



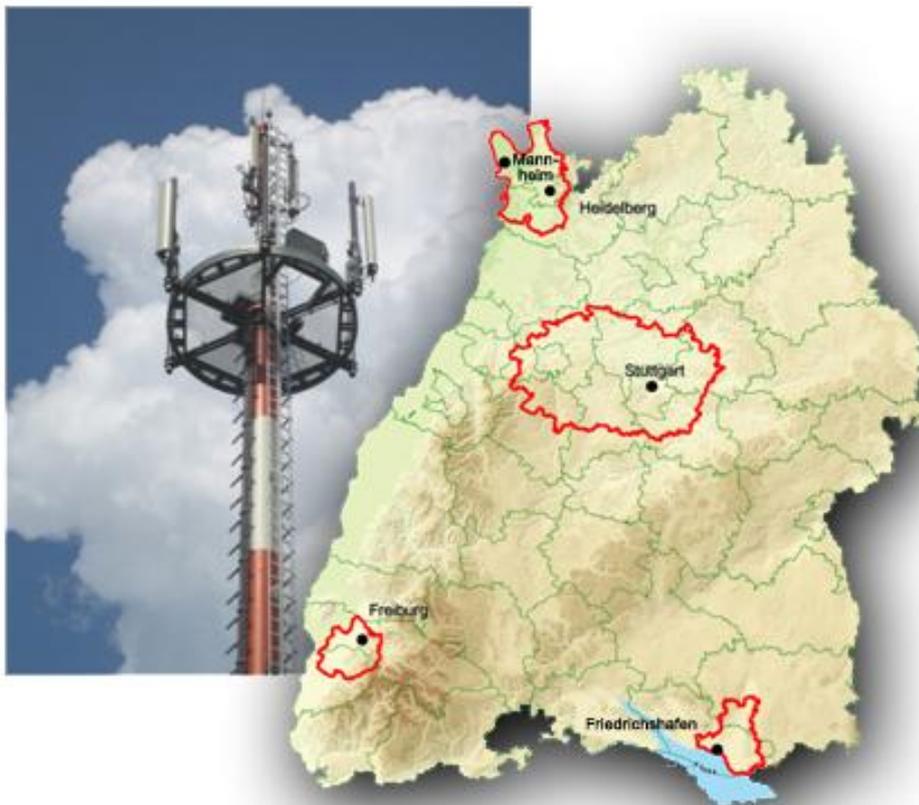
Industrie Service

**Mehr Sicherheit.  
Mehr Wert.**

# Großräumige Ermittlung von Funkwellen in Baden-Württemberg

## Ergebnisse des Funkwellenmessprojektes 2009

### Wissenschaftlicher Endbericht



Datum: 09. April 2010

Unsere Zeichen:  
IS-US1-MUC/dr.gri

Dokument:  
1004 Abschlussbericht FuWe  
BW 2009 rev2-0 .docx

Bericht Nr. 1 275 485-WEB

Das Dokument besteht aus  
111 Seiten.  
Seite 1 von 111

Die auszugsweise Wiedergabe des  
Dokumentes und die Verwendung  
zu Werbezwecken bedürfen der  
schriftlichen Genehmigung der  
TÜV SÜD Industrie Service GmbH.

Die Prüfergebnisse beziehen  
sich ausschließlich auf die  
untersuchten Prüfgegenstände.



Sitz: München  
Amtsgericht: München HRB 96 869

Aufsichtsratsvorsitzender:  
Dr.-Ing. Manfred Bayerlein  
Geschäftsführer:  
Dr. Peter Langer (Sprecher)  
Dipl.-Ing. (FH) Ferdinand Neuwieser

Telefon: +49 89 5791-1040  
Telefax: +49 89 5791-1098  
[www.tuev-sued.de/is](http://www.tuev-sued.de/is)  
**TÜV®**

TÜV SÜD Industrie Service GmbH  
Niederlassung München  
Abteilung Umwelt Service  
Elektromagnetische Umweltverträglichkeit  
Westendstraße 199  
80686 München  
Deutschland



Industrie Service

# Großräumige Ermittlung von Funkwellen in Baden-Württemberg

## Ergebnisse des Funkwellenmessprojektes 2009

### Wissenschaftlicher Endbericht

Auftraggeber: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW)  
Großoberfeld 3  
76185 Karlsruhe



Berichtsnummer: 1 275 485-WEB

Bestellzeichen: 33-0415.1 vom 12.12.2008

Untersuchungsgebiet: 598 Messpunkte in den Untersuchungsgebieten Stuttgart, Mannheim/Heidelberg, Freiburg und Oberschwaben

Messzeitraum: 16. März bis 18. August 2009

Projektleiter: Dr. Thomas Gritsch    Telefon: 089/5791-1110  
Telefax: 089/5791-1098  
E-Mail: thomas.gritsch@tuev-sued.de

Abteilung Umwelt Service  
Der Leiter

Abteilung Umwelt Service  
Elektromagnetische Umweltverträglichkeit

Dr. Peter Schenk

Dr. Thomas Gritsch  
Öffentlich bestellter und beeidigter Sachverständiger für  
Elektromagnetische Umweltverträglichkeit (EMVU)

Universität Stuttgart  
Institut für Hochfrequenztechnik

Dr. Wolfgang Mahler  
Akademischer Direktor



**TÜV SÜD Industrie Service GmbH**  
München, Stuttgart, Mannheim, Freiburg

*mit Unterauftragnehmer*  
Universität Stuttgart  
Institut für Hochfrequenztechnik

**Dokument Kennzeichnung**

Projekt Titel:	Großräumige Ermittlung von Funkwellen in Baden - Württemberg
Dokumentart:	Wissenschaftlicher Endbericht
Autor:	Dr. Thomas Gritsch, Dr. W. Mahler
Datum:	09.04.2010
Release:	2.0

**Dokument Prüfung**

Verantwortungsbereich:	Sachbearbeiter Umwelt
Organisation:	TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Abt. Umwelt Service
Person:	Dipl.-Ing. (FH) Andreas Meindl
Datum:	18.11.2009 Entwurf vom 18.11. rev. 1.0

Verantwortungsbereich:	Senior Expert, Projekt Leiter
Organisation:	TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Abt. Umwelt Service
Person:	Dr. Thomas Gritsch
Datum:	19.11.2009 Entwurf vom 18.11. rev. 1.0

Verantwortungsbereich:	Abteilungsleiter
Organisation:	TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Abt. Umwelt Service
Person:	Dr. Peter Schenk
Datum:	19.11.2009 Entwurf vom 18.11. rev. 1.0

Verantwortungsbereich:	Akademischer Direktor am IHF
Organisation:	Universität Stuttgart, IHF
Person:	i.V. Dipl. Ing. Buddendick, Dipl.-Ing. Layh
Datum:	20.11.2009 Entwurf vom 18.11. rev. 1.0

Verantwortungsbereich:	Projektleiter
Organisation:	LUBW
Person:	Hr. Ulrich Ratzel, Hr. Dr. Heinrich Menges
Datum:	29.03.2010 Entwurf vom 19.11. rev. 1.1



## Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	10
2	Hintergründe, Ziele und Inhalte .....	14
2.1	Aufgabenstellung.....	14
2.2	Zielsetzung des Programms .....	14
2.3	Öffentliche Wahrnehmung .....	14
2.4	Untersuchungsgebiete, Historie.....	15
3	Messung und Bewertung von Funkwellen .....	16
4	Ergebnisse .....	18
4.1	Ergebnisse zusammengefasst für alle Untersuchungsgebiete .....	18
4.1.1	Immissionen bezogen auf den gesetzlichen Grenzwert .....	18
4.1.2	Immissionen aufgeschlüsselt auf die verschiedenen Funkdienste .....	21
4.1.3	Immissionen aufgeschlüsselt nach Lage inner- oder außerhalb von Ortschaften...22	
4.1.4	Regionen und Konstellationen mit besonders auffälligen Immissionen .....	23
4.1.5	Vergleich der Messprogramme 2003 und 2009 .....	27
4.1.6	Zeitliche Konstanz der Immissionen .....	30
4.1.7	Einfluss des Umfelds auf die Messung .....	32
4.2	Ergebnisse der einzelnen Untersuchungsgebiete .....	35
4.2.1	Untersuchungsgebiet Stuttgart .....	35
4.2.2	Untersuchungsgebiet Heidelberg / Mannheim .....	45
4.2.3	Untersuchungsgebiet Freiburg .....	56
4.2.4	Untersuchungsgebiet Oberschwaben.....	67
5	Diskussion der Ergebnisse .....	79
6	Literatur.....	81
7	Danksagung .....	83
	Anhang.....	84
A1	Funksysteme.....	84
A1.1	Kenndaten der erfassten Funkanlagen .....	84
A1.2	Zukünftige Entwicklung und deren Einfluss auf die Immissionssituation.....	86
A2	Messung und Auswertung .....	88
A2.1	Messgrößen.....	88
A2.2	Messorte.....	88
A2.3	Messtechnik.....	90
A2.4	Messdurchführung .....	91
A2.5	Messunsicherheit.....	93
A2.6	Auswertung der Messungen .....	95
A2.6.1	Detailauswertung zu den einzelnen Messpunkten .....	96
A2.6.3	Repräsentativität der Messung .....	100



A2.6.3	Besonderheiten der Auswertung bei bestimmten Signalen .....	101
A3	Qualitätssicherung.....	102
A3.1	Maßnahmen zur Qualitätssicherung .....	102
A3.2	Prüfbericht des IHF der Universität Stuttgart .....	103
A4	Glossar.....	110

## Verzeichnis der Tabellen

Tab 1:	Statistische Kenndaten für alle Untersuchungsgebiete .....	20
Tab 2:	Messpunkte mit einer Gesamtimmission über fünf Prozent und deren Ursachen .....	24
Tab 3:	Statistische Parameter zur zeitlichen Konstanz der Immissionen .....	32
Tab 4:	Statistische Kenndaten für die 353 Messpunkte des Untersuchungsgebiets Stuttgart .....	37
Tab 5:	Statistische Kenndaten für die 108 Messpunkte des Untersuchungsgebiets Mannheim / Heidelberg .....	47
Tab 6:	Statistische Kenndaten für die 56 Messpunkte des Untersuchungsgebiets Freiburg .....	58
Tab 7:	Statistische Kenndaten für die 81 Messpunkte des Untersuchungsgebiets Oberschwaben.....	69
Tab 8:	Übersicht über die wichtigsten Kenndaten von Funksendeanlagen im öffentlichen Bereich .....	84
Tab 9.:	Entwicklung des Mobilfunks über die Jahre .....	85
Tab 10:	Verwendete Messtechnik.....	90
Tab 11:	Messparameter für die Erfassung der Funkwellen .....	92
Tab 12:	Dämpfung in dB/km bei Regenwetter [20].....	93
Tab 13:	Unsicherheitsbewertung nach DIN EN 50413 beispielhaft für Messungen mit dem Analysator SRM3000 und Antenne SBA 9113B [21] .....	94

## Verzeichnis der Abbildungen

Tab 1:	Statistische Kenndaten für alle Untersuchungsgebiete	20.....	5
Tab 2:	Messpunkte mit einer Gesamtimmission über fünf Prozent und deren Ursachen	24 .....	5
Tab 3:	Statistische Parameter zur zeitlichen Konstanz der Immissionen	32 .....	5
Tab 4:	Statistische Kenndaten für die 353 Messpunkte des Untersuchungsgebiets Stuttgart .....	37	
			5
Tab 5:	Statistische Kenndaten für die 108 Messpunkte des Untersuchungsgebiets Mannheim / Heidelberg	47 .....	5
Tab 6:	Statistische Kenndaten für die 56 Messpunkte des Untersuchungsgebiets Freiburg	58 ...	5
Tab 7:	Statistische Kenndaten für die 81 Messpunkte des Untersuchungsgebiets Oberschwaben	69.....	5
Tab 8:	Übersicht über die wichtigsten Kenndaten von Funksendeanlagen im öffentlichen Bereich .....	84 .....	5
Tab 9.:	Entwicklung des Mobilfunks über die Jahre	85.....	5
Tab 10:	Verwendete Messtechnik	90 .....	5
Tab 11:	Messparameter für die Erfassung der Funkwellen	92.....	5
Tab 12:	Dämpfung in dB/km bei Regenwetter [20]	93 .....	5
Tab 13:	Unsicherheitsbewertung nach DIN EN 50413 beispielhaft für Messungen mit dem Analysator SRM3000 und Antenne SBA 9113B [21]	94 .....	5



Abb. 1: Untersuchungsgebiete des Funkwellenmessprojekts .....	15
Abb. 2: Messaufbau vor Mobilfunkmast (Messpunkt 2450) .....	16
Abb. 3: Referenzwerte für elektrische Felder von 9 kHz bis 5 GHz für die Allgemeinbevölkerung (ungestörte Effektivwerte) .....	17
Abb. 4: Übersicht für alle Messpunkte hinsichtlich der Ausschöpfung des Grenzwertes (Summenimmission für Körperstrom und thermische Wirkung) .....	18
Abb. 5: Häufigkeitsverteilung für die einzelnen Funkquellenklassen .....	19
Abb. 6: Mittlere Immission, Median und höchster Immissionswert aufgeschlüsselt für die einzelnen Immissionsklassen (Zahlenwerte in Tab 1) .....	19
Abb. 7: Prozentualer Anteil der Messpunkte für alle vier Untersuchungsgebiete mit einer Gesamtimmission von x Prozent .....	21
Abb. 8: Prozentualer Anteil der Funkdienste an der durchschnittlichen Gesamtimmission exemplarisch für die thermische Wirkung .....	21
Abb. 9: Klassenmittelwerte über alle 598 Messpunkte .....	22
Abb. 10: Durchschnittliche Beiträge der einzelnen Funkdienste innerorts und außerorts im Vergleich .....	23
Abb. 11: Durchschnittliche Immissionswerte aufgeschlüsselt nach Regionen .....	25
Abb. 12: Prozentualer Anteil der Messpunkte (Tortendiagramm) mit Sichtverbindung (SV) zu dem jeweiligen Funkdienst bzw. ohne Sicht auf einen Sender sowie Grad der Grenzwertausschöpfung in dem jeweiligen Fall .....	26
Abb. 13: Vergleich der Klassenmittelwerte für das gleiche Messpunkte -Kollektiv zwischen den Messprogrammen 2003 und 2009 .....	27
Abb. 14: Veränderung von Klassenmittelwert, Median und Maximalwert für das gleiche Messpunkte -Kollektiv zwischen den Messprogrammen 2003 und 2009 .....	27
Abb. 15: Veränderung der Gesamtimmission (Maximalwert Körperstrom / thermische Wirkung) zwischen dem Messprogrammen 2003 und 2009 .....	28
Abb. 16: Prozentuale Veränderung der mittleren Immissionen in den Untersuchungsgebieten ...	29
Abb. 17: Veränderung in der Aufteilung der Funkdienste zwischen dem Messprogrammen 2003 und 2009 .....	29
Abb. 18: Veränderung der Immissionen am Referenzpunkt 2123 in Stuttgart-Vaihingen über einen Zeitraum von fünf Monaten .....	30
Abb. 19: Messpunkt 2163 a) zu Beginn des Messprogramms im März; b) im Sommer fast eingewachsen und c) Messpunkt nach Versetzung um ca. 3 m. ....	31
Abb. 20: Messpunkt 4068 im Untersuchungsgebiet Oberschwaben in der Nähe von Ravensburg, links im Jahr 2003 mit Maisfeld, rechts 2009 mit abgeerntetem Feld .....	32
Abb. 21: Veränderung der Immissionen zwischen 2003 und 2009 am Messpunkt 4068 .....	33
Abb. 22: Durch Störquelle in der Umgebung beeinflusstes Frequenzspektrum; Ausschnitt des Frequenzbereichs von 20 MHz bis 250 MHz am Messpunkt 2427 (Ludwigsburg) im Vergleich mit einem „typischen“ Spektrum des Nachbarmesspunkts 2426 .....	34
Abb. 23: Nicht identifizierbares, breitbandiges Funksignal bei etwa 600 kHz .....	34
Abb. 24: Untersuchungsgebiet Stuttgart mit Lage leistungsstarker Funkanlagen .....	35
Abb. 25: Übersicht für das Untersuchungsgebiet Stuttgart hinsichtlich der Ausschöpfung des Grenzwertes (Summenimmission für Körperstrom und thermische Wirkung) .....	36
Abb. 26: Prozentualer Anteil der Messpunkte (Zahl im Tortendiagramm) für alle vier Untersuchungsgebiete mit einer Gesamtimmission von x Prozent. Veränderung der Gesamtimmission (Maximalwert Körperstrom / thermische Wirkung) zwischen den Messprogrammen 2003 und 2009 .....	37
Abb. 27: Vergleich der Klassenmittelwerte des gleichen Messpunkte -Kollektivs zwischen den Messprogrammen 2003 und 2009 für das Untersuchungsgebiet Stuttgart .....	38



Abb. 28: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Stuttgart für die Summe der Körperstromwirkung.....	38
Abb. 29: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Stuttgart für die Summe der thermischen Wirkung .....	39
Abb. 30: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Stuttgart für die UKW-Sender .....	39
Abb. 31: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Stuttgart für die DAB-Sender .....	40
Abb. 32: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Stuttgart für die DVB-T-Sender .....	40
Abb. 33: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Stuttgart für den GSM-Mobilfunk.....	41
Abb. 34: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Stuttgart für den UMTS-Mobilfunk...	41
Abb. 35: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Stuttgart für die BOS-Sender .....	42
Abb. 36: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Stuttgart für die Sonstigen Sender ..	42
Abb. 37: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Stuttgart im Vergleich zum Messprogramm 2003 für die Summe der Körperstromwirkung (LMK-Sender).....	43
Abb. 38: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Stuttgart im Vergleich zum Messprogramm 2003 für die Summe der thermischen Wirkung .....	43
Abb. 39: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Stuttgart im Vergleich zum Messprogramm 2003 für die Fernsehsender (Vergleich analoges Fernsehen zu DVB-T).....	44
Abb. 40: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Stuttgart im Vergleich zum Messprogramm 2003 für den GSM Mobilfunk .....	44
Abb. 41: Untersuchungsgebiet Heidelberg / Mannheim mit Lage leistungsstarker Funkanlagen..	45
Abb. 42: Übersicht für das Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg hinsichtlich der Ausschöpfung des Grenzwertes (Summenimmission für Körperstrom und th. Wirkung)	46
Abb. 43: Prozentualer Anteil der Messpunkte (Zahl im Tortendiagramm) für das Untersuchungsgebiet Mannheim/Heidelberg mit einer Gesamtimmission von x Prozent. Veränderung der Gesamtimmission (Maximalwert Körperstrom / thermische Wirkung) zwischen den Messprogrammen 2003 und 2009 .....	47
Abb. 44: Vergleich der Klassenmittelwerte des gleichen Messpunkte - Kollektivs zwischen den Messprogrammen 2003 und 2009 für das Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg .....	48
Abb. 45: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg für die Summe der Körperstromwirkung.....	48
Abb. 46: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg für die Summe der thermischen Wirkung .....	49
Abb. 47: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg für die UKW-Sender.....	49
Abb. 48: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg für die DAB-Sender.....	50
Abb. 49: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg für die DVB-T-Sender.....	50
Abb. 50: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg für den GSM-Mobilfunk .....	51
Abb. 51: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg für den UMTS-Mobilfunk .....	51
Abb. 52: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg für die BOS-Sender.....	52
Abb. 53: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg für die Sonstigen Sender .....	52



Abb. 54: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg im Vergleich zum Messprogramm 2003 für die Summe der Körperstromwirkung (LMK-Sender).....	53
Abb. 55: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg im Vergleich zum Messprogramm 2003 für die Summe der thermischen Wirkung .....	53
Abb. 56: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg im Vergleich zum Messprogramm 2003 für die UKW-Rundfunksender .....	54
Abb. 57: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg im Vergleich zum Messprogramm 2003 für die Fernsehsender (Vergleich analoges Fernsehen zu DVB-T) .....	54
Abb. 58: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg im Vergleich zum Messprogramm 2003 für den GSM Mobilfunk .....	55
Abb. 59: Sichtverbindung zu Mobilfunkanlagen auf dem Silo wird am Messpunkt 1050 im Raum Schwetzingen mittlerweile durch gewachsene Büsche und Bäume verdeckt .....	55
Abb. 60: Geändertes Messumfeld am Messpunkt 1137 im Raum Mannheim im Vergleich a) Erstmessung am 12.11.2001, b) Wiederholungsmessung am 30.06.2009 .....	56
Abb. 61: Untersuchungsgebiet Freiburg mit Lage leistungsstarker Funkanlagen .....	56
Abb. 62: Übersicht für das Untersuchungsgebiet Freiburg hinsichtlich der Ausschöpfung des Grenzwertes (Summenimmission für Körperstrom und thermische Wirkung) .....	57
Abb. 63: Prozentualer Anteil der Messpunkte (Zahl im Tortendiagramm) für das Untersuchungsgebiet Freiburg mit einer Gesamtimmission von x Prozent. Veränderung der Gesamtimmission (Maximalwert Körperstrom / thermische Wirkung) zwischen den Messprogrammen 2003 und 2009 .....	58
Abb. 64: Vergleich der Klassenmittelwerte des gleichen Messpunkte -Kollektivs zwischen den Messprogrammen 2003 und 2009 für das Untersuchungsgebiet Freiburg .....	59
Abb. 65: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg für die Summe der Körperstromwirkung.....	59
Abb. 66: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg für die Summe der thermischen Wirkung .....	60
Abb. 67: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg für die UKW-Sender .....	60
Abb. 68: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg für die DAB-Sender .....	61
Abb. 69: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg für die analogen TV-Sender .....	61
Abb. 70: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg für die DVB-T-Sender .....	62
Abb. 71: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg für den GSM-Mobilfunk.....	62
Abb. 72: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg für den UMTS-Mobilfunk...	63
Abb. 73: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg für die BOS-Sender .....	63
Abb. 74: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg für die Sonstigen Sender ..	64
Abb. 75: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg im Vergleich zum Messprogramm 2003 für die Summe der Körperstromwirkung (LMK-Sender).....	64
Abb. 76: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg im Vergleich zum Messprogramm 2003 für die Summe der thermischen Wirkung .....	65
Abb. 77: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg im Vergleich zum Messprogramm 2003 für den UKW-Rundfunk.....	65
Abb. 78: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg im Vergleich zum Messprogramm 2003 für die Fernsehsender (Vergleich analoges Fernsehen zu DVB-T).....	66
Abb. 79: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg im Vergleich zum Messprogramm 2003 für den GSM Mobilfunk .....	66



Abb. 80: Untersuchungsgebiet Oberschwaben mit Lage leistungsstarker Funkanlagen .....	67
Abb. 81: Übersicht für das Untersuchungsgebiet Oberschwaben hinsichtlich der Ausschöpfung des Grenzwertes (Summenimmission für Körperstrom und thermische Wirkung) .....	68
Abb. 82: Prozentualer Anteil der Messpunkte (Zahl im Tortendiagramm) für das Untersuchungsgebiet Oberschwaben mit einer Gesamtimmission von x Prozent. Veränderung der Gesamtimmission (Maximalwert Körperstrom / thermische Wirkung) zwischen den Messprogrammen 2003 und 2009 .....	69
Abb. 83: Vergleich der Klassenmittelwerte des gleichen Messpunkte -Kollektivs zwischen den Messprogrammen 2003 und 2009 für das Untersuchungsgebiet Oberschwaben.....	70
Abb. 84: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben für die Summe der Körperstromwirkung.....	70
Abb. 85: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben für die Summe der thermischen Wirkung .....	71
Abb. 86: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben für die UKW-Sender .....	71
Abb. 87: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben für die DAB-Sender	72
Abb. 88: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben für die DVB-T-Sender .....	72
Abb. 89: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben für den GSM-Mobilfunk .....	73
Abb. 90: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben für den UMTS-Mobilfunk .....	73
Abb. 91: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben für die BOS-Sender	74
Abb. 92: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben für die Sonstigen Sender.....	75
Abb. 93: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben im Vergleich zum Messprogramm 2003 für die Summe der Körperstromwirkung (LMK-Sender).....	75
Abb. 94: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben im Vergleich zum Messprogramm 2003 für die Summe der thermischen Wirkung.....	76
Abb. 95: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben im Vergleich zum Messprogramm 2003 für den UKW Rundfunk .....	77
Abb. 96: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben im Vergleich zum Messprogramm 2003 für die Fernsehsender (Vergleich analoges Fernsehen zu DVB-T) .....	77
Abb. 97: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben im Vergleich zum Messprogramm 2003 für den GSM Mobilfunk.....	78
Abb. 98: Standorte von Radio- und Fernsehsendern in Baden-Württemberg und Bayern mit einer installierten Gesamt-Sendeleistung von mindestens 25 kW (aus [1]) .....	85
Abb. 99: Aufteilung der Messpunkte auf die Untersuchungsgebiete.....	89
Abb. 100: Aufteilung der Messpunkte auf Lage Inner- und außerorts im Jahr 2009.....	89
Abb. 101: Antennenfaktoren der eingesetzten Antennen.....	91
Abb. 102: Erste Seite des Auswertblatts mit Kenndaten .....	97
Abb. 103: Zusammenfassung der Messergebnisse zum Messpunkt auf zweiter Seite des Auswertblatts .....	97
Abb. 104: Ergebnistabellen im Auswertblatt ab Seite 3.....	98
Abb. 105: Typischer Mobilfunkstandort.....	101



Industrie Service

## 1 Zusammenfassung

### WELCHEN UMFANG HABEN DIE UNTERSUCHUNGEN?

Die LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg führte zwischen Februar und Oktober 2009 im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg das Projekt „Großräumige Ermittlung von Funkwellen in Baden-Württemberg“ durch. Das Messprogramm wiederholt an 598 Messpunkten die in den Jahren 2001 bis 2003 erstmals durchgeführten Untersuchungen an damals 895 Messpunkten.

Die Messungen wurden von der TÜV SÜD Industrie Service GmbH in Kooperation mit dem Institut für Hochfrequenztechnik der Universität Stuttgart durchgeführt.

In vier Regionen Baden-Württembergs:

- Stuttgart
- Mannheim-Heidelberg
- Freiburg
- Oberschwaben

wurden die Feldstärken der dort einwirkenden hochfrequenten elektromagnetischen Wellen sechs Jahre nach dem ersten Messprogramm im Jahr 2003 in einem vorgegebenen Gitternetz mit 2 Kilometer Maschenweite erneut erfasst, dokumentiert, ausgewertet und wissenschaftlich beurteilt (Abb. 1).

Die Messorte wurden unabhängig von Standorten von Funksendeanlagen festgelegt. Die Anzahl der Messpunkte in den Gemeinden ist daher ausschließlich von der Gemeindefläche abhängig. Das Konzept der Rastermessungen ist notwendig, um repräsentative Aussagen für die gesamte Fläche zu erhalten.

Nach Abschluss des Projekts werden die Ergebnisse auf den Internetseiten des LUBW unter dem Thema „Elektromagnetische Felder“ im Portal „Messungen“ bereitgestellt.

### WELCHE ZIELE HAT DIE UNTERSUCHUNG?

Das Funkwellenmessprojekt 2009 hat folgende Ziele:

- Repräsentative Erfassung der Einwirkungen durch Funkwellen in Baden-Württemberg für das Bezugsjahr 2009
- Ermittlung und Bewertung der Einwirkungen durch Funkwellen anhand wissenschaftlich abgesicherter Messverfahren und Grenzwerte
- Vergleich der Ergebnisse mit den Daten der Erhebungen in den Jahren 2001 bis 2003
- Dokumentation der Veränderungen der Immissionsbelastung zwischen 2003 und 2009
- Ermittlung der Veränderungen durch neue Techniken wie DVB-T (digitales Fernsehen), UMTS oder digitale BOS Funkdienste (Polizeifunk)
- Unterstützung der Risikokommunikation durch Bereitstellung aktueller Grundlagendaten



Darüber hinaus sollten auch noch folgende Fragen beantwortet werden?

- Zeigen die Immission signifikante Unterschiede zwischen Stadt und Land und haben sich die Verhältnisse gegenüber 2003 verändert?
- Gibt es Regionen mit besonders hohen und niedrigen Immissionen?

## WAS UND WIE WURDE GEMESSEN?

Im Rahmen des Messprogramms wurde die derzeitige Stärke der hochfrequenten Funkwellen von Sendeanlagen im Frequenzbereich zwischen 9 Kilohertz (kHz) bis 3 Gigahertz (GHz) erfasst. Die Messungen geben damit die durchschnittliche Immissionsbelastung mit Funkwellen wieder.

Damit wurden alle wichtigen Funksendeanlagen wie Rundfunk, Fernsehen (analog und digital), Mobilfunk (GSM 900, GSM 1800, UMTS), Betriebsfunk, Polizei-, Feuerwehr-, Amateurfunk oder Radar gemessen. Die Messungen erfolgten frequenz aufgelöst. Das bedeutet, dass die Signale je nach ihrer Frequenz dem jeweiligen Verursacher wie zum Beispiel Mobilfunkbasisstationen, Fernseh- und Rundfunksendern zugeordnet werden können. Besonderer Schwerpunkt wurde diesmal auf die Erfassung der Signale neuer Techniken wie des digitalen Rundfunks (DAB), Fernsehen (DVB-T) sowie Polizei und Feuerwehrrundfunk (BOS) gelegt. Auch beim Mobilfunk wurde die für schnelle Datenübertragung geeignete Technik UMTS gesondert erfasst und bewertet.

## WIE WERDEN DIE ERGEBNISSE BEWERTET?

Die Stärke der einzelnen Funksignale wurde mit dem frequenzabhängigen Grenzwert der Verordnung über elektromagnetische Felder (26. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz – 26. BImSchV) [5] verglichen. Im Frequenzbereich unter 10 Megahertz (MHz), wo das Immissionsschutzrecht keine Grenzwerte vorgibt, werden gemäß § 3 Abs. Nr. 1 und Nr. 2 der Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (BEMFV) [4] die Referenzwerte der Empfehlung 1999/519/EG [8] des Europäischen Rates herangezogen.

Nach dem allgemein anerkannten biologischen Wirkungsmodell können die im menschlichen Körper aufgenommenen elektromagnetischen Wellen oberhalb einer Frequenz von 100 kHz je nach Stärke zu einer Temperaturerhöhung führen (thermische Wirkung). Für den Frequenzbereich unter 10 MHz sind neben der thermischen Wirkung auch die ausgelösten Körperströme zu betrachten.

Beide Effekte wurden bei der Auswertung berücksichtigt. Hierzu wurden die Einzelbeiträge jeder Frequenz wirkungsgerecht aufsummiert. Die Einwirkungen wurden in Verursacherguppen klassiert und als Summenwerte für die Körperstromwirkung und die thermische Wirkung dargestellt. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgte letztlich als Grenzwertausschöpfung, angegeben in Prozent des jeweiligen Grenzwertes für die Feldstärke.



Industrie Service

## **WIE HOCH SIND DIE GEMESSENEN IMMISSIONSWERTE IM VERGLEICH ZU DEN GESETZLICHEN GRENZWERTEN?**

Die gemessenen durchschnittlichen Immissionswerte schöpfen die gesetzlichen Grenzwerte nur zu weniger als 1 Prozent aus. Die höchsten in den Untersuchungsgebieten gemessenen Immissionswerte erreichen etwas über 10 Prozent vom Grenzwert.

## **WELCHEN BEITRAG HABEN DIE VERSCHIEDENEN FUNKDIENSTE AN DER GESAMTIMMISSION?**

Den stärksten Anteil an der Gesamtmission mit Funkwellen tragen die LMK-Sender bei (Abb. 9), wenn man die Grenzwertausschöpfung im Wirkungsbereich des Körperstroms und zusätzlich den Anteil bei der thermischen Wirkung berücksichtigt. Im Bereich der thermischen Wirkung allein, oberhalb einer Frequenz von 100 kHz, stellt hingegen (Abb. 8) der Mobilfunk mit etwas über 37 % mittlerweile die stärkste Gruppe dar. Erst an zweiter Stelle folgen hier die LMK-Anlagen, gefolgt von den Rundfunksendern im UKW-Band mit 16 % und den vorwiegenden digitalen Fernsehsendern mit 13 %. Der Beitrag der BOS-Sendeanlagen und der sonstigen Funkanlagen bleibt unter 6% der thermischen Gesamtwirkung.

In den einzelnen Funkwellenklassen für UKW, DAB, BOS, DVB-T, UMTS und sonstigen Sendern werden an 40 % bis 90 % der Messpunkte sogar nur 0,1 Prozent vom Grenzwert ausgeschöpft. GSM-Sender tragen an bis zu 20 % der Messpunkte zwar auch nur 0,1 Prozent vom Grenzwert bei, jedoch ist die Verteilung deutlich breiter, so dass auch Werte in der Nähe von 1 Prozent vom Grenzwert noch relativ häufig auftreten. Die höchsten Grundimmissionen werden durch LMK-Sender erzeugt. Der Schwerpunkt der Häufigkeitsverteilung liegt für diese Sendergruppe bei rund 0,6 % vom Grenzwert. Analoge TV-Sender konnten dagegen an nahezu 90 % der Messpunkte nicht mehr gemessen werden.

## **GIBT ES UNTERSCHIEDE ZWISCHEN DER LAGE INNERHALB UND AUßERHALB VON ORTSCHAFTEN UND STÄDTEN?**

Die Messergebnisse ergaben, dass es durchaus Unterschiede zwischen den durchschnittlichen Immissionen innerorts und außerorts gibt. Abhängig vom Funkdienst kann die Immission innerhalb geschlossener Ortschaften jedoch zu- oder abnehmen. Innerorts stellt der Mobilfunk die stärkste Einzelquelle dar und übertrifft hier sogar die durch LMK-Rundfunksender verursachten Immissionen (Abb. 10). Außerorts ist es gerade umgekehrt.

## **GIBT ES REGIONEN ODER KONSTELLATIONEN, WO BESONDERS HOHE ODER NIEDRIGE IMMISSIONEN ZU ERWARTEN SIND?**

Auf Besonderheiten in den einzelnen Untersuchungsgebieten wird in den Abschnitten 4.1.4 und 4.2 eingegangen. An nur acht der 598 Messpunkte wurde eine Gesamtmission über fünf Prozent vom Grenzwert erreicht. Die genauere Analyse der Immissionssituation im Umfeld dieser Messpunkte zeigte, dass für die jeweilige Immission in der Umgebung einer Funkquelle sechs Parameter entscheidend sind:



Industrie Service

1. Sendeleistung
2. Höhenunterschied
3. Abstrahldiagramm
4. Entfernung
5. Sichtverbindung und
6. Sendefrequenz.

Aus keinem der Parameter allein betrachtet, kann eine zuverlässige Schlussfolgerung auf die Immissionseinwirkung am Messpunkt getroffen werden. Erst die ungünstige Kombination der sechs Parameter führt zu hohen Immissionseinwirkungen.

### **WELCHE VERÄNDERUNGEN WURDEN BEI DEM AKTUELLEN MESSPROGRAMM IM VERGLEICH ZU DEN ERGEBNISSEN AUS DEM JAHR 2003 FESTGESTELLT?**

Das Immissionsniveau hat allgemein (Abb. 13 bis Abb. 15) nicht zugenommen. Während im Bereich des Mobilfunks Zunahmen festzustellen waren, gab es in anderen Bereichen Abnahmen. So ist die Anzahl der Messpunkte mit einer maximalen Gesamtmission von weniger als einem Hundertstel des Grenzwertes von 50 % auf 58 % angewachsen. Zurückzuführen ist dies auf die Umstellung des analogen Fernsehens auf digitale Technik. Neben der damit verbundenen zum Teil deutlichen Reduzierung der Sendeleistung, hatten weiterhin noch nicht alle privaten Programmanbieter zum Zeitpunkt der Messungen den Sendebetrieb mit DVB-T aufgenommen. Zudem wurden einzelne Mittelwellensender stillgelegt. Diese Effekte wurden durch den Zuwachs beim Mobilfunk nicht kompensiert, so dass die Gesamtmission vor allem bei der Summe der Körperstromwirkung aber auch bei der Summe der thermischen Wirkung nicht zunahm.

### **WIE STARK SCHWANKEN DIE IMMISSIONEN ÜBER MEHRERE MONATE FÜR DIE EINZELNEN FUNKDIENSTE?**

Die Immission des UKW – Rundfunk und der DVB-T-Sender ist nur sehr geringen zeitlichen Variationen unterworfen. Am stärksten schwanken die Immissionen beim Mobilfunk, insbesondere bei UMTS und bei den sonstigen Sendern. Treten Unterschiede bei den Rundfunk- und Fernsehsendern auf, so sind diese meist auf ein geändertes Vegetationsumfeld durch belaubte Bäume, gewachsene Büsche oder abgeerntete Ackerpflanzen zurückzuführen.



## 2 Hintergründe, Ziele und Inhalte

### 2.1 Aufgabenstellung

#### WELCHEN UMFANG HABEN DIE UNTERSUCHUNGEN?

Die LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg führte zwischen Februar und Oktober 2009 im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg das Projekt „Großräumige Ermittlung von Funkwellen in Baden-Württemberg“ durch. Das Messprogramm wiederholt an 598 Messpunkten die in den Jahren 2001 bis 2003 erstmals durchgeführten Untersuchungen an damals 895 Messpunkten.

Die Messungen wurden von der TÜV SÜD Industrie Service GmbH in Kooperation mit dem Institut für Hochfrequenztechnik der Universität Stuttgart durchgeführt.

Nach Abschluss des Projekts werden die Ergebnisse auf den Internetseiten des LUBW unter dem Thema „Elektromagnetische Felder“ im Portal „Messungen“ bereitgestellt.

### 2.2 Zielsetzung des Programms

#### WELCHE ZIELE HAT DIE UNTERSUCHUNG?

Das Funkwellenmessprojekt 2009 hat folgende Ziele:

- Repräsentative Erfassung der Einwirkungen durch Funkwellen in Baden-Württemberg für das Bezugsjahr 2009
- Ermittlung und Bewertung der Einwirkungen durch Funkwellen anhand wissenschaftlich abgesicherter Messverfahren und Grenzwerte
- Vergleich der Ergebnisse mit den Daten der Erhebungen in den Jahren 2001 bis 2003
- Dokumentation der Veränderungen der Immissionsbelastung zwischen 2003 und 2009
- Ermittlung der Veränderungen durch neue Techniken wie DVB-T (digitales Fernsehen), UMTS oder digitale BOS Funkdienste (Polizeifunk)
- Unterstützung der Risikokommunikation durch Bereitstellung aktueller Grundlagendaten

Darüber hinaus sollten auch noch folgende Fragen beantwortet werden?

- Zeigen die Immission signifikante Unterschiede zwischen Stadt und Land und haben sich die Verhältnisse gegenüber 2003 verändert?
- Gibt es Regionen mit besonders hohen und niedrigen Immissionen?

### 2.3 Öffentliche Wahrnehmung

In den letzten Jahren hat sich die öffentliche Wahrnehmung mit wachsendem Interesse auf einen vielfältigen Themenkreis konzentriert, der im Verdacht steht Einfluss auf die menschliche Gesundheit zu nehmen. Neben Themen wie vom Menschen verursachter Klimawandel (Treibhauseffekt), die Umweltverschmutzung, die stetige Zunahme des Umgebungslärms und dem Gebrauch von Chemikalien sind elektromagnetische Felder eines der Themen die Besorgnis erregen. Eine

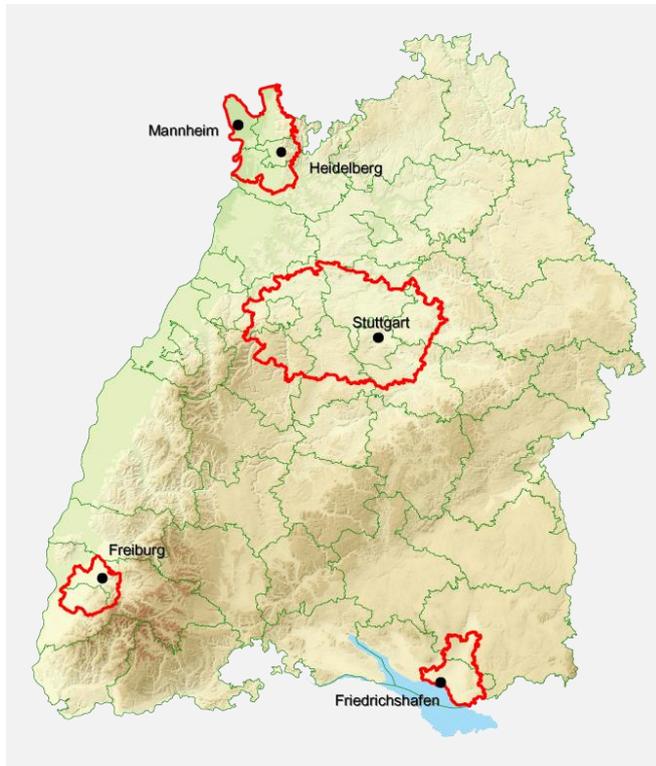


Abb. 1: Untersuchungsgebiete des Funkwellenmessprojekts

Eurobarometer [2] Studie vom Juni 2007 zeigte, dass jeder Dritte EU Bürger besorgt ist hinsichtlich der möglichen Gesundheitsgefahren durch elektromagnetische Felder.

Es ist dabei besonders bemerkenswert, dass insbesondere die Massenmedien wie Fernsehen und Radio, als auch Zeitungen und Magazine meist die Informationsquelle über elektromagnetische Felder und deren Wirkung sind, gefolgt von der Unterhaltung mit Freunden und Bekannten. Dies erbrachte das Eurobarometer sowie eine repräsentative Befragung in Deutschland von 2003 bis 2006 [3], in der die Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks ermittelt wurden. Die Diskussion darüber wird zumeist sehr emotional und unsachlich auf Bürgerversammlungen und in den Medien geführt. Anlass ist meist der Bau eines neuen Mobilfunkmasten in der Nachbarschaft der Gegner.

Bürgerinitiativen bilden sich und üben massiven politischen Druck auf die Kommunalpolitiker aus. Vor diesem Hintergrund ist eine Versachlichung der Diskussion durch verlässliche, von allen Seiten akzeptierte Informationen geboten.

## 2.4 Untersuchungsgebiete, Historie

In vier Regionen Baden-Württembergs:

- Stuttgart
- Mannheim-Heidelberg
- Freiburg
- Oberschwaben

wurden die Feldstärken der dort einwirkenden hochfrequenten elektromagnetischen Wellen sechs Jahre nach dem ersten Messprogramm im Jahr 2003 in einem vorgegebenen Gitternetz mit 2 Kilometer Maschenweite erneut erfasst, dokumentiert, ausgewertet und wissenschaftlich beurteilt (Abb. 1).

Die Messorte wurden unabhängig von Standorten von Funksendeanlagen festgelegt. Die Anzahl der Messpunkte in den Gemeinden ist daher ausschließlich von der Gemeindefläche abhängig. Das Konzept der Rastermessungen ist notwendig, um repräsentative Aussagen für die gesamte Fläche zu erhalten.

### 3 Messung und Bewertung von Funkwellen

#### WAS UND WIE WURDE GEMESSEN?

Im Rahmen des Messprogramms wurde die derzeitige Stärke der hochfrequenten Funkwellen von Sendeanlagen im Frequenzbereich zwischen 9 Kilohertz (kHz) bis 3 Gigahertz (GHz) erfasst. Die Messungen geben damit die momentane Immissionsbelastung mit Funkwellen wieder, eine Auswertung hinsichtlich der Immissionen bei maximaler Auslastung der jeweiligen Funkanlagen erfolgt nicht. Unterschiede können sich hier vor allem bei Mobilfunkanlagen ergeben.

Damit wurden alle wichtigen Funksendeanlagen wie Rundfunk, Fernsehen (analog und digital), Mobilfunk (GSM 900, GSM 1800, UMTS), Betriebsfunk, Polizei-, Feuerwehr-, Amateurfunk oder Radar gemessen. Die Messungen erfolgten frequenz aufgelöst. Das bedeutet, dass die Signale je nach ihrer Frequenz dem jeweiligen Verursacher wie zum Beispiel Mobilfunkbasisstationen, Fernseh- und Rundfunksendern zugeordnet werden können. Besonderer Schwerpunkt wurde diesmal auf die Erfassung der Signale neuer Techniken wie des digitalen Rundfunks (DAB), Fernsehen (DVB-T) sowie Polizei und Feuerwehrrundfunk (BOS) gelegt. Auch beim Mobilfunk wurde die für schnelle Datenübertragung geeignete Technik UMTS gesondert erfasst und bewertet.



Abb. 2: Messaufbau vor Mobilfunkmast (Messpunkt 2450)

Details zur eingesetzten Messtechnik und der Aus- und Bewertung der Messsignale finden sich im Anhang.

#### WIE WERDEN DIE ERGEBNISSE BEWERTET?

Die Stärke der einzelnen Funksignale wurde mit dem frequenzabhängigen Grenzwert der Verordnung über elektromagnetische Felder (26. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz – 26. BImSchV) [5] verglichen. Im Frequenzbereich unter 10 Megahertz (MHz), wo das Immissionsschutzrecht keine Grenzwerte vorgibt, werden gemäß § 3 Abs. Nr. 1 und Nr. 2 der Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (BEMFV) [4] die Referenzwerte der Empfehlung 1999/519/EG [8] des Europäischen Rates herangezogen.

Nach dem allgemein anerkannten biologischen Wirkungsmodell können die im menschlichen Körper aufgenommenen elektromagnetischen Wellen oberhalb einer Frequenz von 100 kHz je nach Stärke zu einer Temperaturerhöhung führen (thermische Wirkung). Für den Frequenzbereich unter 10 MHz sind neben der thermischen Wirkung auch die ausgelösten Körperströme zu betrachten.

Beide Effekte wurden bei der Auswertung berücksichtigt. Hierzu wurden die Einzelbeiträge jeder Frequenz wirkungsgerecht aufsummiert. Die Einwirkungen wurden in Verursacherguppen klassiert und als Summenwerte für die Körperstromwirkung und die thermische Wirkung dargestellt. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgte letztlich als Grenzwertausschöpfung, angegeben in Prozent des jeweiligen Grenzwertes für die Feldstärke.

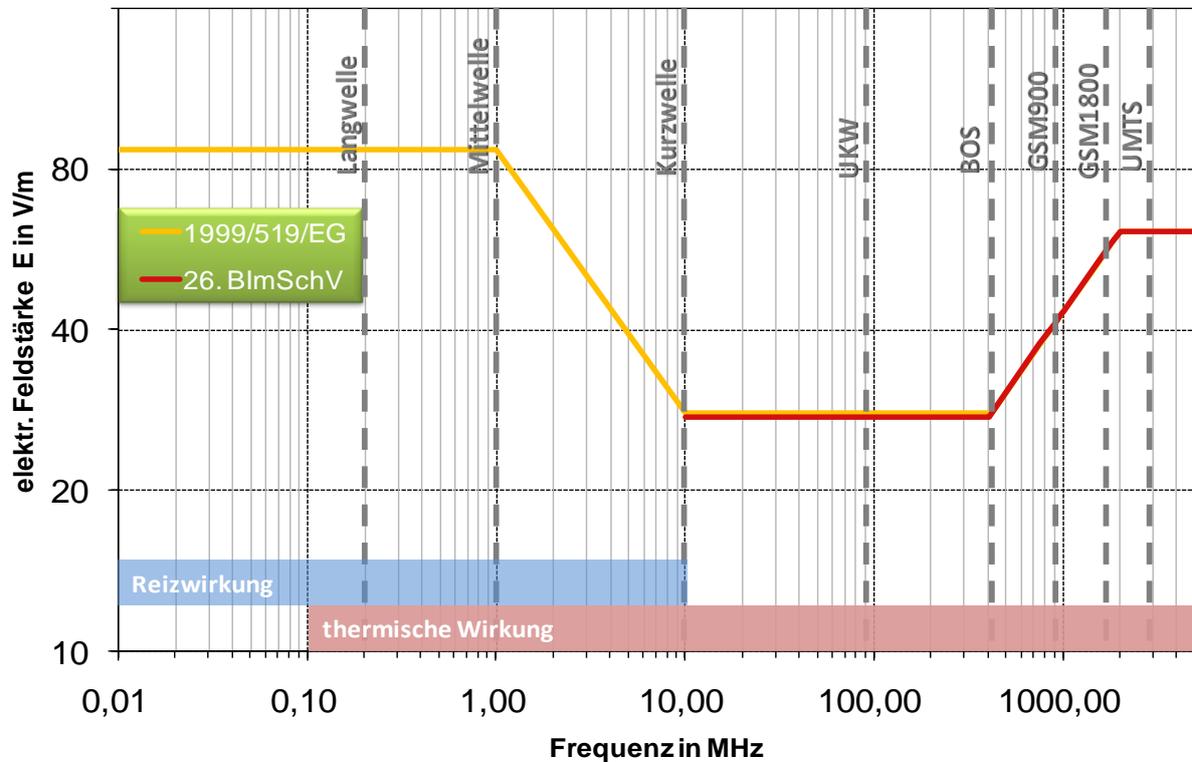


Abb. 3: Referenzwerte für elektrische Felder von 9 kHz bis 5 GHz für die Allgemeinbevölkerung (ungestörte Effektivwerte)

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Ergebnisse zusammengefasst für alle Untersuchungsgebiete

#### 4.1.1 Immissionen bezogen auf den gesetzlichen Grenzwert

#### WIE HOCH SIND DIE GEMESSENEN IMMISSIONSWERTE IM VERGLEICH ZU DEN GESETZLICHEN GRENZWERTEN?

##### Antwort:

Die gemessenen durchschnittlichen Immissionswerte schöpfen die gesetzlichen Grenzwerte nur zu weniger als 1 Prozent aus. Die höchsten in den Untersuchungsgebieten gemessenen Immissionswerte erreichen etwas über 10 Prozent vom Grenzwert.

In den einzelnen Funkwellenklassen für UKW, DAB, BOS, DVB-T, UMTS und Sonstigen Sendern werden an 40 % bis 90 % der Messpunkte sogar nur 0,1 Prozent vom Grenzwert ausgeschöpft. GSM-Sender tragen an bis zu 20 % der Messpunkte zwar auch nur 0,1 Prozent vom Grenzwert bei, jedoch ist die Verteilung deutlich breiter, so dass auch Werte in der Nähe von 1 Prozent vom Grenzwert noch relativ häufig auftreten. Die höchsten Grundimmissionen werden durch LMK-Sender erzeugt. Der Schwerpunkt der Häufigkeitsverteilung liegt für diese Sendergruppe bei rund 0,6 % vom Grenzwert. Analoge TV-Sender konnten dagegen an nahezu 90 % der Messpunkte nicht mehr gemessen werden.

##### Erläuterung:

In Abb. 4 ist für alle Messpunkte in den vier Untersuchungsgebieten grafisch dargestellt, zu welchem Prozentsatz der gesetzliche Grenzwert ausgeschöpft wird. Abb. 5 zeigt schließlich die Häufigkeitsverteilung für alle Funkwellenklassen.

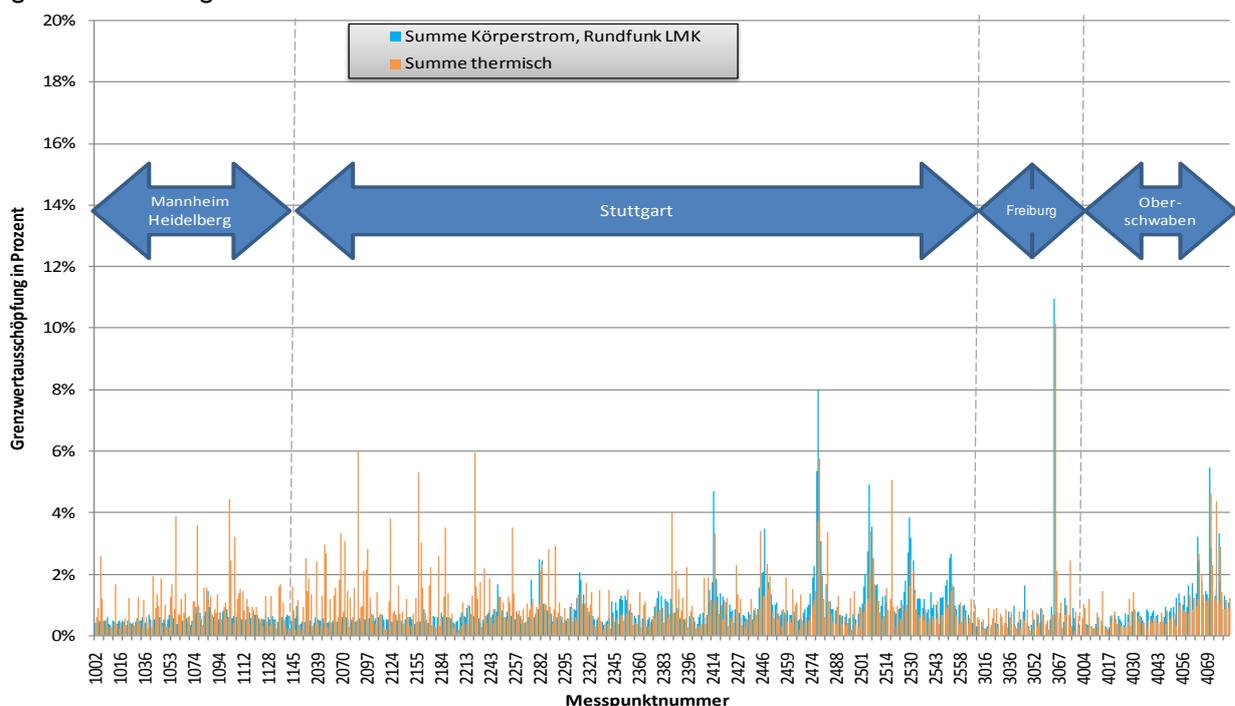


Abb. 4: Übersicht für alle Messpunkte hinsichtlich der Ausschöpfung des Grenzwertes (Summenimmission für Körperstrom und thermische Wirkung)

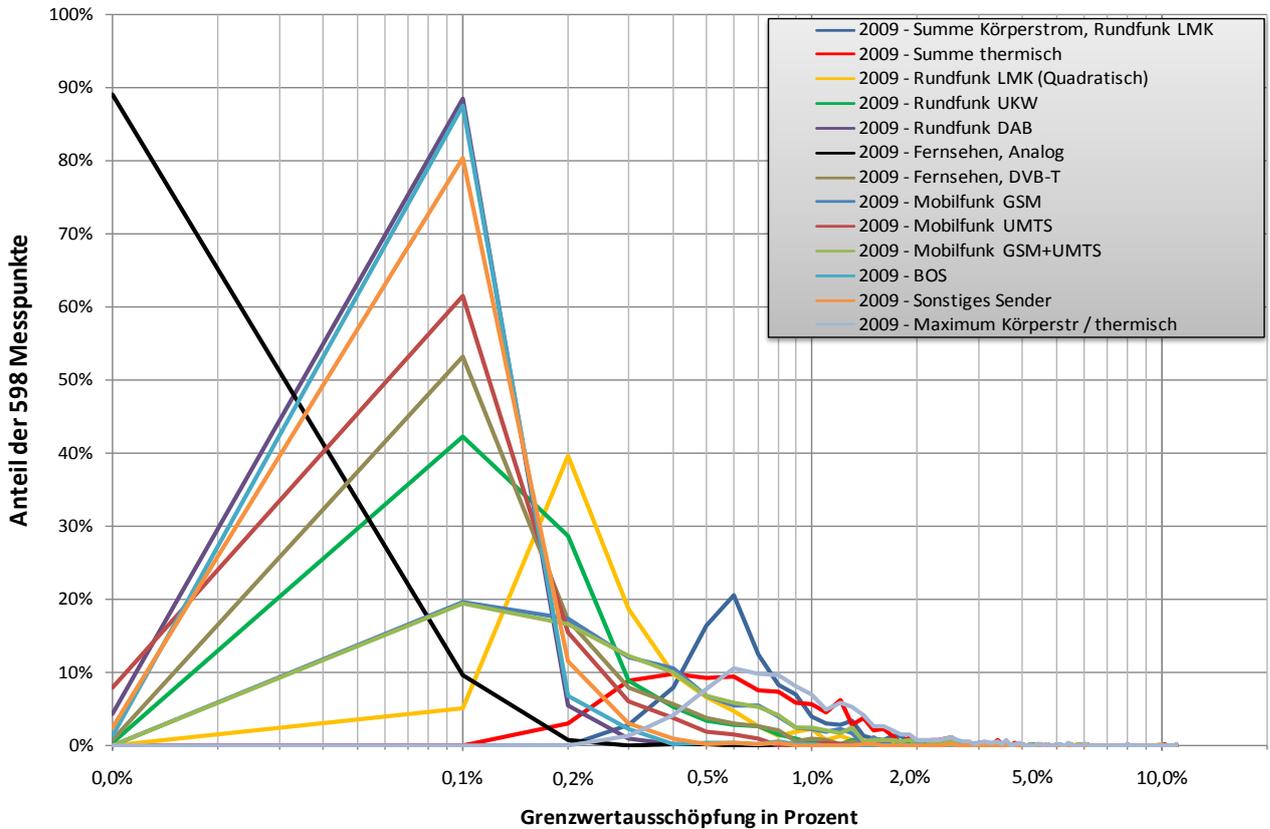


Abb. 5: Häufigkeitsverteilung für die einzelnen Funkquellenklassen

Die weitere statistische Auswertung der Messdaten ergab die in Tab 1 zusammengestellten Werte für das Gesamtgebiet. Die wichtigsten Kenndaten sind in der graphischen Darstellung in Abb. 6 dargestellt.

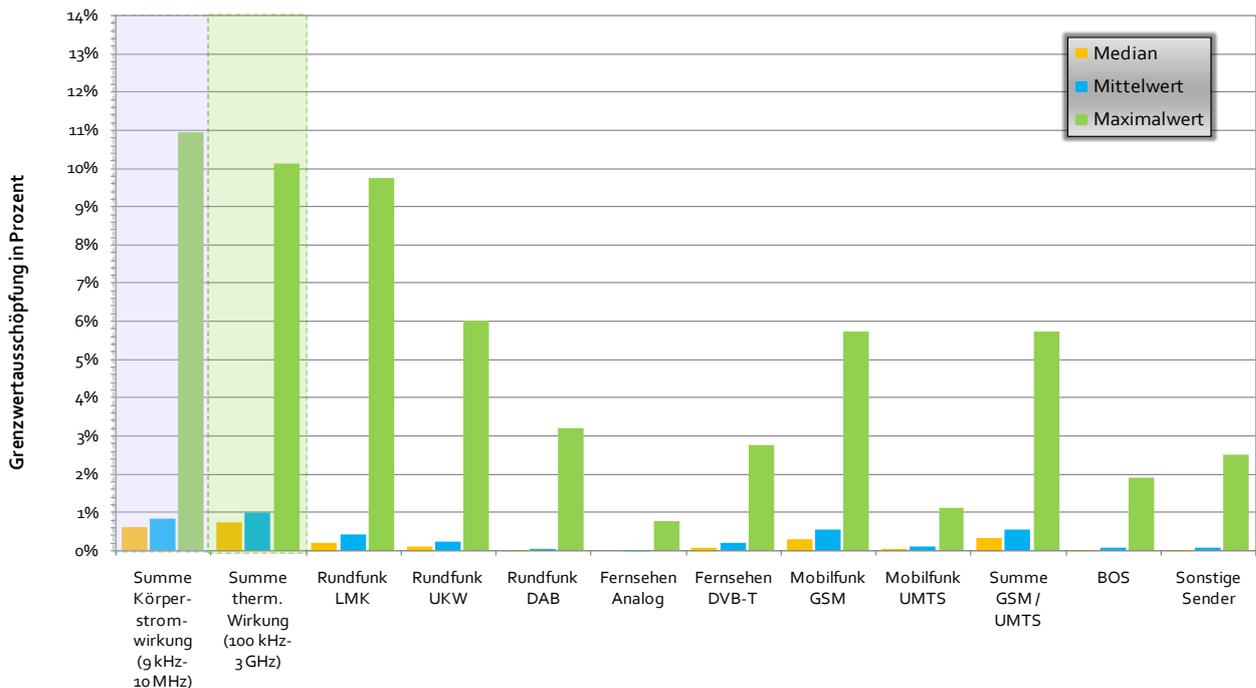


Abb. 6: Mittlere Immission, Median und höchster Immissionswert aufgeschlüsselt für die einzelnen Immissionsklassen (Zahlenwerte in Tab 1)



Grenzwertausschöpfung in Prozent	Mittelwert	Perzentile			Maximum	Standardabweichung	Variationskoeffizient <sup>1</sup>
		25 %	50 %	75 %			
Summe Körperstrom, Rundfunk LMK	0,84%	0,49%	0,61%	0,89%	10,96%	0,80%	0,95
Summe thermische Wirkung	0,98%	0,43%	0,74%	1,18%	10,13%	0,92%	0,94
Rundfunk LMK (thermisch)	0,41%	0,15%	0,22%	0,43%	9,74%	0,65%	1,58
Rundfunk UKW	0,24%	0,06%	0,12%	0,23%	6,01%	0,42%	1,78
Rundfunk DAB	0,04%	0,01%	0,02%	0,04%	3,19%	0,14%	3,65
Fernsehen, Analog	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,76%	0,04%	6,63
Fernsehen, DVB-T	0,20%	0,04%	0,09%	0,25%	2,74%	0,28%	1,40
Mobilfunk GSM	0,53%	0,13%	0,31%	0,65%	5,73%	0,69%	1,29
Mobilfunk UMTS	0,10%	0,01%	0,05%	0,13%	1,11%	0,15%	1,47
Mobilfunk GSM+UMTS	0,55%	0,13%	0,32%	0,67%	5,74%	0,70%	1,28
BOS	0,05%	0,01%	0,02%	0,05%	1,91%	0,12%	2,26
Sonstiges Sender	0,07%	0,01%	0,03%	0,07%	2,49%	0,15%	2,24
Maximum Körperstrom / thermisch	1,16%	0,60%	0,88%	1,31%	10,96%	0,98%	0,85

Tab 1: Statistische Kenndaten<sup>2</sup> für alle Untersuchungsgebiete

<sup>1</sup> Quotient aus Standardabweichung und Mittelwert, auch als relative Standardabweichung bezeichnet. Der Wert gibt die relative Streuung der Einzelwerte an.

<sup>2</sup> Gegenüber dem Gesamtmittelwert über alle Messpunkte, wie er in den Auswertebölgern angegeben ist, weichen die oben dargestellten Werte geringfügig ab, da dort die mehrmalige Erfassung des Referenzpunkts im Mittelwert mit berücksichtigt wurde.

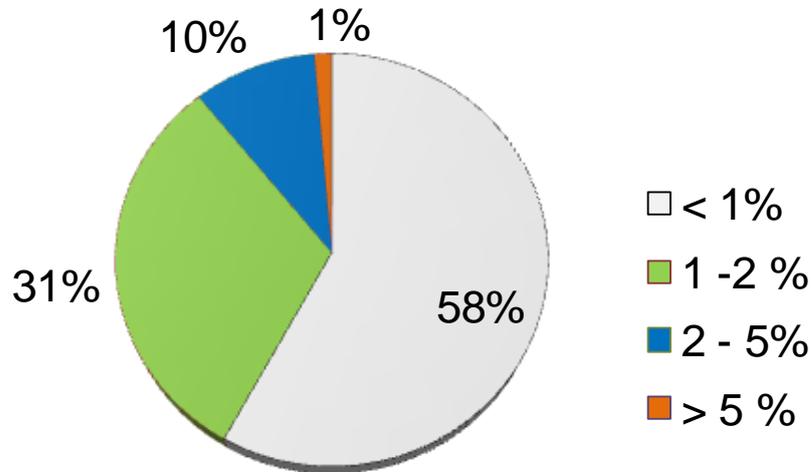


Abb. 7: Prozentualer Anteil der Messpunkte für alle vier Untersuchungsgebiete mit einer Gesamtimmission von x Prozent

Knapp zwei Drittel aller Messpunkte in den vier Untersuchungsgebieten wiesen Immissionen auf, kleiner als ein Hundertstel vom Grenzwert. Nur an acht der 598 Messpunkte überstiegen die Immissionseinwirkungen die Fünf-Prozentmarke. Die jeweiligen Ursachen für diese höheren Immissionen werden in Abschnitt 4.1.4 exemplarisch an diesen acht Messpunkten erläutert.

#### 4.1.2 Immissionen aufgeschlüsselt auf die verschiedenen Funkdienste

##### WELCHEN BEITRAG HABEN DIE VERSCHIEDENEN FUNKDIENSTE AN DER GESAMTIMMISSION?

**Antwort:**

Den stärksten Einzelanteil an der Gesamtimmission mit Funkwellen tragen die LMK-Sender bei (Abb. 9), wenn man die Grenzwertausschöpfung im Wirkungsbereich des Körperstroms und zusätzlich den Anteil bei der thermischen Wirkung mit berücksichtigt. Im Bereich der thermischen Wirkung allein, oberhalb einer Frequenz von 100 kHz, stellt hingegen (Abb. 8) der Mobilfunk mit etwas über 37 % mittlerweile die stärkste Gruppe dar. Erst an zweiter Stelle folgen hier die LMK-Anlagen, gefolgt von den Rundfunksendern im UKW-Band mit 16 % und den vorwiegenden digitalen Fernsehsendern mit 13 %. Der Beitrag der BOS-Sendeanlagen und der sonstigen Funkanlagen bleibt unter 6% der thermischen Gesamtwirkung.

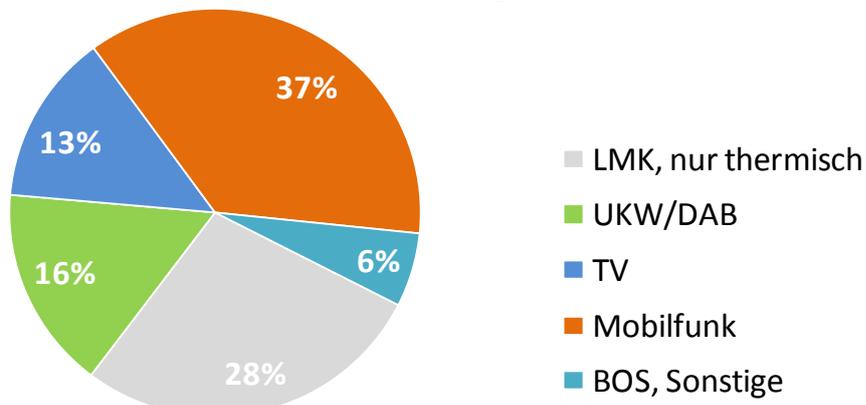


Abb. 8: Prozentualer Anteil der Funkdienste an der durchschnittlichen Gesamtimmission exemplarisch für die thermische Wirkung

**Erläuterung:**

Zur Gesamtmission trägt einerseits die Körperstromwirkung, andererseits die thermische Wirkung bei. Während im Frequenzbereich der Körperstromwirkung bis 10 MHz hauptsächlich nur die LMK-Sender beinhaltet, setzt sich der Bereich der thermischen Wirkung, oberhalb von 100 kHz, aus vielen Funkdiensten zusammen. Die Gesamtmission setzt sich vorrangig aus den Summen der Körperstromwirkung mit 0,84 % vom Grenzwert und der thermischen Wirkung mit 0,98 % vom Grenzwert zusammen (Abb. 9). Da im Übergangsbereich von 100 kHz bis 10 MHz jedoch die LMK-Sender sowohl zur Körperstromwirkung als auch der thermischen Wirkung beitragen, vergrößert sich der LMK-Anteil an der Gesamtmission entsprechend. Zu beachten ist dabei, dass die Sendergruppen im Bereich der thermischen Wirkung quadratisch gewichtet werden.

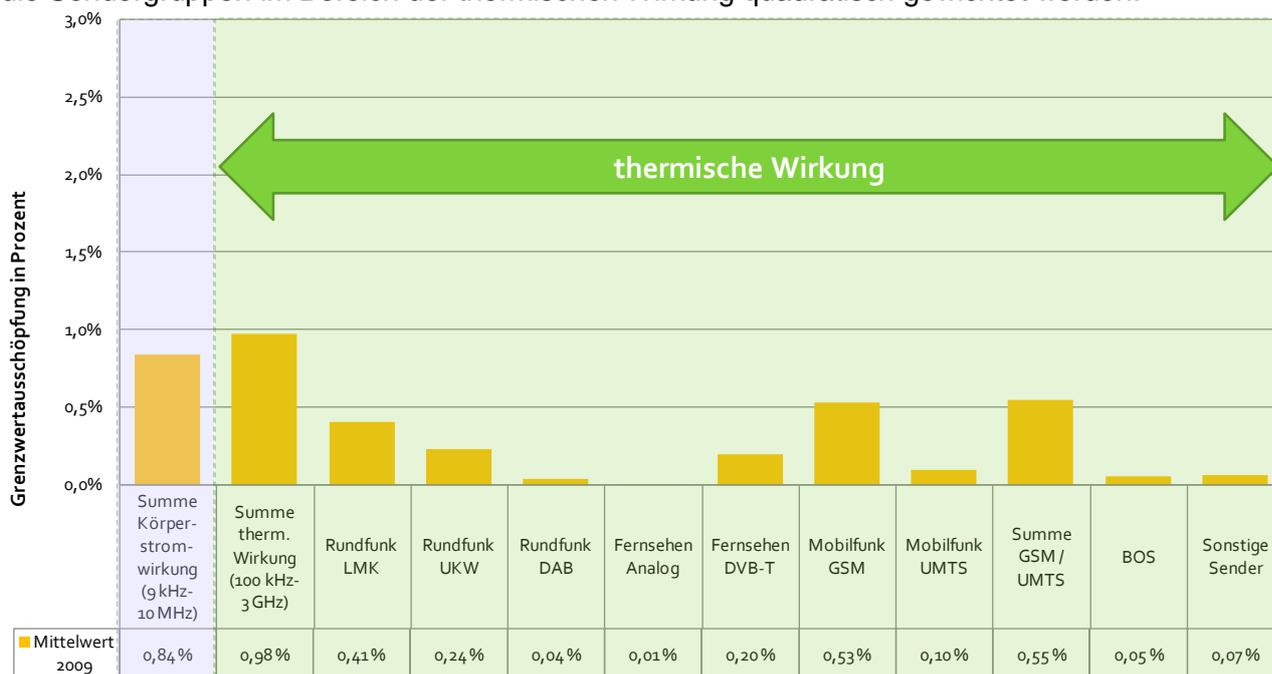


Abb. 9: Klassenmittelwerte über alle 598 Messpunkte

**4.1.3 Immissionen aufgeschlüsselt nach Lage inner- oder außerhalb von Ortschaften**

**GIBT ES UNTERSCHIEDE ZWISCHEN DER LAGE INNERHALB UND AUßERHALB VON ORTSCHAFTEN UND STÄDTEN?**

**Antwort:**

Abb. 10 ist zu entnehmen, dass es durchaus Unterschiede zwischen den durchschnittlichen Immissionen innerorts und außerorts gibt. Abhängig vom Funkdienst kann die Immission innerhalb geschlossener Ortschaften jedoch zu oder abnehmen.

**Erläuterung:**

Innerorts stellt der Mobilfunk die stärkste Einzelquelle dar und übertrifft hier sogar die durch LMK-Rundfunksender verursachten Immissionen (Abb. 10). Außerorts ist es gerade umgekehrt. Die Ursache ist vor allem in der unterschiedlichen Senderreichweite zu suchen. Während LMK-Sender ganz Deutschland von einem Standort aus abdecken können, ein DVB-T Sender immer noch einige 30 bis 50 Kilometer, versorgt ein Mobilfunksender innerorts meist nur ein Gebiet vom

500 m bis 1000 m um den Standort, außerorts können es hingegen bis 5 km sein. Demnach müssen die Mobilfunksender deutlich näher an den Nutzern in den bebauten Bereichen platziert werden als die Rundfunksender. Dies hat zur Folge, dass innerhalb von Ortschaften ein deutlich dichteres Mobilfunknetz zu verzeichnen ist, wohingegen sich Fernseh- und Rundfunksender in der Regel außerhalb geschlossener Ortschaften auf Hügel oder Bergkuppen befinden.



Abb. 10: Durchschnittliche Beiträge der einzelnen Funkdienste innerorts und außerorts im Vergleich

Für UKW- und DAB-Sender ist hingegen kaum ein Unterschied zu erkennen, was vermutlich auf weitere Immissionen durch kleinere Umsetzer zurückzuführen ist. BOS- und sonstige Sender zeigten innerorts etwas stärkere Immissionen. Für die BOS-Sender ist dies zum Teil durch die Kopplung mit Mobilfunkstandorten erklärbar, andererseits werden als Standorte häufig bestehende Sendemasten der öffentlichen Hand benutzt, die sich meist an Polizeidienststellen, Landratsämtern oder Feuerwehrgebäuden befinden. Zu den sonstigen Sendern gehören Betriebsfunk, und private Funkquellen wie DECT-Telefone und WLAN-Anlagen. Diese sind deshalb auch verstärkt innerorts zu finden.

#### 4.1.4 Regionen und Konstellationen mit besonders auffälligen Immissionen

**GIBT ES REGIONEN ODER KONSTELLATIONEN, WO BESONDERS HOHE ODER NIEDRIGE IMMISSIONEN ZU ERWARTEN SIND?**

**Antwort:**

Auf Besonderheiten in den einzelnen Untersuchungsgebieten wird im Folgenden exemplarisch anhand der acht Messpunkte mit einer Gesamtimmission über fünf Prozent vom Grenzwert eingegangen. Weitere Erläuterung finden sich dazu im Abschnitt 4.2.



Messpunkt Nr	Messwert Maximum Körperstrom / thermisch in Prozent vom Grenzwert	Ursache				Entfernung zum Messpunkt	Sichtverbindung
		Art	Frequenz	Funkquelle	ERP <sup>3</sup> Sendeleistung		
3065	10,96 %	Rundfunk	MW 828 kHz	SWR Freiburg, Lehen	10 kW	200 m	ja
2479	7,98 %	Rundfunk	MW 576 kHz	SWR Mühlacker	100 kW	900 m	nein
2090	6,01 %	Rundfunk	104,3 MHz	RTV-Radio, Sindelfingen	2 kW	100 m	teilweise
2220	5,95 %	Mobilfunk	GSM 900	Stuttgart, Nordbahnhofstraße	ca. 20 kW	100 m	ja
4071	5,46 %	Rundfunk	MW 756 kHz	Deutschlandfunk, Ravensburg-Wilhelmskirch	100 kW	1.000 m	nein
2478	5,35 %	Rundfunk	MW 576 kHz	SWR Mühlacker	100 kW	1.300 m	ja
2156	5,32 %	Rundfunk	UKW-, DAB	SWR Sendeturm am hohen Bopser, Stuttgart-Degerloch	380 kW	75 m	ja
2517	5,05 %	Mobilfunk	GSM 900/1800	Bietigheim-Bissingen	20 – 40 kW	300 m	ja

Tab 2: Messpunkte mit einer Gesamtimmission über fünf Prozent und deren Ursachen

Aus den in Tab 2 wiedergegebenen Daten lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Für die jeweilige Immission in der Umgebung einer Funkquelle sind sechs Parameter entscheidend:
  1. Sendeleistung
  2. Höhenunterschied
  3. Abstrahldiagramm
  4. Entfernung
  5. Sichtverbindung und
  6. Sendefrequenz.
- Aus keinem der Parameter allein betrachtet, kann eine zuverlässige Schlussfolgerung auf die Immissionseinwirkung am Messpunkt getroffen werden, so wird die höchste Immission am Messpunkt 3065 durch einen relativ leistungsschwachen Rundfunksender verursacht. Weit leistungsstärkere Sender wie bei Messpunkt 2156 führen hingegen zu deutlich niedrigeren Immissionswerten in kurzem Abstand.
- Erst die ungünstige Kombination der sechs Parameter führt zu hohen Immissionseinwirkungen. So trifft am Messpunkt 3065 eine relevante Sendeleistung mit einer ungehinderten Sichtverbindung zum Messpunkt zusammen. Aufgrund der üblicherweise breit aufgefächerten Abstrahlung von LMK Rundfunksendern befindet sich der Messpunkt bei der vorliegenden Entfernung zum Sendemast vermutlich nahe dem Bereich mit der höchsten Immission.
- Ein weit leistungsstärkerer Sender, wie bei Messpunkt 2156, führte in geringerem Abstand hingegen zu deutlich niedrigeren Immissionswerten. Denn in diesem Fall liegt der Messpunkt noch zum Großteil im Funkschatten der Funkquelle.

<sup>3</sup> ERP = Equivalent Radiation Power, Sendeleistung bezogen auf einen Dipol

- Interessant ist auch der Vergleich der Messpunkte 2090 und 2220. Der UKW-Rundfunksender mit nur einem Zehntel der ERP-Sendeleistung und nur teilweiser Sichtverbindung verursacht nahezu gleich hohe Immissionen wie die Mobilfunkanlage in etwa übereinstimmender Entfernung. Der Grund liegt hier in den abgestrahlten Sendefrequenzen und den damit verbundenen Grenzwerten. So liegt der niedrigste Grenzwert der 26. BImSchV für das GSM900-Mobilfunkband bei 42 V/m, dagegen für das UKW-Rundfunkband nur bei 27,5 V/m aufgrund der stärkeren Einkopplung der Wellen in den menschlichen Körper in diesem Frequenzbereich<sup>4</sup>. Ein gleich hoher Messwert führt daher im Rundfunkband zu einer um 50 % höheren Grenzwertausschöpfung als im Mobilfunkband.

Wie Abb. 11 zu entnehmen ist, gibt es für die einzelnen Sendergruppen jedoch auch regionale Unterschiede. Mobilfunk ist naturgemäß in den Ballungsräumen Stuttgart und Mannheim/Heidelberg deutlich stärker vertreten, als im mehr ländlichen Raum Freiburg und Oberschwaben. Analoges Fernsehen ist derzeit nur noch im Raum Freiburg nennenswert vorhanden, wo Fernsehsender aus Frankreich einstrahlen.

Auch bei den UKW-Sendern gibt es regionale Unterschiede hauptsächlich bedingt durch die Nähe zu stärkeren Sendeanlagen des SWR oder regionaler Anbieter. Nähere Informationen darüber können der Wittsmoorliste [25] entnommen werden.

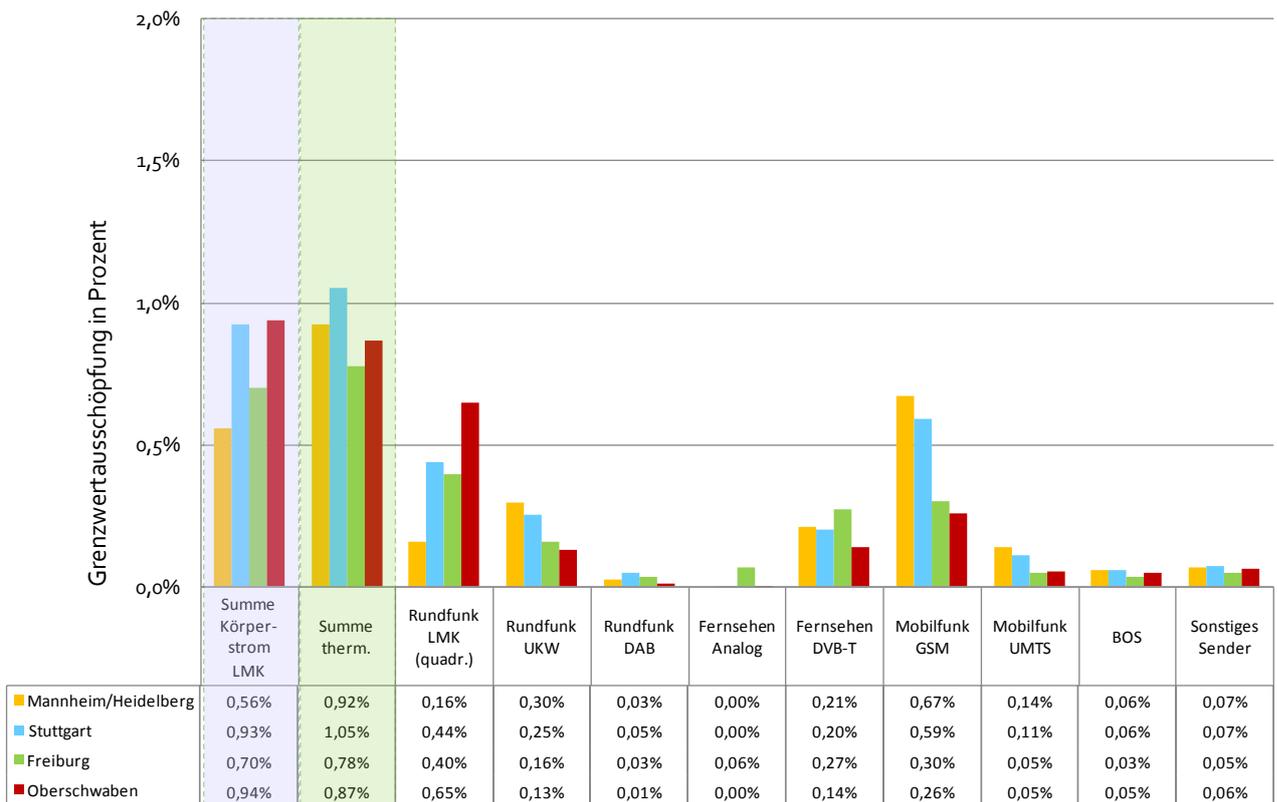


Abb. 11: Durchschnittliche Immissionswerte aufgeschlüsselt nach Regionen

Entscheidend für die jeweilige Gesamtimmission ist die Entfernung und ob Sichtverbindung (im englischen Sprachgebrauch: „Line of Sight“ abgekürzt LOS genannt) zu Senderstandorten besteht. Orte von denen kein Sender in Sicht ist, haben durchgängig auch eine niedrige Gesamtimmission unabhängig von der Entfernung. Sichtverbindung zur jeweiligen Sendergruppe führt auch zu einem Anstieg der durchschnittlichen Immission für diese Klasse wie Abb. 12 zeigt.

<sup>4</sup> Die Wellenlänge in diesem Frequenzbereich liegt in der Größenordnung des menschlichen Körpers.

Bei gleichzeitig geringer Entfernung zum jeweiligen Sender, jedoch noch außerhalb des Funk-schattenbereichs, sind die höchsten Immissionen zu erwarten. Eine gute Hintergrundinformation zum Abstrahlverhalten von Mobilfunkanlagen findet sich in [1].

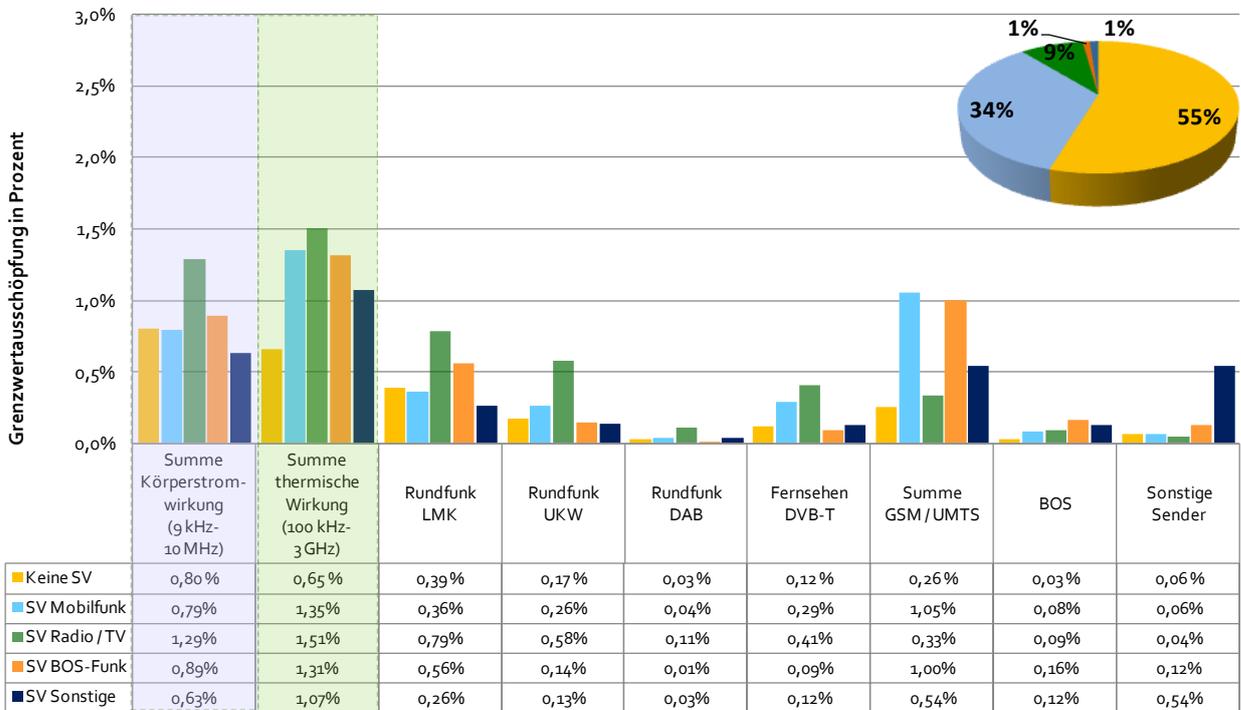


Abb. 12: Prozentualer Anteil der Messpunkte (Tortendiagramm) mit Sichtverbindung (SV) zu dem jeweiligen Funkdienst bzw. ohne Sicht auf einen Sender sowie Grad der Grenzwertausschöpfung in dem jeweiligen Fall

**Erläuterung:**

Hochfrequente Funkwellen breiten sich ähnlich wie Licht aus. Demzufolge bewirkt jedes Hindernis, das sich zwischen dem Sendern bzw. der Lichtquelle und dem Empfänger befindet, eine Abschattung und damit eine Minderung der Gesamtimmission. Die jeweilige Abschattung der Funkwellen, in der Hochfrequenztechnik Schirmung genannt, ist abhängig vom Material des Hindernisses und der Frequenz der Funkwelle. Eine gute Übersicht über die Schirmwirkung gängiger Baumaterialien findet sich in [22] bis [24].

Dies bewirkt folgerichtig, wenn Sichtverbindung zu einem Rundfunk oder Fernsehsender besteht, so erhöhen sich auch die durchschnittlichen Immissionswerte für diese Sendergruppen (LMK, UKW, DAB und DVB-T). Der gleiche Effekt ist auch für Mobilfunk, BOS-Funk und sonstige Sendergruppen zu beobachten.

### 4.1.5 Vergleich der Messprogramme 2003 und 2009

#### WELCHE VERÄNDERUNGEN WURDEN BEI DEM AKTUELLEN MESSPROGRAMM IM VERGLEICH ZU DEN ERGEBNISSEN AUS DEM JAHR 2003 FESTGESTELLT?

**Antwort:**

Das Immissionsniveau hat allgemein, wie in Abb. 13 bis Abb. 15 zu erkennen ist, leicht abgenommen, im Bereich des Mobilfunks jedoch zugenommen. Die Anzahl der Messpunkte mit einer maximalen Gesamtimmission von weniger als einem Hundertstel des Grenzwertes ist von 50 % auf 58 % angewachsen.

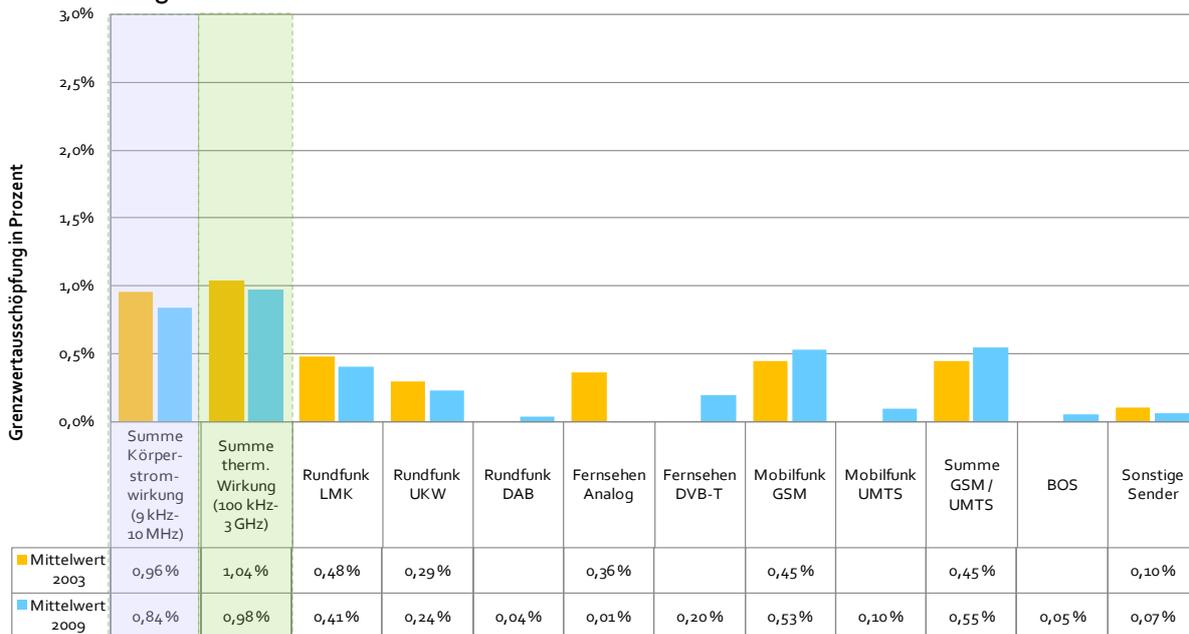


Abb. 13: Vergleich der Klassenmittelwerte für das gleiche Messpunkte -Kollektiv zwischen den Messprogrammen 2003 und 2009

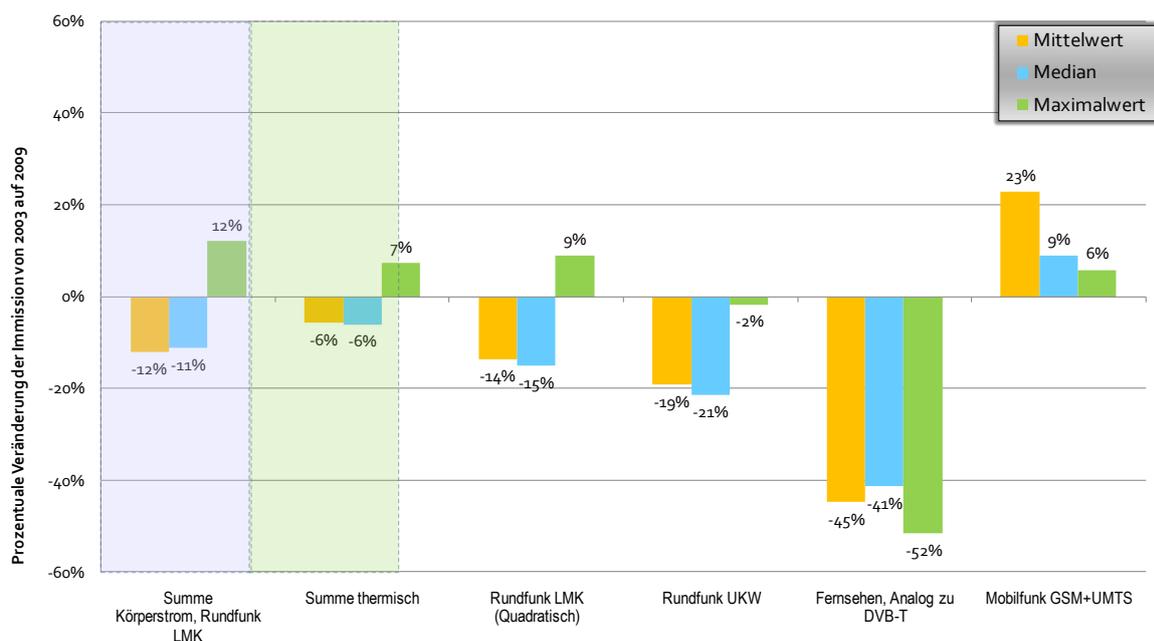


Abb. 14: Veränderung von Klassenmittelwert, Median und Maximalwert für das gleiche Messpunkte -Kollektiv zwischen den Messprogrammen 2003 und 2009

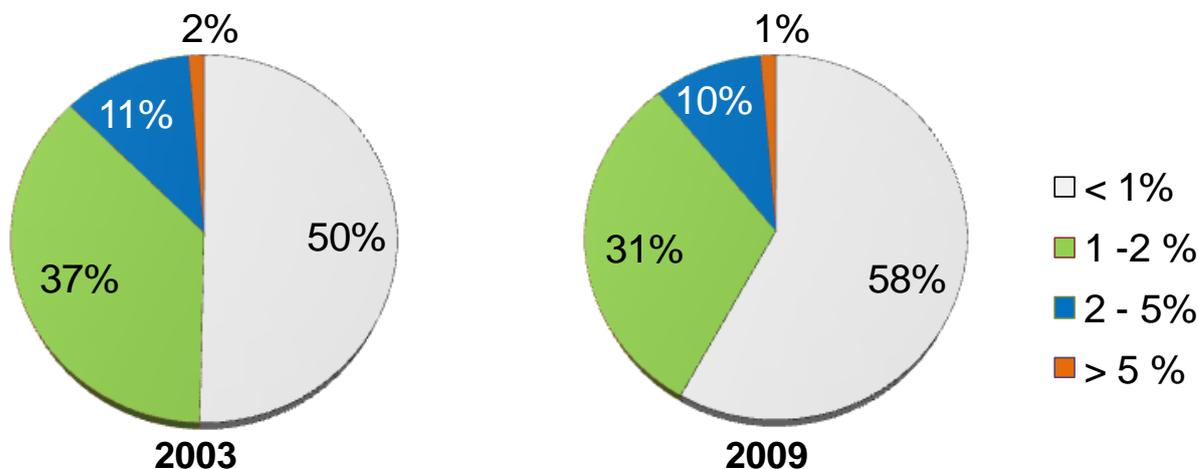


Abb. 15: Veränderung der Gesamtimmission (Maximalwert Körperstrom / thermische Wirkung) zwischen dem Messprogrammen 2003 und 2009

#### Erläuterung:

Die Ursachen dafür sind vielfältig.

- Im Mittelwellenbereich ist die Abschaltung von überregionalen Sendern wie Mega Radio, die im April 2003 den Sendebetrieb unter anderem von Stuttgart-Hirschlanden aus einstellten, verantwortlich. Auch der Mittelwellensender Heidelberg-Dossenheim wurde vom SWR mittlerweile eingestellt. Dies hat zur Folge, dass die durchschnittliche Immission in den Klassen „Summe Körperstromwirkung“ und „Rundfunk LMK“ um 12% bis 14% gesunken ist, aufgeschlüsselt auf die Untersuchungsgebiete sogar bis zu 17 % (Abb. 16), während in den Gebieten Freiburg und Oberschwaben keine signifikante Änderung zu erkennen war.
- Im Fernsehbereich wurde das analoge Fernsehen in Baden-Württemberg flächendeckend abgeschaltet und durch die digitale Technik DVB-T ersetzt. Neben der damit verbundenen zum Teil deutlichen Reduzierung der Sendeleistung, hatten weiterhin noch nicht alle privaten Programmanbieter zum Zeitpunkt der Messungen den Sendebetrieb mit DVB-T aufgenommen. Die vorerst letzten beiden DVB-T-Sender, Geislingen-Oberböhringen und Heilbronn-Weinsberg, gingen erst Mitte Oktober 2009 in Betrieb. Zudem bieten einige private Programmanbieter wie RTL und VOX noch keine Ausstrahlung im DVB-T – Standard an. Verbunden mit der möglichen Reduzierung der Sendeleistung aufgrund des Systemgewinns der digitalen Technik gegenüber der analogen führte dies dazu, dass die durchschnittliche Immission verursacht durch Fernsehsender um 45 % abgenommen hat. Dies tritt in allen Untersuchungsgebieten relativ gleichmäßig auf, bis auf Oberschwaben, wo zusätzlich DVB-T-Sender von der Schweiz und Österreich mit einstrahlen.
- Auch im UKW-Bereich ist ein Rückgang der Immissionen um durchschnittlich 19 % zu verzeichnen. Es liegen hier keine Informationen vor, dass Sender abgeschaltet oder von der Sendeleistung reduziert worden sind. Der Rückgang ist regional uneinheitlich und vermutlich auch darauf zurückzuführen, dass die Messung diesmal verstärkt in den Sommermonaten mit belaubten Bäumen statt fand. Zudem sind viele Büsche und Bäume im Messumfeld mittlerweile stark gewachsen. Ein ähnlicher Effekt wurde auch im EMF-Monitoring in Bayern [29] beobachtet.
- Der Bereich Mobilfunk hat im Durchschnitt gegenüber 2003 um 23 % zugenommen, was auf den starken Ausbau des Mobilfunknetzes zurückzuführen ist. Am stärksten betroffen war davon das Untersuchungsgebiet Stuttgart, wo ein Zuwachs bis zu 29 % zu verzeichnen war.

- Da die Zunahme im Mobilfunkbereich geringer ausfällt als die Abnahme in den klassischen Bereichen Rundfunk- und Fernsehen, haben die thermischen Summenimmissionen insgesamt in den letzten sechs bis sieben Jahren abgenommen.

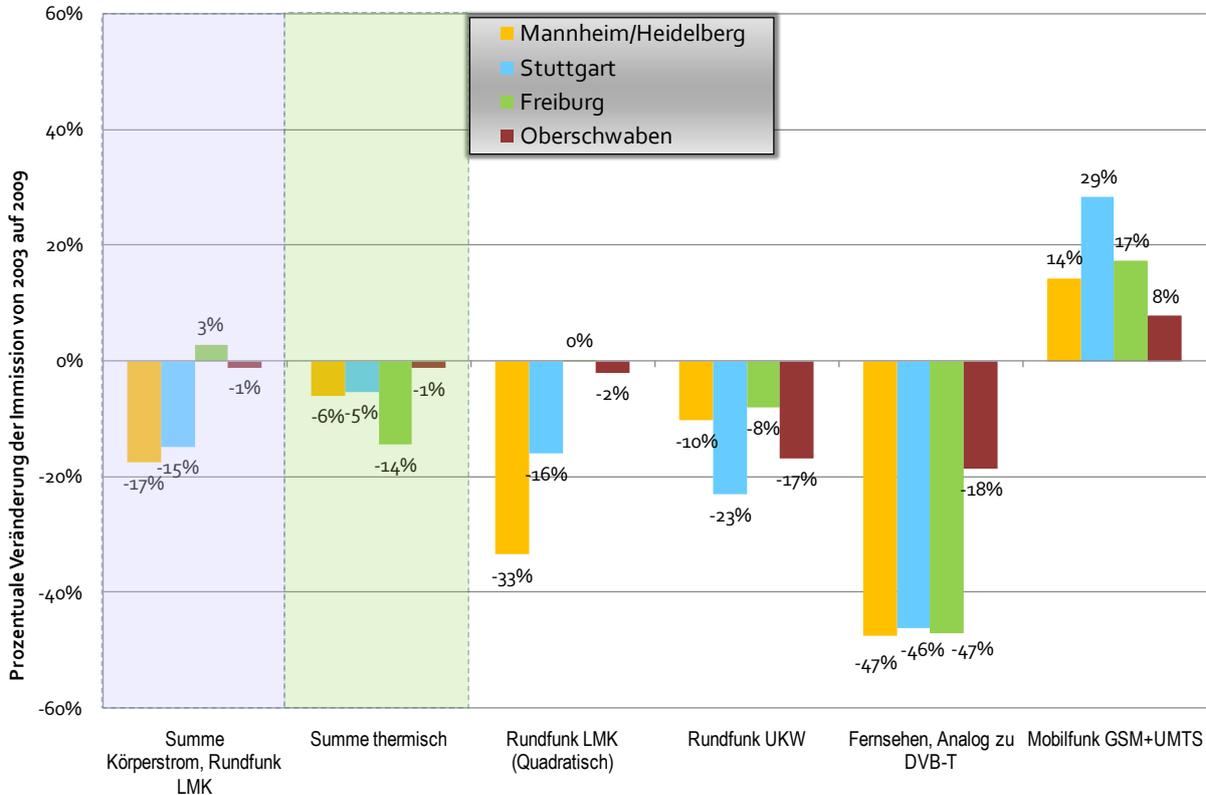


Abb. 16: Prozentuale Veränderung der mittleren Immissionen in den Untersuchungsgebieten

- Deutliche Veränderungen ergaben sich bei der Aufteilung der Funkdienste im Bereich der thermischen Wirkung. Aufgrund des Rückgangs des analogen Fernsehens hat sich der Anteil des Mobilfunks an der Gesamtimmission von 27% auf 37% erhöht. Diese Zunahme ging zu Lasten der Rundfunk- und Fernsehsender. Andere Funkdienste wie BOS und sonstige Sender spielen jedoch für die Gesamtimmission mit einem Anteil von 6% nur eine untergeordnete Rolle.

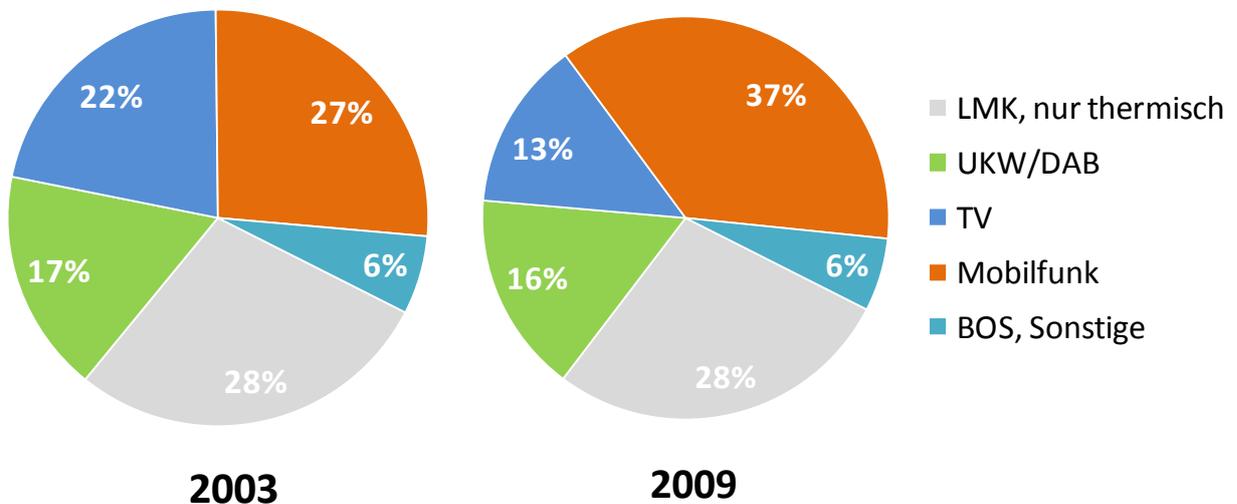


Abb. 17: Veränderung in der Aufteilung der Funkdienste zwischen dem Messprogrammen 2003 und 2009

#### 4.1.6 Zeitliche Konstanz der Immissionen

### WIE STARK SCHWANKEN DIE IMMISSIONEN ÜBER MEHRERE MONATE FÜR DIE EINZELNEN FUNKDIENSTE?

**Antwort:**

Die Immission des UKW – Rundfunk und der DVB-T-Sender ist nur sehr geringen zeitlichen Variationen unterworfen. Am stärksten schwanken die Immissionen beim Mobilfunk, insbesondere bei UMTS und bei den sonstigen Sendern. Treten Unterschiede auf, so sind diese meist auf ein geändertes Vegetationsumfeld durch belaubte Bäume, gewachsene Büsche oder abgeerntete Ackerpflanzen zurückzuführen.

**Erläuterung:**

UKW-Rundfunk- und Fernsehsender senden in der Regel unabhängig von Tageszeit und Nutzung ein konstantes Signal aus. Das gemessene Signal ist daher über längere Zeiträume sehr konstant. Die Abstrahlung von Mobilfunksendern und sonstigen Sendern (Handys, Betriebsfunk) hängt dagegen stark von der Nutzung ab. So können sich abhängig von der Tageszeit, an der die Messung durchgeführt wird, deutlich unterschiedliche Werte ergeben.

Die an einem Referenzpunkt immer im etwa zweiwöchigen Zyklus über einen Zeitraum von fünf Monate durchgeführten Messungen, zeigen daher bei UKW und DVB-T ein sehr konstantes Signal (Abb. 18). Bei den LMK-Sendern schwanken die Messwerte etwas stärker. Auffallend ist jedoch beim GSM-Mobilfunk eine deutlich abnehmende Tendenz der Immissionen bis zum 05.06.2009, die so nicht plausibel zu erwarten war. Ursache dafür war ein Baum, der die Sichtverbindung zwischen dem Mobilfunksender und dem Messpunkt durch sein Laubwerk und sein Wachstum immer stärker behinderte. Abhilfe brachte eine Versetzung des Messpunkts um ca. 3 m, womit in etwa die alten GSM-Immissionswerte aus dem Jahr 2003 wieder reproduziert werden konnten. Gleichzeitig zeigten diese Messungen, dass sich die Empfindlichkeit der Messtechnik nicht verändert hat. (Abb. 19)

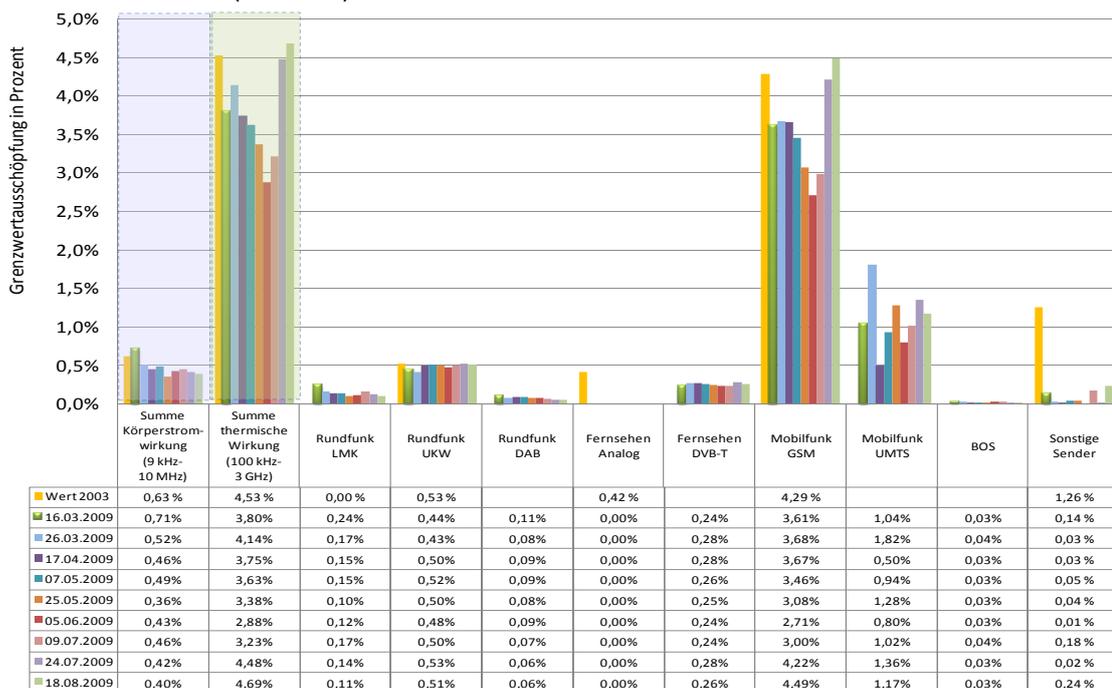


Abb. 18: Veränderung der Immissionen am Referenzpunkt 2123 in Stuttgart-Vaihingen über einen Zeitraum von fünf Monaten



a)



b)



c)

Abb. 19: Messpunkt 2163 a) zu Beginn des Messprogramms im März; b) im Sommer fast eingewachsen und c) Messpunkt nach Versetzung um ca. 3 m.

Ausschöpfung des Grenzwertes in Prozent	Mittelwert	Median	Standardabweichung	Variationskoeffizient
Summe Körperstrom, Rundfunk LMK	0,47%	0,46%	0,10%	0,22
Summe thermisch	3,78%	3,75%	0,58%	0,15
Rundfunk LMK (Quadratisch)	0,15%	0,15%	0,04%	0,28
Rundfunk UKW	0,49%	0,50%	0,03%	0,07
Rundfunk DAB	0,08%	0,08%	0,02%	0,21
Fernsehen, Analog	0,00%	0,00%	-	-
Fernsehen, DVB-T	0,26%	0,26%	0,02%	0,07
Mobilfunk GSM	3,55%	3,61%	0,57%	0,16
Mobilfunk UMTS	1,11%	1,04%	0,37%	0,34
BOS	0,03%	0,03%	0,00%	0,13
Sonstiges Sender	0,08%	0,04%	0,08%	0,99
Maximum Körperstrom / thermisch	3,78%	3,75%	0,58%	0,15

Tab 3: Statistische Parameter zur zeitlichen Konstanz der Immissionen

#### 4.1.7 Einfluss des Umfelds auf die Messung

##### 4.1.7.1 Vegetationseinfluss

Dichte Vegetation, wie sie beispielsweise ein Maisfeld darstellt, kann eine deutliche Minderung der Immissionen bewirken. Exemplarische ist dies für den Messpunkt 4068 in Oberschwaben dargestellt.

Entgegen der Tendenz in allen Untersuchungsgebieten, die eine Abnahme des Immissionsanteils der LMK-Sender aufweist, konnte an diesem Messpunkt eine deutliche Zunahme der Immissionen um ca. 150 % festgestellt werden. Beim GSM Mobilfunk sind es sogar über 300 %.



Abb. 20: Messpunkt 4068 im Untersuchungsgebiet Oberschwaben in der Nähe von Ravensburg, links im Jahr 2003 mit Maisfeld, rechts 2009 mit abgeerntetem Feld

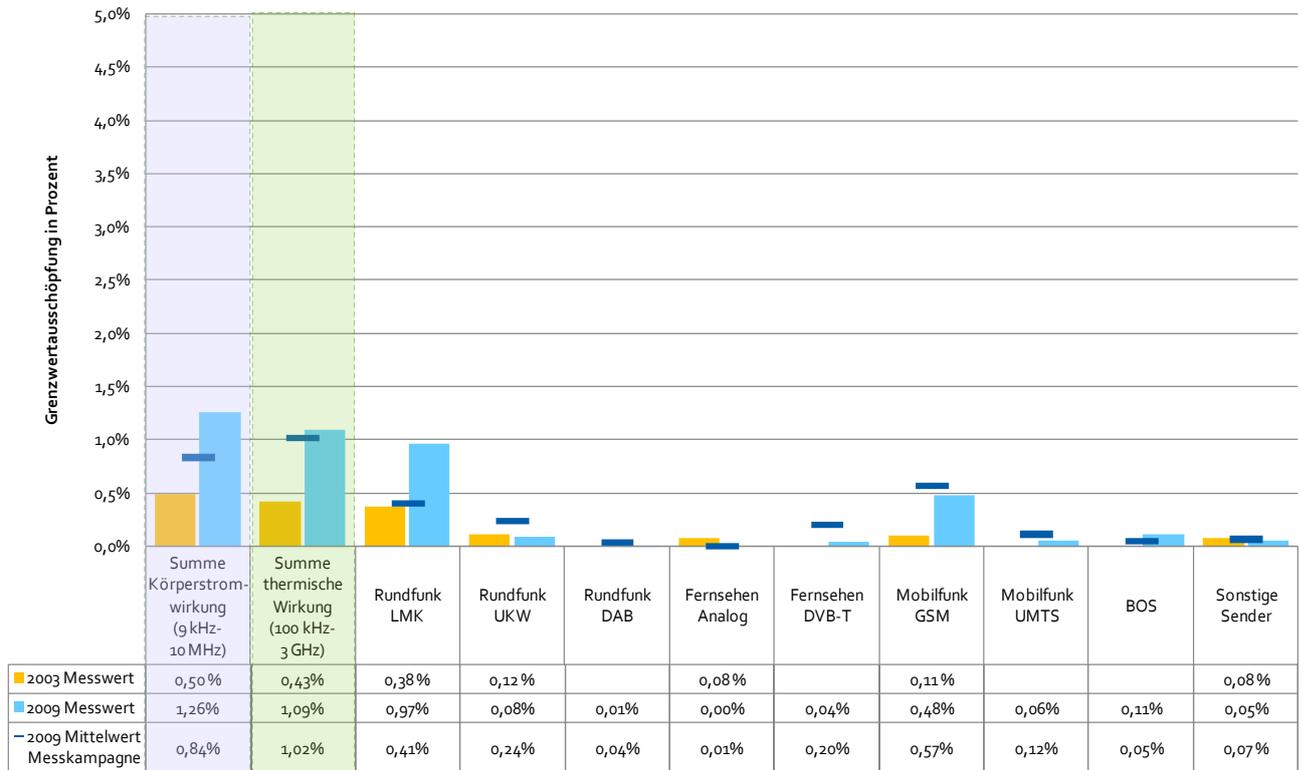


Abb. 21: Veränderung der Immissionen zwischen 2003 und 2009 am Messpunkt 4068

Bei den LMK-Immissionen ist die Ursache eindeutig auf die Schirmwirkung des Maisfeldes im Jahr 2003 zurückzuführen, während das Feld im Jahr 2009 zum Zeitpunkt der Messungen bereits abgeerntet war. Für den Mobilfunk kann jedoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden, dass ein Teil des Effekts zusätzlich auf eine Veränderung durch einen neuen Mobilfunkstandort zurückzuführen ist.

#### 4.1.7.2 Lokale, regionale Störungen

An einigen Messpunkten war auch eine Beeinflussung durch lokale Störquellen zu beobachten. Diese waren nur an einzelnen Messpunkten messbar, wie in Ludwigsburg. Die Ursache stellt vermutlich ein schlecht entstörtes Gerät in der näheren Umgebung dar. In diesem Fall reichten die Störungen von 20 MHz bis über 800 MHz.

Vor allem im Raum Freiburg (Abb. 23) zeigte sich ein für diesen Frequenzbereich untypisch sehr breitbandiges Signal mit fast 250 kHz Bandbreite bei einer Frequenz von ca. 600 kHz. Die Signalstärke liegt zwar um weit unter den Signalpegeln der LMK-Sender der Region, jedoch sind keine bekannten Sender diesem Signal zuordenbar. Es tritt am stärksten im Raum Freiburg in Erscheinung, schwächer im Untergrund des Spektrums auch in den anderen Regionen. Ein Sender in Frankreich dürfte daher die vermutliche Ursache sein oder die Überlagerung von zwei Funksignalen mit nahe beieinander liegenden Frequenzen.

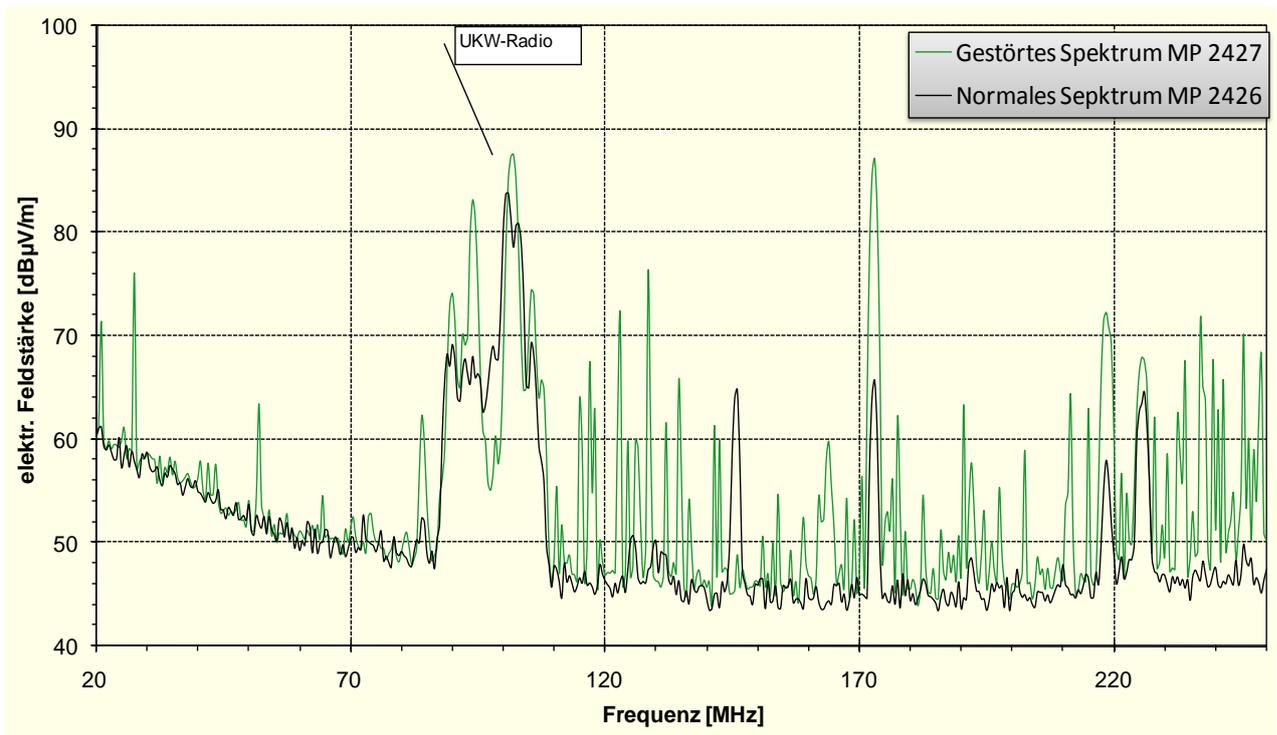


Abb. 22: Durch Störquelle in der Umgebung beeinflusstes Frequenzspektrum; Ausschnitt des Frequenzbereichs von 20 MHz bis 250 MHz am Messpunkt 2427 (Ludwigsburg) im Vergleich mit einem „typischen“ Spektrum des Nachbarmesspunkts 2426

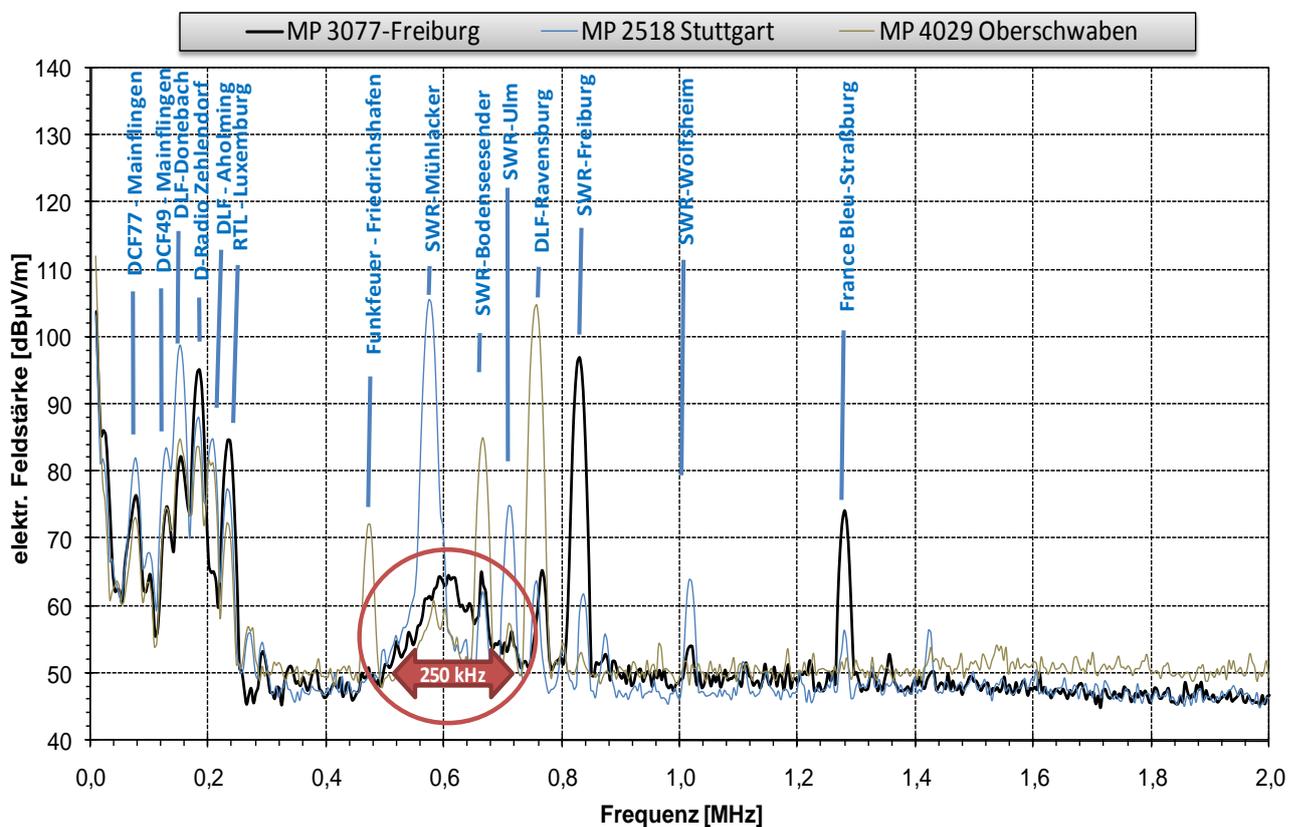


Abb. 23: Nicht identifizierbares, breitbandiges Funksignal bei etwa 600 kHz



## 4.2 Ergebnisse der einzelnen Untersuchungsgebiete

### 4.2.1 Untersuchungsgebiet Stuttgart

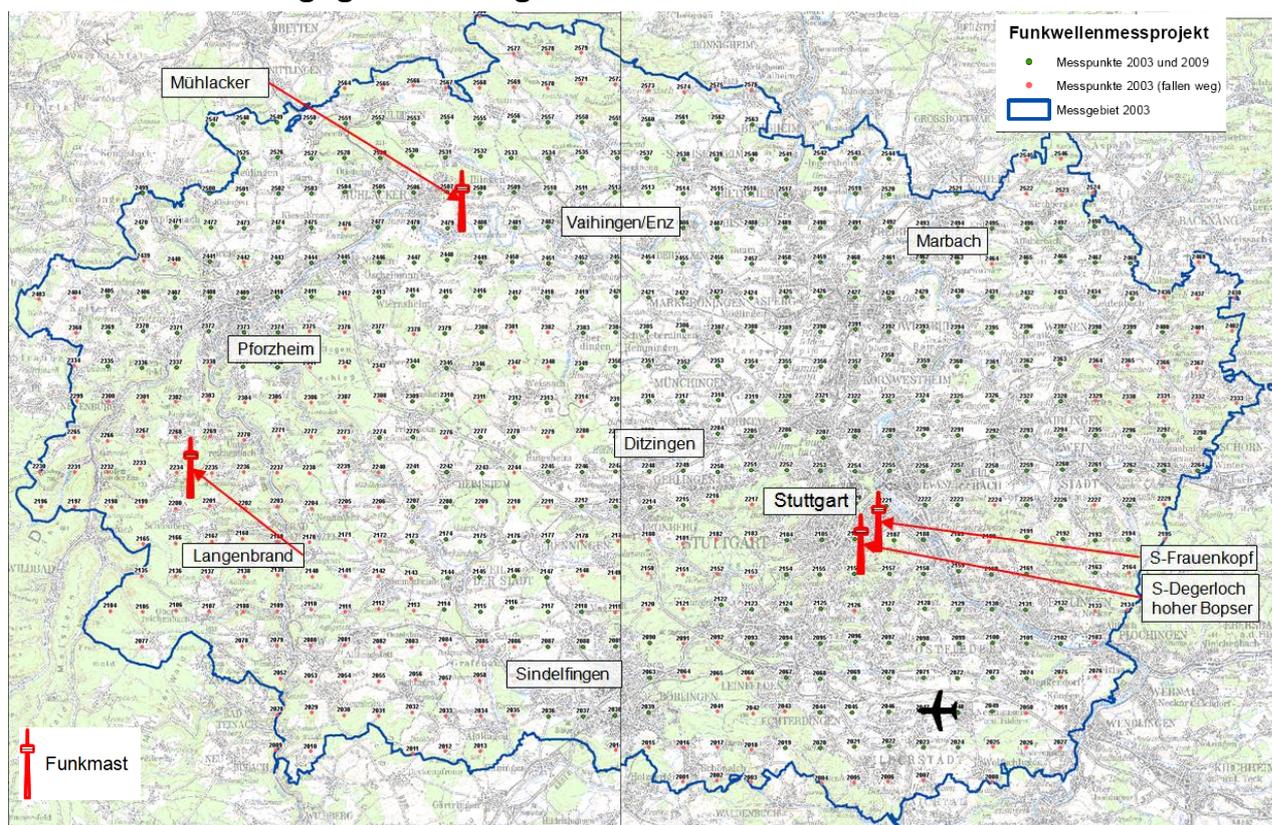


Abb. 24: Untersuchungsgebiet Stuttgart mit Lage leistungsstarker Funkanlagen

Im Untersuchungsgebiet Stuttgart sind folgende leistungsstarke Sendeanlagen vorhanden:

- Fernsehturm Stuttgart-Degerloch am hohen Bopser (UKW, ca. 380 kW Sendeleistung)
- Fernsehturm Stuttgart-Frauenkopf (UKW, DVB-T, ca. 400 kW Sendeleistung)
- Funkmast Pforzheim (Schömberg-Langenbrand) (UKW, DVB-T, ca. 155 kW Sendeleistung)
- Funkmast Mühlacker (Mittelwelle, ca. 100 kW Sendeleistung)

Die Abstrahlung des Senders „Mega Radio“ im Mittelwellenbereich wurden vom Sender Stuttgart – Hirschlanden mittlerweile eingestellt, so dass hiervon nur noch AFN abgestrahlt wird.

#### 4.2.1.1 Statistische Kenndaten

Die statistische Auswertung der Messdaten nur für das Untersuchungsgebiet Stuttgart ergab die in Tab 4 zusammengestellten Werte.

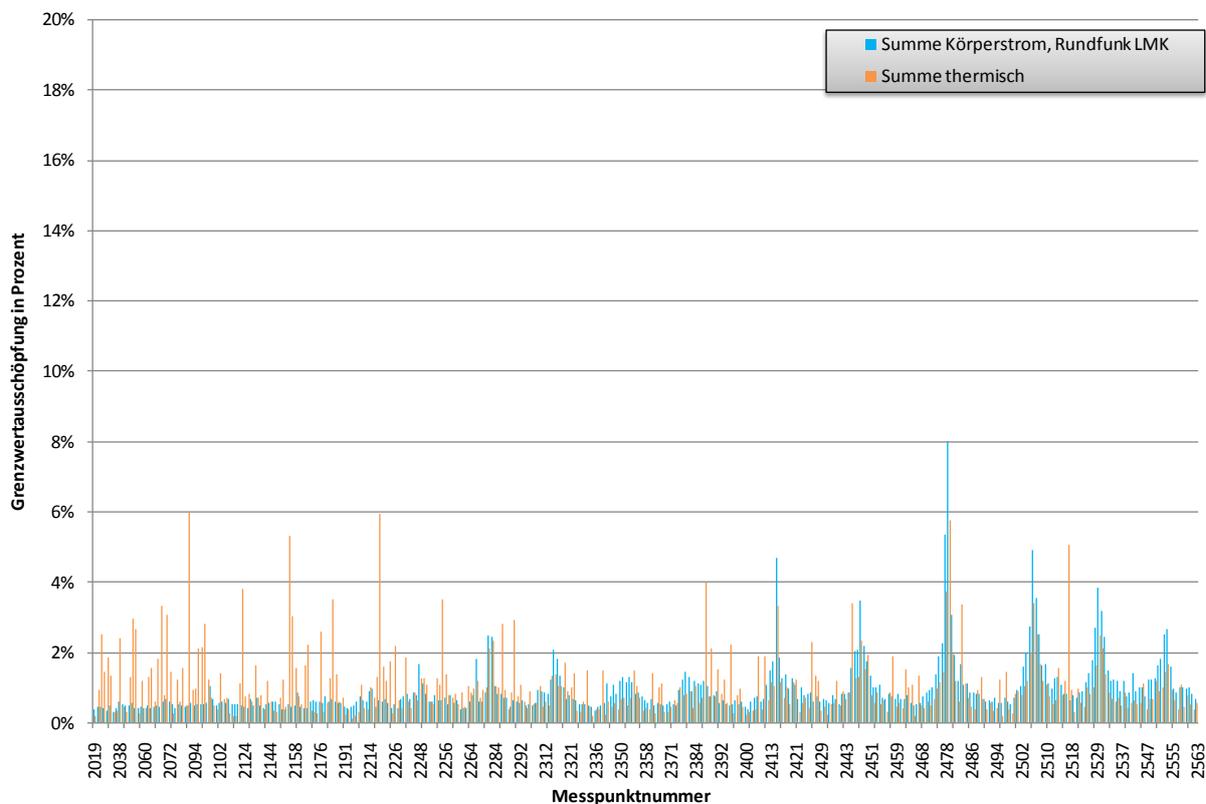


Abb. 25: Übersicht für das Untersuchungsgebiet Stuttgart hinsichtlich der Ausschöpfung des Grenzwertes (Summenimmission für Körperstrom und thermische Wirkung)

Grenzwertausschöpfung in Prozent	Mittelwert	Perzentile			Maximum	Standardabweichung	Variationskoeffizient
		25 %	50 %	75 %			
Summe Körperstrom, Rundfunk LMK	0,93%	0,53%	0,68%	1,01%	7,98%	0,76%	0,83
Summe thermische Wirkung	1,05%	0,47%	0,79%	1,26%	6,01%	0,91%	0,86
Rundfunk LMK (Quadratisch)	0,44%	0,17%	0,25%	0,45%	5,70%	0,56%	1,28
Rundfunk UKW	0,25%	0,05%	0,11%	0,23%	6,01%	0,50%	1,97
Rundfunk DAB	0,05%	0,01%	0,02%	0,04%	3,19%	0,18%	3,67
Fernsehen, Analog	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%	0,00%	7,20
Fernsehen, DVB-T	0,20%	0,03%	0,08%	0,22%	2,74%	0,32%	1,58
Mobilfunk GSM	0,59%	0,17%	0,37%	0,75%	5,73%	0,71%	1,20

Grenzwertausschöpfung in Prozent	Mittelwert	Perzentile			Maximum	Standardabweichung	Variationskoeffizient
		25 %	50 %	75 %			
Mobilfunk UMTS	0,11%	0,02%	0,06%	0,14%	1,11%	0,15%	1,36
Mobilfunk GSM+UMTS	0,61%	0,17%	0,39%	0,77%	5,74%	0,72%	1,20
BOS	0,06%	0,01%	0,02%	0,06%	1,91%	0,14%	2,37
Sonstiges Sender	0,07%	0,02%	0,03%	0,08%	2,49%	0,16%	2,21
Maximum Körperstrom / thermisch	1,28%	0,68%	1,00%	1,45%	7,98%	0,98%	0,77

Tab 4: Statistische Kenndaten für die 353 Messpunkte des Untersuchungsgebiets Stuttgart

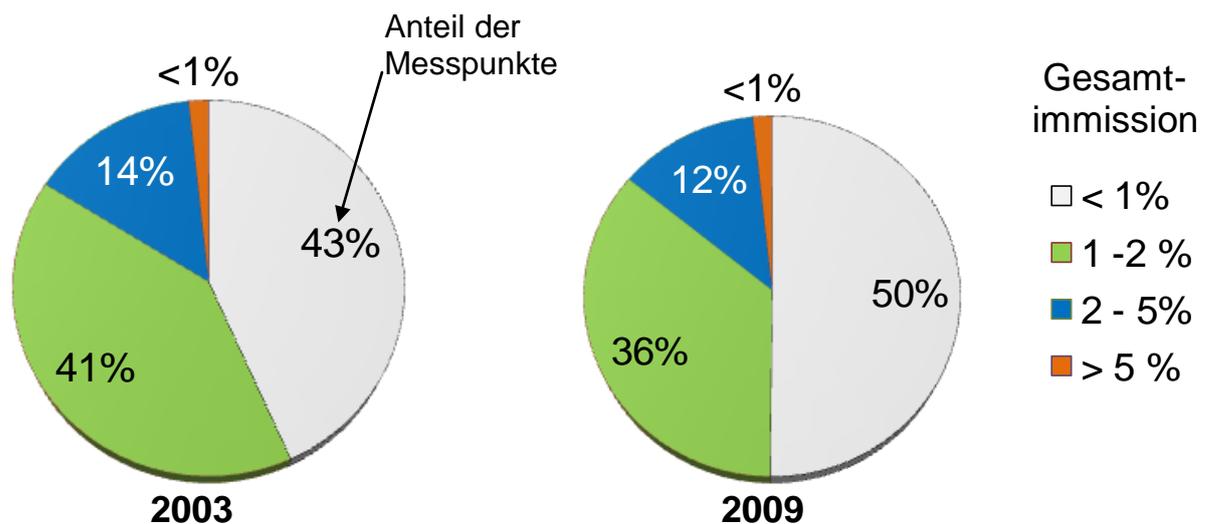


Abb. 26: Prozentualer Anteil der Messpunkte (Zahl im Tortendiagramm) für alle vier Untersuchungsgebiete mit einer Gesamtimmission von x Prozent. Veränderung der Gesamtimmission (Maximalwert Körperstrom / thermische Wirkung) zwischen den Messprogrammen 2003 und 2009

Im Untersuchungsgebiet Stuttgart nahm die Gesamtimmission insgesamt ab. Dies ist vor allem auf den kompletten Wegfall des analogen Fernsehens und die Reduzierung von Sendekanälen im LMK-Bereich (Stuttgart – Hirschlanden) sowie die bisher noch geringere Zunahme im Mobilfunkbereich zurückzuführen.

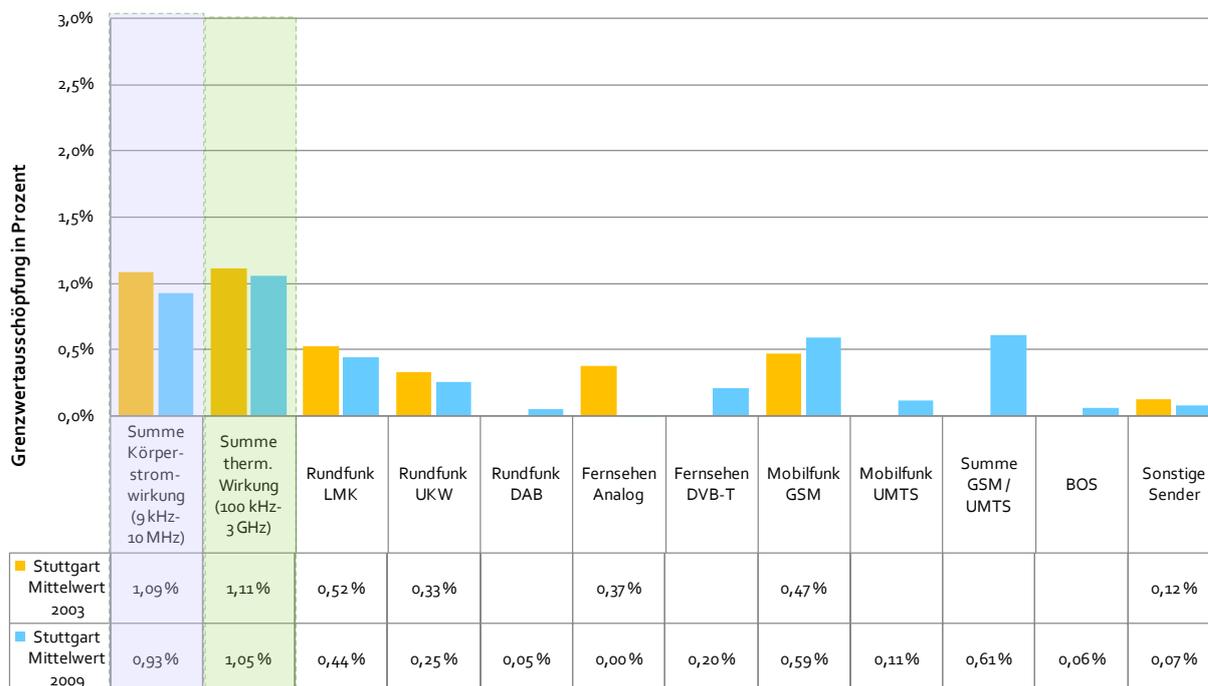


Abb. 27: Vergleich der Klassenmittelwerte des gleichen Messpunkte -Kollektivs zwischen den Messprogrammen 2003 und 2009 für das Untersuchungsgebiet Stuttgart

#### 4.2.1.2 Dreidimensionale Verteilung der Ergebnisse des Funkwellenmessprogramms 2009

Die folgenden dreidimensionalen Diagramme zeigen die räumliche Verteilung der Immissionen für die verschiedenen Klassen. Im Diagramm wird zwischen den Messwerten an den einzelnen 2 km-Rasterpunkten interpoliert. Dies bedeutet, dass Mobilfunkanlagen mit einem lokalen Versorgungsgebiet von ca. 1 km im Umkreis, nur dann in Erscheinung treten, wenn sie sich zufällig in der Nähe eines Messpunkts befinden. Andererseits werden unter Umständen weiter entfernt liegende Anlagen ohne Sichtverbindung nur zu sehr geringem Maße erfasst.

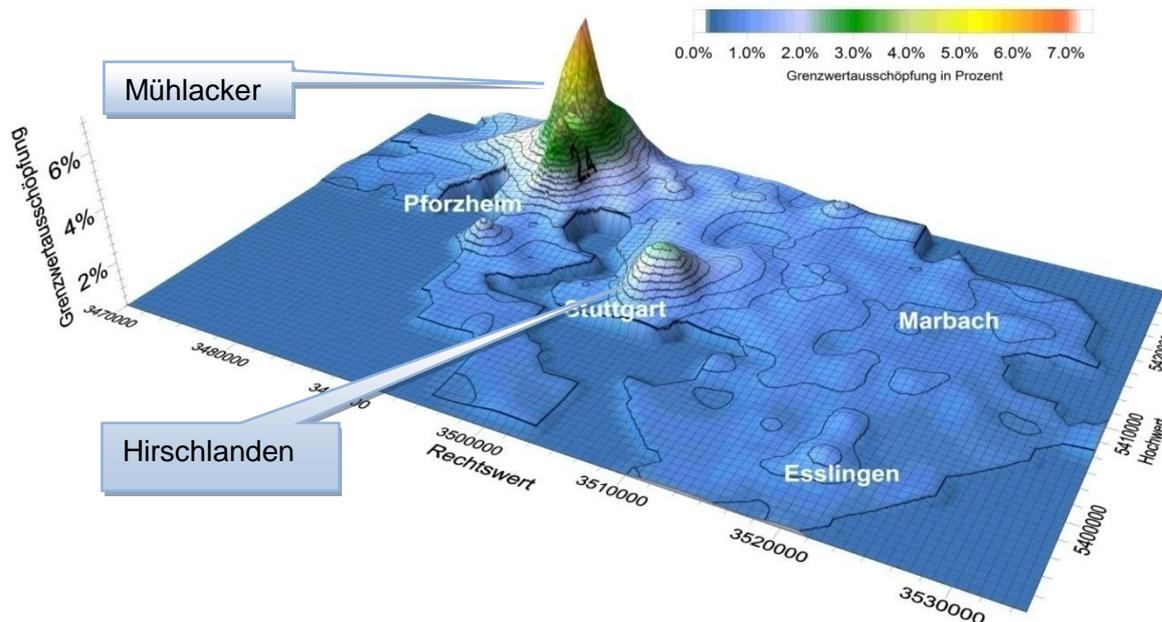


Abb. 28: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Stuttgart für die Summe der Körperstromwirkung

Die Abbildungen können daher nur einen Überblick über die Verteilung der Messwerte geben, erlauben aber aufgrund des groben 2 km Rasters keine Rückschlüsse auf die kleinflächige, lokale Immissionssituation. Das Messprogramm zielt darauf ab, die durchschnittliche Funkwellenbelastung in Baden-Württemberg zu erfassen, nicht die maximalen Immissionen im Umfeld von einzelnen Sendeanlagen.

In Abb. 28 treten die beiden im Untersuchungsgebiet vorhandenen Mittelwellensender (Mühlacker und Stuttgart-Hirschlanden) deutlich in Erscheinung.

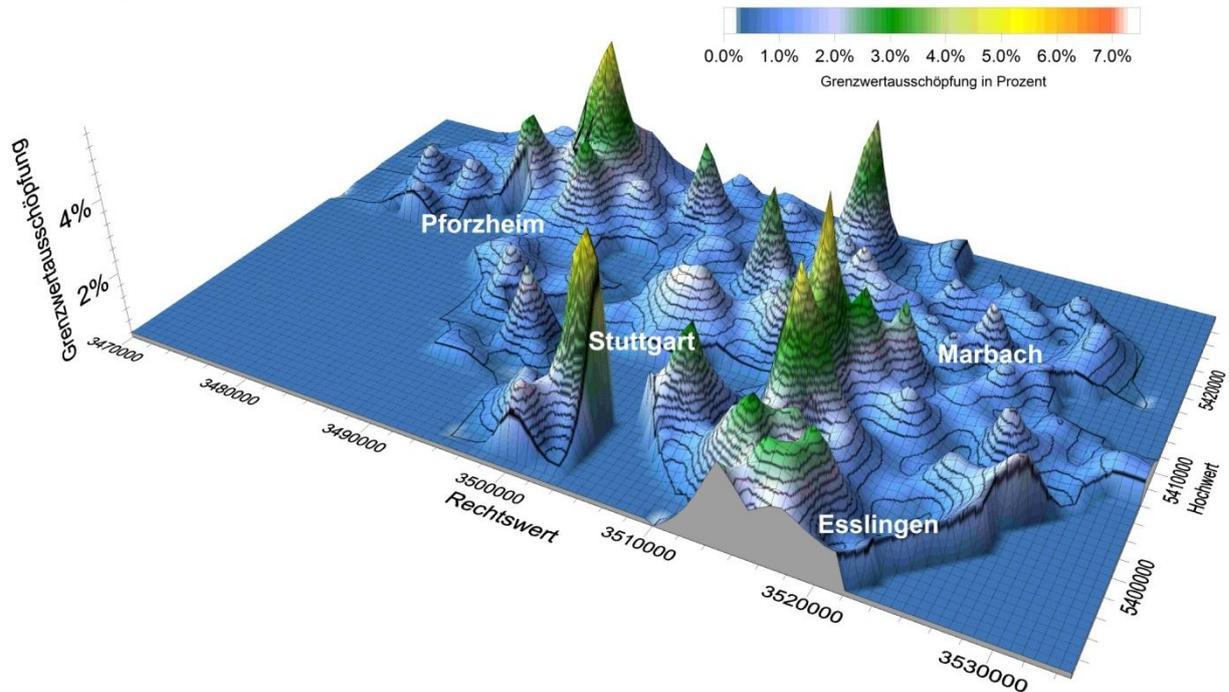


Abb. 29: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Stuttgart für die Summe der thermischen Wirkung

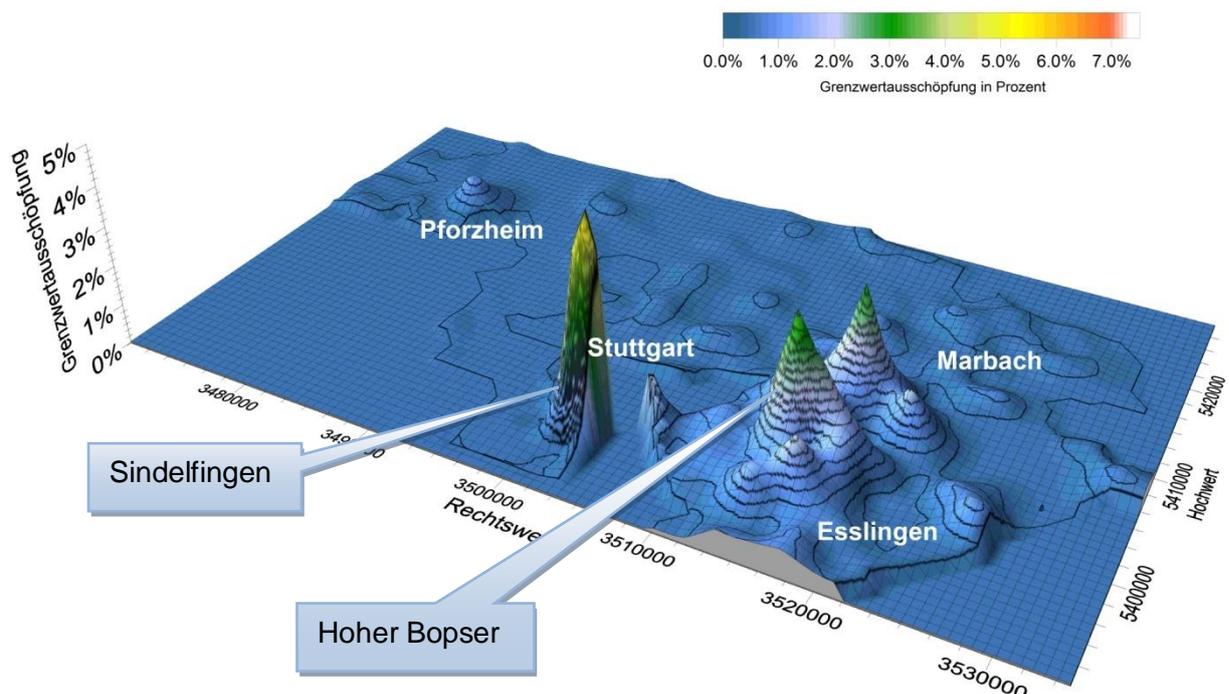


Abb. 30: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Stuttgart für die UKW-Sender

Die höchsten UKW-Immissionen im Untersuchungsgebiet (Abb. 30) treten an einem kleineren Regionalsender im Raum Sindelfingen auf und nicht an den leistungsstarken Anlagen am Hohen Bopser auf. Die Ursachen dafür sind in Abschnitt 4.1.4 näher erläutert und diskutiert.

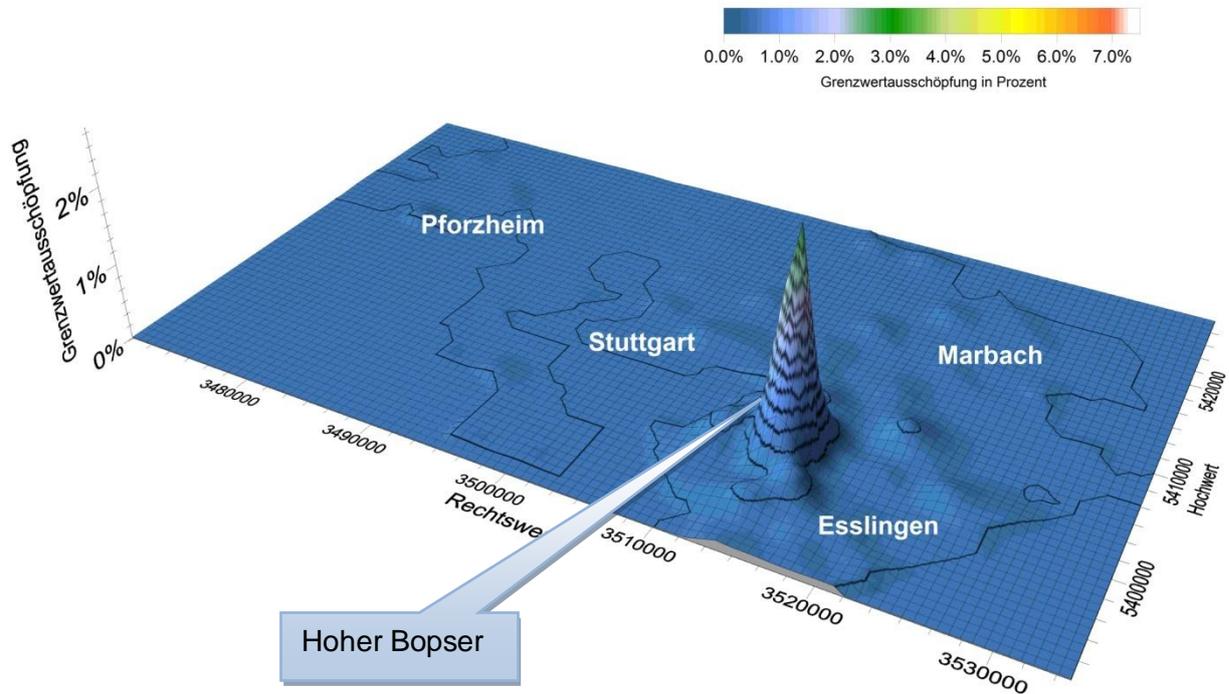


Abb. 31: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Stuttgart für die DAB-Sender

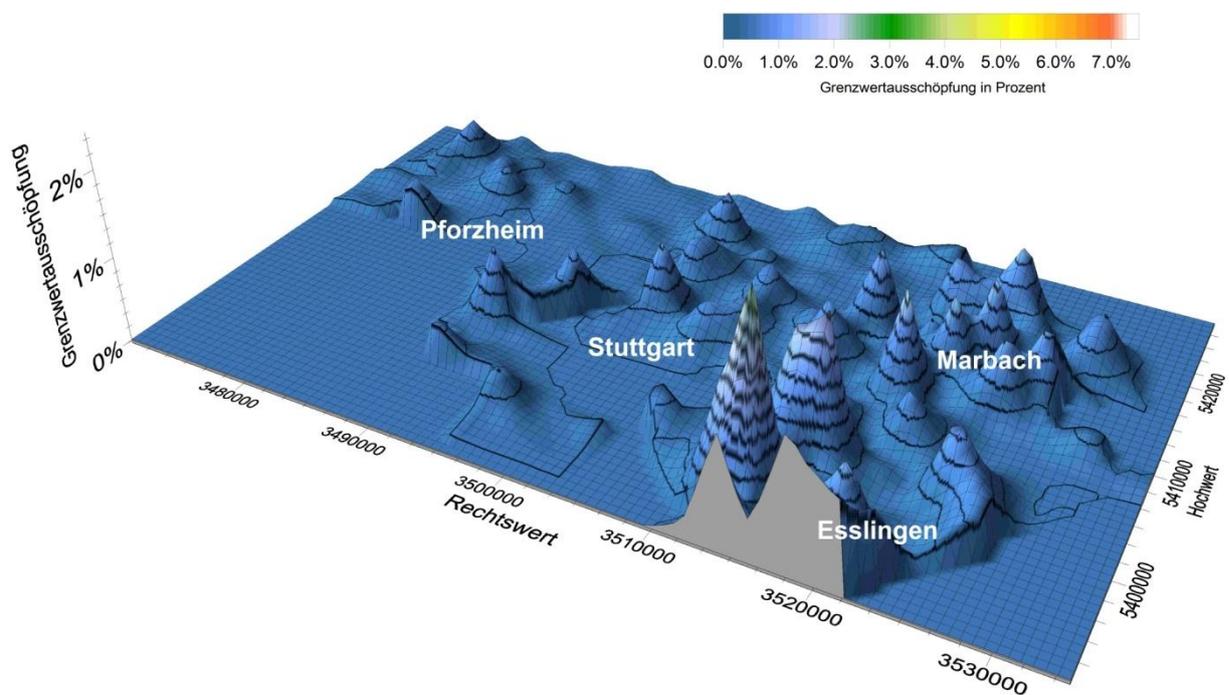


Abb. 32: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Stuttgart für die DVB-T-Sender

Bei einer oberflächigen Betrachtung von Abb. 32 würde man zu dem Schluss kommen, dass das Untersuchungsgebiet Stuttgart von einer Vielzahl von DVB-T-Sendeanlagen überzogen ist. Tatsächlich wird DVB-T jedoch nur von den Sendern Stuttgart-Frauenkopf und Schömberg-Langenbrand südlich von Pforzheim abgestrahlt. Die Vielzahl von Spitzen zeigen nur die Mess-

punkte, von denen ungehinderte Sichtverbindung zum Sendemast bestand. Verbindet man gedanklich die Spitzen resultiert ein ähnlicher exponentieller Abfall der Strahlung mit der Entfernung, wie bei den LMK-Sendern zu beobachten ist. Im Gegensatz zu den LMK-Sendern werden die höherfrequenten Funkquellen von DVB-T jedoch viel schneller durch Hindernisse im Strahlengang gedämpft.

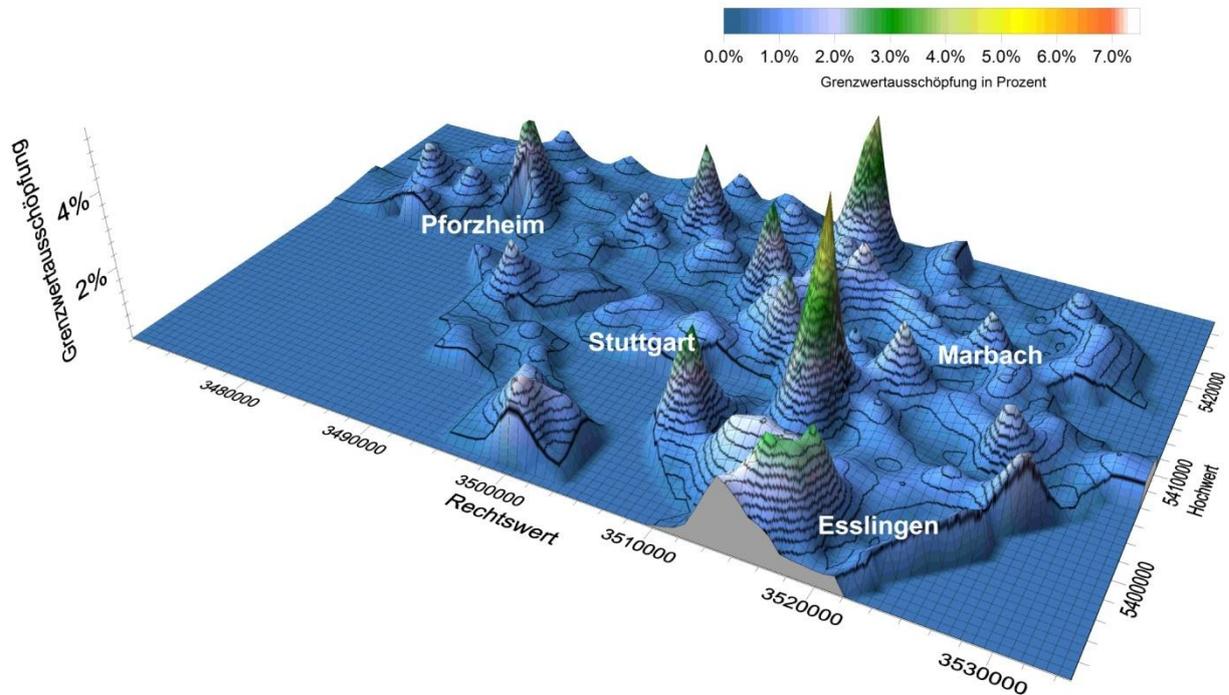


Abb. 33: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Stuttgart für den GSM-Mobilfunk

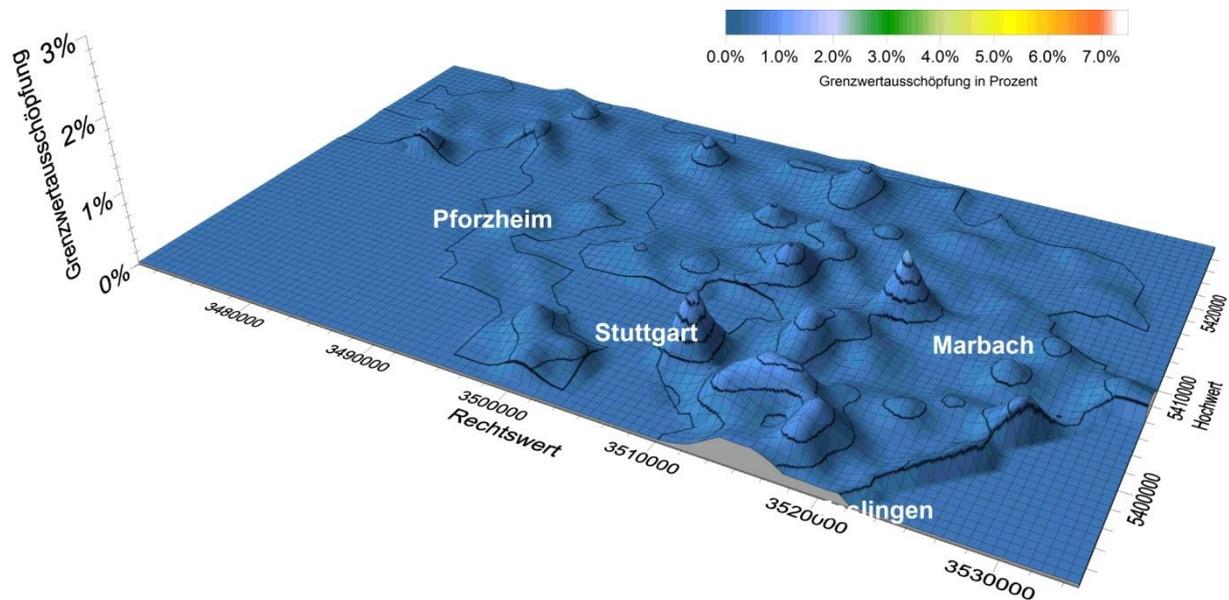


Abb. 34: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Stuttgart für den UMTS-Mobilfunk

Aus den Abb. 33 und Abb. 34 lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass die durchschnittlichen UMTS-Immissionen deutlich niedriger sind als die der GSM-Technik. Eine Ursache dafür ist, dass bei GSM immer ein Sendekanal, der sogenannte BCCH-Kanal mit maximaler Sendeleistung abgestrahlt wird, während UMTS systembedingt alle Sendekanäle bedarfsabhängig auf minimale Abstrahlung regelt.

Abb. 35 zeigt, dass die Immissionen durch BOS-Sendeanlagen, wie dem digitalen Polizeifunk bis auf wenige Ausnahmen auf niedrigem Niveau liegen.

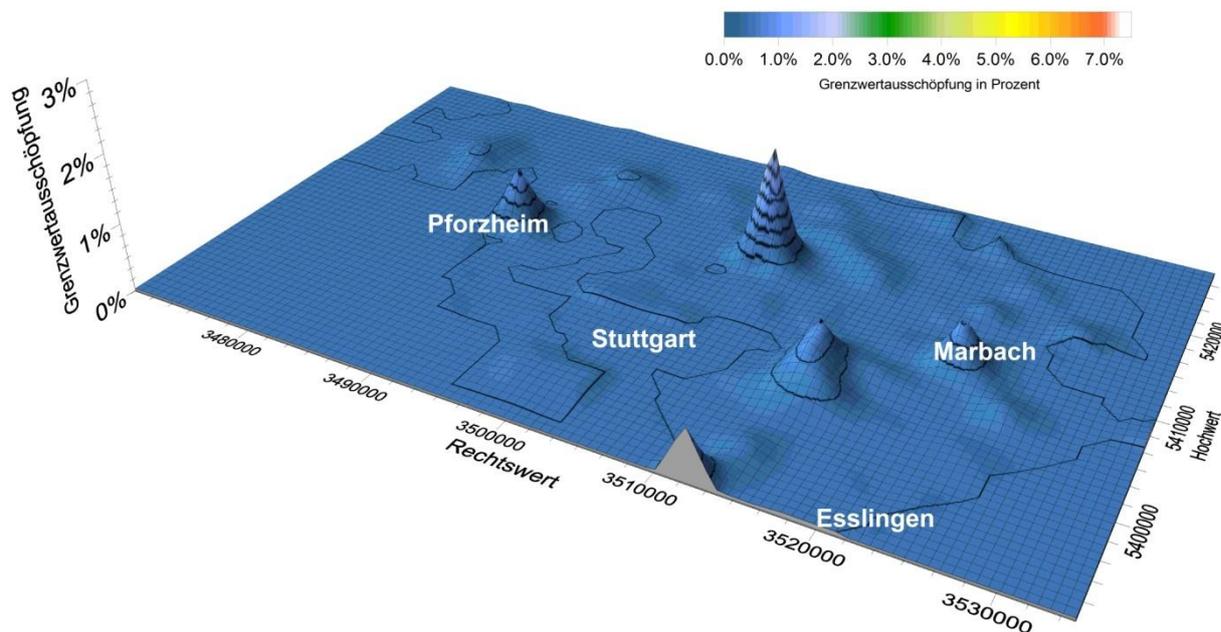


Abb. 35: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Stuttgart für die BOS-Sender

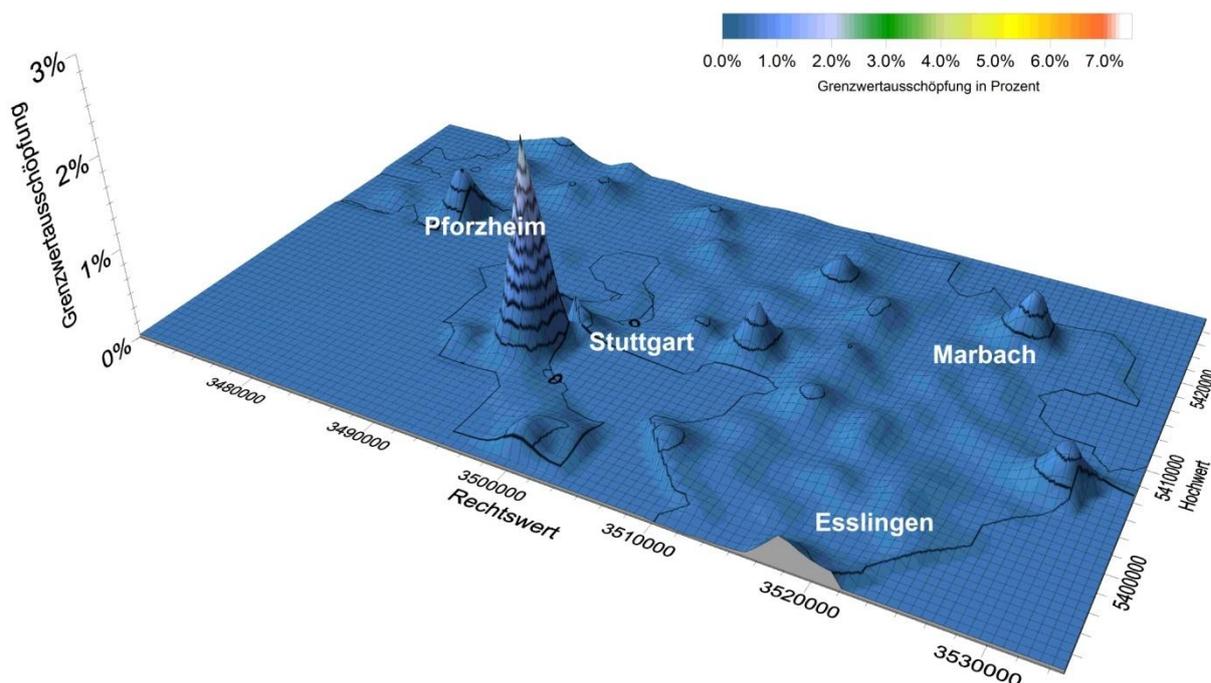


Abb. 36: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Stuttgart für die Sonstigen Sender

Bei der Klasse der „Sonstigen Sender“ sticht vor allem Messpunkt 2176 in der Gemeinde Renningen hervor. Ursache für die überdurchschnittlichen Werte war die Lage des Messpunkts am Bahngelände direkt gegenüber eines Funkmasts der Deutschen Bahn, der GSM-Rail abstrahlt. Die sonstigen Immissionen werden hingegen überwiegend durch Handy-Uplinks, schnurlose Telefone, WLAN sowie Betriebsfunkanlagen verursacht.

### 4.2.1.3 Dreidimensionale Verteilung der Ergebnisse des Funkwellenmessprogramms 2009 im Vergleich zu 2003

Bildet man die Differenz zwischen den durchschnittlichen Immissionen an den einzelnen Messpunkten zwischen den Jahren 2009 und 2003, so sind folgenden Schlussfolgerungen zu ziehen:

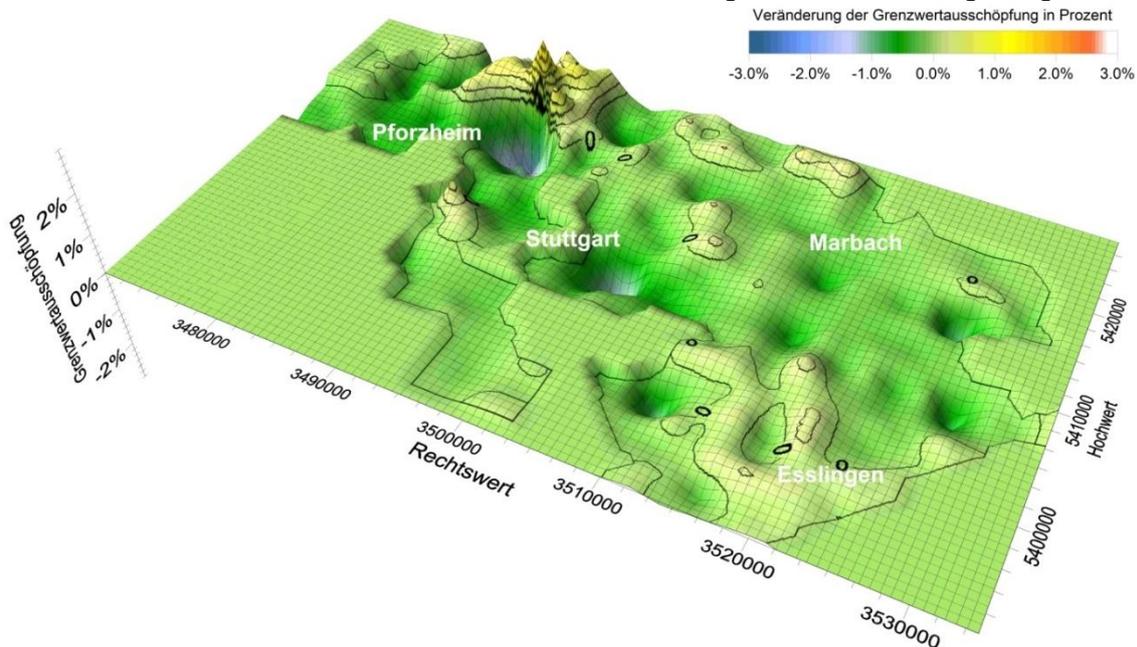


Abb. 37: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Stuttgart im Vergleich zum Messprogramm 2003 für die Summe der Körperstromwirkung (LMK-Sender)

Für die Gruppe der LMK-Sender haben die Immissionen in der Fläche fast überall abgenommen, bis auf den nördlichen Bereich des Senders Mühlacker, wo eine leichte Zunahme festzustellen war. Die Ursache kann in geänderten Abstrahlrichtungen oder Zeiten des Senders liegen.

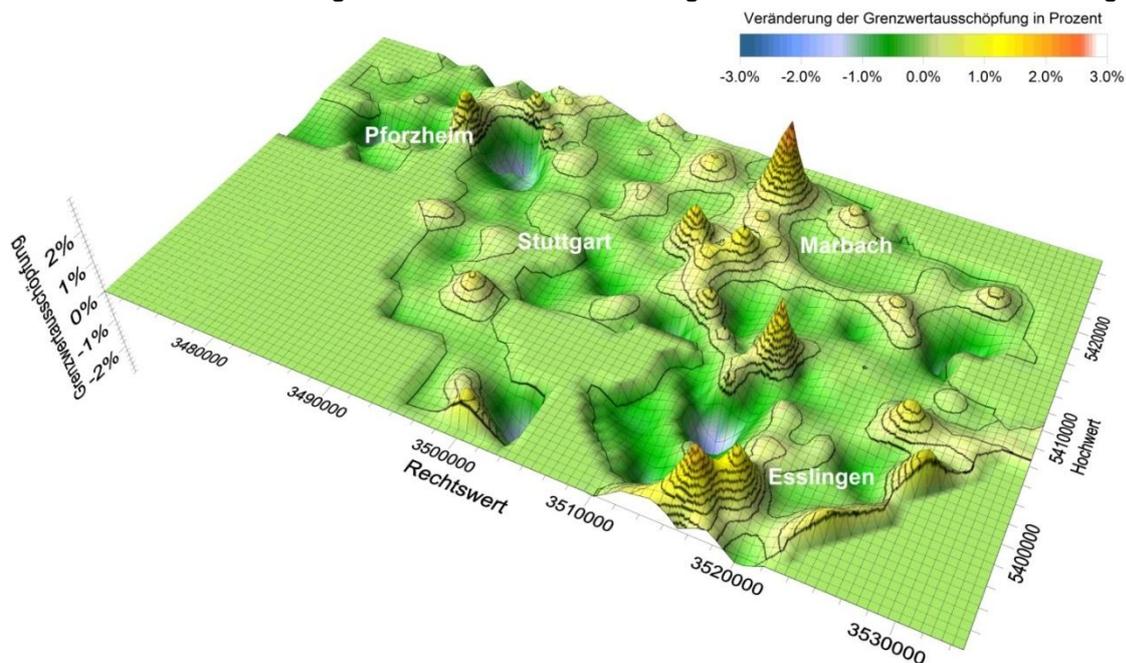


Abb. 38: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Stuttgart im Vergleich zum Messprogramm 2003 für die Summe der thermischen Wirkung

Im Bereich der thermischen Wirkung ist das Bild indifferent. Während sich in der Klasse der Fernsehsender (Abb. 39) durchgängig eine Abnahme, vor allem im Umfeld des Sendeturms Stuttgart-Frauenkopf ergeben hat, ist im gesamten Untersuchungsgebiet eine Zunahme im Bereich des Mobilfunks (Abb. 40) zu verzeichnen.

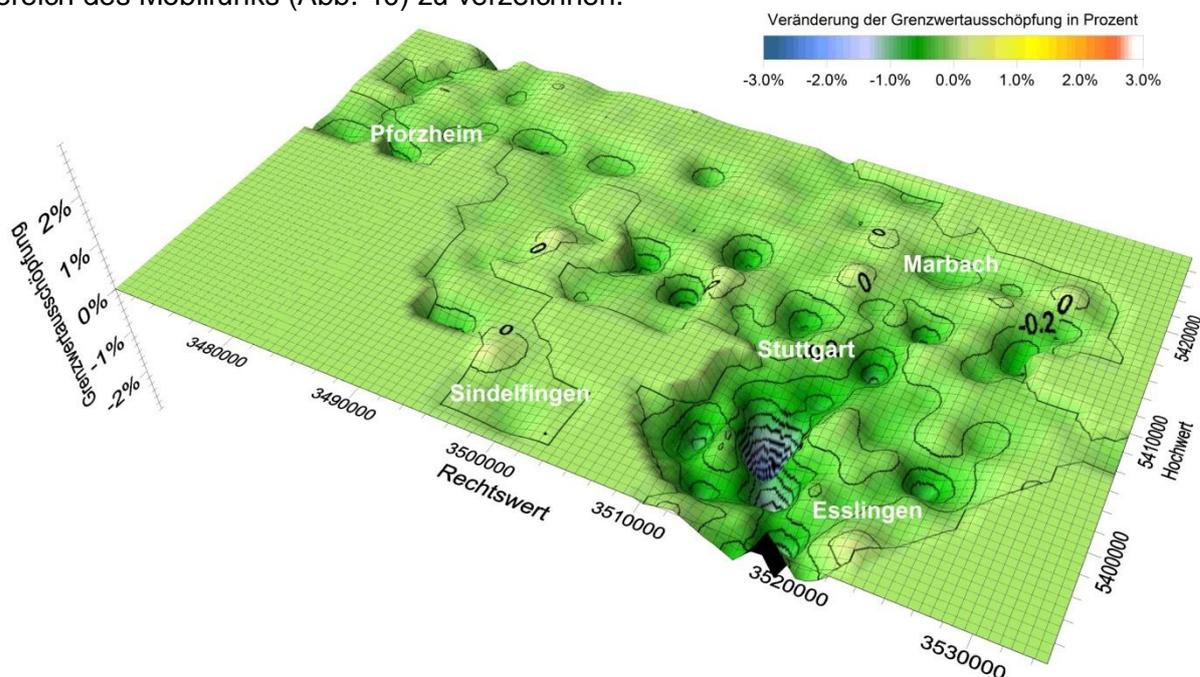


Abb. 39: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Stuttgart im Vergleich zum Messprogramm 2003 für die Fernsehsender (Vergleich analoges Fernsehen zu DVB-T)

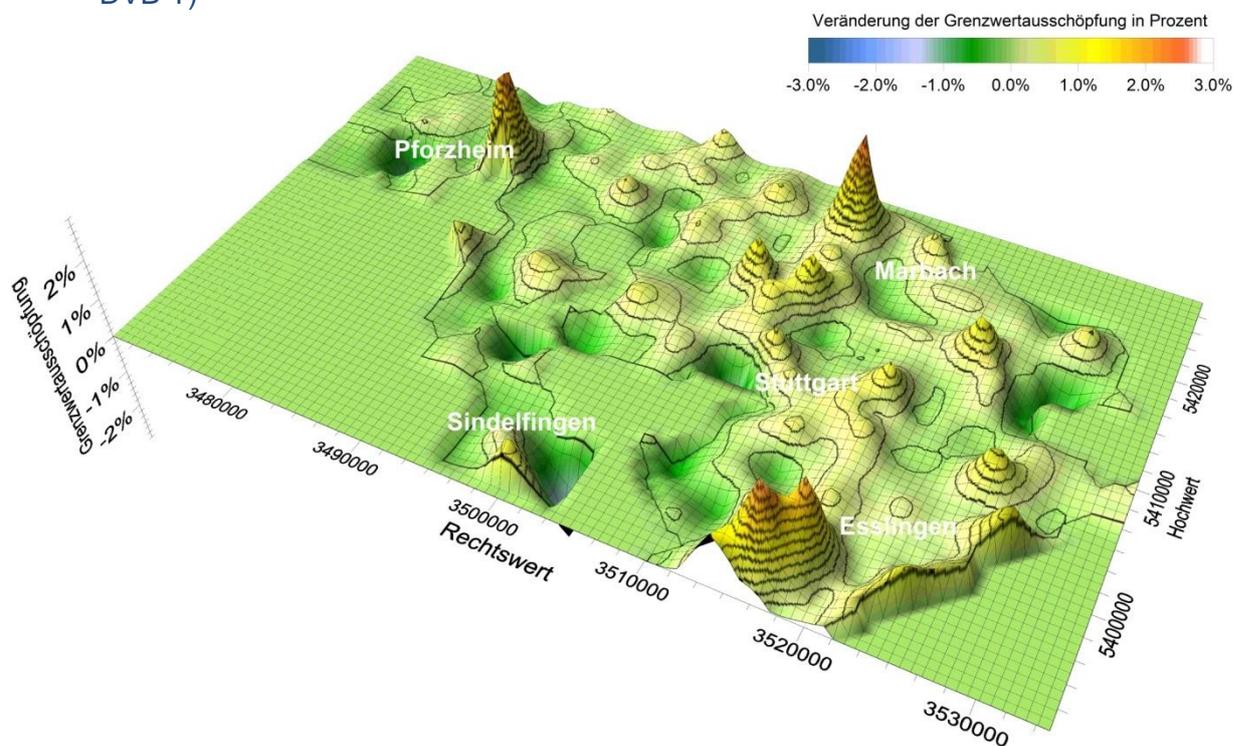


Abb. 40: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Stuttgart im Vergleich zum Messprogramm 2003 für den GSM Mobilfunk

Bei der Summenimmission der thermischen Wirkung (Abb. 38) ergeben sich demnach regionalspezifisch Zu- bzw. Abnahmen abhängig vom Verursacher.

#### 4.2.2 Untersuchungsgebiet Heidelberg / Mannheim

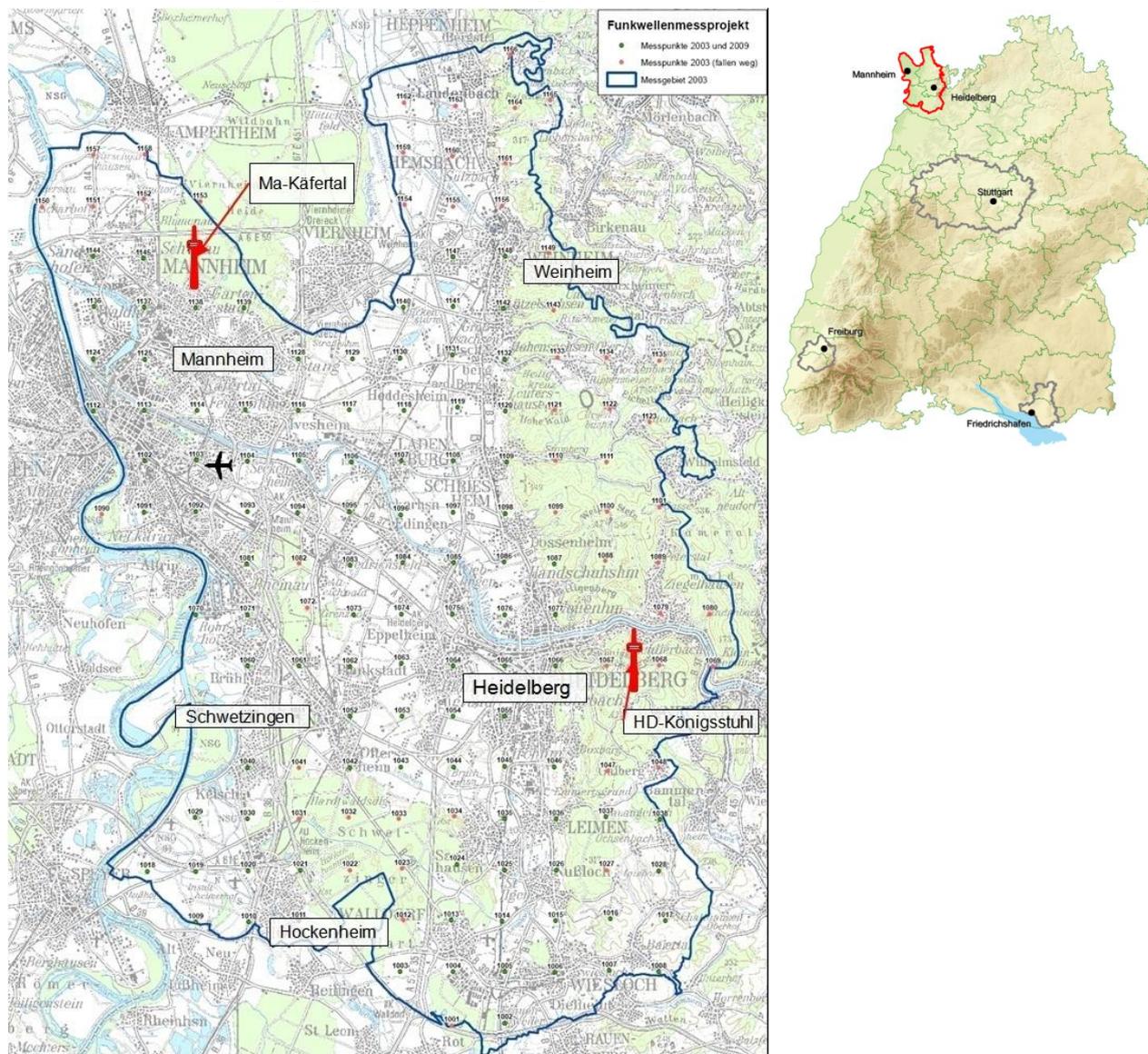


Abb. 41: Untersuchungsgebiet Heidelberg / Mannheim mit Lage leistungsstarker Funkanlagen

Im Untersuchungsgebiet Heidelberg / Mannheim sind folgende leistungsstarke Sendeanlagen vorhanden:

- Fernsehturm Heidelberg - Königsstuhl (UKW, DVB-T, ca. 550 kW Sendeleistung)
- Fernsehturm Mannheim-Käfertal (DVB-T, ca. 150 kW Sendeleistung)

In 40 km Luftlinie östlich von Heidelberg befindet sich weiterhin der Langwellensender Donebach mit 500 kW Sendeleistung. Der SWR-Mittelwellensender Heidelberg-Dossenheim (711 kHz) mit

einer Sendeleistung von 5 kW wurde mittlerweile eingestellt. Verblieben ist der AFN-Mittelwellensender Heidelberg-Wieblingen mit einer Sendeleistung von 1 kW bei 1,143 MHz.

#### 4.2.2.1 Statistische Kenndaten

Die statistische Auswertung der Messdaten nur für das Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg ergab die in Tab 5 zusammengestellten Werte.

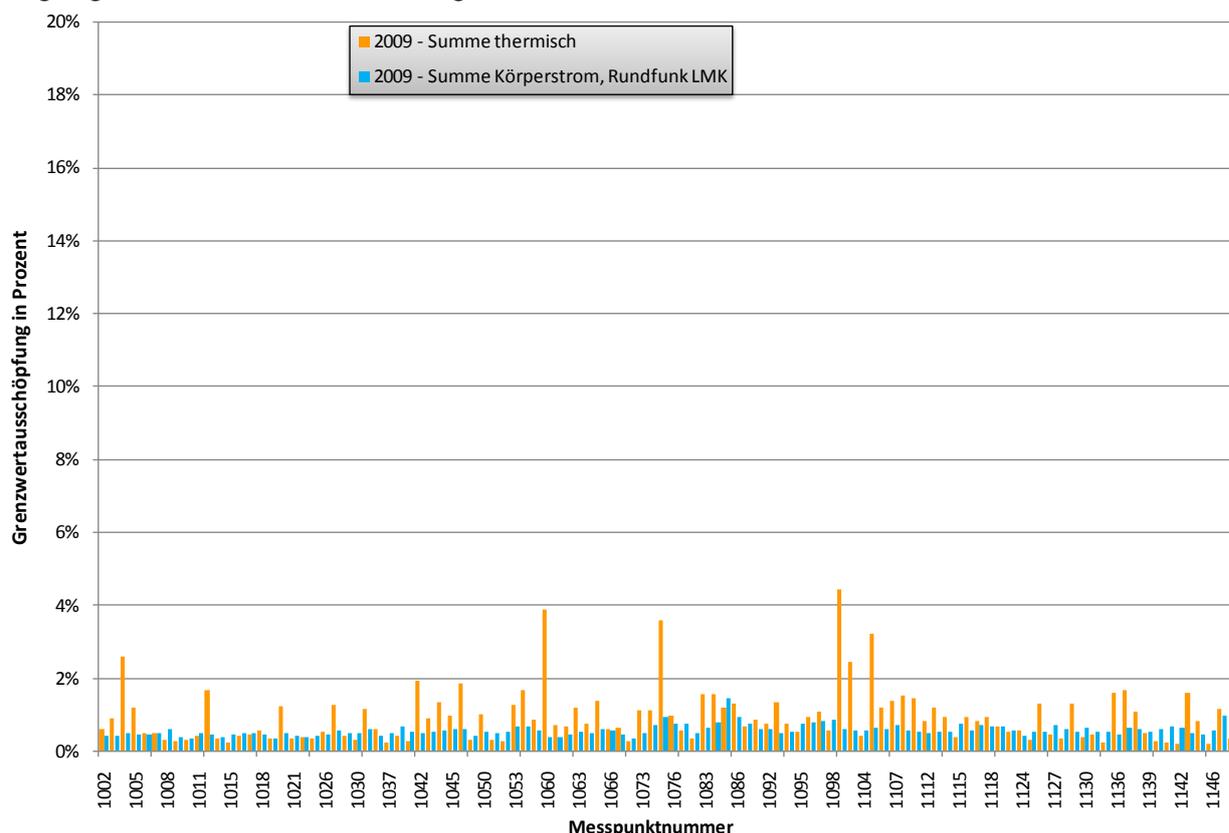


Abb. 42: Übersicht für das Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg hinsichtlich der Ausschöpfung des Grenzwertes (Summenimmission für Körperstrom und th. Wirkung)

Grenzwertausschöpfung in Prozent	Mittelwert	Perzentile			Maximum	Standardabweichung	Variationskoeffizient
		25 %	50 %	75 %			
Summe Körperstrom, Rundfunk LMK	0,56%	0,47%	0,52%	0,61%	1,44%	0,15%	0,27
Summe thermische Wirkung	0,92%	0,39%	0,73%	1,19%	4,40%	0,76%	0,82
Rundfunk LMK (Quadratisch)	0,16%	0,11%	0,13%	0,16%	1,12%	0,12%	0,74
Rundfunk UKW	0,30%	0,12%	0,17%	0,42%	1,14%	0,25%	0,84
Rundfunk DAB	0,03%	0,01%	0,02%	0,03%	0,11%	0,02%	0,96

Grenzwertausschöpfung in Prozent	Mittelwert	Perzentile			Maximum	Standardabweichung	Variationskoeffizient
		25 %	50 %	75 %			
Fernsehen, Analog	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-
Fernsehen, DVB-T	0,21%	0,06%	0,11%	0,30%	1,03%	0,21%	1,02
Mobilfunk GSM	0,67%	0,18%	0,37%	0,99%	4,24%	0,78%	1,15
Mobilfunk UMTS	0,14%	0,03%	0,07%	0,16%	1,01%	0,18%	1,31
Mobilfunk GSM+UMTS	0,70%	0,20%	0,39%	1,03%	4,35%	0,79%	1,14
BOS	0,06%	0,01%	0,03%	0,06%	0,90%	0,10%	1,81
Sonstiges Sender	0,07%	0,02%	0,03%	0,06%	1,33%	0,14%	2,06
Maximum Körperstrom / thermisch	0,99%	0,53%	0,75%	1,24%	4,40%	0,71%	0,71

Tab 5: Statistische Kenndaten für die 108 Messpunkte des Untersuchungsgebiets Mannheim / Heidelberg

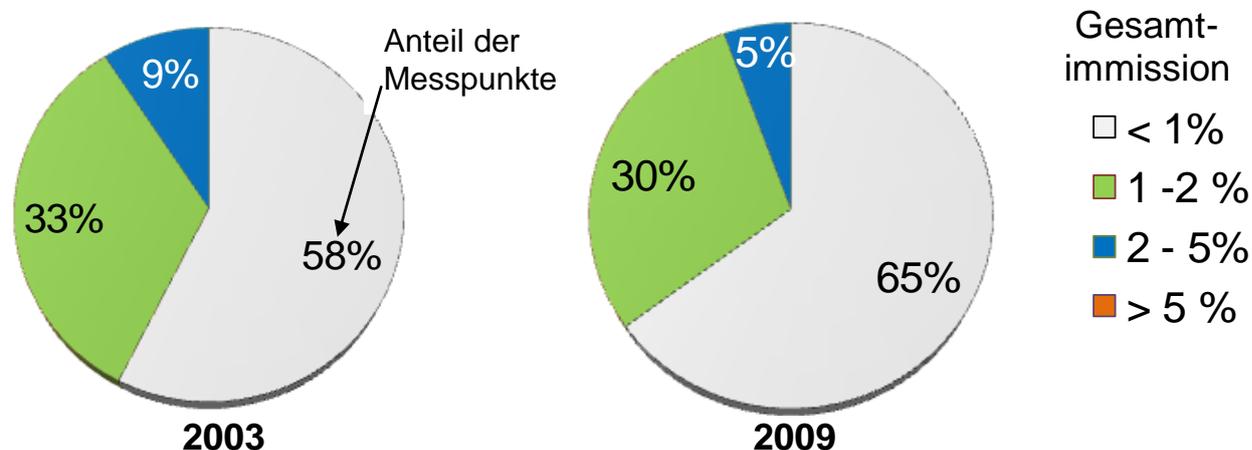


Abb. 43: Prozentualer Anteil der Messpunkte (Zahl im Tortendiagramm) für das Untersuchungsgebiet Mannheim/Heidelberg mit einer Gesamtimmission von x Prozent. Veränderung der Gesamtimmission (Maximalwert Körperstrom / thermische Wirkung) zwischen den Messprogrammen 2003 und 2009

Im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg nahm die Gesamtimmission insgesamt ab. Dies ist vor allem auf den kompletten Wegfall des analogen Fernsehens sowie den Abbau des Mittelwellensenders Heidelberg-Dossenheim sowie die bisher noch geringere Zunahme im Mobilfunkbereich zurückzuführen.



Abb. 44: Vergleich der Klassenmittelwerte des gleichen Messpunkte - Kollektivs zwischen den Messprogrammen 2003 und 2009 für das Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg

#### 4.2.2.2 Dreidimensionale Verteilung der Ergebnisse des Funkwellenmessprogramms 2009

Die folgenden dreidimensionalen Diagramme zeigen die räumliche Verteilung der Immissionen für die verschiedenen Klassen. Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass die Diagramme keine Aussagen über lokale Immissionssituationen und Maximalwerte liefern können, wie bereits im Abschnitt 4.2.1.2 (Untersuchungsgebiet Stuttgart) erläutert.

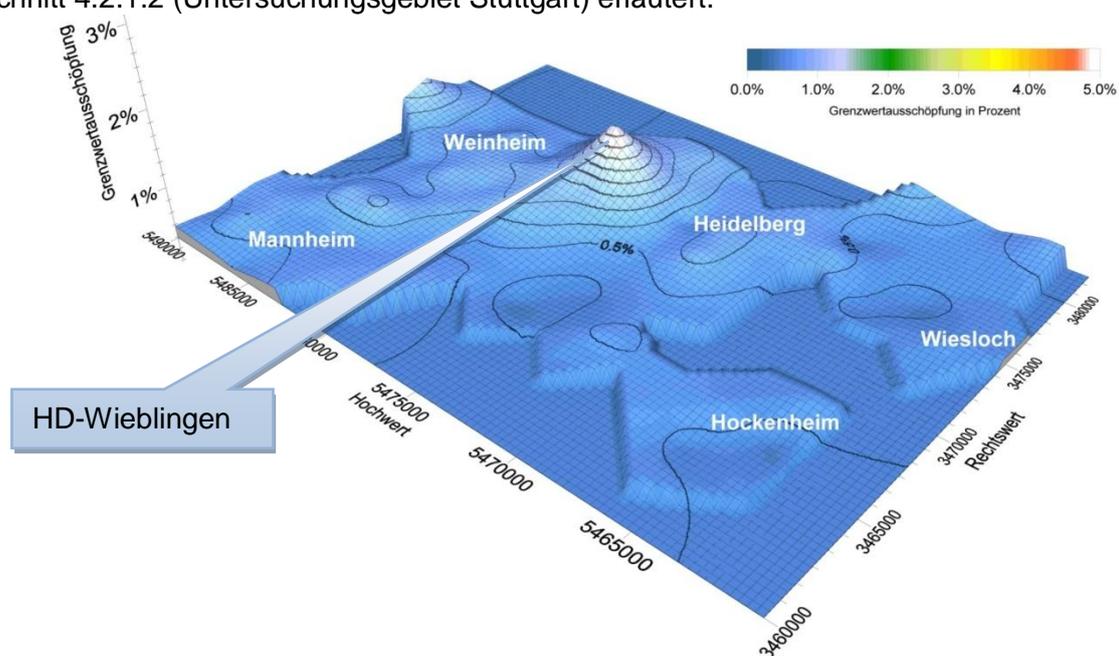


Abb. 45: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg für die Summe der Körperstromwirkung

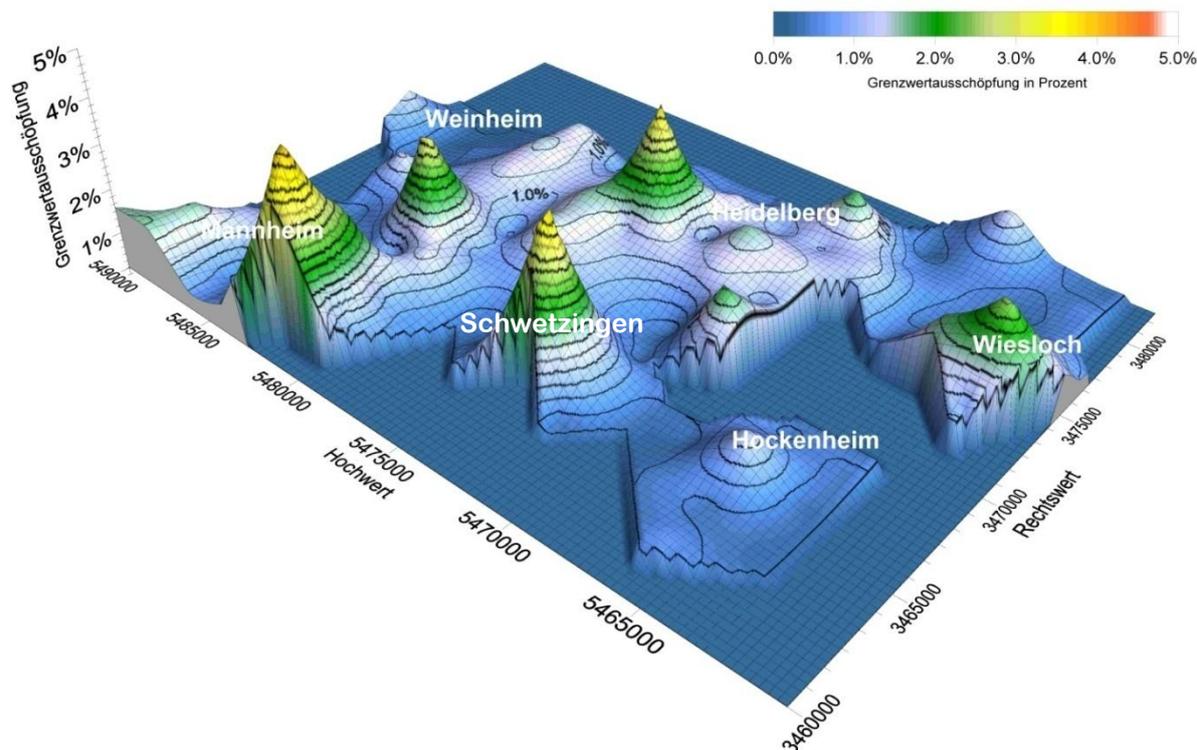


Abb. 46: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg für die Summe der thermischen Wirkung

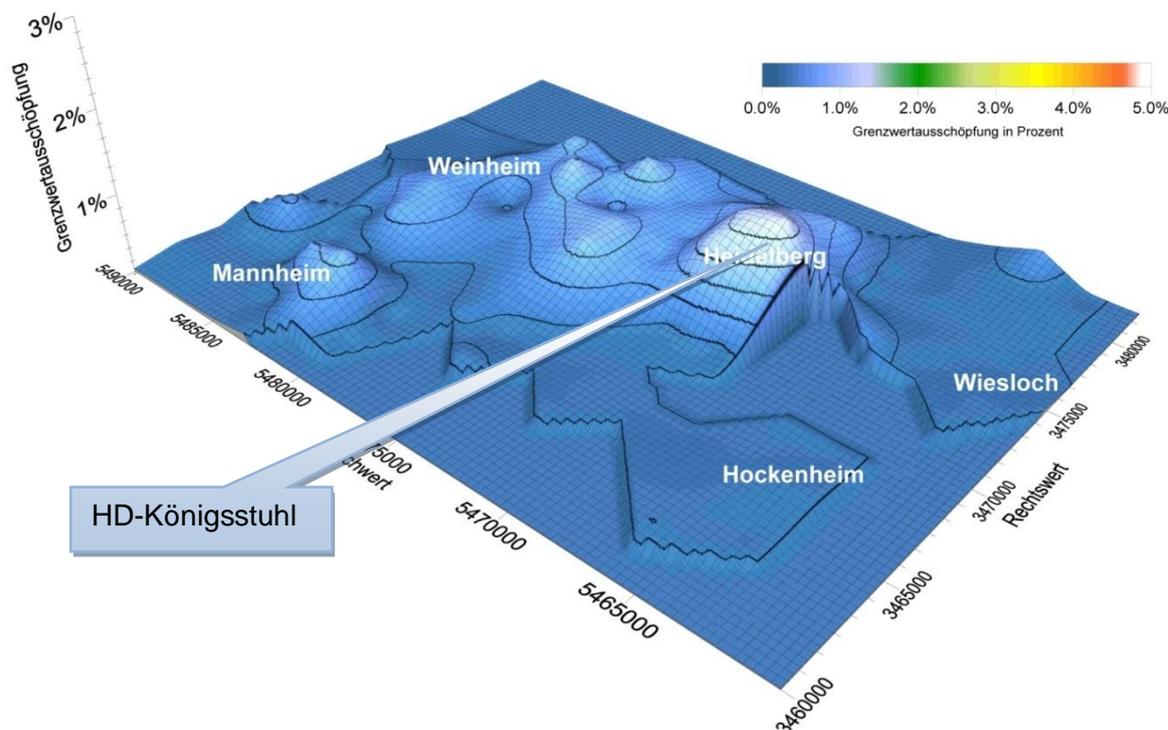


Abb. 47: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg für die UKW-Sender

Der einzige überregionale UKW-Sender im Untersuchungsgebiet (Abb. 47) ist der SWR-Sender Heidelberg-Königsstuhl, neben kleineren lokalen Anlagen in der Nähe von Weinheim und Mannheim.

DAB (Abb. 48) und DVB-T (Abb. 49) wird im Untersuchungsgebiet derzeit nur vom Standort Heidelberg-Königsstuhl abgestrahlt. Die gemessenen Immissionswerte sind jedoch insbesondere für DAB sehr gering. Die höchsten Immissionswerte treten bei DVB-T erst im Abstand von ca. 10 km vom Senderstandort auf.

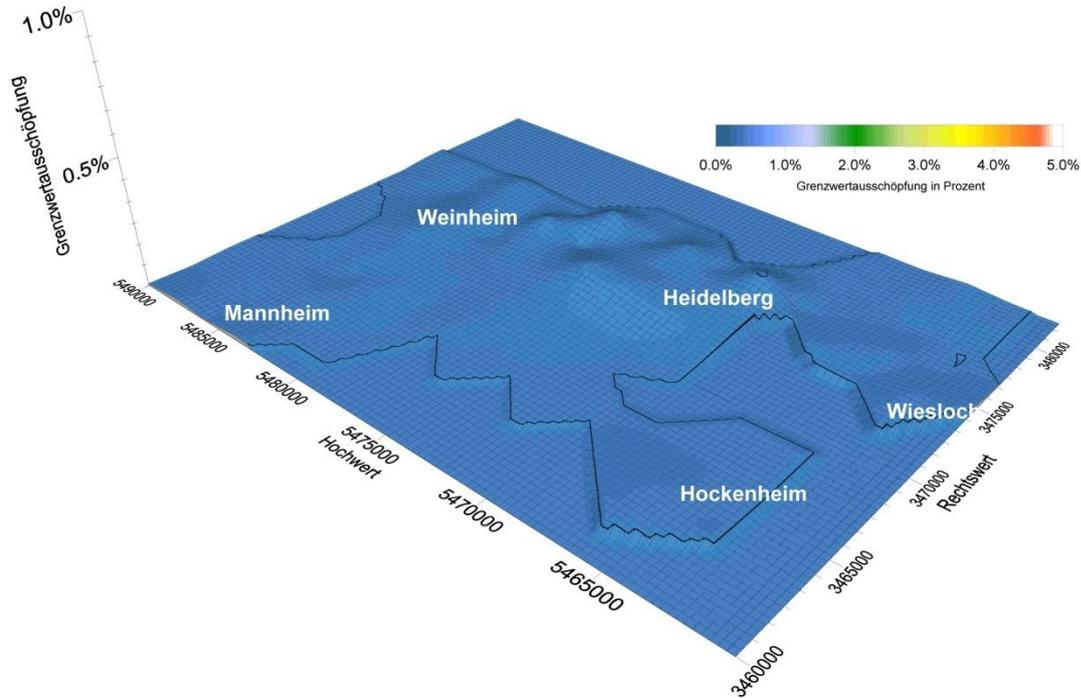


Abb. 48: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg für die DAB-Sender

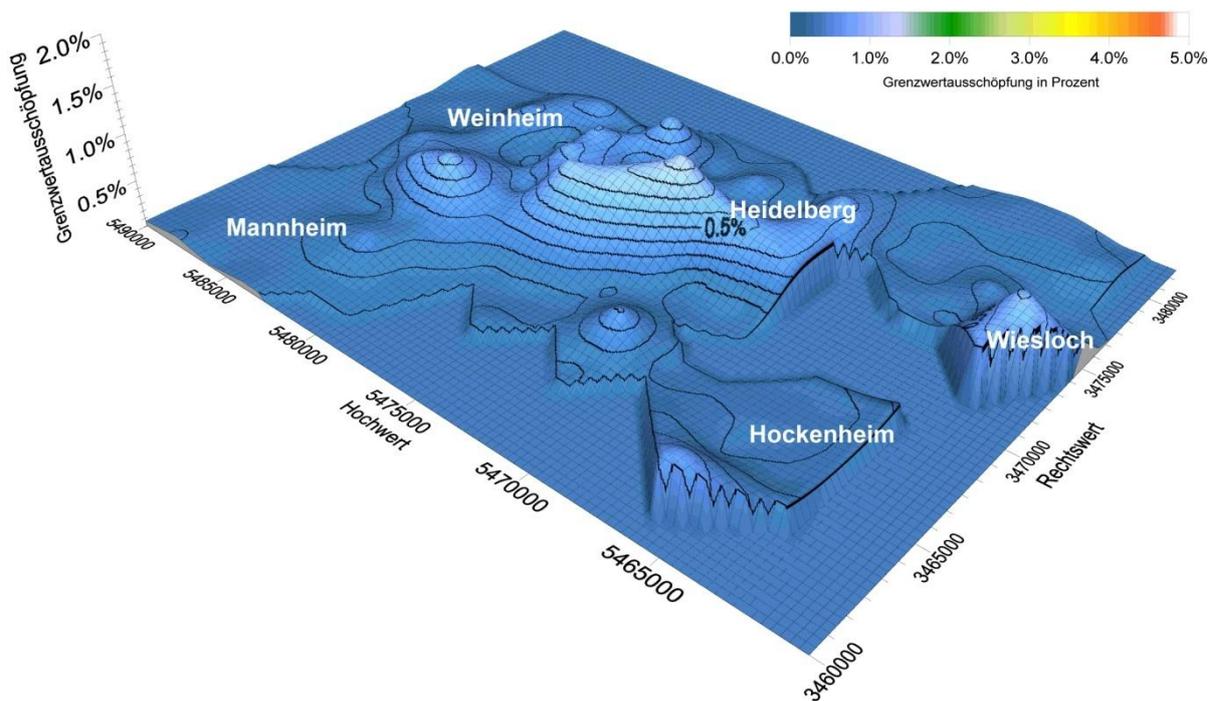


Abb. 49: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg für die DVB-T-Sender

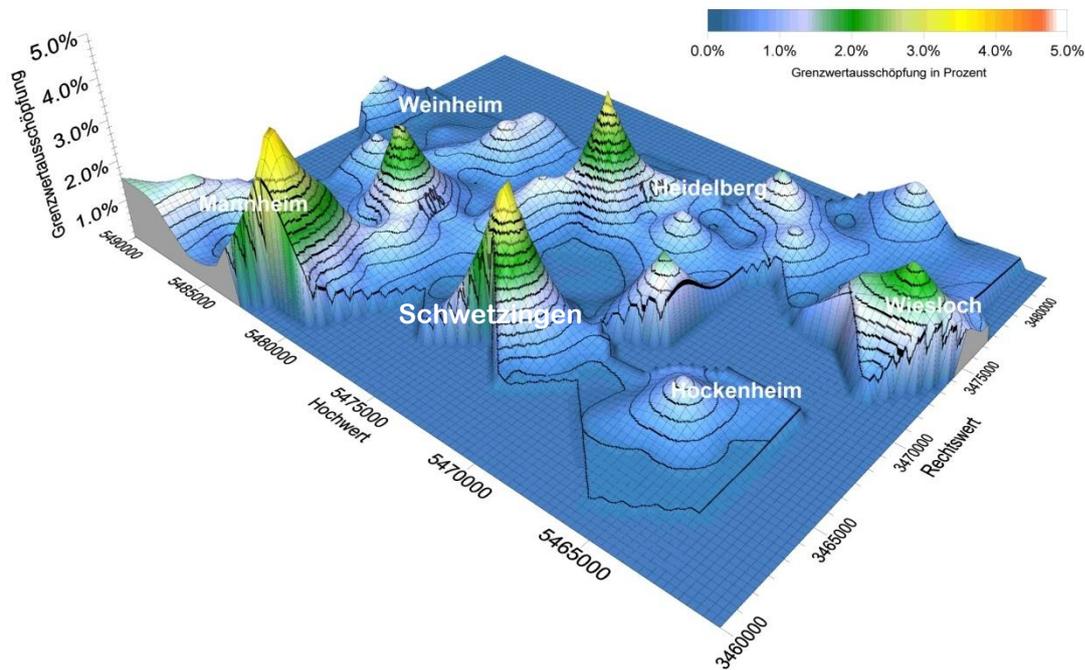


Abb. 50: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg für den GSM-Mobilfunk

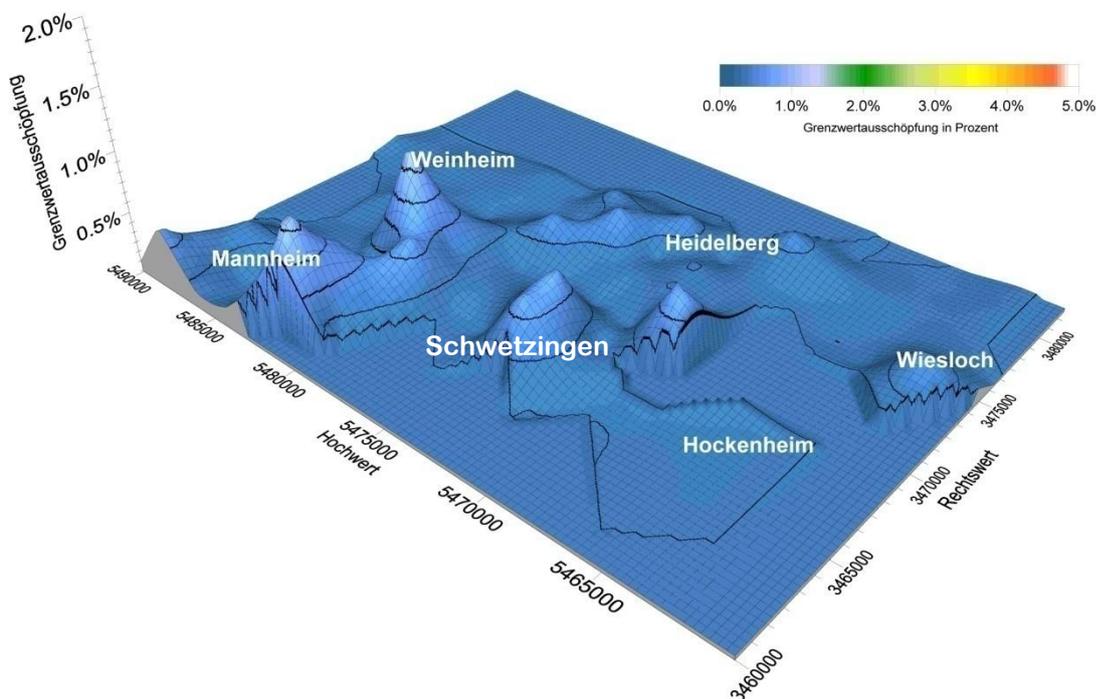


Abb. 51: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg für den UMTS-Mobilfunk

Die durchschnittlichen UMTS-Immissionen (Abb. 50) sind wiederum deutlich niedriger als die von GSM (Abb. 51). Die Höhe der Mobilfunkimmission korreliert deutlich mit der Bevölkerungsdichte im Untersuchungsgebiet.

Abb. 52 zeigt, dass bisher nur im Raum Mannheim derzeit BOS-Sendeanlagen, wie der digitale Polizeifunk, im Betrieb sind. Im restlichen Untersuchungsgebiet sind Immissionen sehr gering.

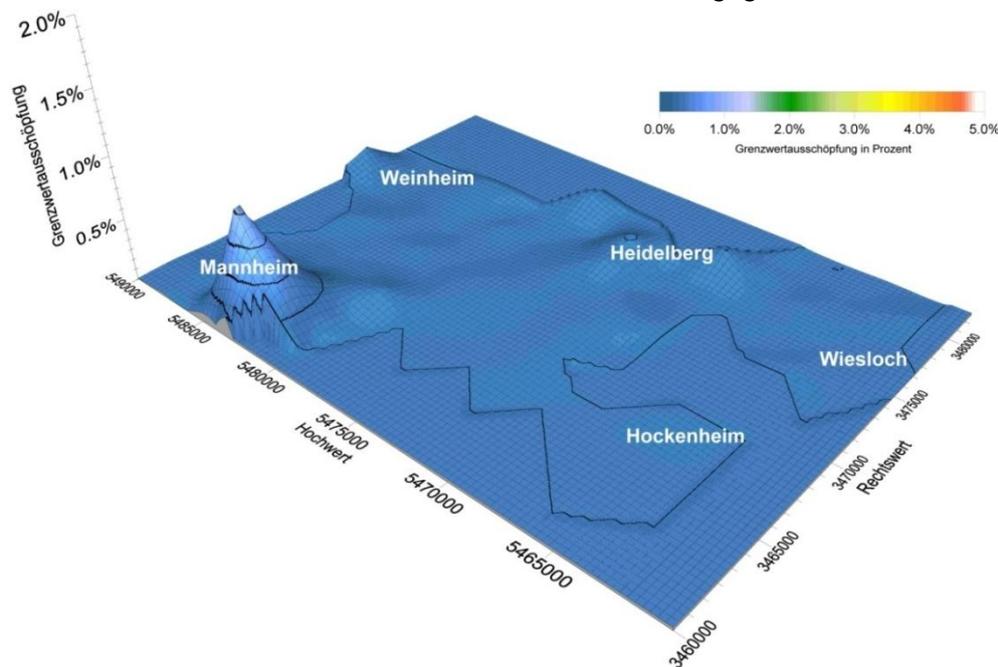


Abb. 52: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg für die BOS-Sender

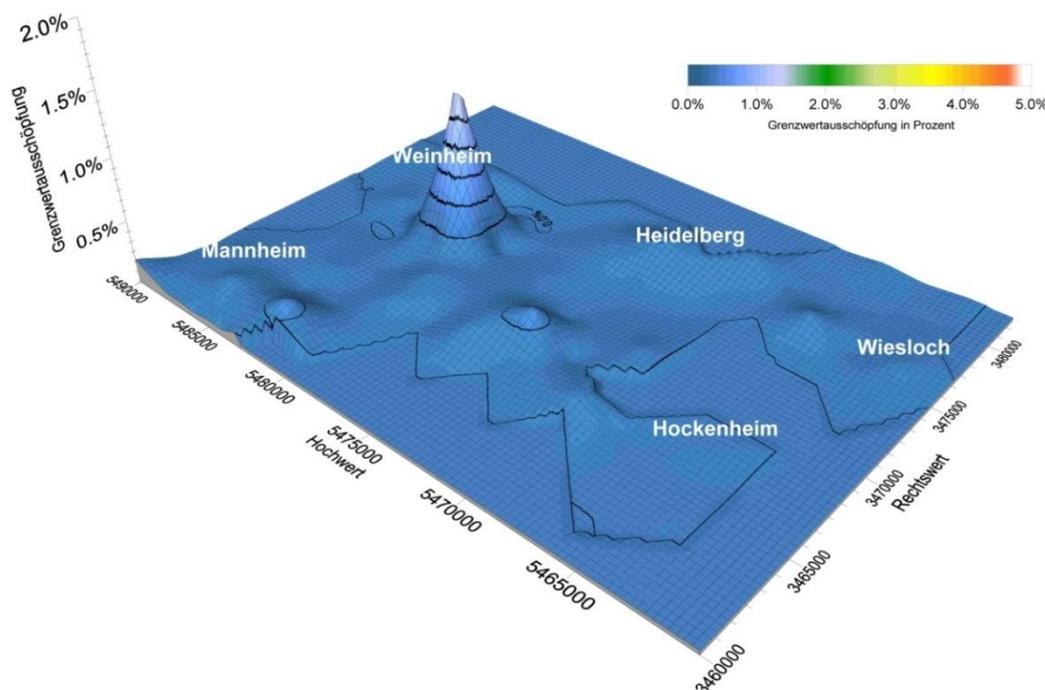


Abb. 53: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg für die Sonstigen Sender

Bei der Klasse der „Sonstigen Sender“ (Abb. 53) sticht vor allem Messpunkt 1107 im Ortsgebiet von Ladenburg hervor. Ursache für die überdurchschnittlichen Werte ist ein starkes DECT-Signal, das vermutlich durch ein Telefonat mit einem schnurlosen Telefon entstand, das im benachbarten Gebäude zum Zeitpunkt der Messung geführt wurde.

### 4.2.2.3 Dreidimensionale Verteilung der Ergebnisse des Funkwellenmessprogramms 2009 im Vergleich zu 2003

Bildet man die Differenz zwischen den durchschnittlichen Immissionen an den einzelnen Messpunkten zwischen den Jahren 2009 und 2003, so sind folgenden Schlussfolgerungen zu ziehen:

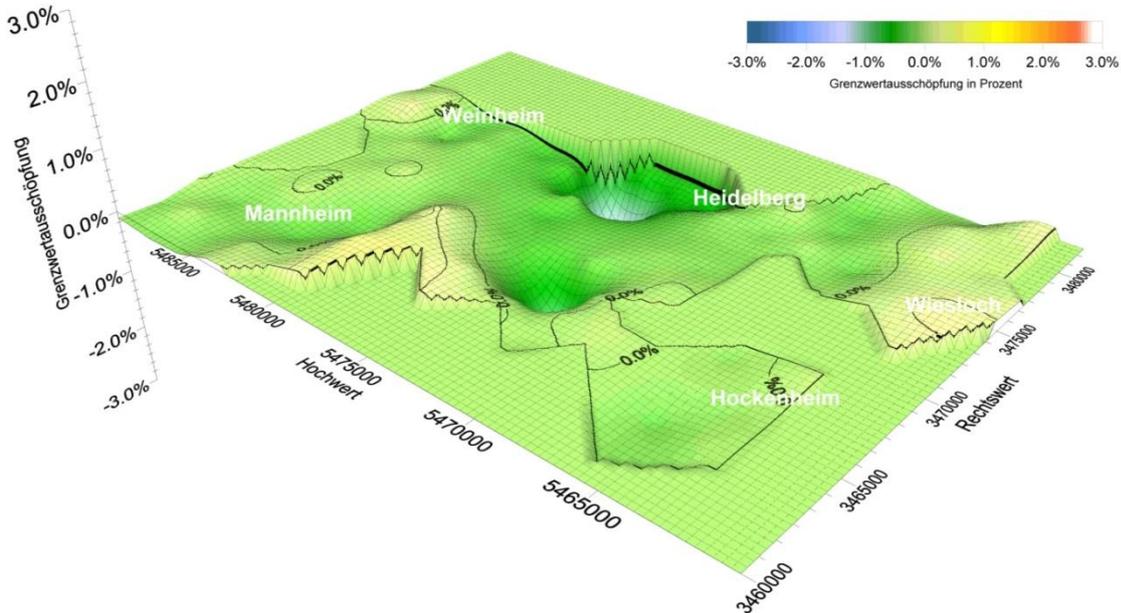


Abb. 54: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg im Vergleich zum Messprogramm 2003 für die Summe der Körperstromwirkung (LMK-Sender)

Für die Gruppe der LMK-Sender haben die Immissionen im östlichen Messgebiet durch den Abbau des Mittelwellensenders Heidelberg-Dossenheim durchgängig abgenommen. Hingegen lässt sich im westlichen Bereich bei Schwetzingen und Wiesloch, außerhalb des Funkschattens des Odenwalds, eine leichte Zunahme feststellen. Zurückzuführen ist dies auf vermutliche geänderte Abstrahlrichtung oder Zeiten des DLF-Senders Donebach.

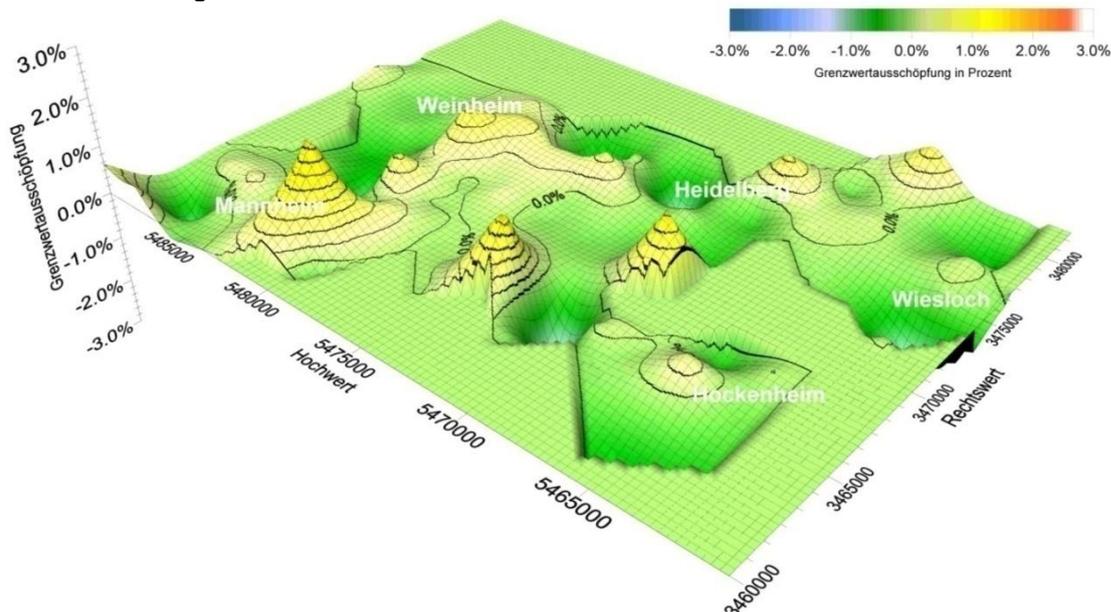


Abb. 55: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg im Vergleich zum Messprogramm 2003 für die Summe der thermischen Wirkung

Im Bereich der thermischen Wirkung ist das Bild (Abb. 55) indifferent. Während die Klasse der UKW-Sender (Abb. 56) im Mittel größtenteils konstant geblieben ist, bis auf leichte Zunahmen im Gebiet der regionalen Sender Mannheim und Weinheim, ist in der Klasse der Fernsehsender (Abb. 57) durchgängig eine Abnahme zu verzeichnen.

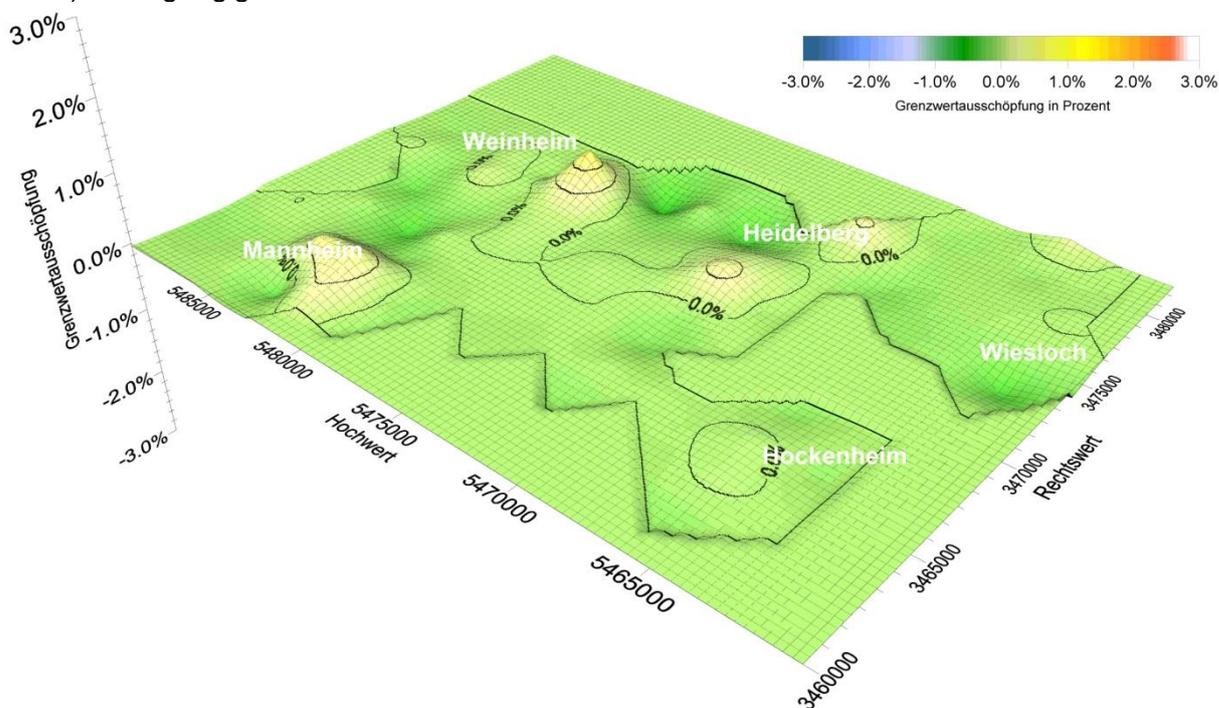


Abb. 56: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg im Vergleich zum Messprogramm 2003 für die UKW-Rundfunksender

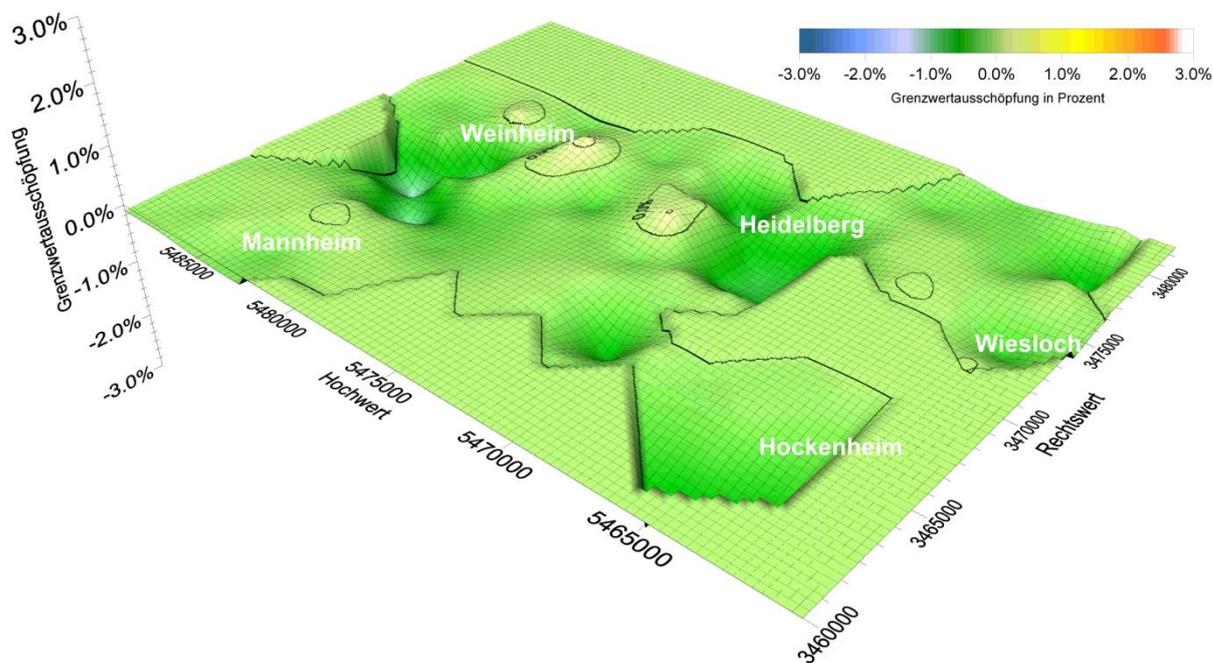


Abb. 57: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg im Vergleich zum Messprogramm 2003 für die Fernsehsender (Vergleich analoges Fernsehen zu DVB-T)

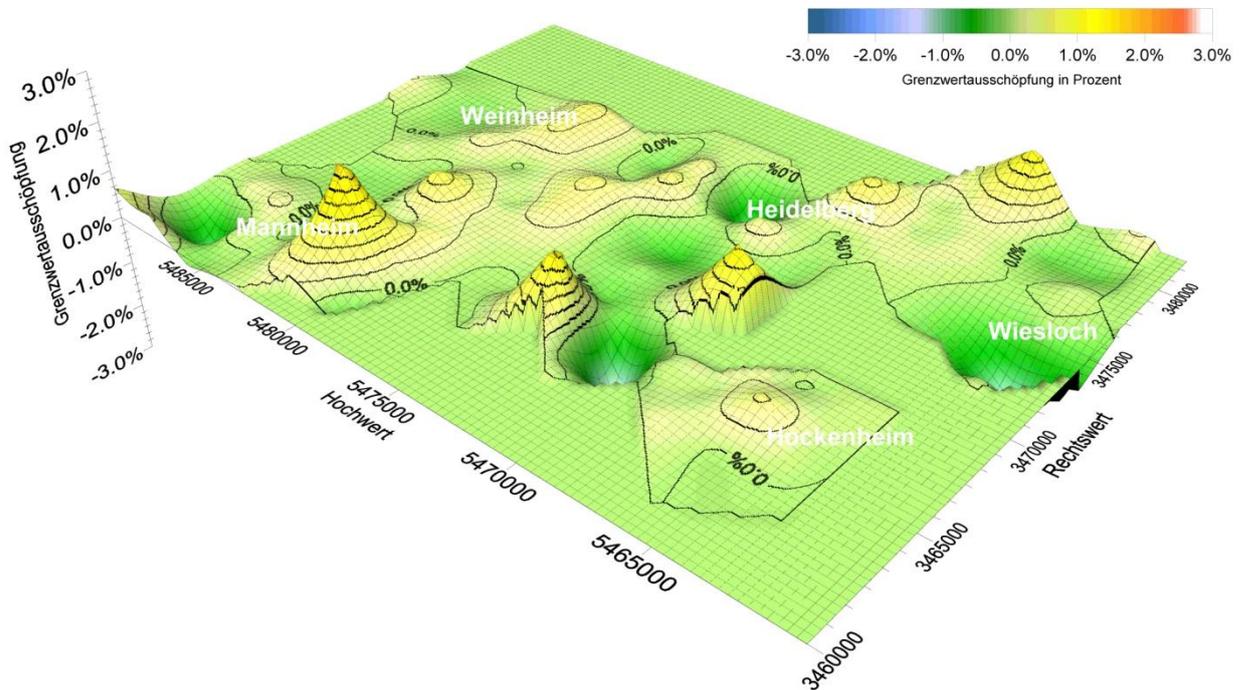


Abb. 58: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Mannheim / Heidelberg im Vergleich zum Messprogramm 2003 für den GSM Mobilfunk

In der Klasse GSM-Mobilfunk ist bis auf wenige Ausnahmen eine Zunahme der GSM-Mobilfunkimmissionen zu verzeichnen. In den Bereichen, wo Abnahmen zu erkennen sind, ist dies fast immer auf ein in der Zwischenzeit geändertes Messumfeld zurückzuführen.



Abb. 59: Sichtverbindung zu Mobilfunkanlagen auf dem Silo wird am Messpunkt 1050 im Raum Schwetzingen mittlerweile durch gewachsene Büsche und Bäume verdeckt



Abb. 60: Geändertes Messumfeld am Messpunkt 1137 im Raum Mannheim im Vergleich  
 a) Erstmessung am 12.11.2001, b) Wiederholungsmessung am 30.06.2009

### 4.2.3 Untersuchungsgebiet Freiburg

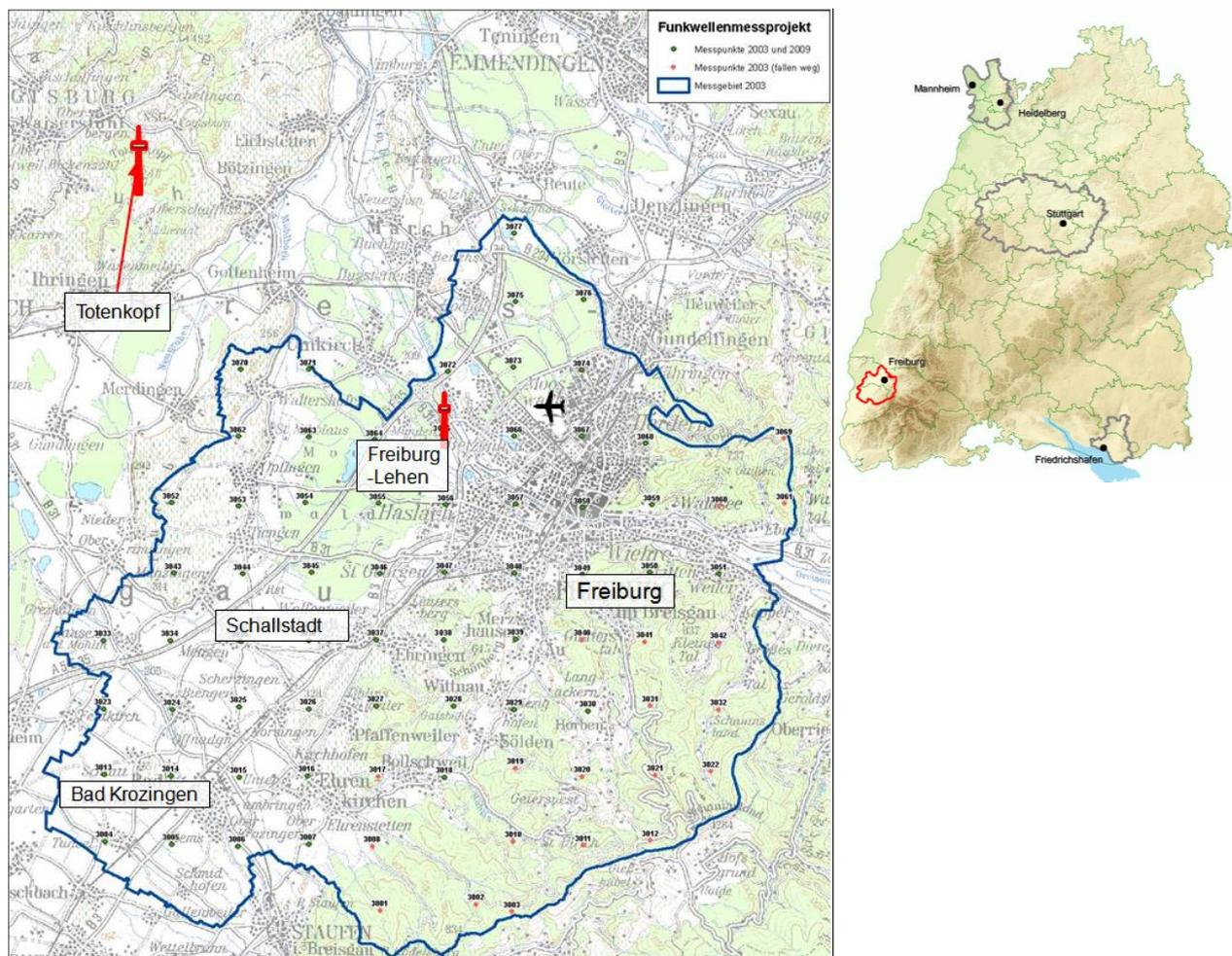


Abb. 61: Untersuchungsgebiet Freiburg mit Lage leistungsstarker Funkanlagen

Im Untersuchungsgebiet Freiburg sind folgende leistungsstarke Sendeanlagen vorhanden:

- Fernsehturm Vogtsburg-Totenkopf (DVB-T, ca. 150 kW Sendeleistung)
- Sendemast Freiburg-Lehen (Rundfunk, Mittelwelle, UKW, ca. 12 kW Sendeleistung)

### 4.2.3.1 Statistische Kenndaten

Die statistische Auswertung der Messdaten allein für das Untersuchungsgebiet Freiburg ergab die in Tab 6 zusammengestellten Werte.

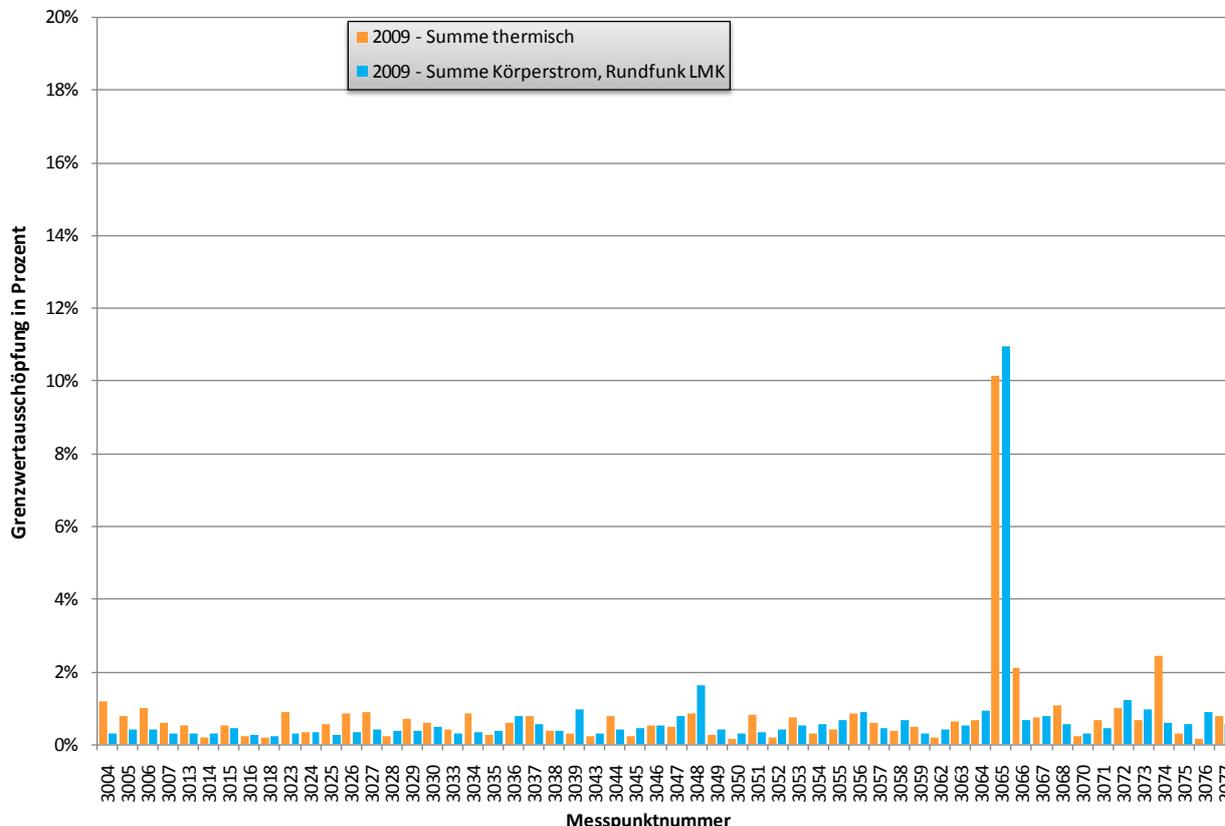


Abb. 62: Übersicht für das Untersuchungsgebiet Freiburg hinsichtlich der Ausschöpfung des Grenzwertes (Summenimmission für Körperstrom und thermische Wirkung)

Grenzwertausschöpfung in Prozent	Mittelwert	Perzentile			Maximum	Standardabweichung	Variationskoeffizient
		25 %	50 %	75 %			
Summe Körperstrom, Rundfunk LMK	0,70%	0,32%	0,43%	0,59%	10,96%	1,42%	2,03
Summe thermische Wirkung	0,78%	0,29%	0,58%	0,77%	10,13%	1,34%	1,72
Rundfunk LMK (Quadratisch)	0,40%	0,12%	0,17%	0,24%	9,74%	1,28%	3,24
Rundfunk UKW	0,16%	0,06%	0,08%	0,15%	2,73%	0,36%	2,28
Rundfunk DAB	0,03%	0,02%	0,03%	0,04%	0,11%	0,02%	0,73
Fernsehen, Analog	0,06%	0,01%	0,03%	0,06%	0,76%	0,12%	1,91
Fernsehen, DVB-T	0,27%	0,05%	0,14%	0,48%	0,94%	0,27%	0,98

Grenzwertausschöpfung in Prozent	Mittelwert	Perzentile			Maximum	Standardabweichung	Variationskoeffizient
		25 %	50 %	75 %			
Mobilfunk GSM	0,30%	0,08%	0,18%	0,36%	2,40%	0,42%	1,40
Mobilfunk UMTS	0,05%	0,01%	0,02%	0,05%	0,36%	0,07%	1,43
Mobilfunk GSM+UMTS	0,31%	0,08%	0,18%	0,37%	2,41%	0,42%	1,39
BOS	0,03%	0,01%	0,02%	0,03%	0,24%	0,05%	1,48
Sonstiges Sender	0,05%	0,01%	0,02%	0,07%	0,34%	0,06%	1,31
Maximum Körperstrom / thermisch	0,90%	0,44%	0,66%	0,88%	10,96%	1,43%	1,58

Tab 6: Statistische Kenndaten für die 56 Messpunkte des Untersuchungsgebiets Freiburg

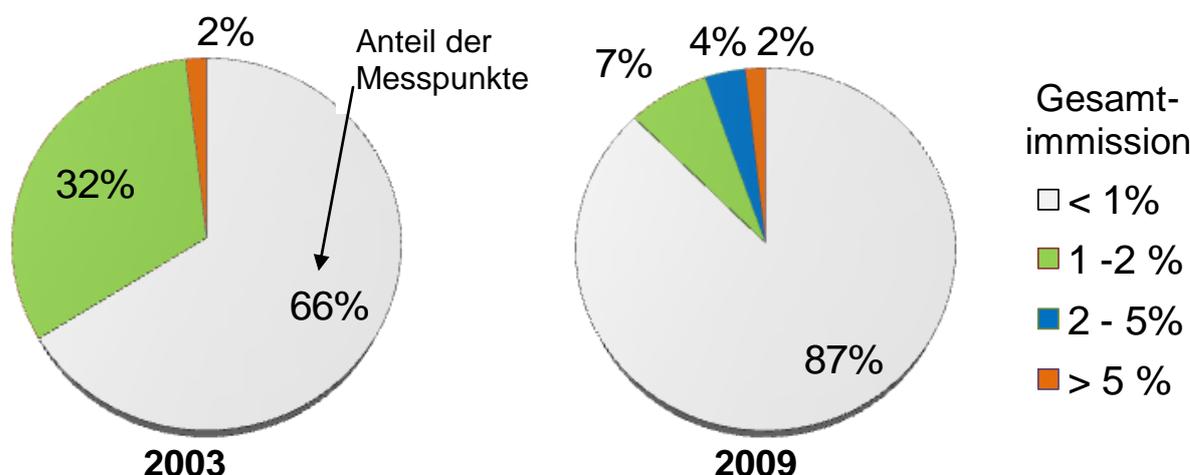


Abb. 63: Prozentualer Anteil der Messpunkte (Zahl im Tortendiagramm) für das Untersuchungsgebiet Freiburg mit einer Gesamtimmission von x Prozent. Veränderung der Gesamtimmission (Maximalwert Körperstrom / thermische Wirkung) zwischen den Messprogrammen 2003 und 2009

Im Untersuchungsgebiet Freiburg nahm die Gesamtimmission insgesamt deutlich ab. Dies ist vor allem auf den kompletten Wegfall des analogen Fernsehens zurückzuführen, das zu einem deutlichen Rückgang der Gesamtimmission führte, trotzdem im Mobilfunkbereich Zunahmen zu verzeichnen waren.

Während das Untersuchungsgebiet damit den höchsten Anteil der Messpunkte mit einer Grenzwertausschöpfung kleiner als ein Prozent aufweist, beinhaltet es auf der anderen Seite auch den Messpunkt mit der höchsten Gesamtimmission. Die Ursachen dafür sind in Abschnitt 4.1.4 näher erläutert und sind kurz gefasst auf das zufällige Zusammentreffen der Lage des Messpunkts mit etwa dem Ort der höchsten Strahlenimmission eines LMK-Senders mit eher niedriger Sendeleistung begründet.

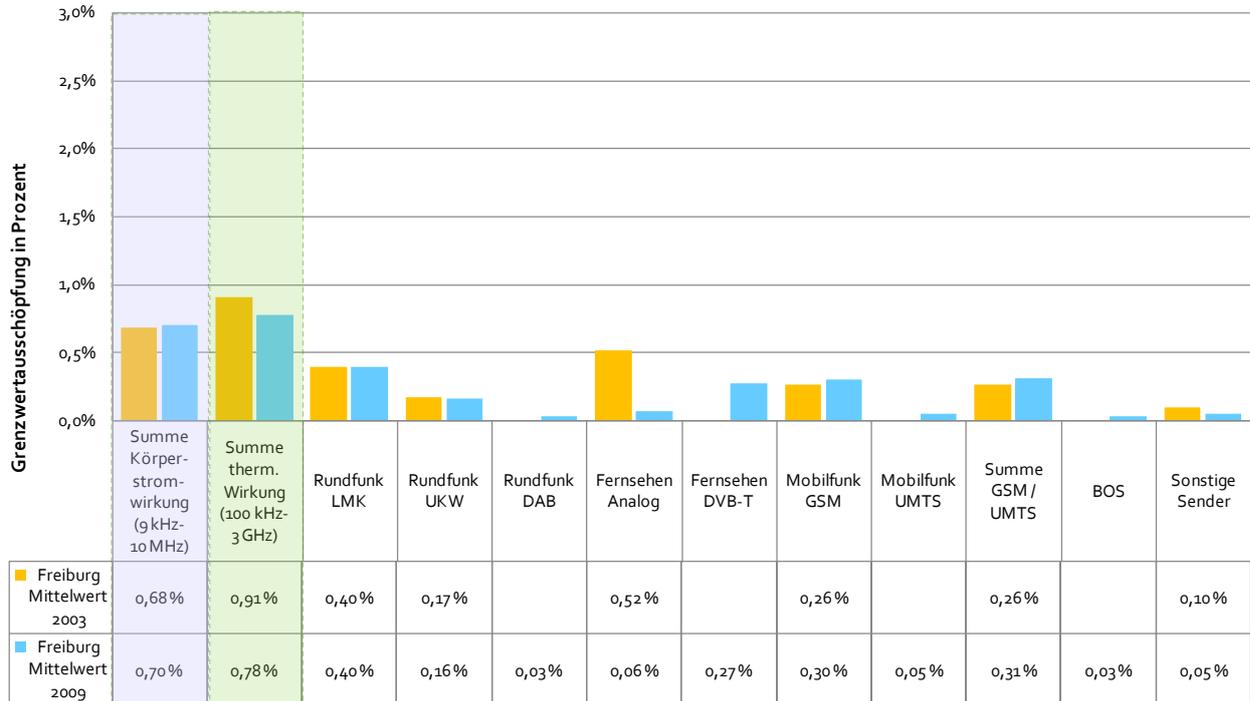


Abb. 64: Vergleich der Klassenmittelwerte des gleichen Messpunkte -Kollektivs zwischen den Messprogrammen 2003 und 2009 für das Untersuchungsgebiet Freiburg

Die sonstigen Klassenmittelwerte gerade für die LMK- und UKW-Rundfunksender konnten hingegen ausgezeichnet reproduziert werden.

#### 4.2.3.2 Dreidimensionale Verteilung der Ergebnisse des Funkwellenmessprogramms 2009

Die folgenden dreidimensionalen Diagramme zeigen die räumliche Verteilung der Immissionen für die verschiedenen Klassen. Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass Diagramme keine Aussagen über lokale Immissionssituationen und Maximalwerte liefern, wie bereits im Abschnitt 4.2.1.2 (Untersuchungsgebiet Stuttgart) erläutert.

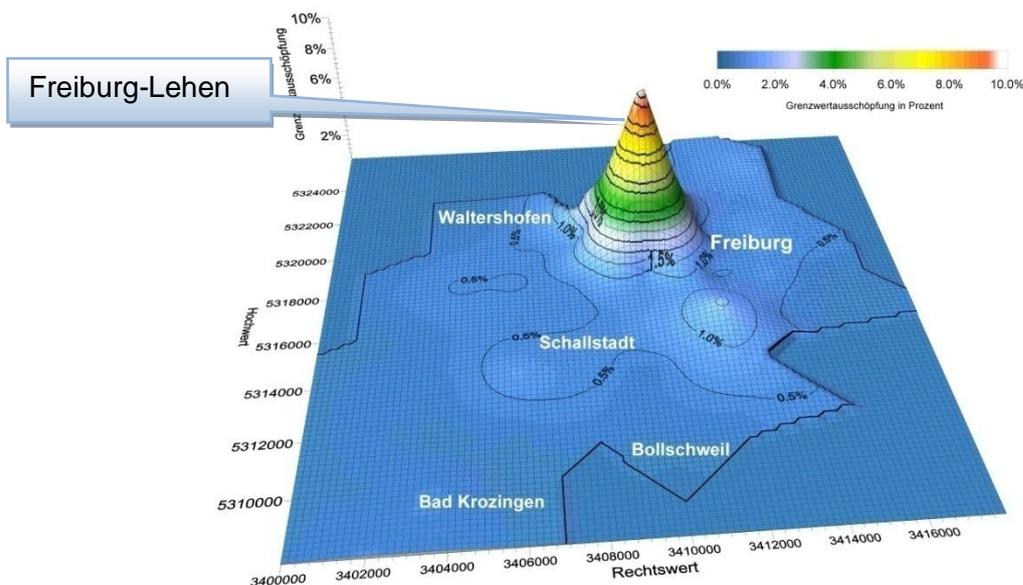


Abb. 65: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg für die Summe der Körperstromwirkung

Im LMK-Bereich wird die Immissionssituation im Bereich Freiburg durch den SWR-Mittelwellen-sender Freiburg-Lehen bei 828 kHz bestimmt. Durch das zufällige Zusammentreffen von der Lage des Messpunkts und einer der höchsten Immissionspunkte wird die Aussage zur durchschnittlichen Immission jedoch stark überschätzt. Wie Abb. 65 zu entnehmen ist, fallen daher die Immissionswerte schnell mit zunehmender Entfernung zum Sender ab, so dass bereits an den benachbarten Messpunkten nur noch durchschnittliche Werte zu messen waren (Abb. 62).

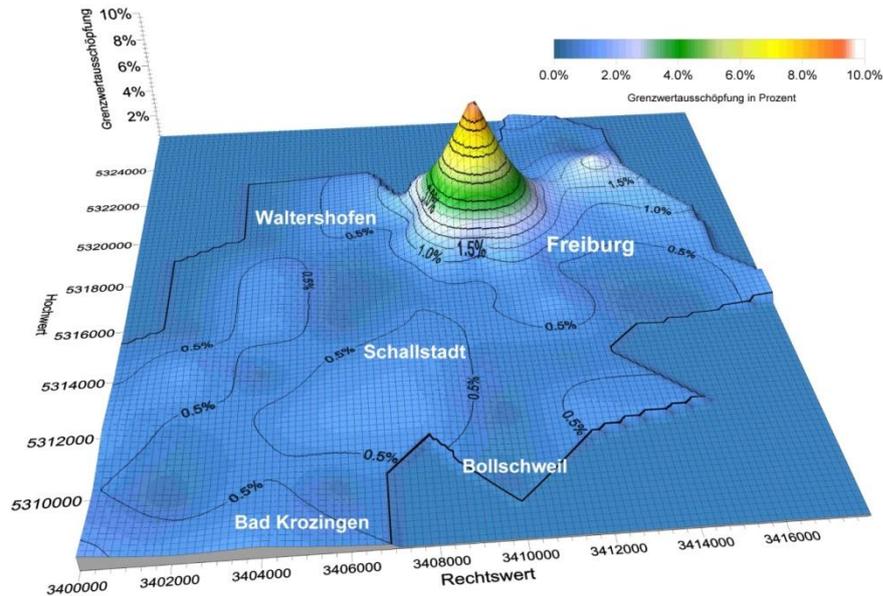


Abb. 66: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg für die Summe der thermischen Wirkung

Bei der Summe der thermischen Wirkung dominiert ebenfalls der quadratische LMK-Anteil sowie die UKW – Abstrahlung des Senders Freiburg-Lehen die Immissionssituation. Im Vergleich dazu gehen andere Funkquellen unter.

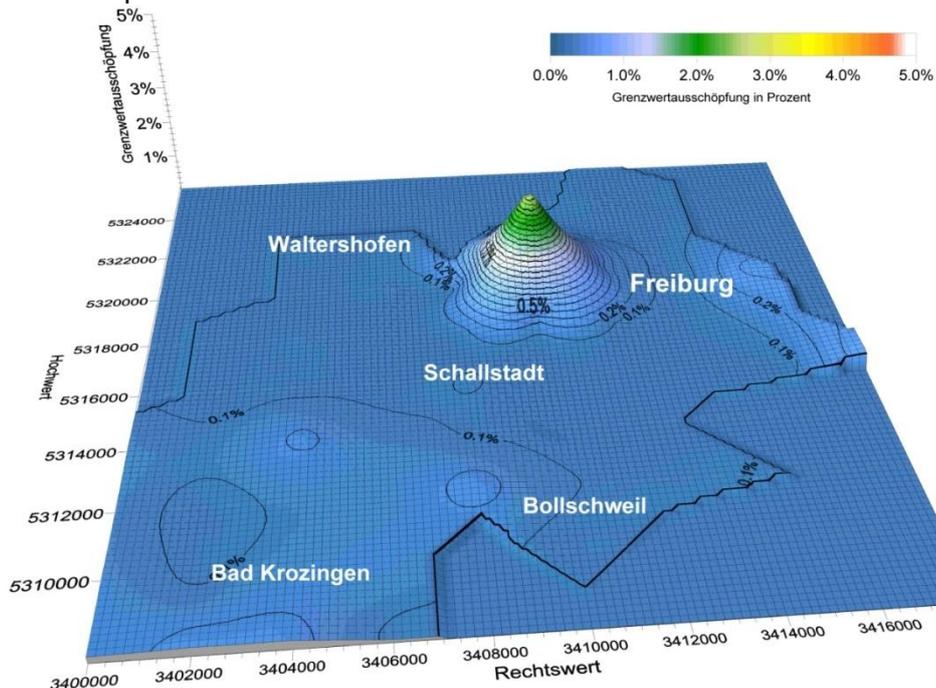


Abb. 67: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg für die UKW-Sender

DAB wird außerhalb des Untersuchungsgebiets vom Standort Vogtsburg-Totenkopf abgestrahlt. Der Immissionseinfluss auf das Untersuchungsgebiet (Abb. 68) ist daher sehr gering.

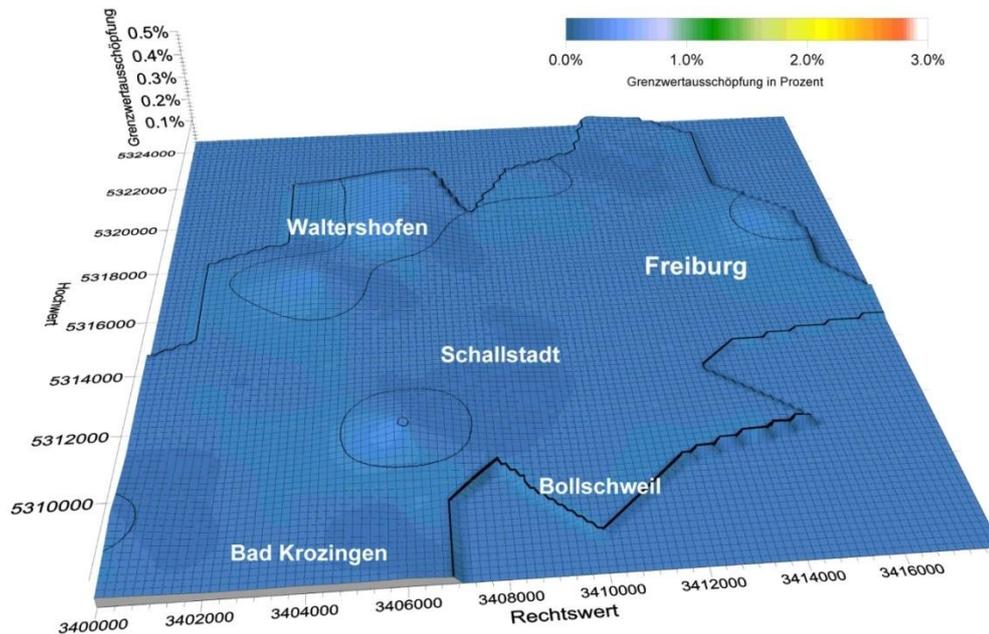


Abb. 68: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg für die DAB-Sender

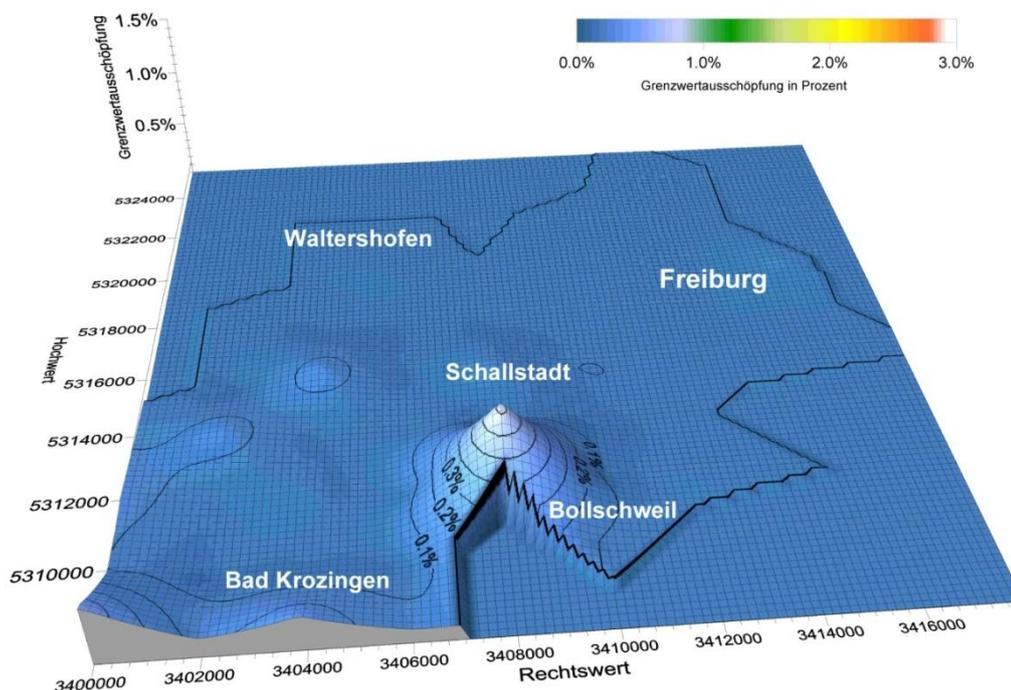


Abb. 69: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg für die analogen TV-Sender

Nur im südlichen Bereich des Untersuchungsgebiets Freiburg waren noch analoge Fernsehsender im nennenswerten Umfang messbar (Abb. 69). Diese sind vermutlich auf Einstrahlung aus den Nachbarländern Schweiz oder Frankreich zurückzuführen.

DVB-T wird außerhalb des Untersuchungsgebiets vom Standort Vogtsburg-Totenkopf abgestrahlt. Der Immissionseinfluss auf das Untersuchungsgebiet (Abb. 70) ist daher gering.

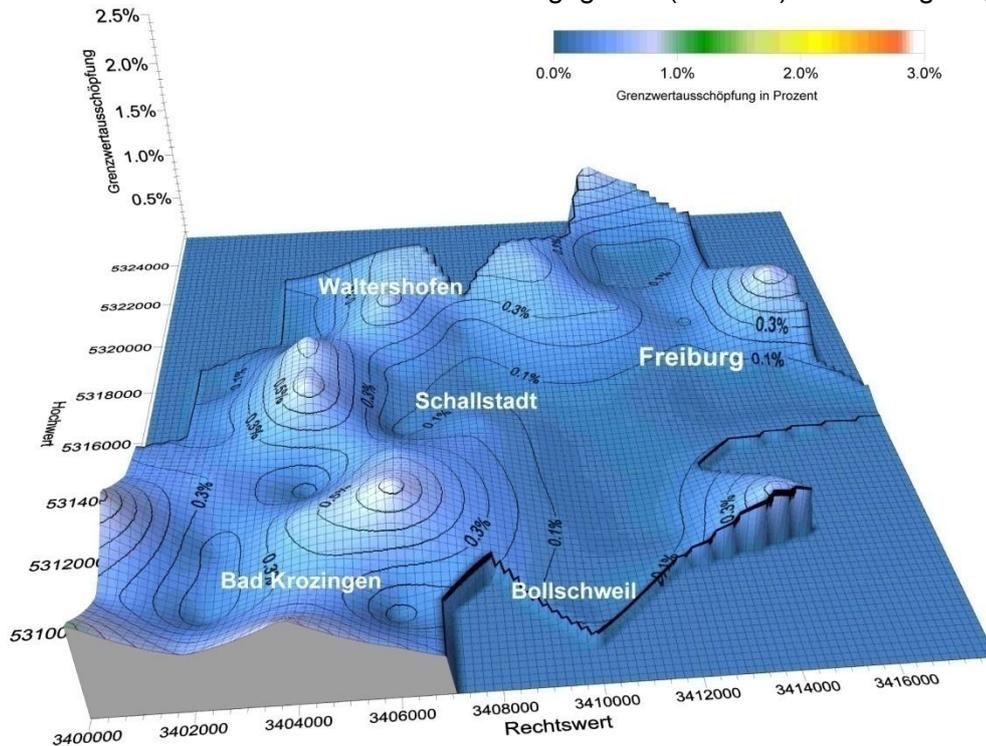


Abb. 70: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg für die DVB-T-Sender

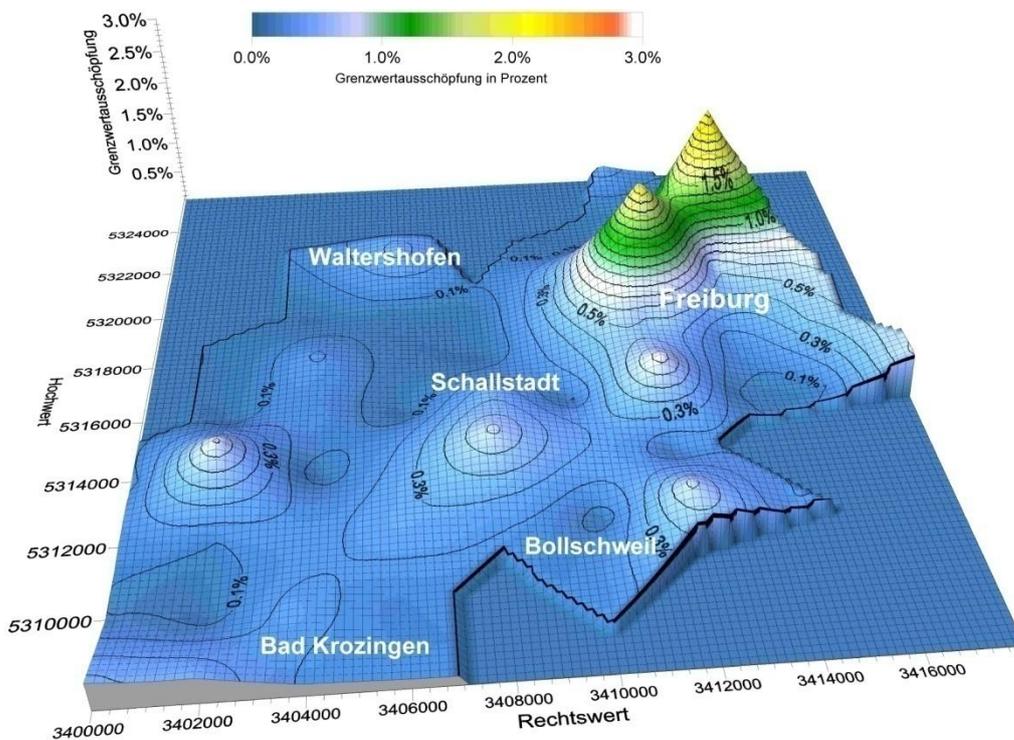


Abb. 71: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg für den GSM-Mobilfunk

Die durchschnittlichen UMTS-Immissionen (Abb. 72) sind wiederum deutlich niedriger als die von GSM (Abb. 71). Die Höhe der Mobilfunkimmission korreliert weitestgehend mit der Bevölkerungsdichte im Untersuchungsgebiet.

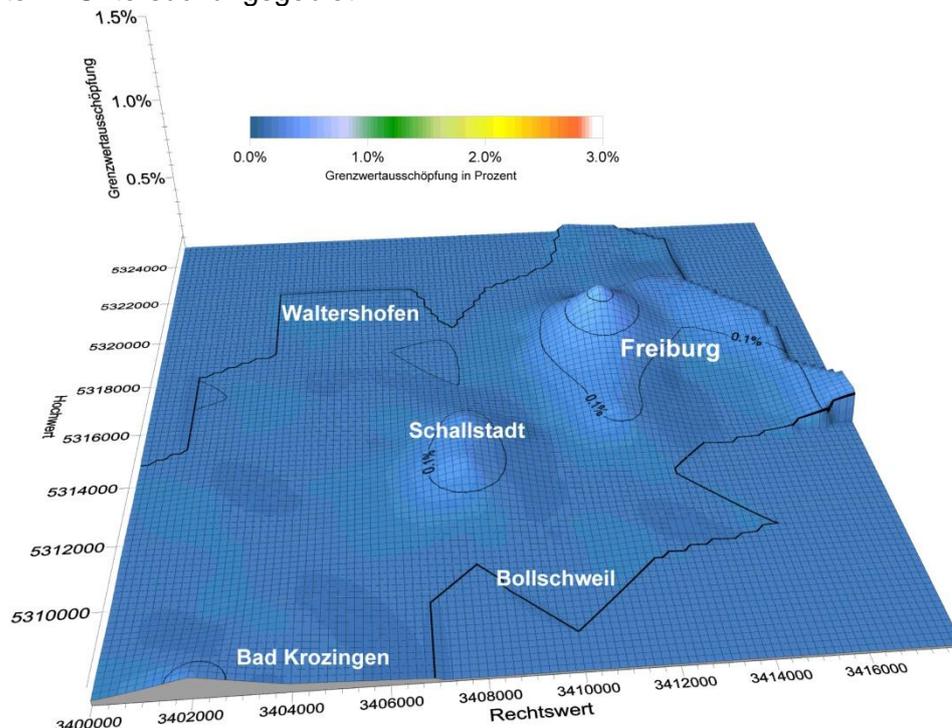


Abb. 72: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg für den UMTS-Mobilfunk

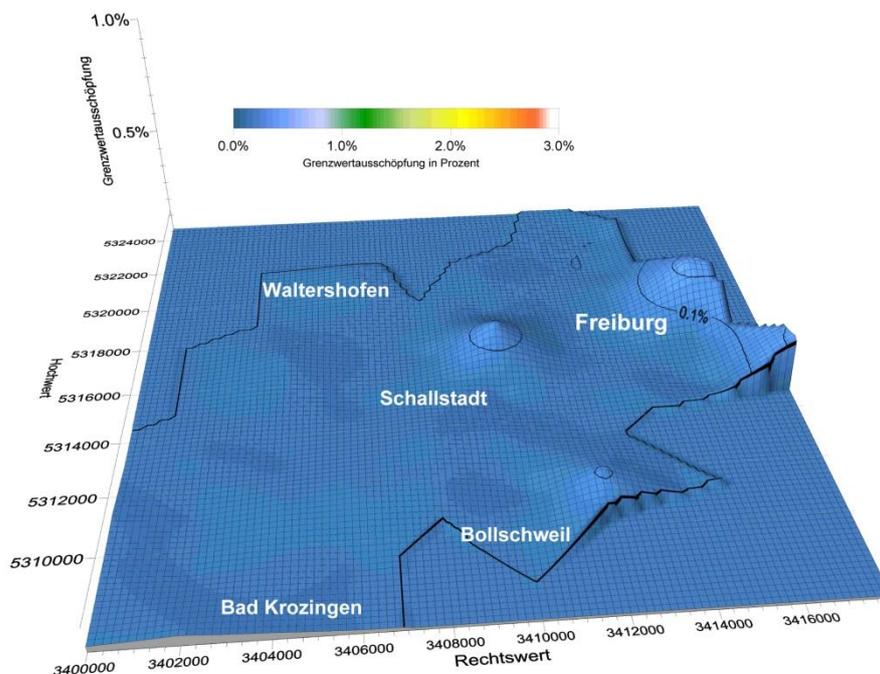


Abb. 73: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg für die BOS-Sender

Abb. 73 zeigt, dass die Immissionen durch BOS-Sendeanlagen, wie dem digitalen Polizeifunk, auf sehr niedrigem Niveau liegen.

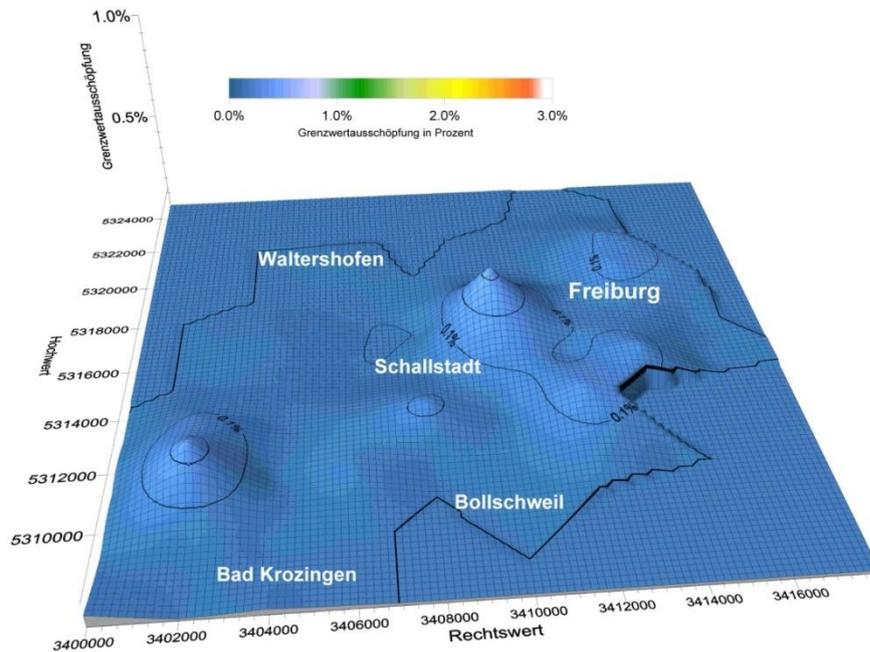


Abb. 74: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg für die Sonstigen Sender

Das Immissionsniveau bei der Klasse der „Sonstigen Sender“ liegt allgemein auf sehr niedrigem Niveau. Der hierbei höchste Wert wurde an Messpunkt 3056 im Gewerbegebiet von Freiburg/Rieselfeld erreicht, wo Betriebsfunk, wie er von Taxen benutzt wird, mit mehreren Handy-Uplinks und DECT-Telefonen zusammen traf.

#### 4.2.3.3 Dreidimensionale Verteilung der Ergebnisse des Funkwellenmessprogramms 2009 im Vergleich zu 2003

Bildet man die Differenz zwischen den durchschnittlichen Immissionen an den einzelnen Messpunkten zwischen den Jahren 2009 und 2003, so sind folgenden Schlussfolgerungen zu ziehen:

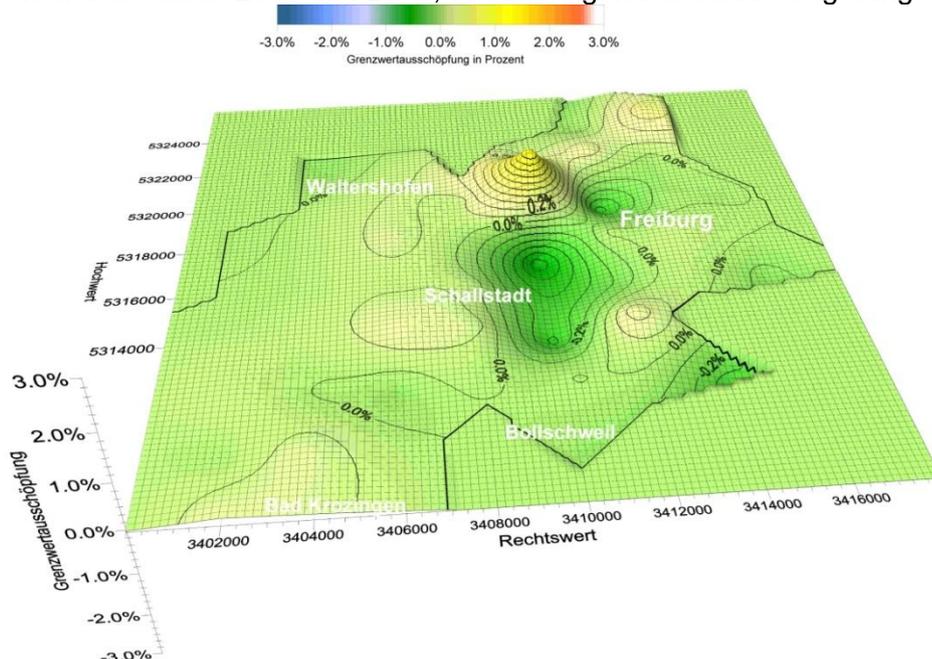


Abb. 75: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg im Vergleich zum Messprogramm 2003 für die Summe der Körperstromwirkung (LMK-Sender)

Für die Gruppe der LMK-Sender wurden sowohl lokal leichte Zunahmen wie auch Abnahmen festgestellt. Die Ursache ist dafür in einem jeweilig veränderten Messumfeld zu suchen. Die durchschnittliche Immission blieb jedoch unverändert.

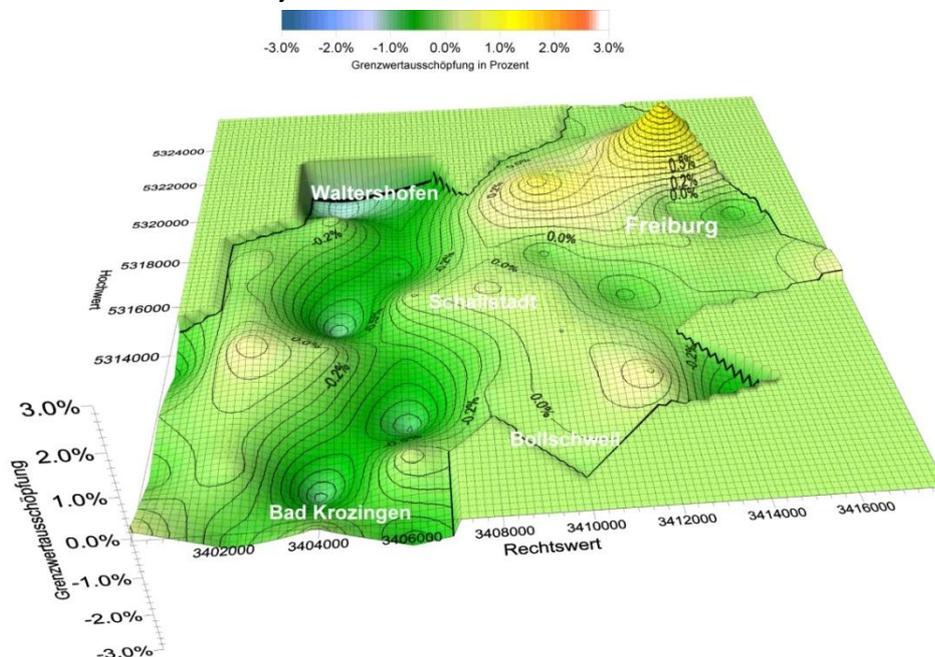


Abb. 76: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg im Vergleich zum Messprogramm 2003 für die Summe der thermischen Wirkung

Im Bereich der thermischen Wirkung ist das Bild unterschiedlich. Während sich in der Klasse der Fernsehender (Abb. 78) durchgängig eine Abnahme, vor allem im Westen des Untersuchungsgebiet ergeben hat, die UKW-Immissionen (Abb. 77) größtenteils unverändert blieben, ist vor allem im Raum Freiburg eine Zunahme im Bereich des Mobilfunks (Abb. 79) zu verzeichnen. Die Summe der thermischen Wirkung erhält daher im östlichen Bereich Zunahmen aufgrund der Mobilfunkimmissionen, während im westlichen Teil des Untersuchungsgebiets Abnahmen der Immissionswerte festzustellen waren (Abb. 76).

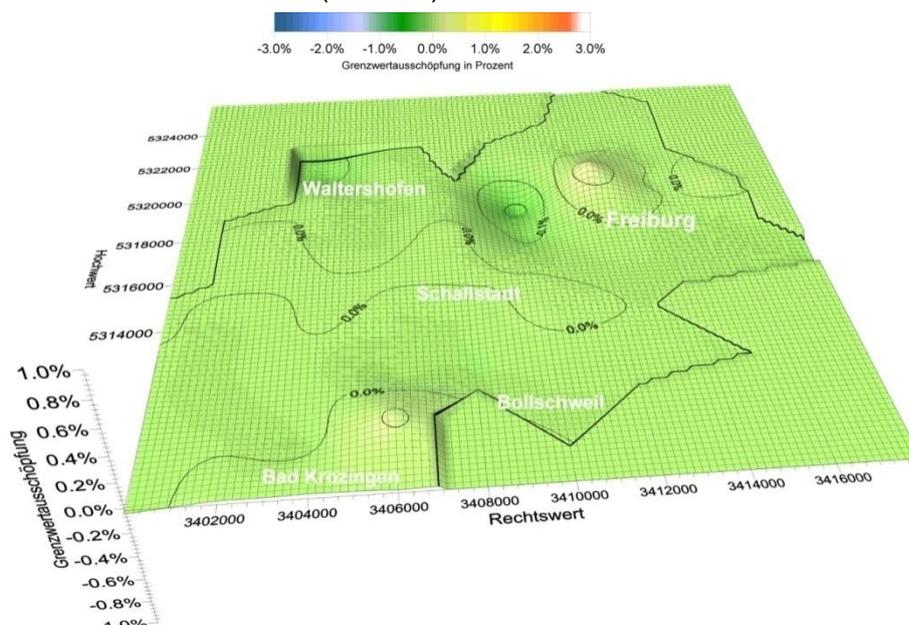


Abb. 77: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg im Vergleich zum Messprogramm 2003 für den UKW-Rundfunk

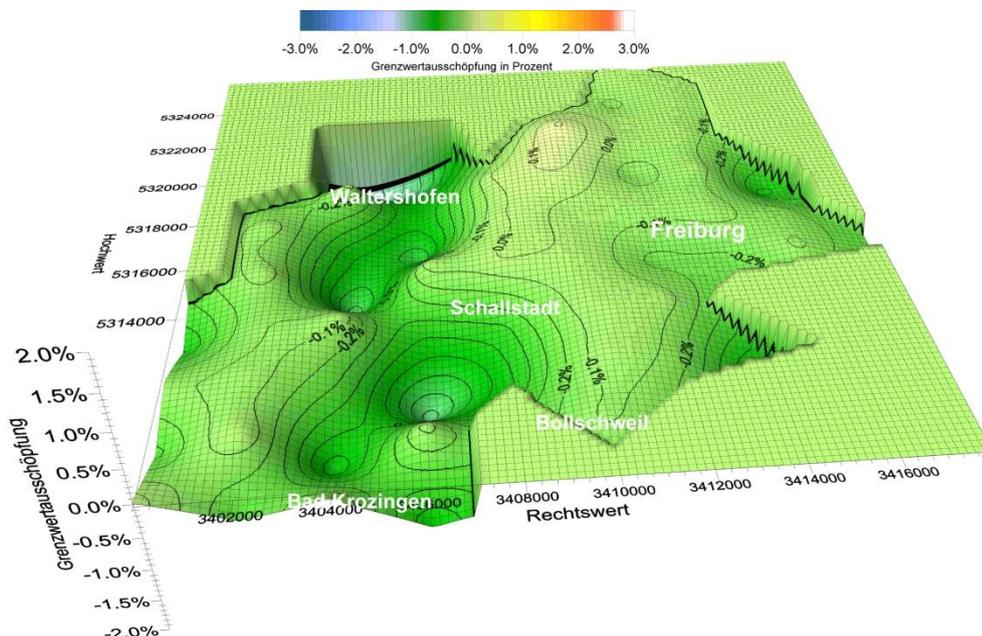


Abb. 78: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg im Vergleich zum Messprogramm 2003 für die Fernsehsender (Vergleich analoges Fernsehen zu DVB-T)

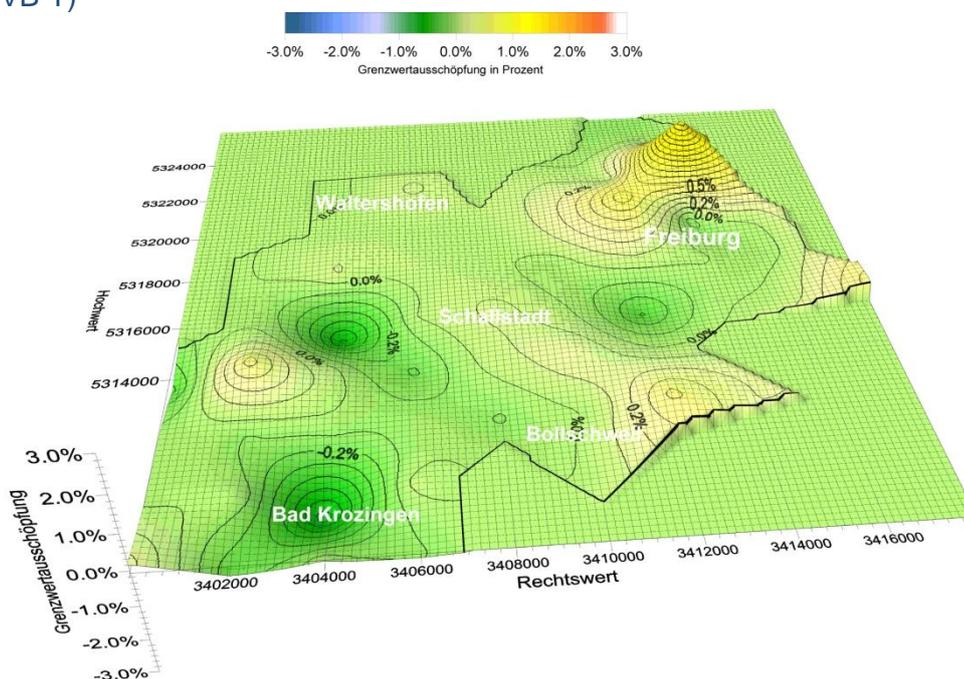


Abb. 79: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Freiburg im Vergleich zum Messprogramm 2003 für den GSM Mobilfunk

#### 4.2.4 Untersuchungsgebiet Oberschwaben

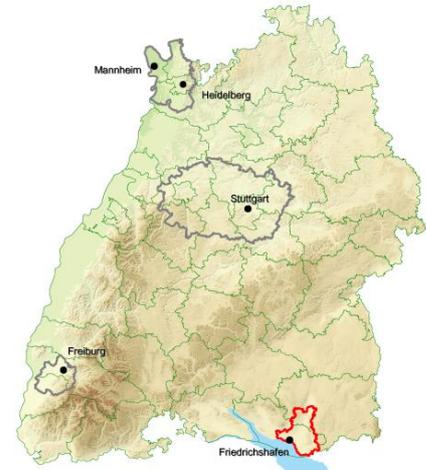
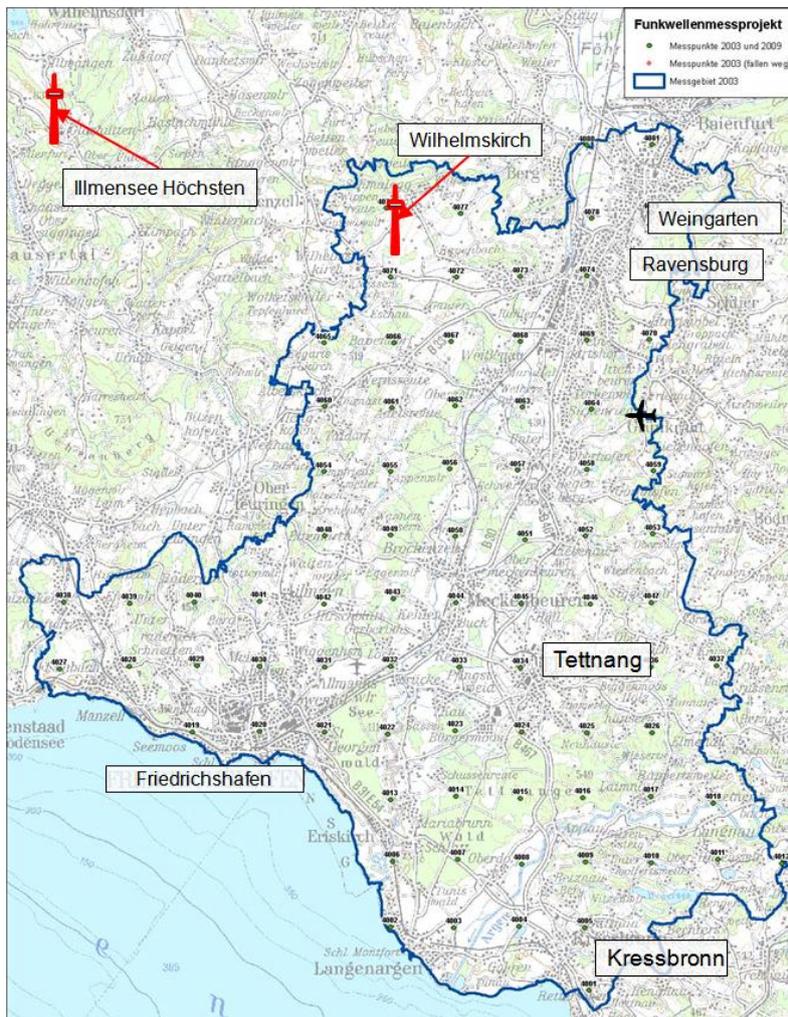


Abb. 80: Untersuchungsgebiet Oberschwaben mit Lage leistungsstarker Funkanlagen

Im Untersuchungsgebiet Oberschwaben bzw. in dessen Umfeld sind folgende leistungsstarke Sendeanlagen vorhanden:

- Fernsehturm Illmensee-Glashütten auf dem Höchsten, ca. 15 km westlich (DVB-T, ca. 150 kW Sendeleistung)
- Funkmast Ravensburg-Wilhelmkirch (DLF-Mittelwelle, Rundfunk, ca. 100 kW Sendeleistung, 756 kHz)
- Bodenseesender in Meßkirch-Rohrdorf, ca. 40 km westlich des Untersuchungsgebiets (SWR-Mittelwelle, Rundfunk, ca. 150 kW Sendeleistung, 666 kHz)
- Sendemast Iberger Kugel, ca. 30 km östlich des Untersuchungsgebiets (Lokale Anbieter, UKW-Rundfunk, ca. 60 kW Sendeleistung)
- Sendemast Pfänder bei Bregenz, ca. 15 km östlich des Untersuchungsgebiets (DVB-T und UKW-Rundfunk, ca. 400 kW Sendeleistung)

In Friedrichshafen, Ravensburg und Weingarten-Schussental gibt es weiterhin kleinere UKW-Sender von lokalen Programmen.

#### 4.2.4.1 Statistische Kenndaten

Die statistische Auswertung der Messdaten allein für das Untersuchungsgebiet Oberschwaben ergab die in Tab 7 zusammengestellten Werte.

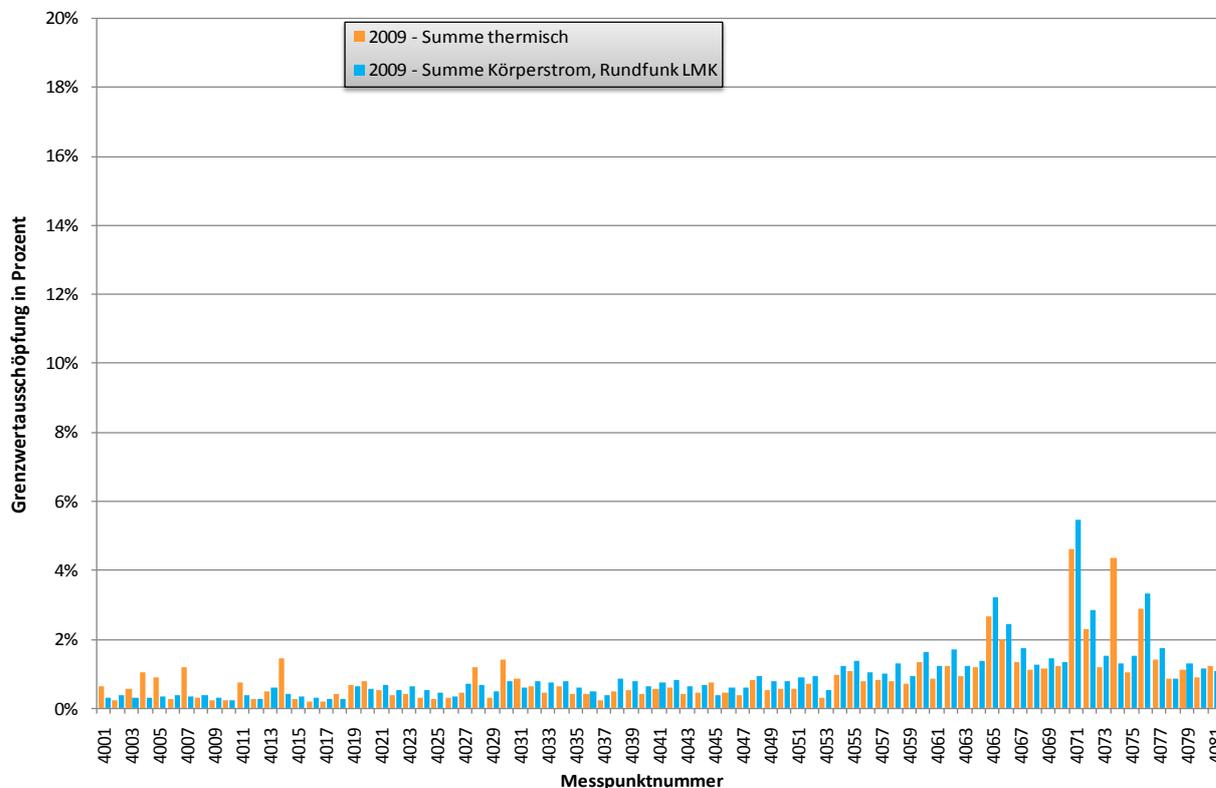


Abb. 81: Übersicht für das Untersuchungsgebiet Oberschwaben hinsichtlich der Ausschöpfung des Grenzwertes (Summenimmission für Körperstrom und thermische Wirkung)

Grenzwertausschöpfung in Prozent	Mittelwert	Perzentile			Maximum	Standardabweichung	Variationskoeffizient
		25 %	50 %	75 %			
Summe Körperstrom, Rundfunk LMK	0,94%	0,46%	0,72%	1,23%	5,46%	0,81%	0,86
Summe thermische Wirkung	0,87%	0,41%	0,68%	1,09%	4,61%	0,78%	0,90
Rundfunk LMK (Quadratisch)	0,65%	0,23%	0,44%	0,83%	4,60%	0,69%	1,07
Rundfunk UKW	0,13%	0,07%	0,11%	0,15%	0,72%	0,12%	0,89
Rundfunk DAB	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,09%	0,01%	1,18
Fernsehen, Analog	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,00%	5,03
Fernsehen, DVB-T	0,14%	0,04%	0,06%	0,15%	0,74%	0,16%	1,18

Grenzwertausschöpfung in Prozent	Mittelwert	Perzentile			Maximum	Standardabweichung	Variationskoeffizient
		25 %	50 %	75 %			
Mobilfunk GSM	0,26%	0,05%	0,13%	0,27%	4,19%	0,50%	1,95
Mobilfunk UMTS	0,05%	0,00%	0,02%	0,05%	0,89%	0,12%	2,25
Mobilfunk GSM+UMTS	0,27%	0,05%	0,13%	0,29%	4,20%	0,51%	1,91
BOS	0,05%	0,01%	0,01%	0,03%	0,74%	0,11%	2,30
Sonstiges Sender	0,06%	0,01%	0,02%	0,04%	1,43%	0,18%	2,77
Maximum Körperstrom / thermisch	1,06%	0,59%	0,79%	1,26%	5,46%	0,86%	0,82

Tab 7: Statistische Kenndaten für die 81 Messpunkte des Untersuchungsgebiets Oberschwaben

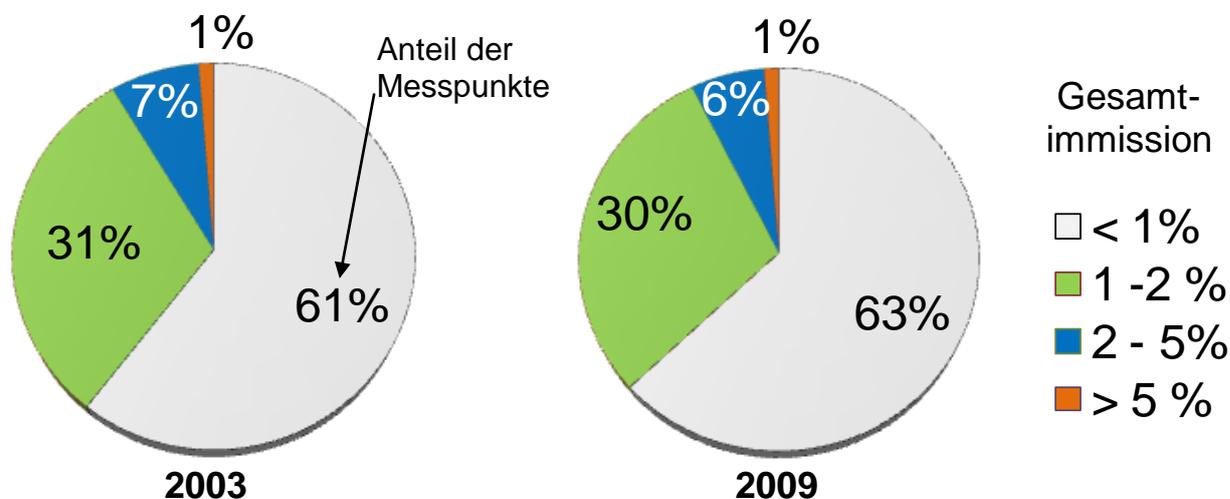


Abb. 82: Prozentualer Anteil der Messpunkte (Zahl im Tortendiagramm) für das Untersuchungsgebiet Oberschwaben mit einer Gesamtimmission von x Prozent. Veränderung der Gesamtimmission (Maximalwert Körperstrom / thermische Wirkung) zwischen den Messprogrammen 2003 und 2009

Im Untersuchungsgebiet Oberschwaben nahm die Gesamtimmission insgesamt leicht ab. Dies ist vor allem auf den Wegfall des analogen Fernsehens zurückzuführen, was zu einem Rückgang der Gesamtimmission führte, trotzdem im Mobilfunkbereich Zunahmen zu verzeichnen waren.

Die Klassenmittelwerte für die LMK- Rundfunk konnten ausgezeichnet reproduziert werden (Abb. 83), bei den UKW-Rundfunksendern zeigte sich eine leichte Abnahme.

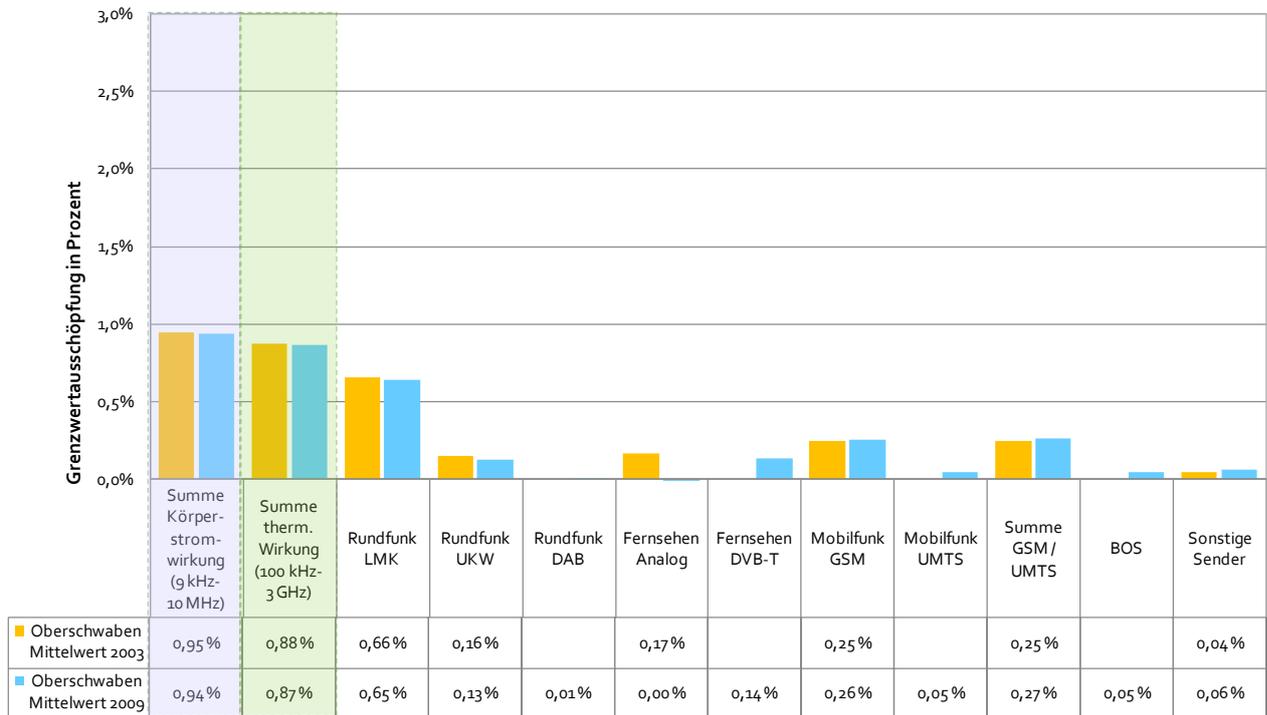


Abb. 83: Vergleich der Klassenmittelwerte des gleichen Messpunkte -Kollektivs zwischen den Messprogrammen 2003 und 2009 für das Untersuchungsgebiet Oberschwaben

#### 4.2.4.2 Dreidimensionale Verteilung der Ergebnisse des Funkwellenmessprogramms 2009

Die folgenden dreidimensionalen Diagramme zeigen die räumliche Verteilung der Immissionen für die verschiedenen Klassen. Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass Diagramme keine Aussagen über lokale Immissionssituationen und Maximalwerte liefern, wie bereits im Abschnitt 4.2.1.2 (Untersuchungsgebiet Stuttgart) erläutert.

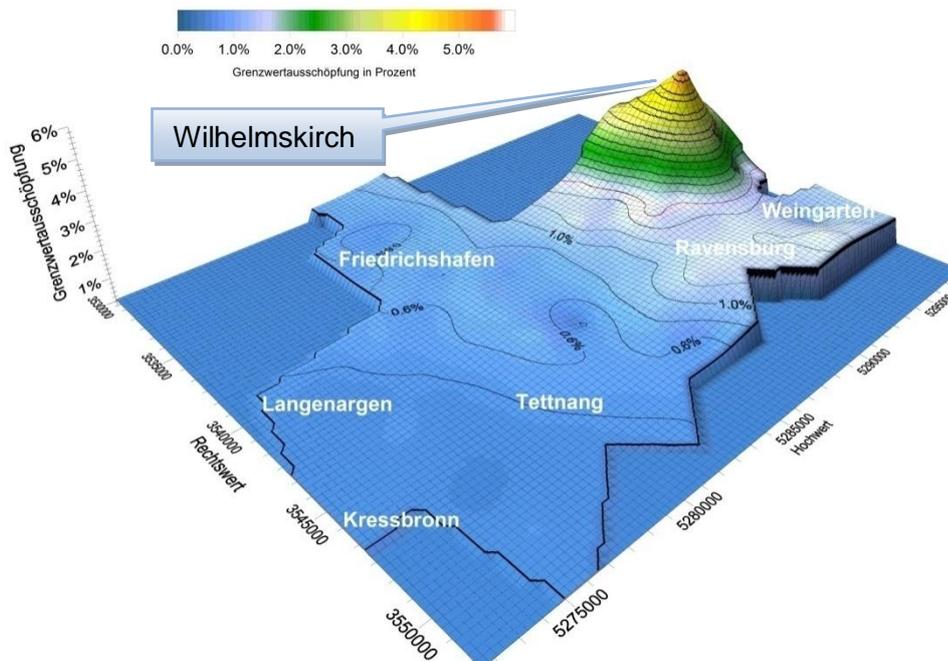


Abb. 84: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben für die Summe der Körperstromwirkung

Im LMK-Bereich (Abb. 85) wird die Immissionsituation im Untersuchungsgebiet Oberschwaben durch den DLF-Mittelwellensender Wilhelmskirch bei 756 kHz bestimmt. Der weiter entfernt liegende SWR-Bodenseesender spielt dagegen nur eine untergeordnete Rolle.

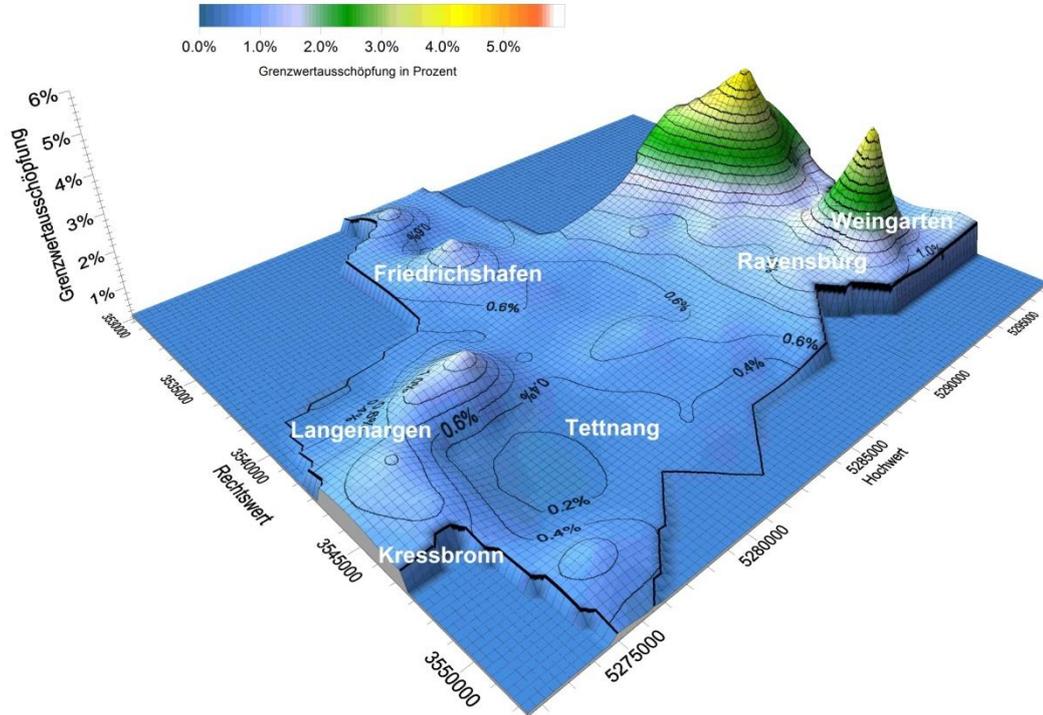


Abb. 85: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben für die Summe der thermischen Wirkung

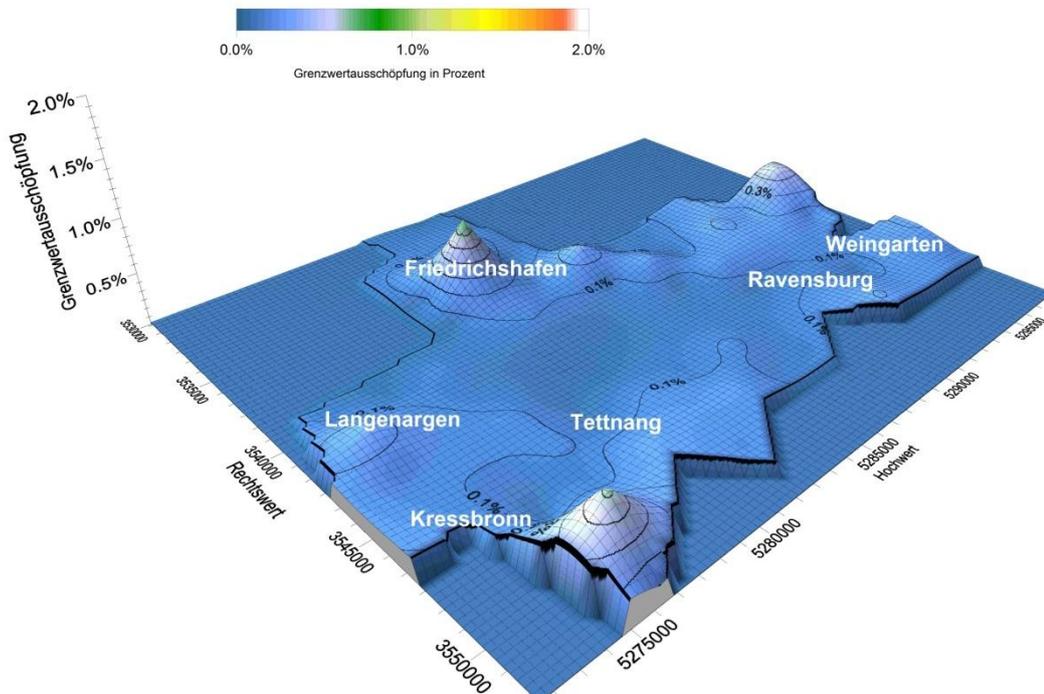


Abb. 86: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben für die UKW-Sender  
 Höhere Werte bei den UKW-Immissionen im Untersuchungsgebiet (Abb. 86) treten im Nahbereich der verschiedenen UKW-Sender von lokalen Programmanbietern mit Verhältnismäßig geringer Sendeleistung auf, wie sie in Friedrichshafen, Ravensburg und Weingarten zu finden sind.

Die Ursachen dafür sind in Abschnitt 4.1.4 näher erläutert und diskutiert. Indessen ist im südöstlichen Bereich des Untersuchungsgebiets die Sendeanlage auf dem Pfänder bei Bregenz verantwortlich für die höheren Immissionswerte.

DAB wird außerhalb des Untersuchungsgebiets vom Standort Waldburg abgestrahlt. Der Immissionseinfluss auf das Untersuchungsgebiet (Abb. 87) ist daher gering.

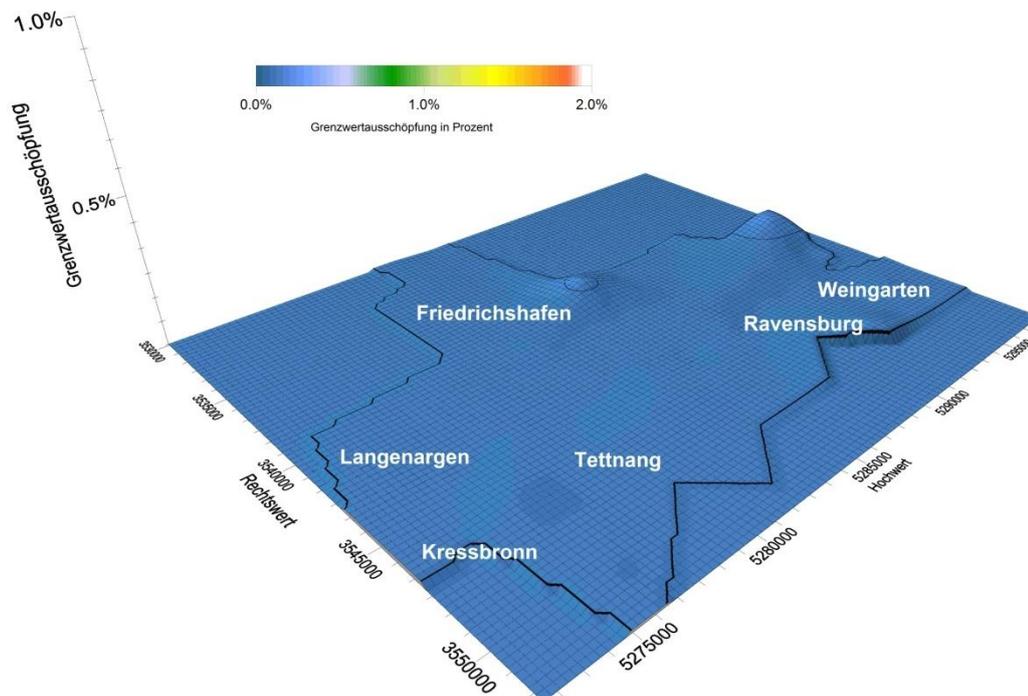


Abb. 87: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben für die DAB-Sender

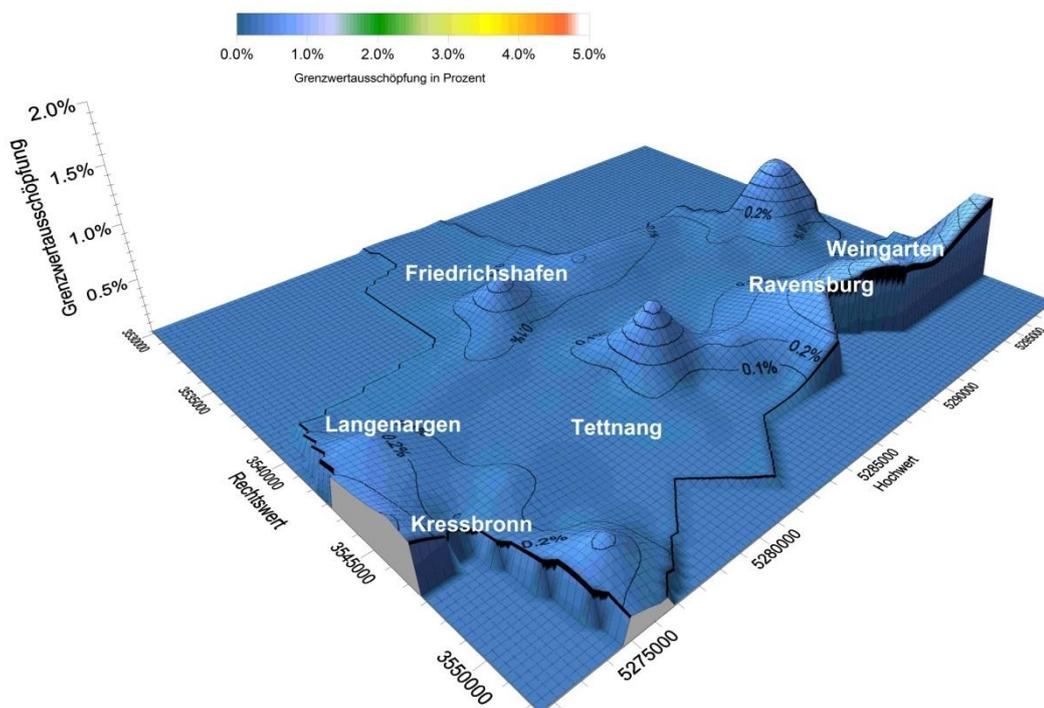


Abb. 88: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben für die DVB-T-Sender

DVB-T wird außerhalb des Untersuchungsgebiets von den Standorten Ilmensee, Pfänder (A) und Säntis (CH) abgestrahlt. Der Immissionseinfluss auf das Untersuchungsgebiet (Abb. 88) ist aufgrund der Entfernung der Sendeanlagen gering.

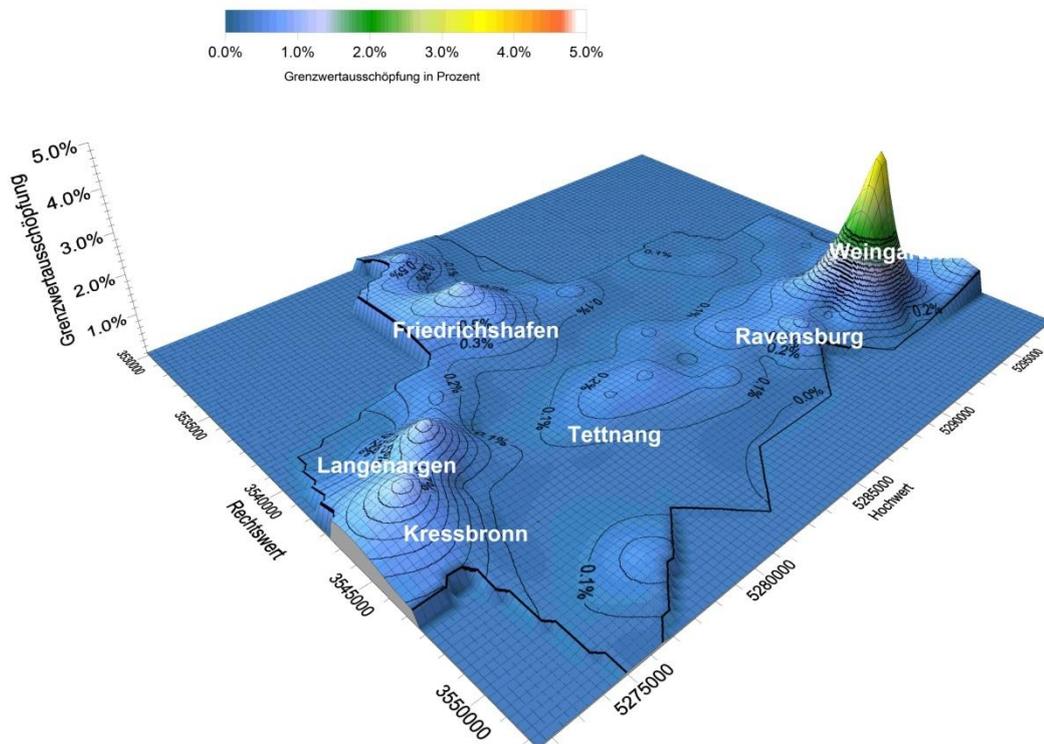


Abb. 89: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben für den GSM-Mobilfunk

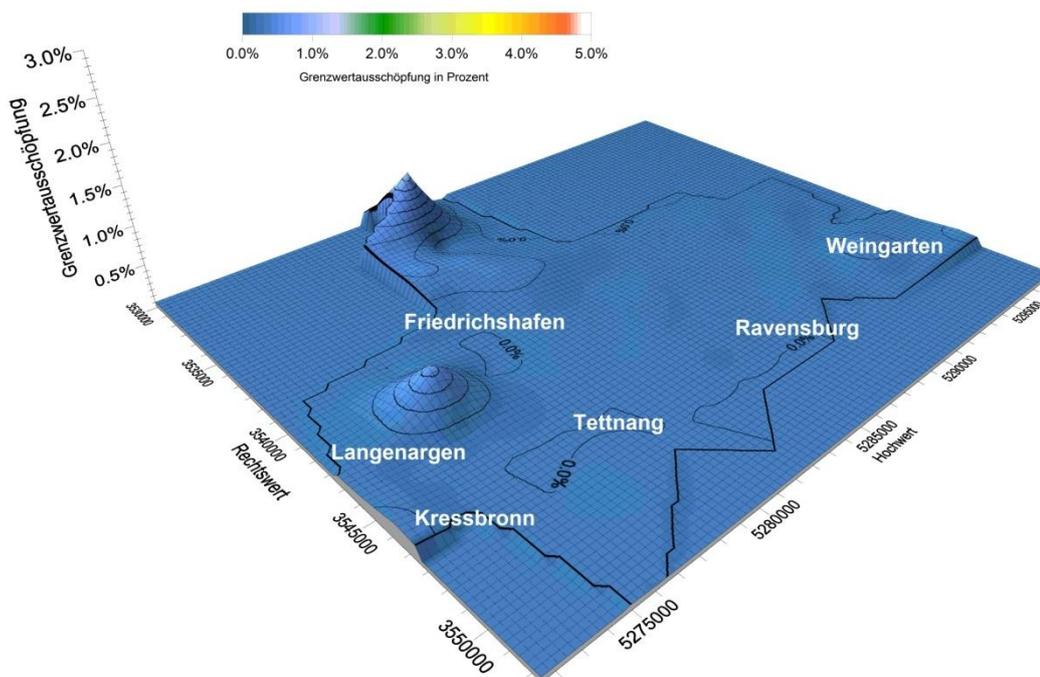


Abb. 90: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben für den UMTS-Mobilfunk

Die höchsten GSM-Immissionen (Abb. 89) treten in der Innenstadt von Ravensburg in der Nähe eines Mobilfunksenders auf. Die Höhe der restlichen Mobilfunkimmission korreliert ansonsten weitestgehend mit der Bevölkerungsdichte im Untersuchungsgebiet.

Von besonderem Interesse ist dabei die Stadt Friedrichshafen, die seit 2007 als „T-City“ verstärkt den Ausbau von Breitband-Mobilfunkdiensten wie UMTS forciert. Folgerichtig zeigen sich in Friedrichshafen die höchsten UMTS-Immissionen im Untersuchungsgebiet. Auch das Immissionsverhältnis von GSM zu UMTS verschob sich für das Stadtgebiet von Friedrichshafen von einem typischen Wert von über 5 für das Gesamtgebiet zu nur noch 3,6. Die Gesamtimmission des Mobilfunks (GSM und UMTS) liegt hingegen mit 0,52 % als Durchschnitt über das Stadtgebiet in der Größenordnung der mittleren Mobilfunkimmissionen für alle vier Untersuchungsgebiete.

Abb. 91 zeigt, dass die Immissionen durch BOS-Sendeanlagen, wie dem digitalen Polizeifunk bis auf wenige Ausnahmen auf niedrigem Niveau liegen.

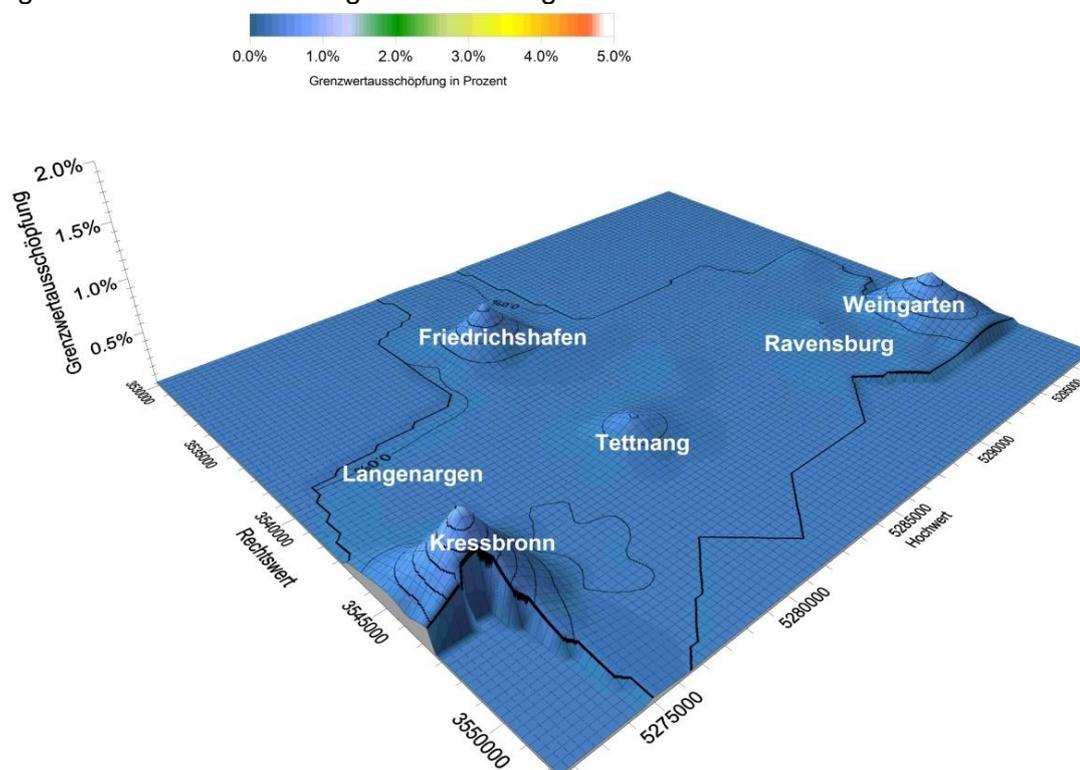


Abb. 91: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben für die BOS-Sender

Bei der Klasse der „Sonstigen Sender“ (Abb. 92) sticht vor allem Messpunkt 4014 bei Eriskirchen hervor. Ursache für die überdurchschnittlichen Werte war eine am Messpunkt vorbeifahrende Gruppe von Radfahrern, von denen offensichtlich ein Handy-Telefonat geführt wurde. Die sonstigen Immissionen liegen jedoch durchgängig auf niedrigem Niveau.

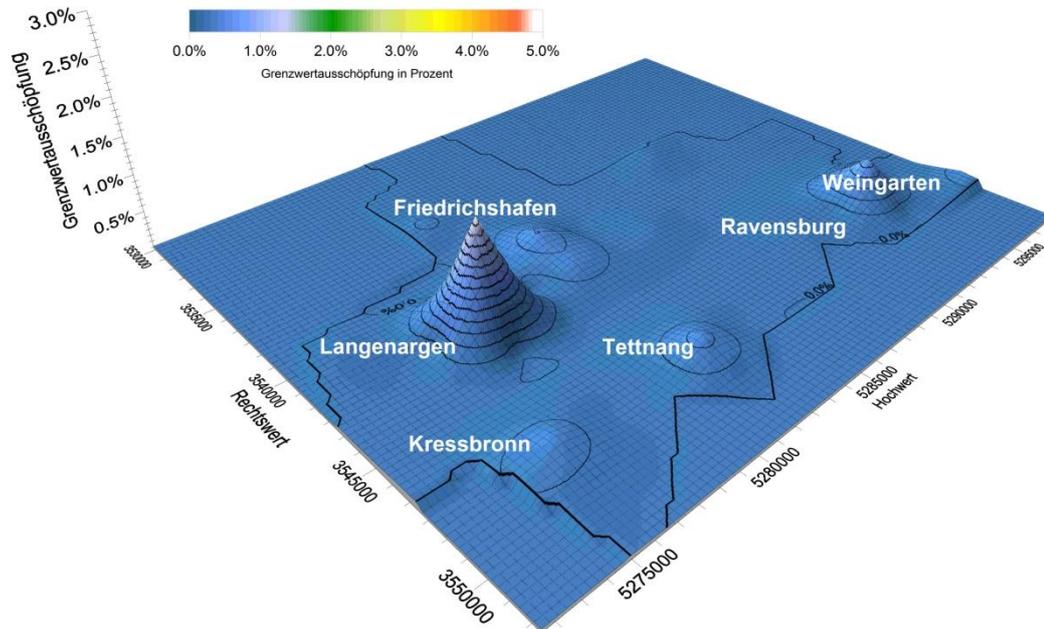


Abb. 92: Verteilung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben für die Sonstigen Sender

#### 4.2.4.3 Dreidimensionale Verteilung der Ergebnisse des Funkwellenmessprogramms 2009 im Vergleich zu 2003

Bildet man die Differenz zwischen den durchschnittlichen Immissionen an den einzelnen Messpunkten zwischen den Jahren 2009 und 2003, so sind folgenden Schlussfolgerungen zu ziehen:

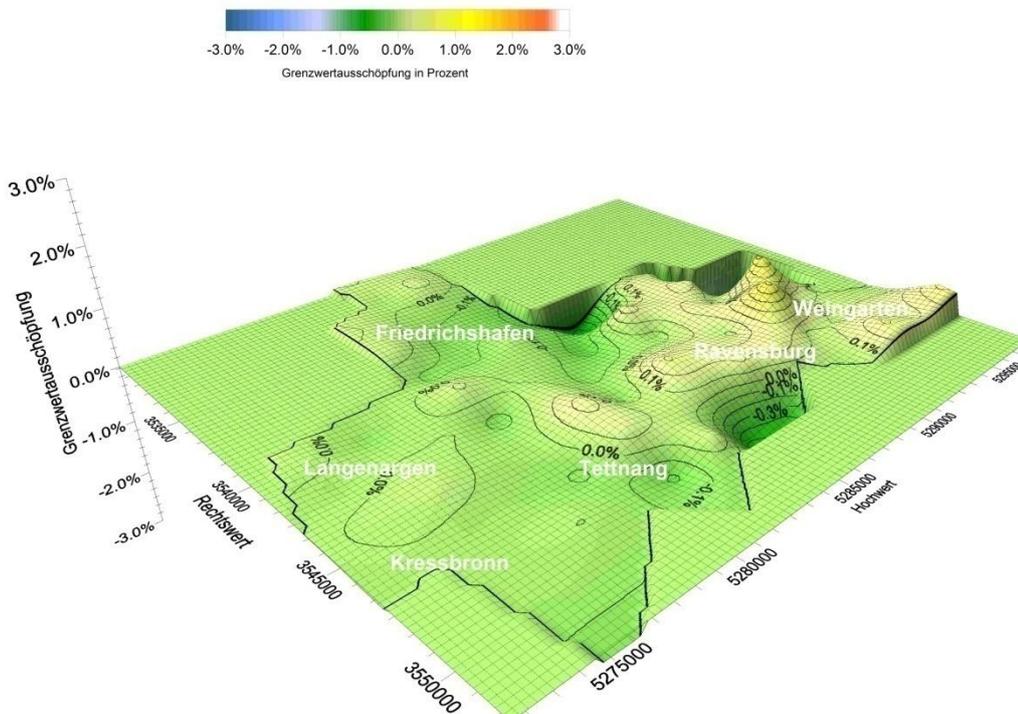


Abb. 93: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben im Vergleich zum Messprogramm 2003 für die Summe der Körperstromwirkung (LMK-Sender)

Für die Gruppe der LMK-Sender konnten die durchschnittlichen Immissionen in der Fläche sehr gut reproduziert werden. Jedoch ergaben sich im nördlichen Bereich teils Zunahmen teils Ab-

nahmen der Immissionen gegenüber dem Bezugsjahr 2003. Die höheren Messwerte im Jahr 2009 gegenüber 2003 konnten durchgängig auf Veränderungen im unmittelbaren Messumfeld zurückgeführt werden. So waren bei den Messpunkten 4068 und 4072 in beiden Fällen Maisfelder im Jahr 2003 vorhanden, die im Jahr 2009 durch bereits abgeerntetes Getreide oder Wiese ersetzt worden waren (siehe hierzu auch Abschnitt 4.1.7.1).

Die teils deutlichen Abnahmen der Werte (Messpunkte 4053, 4054 und 4059) waren hingegen auf eine Doppelbewertung von Frequenzen im Jahr 2003 zurückzuführen.

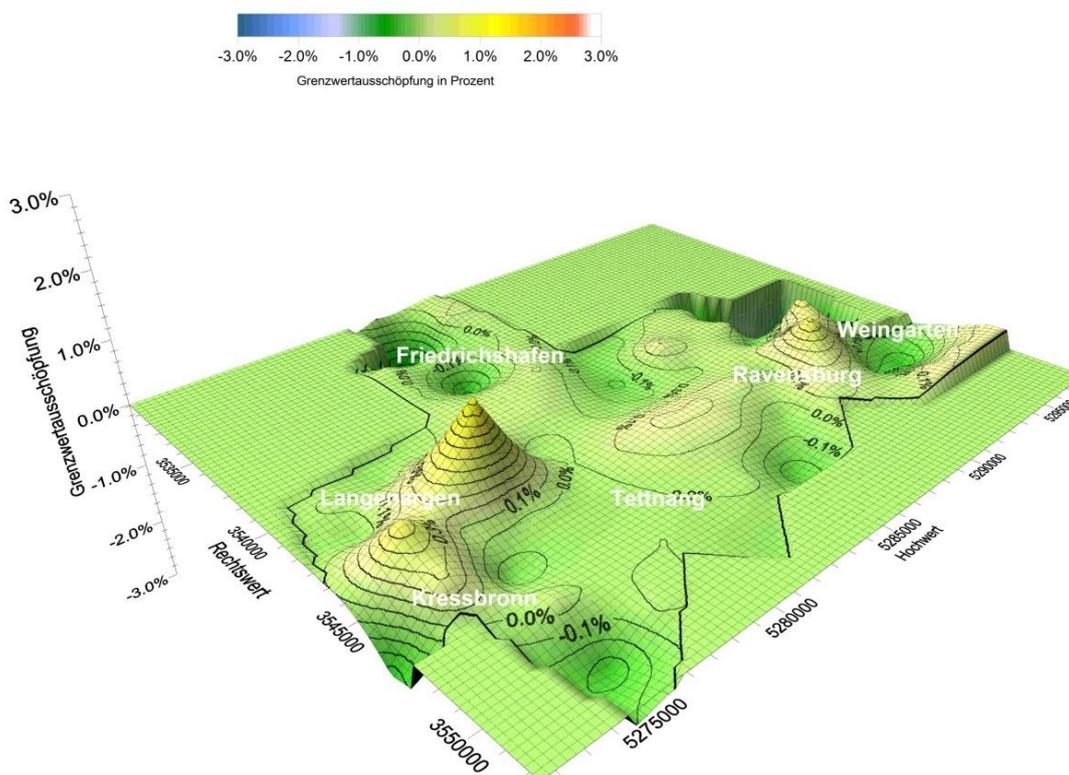


Abb. 94: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben im Vergleich zum Messprogramm 2003 für die Summe der thermischen Wirkung

Im Bereich der thermischen Wirkung ist das Bild (Abb. 94) indifferent. Während die Klasse der UKW-Sender (Abb. 95) im Mittel größtenteils konstant geblieben ist, bis auf leichte Abnahmen durch vegetationsbedingte Veränderungen im Messumfeld an einzelnen Messpunkten, ist in der Klasse der Fernsehsender (Abb. 96) im Schnitt ein leichter Rückgang der Immissionen zu verzeichnen.

Ausnahme bildet der nordöstliche Bereich des Untersuchungsgebiets, wo eine leichte Zunahme der vom Sender Ilmensee ausgestrahlten DVB-T-Immissionen zu messen war.

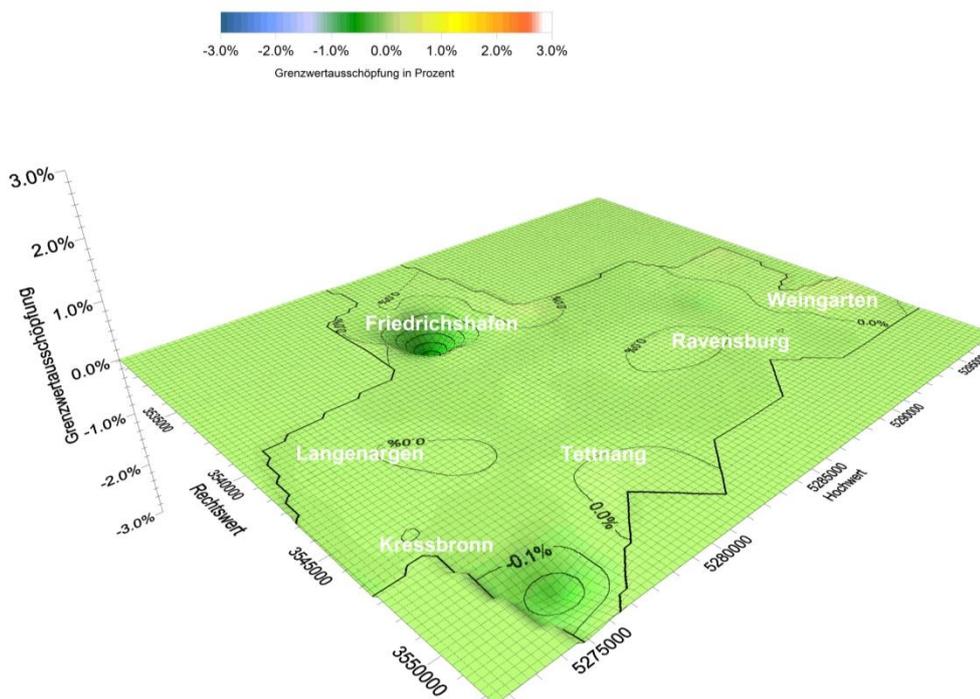


Abb. 95: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben im Vergleich zum Messprogramm 2003 für den UKW Rundfunk

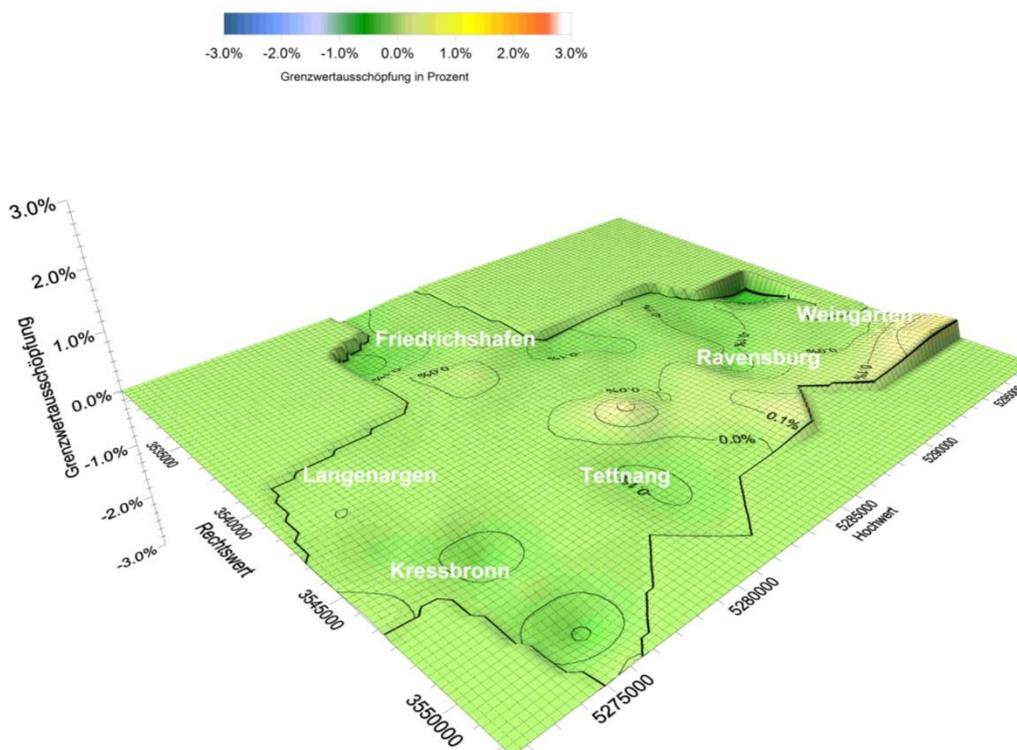


Abb. 96: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben im Vergleich zum Messprogramm 2003 für die Fernsehsender (Vergleich analoges Fernsehen zu DVB-T)

Die Mobilfunkimmissionen im GSM-Bereich (Abb. 97) zeigen sich im Schnitt auch größtenteils unverändert. Allerdings wurde im Raum Kressbronn eine größere Zunahme der Immissionen durch eine neue Mobilfunkanlage in der Nähe des Messpunkts ermittelt. An drei Messpunkten gingen die Immissionen teils deutlich zurück, an zwei der Messpunkte (4001, 4028) war dies auf die veränderte Vegetation zurückzuführen. An dem dritten Messpunkt (4078) bei Ravensburg liegt die Ursache in einer Umstellung der Sendeanlagen auf einem Mobilfunkmasts in ca. 400 Meter Entfernung von GSM1800 auf GSM900. Dabei erfolgte vermutlich auch eine Veränderung von Neigungswinkel und Azimut der Sendeanlagen.

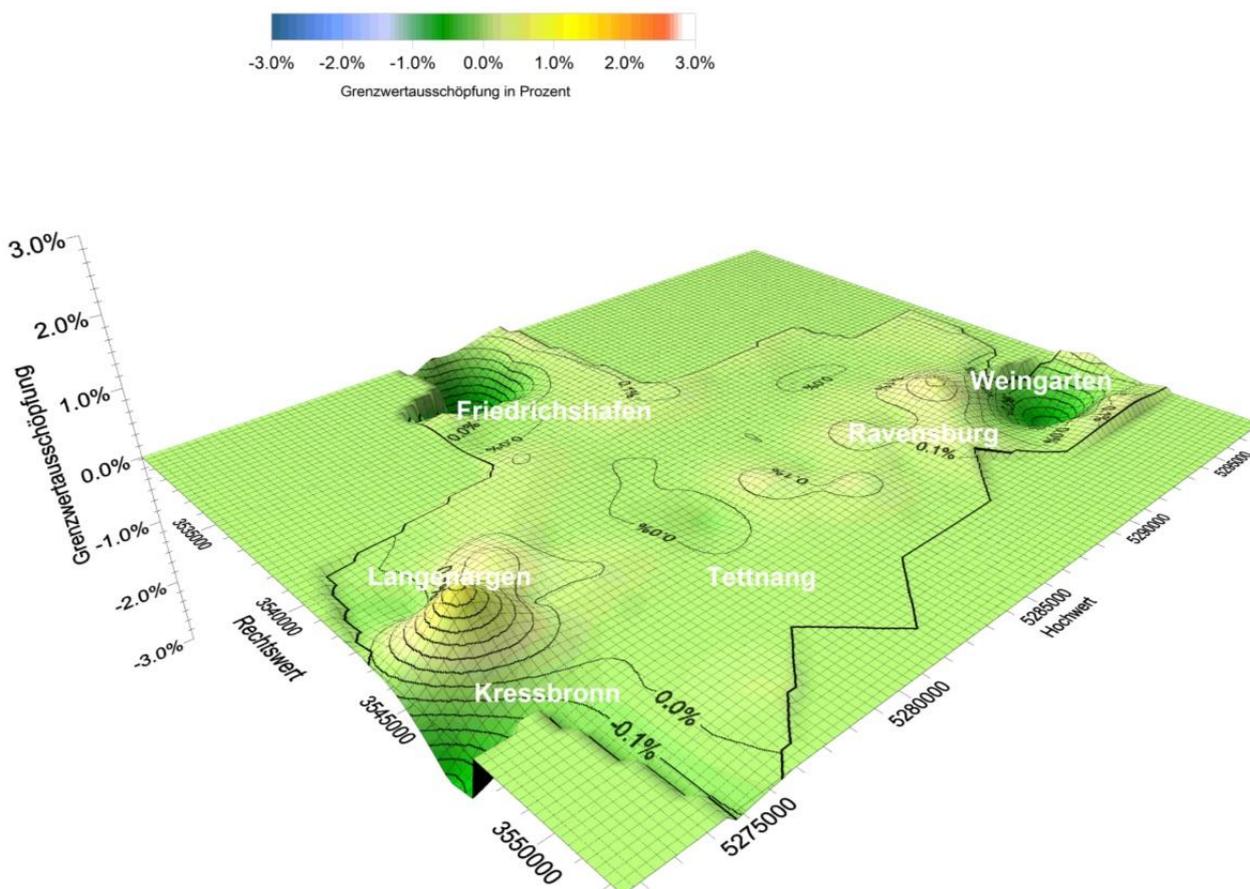


Abb. 97: Regionale Veränderung der Immission im Untersuchungsgebiet Oberschwaben im Vergleich zum Messprogramm 2003 für den GSM Mobilfunk



## 5 Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Messprogramme 2003 und 2009 zeigen insgesamt eine sehr gute Übereinstimmung. Dort wo Abweichungen festgestellt wurden, wie bei den LMK-Sendern in den Untersuchungsgebieten Stuttgart und Mannheim, konnten diese plausibel durch Abschaltung einzelner Sender erklärt werden. Auch der Rückgang der Immissionseinwirkung durch das Fernsehen konnte durch die Einstellung der analogen Technik und der noch nicht vollständigen Aufnahme der Abstrahlung mit digitaler Technik durch alle Programmanbieter begründet werden.

Einzelne Abweichungen konnten auch durch mittlerweile erfolgte Veränderungen im direkten Messumfeld erklärt werden. In den meisten Fällen war die Vegetation die Ursache für eine veränderte Immissionssituation am Messpunkt. Beim Mobilfunk waren meist neue Sendeanlagen oder umgestellte Systemtechnik (GSM900 statt GSM1800) die Ursache für abweichende Messwerte. So haben die Mobilfunknetzbetreiber E-Plus und Telefónica O<sub>2</sub> neue Frequenzbänder im GSM900-Band erhalten. In einigen Fällen wurde hier deswegen die Abstrahlung im GSM1800-Band mit seiner höheren Ausbreitungsdämpfung reduziert und auf GSM900 umgerüstet.

Einen Einfluss auf die festgestellten Immissionswerte im Mobilfunkbereich hat auch die Berücksichtigung des Frequenzhoppings (siehe hierzu Abschnitt A2.6.3 im Anhang). Während in den Jahren 2001 bis 2003, in denen das letzte Messprogramm durchgeführt wurde, Frequenzhopping nur an einzelnen Standorten vor allem von dem Netzbetreiber Vodafone eingesetzt wurde, wird es heutzutage fast überall von allen Netzbetreibern eingesetzt. Bei der Auswertung wurde dies berücksichtigt, so dass eine mögliche Überbewertung der tatsächlichen Immission bis zu einem Faktor 2 vermieden wurde. Bei einem Vergleich mit den Ergebnissen anderer Messprogramme ([29] bis [34]) muss dies beachtet werden. Weiterhin erfolgt in einigen Messprogrammen die Angabe der Ergebnisse in den Einheiten der Leistungsflussdichte ([28], [29] und [32]), die sich quadratisch zur Feldstärke verhält. Die dort angegebenen prozentualen Veränderungen sind daher nicht direkt übertragbar.

Entscheidende Unterschiede bestehen auch in der Messstrategie. Das Monitoring in Bayern [29] konzentrierte sich von vornherein auf bebaute Ortsbereiche. Die 400 Messpunkte lagen daher in keinem Fall weiter als 50 m von einem Wohnhaus entfernt, dafür aber über ganz Bayern gleichmäßig verteilt. Dies hat zur Folge, dass die Mobilfunkimmissionen verstärkt erfasst wurden, die sich ebenfalls vorrangig an den bebauten Bereichen orientieren. Rundfunk- und Fernsehsender, die sich vorwiegend weit außerhalb der Ortsgebiete befinden, wurden indessen geringer gewichtet.

Im vorliegenden Messprogramm wurde hingegen ein festes 2 km x 2 km Raster für die Lage der knapp 600 Messpunkte in ausgewählten vier Untersuchungsgebieten gewählt. Dieser statistische Ansatz gewährleistet damit für die Fläche repräsentative Ergebnisse.

Zusammenfassend seien die wichtigsten Ergebnisse der beiden Messprogramme miteinander verglichen:

- Die Ergebnisse liegen für beide Bundesländer auf einem vergleichbaren Niveau weit unterhalb der Grenzwerte.
- In Bayern stieg der Anteil des *Mobilfunks* an der Gesamtmission von 2003 auf 2007 um 9 % an, in Baden-Württemberg mit der mehr flächenspezifischen Information bis 2009 um 10 %.
- Der Anteil des Fernsehen ging in Bayern bis zum Jahr 2006, wo noch analoges und digitales Fernsehen parallel betrieben wurde, um 4 % der Gesamtmission zurück, wohin-



Industrie Service

gegen in Baden-Württemberg bis 2009, bei mittlerweile komplett abgeschalteten analogem Fernsehen, der Anteil an der Gesamtmission sogar um 9 % abnahm.

Insgesamt bringt das wiederkehrende Monitoring der Funkwellenbelastung in Baden-Württemberg wichtige und zum teils unerwartete Erkenntnisse hinsichtlich der Entwicklung der Gesamtmission.

So gehört zu den wichtigsten Resultaten des Messprogramms, dass die Gesamtmission aufgrund der kompletten Abschaltung des analogen Fernsehens, sowie einzelner Mittelwellensender trotz des Ausbaus der Mobilfunknetze sogar leicht abgenommen hat.

Für eine zukünftige Messstrategie wäre jedoch zu überlegen, ob nicht noch stärker auf einen mehr bevölkerungsgewichteten weniger flächengewichteten Ansatz für die Auswahl der Messpunkte zurückgegriffen wird. Zwar hat sich der Anteil der innerorts gelegenen Messpunkte durch das gezielte Weglassen von Punkten in abgelegenen Gebieten bereits von einem Viertel auf etwa ein Drittel erhöht, dennoch bedeutet dies immer noch, dass zwei von drei Punkten außerhalb von Ortschaften liegen.

Unser Vorschlag wäre daher das Messraster innerorts auf einem Abstand von 1 km zu verdichten - in Großstädten wie Stuttgart evtl. sogar auf 500 m. Im Gegenzug würde es außerorts auf einen Abstand von 4 km ausgeweitet, so dass die Gesamtzahl der Punkte etwa gleich bliebe. Es sollte jedoch Wert darauf gelegt werden, dass möglichst viele Messpunkte des bisherigen Messprogramms beibehalten werden. Denn nur so bleibt die Möglichkeit erhalten, zeitliche Trends festzustellen.



## 6 Literatur

- [1] Elektromagnetische Felder im Alltag, gemeinsame Informationsschrift des LUBW und BLfU; Juni 2009
- [2] [http://ec.europa.eu/health/ph\\_determinants/EMF/ebs272a\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/health/ph_determinants/EMF/ebs272a_en.pdf)
- [3] [www.emf-forschungsprogramm.de /forschung/risikokommunikation/risikokommunikation\\_abges/risiko\\_021\\_AbschlussB.pdf](http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/risikokommunikation/risikokommunikation_abges/risiko_021_AbschlussB.pdf)
- [4] Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (BEMFV) vom 20. 08.2002 (BGBl. I S. 3366)
- [5] Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) vom 16. Dezember 1996 (BGBl. I S. 1966)
- [6] Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV) des Länderausschusses für Immissionsschutz; 2004
- [7] DIN VDE 0848-1 : 08.2000, Sicherheit in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern
- [8] 1999/519/EG; Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz — 300 GHz); Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 199/59
- [9] ICNIRP – Richtlinie 1998, Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, und electromagnetic Fields (up to 300 GHz), Health Physics 74 (4): 494-522; 1998.
- [10] Reg TP MV 09/EMF/3; Messvorschrift für bundesweite EMVU - Messreihen der vorhandenen Umgebungsfeldstärken; Februar 2003; Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post, Bonn
- [11] Großräumige Ermittlung von Funkwellen in Baden-Württemberg, Beschreibung und wissenschaftliche Bewertung des Messvorhabens, Botronic, Stuttgart, 2003
- [12] Großräumige Ermittlung von Funkwellen in Baden-Württemberg, Ergebnisse des Funkwellenmessprojekts 2001 - 2003, Stuttgart, 2003
- [13] Großräumige Ermittlung von Funkwellen in Baden-Württemberg, Messergebnisse Untersuchungsgebiet Stuttgart, Botronic, Stuttgart, 2003
- [14] Großräumige Ermittlung von Funkwellen in Baden-Württemberg, Messergebnisse Untersuchungsgebiet Heidelberg/Mannheim, Botronic, Stuttgart, 2003
- [15] Großräumige Ermittlung von Funkwellen in Baden-Württemberg, Messergebnisse Untersuchungsgebiet Freiburg, Botronic, Stuttgart, 2003
- [16] Großräumige Ermittlung von Funkwellen in Baden-Württemberg, Messergebnisse Untersuchungsgebiet Oberschwaben, Botronic, Stuttgart, 2003
- [17] Bestimmung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung von digitalen Rundfunk- und Fernsehsendern; Bundesministerium für Umwelt, BMU-2007-706, IMST, ISSN 1612-6386, 2007
- [18] Mobilfunk Basisstationen; UMTS - FDD, Messempfehlung, METAS, BUWAL, Entwurf 2003
- [19] Mobilfunk Basisstationen; GSM, Messempfehlung, METAS, BUWAL, 2002
- [20] [www.dc9zp.homepage.t-online.de/antennen.htm](http://www.dc9zp.homepage.t-online.de/antennen.htm)
- [21] DIN EN 50413 (VDE 0848 – 1) : 08.2009; Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen in elektrische, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz)



- [22] Schirmung elektromagnetischer Wellen im persönlichen Umfeld, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, Januar 2008
- [23] Elektromagnetische Schirmung in Gebäuden – Theoretische Grundlagen - , BSI-Technische Richtlinie BSI – TR-03209-1, Bonn, 2007
- [24] Elektromagnetische Schirmung in Gebäuden – Praktische Messungen - , BSI-Technische Richtlinie BSI – TR-03209-12, Bonn, 2007
- [25] Hörfunk- und Fernsehsender in der Bundesrepublik Deutschland, Wittsmoor-Liste; Institut für Rundfunktechnik (IRT), München, 2006
- [26] Arbeitsanweisung U-EMV-A 101; Durchführung hochfrequenter frequenzselektiver Messungen im Rahmen der Großräumigen Ermittlung von Funkwellen in Baden-Württemberg; 2.2009
- [27] Arbeitsanweisung U-EMV-A 102; Auswertung der im Rahmen der Großräumigen Ermittlung von Funkwellen in Baden-Württemberg erhobenen Messdaten; 4.2009
- [28] EMF-Monitoring in Bayern / Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, April 2006; [http://www.lfu.bayern.de/strahlung/fachinformationen/emf\\_messung\\_bewertung/doc/endericht\\_emf.pdf](http://www.lfu.bayern.de/strahlung/fachinformationen/emf_messung_bewertung/doc/endericht_emf.pdf)
- [29] EMF-Monitoring in Bayern 2006/2007, Messungen von elektromagnetischen Feldern (EMF) in Wohngebieten; Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, August 2008
- [30] EM-Institut / IMST GmbH im Auftrag des LfU Bayerns; Möglichkeiten und Grenzen der Minimierung von Mobilfunkimmissionen: Auf Messdaten und Simulationen basierende Optionen und Beispiele, Kapitel 5, Auswertung der Immissionsdatenbank des FEE- Programm; Dezember 2004
- [31] NIS Immissionen in Salzburg, Bundesamt für Kommunikation der Schweiz (BAKOM), Februar 2002
- [32] EMF-Kataster Saar, Langguth, W., HTW Saarland, Newsletter der FGF, März 2007
- [33] Informationszentrum Mobilfunk e.V.; TÜV Nord (EMV Services GmbH),
  - Mobilfunk-Messreihe in Nordrhein-Westfalen, Dezember 2003
  - Mobilfunk-Messreihe in Hessen, Juni 2004
  - Mobilfunk-Messreihe in Niedersachsen, Juni 2005
  - Mobilfunk-Messreihe in Thüringen, Mai 2006
  - Mobilfunk-Messreihe in Sachsen, Juni 2007.
- [34] EMF-Messprojekt Berlin 2008, EM-Institut, Regensburg, Dezember 2008
- [35] Messung der Immissionen elektromagnetischer Felder im Bereich eines Fernsehsenders DVB-T und analoges Fernsehen während der Simulcast-Phase im März 2005; LUA NRW, Materialien Band 70, 2005
- [36] Bestimmung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung von digitalen Rundfunk- und Fernsehsendern, EM-Institut, IMST, im Auftrag des BfS, 2006



Industrie Service

## 7 Danksagung

Ein ganz großes Dankeschön sei Herrn Dennis Kunz für die Durchführung der Messungen vor Ort kompetent und mit großem Einsatz bei allen Wetterlagen ausgesprochen, sowie dem Team bestehend aus Frau Stephanie Schuster, Frau Elisabeth Gritsch und Herrn Florian Inderst, die sich sorgfältig und unermüdlich durch die Datenberge gearbeitet haben und die Auswertblätter erstellt haben.

Weiterhin sei den Mitarbeitern des IHF der Universität Stuttgart, namentlich den Herren Dipl.-Ing. Hermann Buddendick, Dipl.-Ing. Michael Layh und Dipl.-Ing. Marcel Blech gedankt für die sorgfältige Prüfung der Messtechnik und der Auswerterroutinen sowie der Diskussion des Feinkonzepts.

Für wichtige Impulse und Anregungen sowie konzeptionelle Vorschläge sei auch den Herren Dr. Heinrich Menges, Ulrich Ratzel und Martin Hoffmann von der LUBW gedankt.

## Anhang

### A1 Funksysteme

#### A1.1 Kenndaten der erfassten Funkanlagen

Eine gute Zusammenstellung der Charakteristika der erfassten Funkanlagen findet sich in der gemeinsamen Informationsschrift „Elektromagnetische Felder im Alltag“ der LUBW und des bayerischen LfU ([1]). Auf Details wird daher hier nicht weiter eingegangen sondern auf die zitierte Schrift verwiesen. Im Folgenden finden sich nur einige wesentliche Daten der Funkanlagen zusammengefasst und verglichen.

Anlagentyp	Bezeichnung		Frequenz in MHz	typ. ERP <sup>5</sup> Sendeleistung je Standort	typ. Reichweite in km
Rundfunk	Langwelle	LW	0,15 - 0,28	100 – 2.000 kW	> 1000
	Mittelwelle	MW	0,53 - 1,61	100 – 1.000 kW	< 500
	Kurzwellen	KW	3,90 - 26,1	20 - 500 kW	< 500
	Ultrakurzwellen	UKW	87,5 - 108	10 - 250 kW	> 100
	Digitaler Rundfunk	DAB	174 - 230	1 - 20 kW	> 100
Fernsehen	Digitales Fernsehen	DVB-T	470 - 862	50 - 400 kW	> 100
BOS-Funk	digit. Behördenfunk (Polizei, Feuerwehr)	BOS	76 - 480 <sup>6</sup>	0,5 - 1,5 kW	< 50
Betriebsfunk			35 - 480 <sup>13</sup>	< 0,05 kW	< 10
Mobilfunk	GSM900		921 - 960	1 – 40 kW	0,5 - 8
Mobilfunk	GSM1800		1805 - 1880	1 – 20 kW	0,5 - 8
Mobilfunk	UMTS / HSPA		2110 - 2170	1 – 5 kW	0,3 – 1,2
Richtfunk			6000 - 38000	0,5 - 12 kW	< 50
Radar	Luftüberwachung / Militär		1000 - 12000	Impuls - 2000 kW Effektiv < 0,01 kW	> 100

Tab 8: Übersicht über die wichtigsten Kenndaten von Funksendeanlagen im öffentlichen Bereich

#### Rundfunk und Fernsehen

Im Zeitalter des Internet und der digitalen Funktechniken gerät der LMK-Rundfunk ins Hintertreffen. So wurden einige Sender im Mittelwellenbereich in den letzten Jahren stillgelegt. Der UKW-Rundfunk blieb hingegen nahezu unverändert. Er hat nur mit dem digitalen Rundfunk (DAB) einen Konkurrenten bekommen, dessen ERP-Gesamtsendeleistung für Baden-Württemberg bisher jedoch nur 3 % der Sendeleistung der UKW-Sender erreicht ([1]). Rundfunk und Fernsehen wird meist über ungerichtete Rundstrahlantennen abgestrahlt, d.h. die Abstrahlung erfolgt gleichmäßig in alle Himmelsrichtungen.

Beim Fernsehen wurde in den letzten Jahren die Umstellung vom analogen (PAL) zum digitalen Fernsehen (DVB-T) vollzogen. Während der analoge Fernsehfunk in Baden-Württemberg komplett ersetzt wurde, sind in der Grenzregion zu Frankreich noch Einstrahlungen geringen Umfangs

<sup>5</sup> ERP = Equivalent Radiation Power, Sendeleistung bezogen auf einen Dipol

<sup>6</sup> ausgewählte Bereiche

messbar. Auch hatten noch nicht alle privaten Programmanbieter den DVB-T - Sendebetrieb Mitte des Jahres 2009 aufgenommen.



Abb. 98: Standorte von Radio- und Fernsehsendern in Baden-Württemberg und Bayern mit einer installierten Gesamt-Sendeleistung von mindestens 25 kW (aus [1])

Durch die Umstellung ist auch emissionsseitig von einer Verringerung der abgestrahlten Leistungen durch das Ersetzen von analogen Fernsehkanälen durch DVB-T-Kanäle auszugehen. Der Systemgewinn von DVB-T gegenüber dem analogen Fernsehen beträgt etwa 10 dB, wodurch bei gleicher Reichweite mit geringerer Leistung gesendet werden kann (Bsp. Berlin: Reduktion der Gesamtsendeleistung von 3500 kW =Synchronspitzenleistung) auf 800 kW (=Effektivleistung), typische Leistungsklassen: ca. 50 kW je Kanal) [35]. Mittlerweile ist aber an vielen Standorten vor allem die Sendeleistung im UHF-Bereich wieder angehoben worden (50 kW je Sendekanal, aber auch 100 kW sind an vielen Standorten wieder üblich).

### Mobilfunk

Beim Mobilfunk schreitet die Technik schnell voran. Der Trend geht von der reinen Gesprächsübermittlung vermehrt zur Übertragung größerer Datenmengen mit entsprechend benötigter hoher Datengeschwindigkeit. Dafür ist in der Regel auch eine höhere Netzqualität verbunden mit höherer Sendeleistung oder dichterem Netzabstand der Standorte erforderlich.

Mobilfunktechnik	GSM	EDGE	UMTS	HSDPA	LTE
maximale Sendeleistung Handy	2 W	2 W	0,25 W	0,25 W	?
Mobilfunkmast	10 W	17 W - 30 W	20 - 24 W	27 - 32 W	??
Datenrate in MBit/s	0,01	< 0,5	< 2	< 7	< 100
Frequenz in MHz	900 / 1.800	900 / 1.800	2.100	2.100	800
Typ. Zellradius, bebautes Gebiet	1 - 2 km	1 - 2 km	600 m / 1200 m	300 m	1 – 2 km
Inbetriebnahme	1992	2006	2004	2007	Ab 2011

Tab 9.: Entwicklung des Mobilfunks über die Jahre



Industrie Service

Mobilfunk wird meist mit gerichteten Antennen abgestrahlt, ähnlich einem Autoscheinwerfer. Damit erfolgt eine Konzentration der eigentlichen abgestrahlten Leistungsdichte in einem engen Winkelsegment und damit einhergehend eine Verstärkung um das 20 bis 80fache.

### **BOS-Tetra**

Das digitale BOS-Netz wird auf Tetra-Basis seit einigen Jahren aufgebaut. Die Abstrahlung erfolgt zwischen 440 und 470 MHz mit einer typischen Sendeleistung zwischen 10 und 15 Watt je Sendekanal. Die Senderdichte ist derzeit noch verhältnismäßig gering. Wie beim Mobilfunk werden an einigen Standorten auch gerichtete Antennen eingesetzt.

### **Flugfunk**

Wie aus der Übersicht der gemessenen Frequenzbänder hervorgeht, sind im VHF Bereich oberhalb der UKW-Rundfunkfrequenzen Flugfunkdienste etabliert. Es handelt sich dabei im Wesentlichen um den Frequenzbereich von 117,975 MHz bis 137 MHz, indem in internationaler Koordination insgesamt über 2000 Sprachkanäle in einem 8,33 kHz Raster verteilt sind. Darüber hinaus gibt es noch weitere dem Flugfunk vorbehaltene Frequenzen. Einzelnen Flughäfen und Flugplätzen sind dabei eine oder mehrere Frequenzen zugewiesen. Das Sprachsignal wird amplitudenmoduliert übertragen und die Sendeleistungen sind verhältnismäßig gering (< 50 W). Es werden üblicherweise Antennen ohne stärkere Richtwirkung eingesetzt. Im Rahmen der vorliegenden Immissionsmessungen kommt diesen Diensten keine besondere Bedeutung zu.

### **Radar**

Flugsicherungsradaranlagen zur Luftraumüberwachung arbeiten unter anderem in den Frequenzbereichen von 1,25 GHz bis 1,26 GHz, 1,34 GHz bis 1,35 GHz und 2,7 GHz bis 2,9 GHz und fallen somit auch in das gemessene Spektrum.

Die abgestrahlten Spitzenleistungen im Pulsbetrieb können dabei mehrere 10 MW betragen und die Energie wird durch Reflektorantennen oder Antennenarrays stark gebündelt abgestrahlt. Es werden jedoch nur sehr kurze Impulse gefolgt von einer verhältnismäßig langen Pause gesendet. Die effektive, mittlere Leistung ist daher viel geringer als eine eventuell während eines Messvorganges im *Max-Hold*-Modus erfasste Maximalleistung. Derartige Fälle können also die Messergebnisse entsprechend der geschilderten Auswertung stark verfälschen (Überbewertung) und sind daher zu ignorieren oder zumindest gesondert zu betrachten.

Mit vergleichbarer Technik arbeiten Wetterradaranlagen. In unmittelbarer Nähe zum Messgebiet liegt z.B. die Anlage des Deutschen Wetterdienstes auf dem Feldberg. Wie die anderen Anlagen des DWD auch arbeiten diese jedoch im C-Band (5,64 GHz) außerhalb des hier betrachteten Frequenzbereiches. S-Band Wetterradarsysteme (2,7-2,9 GHz) werden zurzeit z.B. in Südfrankreich und Italien betrieben, haben aber aufgrund ihrer Reichweite keinen Einfluss auf die Messungen.

Darüber hinaus gibt es weitere Radaranwendungen zum Beispiel in der Binnenschifffahrt. Aus oben genannten Gründen sind auch diese für die vorliegende Studie ohne weitere Bedeutung.

## **A1.2 Zukünftige Entwicklung und deren Einfluss auf die Immissionssituation**

Für die Zukunft ist eine weiter wachsende Zahl von Anwendungen und Diensten zu erwarten, die mit elektromagnetischen Wellen als Informationsträger operieren oder deren Eigenschaften zur sensorischen Erfassung der Umgebung eingesetzt werden. Dies zeichnet sich im privaten, öffentlichen und industriellen Umfeld ab.



Industrie Service

Im Bereich des öffentlichen Mobilfunk ist die Standardisierung und Entwicklung des UMTS Nachfolgesystems LTE (Long Term Evolution) bereits weit fortgeschritten. Wichtige Bestandteile dieser Entwicklung sind der Einsatz von OFDM (mit einer Modulation bis zu 64 QAM) und Mehrantennensystemen (MIMO). Vermutlich ab 2010 werden weltweit die ersten LTE Netze operativ in Betrieb gehen. Wann in Deutschland jedoch erste großflächige Netze aufgebaut werden ist heute jedoch noch schwer abzuschätzen.

Unabhängig von der verwendeten Mobilfunktechnologie ist eine weitere Verfeinerung der Netzstrukturen zu beobachten. Dies hängt mit der bereitzustellenden Übertragungskapazität und insbesondere auch mit den geforderten effektiven Datenraten zusammen. In diesem Zusammenhang sei auf die Entwicklung von Pico- und Femto-Zellen verwiesen, die eine auf Mobilfunktechnologie basierende Luftschnittstelle mit Festnetzanbindung in der häuslichen Umgebung bereitstellen sollen.

Im Hinblick auf die Immissionssituation, wie sie in dieser Studie ermittelt wurde, wäre ein Ende der Nutzung der heutigen GSM Frequenzen natürlich ein relevantes Ereignis. Nachdem die deutschen Netzbetreiber sich jedoch die Option zur Weiternutzung der ersten, ursprünglich bis Ende 2009 laufenden GSM-Lizenzen erworben haben (bis 2016), ist hier in nächster Zeit wohl mit keiner größeren Veränderung zu rechnen.

Ebenfalls mit OFDM und MIMO Technologie arbeiten WiMAX Funkssysteme, die in Varianten für ortsfeste Punkt-zu-Punkt Verbindungen und auch mobilen Betrieb spezifiziert sind. Ob diese Systeme eine für diese Studie relevante breite Verwendung finden und einen signifikanten Beitrag zur Immissionssituation in den relevanten Bändern (3,5 GHz bzw. 5,5 GHz) liefern werden ist zurzeit jedoch eher fraglich.

In dieser Studie nicht explizit erfasst wurden die Auswirkungen diverser Kurzstrecken Funk- und Datendiensten, die im privaten wie auch im beruflichen Bereich eine stark zunehmende Verbreitung finden. Dazu gehören unter anderem DECT, die verschiedenen WLAN Standards (IEEE 802.11 b/g/n/a), Bluetooth und RFID. Insbesondere auch durch die Anfang 2008 erfolgte Freigabe des Frequenzbereiches von 3,1 GHz bis 10,6 GHz für Ultrabreitbandssysteme (UWB) sind hier zahlreiche neue Applikationen zu erwarten. Diese Systeme arbeiten üblicherweise mit einer sehr kleinen Sendeleistung, emittieren jedoch je nach Anwendung zum Teil sehr dicht oder sogar direkt am menschlichen Körper, sodass sich hieraus ganz neue Immissionssituationen ergeben können.

Generell ist bei den verschiedenen Techniken für mobile Funkdienste aufgrund gegebener Rahmenbedingungen eine Entwicklung in Richtung effizienterer Nutzung des Frequenzspektrums zu beobachten. Dies umfasst die Bereiche des Systemkonzepts wie Signalform, Zugriffsmechanismen und Antennenkonzepte aber auch die Anlagenauslegung und Planung der Netze. Dies führt im Allgemeinen zu geringeren Sendeleistungen, kürzeren Übertragungstrecken und stärker bündelnden Abstrahlungscharakteristiken einzelner Verbindungen. Bezogen auf die Immissionssituation, wie sie in dieser Studie ermittelt wurde bedeutet dies, dass die ermittelten Werte weniger repräsentativ wären, da die Immissionssituation in wachsendem Maße für verschiedene Szenarien erheblich variieren könnte und zusätzlich stark vom individuellen persönlichen Verhalten abhängig wäre.

Weiterhin sind mit dem Regulierungsziel "Effizientere Frequenznutzung" bereits europäische Rahmenrichtlinien überarbeitet worden und durch technologische Entwicklungen wird in Zukunft ein deutlich flexiblerer Zugriff auf die begrenzte Ressource "Funkfrequenzen" möglich sein. Dies bedeutet insbesondere eine störungsfreie Koexistenz verschiedener Technologien mit adaptiver und priorisierter Nutzung desselben Frequenzbands.



Industrie Service

## **A2 Messung und Auswertung**

### **A2.1 Messgrößen**

Für die Beurteilung der Intensität hochfrequenter elektromagnetischer Felder werden üblicherweise die folgenden Größen verwendet [7]:

Der Effektivwert der elektrischen Feldstärke  $E$  in Volt pro Meter.

Der Effektivwert der magnetischen Feldstärke  $H$  in Ampere pro Meter.

Die Leistungsflussdichte  $S$  in Watt pro Quadratmeter oder Mikrowatt pro Quadratmeter  
(1 Mikrowatt = 1 Millionstel Watt).

Die Leistungsflussdichte in Watt pro Quadratmeter gibt die durch eine Fläche von einem Quadratmeter pro Zeiteinheit fließende Energie an, die durch ein hochfrequentes elektromagnetisches Wellenfeld transportiert wird.

Im Fernfeld einer Antenne stehen Leistungsflussdichte, elektrische und magnetische Feldstärke in einem festen Verhältnis zueinander. Alle drei Größen sind im Fernfeld also äquivalent, ähnlich wie Stromaufnahme und Leistungsverbrauch bei Elektrogeräten. Bei den hier durchzuführenden Messungen ist der Abstand zu den Antennen üblicherweise so groß, dass von Fernfeldbedingungen ausgegangen werden kann. Für die Beurteilung der Feldintensität genügt daher die Angabe einer dieser drei Größen. In den Auswertebölgern wird die elektrische Feldstärke als Bezugsgröße für die ermittelten Immissionen verwendet, um einen direkten Vergleich mit den in der 26. BImSchV angegebenen Grenzwerten zu ermöglichen.

### **A2.2 Messorte**

Die Feldstärken der hochfrequenten elektromagnetischen Wellen werden in vier Regionen Baden-Württembergs in einem vorgegebenen Gitternetz mit 2 Kilometer Maschenweite erfasst, dokumentiert, ausgewertet und wissenschaftlich bewertet. Die Messorte sind unabhängig von Standorten von Funksendeanlagen festgelegt. Die Anzahl der Messpunkte in den Gemeinden ist daher ausschließlich von der Gemeindefläche abhängig.

Die Messungen wurden im Freien an insgesamt 598 Punkten durchgeführt. Das Messpunktraster wurde von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, vorgegeben. Die Messpunkte wurden anhand der Koordinaten des Messprogramms 2003 angefahren. Die Fein- festlegung folgt letztendlich jedoch anhand der damals gemachten Fotos, da es in vielen Fällen Abweichungen von einigen Metern zum tatsächlichen Messpunkt nach Foto und den Koordinaten gab. Ursache ist vermutlich die Ungenauigkeit des GPS-Systems sowie die Positionsbestimmung vom Fahrzeug aus. Einzelne Messpunkte, insbesondere zu Beginn des Messprogramms konnten nicht vollständig angefahren werden, wegen der im Frühjahr noch aufgeweichten Feldwege. Zwei der vorgegeben Messpunkte konnten gar nicht erreicht werden. Diese lagen immer in größeren Waldgebieten und die Zufahrt war durch eine abgeschlossene Schranke versperrt. Insgesamt war es daher möglich die Funkwellen an 598 Messpunkten im Frequenzbereich von 9 kHz bis 3 GHz zu ermitteln.

Gegenüber dem Messprogramm 2003 wurde die Anzahl der Messpunkt um etwa ein Drittel vermindert, wobei die meisten Messpunkte außerhalb von bebauten Gebieten und am Rand der Messgebiete weggefallen sind. Verkleinert wurde dabei vor allem das Untersuchungsgebiet Stuttgart. Da hingegen die Anzahl der Messpunkte in Oberschwaben gleich geblieben ist, ist dessen Anteil um 5 Prozent gewachsen (Abb. 99).



Abb. 99: Aufteilung der Messpunkte auf die Untersuchungsgebiete

Veränderungen ergaben sich auch gegenüber 2003 hinsichtlich der Aufteilung der Messpunkte auf erfasste Bereiche innerhalb und außerhalb geschlossener Ortschaften. Da im neuen Messprogramm vorwiegend Messpunkte außerhalb geschlossener Ortschaften gestrichen wurden, erhöhte sich der Anteil der Messpunkte innerhalb geschlossener Ortschaften von 25 % im Jahr 2003 auf 33 % im Jahr 2009.

Innerhalb der einzelnen Untersuchungsgebiete liegt der Anteil der innerorts gelegenen Messpunkte zwischen 25% (Oberschwaben) und 49% (Mannheim-Heidelberg), was hauptsächlich auf die unterschiedliche Besiedlungsdichte zurückzuführen ist (Abb. 100).

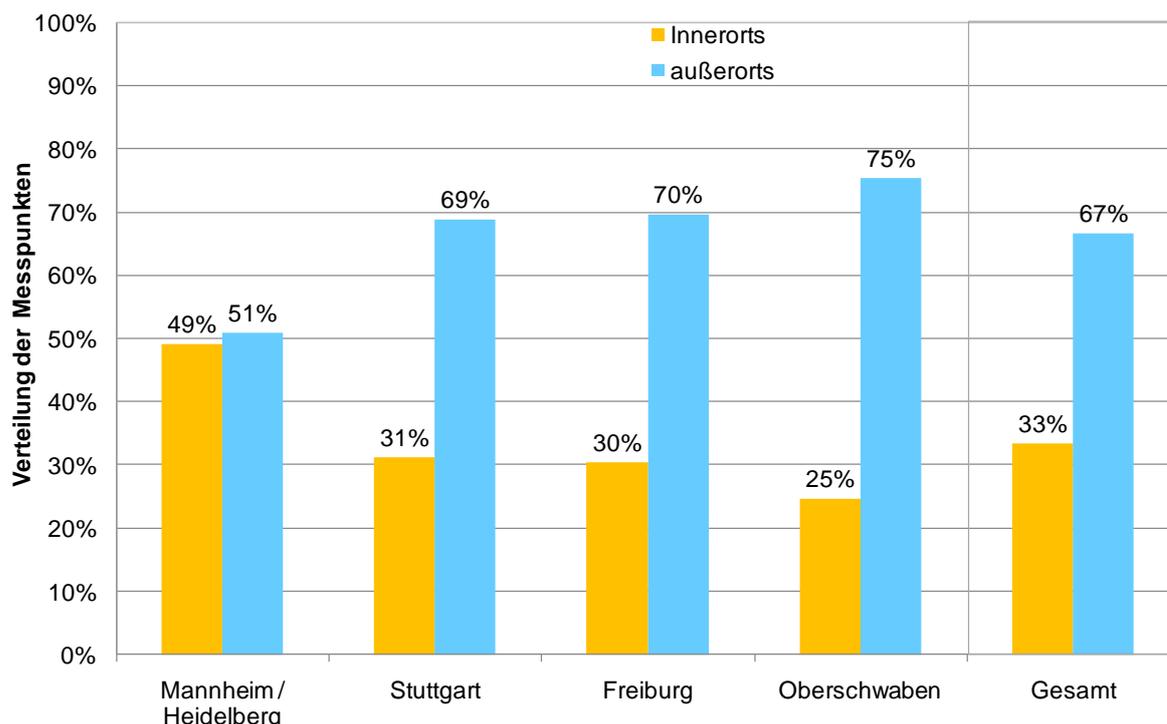


Abb. 100: Aufteilung der Messpunkte auf Lage inner- und außerorts im Jahr 2009

Begonnen wurden die Messungen im März 2009 im Raum Stuttgart-Flughafen. Danach folgten die Messungen in den Untersuchungsgebieten Mannheim/Heidelberg und Freiburg. Im Untersuchungsgebiet Oberschwaben wurden die Messungen schließlich im August 2009 abgeschlossen.

Insgesamt wurden mit den Messungen etwa sieben Prozent der Landesfläche von Baden-Württemberg erfasst. Lage und Größe der vier Untersuchungsgebiete finden sich im Abschnitt 4.2



detaillierter zusammen gefasst mit Angaben zu den wichtigsten leistungsstarken Sendeanlagen in der Region.

Die Durchführung der Messungen war auf Werktage zwischen 08:00 und 20:00 Uhr beschränkt. Bei nennenswertem Niederschlag wurden keine Messungen vorgenommen.

### A2.3 Messtechnik

Für die Ermittlung der Funkwellen in Baden-Württemberg wurden folgende qualitätsgesicherte und kalibrierte Messgeräte eingesetzt:

Prüfgerät / -einrichtung	Typ	Hersteller	Geräte-Nr.	Letzte Kalibrierung
Spektrumanalysator (9 kHz bis 3 GHz)	FSP3	Rhode& Schwarz	100627	10.11.2008
Spektrumanalysator (100 kHz bis 3 GHz)	SRM3000	Narda STS	BN3001/1	11.02.2009
Aktive magnetische Rahmenantenne (9 kHz bis 30 MHz)	HFH2-Z2	Rhode& Schwarz	835776/017	25.02.2009
Rahmenantenne (20 MHz bis 250 MHz)	HE200-1	Rhode& Schwarz	100402	23.02.2009
Bikonische Antenne (250 MHz bis 3000 MHz)	SBA 9113B	Schwarzbeck	SBA 9113-312	19.08.2008
Messkabel (Länge 3 m)	AK9531	Schwarzbeck	95321 bis 12.05.09 <sup>7</sup> 95696 ab 18.05.09	19.08.2008 13.05.2009

Tab 10: Verwendete Messtechnik

Das Messprogramm 2003 wurde von bis zu drei Messteams mit unterschiedlicher Messtechnik durchgeführt. Bei Vergleichsmessungen an zwei Messpunkten wurden Abweichungen zwischen den Messteams bis zu 25 % festgestellt. Um diese mögliche Fehlerquelle zu vermeiden, wurden alle Messpunkte von einem Messteam mit einem Messgerätesatz vermessen.

Neben dem Spektrumanalysator bestimmt vor allem die verwendete Messantenne die Empfindlichkeit des gesamten Messsystems. Der Antennenfaktor bestimmt als Wandlungsmaß das Verhältnis zwischen der von der Antenne erfassten elektrischen Feldstärke und der am Antennenfußpunkt anliegenden Hochfrequenzspannung. Der Antennenfaktor ist frequenzabhängig. Ein hoher Antennenfaktor bedeutet eine niedrige resultierende Spannung am Antennenfußpunkt und damit eine schlechte Empfindlichkeit des Messsystems.

Die Antennenfaktoren der im Messprogramm eingesetzten Antennen in Abhängigkeit von der Frequenz ist in Abb. 101 dargestellt. Es wurde darauf geachtet, dass ein Wert von 45 dB/m für den Antennenfaktor nicht überschritten wird.

<sup>7</sup> Bei den regelmäßigen Qualitätskontrollen wurde von der IHF festgestellt, dass das Kabel am Rande der zulässigen Toleranz lag. Es wurde daher ausgemustert und die Messung ab 20.05. mit dem neuen Kabel fortgesetzt.

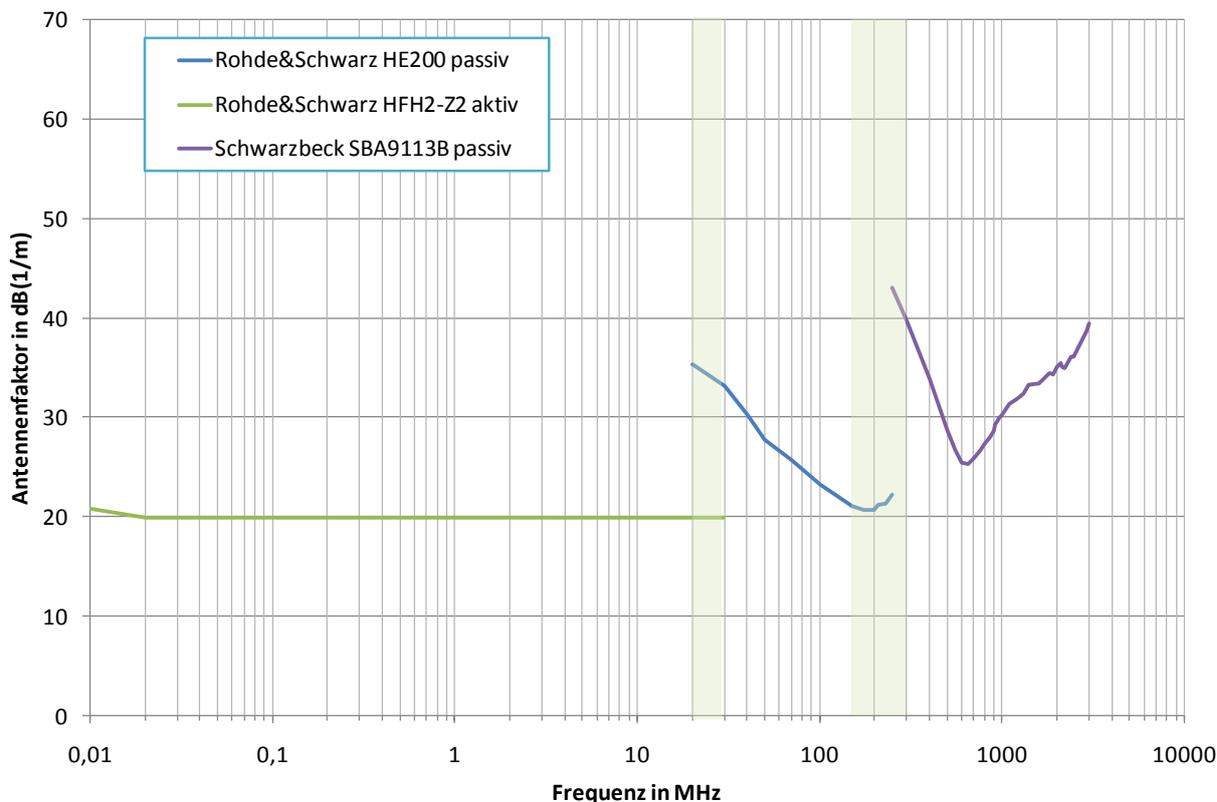


Abb. 101: Antennenfaktoren der eingesetzten Antennen

## A2.4 Messdurchführung

Vor Beginn des Messprogramms wurde unter Mitwirkung des Instituts für Hochfrequenztechnik der Universität Stuttgart (IHf) ein konkretes Feinkonzept erstellt, welches das grundsätzliche Vorgehen darstellt, die eingesetzten Messverfahren und -parameter, den Umfang der Dokumentation und die Qualitätssicherungsmaßnahmen.

Dabei wurde insbesondere Augenmerk darauf gelegt, dass:

die Daten vergleichbar sind mit den Ergebnissen des Funkwellenmessprojekts 2003, d.h. es werden möglichst dieselben damaligen Frequenzbänder mit dem Peak-Detektor gemessen; neue digitale Funktechniken wie DVB-T, DAB, UMTS, digitaler BOS-Funk jeweils aufgrund der rauschähnlichen Signalstruktur mit hohem Crestfaktor richtig mit RMS-Detektor bzw. bei dem Gerät SRM3000 der Fa. Narda im „Safety Evaluation“-Modus (SE) [17] mit passender Messbandbreite (RBW) erfasst werden.

Dadurch wird einerseits die Veränderung gegenüber dem Jahr 2003 in den damals gemessenen Frequenzbändern dokumentiert, andererseits aber auch eine Aussage über die neu hinzugekommenen Techniken und damit zu erfassenden Frequenzbändern gemacht.



Nr.	Spektrums-analysator	Detektor Betriebsart	Frequenzband	Start-frequenz	Stopp-frequenz	Messband-breite	Sweep-time	Anzahl Einzelwerte	Bemerkungen
1	FSP 3	RMS	LW / MW	9 kHz	2 MHz	10 kHz	20 ms	512	Messparameter entsprechen dem im Messprojekt 2003 gemessenen Frequenzbändern
2	SRM	Peak	KW	2 MHz	30 MHz	10 kHz	300 ms	2800	
3	SRM	Peak	UKW	80 MHz	130 MHz	100 kHz	200 ms	500	
4	SRM	Peak	TV-I und III	20 MHz	250 MHz	1 MHz	200 ms	230	
5	SRM	Peak	TV-IV und V	250 MHz	860 MHz	1 MHz	200 ms	610	
6	SRM	Peak	Übersicht	860 MHz	3000 MHz	1 MHz	300 ms	2140	
7	SRM	Peak	GSM900	920 MHz	960 MHz	200 kHz	200 ms	200	
8	SRM	Peak	GSM1800	1805 MHz	1880 MHz	200 kHz	200 ms	375	
9	SRM	SE	UMTS	2100 MHz	2200 MHz	30 kHz	180 ms	-	Messparameter spezifisch auf digitale Funksignale angepasst
10	SRM	SE	DAB (VHF)	174 MHz	230 MHz	10 kHz	340 ms	-	
11	SRM	Peak	BOS-Band	380 MHz	470 MHz	30 kHz	320 ms	3000	
12	SRM	SE	DVB-T (VHF)	470 MHz	860 MHz	50 kHz	300 ms - 500 ms	-	regionalspezifisch ausgewählte Kanäle
13	SRM	Peak	Flugfunk	130 MHz	200 MHz	100 kHz	220 ms	700	Bedarfsabhängig gemessene Frequenzbänder
14	SRM	Peak	Radar	1000 MHz	1100 MHz	1 MHz	200 ms	100	
15	SRM	SE	DAB (L-Band)	1450 MHz	1500 MHz	10 kHz	300 ms	-	
16	SRM	Peak	Radar	2800 MHz	2900 MHz	1 MHz	200 ms	100	

Tab 11: Messparameter für die Erfassung der Funkwellen

Die Frequenzbänder 1 bis 8 entsprechen dabei den im Funkwellenmessprojekt 2003 erfassten Bereichen, die Bänder 9 bis 12 und 14 den aufgrund der digitalen Technik neu mit zu messenden Bereichen.

Spezielle Frequenzen außerhalb des Standardmessprogramms wie Flugfunk, Radar und DAB-Sender im L-Band (Frequenzbänder 13 bis 16) werden bei Bedarf, d.h. bei Vorhandensein nennenswerter Immissionen, zusätzlich betrachtet.

Die Messung der digitalen Signale wird dabei nicht im spektralen Modus sondern in Form von Kanalleistungsmessungen im Mode „Safety Evaluation“ (SE) durchgeführt. Die Messbandbreite RBW wird kleiner als ein Prozent der Signalbandbreite gewählt. Es wird dabei darauf geachtet, dass die Sweepzeiten ausreichend kurz für die Schwenkmethode sind, mit denen die Messungen durchgeführt werden sollen, aber lang genug damit der RMS-Detektor genügend Zeit für die präzise statistische Erfassung des Messsignals hat.

Die Schwenkmethode hat sich mittlerweile als zuverlässigste Methode in vielfältigen Vergleichsuntersuchungen gegenüber anderen Verfahren durchgesetzt, um auch kleinräumige Schwankungen, die durch Abschattungen und Interferenzen entstehen, erfassen zu können [17] - [19]. Bei einem 360° Schwenk unter Variation der Höhe und Polarisationsrichtung der Antenne wird ein zylindrischer Raum mit Durchmesser von ca. 2 m und einer Höhe zwischen 1 m und 1,5 m vermessen.

Bei der Loopantenne HFH2-Z2 wurde dazu der Rahmen langsam (ca. 5 bis 10 s) einmal um 180° gedreht. Die Messperson steht dabei seitlich des Rings und dreht ihn mit ausgestrecktem Arm.

Die Antennen HE200 und SBA 9113B wurden händisch in vertikaler Polarisierung in leichter Wellenbewegung in einer Höhe von etwa 1,5 m 360° um die Messperson geschwenkt. Anschließend wurde die Antenne um 90° gedreht, um auch die horizontale Polarisierung zu erfassen und wieder um 360° zurückgeschwenkt. Bei der unmittelbaren Nähe zu Mobilfunksendern, insbesondere UMTS-Anlagen, wurde zusätzlich ein Hin- und Rückschwenk in Richtung der Sendeanlagen auch für die Polarisationswinkel +/- 45° durchgeführt.



Die Schwenkgeschwindigkeit wurde dabei jeweils langsam genug bezogen auf die Messgeschwindigkeit des Spektrumanalysators gewählt. Für einen 360° Schwenk wird etwa das 20fache der Sweeptime als ausreichend angenommen.

Die Messungen wurden aufgrund der zulässigen Geräteeinsatzbedingungen des Spektrumanalysators FSP 3 nur bei Temperaturen über 5 °C am Gerät durchgeführt. Bei niedrigeren Außentemperaturen wurde das Gerät im Fahrzeug belassen und überprüft, dass die Temperatur am Gerät über 5 °C liegt. Der Spektrumanalysator SRM 3000 und die Antennen können bis – 10 °C eingesetzt werden. Die Messungen wurden möglichst bei trockenem Wetter durchgeführt. Dies geschieht vor allem wegen der Gefahr einen Kriechstrom oder gar einen Kurzschluss durch nasse Steckverbindungen zu erzeugen. Daher wurden die Messungen gegebenenfalls nur kurzzeitig bei gerade einsetzenden leichten Regen weitergeführt.

Bei schlechtem Wetter wird das Signal in Abhängigkeit von der Frequenz und der Ausdehnung der Regenfront (in km) um einen frequenzabhängigen Betrag gedämpft, der mit der nachfolgenden Tabelle abgeschätzt werden kann.

Frequenz	435 MHz	1.2 GHz	2.4 GHz	10.5 GHz
Sprühregen	$2,2 \times 10^{-8}$	$1,5 \times 10^{-6}$	$1,5 \times 10^{-4}$	0,22
leichter Regen	$1,0 \times 10^{-6}$	$2,0 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-3}$	0,08
mäßiger Regen	$3,0 \times 10^{-6}$	$7,0 \times 10^{-5}$	$3,0 \times 10^{-3}$	0,28
starker Regen	$7,5 \times 10^{-6}$	$1,5 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-2}$	0,60
Schauer	$1,0 \times 10^{-5}$	$3,0 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-2}$	1,5

Tab 12: Dämpfung in dB/km bei Regenwetter [20]

Demnach ist der Einfluss bei Sendern mit geringer Reichweite im gesamten untersuchten Frequenzbereich zu vernachlässigen. Sender hoher Reichweite wie LMK- oder TV Sender arbeiten jedoch bei niedrigen Frequenzen. Da andererseits in diesem Bereich die Dämpfung durch Niederschläge gering ist, spielen Regenfronten zwischen Messpunkt und Sender auch für diese Sendergruppe nur eine zu vernachlässigende Rolle.

## A2.5 Messunsicherheit

Jedes Messergebnis ist mit einer Messunsicherheit behaftet. Die gesamte Messunsicherheit setzt sich aus zwei Beiträgen zusammen:

**Messunsicherheit der Messeinrichtung:** Hier werden alle instrumentenbedingten Unsicherheiten zusammengefasst, also z.B. Messunsicherheiten des Messgerätes und von Zuleitungskabeln bzw. Antennen.

**Methodenbedingte Unsicherheit:** Diese umfasst die Unsicherheit der Probenahme, die sich z.B. aus individuell unterschiedlichen Vorgehensweisen verschiedener Messpersonen bei der Abtastung des Messvolumens ergeben. Außerdem werden Unsicherheiten, die sich durch Verwendung der Messgeräte (insbesondere Antennen) nicht unter Laborbedingungen, sondern in realen Umgebungen ergeben, berücksichtigt.

Die konkrete Vorgehensweise zur Berechnung der Messunsicherheit bei Immissionsmessungen von elektromagnetischen Feldern ist in der DIN EN 50413 [21] beschrieben und beispielhaft für die Messung mit dem Analysator SRM3000 und der Antenne SBA9113B in Tab 13 dargestellt. Die anderen verwendeten Kombinationen an Messgeräten kommen zu ähnlichen Werten.



	Analysator:	SRM3000				
	Antenne:	SBA 9113B				
	Kabel:	AK9153				
Komponente	Einflussfaktor	Quelle	festgelegte Unsicherheit	Verteilung	Divisionsfaktor	Standardunsicherheit
Analysator	Frequenzgang	Kal	0,50 dB	Normal	2	0,25 dB
Analysator	Unsicherheit des angezeigten Ablesewerts	Dbl	1,10 dB	Rechteck	1,73	0,64 dB
Antennenkabel	Kalibrierunsicherheit	Kal	0,50 dB	Normal	2	0,25 dB
Antennenkabel	Kabeldämpfungs-Frequenzinterpolation	S	0,10 dB	Rechteck	1,73	0,06 dB
Antenne	Kalibrierunsicherheit	Kal	1,00 dB	Normal	2	0,50 dB
Antenne	Antennenfaktor-Frequenzinterpolation	S	0,10 dB	Rechteck	1,73	0,06 dB
Fehlanpassung	durch Reflektionen verursachte Unsicherheit	S	0,80 dB	U-förmig	1,41	0,57 dB
Wiederholbarkeit	begrenzte Wiederholbarkeit	S	2,30 dB	Normal	2	1,15 dB
Kombinierte Standardunsicherheit:						1,56 dB
Erweiterungsfaktor:						2
<b>erweiterte Standardunsicherheit:</b>						<b>3,12 dB</b>
<b>umgerechnet in Prozent:</b>						<b>43,2%</b>
Kal: Kalibrierung						
Dbl: Datenblatt						
S: Schätzung						

Tab 13: Unsicherheitsbewertung nach DIN EN 50413 beispielhaft für Messungen mit dem Analysator SRM3000 und Antenne SBA 9113B [21]

Für die obige Berechnung sollen deswegen nur diejenigen Teilbeiträge näher erläutert werden, die in die Berechnung der Gesamtmessunsicherheit eingehen.

### Messgerät

Hier werden diejenigen Unsicherheitsbeiträge primär bezüglich der Amplitudengenauigkeit übernommen, die der Hersteller in der Produktdokumentation spezifiziert hat.

### Antenne, Kabel

Ausschlaggebend ist hier die Kalibriergenauigkeit der Antenne, die dem jeweiligen Kalibrierbericht des Herstellers zu entnehmen ist. Antennen werden aber in der Regel nur bei einigen ausgewählten Frequenzpunkten kalibriert, weswegen sich bei der Interpolation für dazwischen liegende Werte auch eine Unsicherheit ergibt.

Zusätzlich ergeben sich durch Anschluss des Kabels an Antenne und Spektrumanalysator Fehlanpassungen, die ebenfalls berücksichtigt werden müssen.

Die geschätzten Werte basieren auf vergleichbaren ausführlichen Untersuchungen zum Thema wie sie beispielsweise in [17] oder [19] zu finden sind.



## A2.6 Auswertung der Messungen

Grundsätzlich muss jedes Funksignal die Grenzwerte der 26. BImSchV [5] einhalten. Im Frequenzbereich unter 10 Megahertz (MHz), wo die 26. BImSchV keine Grenzwerte vorgibt, werden gemäß § 3 Abs. Nr. 1 und Nr. 2 der Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (BEMFV) [4] die Referenzwerte der Empfehlung 1999/519/EG [8] des Europäischen Rates herangezogen.

Zusätzlich ist jedoch die Summationswirkung mehrerer Funksignale zu berücksichtigen. Dazu sind nach der EU-Empfehlung 1999/519/EG [8] mehrere Bedingungen einzuhalten.

Bei induzierten Stromdichten und elektrischen Stimulationseffekten **bis 10 MHz** sind die beiden folgenden Anforderungen an die Feldniveaus zu erfüllen:

$$\sum_{i=1 \text{ Hz}}^{1 \text{ MHz}} \frac{E_i}{E_{L,i}} + \sum_{i>1 \text{ MHz}} \frac{E_i}{a} \leq 1 \quad (\text{Anforderung 1})$$

und

$$\sum_{j=1 \text{ Hz}}^{150 \text{ kHz}} \frac{H_j}{H_{L,j}} + \sum_{j>150 \text{ kHz}} \frac{H_j}{b} \leq 1 \quad (\text{Anforderung 2})$$

Dabei ist:

- $E_i$  die elektrische Feldstärke bei der Frequenz  $i$ ;
- $E_{L,i}$  der Referenzwert der elektrischen Feldstärke nach Tabelle 2 der 1999/519/EG;
- $H_j$  die magnetische Feldstärke bei der Frequenz  $j$ ;
- $H_{L,j}$  der Referenzwert der magnetischen Feldstärke nach Tabelle 2 der 1999/519/EG;
- $a$  beträgt 87 V/m,  $b$  beträgt 5 A/m (6,25  $\mu$ T).

Für thermische Wirkungen ab 100 kHz gelten für die Feldniveaus die beiden folgenden Anforderungen:

$$\sum_{i=100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i}{c}\right)^2 + \sum_{i>1 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}}\right)^2 \leq 1 \quad (\text{Anforderung 3})$$

und

$$\sum_{j=100 \text{ kHz}}^{150 \text{ kHz}} \left(\frac{H_j}{d}\right)^2 + \sum_{j>150 \text{ kHz}} \left(\frac{H_j}{H_{L,j}}\right)^2 \leq 1 \quad (\text{Anforderung 4})$$

Dabei ist:

- $c$  beträgt 87/f<sup>1/2</sup> V/m,
- $d$  beträgt 0,73/f A/m.

Die Anforderungen 1 und 2 ergeben sich aus der Reizwirkung durch Felder bei niedrigeren Frequenzen. In diesem Fall sind die Feldgrößen entscheidend, weshalb eine lineare Summation erfolgt. Die Grenzwerte in Frequenzbereichen > 10 MHz (Anforderungen 3 und 4) beruhen auf



Industrie Service

thermischen Wirkungen, also aufgrund der im Gewebe deponierten Energie. Deshalb erfolgt eine quadratische Summation.

Als Faktor der Grenzwertunterschreitung bei Reizwirkung und thermischer Wirkung wird oftmals der Kehrwert des Summenwertes der Anforderungen 3 bzw. 4 bezeichnet. Dies stellt ein Maß dar, in wie weit die gemessenen Immissionen den Grenzwert bezüglich der Summenformeln unterschreiten. Eine weitere Darstellungsmöglichkeit, die prozentuale Ausschöpfung des Grenzwertes anzugeben.

Bezüglich der Reizwirkung bei Anforderungen 1 bzw. 2 ergibt sich dies aus dem erhaltenen Zahlenwert der jeweiligen Summe. Der Wert 1 z.B. bedeutet, dass die Grenzwerte zu 100 % erreicht sind.

Im Falle der thermischen Wirkungen, Anforderungen 3 und 4, gibt es zwei Standpunkte:

- Nachdem die Wirkung auf der deponierten Energiemenge und damit auf der eingestrahlten Energie ( $W/m^2$ ) beruht, liefert die jeweilige Summe von Anforderungen 3 bzw. 4 bereits den Prozentsatz eines Wertes, der dem Quadrat des Grenzwertes entspricht bzw. der eingestrahlten Energie proportional ist. Ein Ergebnis von z.B. 0,09 bedeutet, dass 9 % von diesem Wert erreicht sind. Dies entspricht dem Vorgehen der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post gemäß ihrer Messvorschrift Reg TP MV 09 [10].
- Nachdem die Grenzwerte der 26. BImSchV durch die Feldstärken ( $V/m$ ) angegeben sind, jedoch die Quadrate der Feldstärken summiert wurden, wird von der jeweiligen Summe von Anforderungen 3 bzw. 4 am Ende die Wurzel gezogen. Ein Summenwert von z.B. 0,09 bedeutet, dass 30 % vom Grenzwert erreicht sind.

Um die Vergleichbarkeit mit dem Funkwellenmessprojekt 2003 zu gewährleisten soll die zweite Möglichkeit angewendet werden. Die Summenwerte liegen daher bezogen auf die Feldstärke vor.

Für LMK – Sender im Übergangsfrequenzbereich zwischen 100 kHz und 10 MHz sind daher zwei Summationsvorschriften anzuwenden, einerseits linear, andererseits quadratisch.

### **A2.6.1 Detailauswertung zu den einzelnen Messpunkten**

Zu jedem der 598 Messpunkte wurde ein Auswertblatt erstellt, das die wichtigsten Kenndaten des Messpunkts wie genaue Lage, Koordinaten, Messzeit, Wetterbedingungen, Sichtkontakt zu einem Sender sowie ein Foto zeigt.

**Messpunkt: 2045**

**Gebiet: Stuttgart**

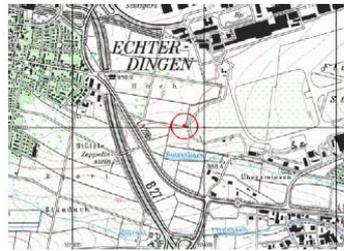
**Lage und Messbedingungen**

Ort: *Flughafen Stuttgart*  
 Lage: *Feldweg am Westende der Rollbahn*

Koordinaten (Gauß-Krüger GK3)  
 Rechtswert: 3513848  
 Hochwert: 5394010

Datum: 17.03.2009  
 Zeit: 13:55

Wetter: wolkenlos  
 Temperatur: 17 °C  
 Luftfeuchte: 45 %



Grundlage: TK25, © Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (www.lgl-bw.de) Az.: 2851.S-1113



Sichtkontakt zu einem Sender (ggfs. Art): *Mobilfunk*  
 ggfs. geschätzte Entfernung zum Sender: *500m*

Besonderheiten: -

Abb. 102: Erste Seite des Auswertebblatts mit Kenndaten

In einem Säulendiagramm werden schließlich die Ergebnisse der Messung 2003 (gelbe Balken) denen 2009 (hellblaue Balken) gegenübergestellt zusammen mit dem Mittelwert des Messprogramms über alle 598 Messpunkt (dunkelblauer Querstrich). Die Zahlenwerte sind in einer Tabelle unter der Graphik in Prozent vom Grenzwert der elektrischen Feldstärke angegeben (Abb. 103).

**Messpunkt: 2045**

**Gebiet: Stuttgart**

**Zusammenfassung der Messergebnisse**

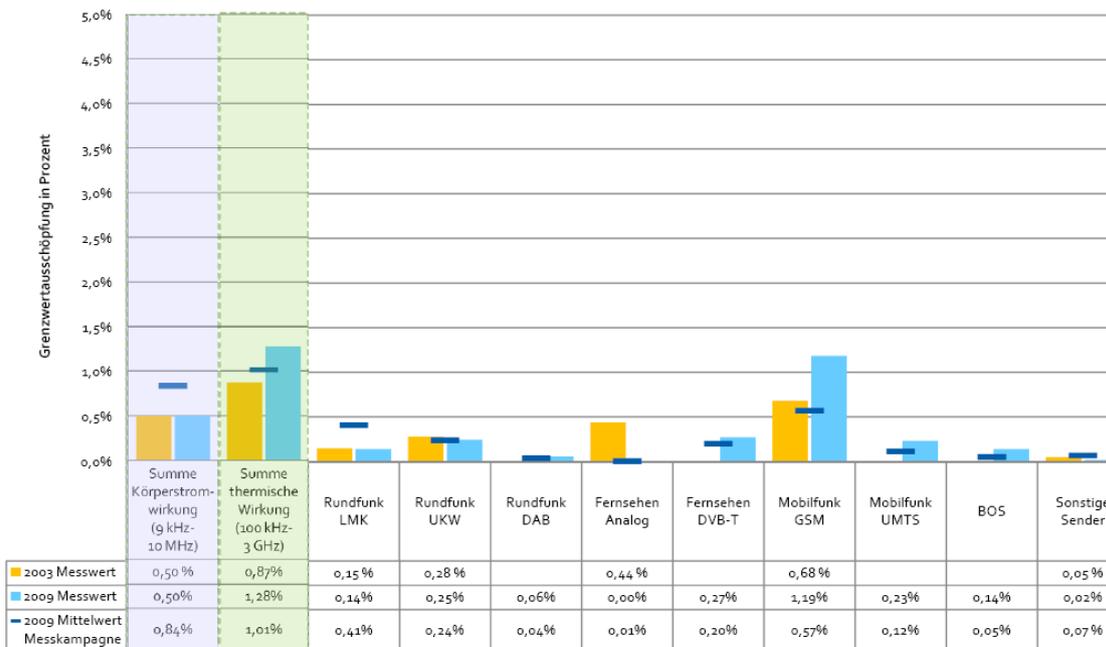


Abb. 103: Zusammenfassung der Messergebnisse zum Messpunkt auf zweiter Seite des Auswertebblatts

Das Messergebnis wird in folgende Klassen aufgeschlüsselt und getrennt dargestellt:

- Summe Körperstromwirkung (9kHz – 10 MHz)



- Summe thermische Wirkung (100 kHz – 3 GHz)
- Rundfunk LMK (Lang-, Mittel-, und Kurzwellenrundfunksender)
- Rundfunk UKW (Ultrakurzwellenrundfunksender)
- Rundfunk DAB (digitale Rundfunksender)
- Fernsehen, analog
- Fernsehen DVB-T (digitales Fernsehsender)
- Mobilfunk GSM
- Mobilfunk UMTS
- BOS (digitaler Sender von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben wie Polizei, Feuerwehr etc.)
- Sonstige Sender (private Funkanwendungen, Betriebsfunk, Flugfunk, Radar, etc.)

Die erste Klasse „Summe Körperstromwirkung“ schließt den Frequenzbereich von 9 kHz bis 10 MHz ein, in dem die Reizwirkung durch Körperströme als Wirkmechanismus dominiert. Die Addition der einzelnen Komponenten erfolgt hier linear.

Die zweite Klasse schließt dagegen den gesamten Hochfrequenzbereich oberhalb von 100 kHz ein, in dem die Erwärmung des Körpergewebes als Wirkmechanismus dominiert. Die Addition der einzelnen Komponenten erfolgt hier quadratisch. Im Übergangsbereich von 100 kHz bis 10 MHz liegen beide Wirkungsmechanismen etwa gleichberechtigt vor. Die Funksignale in diesem Frequenzbereich finden daher Eingang in beide Summenwerte.

**Messpunkt: 2045**

**Gebiet: Stuttgart**

Funkquelle	Frequenz in MHz	Elektrische Feldstärke E (inkl. Messunsicherheit) in dBµV/m	Elektrische Feldstärke E (inkl. Messunsicherheit) in V/m	Grenzwert <sup>1)</sup> elektrische Feldstärke E in V/m	Elektrische Feldstärke in Prozent vom Grenzwert	Leistungsflussdichte S (ab 10 MHz) in µW/m²
<b>Rundfunk LMK</b>						
Zeitzeichensender	0,13	87,47	0,024	87,0	0,027%	-
Rundfunk Langwelle DLF-Donau	0,15	103,09	0,143	87,0	0,164%	-
Rundfunk Langwelle ERF-Saarouis	0,18	88,52	0,027	87,0	0,031%	-
Rundfunk Langwelle	0,21	87,83	0,025	87,0	0,028%	-
Rundfunk Mittelwelle / SWR-Mühlacker	0,57	99,42	0,094	87,0	0,108%	-
Rundfunk Mittelwelle / AFN	1,14	87,53	0,024	81,3	0,029%	-
Rundfunk Kurzwelle	6,05	76,32	0,007	35,4	0,019%	-
Rundfunk Kurzwelle	6,07	76,85	0,007	35,3	0,020%	-
Rundfunk Kurzwelle	6,11	62,25	0,001	35,2	0,004%	-
Rundfunk Kurzwelle	6,15	80,35	0,010	35,1	0,030%	-
Rundfunk Kurzwelle	6,19	68,63	0,003	35,0	0,008%	-
Rundfunk Kurzwelle	6,22	65,06	0,002	34,9	0,005%	-
Rundfunk Kurzwelle	7,25	78,32	0,008	32,3	0,026%	-
Rundfunk Kurzwelle	7,28	67,31	0,002	32,2	0,007%	-
Rundfunk Kurzwelle	7,34	60,09	0,001	32,1	0,003%	-
Rundfunk Kurzwelle	7,39	67,23	0,002	32,0	0,007%	-
Rundfunk Kurzwelle	9,54	76,66	0,007	28,2	0,024%	-
Rundfunk Kurzwelle	9,59	65,27	0,002	28,1	0,007%	-
Rundfunk Kurzwelle	9,61	74,33	0,005	28,1	0,019%	-
Rundfunk Kurzwelle	9,65	69,00	0,003	28,0	0,010%	-
Rundfunk Kurzwelle	9,68	64,38	0,002	28,0	0,006%	-
Rundfunk Kurzwelle	9,81	69,41	0,003	27,8	0,011%	-
Rundfunk Kurzwelle	9,95	59,10	< 0,001	27,6	< 0,004%	-
Rundfunk Kurzwelle	11,70	68,85	0,003	27,5	0,010%	0,020
Rundfunk Kurzwelle	11,84	63,76	0,002	27,5	0,006%	0,006
Rundfunk Kurzwelle	11,97	70,81	0,003	27,5	0,013%	0,032
Rundfunk Kurzwelle	12,04	63,76	0,002	27,5	0,006%	0,006
Rundfunk Kurzwelle	12,05	63,49	0,001	27,5	0,005%	0,006
Rundfunk Kurzwelle	12,07	72,76	0,004	27,5	0,016%	0,050
Rundfunk Kurzwelle	13,62	69,44	0,003	27,5	0,011%	0,023
Rundfunk Kurzwelle	13,81	79,46	0,009	27,5	0,034%	0,234
Rundfunk Kurzwelle	15,20	81,09	0,011	27,5	0,041%	0,341
Rundfunk Kurzwelle	15,35	66,50	0,002	27,5	0,008%	0,012

Abb. 104: Ergebnistabellen im Auswertblatt ab Seite 3



Ab der dritten Seite des Auswertebatts (Abb. 104) erfolgt eine detaillierte Auswertung der am Messpunkt erfassten und für die Immissionsbelastung relevanten Funksignale. Tabellarisch sind folgende Angaben aufgeführt aufgeschlüsselt in die einzelnen Klassen:

- Zuordnung des Funksignals zur wahrscheinlichen Funkquelle
- Frequenz des Funksignals in der Einheit Megahertz (MHz)
- Gemessener Funkpegel der elektrischen Feldstärke  $E$  in der logarithmischen Hochfrequenzeinheit Dezibel-Mikrovolt pro Meter ( $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ ); der eigentliche Messwert wurde hier mit einem Aufschlag von 3 dB (entsprechend ca. dem Faktor 1,4) zur Berücksichtigung der Messunsicherheit versehen.
- Gemessener Funkpegel der elektrischen Feldstärke  $E$  umgerechnet in die Einheit Volt pro Meter ( $\text{V}/\text{m}$ )
- Grenzwert für die elektrische Feldstärke  $E$  in der Einheit  $\text{V}/\text{m}$
- Ausschöpfung des Grenzwertes durch das einzelne Funksignal in Prozent vom Grenzwert
- Gemessener Funkpegel umgerechnet in die Leistungsflussdichte  $S$  ab einer Frequenz von 10 MHz mit der Einheit Mikrowatt pro Quadratmeter ( $\mu\text{W}/\text{m}^2$ )

Gegenüber dem Messprogramm 2003 war aufgrund der neuen digitalen Funkdienste eine Neuaufteilung der Klassen erforderlich:

- zur Klasse „Fernsehen, analog“ wurde eine neue Klasse „Fernsehen, DVB-T“ hinzugefügt. Das analoge Fernsehen ist zwar in Baden-Württemberg prinzipiell vollständig umgestellt auf digitales Fernsehen, jedoch können in den Grenzregionen zu Frankreich und der Schweiz immer noch auch analoge Fernsehsender empfangen werden.
- zur Klasse „Rundfunk, UKW“ wurde eine neue Klasse „Rundfunk, DAB“ hinzugefügt.
- aus der Klasse „Sonstige Sender“ wurden die Funkanwendungen „Mobilfunk, UMTS“ und „BOS“ herausgelöst und als getrennte Klassen geführt.
- In der Klasse „Sonstige Sender“ wurden neu auch privat betriebene Funkquellen wie schnurlose DECT-Telefone, WLAN und Mikrowellenherde mit aufgenommen.

Daher ist eine direkte Vergleichbarkeit nur für die Klassen:

- Summe Körperstromwirkung (9kHz – 10 MHz)
  - Summe thermische Wirkung (100 kHz – 3 GHz) mit Einschränkung wegen der privaten Funkanwendungen
  - Rundfunk LMK (Lang-, Mittel-, und Kurzwellenrundfunksender)
  - Rundfunk UKW (Ultrakurzwellenrundfunksender)
  - Fernsehen, analog und
  - Mobilfunk GSM
- gegeben.

Allerdings wurden im Messprogramm 2003 bei mindestens 9 Messpunkten (Messpunkt Nr. 2124, 2261, 2251, 2497, 2502, 2550, 4053, 4054, 4059) im LMK-Bereich Signale doppelt erfasst, so dass die Klassen – Mittelwerte damals überschätzt wurden. Die tatsächliche Differenz zu den Messungen 2009 ist daher kleiner.



### A2.6.3 Repräsentativität der Messung

Ziel der Großräumigen Ermittlung von Funkwellen“ ist es eine verlässliche, repräsentative Messung der durchschnittlichen Flächenimmissionsbelastung der Bevölkerung in Baden-Württemberg zu liefern. Viele Funkanlagen wie UKW-, DAB und DVB-T-Sendern senden mit konstanter Sendeleistung. Die während der Messung erfasste Signalstärke ist für diese Funkanlagen daher repräsentativ auch für längere Zeiträume, wenn man die Einflüsse durch Wetter und Vegetation vernachlässigt.

Andere Sender zeigen hingegen ein zeitlich schwankendes Abstrahlverhalten. Beispiele dafür sind:

- Langwellen- und Mittelwellensender strahlen nachts in bestimmte Richtungen mit verminderter Sendeleistung. Da die Messungen nur tagsüber durchgeführt werden, spielt dieser Effekt für die Messungen keine Rolle
- Kurzwellensender können aufgrund wechselnder Programmangebote und damit sich auch manchmal ändernden Senderichtungen ein sich stark veränderndes Abstrahlverhalten haben.
- Amateurfunk, BOS-, Flugfunk und Datenfunk senden ebenfalls in der Regel nicht kontinuierlich.
- Mobilfunkanlagen senden zwar in der Regel einen sogenannten Kontrollkanal kontinuierlich mit fester Sendeleistung aus, jedoch kann sich die Gesamtsendeleistung des Standorts abhängig von der Gesprächsauslastung stark verändern. Das Verhältnis zwischen minimaler und maximaler Abstrahlung eines Mobilfunkstandorts beträgt typischerweise zwischen 2 und 3.

Auch durch ein sich veränderndes Umfeld des Messstandorts kann sich eine meist längerfristige zeitliche Schwankung der Immissionen ergeben. Ursachen hierfür können sein:

- Größere Fahrzeuge, die im näheren Umfeld parken
- Bäume und Sträucher können durch Wachstum und Laub eine stärkere Dämpfung der Strahlung bewirken
- Feldpflanzen, wie Mais mindern die Immissionen deutlich
- Veränderungen in der Bebauung im Umfeld

Unterschiede der gemessenen Immissionswerte für zeitliche konstante Sender wie UKW-Rundfunkanlagen, die sich bei einem Vergleich der Messwerte der Messprogramme 2003 und 2009 ergaben, erklärten sich häufig durch veränderte Vegetation im Umfeld des Messpunkts. Einerseits stand im Messprogramm 2003 für die Erfassung der 895 Messpunkte ein Zeitraum von nahezu 2 Jahren zur Verfügung. Viele Messungen fanden daher in der Vegetationsarmen Zeit im Frühjahr und Herbst statt. Aufgrund der kurzen Messzeit von nur 6 Monate im Messprogramm 2009 mussten naturgemäß die überwiegende Zahl der Messungen in den Sommermonaten durchgeführt werden. Dicht belaubte Bäume, stark gewachsene Bäume und Sträucher, oder Maisfelder im Umfeld des Messpunkts führten daher in einigen Fällen zu verminderten Immissionen.

## A2.6.3 Besonderheiten der Auswertung bei bestimmten Signalen

### GSM Mobilfunkanlagen

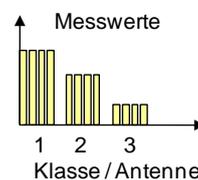
GSM - Mobilfunkanlagen zeigen nicht nur ein sich stark veränderndes Abstrahlverhalten, die überwiegende Zahl der Anlagen arbeitet auch mit sogenanntem „Frequenz-Hopping“.

Dabei wird in kurzen Zeitabständen die Frequenz der Abstrahlung gewechselt um Störungen durch Mehrwegausbreitung und Überlagerung zu minimieren. Üblicherweise übersteigt die Zahl der Hopping-Frequenzen deutlich die Zahl der Sendekanäle. So können typischerweise 4 Sendekanäle bis zu 15 Hopping-Frequenzen gegenüberstehen. Bei der messtechnischen Erfassung der Funkwellen arbeiten die Spektrumanalysatoren im „Max-Hold“-Modus, d.h. für jede Frequenz wird jeweils der höchste gemessene Wert abgespeichert. Ein ständig die Frequenz wechselndes Funksignal wird daher vielfach abgespeichert. Die tatsächliche Immission würde bei Berücksichtigung aller in diesem Fall gemessenen Frequenz jedoch deutlich überschätzt, da die Signale ja nicht gleichzeitig sondern hintereinander auftreten.

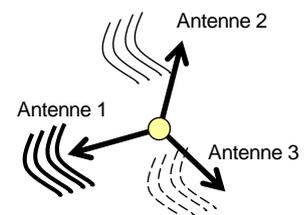
Darum wurde bei der Auswertung in diesem Fall folgendermaßen vorgegangen:

- Mobilfunkstandorte bestehen meist aus drei Antennen, die in drei um 120° versetzte Himmelsrichtungen zeigen (Abb. 105). Bezogen auf den konkreten Messstandort wird Antenne 1 daher das stärkste Signal liefern, da sie am besten zum Messstandort hin ausgerichtet ist, Antenne 2 wird ein mittleres Signal liefern und Antenne 3 (vom Messstandort weg gerichtet) das schwächste Signal. Überwiegend werden je Mobilfunkantenne 4 echte Sendekanäle abgestrahlt, die beim Frequenzhopping im schnellen Wechsel auf verschiedenen Frequenzen ausgestrahlt werden.
- Das gemessene Frequenzspektrum wird daher für jeden Mobilfunknetzbetreiber in drei Klassen eingeteilt, die vergleichbaren Pegel aufweisen. Werden von einem Mobilfunknetzbetreiber je Klasse mehr wie vier Frequenzen mit vergleichbarem Pegel gemessen, so ist davon auszugehen, dass „Frequenz-Hopping“ vorliegt.
- Da jedoch nicht ausgeschlossen werden kann, dass sich der Messort gerade in der Winkelhalbierenden zwischen zwei Antennen befindet, werden je Klasse bis zu sechs Frequenzen berücksichtigt. Die überzähligen Frequenzen werden verworfen.

Da das Frequenz-Hopping in den letzten Jahren fast flächendeckend eingesetzt wird, wird mit dem beschriebenen Verfahren eine nicht zu vernachlässigende Überbewertung der Mobilfunkimmissionen vermieden.



Messpunkt



Aufsicht Mobilfunkstandort

Abb. 105: Einwirkung der Abstrahlung der einzelnen Sektorantennen auf den Messpunkt

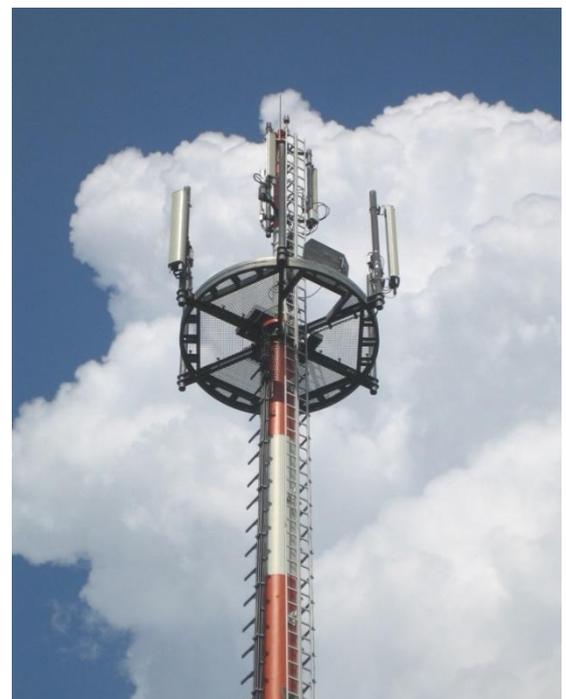


Abb. 106: Typischer Mobilfunkmast



## Radar

Radaranlagen wie sie beispielsweise an Flughäfen verwendet werden arbeiten mit sehr kurzen Sendepulsen (Dauer zwischen 0,1 und 100 Mikrosekunden), denen anschließenden Sendepausen folgen, die den Faktor 100 bis 1000 länger sind als die Dauer des Sendepulses. Zudem drehen sich die Radarantennen mit einer Umdrehungsgeschwindigkeit von etwa 6 – 20 Umdrehungen je Minute, um mit der stark gebündelten Sendekeule eine vollständige Abtastung des umgebenden Luftraums durchführen zu können. Der Radarstrahl trifft daher nur eine sehr kurze Zeit auf den jeweiligen Immissionsort.

Gemäß 26. BImSchV ist für die Bewertung der Immission nicht der Spitzenwert des Sendepulses, sondern die durchschnittlich wirkende Immission ("Effektivwert") heranzuziehen, es sei denn, der Spitzenwert überschreitet den in der 26. BImSchV festgelegten Grenzwert um mehr als das 32-fache. Das ist jedoch bei den hier durchgeführten Messungen sicher nicht der Fall.

Die mittlere Immission ergibt sich aus der gemessenen Spitzenfeldstärke unter Berücksichtigung der Pausenzeiten nach folgender Formel:

$$E_{eff} = E_{Peak} \cdot \sqrt{\left(\frac{\tau}{T} \cdot \frac{\alpha}{360^\circ}\right)}$$

mit

- $E_{eff}$ : mittlere effektiv wirksame Feldstärke
- $E_{peak}$ : Spitzenfeldstärke
- $T$ : Zeit zwischen zwei Sendepulsen
- $\tau$ : Dauer des Sendepulses
- $\alpha$ : Öffnungswinkel der Radarantenne (3-dB-Punkte)

Wie bei den GSM-Mobilfunkanlagen zeichnet der Spektrumanalysator im „Max-Hold“-Modus nur den Spitzenwert auf. Nimmt man für eine typische Radaranlagen ein Tastverhältnis  $T/\tau$  von 1000 an und den Öffnungswinkel  $\alpha$  der Antenne zu  $0,5^\circ$ , so ergibt sich ein Faktor von etwa 850 (58 dB), um den der gemessene Spitzenwert verringert werden muss, um den in die Auswertung einfließenden Effektivwert zu erhalten.

*Anmerkung:*

Pulsspitzenwerte werden z.B. bei der Beurteilung der Wirkung auf medizinische Implantate wie Herzschrittmacher herangezogen. Im Unterschied zu den direkten biologischen Wirkungen von Hochfrequenz, wie thermische Wirkungen oder induzierte Körperströme, liegen den technischen Störungen aber auch andere Wirkungsmodelle zugrunde.

## A3 Qualitätssicherung

### A3.1 Maßnahmen zur Qualitätssicherung

Die TÜV SÜD Industrie Service GmbH ist akkreditiertes Prüflabor nach DIN EN ISO/IEC 17025. Weitere Akkreditierungen nach internationalen Standards wie EN 45001 und ISO 9002 sind ebenfalls verfügbar. Die Mitarbeiter des TÜV SÜD arbeiten in zahlreichen Normungsgremien auf nationaler und internationaler Ebene mit.

Für den Bereich elektromagnetische Felder existieren zusätzlich folgende Qualitätsnachweise:



- öffentlich bestellt und beeidigter Sachverständige für das Fachgebiet elektromagnetische Umweltverträglichkeit (EMVU) <sup>8</sup>,
- Bekanntgabe als „Messstelle für elektromagnetische Felder“ vom LFU Bayern<sup>9</sup>
- Erfolgreiche Teilnahme am Ringversuch elektromagnetische Felder des LFU Bayern 2008

Alle unsere Messgeräte sind in unserem Prüfmittelüberwachungssystem gemäß DIN EN ISO 17025 eingebunden und werden regelmäßig bei der Physikalischen Technischen Bundesanstalt und/oder einem akkreditierten DKD - Kalibrierlabor kalibriert und auf die nationalen Normale zurückgeführt.

Zusätzlich wurden bezogen auf das Funkwellenmessprojekt Baden-Württemberg folgende zusätzliche Maßnahmen durchgeführt:

- Die Funktionsfähigkeit der Messausrüstung wurde täglich durch Sichtprüfung kontrolliert (Funktionstest der Spektrumanalysatoren; Sichtprüfung von Antennen und Kabel). Weiterhin wurde die Kabeldämpfung und die Spannung des Batteriesatzes für die aktive Antenne HFH-Z2 täglich überprüft und dokumentiert (1-Punkt-Funktionsprüfung).
- Etwa alle 10 Messtage wurde im Hochfrequenzlabor der Universität Stuttgart die Messausrüstung einer tiefer gehenden Funktionsprüfung (Mehr-Punkt-Prüfung) unterzogen. In diesem Zusammenhang wurde auch ein in der Nähe gelegener Referenzpunkt wiederholt gemessen (siehe hierzu Abschnitt 4.1.6).
- Die LUBW führte Vergleichsmessungen an zwei Messpunkten am 28.07.2009 im Raum Langenargen durch und die beobachteten Unterschiede lagen im erwarteten Bereich.
- Die fachlichen Betreuer Herr Dr. Thomas Gritsch und Herr Dr. Mahler bzw. Herr Buddendick überprüften die Messdurchführung in unregelmäßigen Abständen vor Ort.
- Das Institut für Hochfrequenztechnik der Universität Stuttgart (IHF) übernahm allgemein die Funktion der unabhängigen wissenschaftlichen Begleitung, Konzeptionierung und Qualitätssicherung des Funkwellenmessprojekts
- Die für den jeweiligen Frequenzbereich erforderliche Geräteeinstellung (RBW, Frequenzspan, Verweilzeit, Detektor, etc.) wurden in abgespeicherten Voreinstellungen fest im Spektrumanalysator hinterlegt, um bei Durchführung des Messprogramms das Risiko möglicher Fehlbedienungen des Geräts zu minimieren. Die Voreinstellungen wurden im Feinkonzept detailliert festgelegt und vom IHF überprüft.
- Das für die Durchführung der Messungen eingesetzte Personal wurde gezielt auf die Besonderheiten des Messprogramms geschult; weiterhin wurden Arbeitsanweisungen erstellt, in der die einzelnen Schritte der Durchführung der Messungen sowie die Auswerteprozedur detailliert beschrieben sind. Die Auswerteroutinen wurden vom IHF überprüft und regelmäßig mit Musterdatensätzen auf richtige Berechnung kontrolliert.

### A3.2 Prüfbericht des IHF der Universität Stuttgart

Die Maßnahmen zur Qualitätssicherung der Messkampagne 2009 „Großräumige Ermittlung von Funkwellen in Baden-Württemberg“ wurden vom Institut für Hochfrequenztechnik der Universität, im Folgenden IHF abgekürzt, durchgeführt.

<sup>8</sup> Diese Akkreditierung wurde gewählt, da sich im Jahr 2002 die jeweiligen Landesämter fachlich nicht in der Lage sahen eine Erweiterung der §26 Messstellenzulassung hinsichtlich elektromagnetischer Felder durchzuführen.

<sup>9</sup> [http://www.lfu.bayern.de/strahlung/fachinformationen/emf\\_messung\\_bewertung/messstellen/index.htm](http://www.lfu.bayern.de/strahlung/fachinformationen/emf_messung_bewertung/messstellen/index.htm)

Die dazu notwendigen Arbeiten wurden zu Beginn der Messkampagne, sowie fortlaufend während der Messungen bis zum Abschluss durchgeführt. Die durchgeführten Maßnahmen waren:

- Überprüfung der Messparametersätze
- Kontrolle und Überprüfung der Auswerteroutinen
- Funktionstest der Frequenzanalysatoren FSP3 und SRM 3000
- Frequenz-Mehrpunkt-Funktionstest und Messung der Analysatoren
- Antennenüberprüfung
- Kabelüberprüfung und Messung
- Referenzmessung in der Nähe des IHF Stuttgart
- Uhrenabgleich der Messgeräte
- Dokumentation der Ergebnisse

### **Zugrunde liegende Unterlagen:**

Kalibrierzertifikate der Antennen, Bedienungsanleitungen, Messprotokoll, gespeicherte Messparametersätze der beiden Analysatoren FSP3 und SRM 3000

## **1. Maßnahmen zu Beginn der Messkampagne**

### **1.1 Kontrolle und Überprüfung der Auswerteroutinen**

Die Kontrolle und Überprüfung der Auswerteroutinen wurde von Hr. Dipl.-Ing. Layh durchgeführt. Das Ergebnis der Überprüfung wurde Hr. Dr. Gritsch schriftlich mitgeteilt und sodann geringfügige Änderungen umgesetzt und berücksichtigt. Nach einer erneuten Überprüfung wurden die Auswerteroutinen als einwandfrei festgestellt.

### **1.2 Kontrolle der Messparametersätze**

Entsprechend der Arbeitsanweisung werden die 20 Messparametersätze der Messreihen Nr. 1 bis 13b und der 4 Sonderbänder von Hr. Dr. Mahler überprüft. Die Datensätze 1 und 2 sind im Spektrumanalysator FSP-3 der Firma Rohde & Schwarz gespeichert (Frequenzbereich 9 kHz – 2 MHz) und die restlichen Datensätze im Spektralanalysator SRM-3000 der Firma Narda Safety Solutions. Sämtliche Parameter in beiden Geräten wurden mit einer Ausnahme richtig gespeichert. Nach Korrektur durch Hr. Dr. Gritsch wurden somit sämtliche Parametersätze korrekt hinterlegt.

### **1.3 Überprüfung der Frequenzanalysatoren FSP-3 und SRM-3000**

#### **1.3.1 Sichtprüfung, Selbsttest und Uhreneinstellung, Überprüfung der Messkabel**

Es wurden der einwandfreie Zustand der beiden Analysatoren und das korrekte Durchlaufen der Selbsttests sowie der Uhreneinstellungen festgestellt. Die verwendeten Messkabel werden von Hr. Dipl.-Ing. Blech mit Hilfe eines IHF eigenen Referenzkabels überprüft.

#### **1.4 Frequenz-Mehrpunkt-Messung**

Die Messungen erfolgten mit Hilfe eines institutseigenen Signalgenerators des Typs HP 8648C, eines Referenzkabels und des in der Messkampagne verwendeten Messkabels mit N-Steckern. Die Messungen wurden durchgeführt und überwacht. Der Signalpegel am Generator HP 8648C wurde auf den Wert von -50 dBm im 50 Ohm System eingestellt. Die Messwerte der Frequenzanalysatoren wurden in dBm als auch in dB $\mu$ V/m erfasst. Beim SRM-3000 wurden die Messwerte in dB $\mu$ V/m erfasst und der jeweilige Antennenkonversionsfaktor berücksichtigt. Die Darstellung der Messwerte erfolgt in tabellarischer Form:



<b>Signalgenerator HP 8648C, Frequenzanalysator R&amp;S FSP-3</b>				
<b>Generatorpegel</b>	<b>Kabel</b>	<b>Frequenz</b>	<b>Empfangspegel</b>	
<b>[-dBm]</b>		<b>[kHz]</b>	<b>[-dBm]</b>	<b>dB<math>\mu</math>V/m</b>
50	Referenz	10	51,3	-
50	Messkabel	10	51,2	-
50	Referenz	100	50,7	-
50	Messkabel	100	50,5	-
50	Referenz	1000	50,7	-
50	Messkabel	1000	50,2	-
50	Referenz	2000	50,8	-
50	Messkabel	2000	50,2	-
50	Messkabel	10	-	76,7
50	Messkabel	100	-	76,5
50	Messkabel	1000	-	76,7
50	Messkabel	2000	-	76,3

Die Anzeigewerte schwanken beim R&S FSP-3 deutlich geringer als beim Narda SRM-3000. Die geringfügig höheren Dämpfungswerte für das Referenzkabel werden durch den verwendeten RG-58 Kabeltyp mit BNC-Steckern verursacht. Das Messkabel besteht aus einem 10 m langen RG274-Kabel mit N-Steckern. Sämtliche Messwerte liegen deutlich innerhalb der zugelassenen Toleranz.

<b>Signalgenerator HP 8648C, Frequenzanalysator Narda SRM-3000</b>				
<b>Generatorpegel</b>	<b>Kabel</b>	<b>Frequenz</b>	<b>Empfangspegel</b>	
<b>[-dBm]</b>		<b>[MHz]</b>	<b>[-dBm]</b>	<b>dB<math>\mu</math>V/m</b>
50	Messkabel	5	50,2	-
50	Messkabel	20	50,2	-
50	Messkabel	5	-	77,2
50	Messkabel	20	-	77,1

Die Messwerte von 100 MHz bis 2800 MHz sind mit den entsprechenden Antennenkonversionsfaktoren und jeweiligen Frequenzen der Messparameter-Setups gemessen, die Darstellung erfolgt ausschließlich in dB $\mu$ V/m:

<b>Signalgenerator HP 8648C, Frequenzanalysator Narda SRM-3000</b>				
<b>Generatorpegel</b>	<b>Kabel</b>	<b>Frequenz</b>	<b>Empfangspegel</b>	
<b>[-dBm]</b>		<b>[MHz]</b>	<b>Parameter-Nr</b>	<b>dB<math>\mu</math>V/m</b>
50	Messkabel	100	4	80,5
50	Messkabel	150	14	78,3
50	Messkabel	200	6	77,4
50	Messkabel	300	6	97,1
50	Messkabel	500	7	86,0
50	Messkabel	800	8a	84,7
50	Messkabel	1000	8b	87,6
50	Messkabel	2000	8b	92,7
50	Messkabel	2800	8b	95,3



Industrie Service

## **1.5 Antennenüberprüfung**

Es erfolgte eine Sichtprüfung der Antennen. Die Rahmenantenne wurde nach dem Aufbau mit Hilfe des Senders Mühlacker (576 kHz) nach Polarisation und Richtwirkung überprüft. Zur weiteren Funktionsprüfung aller drei verwendeten Antennen wird eine Referenzmessung in der Nähe des Institutes vorgenommen (siehe Abschnitt A3.2.1.7).

## **1.6 Antennenkonversionsfaktoren**

### **1.6.1 Rahmenantenne HFH2-Z2 Loop Antenna, 9 kHz – 30 MHz**

Die im Frequenzanalysator FSP-3 hinterlegten Antennenkonversionsfaktoren wurden nach den Kalibrationsdokumenten der Firma Rohde und Schwarz von Hr. Dr. Mahler überprüft. Der Wert bei 10 MHz wird von Hr. Dr. Gritsch von 20 dB auf 19,75 dB korrigiert.

### **1.6.2 Rahmenantenne HE200, 20 MHz – 500 MHz**

Die im Frequenzanalysator SRM-3000 hinterlegten Antennenkonversionsfaktoren wurden, nach dem Kalibrationszertifikat Nr. 218-00378 des Schweizer Bundesamts für Metas, von Hr. Dr. Mahler überprüft. Sämtliche Eintragungen sind korrekt.

### **1.6.3 Bikonische Breitbandantenne SBA 9113 B, 80 MHz – 3000 MHz**

Die im Frequenzanalysator SRM-3000 hinterlegten Antennenkonversionsfaktoren wurden, nach dem Kalibrierschein DS0806039113B312 der Firma Schwarzbeck, von Hr. Dr. Mahler überprüft. Sämtliche Eintragungen sind korrekt.

## **1.7 Referenzmessung im Freifeld**

Im Beisein aller Teilnehmer wurde der Messpunkt 2123, Stuttgart-Vaihingen, Kreisverkehr, Zu-sestr. 1, anhand der bekannten GPS-Koordinaten und der zum Messpunkt vorliegenden Fotografie lokalisiert und das komplette Messequipment (Antennen, Kabel, Analysatoren, Temperatur und Feuchtigkeitsmesser, Zubehör) aufgebaut. Nach Erfassung aller Messdaten in allen Teilbändern wurden die gemessenen Empfangsfeldstärken gespeichert. Sämtliche gemessenen Empfangsfeldstärken sind in einer Excel-Tabelle gespeichert und liegen dem IHF für Vergleichsmessungen vor.

## **2. Maßnahmen zur Qualitätssicherung während der Messkampagne**

### **2.1 Überprüfung der Messeinrichtung und Kontrollmessungen**

Während der laufenden Messungen wurden am IHF in regelmäßigen Abständen, welche nach Lage der Wetterbedingungen an diese angepasst waren, die Messgeräte, Antennen, Kabel, Uhren und Einstellungen überprüft. Sämtliche Geräte und Parameter wurden als stabil festgestellt. Im gesamten Zeitraum der Messkampagne wurde lediglich genau einmal ein defektes Kabel (Kabelbruch) während der Messungen durch Hr. Kunz festgestellt. Nach Rücksprache mit Hr. Dipl.-Ing. M. Blech wurde im Zeitraum vom 12.05.09 bis 18.05.09 ein Kabel vom IHF gestellt und nach Neukalibrierung verwendet. Dieses Kabel wurde sodann am 18.05.09 durch ein neues kalibriertes Kabel ersetzt und für den Rest der Messungen verwendet. Durch diese Maßnahmen wurde gewährleistet, dass fehlerfreie Messwerte ermittelt wurden. Es folgen die Protokolle der Kontrollmessungen am IHF:



### Kontrollmessung am 16.3.2009

**Generator:** HP8648C **16.03.2009**  
**Empfänger:** R&S FSP-3

Generatorpegel [dBm]	Kabel	Frequenz [kHz]	Empfangspegel	
			[dBm]	[dBµV/m]
-50	Referenzkabel	10	-51,3	-
-50	Messkabel 1	10	-51,2	-
-50	Referenzkabel	100	-50,7	-
-50	Messkabel 1	100	-50,5	-
-50	Referenzkabel	1000	-50,7	-
-50	Messkabel 1	1000	-50,2	-
-50	Referenzkabel	2000	-50,8	-
-50	Messkabel 1	2000	-50,2	-
-50	Messkabel 1	10	-	76,7
-50	Messkabel 1	100	-	76,5
-50	Messkabel 1	1000	-	76,7
-50	Messkabel 1	2000	-	76,3

**Generator:** HP8648C  
**Empfänger:** Narda SRM-3000

Generatorpegel [dBm]	Kabel	Frequenz [MHz]	Empfangspegel	
			[dBm]	[dBµV/m]
-50	Messkabel 1	5	-50,2	-
-50	Messkabel 1	20	-50,2	-
-50	Messkabel 1	5	-	77,2
-50	Messkabel 1	20	-	77,1

**Generator:** HP8648C **16.03.2009**  
**Empfänger:** Narda SRM-3000

Generatorpegel [dBm]	Kabel	Frequenz [MHz]	Parameter	Empfangspegel [dBµV/m]
			Nr.	
-50	Messkabel 2	100	3	80,5
-50	Messkabel 2	150	4	78,3
-50	Messkabel 2	200	4	77,4
-50	Messkabel 2	300	5	97,1
-50	Messkabel 2	500	5	86,0
-50	Messkabel 2	800	5	84,7
-50	Messkabel 2	1000	6	87,6
-50	Messkabel 2	2000	6	92,7
-50	Messkabel 2	2800	6	95,3

**Generator: HP8648C**  
**Generatorpegel: - 50 dBm**

**Empfänger: R&S FSP-3**

			03.04.	21.04.	12.05.	08.06.	09.07.	24.07.	18.08.		
Mess- kabel	Fre- quenz	Para- meter	Empfangspegel							Mittel- wert	Std.abw.
			[dBµV/m]								
1	10	1	76,0	76,3	76,1	75,8	75,8	76,1	75,8	76,0	0,20
1	100	1	76,2	76,6	76,1	76,2	76,2	76,2	76,1	76,2	0,17
1	1000	1	75,6	76,1	76,4	76,3	76,3	76,5	76,4	76,2	0,30
1	2000	1	75,2	75,7	76,0	75,9	75,9	76,0	76,0	75,8	0,29
										Gesamt	0,24

**Empfänger: SRM 3000**

			03.04.	21.04.	12.05.	08.06.	09.07.	24.07.	18.08.			
Mess- kabel	Fre- quenz	Para- meter	Empfangspegel							Mittel- wert	Std.abw	
			[dBµV/m]									[dBµV/m]
1	5	2	77,1	77,2	77,1	77,2	77,2	77,2	77,1	77,2	0,05	
1	20	2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	76,9	77,2	0,11	
2	100	3	80,3	80,9	80,3	80,5	80,5	80,7	80,3	80,5	0,23	
2	150	4	77,9	77,9	78,0	78,0	78,0	77,9	77,8	77,9	0,08	
2	200	4	77,5	77,9	77,5	77,6	77,6	77,7	77,5	77,6	0,15	
2	300	5	97,3	97,6	97,1	97,2	97,2	97,3	97,0	97,2	0,19	
2	500	5	86,1	86,4	86,0	86,1	86,1	86,3	85,9	86,1	0,17	
2	800	5	84,7	85,0	84,5	84,7	84,7	84,8	84,5	84,7	0,17	
2	1000	6	87,5	87,8	87,4	87,5	87,5	87,7	87,3	87,5	0,17	
2	2000	6	92,7	92,7	92,7	92,6	92,6	92,7	92,5	92,6	0,08	
2	2800	6	95,4	95,2	95,3	95,3	95,3	95,4	95,3	95,3	0,07	
										ab 8.6. neues Messkabel 2	Gesamt	0,13

## 2.2 Fortlaufende Referenzmessungen am Messpunkt 2123, Stuttgart-Vaihingen, Kreisverkehr, Zusestr. 1

Während der gesamten Messkampagne wurden in regelmäßigen Abständen, insgesamt neunmal die Referenzmessungen am Messpunkt 2123, Stuttgart-Vaihingen, Kreisverkehr, Zusestr. 1, erneut durchgeführt. Die Messungen wurden vom IHF mit der Referenzmessung nach Kapitel A3.2.1.7 verglichen und bewertet. Übereinstimmung wurde festgestellt, lediglich vegetationsbedingte Unterschiede waren zu beobachten

## 2.3 Kontrollmessung am Messpunkt 2245

Unter Aufsicht von Hr. Dr.-Ing. W. Mahler wurde der Messpunkt 2245 in Rutesheim aufgesucht und dort sämtliche Messungen durchgeführt. Hierbei wurde die einwandfreie Qualität und Konstanz der Messungen festgestellt.



Industrie Service

### **3. Abschließende Bewertung zur Qualität der durchgeführten Messkampagne**

Durch die Abstimmung des Feinkonzepts zu Beginn des Projektes und der Überprüfung der Messroutinen wurde von Beginn ab die Qualität der Messkampagne gesichert. Durch die oben beschriebenen Maßnahmen zu Beginn der Messungen, sowie der Begleitung und Überprüfung der laufenden Messungen wurde die einwandfreie Qualität sämtlicher Messeinrichtungen (Antennen, Kabel, Analyzer) sowie der gemachten Messungen gewährleistet.



## A4 Glossar

Antennensektor	horizontaler Winkelbereich, in den die Antennen abstrahlen. Es sind zwei Haupttypen im Einsatz: einerseits Rundstrahler, die einen Winkelbereich von 360 ° mit einer Antenne versorgen, andererseits Sektorantennen, die einen Winkelbereich von 60° bis 90° versorgen. Eine deckende Funkversorgung wird daher durch die Anordnung von 3 um 120° versetzte Antennen erreicht.
Basisstation	GSM-Mobilfunksendestation eines Netzbetreibers
BCCH	Broadcast Control Channel, wird immer mit konstanter maximaler Leistung von der Basisstation ausgestrahlt. Das Handy beurteilt anhand dieses Kanals, wie gut der Empfang zu der Basisstation ist
BImSchV	Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG)
BOS	Funknetz der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben, d. h. Feuerwehr, Polizei, Rettungsdienste
D1	Abkürzung für GSM-Netz der Firma T-Mobile GmbH
D1-UMTS	Abkürzung für UMTS-Netz der Firma T-Mobile GmbH
D2	Abkürzung für GSM-Netz der Firma Vodafone D2 GmbH
D2-UMTS	Abkürzung für UMTS-Netz der Firma Vodafone D2 GmbH
DECT	Digitaler Übertragungsstandard bei schnurlosen Telefonen. DECT-Telefone können im Freien eine Reichweite bis zu 300 m haben. Sie senden im Frequenzbereich von 1880 MHz bis 1900 MHz. Abkürzung für <u>D</u> igital <u>E</u> nhanced <u>C</u> ordless <u>T</u> elecommunication.
Dezibel- Mikrovolt pro Meter (dBµV/m)	in der Hochfrequenztechnik gebräuchliche Maßeinheit für die elektrische Feldstärke auf der Basis von Mikrovolt (entsprechend 1 Millionstel Volt). Dezibel ist eine logarithmische Einheit: Ein Sprung von 6 Dezibel entspricht hier einer Verdopplung der Feldstärke. Ein Sender dessen Immissionsfeldstärke mit 120 dBµV/m (entsprechend 1 V/m) gemessen wurde ist daher am Immissionsort doppelt so stark, wie ein Sender mit der Feldstärke von 114 dBµV/m (entsprechend 0,5 V/m).
D-Netz	auch GSM 900-Netz genannt. Der Frequenzbereich im Downlink für das D-Netz liegt in Deutschland zwischen 925 MHz bis 960 MHz und wird von allen vier Mobilfunknetzbetreiber bevorzugt genutzt.
Downlink	Abstrahlung einer Basisstation bei einer Funkverbindung im Gegensatz zu "Uplink"
DVB-T	Abkürzung für Digital Video Broadcasting Terrestrial; neuer digitaler Fernsehstandard
E	Formelzeichen für elektrische Feldstärke
E1	Abkürzung für GSM-Netz der Firma E-Plus Mobilfunk GmbH
E1-UMTS	Abkürzung für UMTS-Netz der Firma E-Plus Mobilfunk GmbH
E2	Abkürzung für GSM-Netz der Firma O2 (Germany) GmbH
E2-UMTS	Abkürzung für UMTS-Netz der Firma O2 (Germany) GmbH
EMF	Abkz. für <u>E</u> lektro <u>m</u> agnetische <u>F</u> elder
E-Netz	auch GSM 1800-Netz genannt. Der Frequenzbereich im Downlink für das E-Netz liegt in Deutschland zwischen 1820 MHz bis 1880 MHz. Im E-Netz senden hauptsächlich die Mobilfunknetzbetreiber E-Plus und O2, jedoch haben auch T-Mobile und Vodafone hier einen Frequenzbereich zur Verfügung.
Frequenz	Schwingungszahl von Wellen je Sekunde, gemessen in Hertz
Gigahertz (GHz)	Technische Einheit für 1 Milliarde Schwingung pro Sekunde
GSM	Abkürzung für <u>G</u> lobal <u>S</u> ystem of <u>M</u> obile <u>C</u> ommunication; Mobilfunksystem der zweiten Generation (2G); Bezeichnung für den im D-Netz, E-Netz und GSM Rail gebräuchlichen digitalen Übertragungsstandard.
GSM Rail	Mobilfunknetz der Deutschen Bahn basierend auf dem GSM-Standard. Die Sendefrequenzen liegen im Bereich 920 MHz bis 925 MHz.



Hertz (Hz)	Technische Einheit für 1 Schwingung pro Sekunde
HSK	Hauptsendekeule; Hauptabstrahlrichtung einer Antenne
LMK	Abkürzung für Langwellen-, Mittelwellen- und Kurzwellenrundfunksender
LOS	Line of Sight; es besteht Sichtverbindung zu einer Antenne
Megahertz (MHz)	Technische Einheit für 1 Million Schwingung pro Sekunde
NLOS	Non Line of Sight; es besteht keine Sichtverbindung zu einer Antenne
Node B	Bezeichnung für eine Basisstation im UMTS-Netz
nöF	nichtöffentlicher Festfunk
nömL	nichtöffentlicher mobiler Landfunk
RegTP	Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post
Repeater	Verstärkt die Mobilfunkstrahlung; wird z. B. in Gebäuden eingesetzt, in denen schlechter Empfang besteht, oder in hügeligen Gelände um abgeschattete Gebiete besser zu versorgen.
Rx	Receiving Channels; Abkürzung für Empfangskanäle; Im Gegensatz zu Tx
Sendeleistung	Die von einer Sendeantenne abgestrahlte Leistung
SV	Sichtverbindung
TCH	<u>T</u> raffic <u>C</u> hannel, Verkehrskanal. Die Ausstrahlung der Verkehrskanäle ist abhängig vom Gesprächsaufkommen und der Verbindungsqualität. Bei wenigen Gesprächen wird nur der BCCH-Kanal ausgestrahlt. Bei steigendem Gesprächsaufkommen werden sukzessive ein oder mehrere TCH-Kanäle hinzu geschaltet. Diese sind leistungsgeregelt, d. h. besteht eine gute Verbindung zum Handy kann die abgestrahlte Leistung reduziert werden. Maximal 8 Gespräche können über einen TCH-Kanal gleichzeitig geführt werden.
Tx	Transmitting Channels; Abkürzung für Sendekanäle; Überbegriff für BCCH und TCH-Kanäle, Im Gegensatz zu Rx
UHF	<u>U</u> ltra <u>H</u> igh <u>F</u> requency – Band, ein Sendefrequenzbereich für Fernsehkanäle
UHS	<u>U</u> ltra <u>H</u> igh <u>S</u> ite, von der Fa. E-Plus patentiertes Verfahren, zur ergänzenden, flächendeckenden UMTS-Versorgung von Ballungsräumen von Standorten mit einer Höhe größer 100 m
UKW	<u>U</u> ltrakurzwelle
UMTS	<u>U</u> niversal <u>M</u> obile <u>T</u> elecommunication <u>S</u> ystem; Mobilfunksystem der dritten Generation (3G) mit deutlich höherer Datenübertragungskapazität und anderem Übertragungsstandard. Das Netz ist derzeit im Aufbau.
Uplink	Abstrahlung eines Handys bei einer Funkverbindung im Gegensatz zu "Downlink"
VHF	<u>V</u> ery <u>H</u> igh <u>F</u> requency– Band, ein Sendefrequenzbereich für Fernsehkanäle
Volt pro Meter (V/m)	Technische Maßeinheit für die elektrische Feldstärke. Diese ist ein Maß für den Spannungsabfall zwischen zwei Punkten. Die Feldstärke von 1 V/m entspricht daher einer Spannungsverminderung von 1 Volt in 1 m Abstand. In dieser Einheit sind die Grenzwerte der 26. BImSchV angegeben.
Watt (W)	Technische Einheit für die Sendeleistung
Watt pro Quadratmeter (W/m²)	Technische Einheit für die Leistungsflussdichte, auch in den Einheiten mW/m² = 1/1.000 W/m² und µW/m² = 1/1.000.000 W/m² gebräuchlich