1,1     | 1,1       |
| 102 (2011/2012) |      |        | 0,02 | 5,8    | 0,89   | 0,00    | 0,00      | 0,00 | 0,01   | 0,91    | 0,91      |
| 102 (2017/2018) | 0,04 | 0,08   | 0,08 | 4,1    | 0,04   | 0,01    |           | 0,01 | 0,00   | 0,06    |           |
| 103 (2002/2003) | 0,25 | 0,26   | 1,5  | 2,8    | 0,71   | 0,66    | 0,15      |      | 0,03   | 1,4     | 0,89      |
| 103 (2006/2007) | 0,11 | 0,14   | 1,4  | 4,4    | 1,1    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 1,1     | 1,1       |
| 103 (2011/2012) | 0,19 | 0,2    | 0,46 | 2,1    | 0,25   | 0,02    | 0,01      | 0,00 | 0,00   | 0,28    | 0,26      |
| 103 (2017/2018) | 0,00 | 0,00   | 0,72 | 1,1    | 0,05   | 0,04    |           | 0,02 | 0,00   | 0,11    |           |
| 104 (2002/2003) | 0,12 | 0,14   | 0,03 | 2,7    | 1,9    | 1,2     | 0,28      |      | 0,05   | 3,1     | 2,2       |
| 104 (2006/2007) | 1,5  | 1,5    | 0,09 | 3,4    | 2,2    | 2,8     | 0,67      |      | 0,03   | 5,1     | 2,9       |
| 104 (2011/2012) | 2,2  | 2,2    | 0,3  | 2,4    | 0,6    | 6,6     | 1,6       | 3,4  | 0,61   | 11      | 6,2       |
| 104 (2017/2018) | 2,5  | 2,5    | 0,06 | 3,6    | 0,21   | 3,4     |           | 0,01 | 0,01   | 3,7     |           |

Tab. 54: Einzelergebnisse an den Messpunkten 105 – 117

| MP              | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|-----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 105 (2002/2003) | 0,49 | 0,5    | 0,00 | 1,7    | 0,53   | 0,14    | 0,03      |      | 0,00   | 0,68    | 0,57      |
| 105 (2006/2007) | 0,79 | 0,81   | 0,06 | 2,2    | 0,37   | 0,46    | 0,11      | 0,00 | 0,07   | 0,91    | 0,55      |
| 105 (2011/2012) | 0,22 | 0,23   | 0,28 | 1,6    | 0,41   | 1,2     | 0,29      | 0,00 | 0,07   | 1,7     | 0,77      |
| 105 (2017/2018) | 0,27 | 0,27   | 0,48 | 0,81   | 0,14   | 0,61    |           | 0,00 | 0,01   | 0,76    |           |
| 106 (2002/2003) | 0,22 | 0,24   | 0,00 | 2,4    | 2,1    | 1,5     | 0,35      |      | 0,00   | 3,6     | 2,4       |
| 106 (2006/2007) | 0,6  | 0,62   | 0,03 | 2,5    | 1,8    | 2,1     | 0,49      |      | 0,04   | 3,9     | 2,3       |
| 106 (2011/2012) | 0,26 | 0,29   | 0,1  | 3,0    | 3,2    | 6,3     | 1,5       | 0,03 | 0,06   | 9,6     | 4,8       |
| 106 (2017/2018) | 0,24 | 0,26   | 1,2  | 2,6    | 1,7    | 14      |           | 0,01 | 0,03   | 16      |           |
| 107 (2002/2003) | 0,18 | 0,21   | 0,01 | 3,0    | 1,0    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 1,0     | 1,0       |
| 107 (2006/2007) | 0,15 | 0,21   | 0,08 | 5,4    | 1,9    | 0,02    | 0,00      |      | 0,09   | 2,0     | 2,0       |
| 107 (2011/2012) | 1,0  | 1,0    | 4,9  | 8,2    | 1,1    | 0,69    | 0,17      | 0,00 | 0,09   | 1,9     | 1,4       |
| 107 (2017/2018) | 0,66 | 0,67   | 0,00 | 0,97   | 0,1    | 0,06    |           | 0,00 | 0,02   | 0,18    |           |
| 108 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 2,6    | 2,5    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 2,5     | 2,5       |
| 108 (2006/2007) | 0,00 | 0,03   | 0,04 | 2,8    | 0,85   | 0,00    | 0,00      |      | 0,03   | 0,88    | 0,88      |
| 108 (2011/2012) | 0,00 | 0,02   | 0,16 | 1,9    | 0,71   | 0,11    | 0,1       | 0,01 | 0,01   | 0,84    | 0,82      |
| 108 (2017/2018) | 0,07 | 0,07   | 0,00 | 0,41   | 0,03   | 0,01    |           | 0,00 | 0,01   | 0,05    |           |
| 109 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 2,5    | 0,95   | 0,35    | 0,08      |      | 0,00   | 1,3     | 1,0       |
| 109 (2006/2007) | 0,69 | 0,75   | 0,06 | 5,4    | 0,82   | 3,5     | 0,83      | 0,00 | 0,00   | 4,3     | 1,7       |
| 109 (2011/2012) | 0,43 | 0,45   | 0,00 | 2,0    | 0,43   | 37      | 33        | 0,02 | 0,00   | 37      | 33        |
| 109 (2017/2018) | 0,71 | 0,72   | 0,06 | 0,86   | 0,15   | 2,3     |           | 0,00 | 0,00   | 2,5     |           |
| 110 (2002/2003) | 0,2  | 0,25   | 0,3  | 4,8    | 4,5    | 0,01    | 0,00      |      | 0,00   | 4,5     | 4,5       |
| 110 (2006/2007) | 0,39 | 0,42   | 0,07 | 2,7    | 0,54   | 0,07    | 0,02      |      | 0,00   | 0,61    | 0,56      |
| 110 (2011/2012) | 0,38 | 0,41   | 1,3  | 4,1    | 1,9    | 0,35    | 0,28      | 0,02 | 0,00   | 2,3     | 2,2       |
| 110 (2017/2018) | 0,09 | 0,1    | 0,14 | 0,57   | 0,05   | 0,04    |           | 0,00 | 0,01   | 0,11    |           |
| 111 (2002/2003) | 2,7  | 2,8    | 0,04 | 4,6    | 8,1    | 1,2     | 0,27      | 0,00 | 0,00   | 9,3     | 8,4       |
| 111 (2006/2007) | 2,3  | 2,3    | 0,18 | 4,0    | 17     | 1,5     | 0,34      | 0,00 | 0,08   | 18      | 17        |
| 111 (2011/2012) | 3,4  | 3,4    | 0,17 | 3,7    | 10     | 2,6     | 0,57      | 0,79 | 0,09   | 14      | 12        |
| 111 (2017/2018) | 2,5  | 2,5    | 0,05 | 0,96   | 14     | 0,84    |           | 0,00 | 0,04   | 14      |           |
| 112 (2002/2003) | 0,24 | 0,28   | 0,09 | 4,4    | 20     | 4,7     | 0,98      |      | 0,00   | 24      | 21        |
| 112 (2006/2007) | 1,1  | 1,1    | 0,05 | 4,1    | 14     | 14      | 3,2       |      | 0,02   | 28      | 17        |
| 112 (2011/2012) | 1,3  | 1,3    | 0,01 | 3,3    | 19     | 6,6     | 1,5       | 0,27 | 0,02   | 26      | 21        |
| 112 (2017/2018) | 1,2  | 1,3    | 0,00 | 6,4    | 12     | 3,0     |           | 0,00 | 0,01   | 15      |           |
| 113 (2002/2003) | 2,2  | 2,2    | 0,1  | 5,0    | 38     | 5,7     | 1,1       |      | 0,08   | 43      | 39        |
| 113 (2006/2007) | 4,4  | 4,4    | 0,05 |        | 29     | 4,5     | 0,93      |      | 0,02   | 34      | 30        |
| 113 (2011/2012) | 6,5  | 6,5    | 0,04 | 3,9    | 76     | 11      | 2,4       | 2,3  | 0,02   | 89      | 80        |
| 113 (2017/2018) | 4,8  | 4,8    | 0,03 | 3,8    | 37     | 2,5     |           | 0,00 | 0,00   | 40      |           |
| 114 (2002/2003) | 0,24 | 0,27   | 0,11 | 2,9    | 8,3    | 0,32    | 0,07      |      | 1,2    | 9,8     | 9,6       |
| 114 (2006/2007) | 0,06 | 0,1    | 0,00 | 3,8    | 2,8    | 7,6     | 1,7       |      | 0,06   | 11      | 4,6       |
| 114 (2011/2012) | 0,14 | 0,18   | 0,33 | 3,7    | 2,0    | 0,39    | 0,1       | 0,11 | 0,01   | 2,5     | 2,2       |
| 114 (2017/2018) | 0,03 | 0,13   | 0,14 | 9,3    | 0,93   | 0,76    |           | 0,02 | 0,00   | 1,7     |           |
| 115 (2002/2003) | 0,25 | 0,28   | 0,00 | 2,6    | 59     | 2,3     | 0,55      |      | 0,02   | 61      | 59        |
| 115 (2006/2007) | 0,82 | 0,86   | 0,00 |        | 68     | 2,0     | 0,47      | 0,00 | 0,02   | 70      | 68        |
| 115 (2011/2012) | 0,65 | 0,67   | 0,02 | 2,1    | 51     | 1,0     | 0,29      | 6,7  | 0,01   | 59      | 58        |
| 115 (2017/2018) | 2,1  | 2,1    | 0,00 | 1,8    | 9,6    | 0,53    |           | 0,00 | 0,00   | 10      |           |
| 116 (2002/2003) |      |        | 0,04 | 4,3    | 17     | 18      | 4,0       |      | 0,00   | 35      | 21        |
| 116 (2006/2007) | 0,53 | 0,57   | 0,33 | 4,3    | 17     | 9,1     | 2,1       |      | 0,04   | 26      | 19        |
| 116 (2011/2012) | 0,43 | 0,46   | 0,06 | 2,9    | 24     | 6,2     | 1,5       | 3,8  | 0,22   | 35      | 30        |
| 116 (2017/2018) | 0,41 | 0,42   | 0,02 | 0,68   | 14     | 1,7     |           | 0,00 | 0,03   | 16      |           |
| 117 (2002/2003) | 0,55 | 0,6    | 0,00 | 4,1    | 16     | 93      | 22        |      | 0,02   | 109     | 38        |
| 117 (2006/2007) | 1,5  | 1,6    | 0,04 | 4,2    | 26     | 51      | 12        |      | 0,03   | 76      | 38        |
| 117 (2011/2012) |      |        | 0,02 | 3,1    | 25     | 86      | 20        | 1,7  | 0,03   | 112     | 47        |
| 117 (2017/2018) | 1,3  | 1,3    | 0,00 | 0,48   | 23     | 1       |           | 0,00 | 0,01   | 24      |           |

Tab. 55: Einzelergebnisse an den Messpunkten 118 – 130

| MP              | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|-----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 118 (2002/2003) |      |        | 0,25 | 4,9    | 20     | 0,01    | 0,00      |      | 0,01   | 20      | 20        |
| 118 (2006/2007) | 0,45 | 0,5    | 0,28 | 5,5    | 16     | 0,08    | 0,02      |      | 0,02   | 16      | 16        |
| 118 (2011/2012) | 0,72 | 0,75   | 0,26 | 3,4    | 20     | 0,05    | 0,03      | 1,8  | 0,02   | 21      | 21        |
| 118 (2017/2018) | 0,96 | 1,1    | 0,27 | 9,0    | 12     | 0,15    |           | 0,00 | 0,02   | 13      |           |
| 119 (2002/2003) | 1,0  | 1,1    | 0,00 | 6,3    | 13     | 0,96    | 0,21      |      | 0,00   | 14      | 13        |
| 119 (2006/2007) | 0,48 | 0,52   | 0,12 |        | 6,9    | 86      | 21        | 0,3  | 0,21   | 93      | 28        |
| 119 (2011/2012) | 1,0  | 1,1    | 0,00 | 4,1    | 4,9    | 2.650   | 617       | 0,28 | 0,2    | 2.656   | 622       |
| 119 (2017/2018) | 0,74 | 0,75   | 0,00 | 0,82   | 1,9    | 641     |           | 0,01 | 0,02   | 643     |           |
| 120 (2002/2003) | 2,1  | 2,2    | 0,02 | 3,4    | 4,1    | 2,0     | 0,46      |      | 0,00   | 6,1     | 4,5       |
| 120 (2006/2007) | 1,4  | 1,5    | 0,14 | 4,2    | 3,1    | 1,5     | 0,38      |      | 0,03   | 4,7     | 3,6       |
| 120 (2011/2012) | 0,67 | 0,71   | 0,16 | 3,8    | 4,8    | 11      | 3,1       | 0,11 | 0,02   | 16      | 8,0       |
| 120 (2017/2018) | 0,71 | 0,72   | 0,00 | 1,7    | 3,9    | 1,6     |           | 0,43 | 0,01   | 5,9     |           |
| 121 (2002/2003) | 1,2  | 1,2    | 0,03 | 1,4    | 2,7    | 13      | 3,2       | 0,00 | 0,00   | 16      | 5,9       |
| 121 (2006/2007) | 1,1  | 1,1    | 0,08 | 2,6    | 1,5    | 14      | 3,2       | 0,00 | 0,00   | 15      | 4,7       |
| 121 (2011/2012) | 2,0  | 2,0    | 0,04 | 1,8    | 0,53   | 6,6     | 1,5       | 0,03 | 0,00   | 7,1     | 2,1       |
| 121 (2017/2018) | 1,3  | 1,4    | 0,03 | 2,5    | 0,35   | 4,1     |           | 0,00 | 0,01   | 4,5     |           |
| 122 (2002/2003) | 2,0  | 2,0    | 0,00 | 5,0    | 6,6    | 1,6     | 0,35      |      | 0,00   | 8,2     | 6,9       |
| 122 (2006/2007) | 2,0  | 2,1    | 0,13 | 5,9    | 8,3    | 2,5     | 0,55      |      | 0,04   | 11      | 8,9       |
| 122 (2011/2012) |      |        | 0,03 | 3,9    | 3,9    | 5,1     | 1,2       | 0,29 | 0,02   | 9,3     | 5,4       |
| 122 (2017/2018) | 2,8  | 2,8    | 0,00 | 0,71   | 2,4    | 1,2     |           | 0,04 | 0,01   | 3,7     |           |
| 123 (2002/2003) | 0,00 | 0,03   | 0,05 | 2,7    | 1,8    | 0,01    | 0,00      |      | 0,00   | 1,9     | 1,8       |
| 123 (2006/2007) | 0,06 | 0,09   | 0,04 | 3,3    | 1,5    | 6,4     | 1,5       |      | 0,00   | 7,9     | 3,0       |
| 123 (2011/2012) | 0,13 | 0,16   | 0,03 | 2,5    | 1,1    | 8,4     | 2,0       | 0,02 | 0,00   | 9,4     | 3,1       |
| 123 (2017/2018) | 0,06 | 0,07   | 0,04 | 0,93   | 0,09   | 7,7     |           | 0,01 | 0,00   | 7,8     |           |
| 124 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 2,3    | 0,9    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 0,9     | 0,9       |
| 124 (2006/2007) | 0,00 | 0,03   | 0,04 | 3,0    | 0,93   | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 0,93    | 0,93      |
| 124 (2011/2012) | 0,14 | 0,17   | 0,03 | 2,3    | 1,3    | 0,06    | 0,03      | 0,01 | 0,00   | 1,3     | 1,3       |
| 124 (2017/2018) | 0,06 | 0,1    | 0,05 | 3,2    | 1,4    | 0,04    |           | 0,01 | 0,02   | 1,5     |           |
| 125 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 3,2    | 2,5    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 2,5     | 2,5       |
| 125 (2006/2007) | 0,01 | 0,07   | 0,03 | 5,9    | 3,9    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 3,9     | 3,9       |
| 125 (2011/2012) | 0,05 | 0,07   | 0,01 | 2,3    | 0,86   | 0,01    | 0,00      | 0,03 | 0,00   | 0,9     | 0,89      |
| 125 (2017/2018) | 0,01 | 0,02   | 0,00 | 0,52   | 0,43   | 0,03    |           | 0,00 | 0,00   | 0,46    |           |
| 126 (2002/2003) | 0,92 | 0,94   | 0,00 | 2,4    | 1,7    | 0,22    | 0,04      |      | 0,00   | 2,0     | 1,8       |
| 126 (2006/2007) | 3,9  | 4,0    | 0,03 | 2,5    | 2,0    | 0,35    | 0,07      |      | 0,06   | 2,4     | 2,1       |
| 126 (2011/2012) | 2,3  | 2,3    | 0,06 | 1,7    | 0,8    | 0,52    | 0,12      | 0,07 | 0,02   | 1,4     | 1,0       |
| 126 (2017/2018) | 3,1  | 3,1    | 0,04 | 1,9    | 1,9    | 0,5     |           | 0,01 | 0,02   | 2,4     |           |
| 127 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 2,9    | 1,7    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 1,7     | 1,7       |
| 127 (2006/2007) | 0,4  | 0,44   | 0,1  | 4,2    | 2,5    | 0,04    | 0,01      | 0,00 | 0,03   | 2,5     | 2,5       |
| 127 (2011/2012) | 0,57 | 0,61   | 0,15 | 4,0    | 1,5    | 0,07    | 0,03      | 0,01 | 0,01   | 1,6     | 1,5       |
| 127 (2017/2018) | 0,17 | 0,18   | 0,00 | 1,0    | 0,36   | 0,02    |           | 0,01 | 0,01   | 0,39    |           |
| 128 (2002/2003) | 0,63 | 0,65   | 0,06 | 2,2    | 1,5    | 0,04    | 0,01      |      | 0,13   | 1,7     | 1,6       |
| 128 (2006/2007) | 0,48 | 0,54   | 0,00 | 6,1    | 8,3    | 0,41    | 0,09      |      | 0,37   | 9,1     | 8,7       |
| 128 (2011/2012) | 0,27 | 0,37   | 0,07 | 9,4    | 2,6    | 1,6     | 1,5       | 0,00 | 0,04   | 4,3     | 4,2       |
| 128 (2017/2018) | 0,56 | 0,57   | 0,00 | 0,6    | 0,21   | 0,79    |           | 0,01 | 0,01   | 1,0     |           |
| 129 (2002/2003) |      |        | 0,24 | 3,4    | 1,9    | 8,0     | 1,9       |      | 0,04   | 10,0    | 3,8       |
| 129 (2006/2007) | 3,0  | 3,1    | 0,13 | 5,3    | 2,5    | 49      | 11        | 0,00 | 0,03   | 51      | 14        |
| 129 (2011/2012) | 3,5  | 3,5    | 0,14 | 2,6    | 0,42   | 14      | 3,9       | 0,01 | 0,03   | 14      | 4,3       |
| 129 (2017/2018) | 2,3  | 2,3    | 0,25 | 6,4    | 0,03   | 18      |           | 0,00 | 0,00   | 18      |           |
| 130 (2002/2003) | 0,00 | 0,02   | 0,02 | 2,1    | 0,71   | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 0,71    | 0,71      |
| 130 (2006/2007) | 0,09 | 0,12   | 0,01 | 3,5    | 2,4    | 0,02    | 0,00      |      | 0,02   | 2,4     | 2,4       |
| 130 (2011/2012) | 0,11 | 0,13   | 0,02 | 1,6    | 0,44   | 0,05    | 0,03      | 0,00 | 0,02   | 0,5     | 0,49      |
| 130 (2017/2018) | 0,1  | 0,1    | 0,03 | 0,53   | 0,03   | 0,00    |           | 0,00 | 0,02   | 0,05    |           |

Tab. 56: Einzelergebnisse an den Messpunkten 131 – 143

| MP              | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|-----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 131 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 2,0    | 1,8    | 0,1     | 0,02      |      | 0,27   | 2,1     | 2,1       |
| 131 (2006/2007) | 0,01 | 0,03   | 0,00 | 2,1    | 1,7    | 0,46    | 0,1       |      | 0,99   | 3,1     | 2,8       |
| 131 (2011/2012) | 0,03 | 0,06   | 0,06 | 3,1    | 4,0    | 0,97    | 0,56      | 0,05 | 1,7    | 6,7     | 6,3       |
| 131 (2017/2018) | 0,00 | 0,01   | 0,00 | 1,1    | 0,42   | 0,32    |           | 0,00 | 0,12   | 0,86    |           |
| 132 (2002/2003) | 0,07 | 0,1    | 0,15 | 3,2    | 12     | 2,7     | 0,63      |      | 0,03   | 15      | 13        |
| 132 (2006/2007) | 0,39 | 0,43   | 0,22 | 4,8    | 6,1    | 2,4     | 0,5       |      | 0,09   | 8,6     | 6,7       |
| 132 (2011/2012) | 2,0  | 2,0    | 0,18 | 3,4    | 13     | 4,1     | 0,95      | 0,27 | 0,09   | 17      | 14        |
| 132 (2017/2018) | 0,35 | 0,37   | 0,14 | 2,0    | 7,9    | 5,3     |           | 0,00 | 0,03   | 13      |           |
| 133 (2002/2003) | 4,4  | 4,5    | 0,05 | 3,1    | 2,0    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 2,0     | 2,0       |
| 133 (2006/2007) | 3,6  | 3,6    | 0,05 | 3,3    | 1,9    | 0,11    | 0,03      | 0,00 | 0,00   | 2,0     | 1,9       |
| 133 (2011/2012) | 1,7  | 1,7    | 0,07 | 2,5    | 1,1    | 0,6     | 0,16      | 0,04 | 0,00   | 1,7     | 1,3       |
| 133 (2017/2018) | 2,4  | 2,4    | 0,03 | 0,45   | 1,1    | 0,17    |           | 0,00 | 0,00   | 1,3     |           |
| 134 (2002/2003) | 0,71 | 0,74   | 0,15 | 2,7    | 1,7    | 0,03    | 0,01      |      | 0,00   | 1,7     | 1,7       |
| 134 (2006/2007) | 1,2  | 1,2    | 0,19 | 3,6    | 5,4    | 0,22    | 0,07      |      | 0,00   | 5,6     | 5,4       |
| 134 (2011/2012) |      |        | 0,11 | 2,1    | 4,7    | 0,96    | 0,24      | 0,03 | 0,00   | 5,7     | 5,0       |
| 134 (2017/2018) | 1,6  | 1,7    | 0,11 | 0,89   | 4,1    | 0,28    |           | 0,00 | 0,01   | 4,4     |           |
| 135 (2002/2003) | 0,54 | 0,58   | 0,27 | 3,8    | 3,8    | 5,6     | 1,3       |      | 0,53   | 9,9     | 5,6       |
| 135 (2006/2007) | 1,0  | 1,1    | 1,5  | 5,7    | 2,0    | 9,6     | 2,3       |      | 0,04   | 12      | 4,3       |
| 135 (2011/2012) | 3,5  | 3,5    | 0,14 | 2,1    | 1,0    | 4,5     | 1,3       | 0,00 | 0,00   | 5,5     | 2,3       |
| 135 (2017/2018) | 3,8  | 3,8    | 0,15 | 0,86   | 0,71   | 1,1     |           | 0,01 | 0,01   | 1,8     |           |
| 136 (2002/2003) | 0,28 | 0,3    | 0,66 | 2,6    | 0,77   | 5,7     | 1,3       |      | 0,00   | 6,5     | 2,1       |
| 136 (2006/2007) | 0,34 | 0,37   | 0,31 | 3,1    | 1,6    | 4,7     | 1,2       | 0,00 | 0,04   | 6,4     | 2,9       |
| 136 (2011/2012) | 0,23 | 0,25   | 0,18 | 2,3    | 2,6    | 7,5     | 2,2       | 0,01 | 0,07   | 10      | 4,9       |
| 136 (2017/2018) | 0,53 | 0,55   | 0,24 | 2,1    | 0,43   | 2,1     |           | 0,00 | 0,01   | 2,5     |           |
| 137 (2002/2003) | 2,6  | 2,6    | 0,1  | 3,3    | 0,99   | 0,63    | 0,14      |      | 0,08   | 1,7     | 1,2       |
| 137 (2006/2007) | 2,9  | 3,0    | 0,02 | 4,1    | 2,3    | 2,9     | 0,65      |      | 0,25   | 5,5     | 3,2       |
| 137 (2011/2012) |      |        | 0,19 | 2,0    | 0,23   | 2,5     | 0,62      | 0,00 | 0,1    | 2,9     | 0,95      |
| 137 (2017/2018) | 3,4  | 3,4    | 0,02 | 0,66   | 0,13   | 0,92    |           | 0,01 | 0,04   | 1,1     |           |
| 138 (2002/2003) | 2,7  | 2,7    | 0,12 | 2,9    | 1,1    | 0,66    | 0,14      |      | 0,00   | 1,8     | 1,3       |
| 138 (2006/2007) | 4,4  | 4,5    | 0,00 | 3,3    | 1,9    | 1,2     | 0,25      |      | 0,17   | 3,2     | 2,3       |
| 138 (2011/2012) | 2,9  | 2,9    | 0,00 | 1,8    | 0,27   | 2,7     | 0,65      | 0,00 | 0,03   | 3,0     | 0,95      |
| 138 (2017/2018) | 6,5  | 6,5    | 0,00 | 0,8    | 0,19   | 2,7     |           | 0,01 | 0,05   | 2,9     |           |
| 139 (2002/2003) | 2,1  | 2,1    | 0,00 | 3,2    | 1,2    | 3,6     | 0,83      |      | 0,00   | 4,8     | 2,0       |
| 139 (2006/2007) | 4,4  | 4,4    | 1,1  | 5,0    | 2,0    | 5,5     | 1,3       |      | 0,01   | 7,6     | 3,4       |
| 139 (2011/2012) | 2,4  | 2,4    | 0,43 | 2,6    | 0,5    | 8,3     | 2,1       | 0,00 | 0,00   | 8,8     | 2,6       |
| 139 (2017/2018) | 4,3  | 4,3    | 0,55 | 1,2    | 0,16   | 6,3     |           | 0,03 | 0,01   | 6,5     |           |
| 140 (2002/2003) | 0,29 | 0,33   | 0,06 | 3,6    | 4,9    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 4,9     | 4,9       |
| 140 (2006/2007) | 0,27 | 0,36   | 0,14 | 9,0    | 6,2    | 0,12    | 0,03      |      | 0,02   | 6,3     | 6,2       |
| 140 (2011/2012) | 0,44 | 0,48   | 0,00 | 3,5    | 2,8    | 0,15    | 0,03      | 0,03 | 0,01   | 3,0     | 2,9       |
| 140 (2017/2018) | 0,19 | 0,36   | 0,00 | 17     | 2,4    | 0,05    |           | 0,00 | 0,01   | 2,5     |           |
| 141 (2002/2003) | 0,00 | 0,03   | 0,67 | 3,9    | 2,3    | 0,32    | 0,07      |      | 0,21   | 2,8     | 2,6       |
| 141 (2006/2007) | 0,05 | 0,08   | 0,24 | 3,4    | 1,4    | 0,23    | 0,05      |      | 0,00   | 1,6     | 1,4       |
| 141 (2011/2012) | 0,07 | 0,09   | 0,25 | 2,6    | 1,1    | 0,49    | 0,11      | 0,01 | 0,01   | 1,6     | 1,2       |
| 141 (2017/2018) | 0,05 | 0,07   | 0,34 | 1,5    | 0,69   | 0,18    |           | 0,01 | 0,02   | 0,9     |           |
| 142 (2002/2003) | 2,6  | 2,6    | 0,55 | 5,0    | 5,9    | 0,01    | 0,00      |      | 0,00   | 5,9     | 5,9       |
| 142 (2006/2007) | 0,42 | 0,46   | 0,02 | 3,8    | 3,3    | 0,7     | 0,17      |      | 0,01   | 4,0     | 3,5       |
| 142 (2011/2012) | 0,54 | 0,57   | 0,13 | 2,8    | 2,4    | 0,52    | 0,16      | 0,01 | 0,07   | 3,0     | 2,7       |
| 142 (2017/2018) | 1,1  | 1,1    | 0,28 | 1,2    | 3,1    | 1,3     |           | 0,01 | 0,03   | 4,4     |           |
| 143 (2002/2003) | 0,78 | 0,8    | 0,00 | 2,1    | 3,2    | 0,47    | 0,11      |      | 0,00   | 3,7     | 3,3       |
| 143 (2006/2007) | 0,83 | 0,86   | 0,00 | 2,3    | 2,2    | 1,0     | 0,24      |      | 0,01   | 3,3     | 2,5       |
| 143 (2011/2012) | 0,95 | 0,96   | 0,00 | 1,2    | 1,1    | 2,8     | 1,4       | 0,17 | 0,01   | 4,1     | 2,7       |
| 143 (2017/2018) | 0,95 | 0,95   | 0,00 | 0,4    | 1,1    | 0,5     |           | 0,00 | 0,00   | 1,6     |           |



Tab. 57: Einzelergebnisse an den Messpunkten 144 – 156

| MP              | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|-----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 144 (2002/2003) | 3,5  | 3,6    | 0,08 | 3,1    | 3,2    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 3,2     | 3,2       |
| 144 (2006/2007) | 0,52 | 0,54   | 0,00 | 2,1    | 1,1    | 0,00    | 0,00      |      | 0,01   | 1,1     | 1,1       |
| 144 (2011/2012) | 1,0  | 1,1    | 0,08 | 7,0    | 4,3    | 0,01    | 0,00      | 0,01 | 0,01   | 4,3     | 4,3       |
| 144 (2017/2018) | 1,9  | 1,9    | 0,13 | 4,1    | 0,28   | 0,00    |           | 0,00 | 0,00   | 0,29    |           |
| 145 (2002/2003) | 5,0  | 5,0    | 0,03 | 2,0    | 0,37   | 0,16    | 0,04      |      | 0,00   | 0,53    | 0,4       |
| 145 (2006/2007) | 2,0  | 2,1    | 0,66 | 8,7    | 4,4    | 0,2     | 0,04      | 0,00 | 0,01   | 4,6     | 4,5       |
| 145 (2011/2012) | 1,5  | 1,5    | 0,03 | 2,5    | 0,58   | 0,77    | 0,21      | 0,00 | 0,00   | 1,4     | 0,8       |
| 145 (2017/2018) | 1,8  | 1,8    | 0,03 | 0,87   | 0,15   | 0,42    |           | 0,05 | 0,00   | 0,62    |           |
| 146 (2002/2003) | 1,0  | 1,1    | 0,07 | 2,6    | 0,73   | 0,9     | 0,21      |      | 0,00   | 1,6     | 0,94      |
| 146 (2006/2007) | 0,99 | 1,0    | 0,00 | 4,3    | 3,4    | 0,63    | 0,14      |      | 0,01   | 4,0     | 3,5       |
| 146 (2011/2012) | 3,5  | 3,5    | 0,11 | 2,6    | 0,7    | 2,6     | 1,3       | 0,00 | 0,13   | 3,5     | 2,2       |
| 146 (2017/2018) | 2,2  | 2,2    | 0,04 | 2,7    | 0,15   | 0,43    |           | 0,03 | 0,01   | 0,62    |           |
| 147 (2002/2003) | 0,01 | 0,04   | 0,03 | 2,5    | 1,9    | 0,15    | 0,03      |      | 0,00   | 2,1     | 2,0       |
| 147 (2006/2007) | 0,00 | 0,03   | 0,08 | 3,3    | 0,84   | 0,2     | 0,05      | 0,00 | 0,01   | 1,1     | 0,9       |
| 147 (2011/2012) | 0,05 | 0,08   | 0,09 | 2,4    | 0,22   | 0,31    | 0,07      | 0,01 | 0,01   | 0,54    | 0,31      |
| 147 (2017/2018) | 0,00 | 0,35   | 0,25 | 34     | 0,09   | 0,17    |           | 0,00 | 0,00   | 0,26    |           |
| 148 (2002/2003) | 0,51 | 0,55   | 0,15 | 4,0    | 8,5    | 0,07    | 0,02      |      | 0,00   | 8,6     | 8,5       |
| 148 (2006/2007) | 10   | 10     | 0,06 | 4,9    | 9,8    | 0,66    | 0,18      |      | 0,04   | 11      | 10        |
| 148 (2011/2012) | 5,9  | 6,0    | 0,06 | 3,9    | 5,3    | 1,0     | 0,32      | 0,32 | 0,02   | 6,7     | 6,0       |
| 148 (2017/2018) | 5,3  | 5,3    | 0,11 | 2,1    | 7,0    | 1,0     |           | 0,02 | 0,01   | 8,0     |           |
| 149 (2002/2003) | 0,44 | 0,46   | 0,26 | 2,7    | 2,6    | 1,9     | 0,45      |      | 0,00   | 4,5     | 3,0       |
| 149 (2006/2007) | 0,27 | 0,3    | 0,03 | 3,0    | 1,9    | 1,5     | 0,36      |      | 1,1    | 4,5     | 3,4       |
| 149 (2011/2012) | 0,48 | 0,5    | 0,05 | 2,4    | 1,5    | 7,1     | 1,8       | 0,19 | 0,04   | 8,8     | 3,6       |
| 149 (2017/2018) | 0,52 | 0,57   | 0,14 | 4,5    | 1,9    | 4,8     |           | 0,02 | 0,02   | 6,8     |           |
| 150 (2002/2003) | 0,00 | 0,04   | 0,03 | 4,0    | 4,3    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 4,3     | 4,3       |
| 150 (2006/2007) | 0,00 | 0,03   | 0,00 | 3,0    | 1,7    | 0,00    | 0,00      | 0,00 | 0,00   | 1,7     | 1,7       |
| 150 (2011/2012) | 0,02 | 0,04   | 0,04 | 2,4    | 0,9    | 0,04    | 0,04      | 0,03 | 0,00   | 0,98    | 0,97      |
| 150 (2017/2018) | 0,00 | 0,01   | 0,00 | 1,2    | 0,21   | 0,01    |           | 0,00 | 0,00   | 0,22    |           |
| 151 (2002/2003) | 0,71 | 0,74   | 0,77 | 2,9    | 1,8    | 0,18    | 0,04      |      | 0,03   | 2,0     | 1,8       |
| 151 (2006/2007) | 1,00 | 1,00   | 0,00 | 3,8    | 1,7    | 0,28    | 0,07      | 0,00 | 0,01   | 2,0     | 1,8       |
| 151 (2011/2012) | 4,3  | 4,4    | 0,00 | 2,0    | 0,23   | 0,59    | 0,14      | 0,01 | 0,00   | 0,83    | 0,38      |
| 151 (2017/2018) | 0,62 | 0,63   | 0,04 | 0,75   | 0,24   | 0,49    |           | 0,2  | 0,00   | 0,93    |           |
| 152 (2002/2003) | 0,11 | 0,15   | 0,04 | 3,7    | 3,9    | 0,03    | 0,01      |      | 0,00   | 4,0     | 3,9       |
| 152 (2006/2007) | 0,12 | 0,16   | 0,01 | 3,2    | 1,1    | 0,11    | 0,02      |      | 0,07   | 1,3     | 1,2       |
| 152 (2011/2012) | 14   | 14     | 0,04 | 1,8    | 0,47   | 0,81    | 0,27      | 0,00 | 0,02   | 1,3     | 0,77      |
| 152 (2017/2018) | 0,07 | 0,07   | 0,03 | 0,51   | 0,26   | 0,09    |           | 1,3  | 0,01   | 1,7     |           |
| 153 (2002/2003) | 0,22 | 0,24   | 0,09 | 1,7    | 0,5    | 0,77    | 0,16      |      | 0,00   | 1,3     | 0,66      |
| 153 (2006/2007) | 1,1  | 1,1    | 0,14 | 3,1    | 0,98   | 1,0     | 0,23      |      | 0,13   | 2,1     | 1,3       |
| 153 (2011/2012) | 0,35 | 0,37   | 0,2  | 2,1    | 0,92   | 1,6     | 0,37      | 0,01 | 0,02   | 2,6     | 1,3       |
| 153 (2017/2018) | 0,4  | 0,41   | 0,06 | 1,1    | 0,22   | 0,74    |           | 0,00 | 0,00   | 0,96    |           |
| 154 (2002/2003) | 1,4  | 1,4    | 0,00 | 2,0    | 1,4    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 1,4     | 1,4       |
| 154 (2006/2007) | 1,1  | 1,1    | 0,02 | 2,6    | 1,2    | 0,01    | 0,00      |      | 0,1    | 1,3     | 1,3       |
| 154 (2011/2012) | 1,4  | 1,4    | 0,08 | 1,3    | 0,6    | 0,11    | 0,03      | 0,02 | 0,06   | 0,79    | 0,71      |
| 154 (2017/2018) | 1,5  | 1,5    | 0,13 | 0,57   | 0,83   | 0,05    |           | 0,00 | 0,01   | 0,9     |           |
| 155 (2002/2003) | 3,3  | 3,3    | 1,3  | 4,3    | 11     | 198     | 46        |      | 34     | 244     | 91        |
| 155 (2006/2007) | 1,1  | 1,1    | 0,52 | 3,3    | 60     | 523     | 124       |      | 92     | 675     | 276       |
| 155 (2011/2012) | 1,5  | 1,5    | 0,49 | 2,3    | 62     | 916     | 209       | 4,8  | 65     | 1.048   | 341       |
| 155 (2017/2018) | 1,6  | 1,6    | 0,44 | 1,9    | 63     | 535     |           | 0,00 | 30     | 628     |           |
| 156 (2002/2003) | 2,1  | 2,1    | 0,00 | 1,8    | 0,82   | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 0,82    | 0,82      |
| 156 (2006/2007) | 1,9  | 2,0    | 0,00 | 2,2    | 0,72   | 0,00    | 0,00      |      | 0,01   | 0,73    | 0,73      |
| 156 (2011/2012) | 4,0  | 4,1    | 0,02 | 7,3    | 5,1    | 0,09    | 0,02      | 0,00 | 0,01   | 5,2     | 5,1       |
| 156 (2017/2018) | 5,3  | 5,3    | 0    | 2,3    | 0,19   | 0,01    |           | 0,02 | 0,01   | 0,24    |           |

Tab. 58: Einzelergebnisse an den Messpunkten 157 – 169

| MP              | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|-----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 157 (2002/2003) | 1,3  | 1,3    | 0,00 | 2,2    | 1,8    | 7,8     | 1,8       |      | 0,00   | 9,7     | 3,7       |
| 157 (2006/2007) | 0,85 | 0,88   | 0,00 | 3,3    | 2,5    | 5,3     | 1,2       | 0,00 | 0,01   | 7,8     | 3,7       |
| 157 (2011/2012) | 0,5  | 0,56   | 0,00 | 5,6    | 1,8    | 7,6     | 1,8       | 0,00 | 0,03   | 9,5     | 3,7       |
| 157 (2017/2018) | 0,34 | 0,37   | 0,00 | 2,7    | 0,35   | 6,9     |           | 0,00 | 0,00   | 7,2     |           |
| 158 (2002/2003) | 7,5  | 7,5    | 0,87 | 3,2    | 5,3    | 21      | 4,5       |      | 0,00   | 27      | 9,8       |
| 158 (2006/2007) | 4,5  | 4,6    | 0,99 | 3,9    | 2,8    | 33      | 7,2       | 0,00 | 0,06   | 36      | 10        |
| 158 (2011/2012) | 3,4  |        | 2,6  |        |        |         |           |      | 0,04   |         |           |
| 158 (2017/2018) | 5,3  | 5,3    | 1,4  | 2,1    | 7,4    | 122     |           | 0,01 | 0,06   | 130     |           |
| 159 (2002/2003) | 0,68 | 0,73   | 0,09 | 4,6    | 8,0    | 0,49    | 0,11      |      | 0,00   | 8,5     | 8,1       |
| 159 (2006/2007) | 2,8  | 2,8    | 0,04 | 2,5    | 3,3    | 0,78    | 0,18      |      | 0,02   | 4,1     | 3,5       |
| 159 (2011/2012) | 2,1  | 2,2    | 0,00 | 6,7    | 2,5    | 0,38    | 0,09      | 0,04 | 0,02   | 2,9     | 2,6       |
| 159 (2017/2018) | 1,6  | 1,6    | 0,00 | 3,6    | 2,3    | 0,19    |           | 0,02 | 0,02   | 2,5     |           |
| 160 (2002/2003) | 0,23 | 0,28   | 0,05 | 4,5    | 10     | 0,04    | 0,01      |      | 0,00   | 10      | 10        |
| 160 (2006/2007) | 0,24 | 0,27   | 0,01 | 2,7    | 2,7    | 0,2     | 0,04      |      | 0,03   | 2,9     | 2,7       |
| 160 (2011/2012) | 0,14 | 0,16   | 0,02 | 2,5    | 3,0    | 0,82    | 0,19      | 0,01 | 0,03   | 3,8     | 3,2       |
| 160 (2017/2018) | 0,25 | 0,25   | 0,00 | 0,54   | 1,6    | 0,1     |           | 0,00 | 0,01   | 1,7     |           |
| 161 (2002/2003) | 0,44 | 0,47   | 0,03 | 2,6    | 2,7    | 4,5     | 1,1       |      | 0,00   | 7,2     | 3,7       |
| 161 (2006/2007) | 0,34 | 0,38   | 0,06 | 3,4    | 1,2    | 2,5     | 0,59      | 0,00 | 0,02   | 3,8     | 1,8       |
| 161 (2011/2012) | 0,35 | 0,37   | 0,24 | 3,0    | 1,3    | 2,6     | 0,63      | 0,00 | 0,02   | 3,9     | 1,9       |
| 161 (2017/2018) | 0,36 | 0,43   | 0,16 | 6,6    | 1,4    | 0,37    |           | 0,00 | 0,53   | 2,3     |           |
| 162 (2002/2003) | 0,53 | 0,56   | 0,05 | 3,3    | 1,6    | 0,03    | 0,01      |      | 0,00   | 1,6     | 1,6       |
| 162 (2006/2007) | 0,88 | 0,91   | 0,04 | 3,2    | 1,6    | 0,74    | 0,17      |      | 0,02   | 2,4     | 1,8       |
| 162 (2011/2012) | 1,6  | 1,6    | 0,05 | 3,0    | 0,81   | 8,9     | 3,0       | 0,01 | 0,01   | 9,7     | 3,8       |
| 162 (2017/2018) | 1,3  | 1,3    | 0,04 | 2,4    | 0,19   | 7,0     |           | 0,01 | 0,01   | 7,2     |           |
| 163 (2002/2003) | 0,16 | 0,2    | 0,13 | 4,1    | 2,0    | 1,2     | 0,26      |      | 0,29   | 3,6     | 2,6       |
| 163 (2006/2007) | 0,82 | 0,85   | 0,11 | 3,4    | 1,7    | 1,3     | 0,3       |      | 0,38   | 3,4     | 2,4       |
| 163 (2011/2012) |      |        | 0,08 | 2,6    | 1,2    | 3,2     | 0,82      | 0,89 | 0,28   | 5,6     | 3,2       |
| 163 (2017/2018) | 1,1  | 1,1    | 0,00 | 0,8    | 0,52   | 0,69    |           | 0,03 | 0,00   | 1,2     |           |
| 164 (2002/2003) | 0,78 | 0,81   | 0,00 | 2,5    | 4,5    | 3,7     | 0,86      |      | 0,00   | 8,2     | 5,3       |
| 164 (2006/2007) | 0,86 | 0,88   | 0,00 | 2,6    | 0,55   | 5,0     | 1,0       |      | 0,00   | 5,5     | 1,6       |
| 164 (2011/2012) | 0,9  | 0,94   | 3,3  | 6,4    | 1,3    | 19      | 7,8       | 0,02 | 0,00   | 20      | 9,1       |
| 164 (2017/2018) | 0,29 | 0,37   | 0,29 | 7,6    | 0,52   | 23      |           | 0,00 | 0,01   | 24      |           |
| 165 (2002/2003) | 0,43 | 0,47   | 0,01 | 4,3    | 7,0    | 2,9     | 0,68      |      | 0,00   | 9,8     | 7,6       |
| 165 (2006/2007) | 0,64 | 0,69   | 0,05 | 4,8    | 8,4    | 7,6     | 1,8       |      | 0,02   | 16      | 10        |
| 165 (2011/2012) | 0,56 | 0,59   | 0,03 | 2,3    | 3,4    | 17      | 4,4       | 0,00 | 0,03   | 20      | 7,9       |
| 165 (2017/2018) | 1,1  | 1,1    | 0,03 | 1,2    | 5,2    | 3,0     |           | 0,00 | 0,00   | 8,2     |           |
| 166 (2002/2003) | 0,11 | 0,14   | 0,02 | 3,4    | 4,8    | 0,91    | 0,21      |      | 0,00   | 5,8     | 5,0       |
| 166 (2006/2007) | 0,12 | 0,16   | 0,00 | 4,1    | 3,3    | 1,8     | 0,43      |      | 0,01   | 5,1     | 3,7       |
| 166 (2011/2012) |      |        | 0,00 | 2,4    | 1,9    | 4,2     | 1,1       | 0,00 | 0,01   | 6,1     | 3,0       |
| 166 (2017/2018) | 0,1  | 0,12   | 0,00 | 1,6    | 2,3    | 2,1     |           | 0,00 | 0,00   | 4,4     |           |
| 167 (2002/2003) | 0,31 | 0,35   | 0,62 | 4,2    | 1,6    | 4,5     | 1,0       |      | 0,03   | 6,1     | 2,7       |
| 167 (2006/2007) | 2,5  | 2,6    | 0,06 | 3,3    | 0,82   | 3,4     | 0,79      |      | 0,04   | 4,2     | 1,6       |
| 167 (2011/2012) | 2,3  | 2,3    | 0,07 | 2,8    | 0,37   | 8,3     | 4,7       | 0,02 | 0,21   | 8,9     | 5,3       |
| 167 (2017/2018) | 2,5  | 2,5    | 0,05 | 5,1    | 0,08   | 5,2     |           | 0,04 | 0,08   | 5,4     |           |
| 168 (2002/2003) |      |        | 0,03 | 3,5    | 2,1    | 0,24    | 0,06      | 0,00 | 0,00   | 2,3     | 2,1       |
| 168 (2006/2007) | 0,99 | 1,0    | 0,08 | 4,3    | 2,1    | 0,39    | 0,09      | 0,00 | 0,04   | 2,5     | 2,2       |
| 168 (2011/2012) | 2,1  | 2,2    | 0,01 | 2,0    | 0,29   | 1,3     | 0,34      | 0,00 | 0,04   | 1,6     | 0,67      |
| 168 (2017/2018) | 1,1  | 1,2    | 0,00 | 1,4    | 0,06   | 1,2     |           | 0,01 | 0,01   | 1,2     |           |
| 169 (2002/2003) | 1,7  | 1,7    |      |        | 2,0    | 2,5     | 0,58      |      | 0,00   | 4,5     | 2,6       |
| 169 (2006/2007) | 0,82 | 0,86   | 0,04 | 3,8    | 3,5    | 1,4     | 0,32      | 0,00 | 0,04   | 4,9     | 3,8       |
| 169 (2011/2012) | 1,4  | 1,4    | 0,01 | 2,0    | 0,71   | 1,9     | 0,45      | 0,05 | 0,05   | 2,7     | 1,3       |
| 169 (2017/2018) | 0,64 | 0,69   | 0,00 | 5,6    | 0,65   | 1,6     |           | 0,01 | 0,02   | 2,3     |           |

Tab. 59: Einzelergebnisse an den Messpunkten 170 – 182

| MP              | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|-----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 170 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 3,4    | 1,5    | 1,2     | 0,27      |      | 0,00   | 2,7     | 1,8       |
| 170 (2006/2007) | 0,88 | 0,91   | 0,03 | 2,8    | 0,62   | 3,0     | 0,69      |      | 0,02   | 3,6     | 1,3       |
| 170 (2011/2012) | 0,76 | 0,79   | 0,00 | 2,8    | 0,42   | 3,5     | 0,88      | 0,01 | 0,05   | 3,9     | 1,3       |
| 170 (2017/2018) | 1,2  | 1,2    | 0,09 | 2,8    | 0,07   | 0,91    |           | 0,00 | 0,02   | 1,0     |           |
| 171 (2002/2003) | 0,57 | 0,6    | 0,00 | 3,0    | 1,4    | 63      | 15        | 0,00 | 0,17   | 65      | 17        |
| 171 (2006/2007) | 2,4  | 2,4    | 0,00 | 3,6    | 18     | 94      | 23        | 0,00 | 0,27   | 112     | 41        |
| 171 (2011/2012) | 2,2  | 2,2    | 0,00 | 2,4    | 42     | 105     | 27        | 0,06 | 5,0    | 152     | 75        |
| 171 (2017/2018) | 2,2  | 2,2    | 0,00 | 0,99   | 9,8    | 150     |           | 0,01 | 0,08   | 160     |           |
| 172 (2002/2003) | 0,74 | 0,77   | 0,00 | 3,1    | 1,2    | 3,2     | 0,71      |      | 0,00   | 4,4     | 2,0       |
| 172 (2006/2007) | 0,4  | 0,45   | 0,03 | 4,4    | 5,3    | 5,5     | 1,3       |      | 0,02   | 11      | 6,7       |
| 172 (2011/2012) | 1,6  | 1,6    | 0,04 | 3,0    | 9,4    | 8,2     | 2,2       | 0,01 | 0,06   | 18      | 12        |
| 172 (2017/2018) | 1,8  | 1,8    | 0,16 | 0,9    | 1,8    | 2,1     |           | 0,00 | 0,01   | 3,9     |           |
| 173 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 3,3    | 1,5    | 1,6     | 0,39      |      | 0,00   | 3,2     | 1,9       |
| 173 (2006/2007) | 2,7  | 2,7    | 0,00 | 3,9    | 3,4    | 2,1     | 0,56      | 0,00 | 0,05   | 5,5     | 4,0       |
| 173 (2011/2012) | 0,33 | 0,35   | 0,22 | 2,9    | 2,7    | 5,6     | 1,5       | 0,02 | 0,02   | 8,3     | 4,2       |
| 173 (2017/2018) | 1,5  | 1,5    | 0,07 | 3,0    | 2,5    | 0,62    |           | 0,11 | 0,02   | 3,2     |           |
| 174 (2002/2003) | 1,4  | 1,4    | 0,00 | 2,7    | 1,2    | 51      | 11        |      | 0,07   | 52      | 12        |
| 174 (2006/2007) | 2,0  | 2,0    | 0,06 | 5,3    | 5,6    | 16      | 3,4       | 0,00 | 0,04   | 21      | 9,0       |
| 174 (2011/2012) | 2,0  | 2,0    | 0,04 | 2,6    | 9,6    | 26      | 6,8       | 0,01 | 0,03   | 36      | 16        |
| 174 (2017/2018) | 2,2  | 2,3    | 0,05 | 1,3    | 7,8    | 10      |           | 0,03 | 0,21   | 18      |           |
| 175 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 5,0    | 4,2    | 2,5     | 0,58      |      | 0,00   | 6,7     | 4,8       |
| 175 (2006/2007) | 0,61 | 0,65   | 0,00 | 3,7    | 6,1    | 2,7     | 0,64      | 0,00 | 0,04   | 8,9     | 6,8       |
| 175 (2011/2012) | 0,51 | 0,56   | 0,21 | 4,9    | 7,8    | 3,5     | 0,94      | 0,25 | 0,14   | 12      | 9,2       |
| 175 (2017/2018) | 0,34 | 0,35   | 0,04 | 1,5    | 1,7    | 0,4     |           | 0,00 | 0,02   | 2,2     |           |
| 176 (2002/2003) | 1,1  | 1,1    | 0,00 | 0,72   | 8,0    | 2,4     | 0,52      |      | 0,03   | 10      | 8,6       |
| 176 (2006/2007) | 1,5  | 1,5    | 0,00 | 1,1    | 11     | 3,8     | 0,85      |      | 0,16   | 15      | 12        |
| 176 (2011/2012) | 0,87 | 0,89   | 0,00 | 2,1    | 18     | 5,5     | 1,3       | 0,91 | 0,14   | 25      | 21        |
| 176 (2017/2018) | 1,3  | 1,3    | 0,00 | 0,51   | 11     | 21      |           | 0,05 | 0,11   | 33      |           |
| 177 (2002/2003) | 0,54 | 0,6    | 0,34 | 6,1    | 3,0    | 8,8     | 1,9       |      | 0,11   | 12      | 5,0       |
| 177 (2006/2007) | 0,7  | 0,72   | 0,13 | 1,6    | 0,57   | 9,7     | 2,1       |      | 0,07   | 10      | 2,8       |
| 177 (2011/2012) | 0,61 |        | 0,17 |        |        | 9,1     | 2,2       | 0,06 | 0,24   |         |           |
| 177 (2017/2018) | 0,75 | 0,78   | 0,31 | 2,8    | 0,83   | 51      |           | 0,08 | 0,32   | 52      |           |
| 178 (2002/2003) | 0,21 | 0,25   | 0,00 | 4,2    | 4,1    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 4,1     | 4,1       |
| 178 (2006/2007) | 0,25 | 0,3    | 0,16 | 4,7    | 2,1    | 0,66    | 0,15      |      | 0,04   | 2,7     | 2,2       |
| 178 (2011/2012) |      |        | 0,00 | 3,2    | 1,3    | 0,51    | 0,12      | 0,00 | 0,01   | 1,8     | 1,5       |
| 178 (2017/2018) | 0,19 | 0,21   | 0,05 | 1,8    | 0,52   | 0,57    |           | 0,00 | 0,00   | 1,1     |           |
| 179 (2002/2003) | 0,45 | 0,48   | 0,03 | 3,1    | 2,0    | 4,3     | 1,00      |      | 1,7    | 8,0     | 4,7       |
| 179 (2006/2007) | 3,8  | 3,8    | 0,01 | 2,8    | 0,49   | 15      | 3,3       |      | 2,4    | 18      | 6,2       |
| 179 (2011/2012) | 3,2  | 3,2    | 0,03 | 2,1    | 0,24   | 5,4     | 1,4       | 0,05 | 6,9    | 13      | 8,6       |
| 179 (2017/2018) | 2,7  | 2,7    | 0,47 | 1,6    | 0,63   | 4,0     |           | 0,00 | 2,9    | 7,5     |           |
| 180 (2002/2003) | 0,38 | 0,41   | 0,00 | 3,0    | 1,6    | 0,33    | 0,07      | 0,00 | 0,41   | 2,3     | 2,0       |
| 180 (2006/2007) | 0,94 | 0,97   | 0,16 | 2,9    | 0,45   | 4,9     | 1,1       |      | 1,0    | 6,4     | 2,6       |
| 180 (2011/2012) | 1,00 | 1,0    | 0,2  | 2,9    | 0,2    | 8,0     | 2,3       | 0,01 | 0,45   | 8,7     | 2,9       |
| 180 (2017/2018) | 1,1  | 1,1    | 0,13 | 1,2    | 0,6    | 2,8     |           | 0,00 | 0,06   | 3,5     |           |
| 181 (2002/2003) | 0,76 | 0,8    | 0,04 | 3,3    | 1,8    | 1,0     | 0,25      |      | 0,00   | 2,9     | 2,1       |
| 181 (2006/2007) | 0,58 | 0,61   | 0,05 | 3,3    | 1,6    | 0,5     | 0,12      |      | 0,02   | 2,1     | 1,7       |
| 181 (2011/2012) | 0,94 | 0,96   | 0,09 | 2,6    | 0,49   | 2,2     | 0,51      | 0,00 | 0,01   | 2,7     | 1,0       |
| 181 (2017/2018) | 1,3  | 1,3    | 0,01 | 1,1    | 0,46   | 0,58    |           | 0,02 | 0,00   | 1,1     |           |
| 182 (2002/2003) | 0,00 | 0,04   | 0,09 | 4,4    | 5,8    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 5,8     | 5,8       |
| 182 (2006/2007) | 0,02 | 0,09   | 0,09 | 6,5    | 3,2    | 0,00    | 0,00      |      | 0,03   | 3,3     | 3,3       |
| 182 (2011/2012) | 0,08 | 0,13   | 0,05 | 5,2    | 0,45   | 0,02    | 0,00      | 0,00 | 0,01   | 0,48    | 0,47      |
| 182 (2017/2018) | 0,07 | 0,11   | 0,08 | 4,5    | 0,23   | 0,04    |           | 0,00 | 0,02   | 0,3     |           |

Tab. 60: Einzelergebnisse an den Messpunkten 183 – 195

| MP              | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|-----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 183 (2002/2003) | 0,83 | 0,86   | 0,00 | 2,9    | 0,84   | 84      | 20        |      | 0,00   | 85      | 21        |
| 183 (2006/2007) | 0,38 | 0,41   | 0,02 | 3,2    | 1,3    | 113     | 27        |      | 0,01   | 114     | 28        |
| 183 (2011/2012) | 0,63 | 0,66   | 0,08 | 3,0    | 1,5    | 506     | 121       | 0,00 | 0,37   | 508     | 123       |
| 183 (2017/2018) | 0,68 | 0,69   | 0,00 | 0,77   | 0,37   | 456     |           | 0,00 | 0,00   | 456     |           |
| 184 (2002/2003) | 0,02 | 0,04   | 0,00 | 2,5    | 4,0    | 0,02    | 0,00      |      | 0,00   | 4,0     | 4,0       |
| 184 (2006/2007) | 0,02 | 0,08   | 0,01 |        | 5,1    | 0,02    | 0,01      |      | 0,55   | 5,6     | 5,6       |
| 184 (2011/2012) | 0,00 | 0,02   | 0,04 | 1,5    | 1,6    | 0,1     | 0,03      | 0,04 | 0,09   | 1,9     | 1,8       |
| 184 (2017/2018) | 0,01 | 0,02   | 0,25 | 0,96   | 0,61   | 0,04    |           | 0,16 | 0,01   | 0,82    |           |
| 185 (2002/2003) |      |        | 0,11 | 3,5    | 2,1    | 0,17    | 0,04      |      | 0,00   | 2,3     | 2,2       |
| 185 (2006/2007) | 0,38 | 0,41   | 0,07 | 2,6    | 0,66   | 0,25    | 0,06      |      | 0,01   | 0,92    | 0,73      |
| 185 (2011/2012) | 1,6  | 1,6    | 0,11 | 1,7    |        |         |           |      | 0,00   |         |           |
| 185 (2017/2018) | 1,5  | 1,5    | 0,00 | 1,5    | 0,28   | 67      |           | 16   | 0,05   | 83      |           |
| 186 (2002/2003) | 0,01 | 0,04   | 0,67 | 3,0    | 0,66   | 1,6     | 0,38      |      | 0,00   | 2,3     | 1,0       |
| 186 (2006/2007) | 0,18 | 0,21   | 0,19 | 3,2    | 0,48   | 1,8     | 0,42      | 0,00 | 0,01   | 2,3     | 0,91      |
| 186 (2011/2012) | 0,17 | 0,21   | 0,16 | 3,3    | 1,6    | 3,6     | 0,83      | 0,00 | 0,01   | 5,2     | 2,4       |
| 186 (2017/2018) | 0,05 | 0,06   | 0,13 | 1,2    | 0,09   | 0,69    |           | 0,00 | 0,00   | 0,79    |           |
| 187 (2002/2003) | 0,91 | 0,94   | 0,00 | 3,6    | 1,9    | 0,52    | 0,1       |      | 0,00   | 2,4     | 2,0       |
| 187 (2006/2007) | 1,9  | 2,0    | 0,28 | 4,2    | 0,82   | 1,2     | 0,28      |      | 0,08   | 2,1     | 1,2       |
| 187 (2011/2012) | 3,1  | 3,1    | 1,1  | 6,4    | 2,1    | 2,3     | 0,65      | 0,00 | 0,15   | 4,6     | 2,9       |
| 187 (2017/2018) | 2,4  | 2,4    | 0,84 | 5,3    | 0,21   | 0,75    |           | 0,00 | 0,03   | 1       |           |
| 188 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 4,4    | 1,9    | 7,8     | 1,8       |      | 0,16   | 9,8     | 3,9       |
| 188 (2006/2007) | 3,1  | 3,1    | 0,19 | 4,2    | 0,77   | 36      | 8,7       | 0,01 | 0,09   | 37      | 9,6       |
| 188 (2011/2012) | 1,3  | 1,3    | 0,09 | 4,1    | 1,2    | 40      | 9,7       | 0,09 | 0,13   | 41      | 11        |
| 188 (2017/2018) | 2,6  | 2,6    | 0,41 | 2,8    | 0,19   | 8,6     |           | 0,08 | 0,1    | 9,0     |           |
| 189 (2002/2003) |      |        | 0,35 | 4,6    | 2,1    | 0,11    | 0,02      |      | 0      | 2,2     | 2,1       |
| 189 (2006/2007) | 1,1  | 1,1    | 0,33 | 4,3    | 1,6    | 0,61    | 0,14      | 0,00 | 0,01   | 2,2     | 1,7       |
| 189 (2011/2012) | 0,26 | 0,29   | 0,15 | 3,1    | 0,81   | 0,84    | 0,24      | 0,00 | 0,01   | 1,7     | 1,1       |
| 189 (2017/2018) | 0,8  | 0,8    | 0,06 | 0,91   | 0,16   | 0,35    |           | 0,00 | 0      | 0,52    |           |
| 190 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 2,7    | 1,2    | 0,00    | 0,00      |      | 0,02   | 1,2     | 1,2       |
| 190 (2006/2007) | 0,21 | 0,24   | 0,05 | 2,8    | 1,3    | 0,01    | 0,00      |      | 0,05   | 1,4     | 1,4       |
| 190 (2011/2012) | 0,75 | 0,77   | 0,22 | 2,4    | 1,2    | 0,06    | 0,01      | 14   | 8,2    | 24      | 24        |
| 190 (2017/2018) | 0,53 | 0,54   | 0,12 | 2,0    | 0,66   | 0,02    |           | 4,4  | 0,01   | 5,1     |           |
| 191 (2002/2003) | 0,34 | 0,38   | 1,6  | 5,1    | 1,6    | 0,15    | 0,04      |      | 0,01   | 1,8     | 1,6       |
| 191 (2006/2007) | 1,5  | 1,5    | 5,2  | 11     | 5,7    | 0,32    | 0,07      | 0,00 | 0,03   | 6,1     | 5,8       |
| 191 (2011/2012) | 0,63 | 0,66   | 1,3  | 4,1    | 0,68   | 0,55    | 0,2       | 0,01 | 0,04   | 1,3     | 0,93      |
| 191 (2017/2018) | 0,35 | 0,36   | 1,3  | 2,9    | 0,27   | 0,19    |           | 0,02 | 6,4    | 6,9     |           |
| 192 (2002/2003) | 0,1  | 0,12   | 0,07 | 2,8    | 0,29   | 1,8     | 0,42      |      | 0,00   | 2,1     | 0,7       |
| 192 (2006/2007) | 0,57 | 0,61   | 0,25 | 4,1    | 0,72   | 2,2     | 0,52      |      | 0,09   | 3,0     | 1,3       |
| 192 (2011/2012) | 0,26 | 0,29   | 0,02 | 3,1    | 0,45   | 3,5     | 2,6       | 0,00 | 0,03   | 3,9     | 3,1       |
| 192 (2017/2018) | 0,48 | 0,52   | 0,05 | 3,9    | 0,08   | 2,6     |           | 0,00 | 0,06   | 2,7     |           |
| 193 (2002/2003) | 0,43 | 0,46   | 0,00 | 3,1    | 4,7    | 0,2     | 0,05      |      | 0,03   | 5,0     | 4,8       |
| 193 (2006/2007) | 0,57 | 0,62   | 0,02 | 4,6    | 4,5    | 0,81    | 0,19      | 0,00 | 0,08   | 5,4     | 4,8       |
| 193 (2011/2012) | 0,4  | 0,42   | 0,02 | 2,2    | 1,0    | 1,3     | 0,6       | 0,00 | 0,00   | 2,3     | 1,6       |
| 193 (2017/2018) | 0,61 | 0,67   | 0,03 | 6,6    | 0,09   | 0,3     |           | 0,01 | 0,01   | 0,41    |           |
| 194 (2002/2003) | 0,32 | 0,35   | 0,01 | 2,6    | 1,4    | 0,23    | 0,05      |      | 0,00   | 1,6     | 1,4       |
| 194 (2006/2007) | 0,52 | 0,55   | 0,03 | 3,7    | 2,0    | 1,8     | 0,42      |      | 0,1    | 3,9     | 2,5       |
| 194 (2011/2012) | 0,49 | 0,51   | 0,05 | 2,2    | 0,2    | 1,9     | 1,3       | 0,01 | 0,02   | 2,2     | 1,5       |
| 194 (2017/2018) | 0,49 | 0,52   | 1,2  | 3,3    | 0,24   | 0,28    |           | 0,00 | 0,00   | 0,52    |           |
| 195 (2002/2003) |      |        | 0,12 | 2,2    | 1,8    | 0,44    | 0,1       |      | 0,02   | 2,2     | 1,9       |
| 195 (2006/2007) | 0,09 | 0,13   | 0,05 | 3,2    | 0,68   | 3,9     | 0,86      | 0,00 | 0,03   | 4,6     | 1,6       |
| 195 (2011/2012) |      |        | 7,4  | 9,5    | 0,37   | 16      | 3,7       | 0,00 | 0,02   | 16      | 4,1       |
| 195 (2017/2018) | 0,31 | 0,33   | 0,04 | 1,8    | 0,4    | 11      |           | 0,02 | 0,00   | 11      |           |

Tab. 61: Einzelergebnisse an den Messpunkten 196 – 208

| MP              | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|-----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 196 (2002/2003) | 3,8  | 3,8    | 0,07 | 3,7    | 2,9    | 0,72    | 0,17      | 0,00 | 0,00   | 3,6     | 3,1       |
| 196 (2006/2007) | 0,66 | 0,69   | 0,14 |        | 1,4    | 2,3     | 0,52      | 0,00 | 0,02   | 3,7     | 1,9       |
| 196 (2011/2012) | 2,1  | 2,1    | 0,08 | 2,1    | 0,81   | 1,5     | 0,39      | 0,07 | 0,04   | 2,5     | 1,3       |
| 196 (2017/2018) | 2,3  | 2,3    | 0,18 | 2,9    | 1,1    | 0,7     |           | 0,00 | 0,01   | 1,9     |           |
| 197 (2002/2003) | 0,95 | 0,99   | 0,1  | 3,8    | 2,8    | 0,01    | 0,00      |      | 0,00   | 2,8     | 2,8       |
| 197 (2006/2007) | 0,74 | 0,77   | 0,00 | 2,8    | 1,1    | 1,9     | 0,44      |      | 0,04   | 3,0     | 1,6       |
| 197 (2011/2012) |      |        | 0,24 | 2,5    | 0,3    | 6,9     | 5,5       | 0,01 | 0,01   | 7,2     | 5,8       |
| 197 (2017/2018) | 0,88 | 0,93   | 0,12 | 5,3    | 0,24   | 0,86    |           | 0,00 | 0,01   | 1,1     |           |
| 198 (2002/2003) | 0,41 | 0,45   | 0,00 | 4,4    | 3,9    | 1,9     | 0,43      |      | 0,00   | 5,8     | 4,3       |
| 198 (2006/2007) | 0,32 | 0,36   | 0,21 | 4,0    | 2,4    | 3,9     | 0,97      |      | 0,09   | 6,4     | 3,5       |
| 198 (2011/2012) | 0,69 | 0,71   | 0,12 | 2,3    | 1,0    | 3,5     | 0,96      | 0,00 | 0,03   | 4,6     | 2,0       |
| 198 (2017/2018) | 0,69 | 0,69   | 0,09 | 0,55   | 0,27   | 2,2     |           | 0,25 | 0,01   | 2,8     |           |
| 199 (2002/2003) | 0,04 | 0,07   | 0,03 | 2,9    | 2,4    | 0,54    | 0,13      | 0,00 | 0,00   | 2,9     | 2,5       |
| 199 (2006/2007) | 0,21 | 0,23   | 0,00 | 2,4    | 1,0    | 2,4     | 0,57      | 0,00 | 0,04   | 3,5     | 1,6       |
| 199 (2011/2012) | 0,19 | 0,21   | 0,08 | 1,9    | 0,35   | 1,9     | 1,2       | 0,02 | 0,02   | 2,3     | 1,6       |
| 199 (2017/2018) | 0,22 | 0,25   | 0,07 | 3,2    | 0,3    | 0,35    |           | 0,00 | 0,00   | 0,65    |           |
| 200 (2002/2003) | 0,22 | 0,25   | 0,03 | 3,1    | 4,2    | 0,05    | 0,01      |      | 0,08   | 4,3     | 4,3       |
| 200 (2006/2007) | 0,25 | 0,28   | 0,04 | 2,6    | 3,5    | 0,05    | 0,01      | 0,00 | 0,05   | 3,6     | 3,5       |
| 200 (2011/2012) | 0,49 | 0,5    | 0,07 | 1,5    | 1,6    | 0,09    | 0,03      | 0,00 | 0,35   | 2,1     | 2,0       |
| 200 (2017/2018) | 0,24 | 0,29   | 0,09 | 4,2    | 1,6    | 0,05    |           | 0,00 | 0,01   | 1,6     |           |
| 201 (2002/2003) | 0,42 | 0,46   | 0,05 | 4,1    | 5,3    | 10      | 2,4       | 0,01 | 0,01   | 16      | 7,8       |
| 201 (2006/2007) | 0,44 | 0,48   | 0,04 | 4,5    | 4,2    | 12      | 3,0       |      | 0,01   | 17      | 7,2       |
| 201 (2011/2012) | 0,21 | 0,24   | 0,1  | 2,4    | 1,1    | 15      | 3,6       | 0,02 | 0,03   | 16      | 4,7       |
| 201 (2017/2018) | 1,9  | 1,9    | 0,24 | 1,7    | 0,94   | 5,9     |           | 0,00 | 0,01   | 6,9     |           |
| 202 (2002/2003) | 0,94 | 0,97   | 1,1  | 3,2    | 4,5    | 0,4     | 0,09      |      | 0,00   | 4,9     | 4,6       |
| 202 (2006/2007) | 0,96 | 0,99   | 0,08 | 2,9    | 3,7    | 2,2     | 0,64      | 0,00 | 0,03   | 5,9     | 4,4       |
| 202 (2011/2012) | 1,6  |        | 0,14 |        |        |         |           |      | 0,02   |         |           |
| 202 (2017/2018) | 0,91 | 0,94   | 0,34 | 3,0    | 2,2    | 5,8     |           | 0,02 | 0,02   | 8,0     |           |
| 203 (2002/2003) | 1,9  | 1,9    | 0,43 | 3,1    | 0,86   | 0,04    | 0,01      |      | 0,00   | 0,9     | 0,87      |
| 203 (2006/2007) | 1,7  | 1,8    | 1,8  | 5,8    | 2,2    | 0,46    | 0,11      |      | 0,05   | 2,7     | 2,4       |
| 203 (2011/2012) |      |        | 0,68 | 3,1    |        |         |           |      | 0,02   |         |           |
| 203 (2017/2018) | 0,87 | 0,91   | 0,45 | 4,0    | 0,29   | 1,6     |           | 0,01 | 0,05   | 2,0     |           |
| 204 (2002/2003) | 2,0  | 2,0    | 0,00 | 3,2    | 1,5    | 0,14    | 0,03      |      | 0,00   | 1,6     | 1,5       |
| 204 (2006/2007) | 3,6  | 3,7    | 0,26 | 7,8    | 3,4    | 0,33    | 0,08      |      | 0,07   | 3,8     | 3,5       |
| 204 (2011/2012) | 1,7  | 1,7    | 0,19 | 2,4    | 0,54   | 0,89    | 0,21      | 0,00 | 0,03   | 1,5     | 0,78      |
| 204 (2017/2018) | 0,85 | 0,85   | 0,00 | 0,69   | 0,5    | 0,64    |           | 0,00 | 0,01   | 1,2     |           |
| 205 (2002/2003) | 2,9  | 2,9    | 0,00 | 2,3    | 17     | 2,1     | 0,45      |      | 0,05   | 19      | 18        |
| 205 (2006/2007) | 3,4  | 3,5    | 0,00 | 3,2    | 13     | 5,5     | 1,1       | 0,00 | 0,02   | 18      | 14        |
| 205 (2011/2012) | 2,2  | 2,2    | 0,00 | 1,3    | 9,0    | 5,7     | 1,8       | 0,94 | 0,02   | 16      | 12        |
| 205 (2017/2018) | 4,7  | 4,7    | 0,00 | 0,46   | 10     | 1,7     |           | 0,01 | 0,00   | 12      |           |
| 206 (2002/2003) | 1,4  | 1,4    | 0,03 | 2,1    | 13     | 0,99    | 0,23      | 0,00 | 0,02   | 14      | 14        |
| 206 (2006/2007) | 1,3  | 1,4    | 0,00 | 3,7    | 16     | 3,5     | 0,83      | 0,00 | 0,02   | 20      | 17        |
| 206 (2011/2012) | 1,3  | 1,4    | 0,05 | 1,8    | 5,0    | 157     | 43        | 0,39 | 0,03   | 162     | 48        |
| 206 (2017/2018) | 1,2  | 1,2    | 0,09 | 1,8    | 11     | 147     |           | 0,00 | 0,01   | 159     |           |
| 207 (2002/2003) | 0,6  | 0,62   | 0,00 | 2,0    | 2,4    | 0,24    | 0,05      |      | 0,00   | 2,6     | 2,4       |
| 207 (2006/2007) | 0,34 | 0,36   | 0,00 | 2,0    | 1,4    | 0,44    | 0,1       | 0,00 | 0,03   | 1,9     | 1,5       |
| 207 (2011/2012) | 0,68 |        | 0,05 |        |        |         |           |      | 0,01   |         |           |
| 207 (2017/2018) | 0,8  | 0,8    | 0,00 | 0,39   | 0,77   | 0,28    |           | 0,04 | 0,05   | 1,1     |           |
| 208 (2002/2003) | 0,00 | 0,04   | 0,00 | 3,7    | 3,9    | 1,3     | 0,3       |      | 0,00   | 5,2     | 4,2       |
| 208 (2006/2007) | 0,00 | 0,04   | 0,22 | 4,5    | 9,7    | 4,4     | 1,0       | 0,00 | 0,03   | 14      | 11        |
| 208 (2011/2012) | 0,00 | 0,03   | 2,2  | 5,1    | 22     | 3,7     | 0,89      | 0,03 | 0,05   | 26      | 23        |
| 208 (2017/2018) | 0,15 | 0,15   | 1,1  | 1,8    | 1,3    | 0,32    |           | 0,02 | 0,00   | 1,6     |           |

Tab. 62: Einzelergebnisse an den Messpunkten 209 – 221

| MP              | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|-----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 209 (2002/2003) | 1,7  | 1,7    | 0,13 | 2,0    | 0,81   | 2,5     | 0,58      |      | 0,00   | 3,3     | 1,4       |
| 209 (2006/2007) | 1,1  | 1,2    | 0,00 | 2,0    | 0,89   | 8,2     | 1,8       | 0,00 | 0,01   | 9,1     | 2,7       |
| 209 (2011/2012) | 1,3  | 1,3    | 0,61 | 2,2    | 0,42   | 131     | 31        | 0,01 | 0,00   | 131     | 31        |
| 209 (2017/2018) | 0,97 | 0,99   | 0,11 | 1,9    | 0,09   | 4,6     |           | 0,00 | 0,00   | 4,7     |           |
| 210 (2002/2003) | 0,57 | 0,6    | 0,1  | 2,9    | 1,7    | 6,7     | 1,6       |      | 0,00   | 8,4     | 3,3       |
| 210 (2006/2007) | 0,71 | 0,76   | 0,08 |        | 3,8    | 46      | 11        |      | 0,03   | 49      | 15        |
| 210 (2011/2012) | 0,62 | 0,65   | 0,1  | 3,2    | 1,2    | 116     | 28        | 0,01 | 0,11   | 118     | 29        |
| 210 (2017/2018) | 0,83 | 0,84   | 0,08 | 1,3    | 0,8    | 25      |           | 0,01 | 0,02   | 26      |           |
| 211 (2002/2003) | 0,55 | 0,58   | 0,11 | 3,5    | 1,9    | 2,8     | 0,6       |      | 0,06   | 4,8     | 2,6       |
| 211 (2006/2007) | 0,63 | 0,67   | 0,07 |        | 1,6    | 3,3     | 0,78      |      | 0,04   | 4,9     | 2,4       |
| 211 (2011/2012) |      |        | 0,06 | 2,9    | 1,1    | 5,7     | 1,3       | 0,01 | 0,01   | 6,8     | 2,5       |
| 211 (2017/2018) | 0,85 | 0,85   | 0,46 | 1,2    | 1,9    | 2,9     |           | 0,00 | 0,01   | 4,8     |           |
| 212 (2002/2003) | 0,42 | 0,47   | 0,03 | 4,7    | 6,1    | 1,7     | 0,35      |      | 0,00   | 7,7     | 6,4       |
| 212 (2006/2007) | 0,44 | 0,53   | 0,49 |        | 9,9    | 2,5     | 0,59      |      | 0,02   | 12      | 11        |
| 212 (2011/2012) | 0,56 | 0,6    | 0,03 | 4,1    | 3,6    | 6,2     | 1,5       | 0,14 | 0,05   | 10      | 5,3       |
| 212 (2017/2018) | 0,56 | 0,56   | 0,01 | 0,84   | 1,6    | 1,7     |           | 0,23 | 0,00   | 3,5     |           |
| 213 (2002/2003) | 0,97 | 1,0    | 0,00 | 3,9    | 12     | 10      | 2,2       |      | 0,07   | 22      | 14        |
| 213 (2006/2007) | 1,4  | 1,4    | 0,02 | 2,2    | 11     | 7,0     | 1,6       |      | 0,37   | 18      | 13        |
| 213 (2011/2012) | 0,87 |        | 0,08 |        |        |         |           |      | 0,02   |         |           |
| 213 (2017/2018) | 1,5  | 1,5    | 0,00 | 0,11   | 4,5    | 3,3     |           | 0,13 | 0,2    | 8,1     |           |
| 214 (2002/2003) | 0,41 | 0,43   | 0,14 | 2,0    | 2,5    | 0,3     | 0,07      | 0,00 | 0,08   | 2,9     | 2,6       |
| 214 (2006/2007) | 1,1  | 1,1    | 0,27 | 2,4    | 3,0    | 3,2     | 0,72      |      | 0,44   | 6,6     | 4,1       |
| 214 (2011/2012) | 1,2  |        | 0,14 |        |        |         |           |      | 0,03   |         |           |
| 214 (2017/2018) | 1,4  | 1,4    | 0,16 | 0,62   | 4,3    | 1,2     |           | 0,00 | 0,03   | 5,6     |           |
| 215 (2002/2003) | 0,33 | 0,36   | 0,06 | 3,1    | 9,3    | 5,0     | 1,2       |      | 0,35   | 15      | 11        |
| 215 (2006/2007) | 0,85 | 0,87   | 0,2  | 2,1    | 7,1    | 1,7     | 0,4       | 0,00 | 0,02   | 8,8     | 7,6       |
| 215 (2011/2012) | 1,1  |        | 0,12 |        |        |         |           |      | 0,01   |         |           |
| 215 (2017/2018) | 2,2  | 2,2    | 0,12 | 0,53   | 8,8    | 1,1     |           | 0,00 | 0,06   | 10      |           |
| 216 (2002/2003) | 2,3  | 2,4    | 0,00 | 3,5    | 4,0    | 2,6     | 0,61      |      | 0,00   | 6,5     | 4,6       |
| 216 (2006/2007) | 3,2  | 3,2    | 0,2  | 7,6    | 6,4    | 5,3     | 1,3       |      | 0,01   | 12      | 7,7       |
| 216 (2011/2012) | 0,21 | 0,23   | 0,02 | 1,9    | 0,45   | 6,0     | 1,4       | 0,01 | 0,01   | 6,4     | 1,9       |
| 216 (2017/2018) | 1,8  | 1,9    | 0,03 | 4,0    | 0,07   | 1,5     |           | 0,00 | 0,00   | 1,6     |           |
| 217 (2002/2003) | 0,94 | 0,98   | 0,00 | 4,1    | 1,9    | 0,88    | 0,2       |      | 0,00   | 2,8     | 2,1       |
| 217 (2006/2007) | 1,0  | 1,1    | 0,13 | 4,2    | 1,3    | 1,4     | 0,32      |      | 0,03   | 2,7     | 1,7       |
| 217 (2011/2012) | 0,94 | 1,0    | 0,00 | 8,3    | 2,0    | 0,38    | 0,12      | 0,00 | 0,02   | 2,5     | 2,2       |
| 217 (2017/2018) | 0,64 | 0,72   | 0,00 | 7,3    | 0,2    | 0,34    |           | 0,01 | 0,02   | 0,57    |           |
| 218 (2002/2003) | 0,15 | 0,19   | 0,06 | 3,6    | 2,0    | 0,45    | 0,11      |      | 0,01   | 2,5     | 2,1       |
| 218 (2006/2007) | 0,15 | 0,18   | 0,28 | 3,1    | 1,3    | 1,3     | 0,3       | 0,00 | 0,04   | 2,6     | 1,6       |
| 218 (2011/2012) | 0,47 | 0,49   | 0,06 | 2,8    | 1,2    | 1,6     | 0,95      | 0,41 | 0,04   | 3,3     | 2,6       |
| 218 (2017/2018) | 1,6  | 1,6    | 0,04 | 2,1    | 0,18   | 0,19    |           | 0,00 | 0,00   | 0,37    |           |
| 219 (2002/2003) | 0,35 | 0,38   | 0,25 | 3,8    | 1,7    | 2,9     | 0,63      |      | 0,00   | 4,6     | 2,3       |
| 219 (2006/2007) | 0,35 | 0,39   | 0,87 | 4,8    | 3,1    | 1,5     | 0,34      |      | 0,04   | 4,6     | 3,5       |
| 219 (2011/2012) | 0,2  | 0,23   | 0,27 | 2,8    | 1,9    | 8,1     | 2,9       | 0,41 | 0,09   | 11      | 5,3       |
| 219 (2017/2018) | 0,31 | 0,34   | 0,06 | 2,3    | 0,29   | 4,4     |           | 0,22 | 0,06   | 5,0     |           |
| 220 (2002/2003) | 0,09 | 0,11   | 0,00 | 1,7    | 0,95   | 0,02    | 0,00      |      | 0,00   | 0,97    | 0,95      |
| 220 (2006/2007) | 0,05 | 0,08   | 0,00 |        | 1,2    | 0,02    | 0,00      |      | 0,06   | 1,2     | 1,2       |
| 220 (2011/2012) | 0,01 | 0,03   | 0,08 | 1,8    | 0,48   | 0,09    | 0,02      | 0,00 | 0,07   | 0,64    | 0,57      |
| 220 (2017/2018) | 0,03 | 0,03   | 0,06 | 0,73   | 1,5    | 0,07    |           | 0,01 | 0,00   | 1,6     |           |
| 221 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 6,1    | 2,5    | 1,4     | 0,3       |      | 0,00   | 3,9     | 2,8       |
| 221 (2006/2007) | 0,76 | 0,82   | 0,19 | 6,3    | 1,7    | 1,6     | 0,35      |      | 0,04   | 3,4     | 2,1       |
| 221 (2011/2012) |      |        | 0,33 | 5,3    | 1,1    | 2,6     | 1,0       | 0,00 | 0,08   | 3,8     | 2,2       |
| 221 (2017/2018) | 0,52 | 0,57   | 0,04 | 4,6    | 0,15   | 0,44    |           | 0,6  | 0,00   | 1,2     |           |



Tab. 63: Einzelergebnisse an den Messpunkten 222 – 234

| MP              | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|-----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 222 (2002/2003) | 5,6  | 5,7    | 0,04 | 5,3    | 3,5    | 5,0     | 1,2       |      | 0,03   | 8,6     | 4,7       |
| 222 (2006/2007) | 3,6  | 3,7    | 0,37 | 5,2    | 1,5    | 14      | 3,4       |      | 0,01   | 15      | 4,9       |
| 222 (2011/2012) | 4,2  | 4,3    | 0,31 | 4,1    | 0,59   | 23      | 5,4       | 0,01 | 0,00   | 23      | 6,0       |
| 222 (2017/2018) | 4,6  | 4,6    | 0,41 | 2,3    | 0,31   | 9,7     |           | 0,00 | 0,00   | 10      |           |
| 223 (2002/2003) | 2,1  | 2,4    | 0,00 | 29     | 39     | 0,73    | 0,16      | 0,00 | 0,04   | 40      | 39        |
| 223 (2006/2007) | 4,1  | 4,4    | 0,22 | 22     | 20     | 1,2     | 0,28      | 0,00 | 0,06   | 21      | 20        |
| 223 (2011/2012) | 1,6  | 1,8    | 0,24 | 21     | 7,6    | 2,1     | 0,51      | 0,01 | 0,12   | 9,8     | 8,2       |
| 223 (2017/2018) | 2,9  | 3,0    | 1,8  | 17     | 10     | 0,45    |           | 0,03 | 0,08   | 11      |           |
| 224 (2002/2003) | 3,1  | 3,4    | 0,63 | 28     | 37     | 0,77    | 0,16      |      | 0,00   | 38      | 37        |
| 224 (2006/2007) | 4,6  | 4,8    | 21   | 45     | 20     | 1,7     | 0,34      | 0,00 | 0,06   | 22      | 20        |
| 224 (2011/2012) | 2,4  | 2,6    | 2,7  | 17     | 5,2    | 191     | 44        | 0,01 | 0,1    | 196     | 49        |
| 224 (2017/2018) | 1,8  | 1,9    | 0,58 | 10,0   | 5,3    | 29      |           | 0,03 | 0,02   | 34      |           |
| 225 (2002/2003) | 0,16 | 0,26   | 0,03 | 9,1    | 21     | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 21      | 21        |
| 225 (2006/2007) | 0,29 | 0,4    | 0,28 |        | 33     | 0,01    | 0,00      |      | 0,01   | 33      | 33        |
| 225 (2011/2012) | 0,44 | 0,51   | 0,11 | 6,3    | 11     | 0,04    | 0,01      | 0,05 | 0,03   | 11      | 11        |
| 225 (2017/2018) | 0,15 | 0,17   | 0,03 | 1,8    | 0,83   | 0,03    |           | 0,00 | 0,01   | 0,88    |           |
| 226 (2002/2003) | 0,41 | 0,44   | 0,00 | 3,1    | 37     | 2,2     | 0,51      |      | 0,02   | 40      | 38        |
| 226 (2006/2007) | 0,55 | 0,59   | 0,03 | 4,1    | 20     | 1,6     | 0,37      |      | 0,01   | 22      | 21        |
| 226 (2011/2012) | 0,21 | 0,24   | 0,00 | 2,6    | 16     | 1,6     | 0,46      | 1,8  | 0,01   | 19      | 18        |
| 226 (2017/2018) | 0,17 | 0,18   | 0,02 | 0,75   | 7,1    | 0,69    |           | 0,01 | 0,01   | 7,9     |           |
| 227 (2002/2003) | 1,2  | 1,3    | 0,00 | 11     | 7,3    | 2,2     | 0,49      |      | 0,00   | 9,4     | 7,8       |
| 227 (2006/2007) | 1,2  | 1,3    | 0,66 | 13     | 8,5    | 2,8     | 0,69      | 0,00 | 0,04   | 11      | 9,2       |
| 227 (2011/2012) | 1,5  | 1,7    | 0,08 | 17     | 6,3    | 4,1     | 1,1       | 0,04 | 0,12   | 11      | 7,5       |
| 227 (2017/2018) | 1,1  | 1,2    | 0,00 | 6,0    | 5,8    | 2,8     |           | 0,74 | 0,01   | 9,4     |           |
| 228 (2002/2003) | 0,84 | 0,95   | 0,00 | 11     | 52     | 65      | 13        |      | 0,2    | 117     | 66        |
| 228 (2006/2007) | 2,8  | 3,0    | 0,41 | 13     | 60     | 103     | 28        | 0,01 | 0,12   | 163     | 88        |
| 228 (2011/2012) | 1,1  | 1,2    | 0,00 | 15     | 29     | 265     | 74        | 2,0  | 0,11   | 296     | 105       |
| 228 (2017/2018) | 6,8  | 6,8    | 0,02 | 7,1    | 67     | 296     |           | 0,18 | 0,01   | 362     |           |
| 229 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 3,7    | 1,2    | 4,4     | 1,0       |      | 0,00   | 5,6     | 2,2       |
| 229 (2006/2007) | 0,26 | 0,32   | 0,00 |        | 2,4    | 8,0     | 2,0       | 0,00 | 0,00   | 10      | 4,5       |
| 229 (2011/2012) | 0,05 | 0,08   | 0,00 | 2,4    | 0,17   | 6,8     | 1,6       | 0,00 | 0,00   | 7,0     | 1,8       |
| 229 (2017/2018) | 0,12 | 0,13   | 0,00 | 0,92   | 0,05   | 7,8     |           | 0,00 | 0,00   | 7,9     |           |
| 230 (2002/2003) |      |        | 0,01 | 3,8    | 1,4    | 0,06    | 0,01      |      | 0,00   | 1,4     | 1,4       |
| 230 (2006/2007) | 0,88 | 0,93   |      |        | 0,92   | 0,18    | 0,04      | 0,00 | 0,03   | 1,1     | 0,98      |
| 230 (2011/2012) | 0,85 | 0,95   | 0,03 | 9,8    | 2,3    | 0,21    | 0,05      | 0,00 | 0,01   | 2,6     | 2,4       |
| 230 (2017/2018) | 1,3  | 1,3    | 0,00 | 1,9    | 0,08   | 0,09    |           | 0,00 | 0,00   | 0,18    |           |
| 231 (2002/2003) | 1,4  | 1,4    | 1,4  | 4,3    | 0,69   | 7,4     | 1,7       | 0,00 | 0,00   | 8,1     | 2,4       |
| 231 (2006/2007) | 0,98 | 1,0    |      |        | 2,7    | 219     | 54        | 0,00 | 0,02   | 222     | 57        |
| 231 (2011/2012) |      |        | 11   | 19     | 1,9    | 1.225   | 301       | 0,00 | 0,01   | 1.227   | 303       |
| 231 (2017/2018) | 0,3  | 0,31   | 1,3  | 2,7    | 0,08   | 211     |           | 0,00 | 0,01   | 211     |           |
| 232 (2002/2003) | 1,2  | 1,3    | 0,00 | 11     | 6,1    | 0,37    | 0,09      |      | 0,00   | 6,4     | 6,1       |
| 232 (2006/2007) | 1,4  | 1,5    | 0,02 | 9,7    | 3,5    | 2,5     | 0,58      | 0,00 | 0,04   | 6,0     | 4,1       |
| 232 (2011/2012) | 1,1  | 1,2    | 0,00 | 7,2    | 1,9    | 5,0     | 1,7       | 0,03 | 0,01   | 6,9     | 3,6       |
| 232 (2017/2018) | 2,0  | 2,0    | 0,16 | 3,0    | 1,1    | 1,5     |           | 0,14 | 0,05   | 2,8     |           |
| 233 (2002/2003) | 3,8  | 4,0    | 0,37 | 15     | 19     | 0,13    | 0,03      |      | 0,69   | 19      | 19        |
| 233 (2006/2007) | 6,3  | 6,5    | 3,4  | 18     | 20     | 0,42    | 0,12      | 0,00 | 0,38   | 20      | 20        |
| 233 (2011/2012) | 2,6  | 2,8    | 0,43 | 18     | 9,6    | 1,0     | 0,31      | 0,25 | 0,17   | 11      | 10        |
| 233 (2017/2018) | 5,3  | 5,4    | 0,1  | 10     | 14     | 0,8     |           | 0,02 | 0,41   | 15      |           |
| 234 (2002/2003) | 3,0  | 3,2    | 2,8  | 21     | 18     | 124     | 29        |      | 0,11   | 142     | 47        |
| 234 (2006/2007) | 3,5  | 3,6    | 13   | 32     | 17     | 190     | 45        | 0,00 | 0,1    | 206     | 61        |
| 234 (2011/2012) | 0,5  | 0,65   | 0,76 | 16     | 11     | 263     | 62        | 0,06 | 0,1    | 273     | 73        |
| 234 (2017/2018) | 2,8  | 3,0    | 0,72 | 21     | 5,2    | 34      |           | 0,00 | 0,01   | 39      |           |

Tab. 64: Einzelergebnisse an den Messpunkten 235 – 247

| MP              | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|-----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 235 (2002/2003) | 1,2  | 1,2    | 0,19 | 4,9    | 3,7    | 0,19    | 0,04      |      | 0,00   | 3,9     | 3,7       |
| 235 (2006/2007) | 3,0  | 3,1    | 0,33 | 5,4    | 3,1    | 0,4     | 0,09      |      | 0,02   | 3,5     | 3,2       |
| 235 (2011/2012) |      |        | 0,1  | 7,6    | 2,3    | 0,31    | 0,07      | 0,00 | 0,03   | 2,7     | 2,5       |
| 235 (2017/2018) | 2,1  | 2,1    | 0,00 | 1,6    | 0,51   | 0,86    |           | 0,01 | 0,02   | 1,4     |           |
| 236 (2002/2003) | 0,46 | 0,51   | 0,05 | 4,4    | 1,1    | 0,00    | 0,00      | 0,00 | 0,00   | 1,1     | 1,1       |
| 236 (2006/2007) | 1,5  | 1,5    | 0,21 | 4,2    | 0,9    | 0,01    | 0,00      | 0,00 | 0,02   | 0,94    | 0,93      |
| 236 (2011/2012) | 0,87 | 0,96   | 0,03 | 8,7    | 3,8    | 0,04    | 0,01      | 0,00 | 0,01   | 3,9     | 3,9       |
| 236 (2017/2018) | 2,9  | 2,9    | 0,14 | 1,4    | 0,06   | 0,76    |           | 0,00 | 0,00   | 0,81    |           |
| 237 (2002/2003) | 0,55 | 0,63   | 0,00 | 7,9    | 4,0    | 1,2     | 0,27      |      | 1,6    | 6,7     | 5,8       |
| 237 (2006/2007) | 1,4  | 1,5    | 1,0  | 9,9    | 4,1    | 2,1     | 0,49      |      | 0,87   | 7,1     | 5,4       |
| 237 (2011/2012) | 0,6  | 0,71   | 0,05 | 11     | 5,4    | 1,9     | 0,44      | 0,01 | 0,12   | 7,4     | 6,0       |
| 237 (2017/2018) | 1,9  | 2,0    | 0,02 | 2,5    | 0,23   | 2,3     |           | 0,08 | 0,2    | 2,9     |           |
| 238 (2002/2003) | 0,69 | 0,78   | 0,47 | 9,8    | 4,6    | 0,52    | 0,11      |      | 0,00   | 5,1     | 4,7       |
| 238 (2006/2007) | 3,2  | 3,3    | 3,6  | 14     | 5,7    | 4,0     | 0,94      | 0,00 | 0,02   | 9,7     | 6,6       |
| 238 (2011/2012) | 1,5  | 1,6    | 0,09 | 7,7    | 2,3    | 14      | 8,8       | 0,08 | 0,01   | 16      | 11        |
| 238 (2017/2018) | 2,3  | 2,4    | 0,07 | 7,5    | 1,9    | 64      |           | 0,18 | 0,02   | 66      |           |
| 239 (2002/2003) | 1,6  | 1,6    | 4,1  | 7,2    | 1,2    | 1,4     | 0,32      | 0,00 | 0,00   | 2,5     | 1,5       |
| 239 (2006/2007) | 1,4  | 1,5    | 2,3  | 5,5    | 1,6    | 16      | 3,7       |      | 0,08   | 17      | 5,4       |
| 239 (2011/2012) | 2,3  | 2,3    | 2,3  | 4,9    | 0,87   | 2.394   | 564       | 0,02 | 0,1    | 2.395   | 565       |
| 239 (2017/2018) | 4,1  | 4,1    | 1,9  | 2,9    | 0,23   | 791     |           | 0,00 | 0,01   | 791     |           |
| 240 (2002/2003) | 0,06 | 0,1    | 0,11 | 3,9    | 4,2    | 0,22    | 0,05      |      | 1,5    | 5,9     | 5,7       |
| 240 (2006/2007) | 0,07 | 0,12   | 0,00 | 5,0    | 6,6    | 3,8     | 0,85      |      | 1,5    | 12      | 8,9       |
| 240 (2011/2012) | 0,02 | 0,03   | 0,00 | 1,8    | 1,3    | 6,8     | 1,7       | 0,06 | 0,9    | 9,0     | 3,9       |
| 240 (2017/2018) | 0,17 | 0,19   | 0,03 | 2,9    | 0,6    | 8,9     |           | 0,1  | 0,03   | 9,7     |           |
| 241 (2002/2003) | 0,39 | 0,42   | 0,04 | 3,4    | 16     | 3,9     | 0,9       |      | 0,14   | 20      | 17        |
| 241 (2006/2007) | 0,6  | 0,64   | 0,04 | 3,6    | 14     | 6,4     | 1,6       | 0,00 | 0,4    | 21      | 16        |
| 241 (2011/2012) | 0,46 | 0,48   | 4,3  | 6,7    | 19     | 11      | 3,0       | 0,02 | 0,22   | 30      | 22        |
| 241 (2017/2018) | 0,54 | 0,55   | 0,56 | 0,99   | 19     | 3,7     |           | 0,06 | 0,11   | 23      |           |
| 242 (2002/2003) | 4,0  | 4,0    | 0,03 | 2,2    | 2,2    | 0,71    | 0,15      |      | 0,04   | 2,9     | 2,4       |
| 242 (2006/2007) | 5,4  | 5,5    | 0,01 | 6,4    | 2,2    | 0,32    | 0,07      |      | 0,01   | 2,5     | 2,3       |
| 242 (2011/2012) | 6,5  | 6,5    | 0,00 | 4,6    | 4,3    | 0,45    | 0,1       | 0,01 | 0,01   | 4,7     | 4,4       |
| 242 (2017/2018) | 6,0  | 6,0    | 0,08 | 0,64   | 0,09   | 0,1     |           | 0,00 | 0,04   | 0,24    |           |
| 243 (2002/2003) | 2,7  | 2,7    | 0,00 | 2,9    | 1,5    | 145     | 34        |      | 0,05   | 147     | 35        |
| 243 (2006/2007) | 1,4  | 1,5    | 0,00 | 4,7    | 0,83   | 412     | 97        |      | 0,09   | 413     | 98        |
| 243 (2011/2012) | 1,1  | 1,2    | 0,11 | 2,7    | 0,68   | 683     | 161       | 0,07 | 0,04   | 684     | 162       |
| 243 (2017/2018) | 1,4  | 1,4    | 0,05 | 1,6    | 0,33   | 33      |           | 0,00 | 0,01   | 34      |           |
| 244 (2002/2003) | 0,07 | 0,11   | 0,00 | 4,3    | 4,6    | 5,5     | 1,1       |      | 0,00   | 10      | 5,7       |
| 244 (2006/2007) | 0,2  | 0,26   | 0,03 | 6,0    | 4,2    | 1,9     | 0,38      | 0,00 | 0,04   | 6,2     | 4,7       |
| 244 (2011/2012) | 0,11 | 0,2    | 0,08 | 9,5    | 5,1    | 9,0     | 2,5       | 0,02 | 0,01   | 14      | 7,7       |
| 244 (2017/2018) | 0,39 | 0,41   | 0,02 | 2,3    | 3,2    | 0,27    |           | 0,01 | 0,03   | 3,5     |           |
| 245 (2002/2003) | 0,08 | 0,13   | 0,00 | 5,0    | 5,0    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 5,0     | 5,0       |
| 245 (2006/2007) | 0,39 | 0,44   | 0,00 | 4,9    | 1,7    | 0,04    | 0,01      | 0,00 | 0,00   | 1,7     | 1,7       |
| 245 (2011/2012) | 0,13 | 0,16   | 0,14 | 2,7    | 0,56   | 0,1     | 0,05      | 0,01 | 0,00   | 0,68    | 0,63      |
| 245 (2017/2018) | 0,07 | 0,08   | 0,00 | 0,84   | 0,85   | 0,89    |           | 0,00 | 0,00   | 1,7     |           |
| 246 (2002/2003) |      |        | 0,43 | 7,3    | 41     | 57      | 13        |      | 0,05   | 98      | 54        |
| 246 (2006/2007) | 1,9  | 2,0    | 0,13 | 7,0    | 10     | 421     | 99        | 0,00 | 0,08   | 431     | 109       |
| 246 (2011/2012) | 1,5  | 1,6    | 0,74 | 11     | 3,0    | 209     | 51        | 0,01 | 0,05   | 212     | 54        |
| 246 (2017/2018) | 2,6  | 2,6    | 0,2  | 1,8    | 6,8    | 59      |           | 0,02 | 0,01   | 65      |           |
| 247 (2002/2003) | 3,5  | 3,5    | 4,4  | 10,0   | 10     | 4,0     | 1,1       |      | 6,0    | 20      | 17        |
| 247 (2006/2007) | 2,1  | 2,2    | 4,0  | 9,6    | 6,5    | 7,6     | 1,8       |      | 4,2    | 18      | 13        |
| 247 (2011/2012) | 3,1  | 3,3    | 19   | 31     | 3,8    | 10      | 2,5       | 0,01 | 0,03   | 14      | 6,4       |
| 247 (2017/2018) | 3,0  | 3,0    | 6,3  | 9,2    | 2,7    | 6,2     |           | 0,02 | 0,01   | 8,9     |           |

Tab. 65: Einzelergebnisse an den Messpunkten 248 – 260

| MP              | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|-----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 248 (2002/2003) |      |        | 3,3  | 11     | 5,4    | 0,55    | 0,13      |      | 0,00   | 6,0     | 5,5       |
| 248 (2006/2007) | 1,4  | 1,5    | 16   | 26     | 7,0    | 3,9     | 0,93      | 0,00 | 0,04   | 11      | 8,0       |
| 248 (2011/2012) | 4,4  | 4,5    | 3,0  | 15     | 3,0    | 26      | 6,1       | 0,00 | 0,03   | 29      | 9,2       |
| 248 (2017/2018) | 0,27 | 0,3    | 6,6  | 9,1    | 0,1    | 24      |           | 2,6  | 0,02   | 27      |           |
| 249 (2002/2003) |      |        | 0,03 | 4,4    | 1,1    | 4,5     | 1,0       |      | 0,01   | 5,6     | 2,1       |
| 249 (2006/2007) | 2,2  | 2,2    | 0,25 | 5,6    | 1,8    | 3,6     | 0,84      | 0,00 | 0,01   | 5,4     | 2,6       |
| 249 (2011/2012) | 1,8  | 1,8    | 0,48 | 9,9    | 5,6    | 17      | 3,8       | 0,18 | 0,06   | 22      | 9,6       |
| 249 (2017/2018) | 2,3  | 2,3    | 0,32 | 3,0    | 29     | 9,4     |           | 0,16 | 0,01   | 39      |           |
| 250 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 4,1    | 1,5    | 0,06    | 0,01      |      | 0,00   | 1,5     | 1,5       |
| 250 (2006/2007) | 2,3  | 2,4    | 0,05 | 2,8    | 1,1    | 0,03    | 0,01      |      | 0,00   | 1,1     | 1,1       |
| 250 (2011/2012) | 4,0  | 4,0    | 0,05 | 2,6    | 0,59   | 0,18    | 0,04      | 0,01 | 0,02   | 0,79    | 0,66      |
| 250 (2017/2018) | 3,0  | 3,0    | 0,00 | 1,0    | 0,04   | 0,03    |           | 0,00 | 0,00   | 0,07    |           |
| 251 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 3,8    | 3,3    | 11      | 2,2       |      | 0,00   | 15      | 5,6       |
| 251 (2006/2007) | 0,65 | 0,7    | 0,00 | 5,0    | 3,0    | 4,8     | 1,4       |      | 0,09   | 7,9     | 4,4       |
| 251 (2011/2012) |      |        | 0,12 | 2,4    | 2,7    | 4,2     | 1,4       | 0,04 | 0,13   | 7,0     | 4,3       |
| 251 (2017/2018) | 1,7  | 1,7    | 0,00 | 0,91   | 0,54   | 13      |           | 0,01 | 0,05   | 14      |           |
| 252 (2002/2003) | 0,18 | 0,21   | 0,00 | 2,6    | 0,75   | 4,8     | 1,1       |      | 0,00   | 5,5     | 1,9       |
| 252 (2006/2007) | 0,13 | 0,2    | 0,63 | 7,1    | 4,6    | 4,4     | 1,0       |      | 0,01   | 9,0     | 5,7       |
| 252 (2011/2012) | 0,29 | 0,31   | 0,05 | 2,3    | 0,24   | 15      | 3,5       | 0,00 | 0,03   | 15      | 3,8       |
| 252 (2017/2018) | 0,2  | 0,21   | 0,00 | 1,5    | 0,02   | 3,5     |           | 0,00 | 0,01   | 3,5     |           |
| 253 (2002/2003) | 0,06 | 0,08   | 0,00 | 1,9    | 0,63   | 0,11    | 0,03      |      | 0,00   | 0,75    | 0,66      |
| 253 (2006/2007) | 0,00 | 0,02   | 0,03 |        | 3,0    | 4,4     | 1,0       |      | 0,02   | 7,4     | 4,1       |
| 253 (2011/2012) | 0,08 | 0,09   | 0,03 | 1,5    | 0,18   | 4,6     | 1,1       | 0,01 | 0,31   | 5,1     | 1,6       |
| 253 (2017/2018) | 0,02 | 0,02   | 0,00 | 0,4    | 0,01   | 1,0     |           | 0,00 | 0,00   | 1,1     |           |
| 254 (2002/2003) | 4,2  | 4,2    | 0,02 | 8,6    | 5,2    | 0,31    | 0,07      |      | 0,16   | 5,7     | 5,4       |
| 254 (2006/2007) | 4,3  | 4,4    | 0,09 | 11     | 6,2    | 0,73    | 0,17      | 0,00 | 1,0    | 8,0     | 7,4       |
| 254 (2011/2012) | 2,6  | 2,7    | 0,08 | 13     | 5,4    | 0,72    | 0,17      | 0,01 | 0,57   | 6,7     | 6,2       |
| 254 (2017/2018) | 5,7  | 5,8    | 0,16 | 2,7    | 0,27   | 0,46    |           | 0,08 | 0,07   | 0,88    |           |
| 255 (2002/2003) | 0,03 | 0,12   | 0,00 | 9,0    | 5,9    | 0,45    | 0,11      |      | 0,00   | 6,4     | 6,0       |
| 255 (2006/2007) | 0,59 | 0,68   | 0,00 | 8,4    | 4,3    | 3,9     | 0,86      | 0,01 | 0,05   | 8,2     | 5,2       |
| 255 (2011/2012) | 0,24 | 0,36   | 0,05 | 11     | 5,3    | 6,5     | 1,6       | 0,01 | 0,01   | 12      | 7,0       |
| 255 (2017/2018) | 0,5  | 0,52   | 0,00 | 2,4    | 0,26   | 2,1     |           | 0,02 | 0,02   | 2,4     |           |
| 256 (2002/2003) | 5,3  | 5,3    | 359  | 362    | 1,1    | 0,35    | 0,08      |      | 0,04   | 1,5     | 1,2       |
| 256 (2006/2007) | 4,5  | 4,6    | 418  |        | 0,97   | 0,81    | 0,19      |      | 0,05   | 1,8     | 1,2       |
| 256 (2011/2012) | 4,1  | 4,1    | 287  | 290    | 0,15   | 0,45    | 0,11      | 0,00 | 0,00   | 0,6     | 0,26      |
| 256 (2017/2018) | 5,6  | 5,6    | 500  | 506    | 0,01   | 0,93    |           | 0,06 | 0,00   | 0,99    |           |
| 257 (2002/2003) | 0,22 | 0,25   | 0,00 | 2,8    | 2,3    | 0,1     | 0,02      |      | 0,00   | 2,4     | 2,4       |
| 257 (2006/2007) | 1,4  | 1,4    | 0,05 | 3,7    | 3,4    | 1,3     | 0,71      | 0,00 | 0,04   | 4,7     | 4,1       |
| 257 (2011/2012) | 2,1  | 2,2    | 0,00 | 2,3    | 2,2    | 0,88    | 0,37      | 0,06 | 0,01   | 3,1     | 2,6       |
| 257 (2017/2018) | 2,8  | 2,8    | 0,03 | 5,5    | 1,8    | 1,3     |           | 0,00 | 0,05   | 3,2     |           |
| 258 (2002/2003) | 0,58 | 0,61   | 0,44 | 3,7    | 2,3    | 0,04    | 0,01      |      | 0,00   | 2,4     | 2,3       |
| 258 (2006/2007) | 0,13 | 0,15   | 0,28 | 2,9    | 0,93   | 0,19    | 0,04      |      | 0,05   | 1,2     | 1,0       |
| 258 (2011/2012) | 0,2  | 0,25   | 0,58 | 5,4    | 1,5    | 0,84    | 0,2       | 0,01 | 0,07   | 2,5     | 1,8       |
| 258 (2017/2018) | 0,15 | 0,17   | 0,25 | 2,0    | 0,69   | 0,5     |           | 0,4  | 0,01   | 1,6     |           |
| 259 (2002/2003) | 1,3  | 1,3    | 0,03 | 4,7    | 2,0    | 0,06    | 0,01      |      | 0,00   | 2,0     | 2,0       |
| 259 (2006/2007) | 1,2  | 1,2    | 0,00 | 5,4    | 1,2    | 0,03    | 0,01      |      | 0,01   | 1,3     | 1,3       |
| 259 (2011/2012) | 1,1  | 1,1    | 0,11 | 3,6    | 0,77   | 0,47    | 0,19      | 0,00 | 0,01   | 1,3     | 0,97      |
| 259 (2017/2018) | 1,5  | 1,5    | 0,00 | 1,3    | 0,18   | 0,1     |           | 0,00 | 0,00   | 0,28    |           |
| 260 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 1,7    | 0,55   | 3,3     | 0,77      |      | 0,00   | 3,8     | 1,3       |
| 260 (2006/2007) | 0,13 | 0,15   | 0,06 |        | 0,62   | 1,4     | 0,33      |      | 0,06   | 2,1     | 1,0       |
| 260 (2011/2012) | 0,09 | 0,1    | 0,00 | 1,4    | 0,5    | 3,6     | 0,84      | 0,00 | 0,01   | 4,1     | 1,4       |
| 260 (2017/2018) | 0,05 | 0,06   | 0,00 | 0,61   | 0,02   | 0,45    |           | 0,04 | 0,01   | 0,52    |           |

Tab. 66: Einzelergebnisse an den Messpunkten 261 – 273

| MP              | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|-----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 261 (2002/2003) | 1,2  | 1,2    | 0,00 | 6,8    | 12     | 27      | 6,0       | 0,00 | 0,01   | 38      | 18        |
| 261 (2006/2007) | 2,5  | 2,6    | 0,2  | 6,6    | 5,0    | 18      | 3,9       | 0,00 | 0,02   | 23      | 8,9       |
| 261 (2011/2012) | 1,5  | 1,5    | 0,44 | 3,7    | 3,0    | 13      | 3,1       | 0,59 | 0,03   | 17      | 6,7       |
| 261 (2017/2018) | 2,3  | 2,3    | 0,14 | 1,3    | 2,7    | 3,0     |           | 0,03 | 0,00   | 5,7     |           |
| 262 (2002/2003) | 3,1  | 3,2    | 1,4  | 8,7    | 16     | 15      | 3,4       |      | 0,2    | 31      | 19        |
| 262 (2006/2007) | 6,1  | 6,1    | 1,4  | 7,8    | 6,5    | 16      | 3,8       | 0,00 | 0,2    | 23      | 11        |
| 262 (2011/2012) | 6,2  | 6,2    | 4,3  | 7,6    | 0,7    | 21      | 5,3       | 0,04 | 0,04   | 22      | 6,0       |
| 262 (2017/2018) | 5,9  | 5,9    | 1,1  | 2,5    | 0,43   | 15      |           | 0,03 | 0,00   | 16      |           |
| 263 (2002/2003) | 2,5  | 2,6    | 0,12 | 6,1    | 103    | 63      | 14        |      | 0,46   | 167     | 117       |
| 263 (2006/2007) | 5,9  | 6,0    | 0,25 | 7,4    | 64     | 131     | 30        | 0,01 | 0,78   | 196     | 95        |
| 263 (2011/2012) | 3,3  | 3,4    | 1,6  | 13     | 14     | 79      | 19        | 0,26 | 0,3    | 93      | 33        |
| 263 (2017/2018) | 4,5  | 4,5    | 0,26 | 1,5    | 28     | 78      |           | 0,02 | 0,22   | 106     |           |
| 264 (2002/2003) | 1,0  | 1,0    | 0,89 | 1,5    | 0,38   | 0,39    | 0,09      |      | 0,00   | 0,76    | 0,47      |
| 264 (2006/2007) | 0,87 | 0,9    | 3,5  | 6,2    | 0,55   | 0,56    | 0,14      |      | 0,04   | 1,1     | 0,72      |
| 264 (2011/2012) |      |        | 0,66 | 1,8    | 0,1    | 1,4     | 0,35      | 0,02 | 0,02   | 1,5     | 0,49      |
| 264 (2017/2018) | 3,4  | 3,4    | 0,91 | 1,6    | 0,12   | 0,48    |           | 0,09 | 0,00   | 0,7     |           |
| 265 (2002/2003) | 0,09 | 0,1    | 0,1  | 1,6    | 3,0    | 0,42    | 0,1       |      | 0,03   | 3,5     | 3,1       |
| 265 (2006/2007) | 0,06 | 0,09   | 0,11 | 3,4    | 5,0    | 0,89    | 0,21      |      | 0,00   | 5,9     | 5,2       |
| 265 (2011/2012) | 0,17 | 0,2    | 0,1  | 2,5    | 2,1    | 2,9     | 0,77      | 0,02 | 2,0    | 7,0     | 4,9       |
| 265 (2017/2018) | 0,00 | 0,01   | 0,07 | 1,4    | 2,0    | 1,8     |           | 32   | 0,00   | 36      |           |
| 266 (2002/2003) |      |        | 0,04 | 4,7    | 1,5    | 0,9     | 0,21      |      | 0,00   | 2,4     | 1,7       |
| 266 (2006/2007) | 0,17 | 0,25   | 0,03 | 7,7    | 3,3    | 2,3     | 0,54      |      | 0,01   | 5,6     | 3,9       |
| 266 (2011/2012) | 0,21 | 0,29   | 0,16 | 8,7    | 3,2    | 2,7     | 0,67      | 0,00 | 0,04   | 5,9     | 3,9       |
| 266 (2017/2018) | 0,29 | 0,31   | 0,06 | 1,9    | 0,17   | 1,2     |           | 0,00 | 0,01   | 1,4     |           |
| 267 (2002/2003) | 0,05 | 0,08   | 0,00 | 3,1    | 1,9    | 0,3     | 0,07      |      | 0,11   | 2,3     | 2,1       |
| 267 (2006/2007) | 0,07 | 0,1    | 0,00 | 3,1    | 1,5    | 0,24    | 0,06      |      | 0,01   | 1,7     | 1,5       |
| 267 (2011/2012) | 0,11 | 0,13   | 0,03 | 2,1    | 0,91   | 0,14    | 0,03      | 0,00 | 0,01   | 1,1     | 0,96      |
| 267 (2017/2018) | 0,09 | 0,13   | 0,00 | 3,4    | 0,27   | 0,14    |           | 0,00 | 0,00   | 0,42    |           |
| 268 (2002/2003) | 0,27 | 0,29   | 0,00 | 2,2    | 2,6    | 21      | 4,3       |      | 0,08   | 24      | 7,0       |
| 268 (2006/2007) | 0,5  | 0,55   | 0,00 | 5,4    | 3,9    | 15      | 3,1       |      | 0,02   | 19      | 7,0       |
| 268 (2011/2012) | 0,72 | 0,75   | 0,07 | 2,9    | 0,9    | 85      | 19        | 0,01 | 0,1    | 86      | 20        |
| 268 (2017/2018) | 0,55 | 0,57   | 0,00 | 1,1    | 0,17   | 11      |           | 0,69 | 0,01   | 11      |           |
| 269 (2002/2003) | 0,13 | 0,16   | 0,05 | 2,1    | 1,0    | 0,00    | 0,00      |      | 0,01   | 1,0     | 1,0       |
| 269 (2006/2007) | 0,11 | 0,14   | 0,03 | 2,9    | 1,00   | 0,01    | 0,00      |      | 0,02   | 1,0     | 1,0       |
| 269 (2011/2012) | 1,9  | 2,0    | 0,21 | 2,3    | 1,2    | 0,16    | 0,04      | 0,00 | 0,03   | 1,4     | 1,3       |
| 269 (2017/2018) | 2,4  | 2,5    | 0,02 | 2,6    | 0,25   | 0,03    |           | 0,01 | 0,00   | 0,29    |           |
| 270 (2002/2003) | 0,2  | 0,23   | 0,14 | 2,9    | 1,5    | 2,7     | 0,64      |      | 0,07   | 4,3     | 2,2       |
| 270 (2006/2007) | 1,3  | 1,3    | 0,07 | 2,0    | 0,59   | 3,8     | 0,85      | 0,00 | 0,02   | 4,4     | 1,5       |
| 270 (2011/2012) | 1,2  | 1,2    | 0,03 | 1,6    | 0,1    | 14      | 3,3       | 0,00 | 0,01   | 14      | 3,5       |
| 270 (2017/2018) | 0,89 | 0,9    | 0,00 | 1,6    | 0,00   | 12      |           | 2,4  | 0,00   | 15      |           |
| 271 (2002/2003) | 0,27 | 0,3    | 0,04 | 2,6    | 1,0    | 0,14    | 0,03      |      | 0,00   | 1,2     | 1,0       |
| 271 (2006/2007) | 0,66 | 0,7    | 0,16 | 3,9    | 1,1    | 0,47    | 0,11      | 0,00 | 0,03   | 1,6     | 1,3       |
| 271 (2011/2012) | 0,39 | 0,42   | 0,04 | 2,8    | 0,36   | 1,1     | 0,3       | 0,01 | 0,05   | 1,5     | 0,72      |
| 271 (2017/2018) | 0,65 | 0,72   | 0,04 | 6,5    | 0,05   | 0,22    |           | 0,01 | 0,01   | 0,3     |           |
| 272 (2002/2003) | 0,48 | 0,5    | 0,02 | 2,4    | 0,48   | 2,3     | 0,54      |      | 0,27   | 3,1     | 1,3       |
| 272 (2006/2007) | 0,48 | 0,52   | 0,00 | 3,8    | 1,7    | 3,4     | 0,81      | 0,00 | 0,32   | 5,5     | 2,9       |
| 272 (2011/2012) | 0,63 | 0,66   | 1,00 | 3,3    | 0,37   | 4,2     | 1,0       | 0,01 | 0,06   | 4,6     | 1,5       |
| 272 (2017/2018) | 0,87 | 0,94   | 0,02 | 7,0    | 0,03   | 1,8     |           | 0,01 | 0,04   | 1,9     |           |
| 273 (2002/2003) | 0,39 | 0,4    | 0,1  | 1,4    | 2,7    | 0,51    | 0,12      |      | 0,06   | 3,3     | 2,9       |
| 273 (2006/2007) | 0,56 | 0,58   | 0,2  |        | 5,9    | 11      | 2,4       | 0,00 | 0,15   | 17      | 8,5       |
| 273 (2011/2012) | 0,33 | 0,35   | 0,49 | 2,0    | 0,34   | 4,2     | 1,2       | 0,01 | 0,06   | 4,6     | 1,6       |
| 273 (2017/2018) | 0,56 | 0,58   | 0,1  | 2,1    | 2,4    | 3,6     |           | 0,00 | 0,3    | 6,3     |           |

Tab. 67: Einzelergebnisse an den Messpunkten 274 – 286

| MP              | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|-----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 274 (2002/2003) | 0,35 | 0,39   | 0,04 | 3,9    | 2,2    | 20      | 4,4       | 0,00 | 0,00   | 22      | 6,6       |
| 274 (2006/2007) | 0,66 | 0,71   | 0,78 | 5,3    | 0,94   | 25      | 5,8       |      | 0,07   | 26      | 6,8       |
| 274 (2011/2012) | 0,12 | 0,14   | 0,19 | 2,0    |        |         |           |      | 0,05   |         |           |
| 274 (2017/2018) | 0,39 | 0,44   | 0,12 | 5,0    | 0,17   | 5,9     |           | 0,00 | 0,00   | 6,1     |           |
| 275 (2002/2003) |      |        | 0,08 | 3,6    | 1,0    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 1,0     | 1,0       |
| 275 (2006/2007) | 0,33 | 0,37   | 0,17 | 3,7    | 0,73   | 0,00    | 0,00      |      | 0,01   | 0,74    | 0,74      |
| 275 (2011/2012) | 0,24 | 0,27   | 0,00 | 2,5    |        |         |           |      | 0,09   |         |           |
| 275 (2017/2018) | 0,23 | 0,25   | 0,00 | 1,7    | 0,05   | 0,00    |           | 0,00 | 0,02   | 0,08    |           |
| 276 (2002/2003) | 0,13 | 0,16   | 0,12 | 2,6    | 1,7    | 23      | 5,2       |      | 1,9    | 26      | 8,8       |
| 276 (2006/2007) | 0,09 | 0,12   | 0,14 |        | 1,9    | 58      | 13        |      | 3,1    | 63      | 18        |
| 276 (2011/2012) | 0,62 | 0,65   | 0,27 | 2,7    | 0,95   | 117     | 28        | 0,27 | 1,6    | 120     | 31        |
| 276 (2017/2018) | 0,44 | 0,45   | 0,17 | 0,63   | 1,1    | 40      |           | 0,05 | 5,9    | 47      |           |
| 277 (2002/2003) | 0,44 | 0,47   | 0,00 | 2,5    | 3,0    | 84      | 20        | 0,01 | 0,07   | 87      | 23        |
| 277 (2006/2007) | 0,34 | 0,37   | 0,13 | 3,3    | 24     | 63      | 15        | 0,01 | 0,32   | 88      | 40        |
| 277 (2011/2012) | 0,5  | 0,52   | 0,14 | 2,6    | 52     | 94      | 23        | 0,1  | 0,27   | 145     | 75        |
| 277 (2017/2018) | 0,54 | 0,54   | 0,02 | 0,36   | 42     | 17      |           | 0,01 | 27     | 86      |           |
| 278 (2002/2003) | 2,1  | 2,1    | 0,00 | 2,8    | 0,92   | 13      | 2,9       |      | 0,00   | 14      | 3,8       |
| 278 (2006/2007) | 4,2  | 4,2    | 0,00 | 2,7    | 3,4    | 234     | 59        |      | 0,01   | 238     | 63        |
| 278 (2011/2012) |      |        | 0,22 | 2,2    | 4,7    | 138     | 39        | 0,02 | 0,05   | 143     | 44        |
| 278 (2017/2018) | 4,9  | 4,9    | 0,35 | 0,97   | 3,1    | 30      |           | 1,4  | 0,01   | 34      |           |
| 279 (2002/2003) |      |        | 0,07 | 3,0    | 0,81   | 19      | 4,3       | 0,03 | 0,1    | 20      | 5,2       |
| 279 (2006/2007) | 2,4  | 2,5    | 0,11 | 4,7    | 1,7    | 22      | 5,4       | 0,01 | 0,02   | 24      | 7,1       |
| 279 (2011/2012) |      |        | 0,2  | 5,9    | 3,7    | 35      | 9,0       | 0,06 | 0,18   | 39      | 13        |
| 279 (2017/2018) | 0,93 | 0,95   | 0,06 | 1,8    | 0,66   | 20      |           | 0,00 | 0,04   | 20      |           |
| 280 (2002/2003) | 3,3  | 3,4    | 0,33 | 3,7    | 7,9    | 0,18    | 0,04      |      | 0,00   | 8,1     | 7,9       |
| 280 (2006/2007) | 0,15 | 0,2    | 1,5  | 6,4    | 11     | 0,82    | 0,18      |      | 0,04   | 12      | 11        |
| 280 (2011/2012) | 0,2  | 0,24   | 1,1  | 4,6    | 12     | 2,3     | 0,58      | 0,4  | 0,05   | 14      | 13        |
| 280 (2017/2018) | 0,15 | 0,17   | 0,59 | 2,1    | 3,6    | 0,41    |           | 0,02 | 0,00   | 4,0     |           |
| 281 (2002/2003) | 0,18 | 0,21   | 0,00 | 2,9    | 5,4    | 46      | 11        |      | 0,1    | 52      | 16        |
| 281 (2006/2007) | 0,28 | 0,34   | 0,11 | 6,6    | 14     | 309     | 69        | 0,00 | 0,11   | 323     | 83        |
| 281 (2011/2012) | 0,12 | 0,14   | 0,05 | 2,0    | 23     | 561     | 130       | 0,06 | 0,07   | 584     | 153       |
| 281 (2017/2018) | 0,12 | 0,13   | 0,00 | 1,4    | 22     | 547     |           | 0,00 | 0,01   | 569     |           |
| 282 (2002/2003) |      |        | 1,4  | 5,1    | 3,0    | 8,9     | 2,0       | 0,01 | 0,00   | 12      | 4,9       |
| 282 (2006/2007) | 1,7  | 1,8    | 5,8  | 12     | 6,8    | 2,9     | 0,71      |      | 0,35   | 10      | 7,9       |
| 282 (2011/2012) |      |        | 0,48 | 2,4    | 0,46   | 2,3     | 0,52      | 0,01 | 0,38   | 3,2     | 1,4       |
| 282 (2017/2018) | 2,1  | 2,2    | 0,74 | 2,2    | 0,35   | 0,16    |           | 0,01 | 0,01   | 0,53    |           |
| 283 (2002/2003) | 1,1  | 1,1    | 0,07 | 3,5    | 1,5    | 11      | 2,6       | 0,01 | 0,00   | 13      | 4,2       |
| 283 (2006/2007) | 1,8  | 1,8    | 0,62 | 4,3    | 2,8    | 21      | 5,0       | 0,02 | 0,67   | 25      | 8,5       |
| 283 (2011/2012) | 1,6  | 1,7    | 0,12 | 2,8    | 13     | 31      | 7,3       | 0,07 | 0,32   | 44      | 21        |
| 283 (2017/2018) | 2,2  | 2,2    | 0,00 | 0,53   | 3,6    | 3,4     |           | 0,00 | 0,16   | 7,2     |           |
| 284 (2002/2003) | 3,7  | 3,7    | 0,17 | 4,0    | 5,5    | 28      | 5,7       |      | 0,24   | 34      | 11        |
| 284 (2006/2007) | 1,5  | 1,5    | 0,41 | 4,1    | 28     | 59      | 14        |      | 0,16   | 87      | 42        |
| 284 (2011/2012) | 1,5  | 1,5    | 0,11 | 2,8    | 41     | 51      | 13        | 0,19 | 0,36   | 92      | 54        |
| 284 (2017/2018) | 1,2  | 1,2    | 0,15 | 1,2    | 57     | 97      |           | 0,03 | 0,09   | 154     |           |
| 285 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 3,8    | 2,6    | 43      | 10        | 0,00 | 0,03   | 46      | 13        |
| 285 (2006/2007) | 1,7  | 1,7    | 0,00 | 2,7    | 3,6    | 17      | 4,1       |      | 0,07   | 20      | 7,8       |
| 285 (2011/2012) | 2,0  | 2,0    | 0,06 | 2,0    | 2,5    | 6,3     | 2,8       | 0,02 | 0,04   | 8,8     | 5,3       |
| 285 (2017/2018) | 1,4  | 1,4    | 0,00 | 0,79   | 2,3    | 3,7     |           | 0,00 | 0,05   | 6,0     |           |
| 286 (2002/2003) | 1,6  | 1,7    | 0,00 | 3,1    | 1,5    | 6,8     | 1,5       | 0,00 | 0,00   | 8,3     | 3,1       |
| 286 (2006/2007) | 0,86 | 0,9    | 0,2  | 4,3    | 3,8    | 4,9     | 1,1       |      | 0,02   | 8,8     | 4,9       |
| 286 (2011/2012) | 0,75 | 0,79   | 0,04 | 3,7    | 12     | 6,5     | 1,6       | 0,01 | 0,02   | 19      | 14        |
| 286 (2017/2018) | 0,45 | 0,45   | 0,00 | 0,43   | 4,0    | 3,9     |           | 0,00 | 0,02   | 7,9     |           |

Tab. 68: Einzelergebnisse an den Messpunkten 287 – 299

| MP              | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|-----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 287 (2002/2003) | 0,86 | 0,88   | 0,97 | 3,5    | 2,0    | 43      | 10        |      | 0,01   | 45      | 12        |
| 287 (2006/2007) | 1,7  | 1,7    | 1,1  | 4,1    | 1,6    | 66      | 16        |      | 0,05   | 68      | 17        |
| 287 (2011/2012) | 1,3  | 1,4    | 1,4  | 4,0    | 4,1    | 136     | 32        | 0,03 | 0,12   | 141     | 37        |
| 287 (2017/2018) | 2,2  | 2,2    | 1,0  | 1,7    | 1,2    | 38      |           | 0,00 | 0,01   | 39      |           |
| 288 (2002/2003) |      |        | 0,67 | 3,5    | 1,5    | 1,6     | 0,33      | 0,00 | 0,2    | 3,3     | 2,1       |
| 288 (2006/2007) | 0,55 | 0,58   | 0,48 | 3,5    | 5,6    | 7,3     | 1,7       | 0,01 | 0,19   | 13      | 7,5       |
| 288 (2011/2012) | 0,63 | 0,66   | 1,1  | 3,9    | 21     | 57      | 16        | 0,03 | 0,27   | 78      | 37        |
| 288 (2017/2018) | 0,39 | 0,39   | 1,0  | 1,4    | 7,9    | 8,4     |           | 0,00 | 0,04   | 16      |           |
| 289 (2002/2003) |      |        | 0,73 | 3,7    | 1,4    | 2,0     | 0,43      | 0,13 | 0,00   | 3,5     | 1,9       |
| 289 (2006/2007) | 1,9  | 2,0    | 3,0  | 8,8    | 3,2    | 1,5     | 0,38      | 0,00 | 0,01   | 4,7     | 3,6       |
| 289 (2011/2012) | 0,57 | 0,59   | 0,39 | 2,2    | 0,78   | 2,7     | 0,65      | 0,01 | 0,06   | 3,6     | 1,5       |
| 289 (2017/2018) | 2,2  | 2,3    | 1,1  | 14     | 0,95   | 0,62    |           | 0,03 | 0,00   | 1,6     |           |
| 290 (2002/2003) |      |        | 0,07 | 3,1    | 0,9    | 0,96    | 0,21      | 0,00 | 0,00   | 1,9     | 1,1       |
| 290 (2006/2007) | 1,5  | 1,5    | 0,06 | 3,1    | 0,81   | 8,5     | 2,1       |      | 0,02   | 9,4     | 2,9       |
| 290 (2011/2012) | 1,3  | 1,3    | 0,00 | 2,3    | 0,74   | 4,7     | 1,1       | 0,01 | 0,01   | 5,5     | 1,9       |
| 290 (2017/2018) | 1,1  | 1,1    | 0,06 | 0,52   | 0,95   | 2,3     |           | 0,05 | 0,00   | 3,3     |           |
| 291 (2002/2003) | 3,2  | 3,2    | 0,00 | 4,7    | 3,1    | 2,3     | 0,52      |      | 0,00   | 5,4     | 3,6       |
| 291 (2006/2007) | 2,9  | 2,9    | 0,00 | 4,4    | 3,2    | 16      | 4,1       |      | 0,03   | 19      | 7,4       |
| 291 (2011/2012) | 1,2  | 1,2    | 0,12 | 2,9    | 2,3    | 15      | 5,9       | 0,03 | 0,01   | 18      | 8,2       |
| 291 (2017/2018) | 2,9  | 2,9    | 0,00 | 0,54   | 1,3    | 1,4     |           | 0,01 | 0,01   | 2,7     |           |
| 292 (2002/2003) | 0,00 | 0,03   | 0,12 | 2,7    | 1,6    | 0,00    | 0,00      |      | 0,01   | 1,6     | 1,6       |
| 292 (2006/2007) | 0,00 | 0,05   | 0,17 | 5,0    | 0,92   | 0,00    | 0,00      | 0,00 | 0,01   | 0,93    | 0,93      |
| 292 (2011/2012) | 0,02 | 0,05   | 0,19 | 2,3    |        |         |           |      | 0,01   |         |           |
| 292 (2017/2018) | 0,11 | 0,13   | 0,05 | 1,6    | 0,23   | 0,00    |           | 0,04 | 0,01   | 0,28    |           |
| 293 (2002/2003) | 0,28 | 0,31   | 0,00 | 2,7    | 12     | 0,01    | 0,00      |      | 0,02   | 12      | 12        |
| 293 (2006/2007) | 0,29 | 0,33   | 0,00 | 4,2    | 4,7    | 0,03    | 0,01      |      | 0,01   | 4,7     | 4,7       |
| 293 (2011/2012) | 0,06 | 0,08   | 0,02 | 1,6    |        |         |           |      | 0,04   |         |           |
| 293 (2017/2018) | 0,19 | 0,2    | 0,03 | 0,97   | 14     | 0,06    |           | 0,00 | 0,01   | 14      |           |
| 294 (2002/2003) |      |        | 0,03 | 4,2    | 1,7    | 12      | 2,9       | 0,00 | 0,00   | 14      | 4,6       |
| 294 (2006/2007) | 0,19 | 0,24   | 0,02 | 4,4    | 1,6    | 14      | 3,5       | 0,00 | 0,00   | 16      | 5,2       |
| 294 (2011/2012) | 0,07 | 0,1    | 0,11 | 3,1    | 1,3    | 6,6     | 1,8       | 0,00 | 2,2    | 10      | 5,3       |
| 294 (2017/2018) | 0,24 | 0,25   | 0,02 | 1,3    | 0,21   | 5,4     |           | 0,00 | 0,00   | 5,6     |           |
| 295 (2002/2003) | 5,4  | 5,5    | 0,08 | 5,8    | 2,2    | 1,1     | 0,24      |      | 0,11   | 3,4     | 2,6       |
| 295 (2006/2007) | 5,1  | 5,2    | 0,05 | 7,2    | 7,2    | 2,9     | 0,67      | 0,29 | 0,07   | 10      | 8,2       |
| 295 (2011/2012) | 3,2  | 3,2    | 0,14 | 4,0    | 2,4    | 4,9     | 1,2       | 0,16 | 0,01   | 7,5     | 3,7       |
| 295 (2017/2018) | 4,1  | 4,1    | 0,03 | 2,0    | 0,87   | 1,0     |           | 0,01 | 0,01   | 1,9     |           |
| 296 (2002/2003) | 0,72 | 0,75   | 0,00 | 2,7    | 14     | 1,8     | 0,41      |      | 0,21   | 16      | 15        |
| 296 (2006/2007) | 1,9  | 1,9    | 0,00 | 3,5    | 9,4    | 4,0     | 0,91      | 0,00 | 0,05   | 13      | 10        |
| 296 (2011/2012) | 2,1  | 2,1    | 0,05 | 2,0    |        |         |           |      | 0,04   |         |           |
| 296 (2017/2018) | 0,6  | 0,64   | 0,00 | 3,2    | 15     | 1,5     |           | 0,05 | 0,03   | 17      |           |
| 297 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 2,8    | 2,3    | 0,00    | 0,00      |      | 0,05   | 2,3     | 2,3       |
| 297 (2006/2007) | 0,13 | 0,19   | 0,03 |        | 1,2    | 0,1     | 0,02      | 0,00 | 0,01   | 1,4     | 1,3       |
| 297 (2011/2012) | 0,09 | 0,12   | 0,00 | 2,2    | 0,15   | 0,59    | 0,31      | 0,00 | 0,04   | 0,79    | 0,5       |
| 297 (2017/2018) | 0,02 | 0,03   | 0,00 | 1,2    | 0,13   | 0,15    |           | 0,00 | 0,01   | 0,28    |           |
| 298 (2002/2003) | 0,4  | 0,42   | 0,05 | 2,3    | 0,93   | 0,01    | 0,00      |      | 0,00   | 0,95    | 0,94      |
| 298 (2006/2007) | 0,63 | 0,65   | 0,09 | 2,2    | 0,58   | 0,13    | 0,06      |      | 0,02   | 0,73    | 0,67      |
| 298 (2011/2012) |      |        | 0,42 | 2,3    | 0,57   | 3,4     | 0,92      | 0,00 | 0,09   | 4,0     | 1,6       |
| 298 (2017/2018) | 0,62 | 0,62   | 0,00 | 0,48   | 0,22   | 1,2     |           | 0,01 | 0,03   | 1,4     |           |
| 299 (2002/2003) |      |        | 0,02 | 2,6    | 2,3    | 0,75    | 0,17      |      | 0,07   | 3,1     | 2,5       |
| 299 (2006/2007) | 0,69 | 0,73   | 0,08 | 3,4    | 13     | 2,4     | 0,61      | 0,00 | 0,03   | 15      | 14        |
| 299 (2011/2012) | 0,59 | 0,62   | 0,34 | 2,5    | 24     | 10      | 2,7       | 0,02 | 0,11   | 35      | 27        |
| 299 (2017/2018) | 1,8  | 1,8    | 0,00 | 0,71   | 14     | 2,4     |           | 0,01 | 0,01   | 16      |           |



Tab. 69: Einzelergebnisse an den Messpunkten 300 – 312

| MP              | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|-----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 300 (2002/2003) |      |        | 0,51 | 3,0    | 1,3    | 0,01    | 0,00      |      | 0,00   | 1,3     | 1,3       |
| 300 (2006/2007) | 0,31 | 0,34   | 0,95 | 4,0    | 1,3    | 1,0     | 0,24      | 0,00 | 0,01   | 2,4     | 1,6       |
| 300 (2011/2012) | 0,15 | 0,16   | 1,3  | 2,8    |        |         |           |      | 0,01   |         |           |
| 300 (2017/2018) | 0,13 | 0,15   | 0,00 | 2,4    | 0,75   | 0,25    |           | 0,01 | 0,01   | 1,0     |           |
| 301 (2002/2003) | 0,79 | 0,82   | 0,00 | 2,6    | 0,85   | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 0,85    | 0,85      |
| 301 (2006/2007) | 0,42 | 0,45   | 0,06 | 3,1    | 1,1    | 0,03    | 0,01      |      | 0,01   | 1,2     | 1,1       |
| 301 (2011/2012) | 0,59 | 0,61   | 0,01 | 2,0    | 0,23   | 0,05    | 0,03      | 0,00 | 0,01   | 0,29    | 0,26      |
| 301 (2017/2018) | 2,6  | 2,6    | 0,00 | 3,5    | 0,54   | 0,01    |           | 0,00 | 0,01   | 0,56    |           |
| 302 (2002/2003) | 0,46 | 0,49   | 0,13 | 3,3    | 1,4    | 1,0     | 0,23      |      | 0,00   | 2,4     | 1,6       |
| 302 (2006/2007) | 1,0  | 1,1    | 0,03 | 3,8    | 2,5    | 5,7     | 1,3       |      | 0,01   | 8,2     | 3,9       |
| 302 (2011/2012) | 0,91 | 0,95   | 0,57 | 4,6    | 2,3    | 7,6     | 2,0       | 0,02 | 0,02   | 10,0    | 4,4       |
| 302 (2017/2018) | 0,5  | 0,54   | 0,00 | 3,4    | 0,13   | 2,2     |           | 0,00 | 0,00   | 2,4     |           |
| 303 (2002/2003) | 0,95 | 0,98   | 0,03 | 3,0    | 1,9    | 0,99    | 0,23      |      | 0,00   | 2,9     | 2,1       |
| 303 (2006/2007) | 1,4  | 1,4    | 0,03 |        | 0,39   | 2,8     | 0,67      |      | 0,00   | 3,2     | 1,1       |
| 303 (2011/2012) | 0,74 | 0,76   | 4,5  | 6,7    | 0,78   | 3,9     | 0,96      | 0,00 | 0,01   | 4,7     | 1,8       |
| 303 (2017/2018) | 0,72 | 0,72   | 0,00 | 0,53   | 0,62   | 0,65    |           | 0,01 | 0,01   | 1,3     |           |
| 304 (2002/2003) | 0,00 | 0,01   | 0,07 | 1,4    | 0,69   | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 0,69    | 0,69      |
| 304 (2006/2007) | 0,08 | 0,09   | 0,05 | 1,6    | 0,47   | 0,27    | 0,06      |      | 0,01   | 0,75    | 0,54      |
| 304 (2011/2012) | 0,13 | 0,15   | 0,07 | 1,9    | 0,65   | 0,36    | 0,14      | 0,01 | 0,00   | 1,0     | 0,8       |
| 304 (2017/2018) | 0,08 | 0,09   | 0,05 | 1,1    | 0,16   | 0,08    |           | 0,29 | 0,05   | 0,59    |           |
| 305 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 5,8    | 20     | 0,04    | 0,01      |      | 0,17   | 20      | 20        |
| 305 (2006/2007) | 0,66 | 0,77   | 0,00 | 11     | 61     | 0,04    | 0,01      | 0,00 | 0,04   | 61      | 61        |
| 305 (2011/2012) | 0,16 | 0,22   | 0,06 | 6,0    | 22     | 0,61    | 0,18      | 0,35 | 0,15   | 23      | 22        |
| 305 (2017/2018) | 1,6  | 1,6    | 0,08 | 1,3    | 1,1    | 0,23    |           | 0,00 | 0,04   | 1,3     |           |
| 306 (2002/2003) | 0,91 | 0,98   | 0,19 | 7,3    | 8,3    | 3,6     | 0,84      |      | 0,53   | 12      | 9,7       |
| 306 (2006/2007) | 0,61 | 0,68   | 0,13 | 7,6    | 8,4    | 1,2     | 0,3       |      | 0,07   | 9,7     | 8,8       |
| 306 (2011/2012) | 0,45 | 0,52   | 1,1  | 7,2    | 6,0    | 5,3     | 1,3       | 0,03 | 0,02   | 11      | 7,3       |
| 306 (2017/2018) | 0,38 | 0,39   | 0,07 | 0,55   | 0,1    | 1,7     |           | 0,01 | 0,07   | 1,8     |           |
| 307 (2002/2003) | 0,11 | 0,2    | 1,0  | 9,5    | 10     | 0,2     | 0,05      |      | 0,00   | 10      | 10        |
| 307 (2006/2007) | 0,08 | 0,17   | 0,63 | 9,3    | 11     | 0,21    | 0,05      |      | 0,14   | 12      | 12        |
| 307 (2011/2012) |      |        | 0,57 | 9,3    | 9,4    | 0,23    | 0,09      | 0,02 | 0,23   | 9,9     | 9,8       |
| 307 (2017/2018) | 0,26 | 0,31   | 0,57 | 5,4    | 0,57   | 0,19    |           | 0,00 | 0,04   | 0,8     |           |
| 308 (2002/2003) | 2,9  | 2,9    | 46   | 48     | 11     | 2,5     | 0,56      |      | 0,74   | 14      | 12        |
| 308 (2006/2007) | 0,03 | 0,08   | 0,04 | 5,2    | 3,7    | 0,52    | 0,12      | 0,00 | 0,01   | 4,2     | 3,8       |
| 308 (2011/2012) | 0,05 | 0,08   | 0,04 | 3,1    | 2,4    | 1,0     | 0,26      | 0,04 | 0,02   | 3,5     | 2,7       |
| 308 (2017/2018) | 0,08 | 0,09   | 0,04 | 1,0    | 0,8    | 0,46    |           | 0,06 | 0,00   | 1,3     |           |
| 309 (2002/2003) | 0,07 | 0,11   | 0,03 | 4,1    | 5,0    | 0,48    | 0,11      |      | 0,19   | 5,6     | 5,3       |
| 309 (2006/2007) | 0,1  | 0,16   | 0,25 | 5,4    | 3,8    | 0,74    | 0,17      | 0,00 | 0,04   | 4,6     | 4,0       |
| 309 (2011/2012) | 0,13 | 0,19   | 0,15 | 5,3    | 8,6    | 2,3     | 1,0       | 0,03 | 0,4    | 11      | 10        |
| 309 (2017/2018) | 0,05 | 0,05   | 0,05 | 0,44   | 3,3    | 0,54    |           | 0,01 | 0,31   | 4,1     |           |
| 310 (2002/2003) | 0,29 | 0,31   | 0,04 | 1,6    | 2,1    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 2,1     | 2,1       |
| 310 (2006/2007) | 0,02 | 0,04   | 0,00 | 1,8    | 1,6    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 1,6     | 1,6       |
| 310 (2011/2012) | 0,38 | 0,39   | 0,04 | 1,4    | 1,9    | 0,06    | 0,05      | 0,04 | 0,00   | 2,0     | 2,0       |
| 310 (2017/2018) | 0,54 | 0,55   | 0,02 | 0,62   | 0,83   | 0,00    |           | 3,0  | 0,01   | 3,8     |           |
| 311 (2002/2003) | 1,2  | 1,2    | 0,00 | 4,5    | 3,8    | 0,02    | 0,00      |      | 0,00   | 3,9     | 3,8       |
| 311 (2006/2007) | 2,7  | 2,8    | 0,14 | 6,3    | 5,7    | 0,02    | 0,00      | 0,00 | 0,01   | 5,8     | 5,8       |
| 311 (2011/2012) | 1,4  | 1,4    | 0,09 | 3,3    | 1,4    | 0,11    | 0,08      | 0,03 | 0,00   | 1,5     | 1,5       |
| 311 (2017/2018) | 0,97 | 1,0    | 0,00 | 4,7    | 0,45   | 0,02    |           | 0,00 | 0,00   | 0,48    |           |
| 312 (2002/2003) | 1,0  | 1,1    | 0,02 | 2,7    | 1,1    | 1,1     | 0,27      |      | 0,00   | 2,2     | 1,3       |
| 312 (2006/2007) | 1,8  | 1,9    | 0,09 | 3,5    | 1,3    | 1,7     | 0,44      |      | 0,03   | 3,0     | 1,8       |
| 312 (2011/2012) | 1,5  | 1,5    | 0,14 | 3,5    | 0,6    | 3,2     | 0,85      | 0,00 | 0,11   | 3,9     | 1,6       |
| 312 (2017/2018) | 1,0  | 1,1    | 0,02 | 13     | 0,46   | 3,4     |           | 0,00 | 0,01   | 3,9     |           |

Tab. 70: Einzelergebnisse an den Messpunkten 313 – 325

| MP              | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|-----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 313 (2002/2003) | 0,37 | 0,39   | 0,03 | 2,0    | 0,97   | 5,2     | 1,2       |      | 0,00   | 6,2     | 2,2       |
| 313 (2006/2007) | 0,08 | 0,1    | 0,09 |        | 1,6    | 4,9     | 1,1       |      | 0,01   | 6,4     | 2,7       |
| 313 (2011/2012) | 0,1  | 0,12   | 0,08 | 2,1    | 0,75   | 18      | 4,1       | 0,02 | 0,02   | 18      | 4,9       |
| 313 (2017/2018) | 0,06 | 0,07   | 0,09 | 0,81   | 0,36   | 23      |           | 1,4  | 0,00   | 25      |           |
| 314 (2002/2003) | 0,43 | 0,46   | 0,00 | 3,5    | 102    | 0,18    | 0,04      |      | 0,02   | 102     | 102       |
| 314 (2006/2007) | 0,35 | 0,39   | 0,00 | 3,6    | 78     | 0,55    | 0,12      |      | 0,01   | 78      | 78        |
| 314 (2011/2012) | 0,44 | 0,47   | 0,82 | 3,4    | 117    | 2,0     | 0,47      | 8,0  | 0,02   | 127     | 126       |
| 314 (2017/2018) | 0,43 | 0,44   | 0,00 | 0,4    | 89     | 0,57    |           | 0,65 | 0,00   | 90      |           |
| 315 (2002/2003) | 0,94 | 0,98   | 0,04 | 3,6    | 2,6    | 0,09    | 0,02      |      | 0,03   | 2,7     | 2,7       |
| 315 (2006/2007) | 0,33 | 0,36   | 0,03 | 3,5    | 2,7    | 0,09    | 0,02      |      | 0,00   | 2,8     | 2,8       |
| 315 (2011/2012) | 0,61 | 0,63   | 0,37 | 2,5    | 0,7    | 0,24    | 0,05      | 0,00 | 0,02   | 0,97    | 0,78      |
| 315 (2017/2018) | 0,36 | 0,43   | 0,02 | 7,1    | 0,03   | 0,4     |           | 0,00 | 0,01   | 0,44    |           |
| 316 (2002/2003) | 0,46 | 0,47   | 0,1  | 1,9    | 1,0    | 0,23    | 0,05      | 0,00 | 0,00   | 1,3     | 1,1       |
| 316 (2006/2007) | 1,3  | 1,4    | 0,02 | 6,3    | 1,6    | 0,69    | 0,16      |      | 0,03   | 2,3     | 1,8       |
| 316 (2011/2012) | 2,6  | 2,6    | 0,03 | 1,5    | 0,26   | 0,48    | 0,11      | 0,01 | 0,00   | 0,75    | 0,38      |
| 316 (2017/2018) | 1,4  | 1,4    | 0,07 | 5,1    | 0,28   | 0,23    |           | 0,00 | 0,01   | 0,53    |           |
| 317 (2002/2003) | 1,7  | 1,7    | 1,3  | 6,2    | 5,0    | 0,11    | 0,03      |      | 0,00   | 5,1     | 5,0       |
| 317 (2006/2007) | 2,3  | 2,3    | 0,35 | 3,3    | 1,5    | 0,37    | 0,09      |      | 1,2    | 3,0     | 2,7       |
| 317 (2011/2012) | 0,96 | 1,0    | 0,41 | 5,1    | 2,4    | 0,41    | 0,11      | 0,02 | 0,09   | 2,9     | 2,6       |
| 317 (2017/2018) | 0,84 | 0,86   | 0,44 | 2,6    | 0,47   | 0,17    |           | 0,01 | 0,01   | 0,67    |           |
| 318 (2002/2003) | 0,82 | 0,84   | 0,00 | 2,0    | 4,7    | 0,04    | 0,01      |      | 0,00   | 4,8     | 4,7       |
| 318 (2006/2007) | 0,85 | 0,88   | 0,03 | 2,6    | 7,7    | 0,01    | 0,00      |      | 0,03   | 7,7     | 7,7       |
| 318 (2011/2012) | 2,7  |        | 0,19 |        |        | 0,03    | 0,01      | 0,01 | 0,01   |         |           |
| 318 (2017/2018) | 3,6  | 3,6    | 0,02 | 0,74   | 3,4    | 0,07    |           | 0,01 | 0,00   | 3,5     |           |
| 319 (2002/2003) | 0,24 | 0,27   | 0,00 | 2,5    | 1,0    | 1,2     | 0,27      |      | 0,00   | 2,2     | 1,3       |
| 319 (2006/2007) | 0,28 | 0,32   | 0,1  | 4,3    | 1,7    | 1,3     | 0,31      |      | 0,02   | 3,0     | 2,0       |
| 319 (2011/2012) | 0,21 | 0,24   | 0,17 | 3,5    | 1,9    | 2,2     | 0,57      | 0,02 | 0,12   | 4,2     | 2,6       |
| 319 (2017/2018) | 1,8  | 1,9    | 0,00 | 2,9    | 0,66   | 1,8     |           | 0,02 | 0,13   | 2,6     |           |
| 320 (2002/2003) | 5,3  | 5,4    | 0,05 | 11     | 24     | 34      | 7,6       |      | 0,06   | 58      | 32        |
| 320 (2006/2007) | 3,7  | 3,9    | 0,04 | 12     | 22     | 86      | 20        |      | 0,1    | 109     | 43        |
| 320 (2011/2012) | 4,5  | 4,6    | 0,22 | 11     | 15     | 119     | 29        | 0,01 | 0,04   | 133     | 44        |
| 320 (2017/2018) | 4,7  | 4,8    | 0,05 | 2,3    | 1,0    | 53      |           | 0,01 | 0,02   | 54      |           |
| 321 (2002/2003) | 0,18 | 0,3    | 0,07 | 11     | 23     | 0,65    | 0,15      |      | 0,03   | 24      | 23        |
| 321 (2006/2007) | 0,11 | 0,27   | 0,03 | 16     | 23     | 0,63    | 0,14      | 0,00 | 0,04   | 23      | 23        |
| 321 (2011/2012) | 0,22 | 0,32   | 0,6  | 10     | 15     | 2,8     | 0,9       | 0,17 | 0,13   | 18      | 16        |
| 321 (2017/2018) | 0,03 | 0,05   | 0,02 | 2,2    | 1,7    | 0,57    |           | 0,12 | 0,01   | 2,4     |           |
| 322 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 12     | 27     | 2,0     | 0,46      |      | 0,1    | 29      | 28        |
| 322 (2006/2007) | 1,7  | 2,0    | 0,67 | 24     | 39     | 7,0     | 1,7       | 0,00 | 0,83   | 47      | 42        |
| 322 (2011/2012) | 2,7  | 2,9    | 0,18 | 13     | 29     | 9,7     | 2,7       | 0,04 | 0,04   | 39      | 32        |
| 322 (2017/2018) | 1,9  | 1,9    | 0,00 | 2,8    | 16     | 6,2     |           | 0,05 | 0,01   | 22      |           |
| 323 (2002/2003) | 0,52 | 0,63   | 0,00 | 11     | 17     | 0,08    | 0,02      |      | 0,00   | 17      | 17        |
| 323 (2006/2007) | 0,67 | 0,75   | 0,03 | 8,1    | 10     | 0,05    | 0,01      |      | 0,00   | 10      | 10        |
| 323 (2011/2012) | 1,00 | 1,1    | 0,29 | 6,5    | 5,1    | 3,1     | 0,77      | 0,00 | 0,00   | 8,2     | 5,9       |
| 323 (2017/2018) | 0,95 | 1,0    | 0,00 | 6,3    | 0,12   | 0,41    |           | 0,14 | 0,01   | 0,68    |           |
| 324 (2002/2003) | 0,71 | 0,74   | 0,91 | 3,8    | 6,2    | 16      | 3,9       |      | 0,15   | 23      | 10        |
| 324 (2006/2007) | 0,89 | 0,94   | 0,96 | 5,9    | 3,5    | 4,1     | 0,99      | 0,00 | 0,03   | 7,6     | 4,5       |
| 324 (2011/2012) | 0,4  | 0,42   | 0,68 | 3,1    | 0,92   | 7,1     | 1,8       | 0,03 | 0,12   | 8,1     | 2,9       |
| 324 (2017/2018) | 0,59 | 0,59   | 0,62 | 1,1    | 1,0    | 99      |           | 0,21 | 0,01   | 100     |           |
| 325 (2002/2003) | 0,11 | 0,13   | 26   | 28     | 3,0    | 7,8     | 1,6       |      | 0,00   | 11      | 4,6       |
| 325 (2006/2007) | 0,14 | 0,16   | 16   |        | 1,1    | 7,2     | 1,5       |      | 0,00   | 8,3     | 2,6       |
| 325 (2011/2012) | 0,47 | 0,49   | 13   | 14     | 0,82   | 22      | 5,1       | 0,05 | 0,01   | 22      | 6,0       |
| 325 (2017/2018) | 0,2  | 0,21   | 31   | 32     | 0,54   | 1,8     |           | 0,01 | 0,00   | 2,4     |           |

Tab. 71: Einzelergebnisse an den Messpunkten 326 – 338

| MP              | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|-----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 326 (2002/2003) | 3,2  | 3,2    | 0,00 | 1,3    | 2,9    | 0,35    | 0,07      | 0,00 | 0,00   | 3,2     | 3,0       |
| 326 (2006/2007) | 4,8  | 4,8    | 0,01 | 1,7    | 4,4    | 1,2     | 0,28      |      | 0,04   | 5,7     | 4,8       |
| 326 (2011/2012) | 3,4  |        | 0,00 |        |        |         |           |      | 0,01   |         |           |
| 326 (2017/2018) | 2,1  | 2,2    | 0,02 | 0,94   | 5,5    | 3,0     |           | 0,00 | 0,01   | 8,5     |           |
| 327 (2002/2003) | 0,28 | 0,3    | 0,00 | 1,4    | 0,21   | 0,12    | 0,03      |      | 0,00   | 0,34    | 0,24      |
| 327 (2006/2007) | 0,48 | 0,5    | 0,04 | 1,9    | 0,41   | 0,11    | 0,03      |      | 0,22   | 0,74    | 0,65      |
| 327 (2011/2012) | 0,67 | 0,69   | 0,15 | 2,3    | 0,29   | 0,22    | 0,05      | 0,00 | 0,02   | 0,54    | 0,36      |
| 327 (2017/2018) | 0,67 | 0,67   | 0,21 | 1,00   | 0,09   | 0,1     |           | 0,00 | 0,01   | 0,2     |           |
| 328 (2002/2003) | 0,00 | 0,02   | 0,38 | 2,2    | 26     | 0,43    | 0,09      | 0,00 | 0,00   | 26      | 26        |
| 328 (2006/2007) | 0,11 | 0,14   | 0,31 | 2,5    | 30     | 1,1     | 0,23      | 0,01 | 0,04   | 31      | 30        |
| 328 (2011/2012) | 0,11 |        | 0,09 |        |        | 0,76    | 0,18      | 0,08 | 0,02   |         |           |
| 328 (2017/2018) | 0,00 | 0,01   | 0,05 | 0,83   | 13     | 0,65    |           | 0,01 | 0,04   | 14      |           |
| 329 (2002/2003) | 0,4  | 0,42   | 0,00 | 1,9    | 3,7    | 124     | 28        |      | 0,00   | 128     | 32        |
| 329 (2006/2007) | 0,76 | 0,78   | 0,00 | 2,4    | 3,9    | 159     | 36        |      | 0,39   | 163     | 40        |
| 329 (2011/2012) | 0,92 |        | 0,27 |        |        |         |           |      | 0,01   |         |           |
| 329 (2017/2018) | 0,67 | 0,71   | 0,00 | 3,6    | 3,6    | 49      |           | 0,01 | 0,00   | 53      |           |
| 330 (2002/2003) | 0,07 | 0,1    | 0,03 | 2,1    | 0,98   | 3,4     | 0,8       |      | 0,00   | 4,4     | 1,8       |
| 330 (2006/2007) | 0,08 | 0,1    | 0,03 | 2,6    | 1,6    | 2,6     | 0,61      | 0,00 | 0,03   | 4,2     | 2,3       |
| 330 (2011/2012) | 0,07 | 0,09   | 0,02 | 1,8    | 2,5    | 2,2     | 0,55      | 0,00 | 0,01   | 4,7     | 3,0       |
| 330 (2017/2018) | 0,05 | 0,06   | 0,05 | 0,54   | 1,6    | 0,95    |           | 0,01 | 0,01   | 2,6     |           |
| 331 (2002/2003) | 1,7  | 1,8    | 0,07 | 2,2    | 6,0    | 1,4     | 0,3       |      | 0,04   | 7,4     | 6,3       |
| 331 (2006/2007) | 2,1  | 2,1    | 0,15 | 2,3    | 5,4    | 2,2     | 0,5       |      | 0,06   | 7,7     | 6,0       |
| 331 (2011/2012) | 2,2  |        | 0,03 |        |        | 2,5     | 0,56      | 0,04 | 0,06   |         |           |
| 331 (2017/2018) | 1,7  | 1,7    | 0,00 | 0,91   | 6,2    | 1,6     |           | 0,32 | 0,17   | 8,3     |           |
| 332 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 3,0    | 3,8    | 0,03    | 0,01      |      | 0,01   | 3,8     | 3,8       |
| 332 (2006/2007) | 0,43 | 0,45   | 0,00 | 2,6    | 3,0    | 0,05    | 0,01      |      | 0,00   | 3,1     | 3,1       |
| 332 (2011/2012) | 0,52 | 0,54   | 0,2  | 1,9    | 4,7    | 0,38    | 0,09      | 0,00 | 0,00   | 5,1     | 4,8       |
| 332 (2017/2018) | 0,25 | 0,27   | 0,43 | 2,1    | 3,0    | 0,19    |           | 0,01 | 0,00   | 3,3     |           |
| 333 (2002/2003) | 0,81 | 0,83   | 0,16 | 1,8    | 0,67   | 18      | 3,7       |      | 0,00   | 18      | 4,4       |
| 333 (2006/2007) | 0,99 | 1,0    | 0,11 | 2,9    | 0,84   | 34      | 7,3       |      | 0,08   | 35      | 8,2       |
| 333 (2011/2012) | 11   | 11     | 0,07 | 2,7    | 0,85   | 17      | 3,9       | 0,02 | 0,06   | 18      | 4,8       |
| 333 (2017/2018) | 0,79 | 0,82   | 0,07 | 2,7    | 0,59   | 1,6     |           | 0,00 | 0,01   | 2,2     |           |
| 334 (2002/2003) | 1,9  | 1,9    | 0,00 | 2,7    | 1,4    | 1,3     | 0,29      |      | 0,00   | 2,7     | 1,7       |
| 334 (2006/2007) | 2,2  | 2,2    | 0,00 | 4,3    | 4,2    | 1,5     | 0,36      | 0,00 | 0,36   | 6,1     | 5,0       |
| 334 (2011/2012) |      |        | 0,00 | 3,6    | 1,4    | 3,6     | 0,82      | 0,00 | 0,01   | 5,1     | 2,3       |
| 334 (2017/2018) | 0,4  | 0,4    | 0,03 | 0,39   | 1,2    | 0,62    |           | 0,00 | 0,00   | 1,8     |           |
| 335 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 2,7    | 1,1    | 5,0     | 1,1       |      | 0,00   | 6,0     | 2,2       |
| 335 (2006/2007) | 7,4  | 7,4    | 0,05 | 3,8    | 0,73   | 34      | 8,1       |      | 0,09   | 35      | 8,9       |
| 335 (2011/2012) | 3,0  | 3,0    | 0,02 | 2,9    | 0,57   | 59      | 18        | 0,00 | 0,15   | 60      | 19        |
| 335 (2017/2018) | 4,6  | 4,6    | 0    | 1,0    | 0,29   | 102     |           | 0,00 | 0,01   | 102     |           |
| 336 (2002/2003) | 4,3  | 4,3    | 0,03 | 3,0    | 0,98   | 1,4     | 0,33      |      | 0,00   | 2,4     | 1,3       |
| 336 (2006/2007) | 2,0  | 2,1    | 0,04 | 4,1    | 1,5    | 3,9     | 0,91      |      | 0,18   | 5,6     | 2,6       |
| 336 (2011/2012) |      |        | 0,05 | 2,3    | 0,75   | 4,4     | 1,0       | 0,1  | 0,02   | 5,3     | 1,9       |
| 336 (2017/2018) | 3,9  | 3,9    | 0,08 | 0,56   | 0,6    | 0,49    |           | 0,75 | 0,02   | 1,9     |           |
| 337 (2002/2003) | 1,00 | 1,0    | 0,08 | 2,3    | 0,52   | 0,84    | 0,19      |      | 0,00   | 1,4     | 0,71      |
| 337 (2006/2007) | 0,99 | 1,0    | 0,09 | 2,7    | 0,79   | 1,4     | 0,32      |      | 0,13   | 2,3     | 1,2       |
| 337 (2011/2012) | 1,8  | 1,8    | 0,08 | 2,7    | 0,91   | 1,2     | 0,29      | 0,01 | 0,05   | 2,2     | 1,3       |
| 337 (2017/2018) | 0,43 | 0,43   | 0,02 | 0,63   | 0,43   | 0,86    |           | 0,03 | 0,02   | 1,3     |           |
| 338 (2002/2003) | 0,19 | 0,2    | 0,00 | 1,6    | 0,65   | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 0,65    | 0,65      |
| 338 (2006/2007) | 0,25 | 0,27   | 0,00 | 2,3    | 1,4    | 0,00    | 0,00      |      | 0,04   | 1,4     | 1,4       |
| 338 (2011/2012) | 0,05 | 0,07   | 0,03 | 1,6    | 1,0    | 0,05    | 0,03      | 0,08 | 0,01   | 1,2     | 1,2       |
| 338 (2017/2018) | 0,19 | 0,23   | 0,03 | 3,7    | 1,2    | 0,01    |           | 0,00 | 0,02   | 1,3     |           |

Tab. 72: Einzelergebnisse an den Messpunkten 339 – 351

| MP              | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|-----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 339 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 5,5    | 4,4    | 0,67    | 0,15      |      | 0,05   | 5,1     | 4,6       |
| 339 (2006/2007) | 0,79 | 0,86   | 0,13 | 7,8    | 5,7    | 0,78    | 0,19      |      | 0,08   | 6,5     | 6,0       |
| 339 (2011/2012) | 1,6  | 1,6    | 0,8  | 5,5    | 3,1    | 2,8     | 0,7       | 0,07 | 0,16   | 6,1     | 4,0       |
| 339 (2017/2018) | 0,91 | 0,91   | 0,00 | 0,59   | 0,33   | 0,81    |           | 0,00 | 0,03   | 1,2     |           |
| 340 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 5,7    | 5,1    | 0,95    | 0,21      |      | 0,05   | 6,1     | 5,3       |
| 340 (2006/2007) | 1,9  | 2,0    | 0,03 | 7,3    | 4,5    | 1,9     | 0,46      |      | 0,06   | 6,4     | 5,0       |
| 340 (2011/2012) | 0,32 | 0,42   | 0,00 | 10     | 5,7    | 2,7     | 0,72      | 0,05 | 0,05   | 8,6     | 6,6       |
| 340 (2017/2018) | 0,57 | 0,58   | 0,00 | 0,46   | 0,66   | 0,8     |           | 0,00 | 0,02   | 1,5     |           |
| 341 (2002/2003) | 0,81 | 0,87   | 0,00 | 6,1    | 7,1    | 49      | 12        |      | 0,00   | 57      | 19        |
| 341 (2006/2007) | 1,5  | 1,5    | 0,03 | 7,0    | 12     | 94      | 22        |      | 0,05   | 106     | 34        |
| 341 (2011/2012) |      |        | 0,24 | 5,2    | 4,6    | 641     | 183       | 0,08 | 0,05   | 646     | 187       |
| 341 (2017/2018) | 1,6  | 1,6    | 0,00 | 1,5    | 1,1    | 253     |           | 0,01 | 0,01   | 254     |           |
| 342 (2002/2003) | 0,09 | 0,14   | 0,08 | 5,2    | 4,4    | 0,97    | 0,23      |      | 0,00   | 5,3     | 4,6       |
| 342 (2006/2007) | 0,08 | 0,14   | 0,21 | 6,3    | 4,0    | 1,2     | 0,29      |      | 0,14   | 5,3     | 4,4       |
| 342 (2011/2012) | 0,19 | 0,24   | 0,09 | 4,9    | 2,9    | 0,69    | 0,23      | 0,02 | 0,01   | 3,6     | 3,2       |
| 342 (2017/2018) | 0,07 | 0,08   | 0,11 | 1,8    | 0,59   | 3,6     |           | 0,00 | 0,03   | 4,3     |           |
| 343 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 3,7    | 8,3    | 0,22    | 0,05      |      | 0,24   | 8,8     | 8,6       |
| 343 (2006/2007) | 0,35 | 0,39   | 0,04 | 4,4    | 4,2    | 0,8     | 0,2       |      | 0,00   | 5,0     | 4,4       |
| 343 (2011/2012) | 0,41 | 0,44   | 0,08 | 3,0    | 2,0    | 0,83    | 0,25      | 0,01 | 0,01   | 2,8     | 2,3       |
| 343 (2017/2018) | 0,33 | 0,33   | 0,00 | 0,19   | 0,53   | 1,3     |           | 0,00 | 0,01   | 1,8     |           |
| 344 (2002/2003) |      |        | 2,5  | 6,2    | 7,0    | 0,08    | 0,02      |      | 0,1    | 7,2     | 7,1       |
| 344 (2006/2007) | 0,03 | 0,08   | 2,9  | 7,6    | 6,8    | 0,6     | 0,14      | 0,01 | 0,01   | 7,5     | 7,0       |
| 344 (2011/2012) | 0,13 | 0,16   | 3,2  | 6,2    | 3,1    | 0,66    | 0,15      | 0,01 | 0,00   | 3,7     | 3,2       |
| 344 (2017/2018) | 0,08 | 0,11   | 3,6  | 5,9    | 2,1    | 0,15    |           | 0,00 | 0,00   | 2,2     |           |
| 345 (2002/2003) | 1,1  | 1,1    | 0,23 | 1,9    | 0,4    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 0,4     | 0,4       |
| 345 (2006/2007) | 0,67 | 0,69   | 0,16 |        | 0,48   | 0,1     | 0,02      |      | 0,21   | 0,79    | 0,72      |
| 345 (2011/2012) |      |        | 0,11 | 1,8    | 0,35   | 1,4     | 0,35      | 0,01 | 0,03   | 1,7     | 0,74      |
| 345 (2017/2018) | 0,48 | 0,51   | 0,12 | 3,0    | 0,06   | 0,34    |           | 0,00 | 0,00   | 0,4     |           |
| 346 (2002/2003) |      |        | 0,02 | 2,6    | 4,0    | 31      | 7,2       |      | 0,14   | 35      | 11        |
| 346 (2006/2007) | 0,51 | 0,57   | 0,13 | 5,7    | 8,8    | 42      | 9,6       |      | 0,16   | 51      | 19        |
| 346 (2011/2012) | 0,76 | 0,8    | 0,12 | 4,0    | 13     | 283     | 66        | 0,01 | 0,05   | 296     | 78        |
| 346 (2017/2018) | 0,37 | 0,4    | 0,00 | 2,7    | 3,6    | 51      |           | 0,00 | 0,00   | 55      |           |
| 347 (2002/2003) | 0,18 | 0,27   | 0,45 | 9,9    | 27     | 0,53    | 0,12      | 0,00 | 0,00   | 28      | 27        |
| 347 (2006/2007) | 1,3  | 1,4    | 0,35 | 9,2    | 24     | 1,2     | 0,29      | 0,00 | 0,08   | 25      | 24        |
| 347 (2011/2012) | 1,1  | 1,2    | 0,79 | 8,8    | 28     | 3,2     | 0,83      | 0,03 | 0,13   | 32      | 29        |
| 347 (2017/2018) | 1,3  | 1,3    | 1,2  | 3,1    | 2,0    | 1,3     |           | 0,00 | 0,01   | 3,3     |           |
| 348 (2002/2003) | 1,6  | 1,7    | 0,00 | 5,6    | 8,9    | 0,71    | 0,16      |      | 0,00   | 9,6     | 9,0       |
| 348 (2006/2007) | 2,8  | 2,9    | 0,03 | 5,4    | 7,8    | 2,7     | 0,65      | 0,00 | 0,1    | 11      | 8,5       |
| 348 (2011/2012) | 2,1  | 2,1    | 0,86 | 5,5    | 6,4    | 6,5     | 1,7       | 0,02 | 1,7    | 15      | 9,8       |
| 348 (2017/2018) | 2,2  | 2,2    | 0,00 | 0,36   | 0,29   | 2,4     |           | 0,01 | 0,1    | 2,8     |           |
| 349 (2002/2003) | 1,4  | 1,5    | 16   | 22     | 5,5    | 1,0     | 0,24      |      | 0,00   | 6,5     | 5,8       |
| 349 (2006/2007) | 0,93 | 1      | 6,6  | 13     | 4,5    | 2,0     | 0,47      | 0,00 | 0,04   | 6,5     | 5,0       |
| 349 (2011/2012) | 3,2  | 3,2    | 29   | 33     | 3,8    | 13      | 3,1       | 0,23 | 0,11   | 17      | 7,3       |
| 349 (2017/2018) | 1,1  | 1,1    | 260  | 263    | 0,66   | 6,5     |           | 0,02 | 0,02   | 7,2     |           |
| 350 (2002/2003) | 1,1  | 1,2    | 0,00 | 4,1    | 2,6    | 0,07    | 0,02      |      | 0,00   | 2,7     | 2,6       |
| 350 (2006/2007) | 3,2  | 3,3    | 0,05 | 5,1    | 3,2    | 0,09    | 0,02      |      | 0,02   | 3,3     | 3,3       |
| 350 (2011/2012) | 1,5  | 1,5    | 2,0  | 5,5    | 2,0    | 0,14    | 0,07      | 0,01 | 0,01   | 2,2     | 2,1       |
| 350 (2017/2018) | 0,95 | 0,96   | 4,5  | 5,8    | 0,43   | 0,05    |           | 0,01 | 0,01   | 0,5     |           |
| 351 (2002/2003) | 4,4  | 4,4    | 0,1  | 3,1    | 0,86   | 0,36    | 0,08      |      | 0,00   | 1,2     | 0,94      |
| 351 (2006/2007) | 2,9  | 2,9    | 0,04 | 4,0    | 0,95   | 0,68    | 0,15      |      | 0,02   | 1,6     | 1,1       |
| 351 (2011/2012) |      |        | 0,11 | 3,4    | 0,8    | 4,0     | 2,4       | 0,01 | 0,01   | 4,8     | 3,3       |
| 351 (2017/2018) | 2,2  | 2,2    | 0,04 | 3,0    | 0,12   | 1,1     |           | 0,03 | 0,01   | 1,2     |           |

Tab. 73: Einzelergebnisse an den Messpunkten 352 – 364

| MP              | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|-----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 352 (2002/2003) | 0,03 | 0,05   | 0,00 | 2,5    | 0,78   | 0,06    | 0,01      |      | 0,00   | 0,84    | 0,79      |
| 352 (2006/2007) | 0,06 | 0,1    | 0,63 | 5,2    | 2,6    | 0,12    | 0,02      |      | 0,00   | 2,8     | 2,7       |
| 352 (2011/2012) | 0,02 | 0,04   | 0,29 | 2,7    | 0,86   | 0,34    | 0,2       | 0,00 | 0,01   | 1,2     | 1,1       |
| 352 (2017/2018) | 0,4  | 0,4    | 0,00 | 0,51   | 0,03   | 0,05    |           | 0,00 | 0,01   | 0,08    |           |
| 353 (2002/2003) | 0,28 | 0,32   | 0,03 | 3,3    | 3,2    | 4,1     | 0,84      |      | 0,05   | 7,3     | 4,0       |
| 353 (2006/2007) | 1,5  | 1,6    | 0,16 | 4,5    | 1,9    | 2,4     | 0,52      |      | 0,08   | 4,4     | 2,5       |
| 353 (2011/2012) | 2,0  | 2,0    | 0,97 | 1,6    | 0,72   | 2,8     | 0,7       | 0,00 | 0,1    | 3,7     | 1,5       |
| 353 (2017/2018) | 1,1  | 1,2    | 0,33 | 3,1    | 0,16   | 0,98    |           | 0,01 | 0,01   | 1,2     |           |
| 354 (2002/2003) | 0,00 | 0,03   | 0,01 | 3,1    | 2,0    | 5,4     | 1,2       |      | 0,00   | 7,4     | 3,2       |
| 354 (2006/2007) | 2,3  | 2,4    | 0,07 | 10     | 10     | 207     | 50        |      | 0,07   | 217     | 61        |
| 354 (2011/2012) | 0,16 | 0,19   | 0,74 | 3,2    | 1,2    | 124     | 33        | 0,03 | 0,05   | 125     | 34        |
| 354 (2017/2018) | 0,14 | 0,15   | 0,00 | 0,74   | 0,95   | 124     |           | 0,00 | 0,00   | 125     |           |
| 355 (2002/2003) | 0,34 | 0,36   | 0,03 | 2,4    | 1,3    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 1,3     | 1,3       |
| 355 (2006/2007) | 0,65 | 0,69   | 0,01 | 3,7    | 3,4    | 91      | 20        | 0,00 | 0,01   | 95      | 24        |
| 355 (2011/2012) | 0,33 | 0,35   | 0,09 | 2,0    | 1,4    | 180     | 38        | 0,04 | 0,01   | 182     | 40        |
| 355 (2017/2018) | 0,59 | 0,59   | 0,01 | 0,55   | 2,0    | 22      |           | 0,01 | 0,01   | 24      |           |
| 356 (2002/2003) | 3,5  | 3,5    | 0,07 | 2,1    | 0,99   | 0,67    | 0,16      |      | 0,00   | 1,7     | 1,1       |
| 356 (2006/2007) | 1,1  | 1,1    | 0,05 | 3,7    | 0,87   | 0,78    | 0,19      |      | 0,02   | 1,7     | 1,1       |
| 356 (2011/2012) | 1,2  | 1,2    | 0,42 | 2,6    | 0,63   | 1,9     | 0,44      | 0,01 | 0,02   | 2,5     | 1,1       |
| 356 (2017/2018) | 1,1  | 1,1    | 0,00 | 5,5    | 0,17   | 0,34    |           | 0,03 | 0,00   | 0,54    |           |
| 357 (2002/2003) | 0,32 | 0,41   | 0,1  | 9,1    | 27     | 0,11    | 0,02      |      | 0,74   | 28      | 28        |
| 357 (2006/2007) | 0,1  | 0,2    | 0,11 | 9,2    | 18     | 0,01    | 0,00      |      | 0,1    | 18      | 18        |
| 357 (2011/2012) | 0,08 | 0,15   | 0,1  | 7,1    | 13     | 0,21    | 0,12      | 0,49 | 0,04   | 13      | 13        |
| 357 (2017/2018) | 0,05 | 0,09   | 0,06 | 3,8    | 6,8    | 0,09    |           | 0,01 | 0,01   | 6,9     |           |
| 358 (2002/2003) | 0,89 | 0,93   | 0,00 | 4,2    | 2,6    | 0,16    | 0,03      |      | 0,00   | 2,8     | 2,7       |
| 358 (2006/2007) | 1,1  | 1,2    | 0,07 |        | 2,1    | 0,34    | 0,07      |      | 0,04   | 2,5     | 2,2       |
| 358 (2011/2012) | 1,00 | 1,00   | 0,15 | 4,1    | 1,7    | 15      | 3,6       | 0,00 | 0,05   | 17      | 5,4       |
| 358 (2017/2018) | 0,84 | 0,89   | 0,04 | 4,1    | 0,17   | 0,13    |           | 0,00 | 0,00   | 0,3     |           |
| 359 (2002/2003) | 0,16 | 0,19   | 0,00 | 2,8    | 10     | 1,3     | 0,3       |      | 0,00   | 11      | 10        |
| 359 (2006/2007) | 0,23 | 0,26   | 0,14 | 3,3    | 4,9    | 2,5     | 0,62      |      | 0,1    | 7,6     | 5,6       |
| 359 (2011/2012) | 0,03 | 0,05   | 0,00 | 1,7    | 3,9    | 2,5     | 0,75      | 0,07 | 0,04   | 6,5     | 4,8       |
| 359 (2017/2018) | 0,13 | 0,15   | 0,00 | 1,9    | 5,3    | 1,1     |           | 0,02 | 0,01   | 6,5     |           |
| 360 (2002/2003) | 0,1  | 0,14   | 0,00 | 3,3    | 1,9    | 1,4     | 0,3       |      | 0,00   | 3,3     | 2,2       |
| 360 (2006/2007) | 0,33 | 0,39   | 0,14 | 6,6    | 5,3    | 110     | 27        |      | 0,12   | 115     | 33        |
| 360 (2011/2012) | 0,36 | 0,37   | 0,1  | 1,7    | 0,24   | 151     | 37        | 0,01 | 0,04   | 151     | 37        |
| 360 (2017/2018) | 0,22 | 0,24   | 0,00 | 2,5    | 0,07   | 7,5     |           | 0,02 | 0,01   | 7,6     |           |
| 361 (2002/2003) | 0,44 | 0,47   |      |        | 2,3    | 0,00    | 0,00      | 0,00 | 0,00   | 2,3     | 2,3       |
| 361 (2006/2007) | 0,44 | 0,48   | 0,00 | 4,0    | 3,0    | 0,00    | 0,00      | 0,00 | 0,00   | 3,0     | 3,0       |
| 361 (2011/2012) | 1,1  | 1,1    | 0,08 | 2,4    | 1,2    | 0,73    | 0,19      | 0,01 | 0,00   | 2,0     | 1,4       |
| 361 (2017/2018) | 0,3  | 0,39   | 0,00 | 8,2    | 0,49   | 1,5     |           | 0,00 | 0,01   | 2,0     |           |
| 362 (2002/2003) | 2,0  | 2,1    | 0,00 | 14     | 34     | 0,09    | 0,02      |      | 0,00   | 34      | 34        |
| 362 (2006/2007) | 1,7  | 1,9    | 0,00 | 16     | 41     | 0,3     | 0,07      |      | 0,07   | 41      | 41        |
| 362 (2011/2012) | 1,7  | 1,8    | 0,32 | 12     | 26     | 0,52    | 0,13      | 0,43 | 0,03   | 27      | 27        |
| 362 (2017/2018) | 2,5  | 2,5    | 0,02 | 7,2    | 2,0    | 0,11    |           | 0,00 | 0,02   | 2,1     |           |
| 363 (2002/2003) | 0,44 | 0,49   |      |        | 10,0   | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 10,0    | 10,0      |
| 363 (2006/2007) | 0,93 | 0,95   | 0,00 | 2,4    | 2,1    | 0,00    | 0,00      |      | 0,04   | 2,2     | 2,2       |
| 363 (2011/2012) | 0,09 |        | 0,09 |        |        | 0,05    | 0,02      | 0,01 | 0,04   |         |           |
| 363 (2017/2018) | 2,1  | 2,1    | 0,07 | 0,99   | 1,9    | 0,05    |           | 0,00 | 0,03   | 2,0     |           |
| 364 (2002/2003) | 0,22 | 0,24   | 0,25 | 2,5    | 86     | 2,1     | 0,47      |      | 0,33   | 89      | 87        |
| 364 (2006/2007) | 0,42 | 0,44   | 0,27 | 2,7    | 91     | 1,9     | 0,44      | 0,00 | 0,77   | 94      | 92        |
| 364 (2011/2012) | 0,77 | 0,83   | 0,32 | 5,8    | 22     | 13      | 3,2       | 0,84 | 0,26   | 36      | 26        |
| 364 (2017/2018) | 0,92 | 0,93   | 0,03 | 0,55   | 57     | 5,6     |           | 0,02 | 0,14   | 63      |           |

Tab. 74: Einzelergebnisse an den Messpunkten 365 – 377

| MP              | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|-----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 365 (2002/2003) | 0,00 | 0,03   |      |        | 5,0    | 0,16    | 0,03      | 0,00 | 0,00   | 5,1     | 5,0       |
| 365 (2006/2007) | 0,00 | 0,03   | 0,00 | 2,8    | 2,5    | 1,3     | 0,3       | 0,00 | 0,00   | 3,9     | 2,9       |
| 365 (2011/2012) | 0,00 | 0,03   | 0,38 | 3,4    | 2,7    | 0,23    | 0,06      | 0,01 | 0,00   | 2,9     | 2,8       |
| 365 (2017/2018) | 0,00 | 0,00   | 0,01 | 0,36   | 0,37   | 1,5     |           | 0,00 | 0,01   | 1,9     |           |
| 366 (2002/2003) | 1,5  | 1,6    | 68   | 73     | 8,7    | 0,79    | 0,18      |      | 0,00   | 9,4     | 8,8       |
| 366 (2006/2007) | 0,75 | 0,84   | 8,4  | 17     | 4,3    | 0,31    | 0,07      | 0,00 | 0,00   | 4,6     | 4,4       |
| 366 (2011/2012) | 1,5  | 1,5    | 6,6  | 9,6    | 1,4    | 0,56    | 0,12      | 0,00 | 0,00   | 1,9     | 1,5       |
| 366 (2017/2018) | 2,1  | 2,1    | 8,2  | 11     | 0,14   | 0,06    |           | 0,00 | 0,02   | 0,23    |           |
| 367 (2002/2003) | 0,00 | 0,03   | 0,07 | 3,1    | 3,6    | 0,03    | 0,01      |      | 0,00   | 3,6     | 3,6       |
| 367 (2006/2007) | 0,08 | 0,13   | 0,05 | 5,0    | 1,7    | 0,01    | 0,00      | 0,00 | 0,00   | 1,7     | 1,7       |
| 367 (2011/2012) |      |        | 0,11 | 2,5    | 0,9    | 0,15    | 0,04      | 0,01 | 0,00   | 1,1     | 0,95      |
| 367 (2017/2018) | 0,00 | 0,01   | 0,04 | 0,57   | 0,25   | 0,02    |           | 0,00 | 0,00   | 0,28    |           |
| 368 (2002/2003) | 0,15 | 0,17   | 0,02 | 1,2    | 0,86   | 0,09    | 0,02      |      | 0,00   | 0,95    | 0,88      |
| 368 (2006/2007) | 0,56 | 0,59   | 0,32 | 3,6    | 3,5    | 0,59    | 0,14      |      | 0,02   | 4,1     | 3,6       |
| 368 (2011/2012) | 0,28 | 0,3    | 0,21 | 2,5    | 1,2    | 4,1     | 0,96      | 0,03 | 0,01   | 5,3     | 2,2       |
| 368 (2017/2018) | 0,53 | 0,56   | 0,02 | 2,3    | 0,87   | 1,4     |           | 0,01 | 0,01   | 2,3     |           |
| 369 (2002/2003) | 0,43 | 0,46   | 0,03 | 3,3    | 6,1    | 1,6     | 0,37      |      | 0,04   | 7,7     | 6,5       |
| 369 (2006/2007) | 0,83 | 0,87   | 0,04 | 3,7    | 1,9    | 2,0     | 0,43      | 0,00 | 0,04   | 3,9     | 2,3       |
| 369 (2011/2012) | 1,3  | 1,4    | 0,18 | 3,7    | 1,8    | 6,9     | 1,5       | 0,04 | 0,05   | 8,7     | 3,4       |
| 369 (2017/2018) | 1,1  | 1,1    | 0,07 | 1,1    | 0,6    | 0,86    |           | 0,03 | 0,08   | 1,6     |           |
| 370 (2002/2003) | 0,11 | 0,14   | 0,12 | 3,1    | 3,3    | 0,00    | 0,00      | 0,00 | 0,00   | 3,3     | 3,3       |
| 370 (2006/2007) | 0,08 | 0,12   | 0,05 | 3,6    | 2,0    | 0,1     | 0,02      | 0,00 | 0,03   | 2,1     | 2,0       |
| 370 (2011/2012) | 1,7  | 1,7    | 0,06 | 5,1    | 3,3    | 9,3     | 2,3       | 0,02 | 0,02   | 13      | 5,6       |
| 370 (2017/2018) | 0,58 | 0,59   | 0,31 | 1,4    | 2,4    | 3,5     |           | 0,03 | 0,00   | 5,9     |           |
| 371 (2002/2003) | 0,05 | 0,08   | 0,19 | 2,8    | 2,6    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 2,6     | 2,6       |
| 371 (2006/2007) | 0,03 | 0,07   | 0,35 | 3,7    | 4,6    | 0,00    | 0,00      | 0,00 | 0,01   | 4,6     | 4,6       |
| 371 (2011/2012) | 7,7  | 7,7    | 0,7  | 2,4    | 1,9    | 0,01    | 0,01      | 0,02 | 0,01   | 1,9     | 1,9       |
| 371 (2017/2018) | 0,07 | 0,13   | 0,44 | 7,0    | 4,1    | 0,00    |           | 0,00 | 0,00   | 4,1     |           |
| 372 (2002/2003) | 0,39 | 0,44   | 0,00 | 4,3    | 4,5    | 0,86    | 0,19      |      | 0,15   | 5,5     | 4,9       |
| 372 (2006/2007) | 0,55 | 0,59   | 0,08 | 3,9    | 5,5    | 1,8     | 0,43      |      | 0,23   | 7,5     | 6,1       |
| 372 (2011/2012) | 1,1  | 1,2    | 0,00 | 3,7    | 8,2    | 5,6     | 1,5       | 0,05 | 0,22   | 14      | 9,9       |
| 372 (2017/2018) | 0,59 | 0,59   | 0,00 | 0,68   | 22     | 1,0     |           | 0,00 | 0,08   | 23      |           |
| 373 (2002/2003) | 1,4  | 1,5    | 0,17 | 3,9    | 3,0    | 1,9     | 0,44      | 0,00 | 0,03   | 4,9     | 3,4       |
| 373 (2006/2007) | 1,9  | 2,0    | 0,69 | 4,5    | 1,7    | 38      | 10        |      | 0,05   | 40      | 12        |
| 373 (2011/2012) | 0,97 | 1,0    | 0,36 | 3,4    | 3,0    | 152     | 78        | 0,01 | 0,06   | 155     | 81        |
| 373 (2017/2018) | 0,22 | 0,23   | 0,77 | 1,5    | 11     | 37      |           | 0,08 | 0,01   | 48      |           |
| 374 (2002/2003) | 0,46 | 0,49   | 0,03 | 3,0    | 1,5    | 1,7     | 0,38      |      | 0,00   | 3,1     | 1,9       |
| 374 (2006/2007) | 0,49 | 0,54   | 0,38 | 5,2    | 1,7    | 3,2     | 0,74      |      | 0,09   | 5,0     | 2,5       |
| 374 (2011/2012) |      |        | 0,00 | 4,5    | 3,6    | 9,6     | 4,1       | 0,01 | 0,06   | 13      | 7,8       |
| 374 (2017/2018) | 0,27 | 0,3    | 0,00 | 3,2    | 2,7    | 0,42    |           | 0,03 | 0,01   | 3,1     |           |
| 375 (2002/2003) | 0,14 | 0,17   | 0,45 | 3,4    | 1,3    | 0,04    | 0,01      |      | 0,00   | 1,3     | 1,3       |
| 375 (2006/2007) | 1,0  | 1,1    | 0,78 | 3,9    | 1,1    | 0,1     | 0,02      | 0,01 | 0,05   | 1,2     | 1,2       |
| 375 (2011/2012) |      |        | 0,64 | 3,7    | 2,3    | 0,34    | 0,11      | 0,00 | 0,13   | 2,7     | 2,5       |
| 375 (2017/2018) | 3,8  | 3,8    | 0,57 | 4,7    | 2,1    | 6,6     |           | 0,00 | 0,00   | 8,8     |           |
| 376 (2002/2003) | 2,6  | 2,6    | 0,01 | 2,9    | 1,6    | 0,04    | 0,01      |      | 0,00   | 1,7     | 1,6       |
| 376 (2006/2007) | 2,7  | 2,7    | 0,04 | 3,4    | 0,86   | 0,52    | 0,13      | 0,00 | 0,03   | 1,4     | 1,0       |
| 376 (2011/2012) | 4,0  | 4,0    | 0,03 | 2,6    | 0,47   | 0,54    | 0,13      | 0,00 | 0,01   | 1,0     | 0,62      |
| 376 (2017/2018) | 1,9  | 1,9    | 0,03 | 4,1    | 0,18   | 0,44    |           | 0,00 | 0,02   | 0,64    |           |
| 377 (2002/2003) | 0,24 | 0,27   | 0,00 | 2,7    | 10     | 0,07    | 0,02      |      | 0,46   | 11      | 11        |
| 377 (2006/2007) | 1,7  | 1,7    | 0,00 | 3,7    | 1,4    | 52      | 12        |      | 5,8    | 59      | 19        |
| 377 (2011/2012) | 2,2  | 2,2    | 0,33 | 3,2    | 0,78   | 65      | 16        | 0,00 | 0,89   | 67      | 18        |
| 377 (2017/2018) | 2,5  | 2,6    | 0,02 | 3,5    | 0,06   | 20      |           | 0,00 | 0,23   | 20      |           |

Tab. 75: Einzelergebnisse an den Messpunkten 378 – 390

| MP              | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|-----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 378 (2002/2003) | 0,79 | 0,81   | 0,00 | 2,2    | 2,0    | 36      | 7,6       |      | 0,00   | 38      | 9,6       |
| 378 (2006/2007) | 0,93 | 0,99   | 0,29 | 6,2    | 4,4    | 7,7     | 1,8       |      | 0,73   | 13      | 6,9       |
| 378 (2011/2012) | 1,4  | 1,4    | 0,03 | 2,2    | 0,33   | 32      | 7,4       | 0,01 | 0,5    | 32      | 8,3       |
| 378 (2017/2018) | 1,8  | 1,8    | 0,00 | 3,2    | 0,29   | 66      |           | 0,00 | 0,04   | 66      |           |
| 379 (2002/2003) | 0,24 | 0,27   | 0,00 | 2,9    | 2,2    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 2,2     | 2,2       |
| 379 (2006/2007) | 0,92 | 0,97   | 0,00 | 5,4    | 1,6    | 0,01    | 0         |      | 0,00   | 1,7     | 1,6       |
| 379 (2011/2012) | 0,77 | 0,8    | 0,84 | 4,0    | 6,4    | 0,15    | 0,13      | 0,01 | 0,21   | 6,8     | 6,7       |
| 379 (2017/2018) | 0,08 | 0,08   | 0,00 | 0,85   | 0,56   | 0,04    |           | 0,00 | 0,02   | 0,62    |           |
| 380 (2002/2003) | 1,9  | 1,9    | 0,05 | 2,8    | 1,2    | 1,1     | 0,26      |      | 0,00   | 2,3     | 1,5       |
| 380 (2006/2007) | 2,6  | 2,6    | 0,03 |        | 1,5    | 1,1     | 0,25      | 0,00 | 0,02   | 2,6     | 1,7       |
| 380 (2011/2012) | 1,1  | 1,1    | 0,05 | 3,0    | 0,75   | 3,3     | 1,5       | 0,04 | 0,38   | 4,5     | 2,6       |
| 380 (2017/2018) | 3,6  | 3,6    | 0,01 | 0,92   | 1,0    | 1,1     |           | 0,00 | 0,01   | 2,1     |           |
| 381 (2002/2003) | 1,5  | 1,5    | 0,00 | 2,9    | 1,7    | 0,2     | 0,05      |      | 0,00   | 1,9     | 1,8       |
| 381 (2006/2007) | 2,3  | 2,4    | 0,00 | 3,1    | 1,0    | 0,17    | 0,04      | 0,00 | 0,02   | 1,2     | 1,1       |
| 381 (2011/2012) |      |        | 0,06 | 2,1    | 0,46   | 0,24    | 0,06      | 0,00 | 0,03   | 0,73    | 0,55      |
| 381 (2017/2018) | 3,3  | 3,4    | 0,00 | 5,2    | 0,08   | 0,05    |           | 0,01 | 0,00   | 0,14    |           |
| 382 (2002/2003) | 0,25 | 0,28   | 0,00 | 2,4    | 1,3    | 8,2     | 1,7       |      | 0,00   | 9,4     | 3,0       |
| 382 (2006/2007) | 2,6  | 2,7    | 0,12 | 3,1    | 1,1    | 19      | 4,0       |      | 0,03   | 20      | 5,1       |
| 382 (2011/2012) | 2,3  | 2,4    | 7,7  | 11     | 0,42   | 7,4     | 1,8       | 0,01 | 0,03   | 7,8     | 2,2       |
| 382 (2017/2018) | 1,1  | 1,1    | 0,00 | 1,8    | 0,16   | 1,5     |           | 0,00 | 0,07   | 1,7     |           |
| 383 (2002/2003) | 0,15 | 0,2    | 0,05 | 4,7    | 7,8    | 133     | 28        |      | 0,00   | 141     | 36        |
| 383 (2006/2007) | 4,1  | 4,2    | 0,07 | 9,9    | 9,1    | 154     | 33        |      | 0,05   | 163     | 42        |
| 383 (2011/2012) | 3,0  | 3,0    | 0,09 | 3,2    | 1,9    | 25      | 8,4       | 0,15 | 0,07   | 27      | 10        |
| 383 (2017/2018) | 3,9  | 3,9    | 0,12 | 0,98   | 1,5    | 30      |           | 0,00 | 0,01   | 32      |           |
| 384 (2002/2003) | 0,53 | 0,56   | 3,6  | 6,4    | 4,4    | 0,47    | 0,11      |      | 0,00   | 4,9     | 4,5       |
| 384 (2006/2007) | 2,3  | 2,3    | 0,11 | 3,5    | 1,3    | 0,5     | 0,12      |      | 0,00   | 1,8     | 1,4       |
| 384 (2011/2012) | 0,42 | 0,44   | 0,37 | 1,9    | 0,54   | 1,1     | 0,26      | 0,03 | 0,00   | 1,7     | 0,82      |
| 384 (2017/2018) | 0,87 | 0,88   | 0,4  | 1,4    | 0,33   | 0,57    |           | 0,00 | 0,01   | 0,91    |           |
| 385 (2002/2003) |      |        | 0,05 | 4,2    | 9,6    | 0,05    | 0,01      |      | 0,62   | 10      | 10        |
| 385 (2006/2007) | 0,81 | 0,85   | 0,12 |        | 1,3    | 7,2     | 1,7       |      | 0,01   | 8,4     | 3,0       |
| 385 (2011/2012) | 0,45 | 0,48   | 0,16 | 3,1    | 0,99   | 15      | 12        | 0,01 | 0,05   | 16      | 13        |
| 385 (2017/2018) | 0,85 | 0,86   | 0,03 | 1,5    | 0,17   | 1,6     |           | 0,00 | 0,01   | 1,8     |           |
| 386 (2002/2003) |      |        | 0,03 | 3,6    | 2,5    | 0,37    | 0,08      |      | 0,15   | 3,0     | 2,7       |
| 386 (2006/2007) | 1    | 1,0    | 0,06 | 3,7    | 3,5    | 1,1     | 0,26      |      | 0,06   | 4,7     | 3,8       |
| 386 (2011/2012) | 2,0  | 2,0    | 0,05 | 2,6    | 1,1    | 1,8     | 0,46      | 0,09 | 0,08   | 3,1     | 1,7       |
| 386 (2017/2018) | 1,7  | 1,7    | 0,03 | 2,8    | 1,1    | 0,72    |           | 0,14 | 0,08   | 2,0     |           |
| 387 (2002/2003) | 0    | 0,02   | 0,00 | 2,1    | 1,6    | 0,71    | 0,16      |      | 0,00   | 2,3     | 1,8       |
| 387 (2006/2007) | 0,02 | 0,04   | 0,00 | 2,1    | 1,7    | 2,5     | 0,57      |      | 0,00   | 4,2     | 2,3       |
| 387 (2011/2012) | 0,00 | 0,03   | 0,06 | 3,4    | 3,8    | 25      | 5,9       | 0,02 | 0,01   | 29      | 9,7       |
| 387 (2017/2018) | 0,00 | 0,01   | 0,00 | 0,66   | 0,84   | 0,73    |           | 0,03 | 0,00   | 1,6     |           |
| 388 (2002/2003) | 0,35 | 0,41   | 0,04 | 5,5    | 4,5    | 0,1     | 0,02      |      | 0,00   | 4,6     | 4,5       |
| 388 (2006/2007) | 2,8  | 2,9    | 0,03 | 4,6    | 1,7    | 0,54    | 0,12      |      | 0,03   | 2,2     | 1,8       |
| 388 (2011/2012) | 2,8  | 2,9    | 0,02 | 4,5    | 0,99   | 0,78    | 0,19      | 0,00 | 0,01   | 1,8     | 1,2       |
| 388 (2017/2018) | 2,6  | 2,6    | 0,00 | 1,5    | 0,23   | 0,21    |           | 0,00 | 0,00   | 0,44    |           |
| 389 (2002/2003) | 1,6  | 1,7    | 0,06 | 2,8    | 1,5    | 1,0     | 0,24      | 0,00 | 0,00   | 2,5     | 1,7       |
| 389 (2006/2007) | 1,4  | 1,4    | 0,03 | 2,8    | 0,71   | 2,2     | 0,56      |      | 0,03   | 3,0     | 1,3       |
| 389 (2011/2012) | 1,4  | 1,5    | 0,14 | 4,1    | 0,42   | 0,11    | 0,03      | 0,01 | 0,09   | 0,63    | 0,55      |
| 389 (2017/2018) | 1,1  | 1,1    | 0,02 | 0,87   | 0,18   | 0,06    |           | 0,00 | 0,03   | 0,27    |           |
| 390 (2002/2003) | 0,25 | 0,28   | 0,13 | 2,9    | 1,6    | 0,02    | 0,01      |      | 0,00   | 1,6     | 1,6       |
| 390 (2006/2007) | 0,14 | 0,18   | 0,45 | 3,7    | 1,3    | 0,13    | 0,03      | 0,02 | 0,06   | 1,5     | 1,4       |
| 390 (2011/2012) | 0,36 | 0,38   | 0,31 | 2,8    | 0,75   | 0,17    | 0,09      | 0,01 | 0,02   | 0,94    | 0,87      |
| 390 (2017/2018) | 0,69 | 0,7    | 0,4  | 1,8    | 0,31   | 0,06    |           | 0,00 | 0,00   | 0,38    |           |



Tab. 76: Einzelergebnisse an den Messpunkten 391 – 403

| MP              | NF B | B ges. | NF E | E ges. | Rundf. | Mobilf. | Mobilf. ▼ | BOS  | Sonst. | HF ges. | HF ges. ▼ |
|-----------------|------|--------|------|--------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 391 (2002/2003) | 0,98 | 1,0    | 7,7  | 10     | 17     | 0,05    | 0,01      |      | 0,25   | 17      | 17        |
| 391 (2006/2007) | 1,1  | 1,2    | 6,0  |        | 2,3    | 0,22    | 0,05      |      | 0,00   | 2,5     | 2,3       |
| 391 (2011/2012) | 3,4  | 3,4    | 34   | 37     | 4,5    | 0,29    | 0,07      | 0,12 | 0,00   | 4,9     | 4,7       |
| 391 (2017/2018) | 1,2  | 1,3    | 6,7  | 13     | 0,77   | 0,13    |           | 0,00 | 0,00   | 0,9     |           |
| 392 (2002/2003) | 0,00 | 0,04   | 0,00 | 3,5    | 5,3    | 0,00    | 0,00      | 0,00 | 0,06   | 5,4     | 5,4       |
| 392 (2006/2007) | 0,00 | 0,04   | 0,00 | 3,6    | 3,4    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 3,4     | 3,4       |
| 392 (2011/2012) | 0,04 | 0,07   | 0,00 | 2,5    | 0,96   | 0,01    | 0,00      | 0,01 | 0,00   | 0,99    | 0,98      |
| 392 (2017/2018) | 0,06 | 0,06   | 0,00 | 0,48   | 1,6    | 0,07    |           | 0,00 | 0,00   | 1,6     |           |
| 393 (2002/2003) | 0,71 | 0,76   | 0,04 | 5,0    | 4,9    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 4,9     | 4,9       |
| 393 (2006/2007) | 3,0  | 3,1    | 0,08 | 4,5    | 3,7    | 0,00    | 0,00      |      | 0,07   | 3,7     | 3,7       |
| 393 (2011/2012) | 2,2  | 2,2    | 0,79 | 5,4    | 5,2    | 0,03    | 0,02      | 0,01 | 0,18   | 5,4     | 5,4       |
| 393 (2017/2018) | 2,4  | 2,4    | 0,17 | 1,7    | 0,71   | 0,03    |           | 0,00 | 0,01   | 0,75    |           |
| 394 (2002/2003) | 0,02 | 0,1    | 0,03 | 7,7    | 15     | 0,59    | 0,13      | 0,00 | 0,05   | 15      | 15        |
| 394 (2006/2007) | 0,05 | 0,11   | 0,00 | 6,6    | 14     | 1,5     | 0,34      | 0,00 | 0,04   | 15      | 14        |
| 394 (2011/2012) | 0,01 | 0,06   | 0,18 | 4,7    | 18     | 4,8     | 1,2       | 0,01 | 0,1    | 22      | 19        |
| 394 (2017/2018) | 0,00 | 0,01   | 0,02 | 0,55   | 2,8    | 2,2     |           | 0,00 | 0,01   | 5,0     |           |
| 395 (2002/2003) | 0,05 | 0,08   | 0,00 | 3,2    | 4,2    | 0,07    | 0,02      |      | 0,00   | 4,2     | 4,2       |
| 395 (2006/2007) | 0,08 | 0,11   | 0,16 |        | 2,8    | 0,00    | 0,00      |      | 0,03   | 2,8     | 2,8       |
| 395 (2011/2012) | 0,12 | 0,14   | 0,00 | 1,8    | 1,5    | 0,11    | 0,11      | 0,23 | 0,03   | 1,9     | 1,9       |
| 395 (2017/2018) | 0,11 | 0,12   | 0,03 | 1,3    | 2,4    | 0,01    |           | 0,00 | 0,00   | 2,4     |           |
| 396 (2002/2003) | 4,1  | 4,2    | 0,04 | 7,3    | 24     | 19      | 4,4       |      | 1,6    | 44      | 30        |
| 396 (2006/2007) | 5,3  | 5,3    | 0,25 |        | 11     | 41      | 9,9       |      | 0,43   | 53      | 22        |
| 396 (2011/2012) | 6,0  | 6,1    | 0,15 | 9,0    | 7,9    | 40      | 9,7       | 0,00 | 0,06   | 48      | 18        |
| 396 (2017/2018) | 6,8  | 6,9    | 0,01 | 14     | 0,31   | 30      |           | 0,00 | 0,00   | 30      |           |
| 397 (2002/2003) | 1,5  | 1,7    | 0,03 | 14     | 44     | 4,6     | 0,92      |      | 0,22   | 49      | 45        |
| 397 (2006/2007) | 3,3  | 3,4    | 0,2  | 8,8    | 31     | 0,86    | 0,2       | 0,00 | 0,02   | 32      | 31        |
| 397 (2011/2012) | 0,83 | 0,98   | 0,05 | 14     | 12     | 10      | 2,4       | 1,3  | 0,02   | 23      | 15        |
| 397 (2017/2018) | 3,5  | 3,5    | 0,00 | 0,86   | 1,7    | 4,1     |           | 0,1  | 0,00   | 5,9     |           |
| 398 (2002/2003) |      |        | 0,00 | 3,7    | 2,9    | 0,14    | 0,03      |      | 0,05   | 3,1     | 3,0       |
| 398 (2006/2007) | 1,9  | 1,9    | 0,25 | 4,3    | 5,1    | 4,3     | 0,98      | 0,00 | 0,04   | 9,4     | 6,1       |
| 398 (2011/2012) | 2,4  | 2,5    | 0,08 | 3,1    | 1,5    | 4,9     | 1,2       | 0,01 | 0,05   | 6,4     | 2,8       |
| 398 (2017/2018) | 3,0  | 3,0    | 0,00 | 0,58   | 0,82   | 2,8     |           | 0,00 | 0,01   | 3,6     |           |
| 399 (2002/2003) | 0,69 | 0,71   | 0,00 | 2,6    | 3,7    | 1,4     | 0,29      |      | 0,11   | 5,2     | 4,1       |
| 399 (2006/2007) | 4,4  | 4,4    | 0,23 | 3,4    | 1,2    | 15      | 3,4       | 0,00 | 0,09   | 16      | 4,7       |
| 399 (2011/2012) | 3,7  | 3,7    | 0,03 | 2,1    | 0,93   | 41      | 9,5       | 3,8  | 0,06   | 45      | 14        |
| 399 (2017/2018) | 3,5  | 3,5    | 0,14 | 1,5    | 0,61   | 8,0     |           | 0,19 | 0,00   | 8,8     |           |
| 400 (2002/2003) | 1,9  | 1,9    | 0,00 | 3,4    | 3,5    | 0,00    | 0,00      |      | 0,00   | 3,5     | 3,5       |
| 400 (2006/2007) | 3,8  | 3,8    | 0,55 | 3,4    | 2,0    | 4,6     | 1,2       | 0,00 | 0,02   | 6,6     | 3,2       |
| 400 (2011/2012) | 2,7  | 2,7    | 0,43 | 2,9    | 0,95   | 12      | 3,2       | 0,02 | 0,01   | 13      | 4,2       |
| 400 (2017/2018) | 6,4  | 6,4    | 0,07 | 0,83   | 0,65   | 3,7     |           | 0,00 | 0,01   | 4,4     |           |
| 401 (2002/2003) | 4,3  | 4,3    | 0,00 | 2,8    | 1,5    | 4,1     | 0,96      |      | 0,00   | 5,6     | 2,4       |
| 401 (2006/2007) | 2,8  | 2,8    | 0,00 | 3,2    | 1,2    | 3,4     | 0,79      |      | 0,02   | 4,7     | 2,0       |
| 401 (2011/2012) | 1,4  | 1,5    | 0,06 | 2,1    | 1,5    | 3,3     | 0,82      | 0,05 | 0,03   | 4,8     | 2,4       |
| 401 (2017/2018) | 3,3  | 3,3    | 0,26 | 1,1    | 1,9    | 0,93    |           | 0,02 | 0,01   | 2,8     |           |
| 402 (2002/2003) | 0,65 | 0,67   | 0,00 | 2,2    | 0,77   | 2,3     | 0,52      |      | 0,00   | 3,1     | 1,3       |
| 402 (2006/2007) | 1,9  | 2,0    | 0,00 | 4,9    | 2,6    | 2,4     | 0,53      | 0,00 | 0,08   | 5,1     | 3,2       |
| 402 (2011/2012) | 0,57 | 0,59   | 0,00 | 1,8    | 1,2    | 5,2     | 1,1       | 0,01 | 0,05   | 6,5     | 2,4       |
| 402 (2017/2018) | 0,48 | 0,49   | 0,04 | 1,1    | 4,5    | 2,3     |           | 0,00 | 0,00   | 6,8     |           |
| 403 (2002/2003) | 1,7  | 1,8    | 0,06 | 8,7    | 17     | 2,0     | 0,45      |      | 0,03   | 19      | 17        |
| 403 (2006/2007) | 1,4  | 1,5    | 0,05 | 4,6    | 10     | 16      | 4,2       |      | 0,04   | 26      | 15        |
| 403 (2011/2012) | 0,65 | 0,69   | 5,1  | 9,9    | 9,5    | 70      | 20        | 0,05 | 0,16   | 79      | 29        |
| 403 (2017/2018) | 1,7  | 1,7    | 0,62 | 1,3    | 3,0    | 49      |           | 0,01 | 0,06   | 52      |           |

## C Auswertung mit ICNIRP-Referenzwerten von 1998

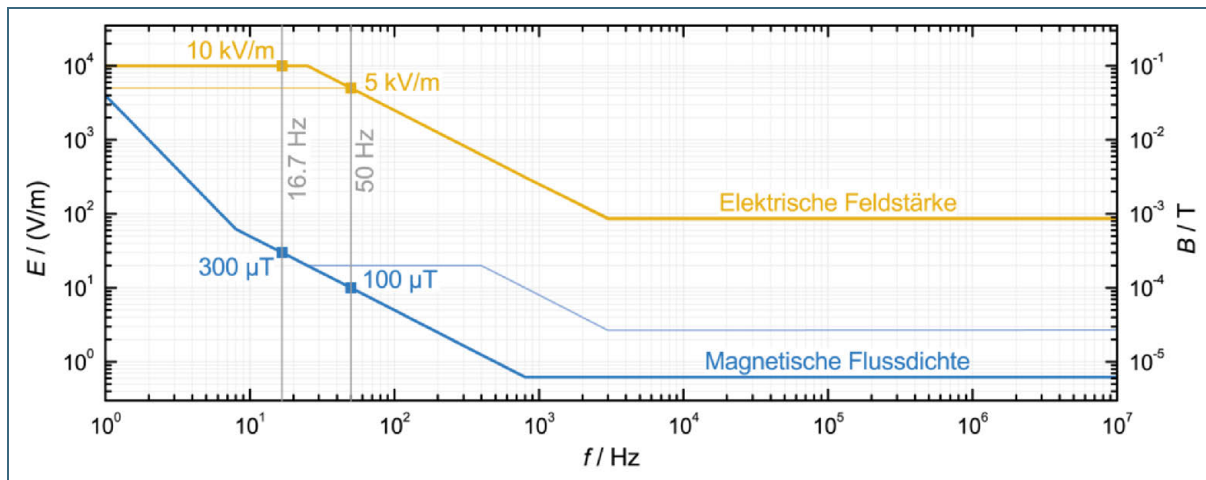


Abb. 86: Grenzwertempfehlungen nach ICNIRP-Guidelines aus dem Jahr 1998 [9] für elektrische und magnetische Felder im Frequenzbereich der Stimulationswirkungen. Datenpunkte: Werte für die Frequenzen der elektrischen Energieversorgung. Zum Vergleich zeigen die hellen Kurven die aktuellen Grenzwerte der 26. BImSchV [13].

Dieser Bericht basiert hinsichtlich der Bewertung der Immissionssituation auf den Grenzwerten der 26. BImSchV aus dem Jahr 2013 [13]. Die früheren Berichte zum EMF-Monitoring hatten dagegen die Fassung aus dem Jahr 1996 [19] als Grundlage. Im Bereich der Stimulationswirkungen waren darin nur die Frequenzen 16,7 Hz und 50 Hz geregelt. Für die Bewertung der restlichen Frequenzen bis 10 MHz wurde deshalb auf die EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG aus dem Jahr 1999 [20] zurückgegriffen, die wiederum auf den Empfehlungen der ICNIRP von 1998 [9] basiert.

Die ICNIRP-Empfehlungen von 1998 und die Grenzwerte der 26. BImSchV 2013 unterscheiden sich im Bereich der Stimulationswirkungen. Die wesentlichen Unterschiede sind (siehe auch Abb. 86):

- Die Grenzwerte für das elektrische Feld wurden im Frequenzbereich bis 50 Hz auf 5 kV/m abgesenkt. Für die Immissionen der Bahnenergieversorgung bei 16,7 Hz ergeben sich deshalb bei Auswertung mit den Grenzwerten der aktuell gültigen 26. BImSchV doppelt so hohe Ausschöpfungsgrade wie mit den ICNIRP-Empfehlungen von 1998.
- Die Grenzwerte für das magnetische Feld wurden ab 25 Hz – jedoch exklusive der Energieversorgung bei 50 Hz – angehoben. Grenzwertausschöpfungen für das magnetische Feld sind deshalb tendenziell niedriger, wenn sie nach 26. BImSchV 2013 bewertet werden.

Dieser Kapitel soll die Vergleichbarkeit mit früheren Messberichten erleichtern. Er enthält alle Grenzwertausschöpfungen im Stimulationswirkungsbereich, wie sie sich bei Anwendung der ICNIRP-1998-Empfehlung ergeben.

## C.1 Ergebnisse der Stimulationswirkung; Exposition durch magnetische Felder

Tab. 77: Statistische Kenndaten der nicht-thermischen Ausschöpfungsgrade niederfrequenter magnetischer Felder (bis 32 kHz).

|                                     | AVG         | MIN    | MAX    | SD    |
|-------------------------------------|-------------|--------|--------|-------|
| <b>Messreihe 2002/2003</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 22,47       | 12,96  | 44,32  | 30,89 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,86</b> | 1,49   | 2,26   | 0,44  |
| Standardabweichung                  | 2,69        | 2,10   | 3,68   | 1,74  |
| Variationskoeffizient               | 1,45        | 1,41   | 1,63   | 3,98  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,91</b> | 0,70   | 1,08   | 0,15  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 2,25        | 2,35   | 2,21   | 2,25  |
| <b>Messreihe 2006/2007</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 19,94       | 18,96  | 20,59  | 3,38  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>2,13</b> | 1,79   | 2,52   | 0,38  |
| Standardabweichung                  | 2,74        | 2,44   | 3,11   | 0,50  |
| Variationskoeffizient               | 1,29        | 1,36   | 1,24   | 1,31  |
| <b>Median</b>                       | <b>1,18</b> | 0,92   | 1,46   | 0,20  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 2,16        | 2,33   | 2,01   | 1,93  |
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 152,06      | 117,92 | 170,54 | 60,91 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>3,44</b> | 2,49   | 4,38   | 1,00  |
| Standardabweichung                  | 11,95       | 9,00   | 15,49  | 4,83  |
| Variationskoeffizient               | 3,47        | 3,62   | 3,54   | 4,83  |
| <b>Median</b>                       | <b>1,19</b> | 0,92   | 1,41   | 0,18  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 2,25        | 2,29   | 2,17   | 2,24  |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 19,73       | 18,84  | 20,52  | 6,43  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>2,54</b> | 2,20   | 2,91   | 0,37  |
| Standardabweichung                  | 3,04        | 2,75   | 3,42   | 0,54  |
| Variationskoeffizient               | 1,20        | 1,25   | 1,18   | 1,47  |
| <b>Median</b>                       | <b>1,33</b> | 1,10   | 1,52   | 0,17  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 2,45        | 2,65   | 2,49   | 2,40  |

Tab. 78: Statistische Kenndaten der Ausschöpfungsgrade für Stimulationswirkungen durch Magnetfeldexposition von Lang-, Mittel- und Kurzweile.

|                                     | AVG         | MIN  | MAX  | SD   |
|-------------------------------------|-------------|------|------|------|
| <b>Messreihe 2002/2003</b>          |             |      |      |      |
| höchster Wert der Messorte          | 1,29        | 1,20 | 1,36 | 0,30 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,17</b> | 0,14 | 0,21 | 0,02 |
| Standardabweichung                  | 0,13        | 0,12 | 0,15 | 0,02 |
| Variationskoeffizient               | 0,74        | 0,80 | 0,71 | 1,23 |
| <b>Median</b>                       | <b>0,14</b> | 0,12 | 0,17 | 0,01 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 0,59        | 0,59 | 0,61 | 0,91 |
| <b>Messreihe 2006/2007</b>          |             |      |      |      |
| höchster Wert der Messorte          | 1,06        | 1,00 | 1,30 | 0,37 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,19</b> | 0,16 | 0,24 | 0,02 |
| Standardabweichung                  | 0,12        | 0,11 | 0,17 | 0,03 |
| Variationskoeffizient               | 0,65        | 0,69 | 0,69 | 1,53 |
| <b>Median</b>                       | <b>0,16</b> | 0,13 | 0,19 | 0,01 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 0,57        | 0,56 | 0,64 | 1,06 |
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |             |      |      |      |
| höchster Wert der Messorte          | 0,94        | 0,85 | 1,13 | 0,14 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,16</b> | 0,13 | 0,19 | 0,02 |
| Standardabweichung                  | 0,12        | 0,10 | 0,15 | 0,02 |
| Variationskoeffizient               | 0,79        | 0,80 | 0,80 | 1,12 |
| <b>Median</b>                       | <b>0,11</b> | 0,10 | 0,14 | 0,01 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 0,63        | 0,61 | 0,69 | 1,14 |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |             |      |      |      |
| höchster Wert der Messorte          | 1,50        | 1,50 | 1,50 | 0,00 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>0,10</b> | 0,10 | 0,10 | 0,00 |
| Standardabweichung                  | 0,13        | 0,13 | 0,13 | 0,00 |
| Variationskoeffizient               | 1,34        | 1,34 | 1,34 | —    |
| <b>Median</b>                       | <b>0,05</b> | 0,05 | 0,05 | 0,00 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 1,67        | 1,67 | 1,67 | —    |

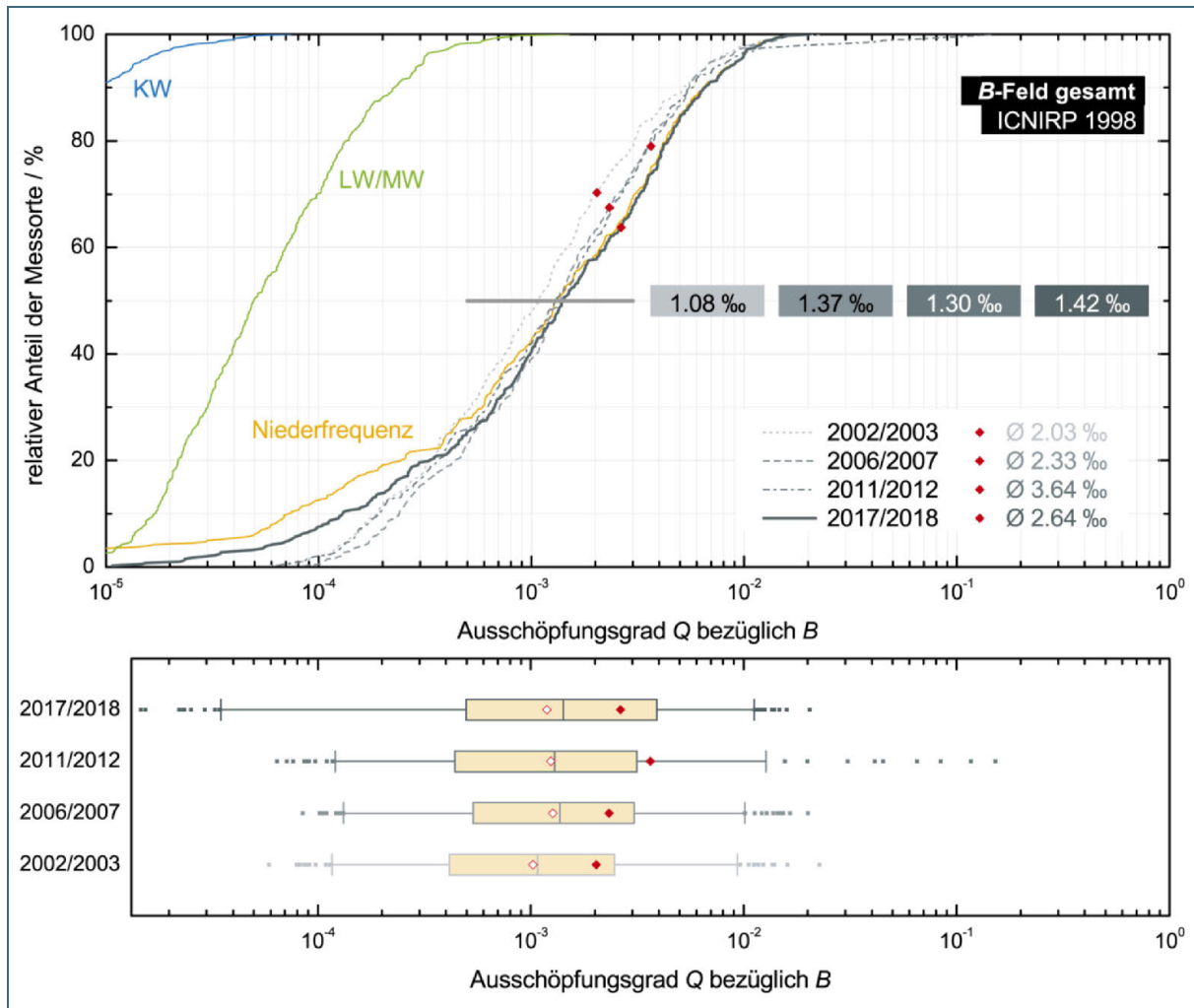


Abb. 87: Verteilung der Ausschöpfungsgrade magnetischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (Gesamtbereich bis 10 MHz). Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.

Tab. 79: Statistische Kenndaten der Gesamtexposition bei Stimulationswirkungen durch magnetische Felder.

|                                     | AVG         | MIN    | MAX    | SD    |
|-------------------------------------|-------------|--------|--------|-------|
| <b>Messreihe 2002/2003</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 22,67       | 13,25  | 44,56  | 30,89 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>2,03</b> | 1,44   | 2,17   | 0,39  |
| Standardabweichung                  | 2,72        | 2,04   | 3,54   | 1,63  |
| Variationskoeffizient               | 1,34        | 1,42   | 1,63   | 4,23  |
| <b>Median</b>                       | <b>1,08</b> | 0,63   | 0,99   | 0,11  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 1,92        | 2,36   | 2,19   | 2,80  |
| <b>Messreihe 2006/2007</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 20,04       | 19,06  | 20,72  | 3,38  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>2,33</b> | 1,95   | 2,76   | 0,39  |
| Standardabweichung                  | 2,77        | 2,47   | 3,15   | 0,50  |
| Variationskoeffizient               | 1,19        | 1,27   | 1,14   | 1,29  |
| <b>Median</b>                       | <b>1,37</b> | 1,07   | 1,67   | 0,21  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 1,84        | 2,00   | 1,75   | 1,88  |
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 152,14      | 117,99 | 170,62 | 60,91 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>3,64</b> | 2,38   | 4,15   | 0,91  |
| Standardabweichung                  | 12,16       | 8,60   | 14,80  | 4,60  |
| Variationskoeffizient               | 3,34        | 3,61   | 3,56   | 5,07  |
| <b>Median</b>                       | <b>1,30</b> | 0,84   | 1,36   | 0,15  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 2,10        | 2,51   | 2,25   | 2,52  |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |             |        |        |       |
| höchster Wert der Messorte          | 20,36       | 19,47  | 21,15  | 6,43  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>2,64</b> | 2,30   | 3,01   | 0,37  |
| Standardabweichung                  | 3,06        | 2,77   | 3,44   | 0,54  |
| Variationskoeffizient               | 1,16        | 1,20   | 1,14   | 1,47  |
| <b>Median</b>                       | <b>1,42</b> | 1,19   | 1,62   | 0,17  |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 2,40        | 2,46   | 2,37   | 2,40  |

## C.2 Ergebnisse der Stimulationswirkung; Exposition durch elektrische Felder

Tab. 80: Statistische Kenndaten der nicht-thermischen Ausschöpfungsgrade niederfrequenter elektrischer Felder (bis 32 kHz).

|                                     | AVG         | MIN    | MAX    | SD     |
|-------------------------------------|-------------|--------|--------|--------|
| <b>Messreihe 2002/2003</b>          |             |        |        |        |
| höchster Wert der Messorte          | 288,81      | 257,64 | 340,10 | 58,18  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,52</b> | 1,26   | 1,91   | 0,35   |
| Standardabweichung                  | 15,74       | 13,74  | 19,27  | 3,79   |
| Variationskoeffizient               | 10,32       | 10,94  | 10,10  | 10,89  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,03</b> | 0,02   | 0,03   | 0,00   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 3,24        | 3,11   | 3,43   | 20,93  |
| <b>Messreihe 2006/2007</b>          |             |        |        |        |
| höchster Wert der Messorte          | 292,48      | 173,93 | 381,69 | 106,94 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,32</b> | 0,91   | 1,70   | 0,42   |
| Standardabweichung                  | 14,97       | 9,17   | 19,46  | 5,39   |
| Variationskoeffizient               | 11,36       | 10,11  | 11,46  | 12,89  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,05</b> | 0,03   | 0,08   | 0,02   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 2,61        | 2,72   | 2,56   | 3,59   |
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |             |        |        |        |
| höchster Wert der Messorte          | 250,72      | 172,51 | 331,49 | 79,52  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>1,30</b> | 1,01   | 1,61   | 0,31   |
| Standardabweichung                  | 12,94       | 9,16   | 16,88  | 3,97   |
| Variationskoeffizient               | 9,92        | 9,03   | 10,49  | 12,99  |
| <b>Median</b>                       | <b>0,08</b> | 0,04   | 0,12   | 0,02   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 2,61        | 2,98   | 2,51   | 2,80   |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |             |        |        |        |
| höchster Wert der Messorte          | 459,83      | 427,79 | 476,29 | 27,75  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>2,02</b> | 1,86   | 2,16   | 0,17   |
| Standardabweichung                  | 24,77       | 23,11  | 25,73  | 1,59   |
| Variationskoeffizient               | 12,25       | 12,42  | 11,90  | 9,61   |
| <b>Median</b>                       | <b>0,03</b> | 0,03   | 0,04   | 0,00   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 3,36        | 3,32   | 3,61   | 18,05  |



Tab. 81: Statistische Kenndaten der Ausschöpfungsgrade für Stimulationswirkungen durch elektrische Felder der Lang-, Mittel- und Kurzwelle.

|                                     | AVG         | MIN   | MAX   | SD   |
|-------------------------------------|-------------|-------|-------|------|
| <b>Messreihe 2002/2003</b>          |             |       |       |      |
| höchster Wert der Messorte          | 27,74       | 25,91 | 29,33 | 6,39 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>3,69</b> | 3,12  | 4,47  | 0,34 |
| Standardabweichung                  | 2,73        | 2,48  | 3,18  | 0,42 |
| Variationskoeffizient               | 0,74        | 0,80  | 0,71  | 1,23 |
| <b>Median</b>                       | <b>2,95</b> | 2,48  | 3,66  | 0,23 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 0,59        | 0,59  | 0,61  | 0,91 |
| <b>Messreihe 2006/2007</b>          |             |       |       |      |
| höchster Wert der Messorte          | 22,82       | 21,50 | 28,10 | 7,92 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>4,16</b> | 3,47  | 5,24  | 0,46 |
| Standardabweichung                  | 2,68        | 2,40  | 3,63  | 0,70 |
| Variationskoeffizient               | 0,65        | 0,69  | 0,69  | 1,53 |
| <b>Median</b>                       | <b>3,49</b> | 2,85  | 4,18  | 0,27 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 0,57        | 0,56  | 0,64  | 1,06 |
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |             |       |       |      |
| höchster Wert der Messorte          | 20,27       | 18,20 | 24,36 | 3,01 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>3,37</b> | 2,81  | 4,18  | 0,37 |
| Standardabweichung                  | 2,65        | 2,24  | 3,33  | 0,41 |
| Variationskoeffizient               | 0,79        | 0,80  | 0,80  | 1,12 |
| <b>Median</b>                       | <b>2,46</b> | 2,06  | 3,02  | 0,22 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 0,63        | 0,61  | 0,69  | 1,14 |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |             |       |       |      |
| höchster Wert der Messorte          | 32,34       | 32,34 | 32,34 | 0,00 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>2,13</b> | 2,13  | 2,13  | 0,00 |
| Standardabweichung                  | 2,85        | 2,85  | 2,85  | 0,00 |
| Variationskoeffizient               | 1,34        | 1,34  | 1,34  | —    |
| <b>Median</b>                       | <b>1,18</b> | 1,18  | 1,18  | 0,00 |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 1,67        | 1,67  | 1,67  | —    |

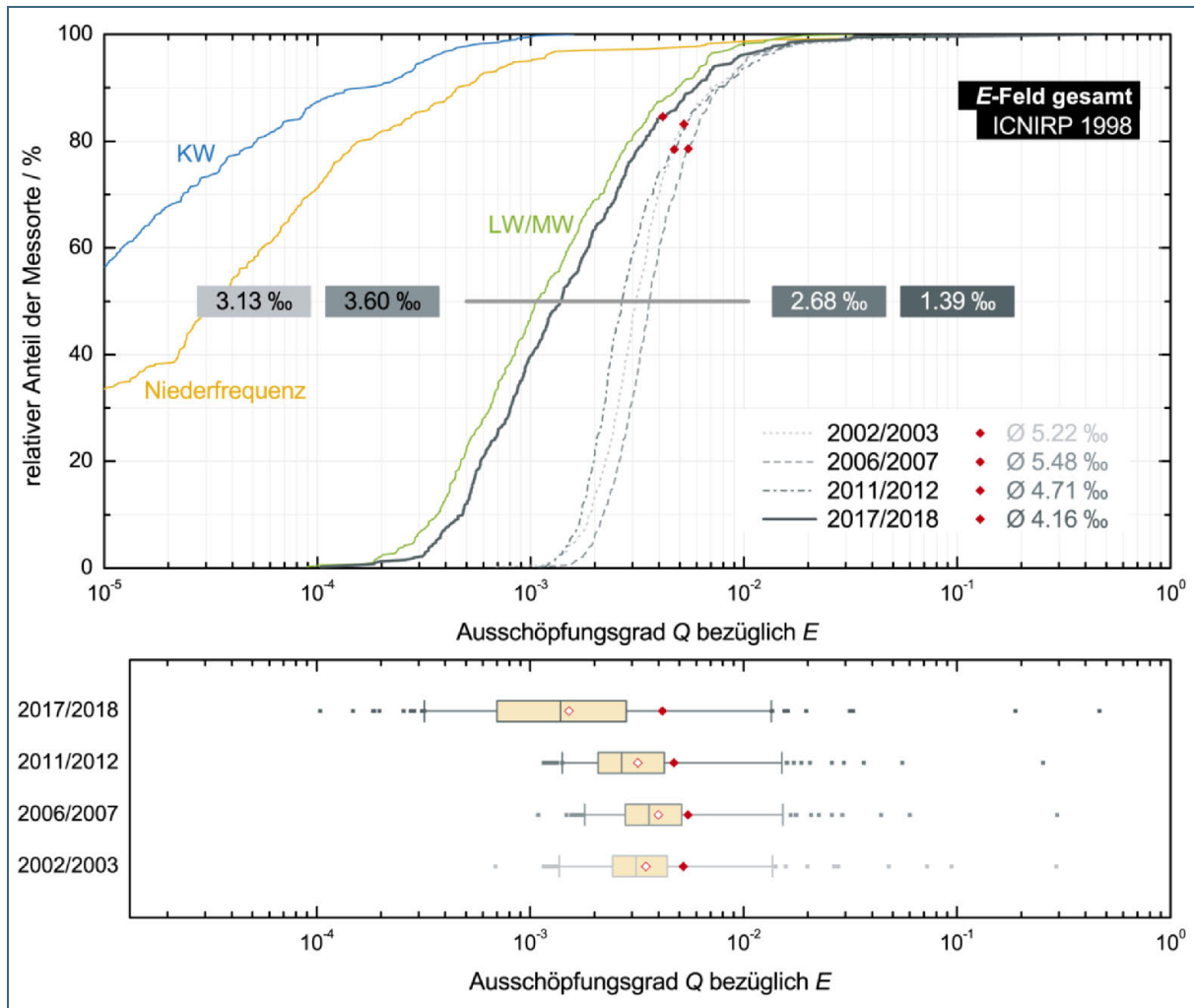


Abb. 88: Verteilung der Ausschöpfungsgrade elektrischer Felder im Bereich der Stimulationseffekte (Gesamtbereich bis 10 MHz). Oben: Verteilungsfunktion der Ausschöpfungsgrade. Unten: Box-Plot für den Ausschöpfungsgrad. Das arithmetische Mittel ist rot gefüllt (lineare Mittelwertbildung) beziehungsweise weiß mit roter Umrandung (logarithmische Mittelwertbildung) eingezeichnet.

Tab. 82: Statistische Kenndaten der Gesamtexposition bei Stimulationswirkungen durch elektrische Felder.

|                                     | AVG         | MIN    | MAX    | SD     |
|-------------------------------------|-------------|--------|--------|--------|
| <b>Messreihe 2002/2003</b>          |             |        |        |        |
| höchster Wert der Messorte          | 291,58      | 260,05 | 343,19 | 58,19  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>5,22</b> | 4,36   | 6,36   | 0,66   |
| Standardabweichung                  | 15,94       | 13,85  | 19,38  | 3,77   |
| Variationskoeffizient               | 3,05        | 3,18   | 3,05   | 5,68   |
| <b>Median</b>                       | <b>3,12</b> | 2,62   | 3,81   | 0,24   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 0,63        | 0,61   | 0,65   | 0,92   |
| <b>Messreihe 2006/2007</b>          |             |        |        |        |
| höchster Wert der Messorte          | 294,85      | 175,77 | 384,42 | 106,94 |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>5,48</b> | 4,37   | 6,93   | 0,82   |
| Standardabweichung                  | 15,22       | 9,51   | 19,74  | 5,40   |
| Variationskoeffizient               | 2,78        | 2,17   | 2,85   | 6,57   |
| <b>Median</b>                       | <b>3,60</b> | 3,04   | 4,44   | 0,29   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 0,65        | 0,60   | 0,75   | 1,14   |
| <b>Messreihe 2011/2012</b>          |             |        |        |        |
| höchster Wert der Messorte          | 253,14      | 174,20 | 335,82 | 79,53  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>4,71</b> | 3,73   | 5,65   | 0,61   |
| Standardabweichung                  | 13,42       | 9,45   | 17,28  | 3,98   |
| Variationskoeffizient               | 2,85        | 2,53   | 3,06   | 6,49   |
| <b>Median</b>                       | <b>2,68</b> | 2,15   | 3,27   | 0,24   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 0,82        | 0,76   | 0,93   | 1,26   |
| <b>Messreihe 2017/2018</b>          |             |        |        |        |
| höchster Wert der Messorte          | 465,66      | 433,62 | 482,12 | 27,75  |
| <b>Mittelwert</b> über die Messorte | <b>4,16</b> | 4,00   | 4,30   | 0,17   |
| Standardabweichung                  | 25,10       | 23,46  | 26,05  | 1,59   |
| Variationskoeffizient               | 6,03        | 5,86   | 6,05   | 9,61   |
| <b>Median</b>                       | <b>1,39</b> | 1,37   | 1,41   | 0,00   |
| Quartilsdispersionskoeffizient      | 1,52        | 1,54   | 1,54   | 18,05  |

## D Messtechnik – Messung von GSM-Signalen

Dieser Abschnitt widmet sich einem messtechnischen Problem, das bereits seit Beginn des EMF-Monitorings besteht und das mit jeder Messreihe an Bedeutung gewonnen hat: Wie misst man GSM-Immissionen korrekt?

Die Exposition durch GSM-Signale unterliegt einer sehr großen Variabilität. Zu den Einflussfaktoren zählen:

- GSM arbeitet mit *Zeitschlitz*en. Ein Zeitschlitz dauert 577  $\mu$ s (exakt 15/26 ms), wobei je zwei Zeitschlitzte durch eine Schutzzeit getrennt sind. Die tatsächliche Dauer der Sendeaktivität eines Zeitschlitzes beträgt deshalb nur etwa 546  $\mu$ s. Anders gesagt: Selbst bei vollständig<sup>91</sup> belegten Zeitschlitzten ergibt sich ein Messwert, der etwa 0.2 dB unter dem eines kontinuierlichen Signals<sup>92</sup> liegt.
- Zeitschlitzte können ganz entfallen. Dies betrifft Trägerfrequenzen, die nur Verkehrskanäle (TCH) übertragen. Bei diesen werden nur benötigte Zeitschlitzte gesendet. Die Trägerfrequenz kann auch vollständig entfallen, wenn kein Bedarf besteht<sup>93</sup>. Ein gesendeter Kanal verursacht jeweils Immissionen von Achteln des Maximalwerts; genauer gesagt: Sind  $n$  von maximal acht Zeitschlitzten belegt, so ergibt sich ein Messwert in Höhe von  $n \cdot 148/1.250$  des Werts eines unmodulierten Trägers.
- Auf Trägerfrequenzen, die nur Verkehrskanäle übertragen, können Zeitschlitzte darüber hinaus mit variabler Leistung abgestrahlt werden. Die Leistungsregelung hat eine Dynamik von 30 dB, unterteilt in 2 dB Schritte. [21]
- Zeitschlitzte können als *normal* oder *EDGE*-Burst gesendet werden. Normal Bursts werden für Telefongespräche oder niederbitratige Datenübertragung eingesetzt, EDGE-Bursts zur schnelleren Datenübertragung. Sie unterscheiden sich auf der Funkschnittstelle durch die Art der Modulation<sup>94</sup>. Daraus resultiert ein Crest-Faktor<sup>95</sup> von circa 3 dB. Um die nötige Reserve für die größere Signaldynamik von EDGE- gegenüber gewöhnlichen GSM-Zeitschlitzten zu erhalten, kann die mittlere Sendeleistung von EDGE-Bursts wiederum um bis zu 3 dB reduziert werden.
- Schließlich sind Gesprächskanäle nicht zwingend an einen festen Funkkanal gebunden. Es ist möglich,  $m$  Gesprächskanäle dynamisch auf einem Pool von  $n$  ( $m \leq n$ ) Funkkanälen auszustrahlen, was als *Frequency Hopping* bezeichnet wird.

Der letzte Teilaspekt besitzt dabei die langsamste Wiederholrate, da der Wechsel des Funkkanals immer nur nach einen vollständigen Frame (4,6 ms) möglich ist.

Für eine Immissionsmessung muss deshalb eine ausreichend groß gewählte Messzeit gewährleistet sein, um Fehlbewertungen insbesondere durch zu kurze Mittelwertbildung zu vermeiden. Gleichzeitig stehen lange Messzeiten jedoch im Konflikt zu einem effizienten Zeitplan für das EMF-Monitoring. In der Praxis wurden deshalb sowohl für frühere Messreihen als auch für die vorliegende vierte Messreihe bestimmte Kompromisse eingegangen.

Es ist naheliegend, dass auch Simulationen am Signalgenerator niemals ein exaktes Abbild der Realität liefern können. Sie erlauben aber eine anschauliche Erklärung der Thematik. Der Signalgenerator bietet den großen Vorteil reproduzierbarer Signale und einer leitungsgebundenen Messung. Er ermöglicht dadurch eine direkte Gegenüberstellung von Spitzenwerten (Max-Peak) und RMS-Mittelwerten. Rein

<sup>91</sup> ... und zudem mit gleichmäßiger Leistung abgestrahlten Zeitschlitzten. Das gilt insbesondere für den sogenannten BCCH-Träger.

<sup>92</sup> Beispielsweise ein unmodulierter Träger oder ein FM-moduliertes Signal.

<sup>93</sup> Das ist der Fall, wenn nur wenige Gespräche oder Daten zu übertragen sind, sodass nicht alle insgesamt möglichen Gesprächskanäle benötigt werden. Im Extremfall lassen sich die zu übertragenden Daten sogar allein auf dem BCCH-Träger unterbringen.

<sup>94</sup> Normal burst: Gaussian-Minimum-Shift-Keying, GMSK. EDGE-Burst: 8-Phase-Shift-Keying, 8-PSK.

<sup>95</sup> Verhältnis von Scheitelwert zu Effektivwert.

mathematisch sind zwar beide Größen ineinander umrechenbar. In der Praxis müsste dazu aber die GSM-Zeitschlitzbelegung genau bekannt sein, einschließlich der individuellen Sendeleistungen pro Verbindung und der zeitlichen Abfolge von Hopping-Frequenzen. Diese Daten sind selbst für geplante Messungen nicht verfügbar, geschweige denn rückwirkend. Darüber hinaus müsste die Uhrzeit von Beginn und Ende der GSM-Messungen mit einer Genauigkeit von zehntel Millisekunden bekannt sein.

Auch zeitgleich stattfindende Vergleichsmessungen liefern nur Anhaltspunkte, weil auch sie im Submillisekundenbereich synchronisiert werden müssten.

Der Vektorsignalgenerator Rohde & Schwarz SMIQ03B ermöglicht eine freie Wahl der Bursts für jeden der acht möglichen Zeitschlitz. Zur Vereinfachung und direkten Vergleichbarkeit wurde auf gemischte Konfigurationen mit Normal- und EDGE-Bursts verzichtet. Des Weiteren wurde davon abgesehen, verschiedene Zeitschlitz mit unterschiedlicher Leistung zu betreiben. Andere Konstellationen – Mischung von Normal- und EDGE-Bursts oder Variation der Leistung – führen letztlich „lediglich“ dazu, dass der Unterschied zwischen GSM-Messungen mit RMS-Detektor und Max-Peak-Detektor noch größer ausfällt.

In jedem der beiden Szenarios „GSM“ (Normal Bursts) und „EDGE“ (EDGE-Bursts) kann ein Zeitschlitz somit entweder nur aktiv (▪) oder inaktiv (◻) sein. Insgesamt ergeben sich daraus  $2^8$  mögliche Zeitschlitzkonfigurationen, von denen sich 128 durch zyklische Vertauschung der Zeitschlitz auf eine der 128 anderen Konfigurationen zurückführen lassen.<sup>96</sup> Die zugehörigen Messwerte sind in Abb. 89 vollständig und in Tab. 83 auszugsweise gezeigt.

Wie bereits früher ausgeführt (siehe [1] S. 70 ff.) ergab sich in den ersten drei Messreihen durch Verwendung eines Max-Peak-Detektors im GSM-Paket eine Überbewertung des Mobilfunks. Der Messwert ist dabei insbesondere fast vollständig unabhängig von der tatsächlichen Belegung eines Funkkanals (in Abb. 89 deutlich zu erkennen). Ursächlich hierfür ist, dass der Messwert im Prinzip durch den stärksten Zeitschlitz bestimmt wird (Abb. 90), wobei EDGE-Bursts zusätzlich um ihren Crest-Faktor überbewertet werden. Da die *reale* Zeitschlitzbelegung an den Messpunkten nicht bekannt ist, ist auch eine Korrektur solcher Messwerte nachträglich nicht möglich. Die Ergebnisse der Messungen am Signalgenerator stützen aber die bei den Vergleichsmessungen gewählte Vorgehensweise (siehe Kapitel 6.2.3 auf S. 85). Auch die konkret gewählten Korrekturfaktoren sind plausibel.

Das während der Messreihe 2017/2018 verwendete Paket M17\_GSM\_DL bewegt sich dagegen mit akzeptablen Unsicherheiten im Rahmen der zu erwartenden Werte.<sup>97</sup> Im Mittel weisen dessen Messwerte Unsicherheiten von weniger als 1 dB auf. Dennoch fällt auf, dass im Rahmen von Schwankungen auch gewisse Wahrscheinlichkeiten für (teils deutlich) höhere oder niedrigere Messwerte bestehen. Die Streubreite ist bei „kompakten“ Zeitschlitzbelegungen am größten, das heißt bei  $n$  aufeinanderfolgend belegten Zeitschlitz, gefolgt von  $8 - n$  aufeinanderfolgend unbelegten Zeitschlitz. Umgekehrt weisen die Belegungen mit der jeweils maximalen Variante an Wechseln zwischen belegten und unbelegten Zeitschlitz die geringste Streubreite auf. Diese Konfigurationen sind in Tab. 83 nochmals explizit dargestellt.

Um insbesondere bei den kompakten Konfigurationen geringere Streubreiten zu erhalten, müsste die Sweepzeit des Messpakets nochmals erhöht werden. Das verwendete Setup arbeitet im Safety-Mode des SRM-3006 mit einer RBW von 200 Hz, woraus sich für GSM-900 bereits eine Messzeit von etwas über 90 s und bei GSM-1800 von etwa 50 s ergibt. Die Wahl einer kleineren RBW von beispielsweise 100 Hz hätte zwar stabilere GSM-Messwerte zur Folge, allerdings auch doppelte Messzeit. Die gewählte RBW stellt den bestmöglichen Kompromiss dar.

<sup>96</sup> ◻◻◻◻◻◻◻◻ ist beispielsweise äquivalent zu ◻◻◻◻◻◻◻◻.

<sup>97</sup> Um dies zu erreichen, wurden bereits bei der Planung Validierungsmessungen mit dem Vektorsignalgenerator Rohde & Schwarz SMIQ03B durchgeführt.

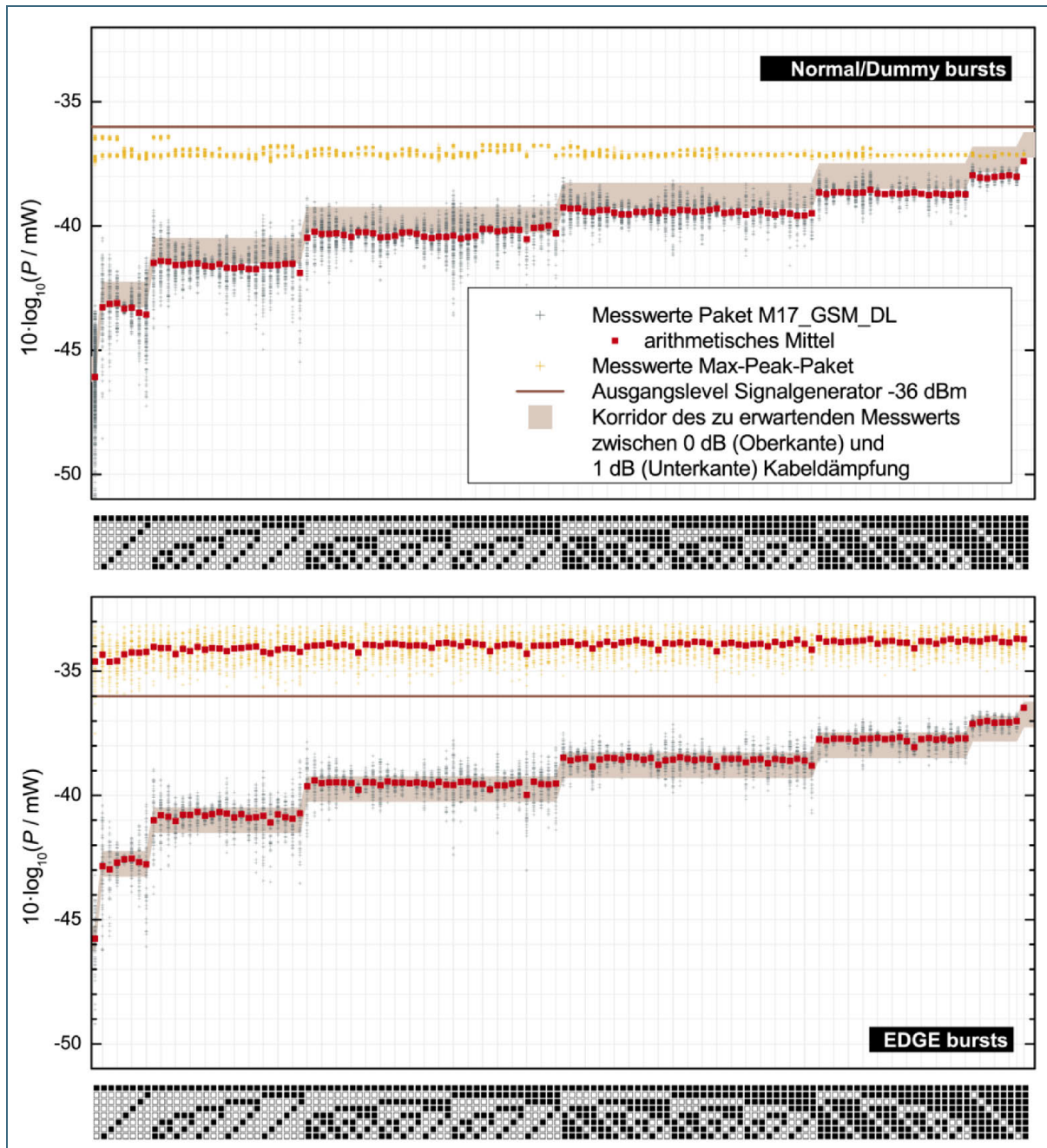


Abb. 89: Validierung der Messpakete für GSM-Mobilfunk mit leitungsgebundenen Referenzsignalen eines Vektorsignalgenerators. Dunkle Datenpunkte: Messwerte des Setups M17\_GSM\_DL aus der Messreihe 2017/2018. Helle Datenpunkte: Messwerte eines zu den Messreihen 2002 – 2011 äquivalenten Setups. Kategorie-Achse: Am Signalgenerator eingestellte Zeitschlitzbelegung mit Normal-Bursts (oberes Diagramm) beziehungsweise EDGE-Bursts (unten). Für jede Zeitschlitzkonfiguration wurden mindestens 64 Messwerte aufgenommen. Die quadratischen Datenpunkte zeigen die arithmetischen Mittelwerte der Messwerte für die jeweilige Zeitschlitzkonfiguration. Der eingezeichnete Korridor gibt einen berechneten Erwartungsbereich für die Messwerte an, wobei sein oberes Ende einer Dämpfung von  $10 \cdot \log_{10}(n \cdot 148/1250)$  entspricht, dem Anteil der Sendezeit bei  $n$  belegten Zeitschlitzten. Die Unterkante liegt 1 dB darunter, was grob der Kabeldämpfung entspricht. Der Signalgenerator war durchwegs auf eine (RMS-)Ausgangsleistung von  $-36,0$  dBm im aktiven Zeitschlitz eingestellt (braune Linie).



Tab. 83: Validierung der Messpakete für GSM-Mobilfunk mit leitungsgebundenen Referenzsignalen eines Vektorsignalgenerators. Statistische Ergebnisse für ausgewählte Zeitschlitzkonfigurationen. Die (RMS-)Ausgangsleistung des Generators betrug jeweils -36,0 dBm.

| Konfiguration           | Mittelwert<br>RMS-AVG<br>(Abb. 89) | Differenz<br>zu RMS-PK<br>(Abb. 89) | Standard-<br>abweichung<br>RMS-AVG | Standard-<br>abweichung<br>PK-MAX | N      |
|-------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------|
| 1 Zeitschlitz (GSM)     | -46,1 dBm                          | 9,0 dB                              | 1,4 dB                             | 0,4 dB                            | ≥ 255  |
| 2 Zeitschlitz (GSM)     | -43,3 dBm                          | 6,3 dB                              | 1,0 dB                             | 0,3 dB                            | ≥ 1024 |
| 3 Zeitschlitz (GSM)     | -41,6 dBm                          | 4,6 dB                              | 0,6 dB                             | 0,2 dB                            | ≥ 2652 |
| 4 Zeitschlitz (GSM)     | -40,3 dBm                          | 3,3 dB                              | 0,5 dB                             | 0,2 dB                            | ≥ 4512 |
| 5 Zeitschlitz (GSM)     | -39,4 dBm                          | 2,3 dB                              | 0,4 dB                             | 0,1 dB                            | 3648   |
| 6 Zeitschlitz (GSM)     | -38,7 dBm                          | 1,6 dB                              | 0,3 dB                             | 0,1 dB                            | 1920   |
| 7 Zeitschlitz (GSM)     | -38,0 dBm                          | 0,9 dB                              | 0,2 dB                             | 0,1 dB                            | 512    |
| 8 Zeitschlitz (GSM)     | -37,4 dBm                          | 0,3 dB                              | 0,1 dB                             | 0,0 dB                            | 64     |
| ■ ■ ■ ■ ■ ■ (2× GSM)    | -43,3 dBm                          | 6,2 dB                              | 0,1 dB                             | 0,1 dB                            | ≥ 128  |
| ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ (2× GSM)  | -43,3 dBm                          | 6,5 dB                              | 1,4 dB                             | 0,4 dB                            | 128    |
| ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ (3× GSM)  | -41,6 dBm                          | 4,5 dB                              | 0,2 dB                             | 0,1 dB                            | 128    |
| ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ (3× GSM)  | -41,9 dBm                          | 4,7 dB                              | 1,2 dB                             | 0,0 dB                            | 64     |
| ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ (4× GSM)  | -40,2 dBm                          | 3,2 dB                              | 0,1 dB                             | 0,1 dB                            | ≥ 192  |
| ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ (4× GSM)  | -40,4 dBm                          | 3,3 dB                              | 0,9 dB                             | 0,2 dB                            | 256    |
| ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ (5× GSM)  | -39,4 dBm                          | 2,3 dB                              | 0,1 dB                             | 0,0 dB                            | 128    |
| ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ (5× GSM)  | -39,5 dBm                          | 2,4 dB                              | 0,7 dB                             | 0,0 dB                            | 64     |
| ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ (6× GSM)  | -38,7 dBm                          | 1,6 dB                              | 0,0 dB                             | 0,0 dB                            | 64     |
| ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ (6× GSM)  | -38,7 dBm                          | 1,6 dB                              | 0,4 dB                             | 0,1 dB                            | 128    |
| 1 Zeitschlitz (EDGE)    | -45,8 dBm                          | 11,2 dB                             | 1,1 dB                             | 0,8 dB                            | 64     |
| 2 Zeitschlitz (EDGE)    | -42,7 dBm                          | 8,3 dB                              | 0,9 dB                             | 0,6 dB                            | 448    |
| 3 Zeitschlitz (EDGE)    | -40,8 dBm                          | 6,7 dB                              | 0,6 dB                             | 0,5 dB                            | 1344   |
| 4 Zeitschlitz (EDGE)    | -39,5 dBm                          | 5,5 dB                              | 0,5 dB                             | 0,4 dB                            | 2304   |
| 5 Zeitschlitz (EDGE)    | -38,6 dBm                          | 4,7 dB                              | 0,4 dB                             | 0,4 dB                            | 2264   |
| 6 Zeitschlitz (EDGE)    | -37,7 dBm                          | 3,9 dB                              | 0,3 dB                             | 0,4 dB                            | 1344   |
| 7 Zeitschlitz (EDGE)    | -37,1 dBm                          | 3,3 dB                              | 0,2 dB                             | 0,4 dB                            | 448    |
| 8 Zeitschlitz (EDGE)    | -36,5 dBm                          | 2,8 dB                              | 0,0 dB                             | 0,3 dB                            | 64     |
| ■ ■ ■ ■ ■ ■ (2× EDGE)   | -42,6 dBm                          | 8,3 dB                              | 0,1 dB                             | 0,5 dB                            | 64     |
| ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ (2× EDGE) | -42,9 dBm                          | 8,6 dB                              | 1,4 dB                             | 0,6 dB                            | 64     |
| ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ (3× EDGE) | -40,8 dBm                          | 6,7 dB                              | 0,2 dB                             | 0,4 dB                            | 64     |
| ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ (3× EDGE) | -41,0 dBm                          | 7,0 dB                              | 1,2 dB                             | 0,5 dB                            | 64     |
| ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ (4× EDGE) | -39,5 dBm                          | 5,5 dB                              | 0,0 dB                             | 0,5 dB                            | 128    |
| ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ (4× EDGE) | -40,0 dBm                          | 5,7 dB                              | 1,0 dB                             | 0,4 dB                            | 64     |
| ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ (5× EDGE) | -38,5 dBm                          | 4,6 dB                              | 0,1 dB                             | 0,4 dB                            | 64     |
| ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ (5× EDGE) | -38,7 dBm                          | 4,7 dB                              | 0,7 dB                             | 0,4 dB                            | 64     |
| ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ (6× EDGE) | -37,7 dBm                          | 3,9 dB                              | 0,0 dB                             | 0,4 dB                            | 64     |
| ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ (6× EDGE) | -37,7 dBm                          | 3,9 dB                              | 0,5 dB                             | 0,3 dB                            | 64     |



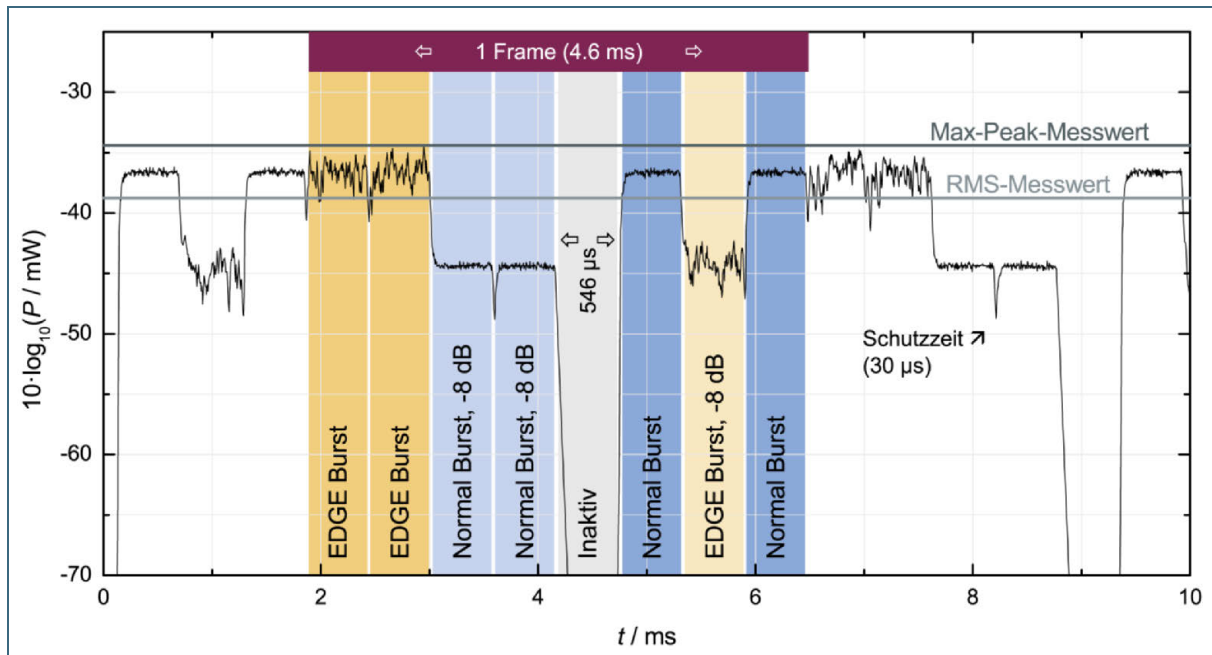


Abb. 90: Beispiel für den zeitlichen Verlauf bei einer gemischten Belegung von GSM-Zeitschlitzten. Die Zeitschlitzte eines Frames sind farblich hervorgehoben. Drei Zeitschlitzte sind in ihrer Leistung um 8,0 dB abgesenkt, ein weiterer ist komplett abgeschaltet. Der (RMS-)Ausgangspegel betrug  $-36,0$  dBm. Der typische Crest-Faktor von circa 3 dB bei EDGE-Bursts ist deutlich erkennbar. Während der RMS-Messwert bei etwa  $-38,8$  dBm liegt, ermittelt ein Max-Peak-Detektor den höchsten kurzzeitig aufgetretenen Pegel, in diesem Fall  $-34,4$  dBm.

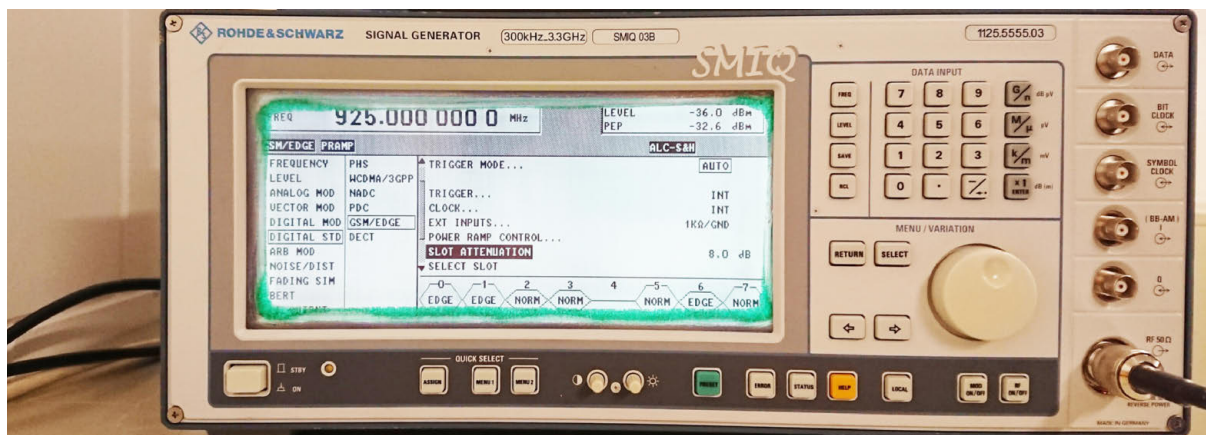


Abb. 91: Für Abb. 90 verwendete GSM-Konfiguration am Vektorsignalgenerator.

## E Details der Messpakete

### E.1 Kanaltabellen

Die nachfolgenden Tabellen beinhalten die vollständigen Frequenzbereiche, die von den einzelnen Messpaketen abgedeckt werden. Die Spalte „Slices“ gibt an, in wie viele Segmente ein Kanal – dessen Breite ist in der Spalte „Kanalraster“ genannt – für die Messung unterteilt wird. Das Prinzip dieser Safety-Evaluation-Messung ist in Kapitel 3.2 kurz beschrieben.

Tab. 84: Frequenzbereiche und Kanalraster für Hochfrequenzmessungen.

| Startfrequenz | Stopfrequenz | Kanalraster | Slices | Paket    |
|---------------|--------------|-------------|--------|----------|
| 0,0 MHz       | 0,1 MHz      | 1,0 kHz     | 10     | M17_LWMW |
| 0,1 MHz       | 1,6 MHz      | 4,5 kHz     | 45     | M17_LWMW |
| 1,6 MHz       | 2,3 MHz      | 50 kHz      | 10     | M17_KW_C |
| 2,3 MHz       | 2,5 MHz      | 5,0 kHz     | 5      | M17_KW_A |
| 2,5 MHz       | 3,2 MHz      | 50 kHz      | 10     | M17_KW_C |
| 3,2 MHz       | 3,4 MHz      | 5,0 kHz     | 5      | M17_KW_A |
| 3,4 MHz       | 3,9 MHz      | 50 kHz      | 10     | M17_KW_C |
| 3,9 MHz       | 4,0 MHz      | 5,0 kHz     | 5      | M17_KW_A |
| 4,0 MHz       | 4,7 MHz      | 50 kHz      | 10     | M17_KW_C |
| 4,7 MHz       | 5,1 MHz      | 5,0 kHz     | 5      | M17_KW_A |
| 5,1 MHz       | 5,9 MHz      | 50 kHz      | 10     | M17_KW_C |
| 5,9 MHz       | 6,2 MHz      | 5,0 kHz     | 5      | M17_KW_A |
| 6,2 MHz       | 7,2 MHz      | 50 kHz      | 10     | M17_KW_C |
| 7,2 MHz       | 7,5 MHz      | 5,0 kHz     | 5      | M17_KW_A |
| 7,5 MHz       | 9,4 MHz      | 50 kHz      | 10     | M17_KW_C |
| 9,4 MHz       | 9,9 MHz      | 5,0 kHz     | 5      | M17_KW_A |
| 9,9 MHz       | 11,6 MHz     | 50 kHz      | 10     | M17_KW_C |
| 11,6 MHz      | 12,1 MHz     | 5,0 kHz     | 5      | M17_KW_A |
| 12,1 MHz      | 13,6 MHz     | 50 kHz      | 10     | M17_KW_C |
| 13,6 MHz      | 13,9 MHz     | 5,0 kHz     | 5      | M17_KW_B |
| 13,9 MHz      | 15,1 MHz     | 50 kHz      | 10     | M17_KW_C |
| 15,1 MHz      | 15,8 MHz     | 5,0 kHz     | 5      | M17_KW_B |
| 15,8 MHz      | 17,5 MHz     | 50 kHz      | 10     | M17_KW_C |
| 17,5 MHz      | 17,9 MHz     | 5,0 kHz     | 5      | M17_KW_B |
| 17,9 MHz      | 18,9 MHz     | 50 kHz      | 10     | M17_KW_C |
| 18,9 MHz      | 19,0 MHz     | 5,0 kHz     | 5      | M17_KW_B |
| 19,0 MHz      | 21,4 MHz     | 50 kHz      | 10     | M17_KW_C |
| 21,4 MHz      | 21,9 MHz     | 5,0 kHz     | 5      | M17_KW_B |
| 21,9 MHz      | 25,7 MHz     | 50 kHz      | 10     | M17_KW_C |
| 25,7 MHz      | 26,1 MHz     | 5,0 kHz     | 5      | M17_KW_B |

Tab. 85: Frequenzbereiche und Kanalaraster für Hochfrequenzmessungen.

| Startfrequenz | Stopfrequenz | Kanalaraster | Slices | Paket           |
|---------------|--------------|--------------|--------|-----------------|
| 26,1 MHz      | 30,0 MHz     | 50 kHz       | 10     | M17_KW_C        |
| 30,0 MHz      | 34,4 MHz     | 0,3 MHz      | 10     | M17_BOS_C       |
| 34,4 MHz      | 35,8 MHz     | 20 kHz       | 10     | M17_BOS_A       |
| 35,8 MHz      | 38,5 MHz     | 0,3 MHz      | 10     | M17_BOS_C       |
| 38,5 MHz      | 39,9 MHz     | 20 kHz       | 10     | M17_BOS_A       |
| 39,9 MHz      | 74,2 MHz     | 0,3 MHz      | 10     | M17_BOS_C       |
| 74,2 MHz      | 77,5 MHz     | 20 kHz       | 10     | M17_BOS_A       |
| 77,5 MHz      | 84,0 MHz     | 0,3 MHz      | 10     | M17_BOS_C       |
| 84,0 MHz      | 87,3 MHz     | 20 kHz       | 10     | M17_BOS_A       |
| 87,3 MHz      | 87,5 MHz     | 0,3 MHz      | 10     | M17_BOS_C       |
| 87,5 MHz      | 108,0 MHz    | 0,1 MHz      | 100    | M17_UKW         |
| 108,0 MHz     | 165,2 MHz    | 0,3 MHz      | 10     | M17_BOS_C       |
| 165,2 MHz     | 165,7 MHz    | 20 kHz       | 10     | M17_BOS_B       |
| 165,7 MHz     | 167,6 MHz    | 0,3 MHz      | 10     | M17_BOS_C       |
| 167,6 MHz     | 169,4 MHz    | 20 kHz       | 10     | M17_BOS_B       |
| 169,4 MHz     | 169,8 MHz    | 0,3 MHz      | 10     | M17_BOS_C       |
| 169,8 MHz     | 170,3 MHz    | 20 kHz       | 10     | M17_BOS_B       |
| 170,3 MHz     | 172,2 MHz    | 0,3 MHz      | 10     | M17_BOS_C       |
| 172,2 MHz     | 174,0 MHz    | 20 kHz       | 10     | M17_BOS_B       |
| 174,0 MHz     | 230,0 MHz    | 1,8 MHz      | 875    | M17_T-DAB       |
| 230,0 MHz     | 380,0 MHz    | 0,3 MHz      | 10     | M17_DATA230     |
| 380,0 MHz     | 390,0 MHz    | 25 kHz       | 250    | M17_TETRABOS_UL |
| 390,0 MHz     | 400,0 MHz    | 25 kHz       | 250    | M17_TETRABOS_DL |
| 400,0 MHz     | 410,0 MHz    | 0,3 MHz      | 10     | M17_BOS_C       |
| 410,0 MHz     | 420,0 MHz    | 25 kHz       | 250    | M17_TETRABOS_UL |
| 420,0 MHz     | 430,0 MHz    | 25 kHz       | 250    | M17_TETRABOS_DL |
| 430,0 MHz     | 443,6 MHz    | 0,3 MHz      | 10     | M17_BOS_C       |
| 443,6 MHz     | 445,0 MHz    | 12,5 kHz     | 6      | M17_BOS_B       |
| 445,0 MHz     | 448,6 MHz    | 0,3 MHz      | 10     | M17_BOS_C       |
| 448,6 MHz     | 450,0 MHz    | 12,5 kHz     | 6      | M17_BOS_B       |
| 450,0 MHz     | 460,0 MHz    | 25 kHz       | 250    | M17_TETRABOS_UL |
| 460,0 MHz     | 470,0 MHz    | 25 kHz       | 250    | M17_TETRABOS_DL |
| 470,0 MHz     | 790,0 MHz    | 8,0 MHz      | 800    | M17_DVB-T2      |
| 791,0 MHz     | 821,0 MHz    | 10,0 MHz     | 1.000  | M17_LTE800_DL   |
| 832,0 MHz     | 862,0 MHz    | 10,0 MHz     | 1.000  | M17_LTEUMTS_UL  |
| 862,1 MHz     | 907,3 MHz    | 0,2 MHz      | 400    | M17_GSM_UL      |
| 907,4 MHz     | 912,4 MHz    | 5,0 MHz      | 500    | M17_LTEUMTS_UL  |

Tab. 86: Frequenzbereiche und Kanalaraster für Hochfrequenzmessungen.

| Startfrequenz | Stopfrequenz | Kanalaraster | Slices | Paket          |
|---------------|--------------|--------------|--------|----------------|
| 912,5 MHz     | 914,9 MHz    | 0,2 MHz      | 400    | M17_GSM_UL     |
| 918,1 MHz     | 952,3 MHz    | 0,2 MHz      | 1.000  | M17_GSM900_DL  |
| 952,4 MHz     | 957,4 MHz    | 5,0 MHz      | 500    | M17_LTE800_DL  |
| 957,5 MHz     | 959,9 MHz    | 0,2 MHz      | 1.000  | M17_GSM900_DL  |
| 961,0 MHz     | 1.452,0 MHz  | 1,0 MHz      | 10     | M17_RADAR10    |
| 1.452,0 MHz   | 1.492,0 MHz  | 20,0 MHz     | 2.000  | M17_LTE800_DL  |
| 1.492,0 MHz   | 1.710,0 MHz  | 1,0 MHz      | 10     | M17_RADAR15+22 |
| 1.710,0 MHz   | 1.730,0 MHz  | 20,0 MHz     | 2.000  | M17_LTEUMTS_UL |
| 1.730,0 MHz   | 1.740,0 MHz  | 10,0 MHz     | 1.000  | M17_LTEUMTS_UL |
| 1.740,1 MHz   | 1.744,9 MHz  | 0,2 MHz      | 400    | M17_GSM_UL     |
| 1.745,0 MHz   | 1.755,0 MHz  | 10,0 MHz     | 1.000  | M17_LTEUMTS_UL |
| 1.755,1 MHz   | 1.759,9 MHz  | 0,2 MHz      | 400    | M17_GSM_UL     |
| 1.763,6 MHz   | 1.783,6 MHz  | 20,0 MHz     | 2.000  | M17_LTEUMTS_UL |
| 1.805,0 MHz   | 1.825,0 MHz  | 20,0 MHz     | 2.000  | M17_LTEUMTS_DL |
| 1.825,0 MHz   | 1.835,0 MHz  | 10,0 MHz     | 1.000  | M17_LTEUMTS_DL |
| 1.834,9 MHz   | 1.854,9 MHz  | 0,2 MHz      | 1.000  | M17_GSM1800_DL |
| 1.840,0 MHz   | 1.850,0 MHz  | 10,0 MHz     | 1.000  | M17_LTEUMTS_DL |
| 1.858,6 MHz   | 1.878,6 MHz  | 20,0 MHz     | 2.000  | M17_LTEUMTS_DL |
| 1.880,9 MHz   | 1.898,2 MHz  | 1,7 MHz      | 8.640  | M17_DECT       |
| 1.900,1 MHz   | 1.979,7 MHz  | 5,0 MHz      | 495    | M17_LTEUMTS_UL |
| 2.010,5 MHz   | 2.024,7 MHz  | 14,2 MHz     | 1.420  | M17_LTEUMTS_UL |
| 2.110,3 MHz   | 2.169,7 MHz  | 5,0 MHz      | 495    | M17_LTEUMTS_DL |
| 2.175,0 MHz   | 2.384,0 MHz  | 1,0 MHz      | 10     | M17_RADAR15+22 |
| 2.384,0 MHz   | 2.500,0 MHz  | 5,0 MHz      | 500    | M17_WLAN       |
| 2.500,0 MHz   | 2.620,0 MHz  | 10,0 MHz     | 1.000  | M17_LTEUMTS_UL |
| 2.620,0 MHz   | 2.690,0 MHz  | 10,0 MHz     | 1.000  | M17_LTEUMTS_DL |
| 2.690,0 MHz   | 3.000,0 MHz  | 1,0 MHz      | 10     | M17_RADAR27    |
| 3.000,0 MHz   | 3.410,0 MHz  | 1,0 MHz      | 10     | M17_RADAR30    |
| 3.410,0 MHz   | 3.473,0 MHz  | 7,0 MHz      | 700    | M17_LTEUMTS_UL |
| 3.473,0 MHz   | 3.510,0 MHz  | 1,0 MHz      | 10     | M17_RADAR30    |
| 3.510,0 MHz   | 3.573,0 MHz  | 7,0 MHz      | 700    | M17_LTEUMTS_DL |
| 3.573,0 MHz   | 4.000,0 MHz  | 1,0 MHz      | 10     | M17_RADAR36    |
| 4.000,0 MHz   | 4.500,0 MHz  | 1,0 MHz      | 10     | M17_RADAR40    |
| 4.500,0 MHz   | 5.000,0 MHz  | 1,0 MHz      | 10     | M17_RADAR45    |
| 5.000,0 MHz   | 5.100,0 MHz  | 1,0 MHz      | 10     | M17_RADAR50    |
| 5.100,0 MHz   | 5.785,0 MHz  | 20,0 MHz     | 2.000  | M17_WLAN       |
| 5.785,0 MHz   | 6.000,0 MHz  | 1,0 MHz      | 10     | M17_RADAR50    |

## E.2 Übersicht der Nachweisschwellen

Tab. 87: Nachweisschwellen der Frequenzbereiche (Teil 1). Die Spalte „Durchläufe“ gibt an, wie oft das jeweilige Messpaket pro Messpunkt durchlaufen wurde. Der Offset gibt an, in welchem Abstand die Nachweisschwelle zu den Messdaten aus der Schirmkammer festgelegt wurde (Beispiel in Abb. 27).

| Paket          | Frequenzbereiche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Antenne    | Durchläufe | Offset |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|--------|
| NF, E-Feld     | 5 Hz – 2 kHz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |            | 3          | —      |
| NF, E-Feld     | 40 Hz – 32 kHz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |            | 3          | —      |
| NF, B-Feld     | 5 Hz – 2 kHz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |            | 3          | —      |
| NF, B-Feld     | 40 Hz – 32 kHz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |            | 3          | —      |
| M17_UKW        | 87,5 MHz – 108 MHz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 3AX 27M-3G | 4          | 0,6 dB |
| M17_T-DAB      | 174 MHz – 230 MHz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 3AX 27M-3G | 4          | 0,6 dB |
| M17_DVB-T2     | 470 MHz – 790 MHz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 3AX 27M-3G | 4          | 0,6 dB |
| M17_LTE800_DL  | 791 MHz – 821 MHz<br>952,4 MHz – 957,4 MHz<br>1.452 MHz – 1.492 MHz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 3AX 27M-3G | 4          | 1,0 dB |
| M17_GSM900_DL  | 918,1 MHz – 952,3 MHz<br>957,5 MHz – 959,9 MHz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 3AX 27M-3G | 4          | 1,0 dB |
| M17_LTEUMTS_DL | 1805 MHz – 1835 MHz<br>1840 MHz – 1850 MHz<br>1.858,6 MHz – 1.878,6 MHz<br>2.110,3 MHz – 2.169,7 MHz<br>2.620 MHz – 2.690 MHz<br>3.510 MHz – 3.573 MHz                                                                                                                                                                                                                                                                      | 3AX 0.4-6G | 4          | 1,0 dB |
| M17_GSM1800_DL | 1.834,9 MHz – 1.854,9 MHz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 3AX 0.4-6G | 4          | 1,0 dB |
| M17_LWMW       | 10 kHz – 1.605 kHz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 3AXH 250M  | 1          | 1,0 dB |
| M17_KW_A       | 2,2975 MHz – 2,4975 MHz<br>3,1975 MHz – 3,4025 MHz<br>3,8975 MHz – 4,0025 MHz<br>4,7475 MHz – 5,0625 MHz<br>5,8975 MHz – 6,2025 MHz<br>7,1975 MHz – 7,4525 MHz<br>9,3975 MHz – 9,9025 MHz<br>11,5975 MHz – 12,1025 MHz                                                                                                                                                                                                      | 3AXH 250M  | 1          | 1,0 dB |
| M17_KW_B       | 13.5675 MHz – 13.8725 MHz<br>15.0975 MHz – 15.8025 MHz<br>17.4775 MHz – 17.9025 MHz<br>18.8975 MHz – 19.0225 MHz<br>21.4475 MHz – 21.8525 MHz<br>25.6675 MHz – 26.1025 MHz                                                                                                                                                                                                                                                  | 3AXH 250M  | 1          | 1,0 dB |
| M17_KW_C       | 1,6065 MHz – 2,2975 MHz<br>2,4975 MHz – 3,1975 MHz<br>3,4025 MHz – 3,8975 MHz<br>4,0025 MHz – 4,7475 MHz<br>5,0625 MHz – 5,8975 MHz<br>6,2025 MHz – 7,1975 MHz<br>7,4525 MHz – 9,3975 MHz<br>9,9025 MHz – 11,5975 MHz<br>12,1025 MHz – 13,5675 MHz<br>13,8725 MHz – 15,0975 MHz<br>15,8025 MHz – 17,4775 MHz<br>17,9025 MHz – 18,8975 MHz<br>19,0225 MHz – 21,4475 MHz<br>21,8525 MHz – 25,6675 MHz<br>26,1025 MHz – 30 MHz | 3AXH 250M  | 1          | 1,0 dB |

Tab. 88: Nachweisschwellen der Frequenzbereiche (Teil 2). Die Spalte „Durchläufe“ gibt an, wie oft das jeweilige Messpaket pro Messpunkt durchlaufen wurde. Der Offset gibt an, in welchem Abstand die Nachweisschwelle zu den Messdaten aus der Schirmkammer festgelegt wurde (Beispiel in Abb. 27).

| Paket           | Frequenzbereiche                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Antenne    | Durchläufe | Offset |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|--------|
| M17_BOS_A       | 34,35 MHz – 35,81 MHz<br>38,45 MHz – 39,91 MHz<br>74,205 MHz – 77,485 MHz<br>84,005 MHz – 87,285 MHz                                                                                                                                                                                                               | 3AX 27M-3G | 1          | 1,0 dB |
| M17_BOS_B       | 165,2 MHz – 165,7 MHz<br>167,55 MHz – 169,39 MHz<br>169,8 MHz – 170,3 MHz<br>172,15 MHz – 174 MHz<br>443,593 75 MHz – 444,968 75 MHz<br>448,593 75 MHz – 449,968 75 MHz                                                                                                                                            | 3AX 27M-3G | 1          | 1,0 dB |
| M17_BOS_C       | 30 MHz – 34,35 MHz<br>35,81 MHz – 38,45 MHz<br>39,91 MHz – 74,205 MHz<br>77,485 MHz – 84,005 MHz<br>87,285 MHz – 87,5 MHz<br>108 MHz – 165,2 MHz<br>165,7 MHz – 167,55 MHz<br>169,39 MHz – 169,8 MHz<br>170,3 MHz – 172,15 MHz<br>400 MHz – 410 MHz<br>430 MHz – 443,593 75 MHz<br>444,968 75 MHz – 448,593 75 MHz | 3AX 27M-3G | 1          | 1,5 dB |
| M17_DATA230     | 230 MHz – 380 MHz                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 3AX 27M-3G | 1          | 1,5 dB |
| M17_TETRABOS_UL | 380 MHz – 390 MHz                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 3AX 27M-3G | 1          | 1,0 dB |
| M17_TETRABOS_DL | 390 MHz – 400 MHz                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 3AX 27M-3G | 1          | 1,0 dB |
| M17_TETRAPRV_UL | 410 MHz – 420 MHz                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 3AX 27M-3G | 1          | 1,0 dB |
| M17_TETRAPRV_DL | 420 MHz – 430 MHz                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 3AX 27M-3G | 1          | 1,0 dB |

Tab. 89: Nachweisschwellen der Frequenzbereiche (Teil 3). Die Spalte „Durchläufe“ gibt an, wie oft das jeweilige Messpaket pro Messpunkt durchlaufen wurde. Der Offset gibt an, in welchem Abstand die Nachweisschwelle zu den Messdaten aus der Schirmkammer festgelegt wurde (Beispiel in Abb. 27).

| Paket           | Frequenzbereiche                                                                                                                                                                                                                      | Antenne    | Durchläufe | Offset |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|--------|
| M17_TETRAMIS_UL | 450 MHz – 460 MHz                                                                                                                                                                                                                     | 3AX 27M-3G | 1          | 1,0 dB |
| M17_TETRAMIS_DL | 460 MHz – 470 MHz                                                                                                                                                                                                                     | 3AX 27M-3G | 1          | 1,0 dB |
| M17_LTEUMTS_UL  | 832 MHz – 862 MHz<br>907,4 MHz – 912,4 MHz<br>1.710 MHz – 1.740 MHz<br>1.745 MHz – 1.755 MHz<br>1.763,6 MHz – 1.783,6 MHz<br>1.900,1 MHz – 1.979,7 MHz<br>2.010,5 MHz – 2.024,7 MHz<br>2.500 MHz – 2.620 MHz<br>3.410 MHz – 3.473 MHz | 3AX 0.4-6G | 1          | 1,0 dB |
| M17_GSM_UL      | 862,1 MHz – 907,3 MHz<br>912,5 MHz – 914,9 MHz<br>1.740,1 MHz – 1.744,9 MHz<br>1.755,1 MHz – 1.759,9 MHz                                                                                                                              | 3AX 0.4-6G | 1          | 1,0 dB |
| M17_RADAR10     | 961 MHz – 1452 MHz                                                                                                                                                                                                                    | 3AX 27M-3G | 1          | 1,5 dB |
| M17_RADAR15+22  | 1.492 MHz – 1.710 MHz<br>2.175 MHz – 2.384 MHz                                                                                                                                                                                        | 3AX 0.4-6G | 1          | 1,5 dB |
| M17_DECT        | 1.880,928 MHz – 1.898,208 MHz                                                                                                                                                                                                         | 3AX 0.4-6G | 1          | 1,5 dB |
| M17_WLAN        | 2.384 MHz – 2.500 MHz<br>5,1 GHz – 5,785 GHz                                                                                                                                                                                          | 3AX 0.4-6G | 1          | 1,5 dB |
| M17_RADAR27     | 2,69 GHz – 3 GHz                                                                                                                                                                                                                      | 3AX 0.4-6G | 1          | 1,5 dB |
| M17_RADAR30     | 3 GHz – 3,41 GHz<br>3,473 GHz – 3,51 GHz                                                                                                                                                                                              | 3AX 0.4-6G | 1          | 1,5 dB |
| M17_RADAR36     | 3,573 GHz – 4 GHz                                                                                                                                                                                                                     | 3AX 0.4-6G | 1          | 1,5 dB |
| M17_RADAR40     | 4 GHz – 4,5 GHz                                                                                                                                                                                                                       | 3AX 0.4-6G | 1          | 1,5 dB |
| M17_RADAR45     | 4,5 GHz – 5 GHz                                                                                                                                                                                                                       | 3AX 0.4-6G | 1          | 1,5 dB |
| M17_RADAR50     | 5 GHz – 5,1 GHz<br>5,785 GHz – 6 GHz                                                                                                                                                                                                  | 3AX 0.4-6G | 1          | 1,5 dB |
| M17CODE_LTE     | 87,5 MHz – 108 MHz                                                                                                                                                                                                                    | 3AX 0.4-6G | 1          | —      |
| M17CODE_UMTS    | 87,5 MHz – 108 MHz                                                                                                                                                                                                                    | 3AX 0.4-6G | 1          | —      |



## F Interne 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 Vermessungsgeometrie

Zur besseren Wiederauffindbarkeit der genauen Messorte wurden häufig Distanzen zu Fixpunkten dokumentiert. Leider befanden sich die Fixpunkte bisweilen in spitzem Winkel zueinander, was eine erhöhte Ungenauigkeit in der Ortsbestimmung nach sich zieht. Zwar ist die Wahl dieser Fixpunkte bisweilen nicht ganz einfach<sup>98</sup>, doch sollte allgemein möglichst darauf geachtet werden, dass sie idealerweise einen Winkel von  $\geq 90^\circ$  bilden, und dass es sich um langlebige Bauelemente wie zum Beispiel Kanaldeckel oder Hydranten handelt. Potenziell variable Fixpunkte wie etwa Bäume oder Gartenzäune sind dagegen weniger gut geeignet.

### F.2 Niederfrequente Felder

In den bisherigen Messreihen kam es – in der ersten Messreihe sehr häufig, danach nur noch sporadisch – zu rauschähnlichen Spektren, die bis zu vier Größenordnungen über dem gewöhnlichen Grundrauschen des EFA-300 lagen. Verantwortlich hierfür ist die Auto-Range-Funktion des EFA-300, die den optimalen Messbereich (das heißt die Empfindlichkeit) vom größtmöglichen Messbereich ausgehend bestimmt. Es dauert einige Sekunden, bis letztlich der empfindlichste Messbereich gewählt ist, der für die Messwerte des EMF-Monitorings in der Regel benötigt wird.

Wird während dieser Zeit die Max-Hold-Funktion aktiviert – sei es durch Ungeduld oder durch ein vergessenes Zurückschalten auf den Live-Modus nach der letzten Messung –, so entstehen die beobachteten Spektren. Direkt am Gerät ist dies nur sehr schwer zu erkennen. Sofern bei einer fünften Messreihe weiterhin mit dem EFA-300 gearbeitet werden sollte, wird konsequent empfohlen,

1. zum Speichern immer die Tastenfolge SAVE und F3 (zurück auf den Live-Modus schalten) zu verwenden, und
2. vor jedem Umschalten in den Max-Hold-Modus etwa 5 s – 10 s zu warten.

### F.3 Rundfunk

Auf Grund des geringen Beitrags der Kurzwelle könnte zukünftig Lang- und Mittelwelle mit Kurzwelle zusammengefasst werden.

### F.4 Energieversorgung

Aus Gründen des Umweltschutzes sollte geprüft werden, ob die Stromversorgung für die Messungen auf einen zeitgemäßen Stand gebracht werden kann. Dadurch könnten unnötige Lärm- und Schadstoffemissionen, die das Benzinaggregat mit sich bringt, reduziert oder ganz vermieden werden.

---

<sup>98</sup> Insbesondere dann, wenn man als Randbedingung handliche Entfernungen  $< 10$  m fordert.

## G Aufbau der Ergebnisdatenbanken

Dieses Kapitel soll keine vollständige Dokumentation der verwendeten Datenbanken darstellen. Es soll aber die dahinterstehenden grundlegenden Ideen und Konzepte anreißen und aufzeigen, wie die in diesem Bericht vorgestellten Ergebnisse nachvollzogen werden können. Die Auswertung ist erstmals keine „Black Box“, sondern durch die Datenbankarchitektur fast vollständig offengelegt. Die Datenbanken enthalten nur die Basisdaten – alle Peaks oberhalb der jeweiligen Auswerteschwelle –; sämtliche Statistiken werden on-the-fly vom RDBMS errechnet.

Trotz der unterschiedlichen Ausgangssituation wurden alle Daten so vereinheitlicht, dass identische Abfragen für die Ergebnisse verwendet werden können. Pro Messreihe liegen zwei Datenbanken vor: eine mit allen Originaldaten und eine zweite mit allen Auswertungen. Dieses Kapitel befasst sich nur mit letzterer. Die Grundstruktur der Datenbanken ist aber in beiden Fällen identisch.

### G.1 Die Datenstruktur – Datasets, Traces und Items

Die Datenverwaltung besteht aus drei Ebenen. Die kleinste Einheit ist ein *Item*. Mehrere Items bilden eine *Trace*, mehrere Traces wiederum ein Dataset. Die Ebenen haben verschiedene Eigenschaften.

Ein *Item* ist ein einzelner Messwert und besteht aus Frequenz (in Hertz) und Zahlenwert.

Eine *Trace* besteht immer aus gleichartigen Messwerten. Sie definiert die physikalische Größe, in der die enthaltenen Items zu interpretieren sind. Darüber hinaus kann jeder Trace ein Typmerkmal (*Trace Type*) zugewiesen werden. Daten des SRM-3006 bilden beispielsweise dessen verschiedenen Ergebnistypen (AVG, MAX, etc.) als Typmerkmale ab.

Ein Dataset ist eine Klammer für zusammengehörige Traces. Die Auswertedatenbanken bündeln alle Traces eines Messpunkts in einem zugehörigen Dataset.

### G.2 Physikalische Größen, Einheiten, Summationsregeln

Das Datenbankkonzept der physikalischen Größen folgt prinzipiell dem physikalischen Modell. Demnach wird jeder Wert einer physikalischen Größe (Größenwert) als Produkt aus einem Zahlenwert (Maßzahl) und einer Maßeinheit angegeben. Auf Grund der speziellen Regeln zur Bildung von Ausschöpfungsgraden bei gleichzeitiger Einwirkung verschiedener Frequenzen erweitert die Datenbank das physikalische Konzept lediglich um ein zusätzliches Feld, das der Summationsregel.

Jede Trace setzt sich deshalb wie folgt zusammen:

- Sie kann  $n \geq 0$  Zahlenwerte (Maßzahlen) bei  $n$  verschiedenen Frequenzen enthalten. Traces ohne Werte – also leere Traces – sind möglich.
- Alle Maßzahlen der Trace verwenden dieselbe Einheit, beispielsweise V/m. Die Einheit 1 kennzeichnet eine dimensionslose Größe.
- Die Summationsregel (*Sumrule*) gibt an, wie aus den Einzelwerten ein Summenwert für die Trace zu bilden ist. Der Wert 0 bedeutet, dass alle Einzelwerte linear summiert werden. Die Sumrule 1 definiert eine Quadratesumme, die abschließend auch im quadrierten Zustand verbleibt. Das Ergebnis ist deshalb in „Quadrateneinheiten“ zu interpretieren, beispielsweise als  $V^2/m^2$ . Der Wert 2 als letzter möglicher Sumrule-Wert legt fest, dass die Einzelwerte der Trace überhaupt nicht summierbar sind. Dies ist beispielsweise für Traces in der Einheit dB V/m der Fall.
- Schließlich ist jeder Trace noch ein Formelzeichen zugewiesen, etwa  $E$  für die elektrische Feldstärke.

## G.3 Einen Überblick erhalten

Es empfiehlt sich generell, nicht mit den Datenbanktabellen, sondern mit den enthaltenen Views zu arbeiten. Sie lösen in den meisten Fällen die Relationen zwischen den Tabellen so auf, dass die Daten leichter interpretierbar sind. Die nachfolgend vorgestellten Views dienen dem schnellen Überblick über die verfügbaren Daten:

### G.3.1 datasets

`SELECT * FROM datasets` liefert eine Liste der Datasets. Für die Monitoringdatenbanken entspricht ein Dataset grundsätzlich einem Messpunkt. Der Name des Datasets folgt dem System `MPnnn_xxx`, worin *nnn* die dreistellige Messpunktnummer und *xxx* der Ort des Messpunkts sind. Die IDs der Datasets sind so gewählt, dass sie der Messpunktnummer entsprechen, was schnelle Abfragen bei bekannter Messpunktnummer ermöglicht.

### G.3.2 traces

Die View *traces* enthält die in Tab. 90 dargestellten Felder.

Tab. 90: Datenfelder der Datenbankview *traces*.

| Feld         | Bedeutung                                                                                                                                                                                                   |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| id           | Interne Identifikationsnummer der Trace.                                                                                                                                                                    |
| index        | Fortlaufende Nummer der Traces eines Datasets.                                                                                                                                                              |
| name         | Benennung der Trace. Für die Datenbanken des EMF-Monitorings ist gewöhnlich der Setupname (Paketname) hinterlegt.                                                                                           |
| run          | Nummer des Durchlaufs, d. h. fortlaufende Nummer innerhalb gleichnamiger Traces eines Datasets.                                                                                                             |
| stored       | Datum und Uhrzeit der Messung (in CET oder CEST).                                                                                                                                                           |
| datasetid    | Identifikationsnummer des Datasets, dem die Trace zugeordnet ist. Entspricht der Messpunktnummer.                                                                                                           |
| datasetname  | Name des Datasets, dem die Trace zugeordnet ist. Folgt der Systematik <code>MPnnn_xxx</code> , worin <i>nnn</i> die dreistellige Messpunktnummer und <i>xxx</i> der Ort des Messpunkts sind.                |
| quantityid   | Interne Identifikationsnummer der zugeordneten physikalischen Größe.                                                                                                                                        |
| quantityname | Formelzeichen der physikalischen Größe.                                                                                                                                                                     |
| quantityunit | Physikalische Einheit, in der die Zahlenwerte zu interpretieren sind.                                                                                                                                       |
| sumrule      | Summationsregel, siehe Anhang G.2.                                                                                                                                                                          |
| resulttype   | Ergebnistyp der Trace. Für die Messreihe 2017/2018 folgt die Benennung den Ergebnistypen des SRM-3006, d. h. MAX, AVG, etc.. Für die früheren Messreihen wurden die Traces analog mit dem Typ AVG versehen. |
| typeid       | Interne Identifikationsnummer für den Ergebnistyp.                                                                                                                                                          |

Die Abfrage einzelner Messwerte ist meist nicht erforderlich, wenngleich selbstverständlich möglich. Im Allgemeinen sind jedoch die aggregierten Daten von größerem Interesse als die Einzelwerte. Damit beschäftigen sich die nächsten Abschnitte.

## G.4 Gruppen

Die Messpakete (Setups) müssen meist mehr Rücksicht auf die Spezifika des Messsystems nehmen, insbesondere die Frequenzbereiche der Antennen, als die funktechnische Nutzung abbilden zu können. Etliche funktechnisch zusammengehörige Funkdienste (beispielsweise GSM-900 und GSM-1800 oder das UHF-Fernsehband in den ersten drei Messreihen) müssen daher aus mehreren verschiedenen Messpaketen zusammengesetzt werden. Für die Datenbank bedeutet das, dass es nicht ausreicht, die Items einzelner Traces zu summieren, sondern zusätzlich auch noch die Summen verschiedener Traces addiert werden müssen. Das ist die Aufgabe der *Gruppen*:

- Gruppen definieren *logisch zusammengehörige* Funkdienste.
- Gruppen legen fest, aus welchen Traces der jeweilige Funkdienst besteht.
- Gruppen beinhalten die Information, ob Messpakete optional oder obligatorisch sind. Dieser Unterschied bestimmt, wie mit fehlenden Daten umgegangen wird. (siehe Anhang G.6)

Die View `traces` arbeitet nahe an den Ausgangsdaten mit den zugehörigen Setups:

```
sqlite> SELECT DISTINCT name FROM traces LIMIT 3;
name
-----
LMMW_mon02
KW_mon02
UKW_mon02
```

Die Namen dieser Traces orientieren sich an den Messpaketen und unterscheiden sich deshalb erheblich von Messreihe zu Messreihe.

Die nächsten Views arbeiten unter Berücksichtigung der Gruppendefinitionen auf einer höheren Abstraktionsebene mit Funkdienstbezeichnungen:

```
sqlite> SELECT DISTINCT tracename FROM tracesum LIMIT 3;
tracename
-----
broadcast
cell
dab
```

Diese Namen sind in den Auswertedatenbanken aller vier Messreihen einheitlich (Tab. 91). Deshalb können auch alle Auswertungen mit denselben Abfragen durchgeführt werden.

Tab. 91: Namen der Funkdienste.

| Name        | Bedeutung                                                                                                                      |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| bos         | Funkdienste der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben, unabhängig von der Übertragungstechnik                    |
| broadcast   | Rundfunk (Hörfunk und Fernsehen)                                                                                               |
| cell        | Kommerzieller Mobilfunk (Summe aus GSM-900, GSM-1800, UMTS und LTE)                                                            |
| cell_corr   | Wie cell, enthält aber die Korrektur für GSM-Daten aus den Jahren 2002 – 2012                                                  |
| dab         | DAB-Digitalradio                                                                                                               |
| dcs         | GSM-1800                                                                                                                       |
| dcs_corr    | GSM-1800, in den Jahren 2002 – 2012 um -7,0 dB korrigiert                                                                      |
| dvbt        | Digitales terrestrisches Fernsehen                                                                                             |
| gsm         | GSM-900                                                                                                                        |
| gsm_corr    | GSM-900, in den Jahren 2002 – 2012 um -6,3 dB korrigiert                                                                       |
| gsmdcs      | GSM gesamt (Summe aus GSM-900 und dcs)                                                                                         |
| gsmdcs_corr | wie gsmdcs, enthält aber die Korrektur für die Daten aus den Jahren 2002 – 2012                                                |
| kw          | Kurzwelle                                                                                                                      |
| lf          | Niederfrequenz                                                                                                                 |
| lmk         | (Summe von) Lang-, Mittel- und Kurzwelle                                                                                       |
| lte         | LTE                                                                                                                            |
| lwmw        | Lang- und Mittelwelle                                                                                                          |
| other       | Sonstige Funkdienste                                                                                                           |
| pal         | Analoges terrestrisches Fernsehen                                                                                              |
| radio       | Hörfunk (Summe aus LW, MW, KW, UKW und DAB)                                                                                    |
| total       | Gesamtsumme (Summe aus broadcast, cell, bos und other)                                                                         |
| total_corr  | Wie total, enthält aber die Korrektur für GSM-Daten aus den Jahren 2002 – 2012 (Summe aus broadcast, cell_corr, bos und other) |
| tv          | Terrestrisches Fernsehen, unabhängig von der Übertragungstechnik                                                               |
| ukw         | UKW                                                                                                                            |
| umts        | UMTS                                                                                                                           |

## G.5 Messpunktweise Ergebnisse; Verteilungskurven erstellen

Die View `exposure_list`, deren Felder in Tab. 92 zusammengestellt sind, aggregiert die Daten so weit, dass sie sich auf einzelne Messpunkte beziehen. Sie beschränkt sich auf Expositionsgrößen, d. h. deren Ergebnisse sind immer grenzwertbezogen. Mit der View `exposure_list` befindet man sich am Ende von Schritt 6 des Auswerteverfahrens (siehe Kapitel 4.1.3.5).

Die Daten dieser View kommen so zu Stande, dass zunächst alle Einzelwerte einer Trace – genauer: aller Traces eines Funkdienstes – summiert werden. Diese Einzelsummen korrelieren mit den Durchläufen der Messpakete. Für die ersten drei Messreihen gibt es deshalb jeweils circa 10 Summenwerte, für die vierte Messreihe je nach Paket entweder 1 oder 4. Die View fasst diese Summen nochmals zusammen:

- `value_avg` enthält den Mittelwert der Durchläufe. (Für das Beispiel in Anhang A.1 am Messpunkt A wäre das der Wert 7,5.)
- `value_min` enthält den Maximalwert aller Durchläufe. (Im genannten Beispiel: 7,0)
- `value_max` enthält den Minimalwert aller Durchläufe. (Im genannten Beispiel: 8,0)
- `value_sd` enthält die Standardabweichungen für die Durchläufe. (Im genannten Beispiel: 0,7)

Tab. 92: Datenfelder der Datenbankview *exposure\_list*.

| Feld                      | Bedeutung                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <code>datasetid</code>    | Interne Identifikationsnummer des Datasets. Entspricht der Messpunktnummer.                                                                                                                 |
| <code>mp</code>           | Name des Messpunkts in der Form MPnnn_xxx, wobei nnn die dreistellige Messpunktnummer und xxx der Ort sind.                                                                                 |
| <code>tracename</code>    | Gruppe (Funkdienst), über die die Einzelwerte summiert sind.                                                                                                                                |
| <code>quantityname</code> | Formelzeichen der physikalischen Größe. Es handelt sich jeweils um Expositionsgrößen, die in der Form E/E_{zzz} notiert sind. zzz gibt das Regelwerk an, dem die Grenzwerte entnommen sind. |
| <code>sumrule</code>      | Summationsregel, siehe Anhang G.2.                                                                                                                                                          |
| <code>value_yyy</code>    | Ergebniswerte, siehe Text.                                                                                                                                                                  |

Diese View wird selten in ihrer vollständigen Form verwendet werden. Meist sind eher Auszüge erforderlich. Einige Beispiele dazu:

### G.5.1 UMTS-Ergebnisse aller Messpunkte

```
SELECT datasetid, mp, value_avg FROM exposure_list WHERE quantity=
'E/E_{26. BImSchV 2013}' AND sumrule=1 AND tracename='umts';
```

Die Filterungen beschränken die Ausgabe auf Grenzwertausschöpfungen für die thermische Wirkung (`sumrule=1`) bezogen auf die elektrische Feldstärke mit den Grenzwerten aus der Verordnung über elektromagnetische Felder aus dem Jahr 2013 (`quantity='E/E_{26. BImSchV 2013}'`).

Man beachte, dass bei der Verwendung von `quantity` die Groß- und Kleinschreibung berücksichtigt werden muss, da diesem Feld das Konzept physikalischer Formelzeichen entspricht.

### G.5.2 Ergebnisse für die Stimulationswirkung durch Magnetfelder am Messpunkt MP1

```
SELECT tracename, value_avg FROM exposure_list WHERE quantity='B/B_{26.
BImSchV 2013}' AND sumrule=0 AND datasetid=1;
```

Die Filterung nach (`sumrule=0`) sorgt für die Beschränkung auf Ergebnisse im Stimulationswirkungsbereich. Die Ausgabe enthält dennoch alle Funkdienste. Funkdienste, die auf Grund ihrer Frequenz nicht zur Exposition im Stimulationswirkungsbereich beitragen, enthalten NULL-Werte.

### G.5.3 Verteilungskurve für Rundfunk

```
SELECT value_avg AS x, (RANK() OVER (ORDER BY value_avg ASC))/403.0 AS y
FROM exposure_list WHERE quantity='E/E_{26. BImSchV 2013}' AND sumrule=1
AND tracename='broadcast' ORDER BY x ASC;
```

Die Abfrage wirkt lediglich auf Grund des Einschubs mit der Definition für y unübersichtlich, entspricht ansonsten aber dem bekannten Abfrageschema. Die genannte Ergänzung, `RANK() OVER (ORDER BY value_avg ASC))/403.0 AS y`, vergibt in aufsteigender Reihenfolge der Ausschöpfungsgrade einen zugehörigen Anteil. Das abschließende `ORDER BY x ASC` sorgt dafür, dass die Ausgabe aufsteigend nach Ausschöpfungsgrad sortiert wird. Die Ausgabe kann direkt geplottet werden und liefert – je nach Datenbank – eine der Expositionsverteilungen für den Rundfunk aus Abb. 46.

### G.5.4 Messpunkt mit der höchsten Grenzwertausschöpfung für das niederfrequente elektrische Feld

```
SELECT mp FROM exposure_list WHERE quantity='E/E_{26. BImSchV 2013}' AND
sumrule=0 ORDER BY value_avg DESC LIMIT 1;
```

Ergibt nach allen bisherigen Messungen unabhängig von der Messreihe den Messpunkt MP256.

## G.6 Statistiken über ganze Messreihen bilden

Die Gesamtstatistik einer Messreihe ist Aufgabe der View `exposure_coll`. Sie entspricht damit dem Ende von Schritt 7 des Auswerteverfahrens aus Kapitel 4.1.3.5. Wie eben zuvor, empfiehlt sich auch für diese View die Einschränkung der Ausgabe auf den gewünschten Aspekt.

Die Besonderheiten von `exposure_coll` sind:

- Sie enthält pro Zeile wesentlich mehr Ausschöpfungsgrade. Diese Felder sind nach dem System `aaa_yyy` benannt, wobei sowohl `aaa` als auch `yyy` Statistikfunktionen sind. Die Systematik folgt den Statistiktabeln wie sie beispielhaft in Tab. 20 gezeigt ist. `aaa` entspricht den Zeilen ⑥ bis ⑪; `yyy` entspricht den Spalten ② bis ⑤. `max_avg` ist also der Maximalwert der Mittelwerte; `avg_max` ist analog dazu der Mittelwert der Maxima.
- Zusätzlich zu den genannten Feldern gibt es gleichnamige, deren Name zusätzlich auf 0 endet. Diese bilden die Statistik immer über einen Funkdienst an *allen* Messpunkten. Liegt an einem Messpunkt kein Ergebnis vor<sup>99</sup>, so geht dieser Messpunkt mit einem Nullwert in die Statistik ein. Die Statistik in den Feldern ohne abschließende 0 wird dagegen nur über diejenigen Messpunkte gebildet, für die tatsächlich Werte vorhanden sind. (Bitte Ausnahme am Ende des Abschnitts beachten!)
- Die Felder `n` und `n0` geben die Anzahl an Messpunkten an, aus denen die Statistik besteht. Im Idealfall und zumindest für Standardmesspakete sollten beide Werte jeweils 403 betragen.

---

<sup>99</sup> Es ist tatsächlich eine fehlende Messung gemeint. Der Fall ist zu unterscheiden von der Situation, in der durch die Schwellenwertbetrachtung keine Peaks übrig bleiben. Der daraus resultierende Nullwert ist in beiden Statistiken enthalten.



Die folgende Abfrage führt zu Median und Mittelwert des Rundfunks aus Abb. 46:

```
SELECT median_avg, avg_avg FROM exposure_coll WHERE quantity='E/E_{26.
BImSchV 2013}' AND sumrule=1 AND tracename='broadcast';
```

Die Filterparameter entsprechen denen der View exposure\_list und wurden bereits in Anhang G.5 erläutert.

Bei der Berücksichtigung fehlender Messungen ist in den Ergebnissen *der nicht auf 0 endenden Felder* folgender wichtiger Unterschied zwischen optionalen und Standardmesspaketen zu beachten: Ein fehlendes *Standard*messpaket sortiert den Messpunkt in allen Funkdiensten, zu denen das Messpaket einen Beitrag liefert, vollständig aus. Für ein fehlendes *optionales* Messpaket wird hingegen angenommen, dass es nicht vergessen wurde, sondern mangels Signalen absichtlich ausgelassen wurde. Es wird deshalb als vorhanden und mit Null berücksichtigt.

Beispiel für die Messreihe 2011/2012: LTE im Frequenzband bei 2.6 GHz war zu Zeiten der dritten Messreihe rar. Das zugehörige Paket war deshalb optional. Fehlt es, so wird die Exposition für LTE-2600 als 0 angenommen. Es gibt dennoch ein Gesamtergebnis für den Mobilfunk an diesem Messpunkt, das sich entsprechend nur aus GSM-900, GSM-1800, UMTS und LTE-800 zusammensetzt. Fehlen dagegen sämtliche Durchläufe für GSM-900, so ist die Mobilfunkexposition an diesem Messpunkt durch das Fehlen eines wesentlichen Beitrags nicht belastbar. Das Gesamtergebnis für Mobilfunk ist deshalb NULL, also ein fehlender Wert. Der Messpunkt geht nicht in die Statistiken aaa\_yyy ein. Soll dennoch darüber hinweggesehen werden, so sind stattdessen die Statistiken aaa\_yyy0 (mit abschließender 0) heranzuziehen. Hierin wird das fehlende Standardmesspaket wie ein optionales Paket behandelt und eine Nullexposition angenommen.

## Abkürzungsverzeichnis

|                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ▼              | Das Symbol kennzeichnet alle Stellen, an denen eine Korrektur von GSM-Messdaten aus den ersten drei Messreihen (2002 – 2012) erfolgt ist, das heißt die dargestellten Daten nicht mehr den Originalwerten entsprechen. Die Korrektur beträgt –6,3 dB für GSM-900 und –7,0 dB für GSM-1800.                                              |
| 5G             | Mobilfunkstandard der fünften Generation.                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| BCCH           | Broadcast Control Channel. Ein Organisationskanal bei GSM.                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| BOS            | Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (Polizei, Zoll, Technisches Hilfswerk, Feuerwehr, Rettungsdienst, Katastrophenschutz). Der Begriff wird im Bericht gewöhnlich in der Verbindung „BOS-Funk“ gebraucht und bezeichnet dann analoge oder digitale Funksysteme für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben. |
| CB(-Funk)      | Citizens band. Kostenfrei nutzbarer Frequenzbereich für Sprech- und Datenfunk.                                                                                                                                                                                                                                                          |
| CLI            | Command Line Interface. Software ohne grafische Benutzeroberfläche.                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| (T-)DAB(+)     | (Terrestrial) Digital Audio Broadcasting. Übertragungsstandard für terrestrischen Empfang von Digitalradio. DAB+ unterscheidet sich nur durch den Einsatz eines anderen Codes von DAB. Der Bericht unterscheidet nicht zwischen diesen Varianten.                                                                                       |
| DLL            | Dynamic Link Library. Softwarebibliothek.                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| DECT           | Digital Enhanced Cordless Telecommunications. Funkstandard für Festnetz-Schnurlostelefone.                                                                                                                                                                                                                                              |
| DSS            | Dynamic Spectrum Sharing. Technik zum gleichzeitigen Betrieb von LTE und 5G im selben Frequenzblock.                                                                                                                                                                                                                                    |
| DVB-T(2)       | Digital Video Broadcasting – Terrestrial. Übertragungsstandard für terrestrischen Empfang von Fernsehen. DVB-T2 unterscheidet sich sowohl in Modulation als auch im Codec von DVB-T. Der Unterschied ist allerdings für die Expositionsbewertung ohne Relevanz, sodass der Bericht keine explizite Unterscheidung vornimmt.             |
| EDGE           | Enhanced Data Rates for GSM Evolution. Technik zur Erhöhung der Datenrate in GSM-Mobilfunknetzen.                                                                                                                                                                                                                                       |
| <i>E</i> -Feld | Elektrisches Feld.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| EEPROM         | Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory. Programmierbarer Speicherbaustein, der seinen Inhalt behält, auch wenn er nicht mit Strom versorgt wird.                                                                                                                                                                           |
| EFA-300        | Electromagnetic Field Analyzer. Messgerät der Firma Narda STS zur Erfassung niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder.                                                                                                                                                                                                      |
| eMBMS          | evolved Multimedia Broadcast Multicast Service. Standard zur Übertragung von Rundfunk über LTE-Netze.                                                                                                                                                                                                                                   |
| EMF            | Elektromagnetische(s) Feld(er).                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ERP                | Effective Radiated Power. Effektive eingespeiste Leistung eines Senders mal Antennengewinn.                                                                                                                                                     |
| ESPI(7)            | Funkstörmessempfänger der Firma Rohde & Schwarz. Die Ziffer gibt den maximalen Frequenzbereich (7 GHz) an.                                                                                                                                      |
| E-UTRA             | Evolved UMTS Terrestrial Radio Access. Luftschnittstelle für den Mobilfunkstandard LTE.                                                                                                                                                         |
| $f$                | Frequenz.                                                                                                                                                                                                                                       |
| FeMBMS             | Further evolved Multimedia Broadcast Multicast Service. Standard zur Übertragung von Rundfunk über 5G-Netze.                                                                                                                                    |
| GSM                | Global System for Mobile Communications. Mobilfunkstandard der zweiten Generation.                                                                                                                                                              |
| $H$ -Feld          | Magnetisches Feld.                                                                                                                                                                                                                              |
| HVDC               | High Voltage Direct Current. Verfahren zur elektrischen Energieübertragung mit hoher Gleichspannung.                                                                                                                                            |
| ICNIRP             | International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Internationale Vereinigung von Wissenschaftlern zur Erforschung der Auswirkung nichtionisierender Strahlung auf die menschliche Gesundheit.                                      |
| ISM(-Frequenzband) | Industrial, scientific, and medical. Frequenzbereich, in dem Hochfrequenzanwendungen in Industrie, Wissenschaft, Medizin, in häuslichen und ähnlichen Bereichen lizenzfrei und meist genehmigungsfrei genutzt werden können.                    |
| KW                 | Kurzwelle. Bezeichnung für einen Frequenzbereich, die meist im übertragenen Sinne auch für analoge Rundfunkübertragungen in diesem Frequenzbereich verwendet wird.                                                                              |
| LAN                | Local Area Network. Lokales Netzwerk in der Computertechnik.                                                                                                                                                                                    |
| LTE                | Long Term Evolution. Mobilfunkstandard der vierten Generation.                                                                                                                                                                                  |
| LW                 | Langwelle. Bezeichnung für einen Frequenzbereich, die meist im übertragenen Sinne auch für analoge Rundfunkübertragungen in diesem Frequenzbereich verwendet wird. Der Bericht versteht darunter den Frequenzbereich 60 kHz – 283,5 kHz.        |
| MW                 | Mittelwelle. Bezeichnung für einen Frequenzbereich, die meist im übertragenen Sinne auch für analoge Rundfunkübertragungen in diesem Frequenzbereich verwendet wird. Der Bericht versteht darunter den Frequenzbereich 526,5 kHz – 1.606,5 kHz. |
| NF                 | Niederfrequenz. Elektromagnetische Felder mit Frequenzen bis circa 30 kHz.                                                                                                                                                                      |
| OFDM               | Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, ein Modulationsverfahren.                                                                                                                                                                           |
| PSS                | Primary Synchronization Signal. Ein Organisationskanal bei LTE.                                                                                                                                                                                 |
| RBW                | Resolution Bandwidth. Auflösebandbreite bei Messungen elektromagnetischer Felder.                                                                                                                                                               |
| RDBMS              | Relational Database Management System. Datenverwaltung, die auf einem tabellenbasierten relationalen Datenbankmodell beruht.                                                                                                                    |

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RFEX       | Radio Frequency Exposure. Software der Firma Rohde & Schwarz zur automatisierten Erfassung elektromagnetischer Felder.                                                                                                                                                                                                |
| RMS        | Root Mean Square. Effektivwert (quadratischer Mittelwert) einer zeitlich veränderlichen physikalischen Größe, hier in der Regel der elektrischen Feldstärke.                                                                                                                                                          |
| RS-232     | Recommended Standard 232. Standard für eine serielle Schnittstelle, der in den frühen 1960er Jahren vom US-amerikanischen Standardisierungsgremium Electronic Industries Association (EIA) erarbeitet wurde.                                                                                                          |
| SRM(-3006) | Selective Radiation Meter. Messgerät der Firma Narda Safety Test Solutions zur Erfassung elektromagnetischer Felder.                                                                                                                                                                                                  |
| TDD        | Time Division Duplex. Up- und Downlink einer Mobilfunkverbindung werden nicht durch verschiedene Frequenzen getrennt, sondern zeitlich abwechselnd auf derselben Frequenz abgewickelt.                                                                                                                                |
| TETRA      | Terrestrial Trunked Radio. Übertragungsstandard für digitalen Bündelfunk, der das digitale Funknetz der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben aufspannt. Für andere Zwecke (beispielsweise Verkehrsbetriebe) stehen weitere Frequenzbereiche zur Verfügung, in denen ebenfalls TETRA zum Einsatz kommt. |
| TCH        | Traffic Channel. Verkehrskanal bei GSM.                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| UKW        | Ultrakurzwelle. Bezeichnung für einen Frequenzbereich, die meist im übertragenen Sinne auch für analoge Hörfunkübertragungen in diesem Frequenzbereich verwendet wird. Der Bericht versteht darunter den Frequenzbereich 87,5 MHz – 108,0 MHz.                                                                        |
| UMTS       | Universal Mobile Telecommunications System. Mobilfunkstandard der dritten Generation.                                                                                                                                                                                                                                 |
| USB        | Universal Serial Bus. Schnittstelle zur Verbindung eines Computers mit externen Geräten.                                                                                                                                                                                                                              |
| VHF        | Very High Frequency. Sammelbezeichnung für verschiedene Frequenzbereiche zwischen 30 MHz und 300 MHz. Das Band III (174 MHz – 230 MHz) wird für DAB-Digitalradio genutzt.                                                                                                                                             |
| WLAN       | Wireless Local Area Network. Standard für lokale Funknetze zur Datenübertragung.                                                                                                                                                                                                                                      |

## Abbildungsverzeichnis

|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |    |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abb. 1:  | Lage der 403 EMF-Monitoring-Messpunkte in Bayern.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 8  |
| Abb. 2:  | Beispiel einer Verteilung der Ausschöpfungsgrade.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 11 |
| Abb. 3:  | Komponenten des EMF-Monitorings.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 13 |
| Abb. 4:  | Exemplarischer Aufbau des neuen Messsystems.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 14 |
| Abb. 5:  | Exemplarische Aufbau des alten Messsystems.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 14 |
| Abb. 6:  | Der Narda-Spektrumanalysator SRM-3006 analysiert die Funksignale und ermittelt deren elektrische Feldstärken.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 15 |
| Abb. 7:  | Schalteinheit zur Umschaltung verschiedener Antennen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 15 |
| Abb. 8:  | Typischer Aufbau bis einschließlich Messreihe 2011/2012.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 18 |
| Abb. 9:  | Neuer Aufbau bei der Messreihe 2017/2018.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 18 |
| Abb. 10: | Messpunkt MP059 in der Messung 2011/2012.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19 |
| Abb. 11: | Messpunkt MP059 in der Messung 2017/2018. Ein typisches Problem insbesondere in München. Ältere Bausubstanz wird durch vollständige Neubauten teils ganzer Wohnblöcke ersetzt oder zumindest umfassend saniert.                                                                                                                                                                                                                                          | 19 |
| Abb. 12: | Vollständige Messdaten für UKW im Vergleich der Messsysteme von Rohde & Schwarz und Narda an 12 Vergleichsmesspunkten.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 23 |
| Abb. 13: | Vollständige Messdaten für DAB im Vergleich der Messsysteme von Rohde & Schwarz und Narda an 12 Vergleichsmesspunkten.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 24 |
| Abb. 14: | Vollständige Messdaten für DVB-T im Vergleich der Messsysteme von Rohde & Schwarz und Narda an 12 Vergleichsmesspunkten.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 25 |
| Abb. 15: | Vollständige Messdaten für LTE im Vergleich der Messsysteme von Rohde & Schwarz und Narda an 12 Vergleichsmesspunkten.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 27 |
| Abb. 16: | Vollständige Messdaten für GSM-900 im Vergleich der Messsysteme von Rohde & Schwarz und Narda an 12 Vergleichsmesspunkten.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 30 |
| Abb. 17: | Vollständige Messdaten für GSM-1800 im Vergleich der Messsysteme von Rohde & Schwarz und Narda an 12 Vergleichsmesspunkten.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 31 |
| Abb. 18: | Antennenfaktoren im Vergleich zwischen den Messreihen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 33 |
| Abb. 19: | Frequenzgang des Antennengewinns der dreiachsigen <i>E</i> -Feld-Antennen von Narda. Für beide Antennen liegen inzwischen drei Kalibrierdatensätze vor: Die Kalibrierung im Jahr 2012 stellt den Auslieferungszustand dar. Die vierte Messreihe basiert ausschließlich auf der Kalibrierung 2017. Dazwischen wurde 2015 eine turnusmäßige Werkskalibrierung beauftragt. Alle Kalibrierungen stimmen gut überein; die Antennen funktionieren einwandfrei. | 34 |
| Abb. 20: | Die Nachweisschwelle im Vergleich zwischen den alten und neuen Messsystem.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 34 |
| Abb. 21: | Auswirkung der Unterschiede in den Empfangseigenschaften zwischen altem und neuem Messsystem.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 35 |
| Abb. 22: | Jahreszeitliche Verteilung der Messzeiten nach Kalendermonaten, und mittlere Messzeit je Messpunkt.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 38 |
| Abb. 23: | Schematische Darstellung der Auswertung.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 41 |

|          |                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abb. 24: | Vergleich ausgewählter Spektren mit unterschiedlichem Grundrauschen.                                                                                                                                                                             | 46 |
| Abb. 25: | Minimalwerte aller Niederfrequenzspektren pro Messreihe.                                                                                                                                                                                         | 47 |
| Abb. 26: | Auswirkung der Anpassung der Nachweisschwelle für niederfrequente elektrische Felder.                                                                                                                                                            | 48 |
| Abb. 27: | Festlegung der Nachweisschwelle zur Trennung von Signal und Rauschen am Beispiel UKW.                                                                                                                                                            | 50 |
| Abb. 28: | Festlegung der Nachweisschwelle zur Trennung von Signal und Rauschen am Beispiel LM und MW.                                                                                                                                                      | 51 |
| Abb. 29: | UKW und DVB-T am MP202 im Vergleich zwischen den Messreihen.                                                                                                                                                                                     | 52 |
| Abb. 30: | GSM-900 am MP202 im Vergleich zwischen den Messreihen.                                                                                                                                                                                           | 53 |
| Abb. 31: | Grenzwerte nach 26. BImSchV [13] für elektrische und magnetische Felder im Frequenzbereich der Stimulationswirkungen.                                                                                                                            | 54 |
| Abb. 32: | Einer von insgesamt 12 Messpunkten mit dem niedrigsten Ausschöpfungsgrad niederfrequenter magnetischer Felder (MP045; $Q_B = 0$ ).                                                                                                               | 55 |
| Abb. 33: | Messpunkt mit dem höchsten Ausschöpfungsgrad niederfrequenter Magnetfelder (MP037; $Q_B = 11,1 ‰$ ).                                                                                                                                             | 55 |
| Abb. 34: | Verteilung der Ausschöpfungsgrade magnetischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (nur Niederfrequenz bis 32 kHz).                                                                                                                      | 56 |
| Abb. 35: | Zusammensetzung der Immissionen im Bereich der Stimulationswirkungen durch magnetische Felder für die Messreihe 2017/2018. Die Balkendiagramme zeigen die zeitliche Entwicklung der Mediane der zugehörigen Beiträge von Messreihe zu Messreihe. | 57 |
| Abb. 36: | Verteilung der Ausschöpfungsgrade magnetischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (Gesamtbereich bis 10 MHz).                                                                                                                           | 58 |
| Abb. 37: | Dieser Messpunkt wies in bislang allen Messreihen den höchsten Ausschöpfungsgrad für das niederfrequente elektrische Feld auf (MP256; $Q_E = 500 ‰$ ; Exposition durch die Energieversorgung der Bahn).                                          | 59 |
| Abb. 38: | Messpunkt mit dem zweithöchsten Ausschöpfungsgrad (MP349; $Q_E = 260 ‰$ ; Exposition durch die vorbeiführende Freileitung).                                                                                                                      | 59 |
| Abb. 39: | Verteilung der Ausschöpfungsgrade elektrischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (nur Niederfrequenz bis 32 kHz).                                                                                                                      | 59 |
| Abb. 40: | Äquivalenz der Grenzwertausschöpfungen bezüglich elektrischem und magnetischem Feld bei Lang-, Mittel- und Kurzwelle.                                                                                                                            | 60 |
| Abb. 41: | Zusammensetzung der Immissionen im Bereich der Stimulationswirkungen durch elektrische Felder für die Messreihe 2017/2018.                                                                                                                       | 61 |
| Abb. 42: | Verteilung der Ausschöpfungsgrade elektrischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (Gesamtbereich bis 10 MHz).                                                                                                                           | 62 |
| Abb. 43: | Grenzwerte nach 26. BImSchV [13] für elektrische Felder im Frequenzbereich thermischer Wirkungen.                                                                                                                                                | 63 |
| Abb. 44: | Bayernweit gemittelte Spektren der Langwelle..                                                                                                                                                                                                   | 64 |
| Abb. 45: | Empfangsfeldstärken für die Frequenz 139 kHz vom Sender Burg bei Magdeburg.                                                                                                                                                                      | 66 |
| Abb. 46: | Verteilung der Ausschöpfungsgrade beim Rundfunk.                                                                                                                                                                                                 | 69 |

|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abb. 47: | Zusammensetzung der Rundfunkimmissionen aus den Funkdiensten UKW, DAB, Langwelle, Mittelwelle, Kurzwelle und Fernsehen (Kreisdiagramm) für die Messreihe 2017/2018. Die Balkendiagramme zeigen die zeitliche Entwicklung der Mediane der Rundfunkdienste von Messreihe zu Messreihe.                                                               | 70  |
| Abb. 48: | Messpunkt mit dem höchsten thermischen Ausschöpfungsgrad beim Hörfunk.                                                                                                                                                                                                                                                                             | 71  |
| Abb. 49: | Münchener Olympiaturm.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 71  |
| Abb. 50: | Messpunkt mit dem niedrigsten thermischen Ausschöpfungsgrad beim Hörfunk.                                                                                                                                                                                                                                                                          | 71  |
| Abb. 51: | Bayernweit gemittelte Spektren des für Digitalradio genutzten VHF-III-Frequenzbands.                                                                                                                                                                                                                                                               | 72  |
| Abb. 52: | Empfangsfeldstärken für DAB-Kanal 10A.                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 74  |
| Abb. 53: | Entwicklungen beim terrestrischen Fernsehen seit Beginn des EMF-Monitorings.                                                                                                                                                                                                                                                                       | 76  |
| Abb. 54: | Bayernweit gemittelte Mobilfunkspektren der Messreihe 2017/2018.                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 78  |
| Abb. 55: | Empfangsfeldstärken der jeweils stärksten LTE-Frequenz (PSS-Signal).                                                                                                                                                                                                                                                                               | 81  |
| Abb. 56: | Besondere Messpunkte des Mobilfunks 2017/2018: Messpunkt (MP275).                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 83  |
| Abb. 57: | Besondere Messpunkte des Mobilfunks 2017/2018: Messpunkt (MP063).                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 83  |
| Abb. 58: | Besondere Messpunkte des Mobilfunks 2017/2018: Messpunkt (MP048).                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 83  |
| Abb. 59: | Besondere Messpunkte des Mobilfunks 2017/2018: Messpunkt (MP239).                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 83  |
| Abb. 60: | Zusammensetzung der Mobilfunkimmissionen aus den Funkdiensten GSM, UMTS und LTE für die Messreihe 2017/2018. Die Balkendiagramme zeigen die zeitliche Entwicklung der Mediane der Mobilfunkdienste von Messreihe zu Messreihe. Auf Basis von Vergleichsmessungen wurden die GSM-Immissionen aus den Messreihen bis einschließlich 2012 korrigiert. | 84  |
| Abb. 61: | Verteilung der Ausschöpfungsgrade beim Mobilfunk.                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 88  |
| Abb. 62: | Verteilung der Ausschöpfungsgrade beim Mobilfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben.                                                                                                                                                                                                                                          | 89  |
| Abb. 63: | Verteilung der Ausschöpfungsgrade sonstiger Funkdienste.                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 92  |
| Abb. 64: | Zusammensetzung der Gesamtimmissionen aus den Funkdiensten Rundfunk, Mobilfunk, BOS-Funk und Sonstigen für die Messreihe 2017/2018.                                                                                                                                                                                                                | 94  |
| Abb. 65: | Verteilung der Ausschöpfungsgrade im Gesamtbereich thermischer Wirkung.                                                                                                                                                                                                                                                                            | 95  |
| Abb. 66: | Histogramme der Rundfunk- und Mobilfunkimmissionen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 97  |
| Abb. 67: | Zusammensetzung und Entwicklung der Immissionen im Frequenzbereich der Stimulationseffekten.                                                                                                                                                                                                                                                       | 100 |
| Abb. 68: | Zusammensetzung und Entwicklung der Hochfrequenzimmissionen.                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 101 |
| Abb. 69: | Verteilung der Ausschöpfungsgrade für Stimulationseffekten durch Magnetfeldexposition bei Lang-, Mittel- und Kurzwelle.                                                                                                                                                                                                                            | 107 |
| Abb. 70: | Verteilung der Ausschöpfungsgrade für Stimulationseffekten durch elektrische Felder der Lang-, Mittel- und Kurzwelle.                                                                                                                                                                                                                              | 111 |
| Abb. 71: | Verteilung der Ausschöpfungsgrade bei Lang- und Mittelwelle (thermische Wirkung).                                                                                                                                                                                                                                                                  | 114 |
| Abb. 72: | Verteilung der Ausschöpfungsgrade bei Kurzwelle (thermische Wirkung).                                                                                                                                                                                                                                                                              | 116 |



|          |                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abb. 73: | Verteilung der Ausschöpfungsgrade bei UKW.                                                                                                                                                                                                                         | 118 |
| Abb. 74: | Verteilung der Ausschöpfungsgrade bei DAB.                                                                                                                                                                                                                         | 120 |
| Abb. 75: | Verteilung der Ausschöpfungsgrade beim terrestrischen Fernsehen.                                                                                                                                                                                                   | 123 |
| Abb. 76: | Verteilung der Ausschöpfungsgrade bei GSM (unveränderte Originaldaten).                                                                                                                                                                                            | 126 |
| Abb. 77: | Verteilung der Ausschöpfungsgrade bei GSM (Effektivwerte).                                                                                                                                                                                                         | 127 |
| Abb. 78: | Verteilung der Ausschöpfungsgrade bei GSM-900.                                                                                                                                                                                                                     | 130 |
| Abb. 79: | Verteilung der Ausschöpfungsgrade bei GSM-1800.                                                                                                                                                                                                                    | 133 |
| Abb. 80: | Verteilung der Ausschöpfungsgrade bei UMTS.                                                                                                                                                                                                                        | 134 |
| Abb. 81: | Verteilung der Ausschöpfungsgrade bei LTE.                                                                                                                                                                                                                         | 137 |
| Abb. 82: | Zusammensetzung der Mobilfunkimmissionen aus den Funkdiensten GSM, UMTS und LTE für die Messreihe 2017/2018. Die Balkendiagramme zeigen die zeitliche Entwicklung der Mediane der Mobilfunkdienste von Messreihe zu Messreihe.                                     | 138 |
| Abb. 83: | Verteilung der Ausschöpfungsgrade beim Mobilfunk (unveränderte Originaldaten).                                                                                                                                                                                     | 139 |
| Abb. 84: | Zusammensetzung der Gesamtimmissionen aus den Funkdiensten Rundfunk, Mobilfunk, BOS-Funk und Sonstigen für die Messreihe 2017/2018. Die zugehörigen Balkendiagramme zeigen die zeitliche Entwicklung der Mediane der Gesamtimmissionen von Messreihe zu Messreihe. | 144 |
| Abb. 85: | Verteilung der Ausschöpfungsgrade im Gesamtbereich thermischer Wirkung. Enthält Spitzenwerte für GSM im Zeitraum 2002 – 2012.                                                                                                                                      | 145 |
| Abb. 86: | Grenzwertempfehlungen nach ICNIRP-Guidelines aus dem Jahr 1998 für elektrische und magnetische Felder im Frequenzbereich der Stimulationswirkungen.                                                                                                                | 180 |
| Abb. 87: | Verteilung der Ausschöpfungsgrade magnetischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (Gesamtbereich bis 10 MHz).                                                                                                                                             | 183 |
| Abb. 88: | Verteilung der Ausschöpfungsgrade elektrischer Felder im Bereich der Stimulationswirkungen (Gesamtbereich bis 10 MHz).                                                                                                                                             | 187 |
| Abb. 89: | Validierung der Messpakete für GSM-Mobilfunk mit leitungsgebundenen Referenzsignalen eines Vektorsignalgenerators.                                                                                                                                                 | 191 |
| Abb. 90: | Beispiel für den zeitlichen Verlauf bei einer gemischten Belegung von GSM-Zeitschlitzten.                                                                                                                                                                          | 193 |
| Abb. 91: | Für Abb. 90 verwendete GSM-Konfiguration am Vektorsignalgenerator.                                                                                                                                                                                                 | 193 |

## Tabellenverzeichnis

|          |                                                                                                                                    |     |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tab. 1:  | Physikalische Größen, Formelzeichen und Einheiten.                                                                                 | 10  |
| Tab. 2:  | Eingesetzte Messtechnik im Überblick.                                                                                              | 15  |
| Tab. 3:  | Parameter der wichtigsten Setups.                                                                                                  | 17  |
| Tab. 4:  | Systematik der Vergleichsmessungen.                                                                                                | 20  |
| Tab. 5:  | Vollständige Messdaten für UKW im Vergleich der Messsysteme von Rohde & Schwarz und Narda an 12 Vergleichsmesspunkten.             | 23  |
| Tab. 6:  | Vollständige Messdaten für DAB im Vergleich der Messsysteme von Rohde & Schwarz und Narda an 12 Vergleichsmesspunkten.             | 24  |
| Tab. 7:  | Vollständige Messdaten für DVB-T im Vergleich der Messsysteme von Rohde & Schwarz und Narda an 12 Vergleichsmesspunkten.           | 25  |
| Tab. 8:  | Vollständige Messdaten für LTE im Vergleich der Messsysteme von Rohde & Schwarz und Narda an 12 Vergleichsmesspunkten.             | 27  |
| Tab. 9:  | Vollständige Messdaten für GSM-900 im Vergleich der Messsysteme von Rohde & Schwarz und Narda an 12 Vergleichsmesspunkten.         | 30  |
| Tab. 10: | Vollständige Messdaten für GSM-1800 im Vergleich der Messsysteme von Rohde & Schwarz und Narda an 12 Vergleichsmesspunkten.        | 31  |
| Tab. 11: | Anpassungen von Nachweisschwellen für die Messreihen bis einschließlich 2011/2012.                                                 | 53  |
| Tab. 12: | Betriebsdaten von Lang- und Mittelwellensendeanlagen, die für das EMF-Monitoring relevant sind.                                    | 65  |
| Tab. 13: | Bayernweit gemittelte Feldstärken verbliebener Langwellensender im Vergleich zwischen den Messreihen.                              | 67  |
| Tab. 14: | Übersicht der Rundfunkbänder im Kurzwellenbereich.                                                                                 | 67  |
| Tab. 15: | DAB-Kanalnutzung im Frequenzband VHF III während der Messreihe 2017/2018.                                                          | 73  |
| Tab. 16: | Systemparameter von DVB-T und DVB-T2 im Vergleich.                                                                                 | 75  |
| Tab. 17: | Betreiberzuordnung der UMTS- und LTE-Frequenzen.                                                                                   | 80  |
| Tab. 18: | BOS-Frequenzbereiche.                                                                                                              | 90  |
| Tab. 19: | Sonstige Funkdienste.                                                                                                              | 91  |
| Tab. 20: | Beispiel für die Tabellen „Statistische Kenndaten der Ausschöpfungsgrade“.                                                         | 104 |
| Tab. 21: | Statistische Kenndaten der nicht-thermischen Ausschöpfungsgrade niederfrequenter magnetischer Felder (bis 32 kHz).                 | 106 |
| Tab. 22: | Statistische Kenndaten der Ausschöpfungsgrade für Stimulationseffekte durch Magnetfeldexposition von Lang-, Mittel- und Kurzwelle. | 108 |
| Tab. 23: | Statistische Kenndaten der Gesamtexposition bei Stimulationseffekten durch magnetische Felder.                                     | 109 |
| Tab. 24: | Statistische Kenndaten der nicht-thermischen Ausschöpfungsgrade niederfrequenter elektrischer Felder (bis 32 kHz).                 | 110 |
| Tab. 25: | Statistische Kenndaten der Ausschöpfungsgrade für Stimulationseffekte durch elektrische Felder der Lang-, Mittel- und Kurzwelle.   | 112 |

|          |                                                                                                                                                                                     |     |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tab. 26: | Statistische Kenndaten der Gesamtexposition bei Stimulationswirkungen durch elektrische Felder.                                                                                     | 113 |
| Tab. 27: | Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade bei Lang- und Mittelwelle.                                                                                                | 115 |
| Tab. 28: | Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade bei Kurzwelle.                                                                                                            | 117 |
| Tab. 29: | Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade bei UKW.                                                                                                                  | 119 |
| Tab. 30: | Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade bei DAB.                                                                                                                  | 121 |
| Tab. 31: | Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade beim Hörfunk (LW, MW, KW, UKW und DAB).                                                                                   | 122 |
| Tab. 32: | Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade beim terrestrischen Fernsehen (analoges Fernsehen, DVB-T und DVB-T2).                                                     | 124 |
| Tab. 33: | Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade beim Rundfunk.                                                                                                            | 125 |
| Tab. 34: | Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade bei GSM-900 (unveränderte Originaldaten (2002 – 2012: Spitzenwerte)).                                                     | 128 |
| Tab. 35: | Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade bei GSM-900 (2002 – 2012: korrigierte Daten).                                                                             | 129 |
| Tab. 36: | Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade bei GSM-1800 (unveränderte Originaldaten (2002 – 2012: Spitzenwerte)).                                                    | 131 |
| Tab. 37: | Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade bei GSM-1800 (2002 – 2012: korrigierte Daten).                                                                            | 132 |
| Tab. 38: | Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade bei UMTS.                                                                                                                 | 135 |
| Tab. 39: | Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade bei LTE.                                                                                                                  | 136 |
| Tab. 40: | Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade beim Mobilfunk (GSM-900, GSM-1800, UMTS und LTE; unveränderte Originaldaten (2002 – 2012: Spitzenwerte bei GSM)).         | 140 |
| Tab. 41: | Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade beim Mobilfunk (GSM-900(2002 – 2012: korrigierte Daten), GSM-1800, UMTS und LTE).                                         | 141 |
| Tab. 42: | Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade beim Mobilfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS-Funk).                                        | 142 |
| Tab. 43: | Statistische Kenndaten der thermischen Ausschöpfungsgrade sonstiger Funkdienste.                                                                                                    | 143 |
| Tab. 44: | Statistische Kenndaten der Gesamtexposition für die thermische Wirkung durch elektrische Felder (unveränderte Originaldaten; enthält Spitzenwerte für GSM im Zeitraum 2002 – 2012). | 146 |
| Tab. 45: | Statistische Kenndaten der Gesamtexposition für die thermische Wirkung durch elektrische Felder (2002 – 2012: korrigierte Daten).                                                   | 147 |
| Tab. 46: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 1 – 13                                                                                                                                          | 149 |
| Tab. 47: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 14 – 26                                                                                                                                         | 150 |
| Tab. 48: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 27 – 39                                                                                                                                         | 151 |
| Tab. 49: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 40 – 52                                                                                                                                         | 152 |
| Tab. 50: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 53 – 65                                                                                                                                         | 153 |

|          |                                                                                                                                    |     |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tab. 51: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 66 – 78                                                                                        | 154 |
| Tab. 52: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 79 – 91                                                                                        | 155 |
| Tab. 53: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 92 – 104                                                                                       | 156 |
| Tab. 54: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 105 – 117                                                                                      | 157 |
| Tab. 55: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 118 – 130                                                                                      | 158 |
| Tab. 56: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 131 – 143                                                                                      | 159 |
| Tab. 57: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 144 – 156                                                                                      | 160 |
| Tab. 58: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 157 – 169                                                                                      | 161 |
| Tab. 59: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 170 – 182                                                                                      | 162 |
| Tab. 60: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 183 – 195                                                                                      | 163 |
| Tab. 61: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 196 – 208                                                                                      | 164 |
| Tab. 62: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 209 – 221                                                                                      | 165 |
| Tab. 63: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 222 – 234                                                                                      | 166 |
| Tab. 64: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 235 – 247                                                                                      | 167 |
| Tab. 65: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 248 – 260                                                                                      | 168 |
| Tab. 66: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 261 – 273                                                                                      | 169 |
| Tab. 67: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 274 – 286                                                                                      | 170 |
| Tab. 68: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 287 – 299                                                                                      | 171 |
| Tab. 69: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 300 – 312                                                                                      | 172 |
| Tab. 70: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 313 – 325                                                                                      | 173 |
| Tab. 71: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 326 – 338                                                                                      | 174 |
| Tab. 72: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 339 – 351                                                                                      | 175 |
| Tab. 73: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 352 – 364                                                                                      | 176 |
| Tab. 74: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 365 – 377                                                                                      | 177 |
| Tab. 75: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 378 – 390                                                                                      | 178 |
| Tab. 76: | Einzelergebnisse an den Messpunkten 391 – 403                                                                                      | 179 |
| Tab. 77: | Statistische Kenndaten der nicht-thermischen Ausschöpfungsgrade niederfrequenter magnetischer Felder (bis 32 kHz).                 | 181 |
| Tab. 78: | Statistische Kenndaten der Ausschöpfungsgrade für Stimulationseffekte durch Magnetfeldexposition von Lang-, Mittel- und Kurzwelle. | 182 |
| Tab. 79: | Statistische Kenndaten der Gesamtexposition bei Stimulationseffekten durch magnetische Felder.                                     | 184 |
| Tab. 80: | Statistische Kenndaten der nicht-thermischen Ausschöpfungsgrade niederfrequenter elektrischer Felder (bis 32 kHz).                 | 185 |
| Tab. 81: | Statistische Kenndaten der Ausschöpfungsgrade für Stimulationseffekte durch elektrische Felder der Lang-, Mittel- und Kurzwelle.   | 186 |
| Tab. 82: | Statistische Kenndaten der Gesamtexposition bei Stimulationseffekten durch elektrische Felder.                                     | 188 |

|          |                                                                                                                    |     |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tab. 83: | Validierung der Messpakete für GSM-Mobilfunk mit leitungsgebundenen Referenzsignalen eines Vektorsignalgenerators. | 192 |
| Tab. 84: | Frequenzbereiche und Kanalraster für Hochfrequenzmessungen.                                                        | 194 |
| Tab. 85: | Frequenzbereiche und Kanalraster für Hochfrequenzmessungen.                                                        | 195 |
| Tab. 86: | Frequenzbereiche und Kanalraster für Hochfrequenzmessungen.                                                        | 196 |
| Tab. 87: | Nachweisschwellen der Frequenzbereiche (Teil 1).                                                                   | 197 |
| Tab. 88: | Nachweisschwellen der Frequenzbereiche (Teil 2).                                                                   | 198 |
| Tab. 89: | Nachweisschwellen der Frequenzbereiche (Teil 3).                                                                   | 199 |
| Tab. 90: | Datenfelder der Datenbankview <i>traces</i> .                                                                      | 202 |
| Tab. 91: | Namen der Funkdienste.                                                                                             | 204 |
| Tab. 92: | Datenfelder der Datenbankview <i>exposure_list</i> .                                                               | 205 |

## Literaturverzeichnis

- [1] Bayerisches Landesamt für Umwelt (2013): EMF-Monitoring in Bayern 2011/2012 – Messungen von elektromagnetischen Feldern (EMF) in Wohngebieten. Augsburg.  
[www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu\\_mf\\_00009.htm](http://www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu_mf_00009.htm)
- [2] Narda Safety Test Solutions (2017): SRM-3006 Selective Radiation Meter – Bedienungsanleitung. Bedienungsanleitung. Pfullingen.
- [3] Keller, Helmut (2006): Grundlagen und Anwendung des Selective Radiation Meter SRM-3006.
- [4] Bundesministerium des Innern (2009): Bestimmungen für Frequenzzuteilungen zur Nutzung für das Betreiben von Funkanlagen der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) – BOS-Funkrichtlinie. GMBI 60.39 S. 803.
- [5] Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (2016): Frequenzplan gemäß § 54 TKG über die Aufteilung des Frequenzbereichs von 0 kHz bis 3000 GHz auf die Frequenznutzungen sowie über die Festlegungen für diese Frequenznutzungen. Bonn.
- [6] European Telecommunications Standards Institute (2010): Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Part 15: TETRA frequency bands, duplex spacings and channel numbering. Sophia Antipolis Cedex.
- [7] Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (2016): Frequenzspektrum in den Bereichen 700 MHz, 800 MHz, 900 MHz, 1.5 GHz, 1.8 GHz, 2 GHz, 2.6 GHz und 3.5 GHz; Zuordnung ab 2017-01-01. Bonn.
- [8] Stacoviak, Adam; Hipp, Richard; Santo, Jerod (2016): Why SQLite succeeded as a database. Podcast. Changelog.  
<https://changelog.com/podcast/201>
- [9] International Commission on non-ionizing radiation protection (1998): Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). In: Health Physics 74.4 S. 494 – 522.
- [10] Bayerisches Landesamt für Umwelt (2006): EMF-Monitoring in Bayern. Augsburg.  
[www.lfu.bayern.de/strahlung/emf\\_monitoring/doc/endbericht\\_emf.pdf](http://www.lfu.bayern.de/strahlung/emf_monitoring/doc/endbericht_emf.pdf)
- [11] Bayerisches Landesamt für Umwelt (2008): EMF-Monitoring in Bayern 2006/2007 – Messungen von elektromagnetischen Feldern (EMF) in Wohngebieten. Augsburg.  
[www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu\\_mf\\_00005.htm](http://www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu_mf_00005.htm)
- [12] Eilers, Paul; Boelens, Hans (2005): Baseline Correction with Asymmetric Least Squares Smoothing.
- [13] Bundesrepublik Deutschland (2013): Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. BGBl I 2013.  
[https://dejure.org/BGBl/2013/BGBl\\_I\\_S\\_3266](https://dejure.org/BGBl/2013/BGBl_I_S_3266)
- [14] Deutsche Institut für Normung (2014): DIN EN 50492:2014-09; VDE 0848-492:2014-09; Basic standard for the in-situ measurement of electromagnetic field strength related to human exposure in the vicinity of base stations. Norm.  
[www.beuth.de/en/standard/din-en-50492/216051545](http://www.beuth.de/en/standard/din-en-50492/216051545)
- [15] Lüders, Christian-Friedrich (2001): Mobilfunksysteme: Grundlagen, Funktionsweise, Planungsaspekte. Kamprath-Reihe. Vogel. ISBN 9783802318474.  
<https://books.google.de/books?id=GDoQAAAACAAJ>

- [16] Bundesrepublik Deutschland (2013): Zweites Gesetz über Maßnahmen zur Beschleunigung des Netzausbaus Elektrizitätsnetze. BGBl I 2013. Berlin.  
[https://dejure.org/BGBl/2013/BGBl\\_I\\_S\\_2543](https://dejure.org/BGBl/2013/BGBl_I_S_2543)
- [17] Bundesrepublik Deutschland (2019): Gesetz zur Beschleunigung des Energieleitungsausbaus. BGBl I 2019. Berlin.  
[https://dejure.org/BGBl/2019/BGBl\\_I\\_S\\_706](https://dejure.org/BGBl/2019/BGBl_I_S_706)
- [18] Institut für Rundfunktechnik (2018): 5G Today – Erforschung und Umsetzung der FeMBMS-Spezifikation zur großflächigen Verbreitung von Medieninhalten im Rundfunkmodus auf Basis einer Mobilfunktechnologie. München.  
[www.irt.de/de/forschung/funksysteme/5g-today](http://www.irt.de/de/forschung/funksysteme/5g-today)
- [19] Bundesrepublik Deutschland (1996): Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. BGBl I 1996.  
[https://dejure.org/BGBl/1996/BGBl\\_I\\_S\\_1966](https://dejure.org/BGBl/1996/BGBl_I_S_1966)
- [20] Europäischer Rat (1999): Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz) (1999/519/EG). Amtsblatt der Europäischen Union.
- [21] David, Klaus; Benkner, Thorsten (2013). Digitale Mobilfunksysteme. Informationstechnik. Vieweg+Teubner Verlag. ISBN 9783322927682.  
<https://books.google.de/books?id=HxfRngEACAAJ>





Eine Behörde im Geschäftsbereich  
Bayerisches Staatsministerium für  
Umwelt und Verbraucherschutz

