

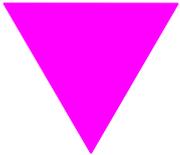


Großräumige Ermittlung von Funkwellen in Baden-Württemberg

**Ergebnisse des Funkwellenmessprojekts
2001 - 2003**

Autoren: Prof. Dr.-Ing. U. Bochtler
Dipl.-Ing. Roland Eidher
Prof. Dr.-Ing. M. Wuschek

Juli 2003



Großräumige Ermittlung von Funkwellen in Baden-Württemberg

Ergebnisse des Funkwellenmessprojekts 2001 - 2003

Auftraggeber: Landesanstalt für Umweltschutz
Hertzstr. 173
76187 Karlsruhe

Auftragnehmer: botronic gmbh
Jurastraße 10
70565 Stuttgart
Tel.: +49 (7 11) 6 87-48 42
Fax: +49 (7 11) 6 87-68 30
eMail: info@botronic.de

Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Bochtler, Fachhochschule Aschaffenburg

Dipl.-Ing. Roland Eidher, botronic gmbh, Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek, Fachhochschule Deggendorf

Ort und Datum: Aschaffenburg/Stuttgart/Regensburg, den 06.07.2003

1 Einleitung

Dieser Bericht fasst die wesentlichen Ergebnisse der Immissionsmessungen hochfrequenter Felder zusammen, die im Zeitraum zwischen Herbst 2001 und Frühjahr 2003 in vier Regionen von Baden-Württemberg im Frequenzbereich von 9 kHz bis 3 GHz durchgeführt wurden. Eine ausführliche Beschreibung des Messprojektes und der Vorgehensweise bei der Immissionsbestimmung findet sich in einem gesonderten Bericht [1].

Während des Projektes wurden die Immissionen durch hochfrequente Felder an insgesamt 895 Punkten innerhalb Baden-Württembergs aufgenommen. Diese liegen in den vier flächenhaften Untersuchungsgebieten, die in Tabelle 1 aufgeführt sind. 667 dieser Messpunkte fielen auf Gebiete außerhalb und 228 Messpunkte auf Bereiche innerhalb geschlossener Ortschaften. Die Messpunkte verteilen sich wie folgt auf die Untersuchungsgebiete:

Untersuchungsgebiet	Zahl der Messpunkte	davon innerorts	davon außerorts
Mannheim/Heidelberg	161	61	100
Freiburg	76	17	59
Oberschwaben	81	20	61
Stuttgart	577	130	447
Summe	895	228	667

Tabelle 1: Aufteilung der Messpunkte

Auf dem Gebiet der Gemeinde Mudau wurden an 19 weiteren Messpunkten die Immissionen in der Umgebung leistungsstarker Rundfunk- und Fernsehsender (Sendeanlagen Donebach und Reisenbach) ermittelt. Die Ergebnisse erscheinen in einem separaten Bericht.

Folgende Fragestellungen sollten durch diese Untersuchung beantwortet werden:

- **Wie groß sind die Immissionen, die durch Funksendeanlagen an den betrachteten Messpunkten verursacht werden, in Relation zum gesetzlichen Grenzwert?**
- **Wie verteilen sich die Immissionen auf verschiedene Funkdienste (z. B. Tonrundfunk, TV, Mobilfunk)?**
- **Zeigen sich bei den Immissionen signifikante Unterschiede je nach geographischer Lage (z. B. Stadt / ländlicher Raum)?**
- **Gibt es Regionen mit besonders hohen oder besonders niedrigen Immissionen?**

Die wesentlichen Ergebnisse der Messkampagne werden nachfolgend dargestellt. In einem weiteren Kapitel sind zusätzliche Auswertungen der Messergebnisse für alle Untersuchungsgebiete zusammengestellt. Detaillierte Darstellungen der Ergebnisse für die vier Untersuchungsgebiete Heidelberg/Mannheim, Stuttgart, Freiburg und Oberschwaben finden sich in gesonderten Einzelberichten [2], [3], [4], [5].

2 Bewertung

Rechtsgrundlage für die Immissionsbewertung in Deutschland ist seit Januar 1997 die 26. Bundes-Immissionsschutzverordnung (26. BImSchV) [6]. Hierin werden Grenzwerte für Hochfrequenzanlagen (10 MHz – 300 GHz) sowie Niederfrequenzanlagen (16 2/3 Hz und 50 Hz) festgelegt. Die Grenzwerte stimmen mit den aktuellen Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) [7], der Internationalen Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) [8], des Europäischen Rates [9] sowie der deutschen Strahlenschutzkommission [10] überein.

Bei der Festlegung der Grenzwerte für nichtionisierende Strahlung wird wie folgt vorgegangen (siehe Diagramm 22 in Anhang A.6): Die Internationale Strahlenschutzkommission ICNIRP erarbeitet Grenzwertempfehlungen auf der Basis des aktuellen Forschungsstandes. Grundlage ist die von der WHO und der Umweltorganisation der Vereinten Nationen (UNEP) gemeinsam durchgeführte Bewertung der aktuellen wissenschaftlichen Befunde. In regelmäßigen Abständen prüft die ICNIRP den aktuellen Stand der Forschung und entscheidet darüber, ob eine Aktualisierung der Grenzwerte erforderlich ist.

Da die Grenzwerte der 26. BImSchV nicht den gesamten Frequenzbereich des Funkwellenspektrums abdecken, wird für die Bewertung der Messergebnisse zusätzlich auf die Empfehlung des Europäischen Rates [9] bzw. die Empfehlung der deutschen Strahlenschutzkommission [10] zurückgegriffen. Weitere Angaben zur Vorgehensweise bei der Grenzwertfestlegung sowie zu den Grenzwerten selbst finden sich in Anhang A.6.

3 Aufgabenstellung und wesentliche Ergebnisse

Ausgehend von den in Kapitel 1 formulierten Fragestellungen können folgende wesentliche Ergebnisse der Immissionsmessungen festgehalten werden. Für eine detailliertere Auswertung wird auf den Anhang verwiesen.

3.1 Immissionen bezogen auf den gesetzlichen Grenzwert

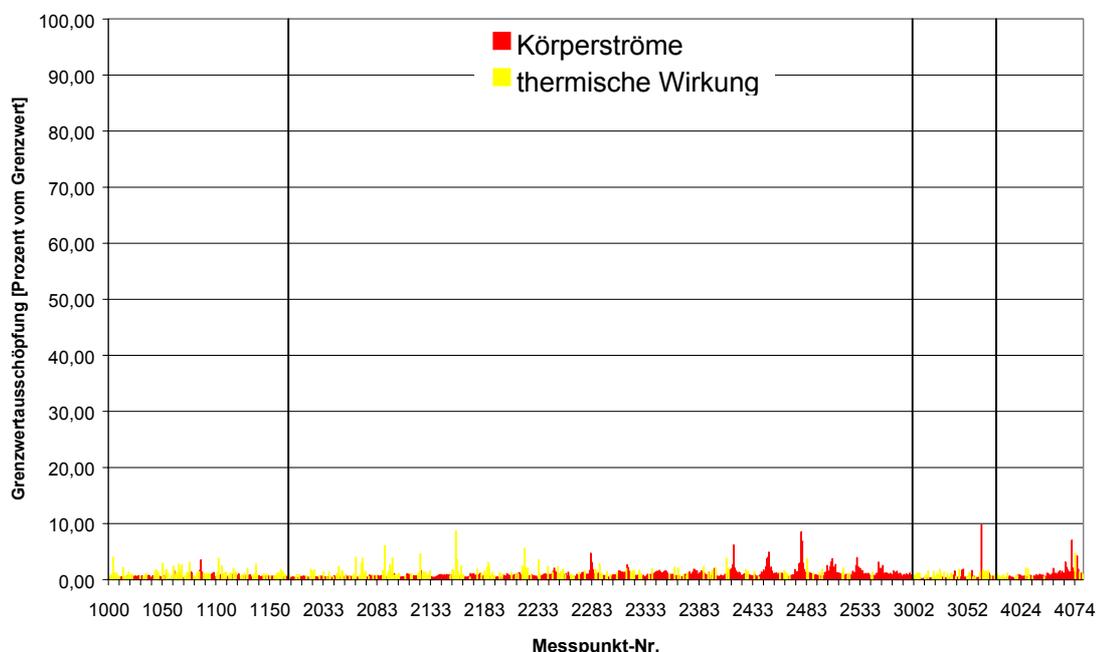
Wie groß sind die Immissionen, die durch Funksendeanlagen an den betrachteten Messpunkten verursacht werden, in Relation zum gesetzlichen Grenzwert?

Ergebnis:

Im Durchschnitt liegen die Einwirkungen durch elektromagnetische Felder bei etwa einem Hundertstel des Grenzwertes.

Der gesetzliche Grenzwert nach 26. BImSchV (EU-Ratsempfehlung) für die zulässige Belastung durch elektromagnetische Felder wird in Baden-Württemberg im Mittel nur zu einem Hundertstel (bezüglich des Feldes) bzw. zu einen Zehntausendstel (bezüglich der Leistungsflussdichte) erreicht. Dabei wurden die in [1], Kapitel 2.3 beschriebenen Berechnungsverfahren für die beiden Wirkungsmodelle angewandt.

In Diagramm 1 ist für alle Messpunkte grafisch dargestellt, zu welchem Prozentsatz die ermittelten Immissionen den jeweils geltenden Grenzwert ausschöpfen.



Hinweis: MP-Nr. 1xxx .. Gebiet Heidelberg/Mannheim; MP-Nr. 2xxx .. Gebiet Stuttgart; MP-Nr. 3xxx .. Gebiet Freiburg; MP-Nr. 4xxx .. Gebiet Oberschwaben)

Diagramm 1: Gesamtimmissionen an allen Messpunkten (Ausschöpfung des Grenzwertes unter Berücksichtigung des Bewertungsverfahrens)

Erläuterungen:

Durch die Wahl eines regelmäßigen 2-Kilometer-Rasters für die Messpunkte befinden sich diese nur selten in unmittelbarer Nähe von Sendestationen. Die Funkdienstbetreiber sind jedoch verpflichtet, auch im zugänglichen Bereich um ihre Anlagen die festgesetzten Grenzwerte einzuhalten.

Beaufsichtigt werden die Funkbetreiber durch die staatlichen Überwachungsbehörden. Die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP) führt z. B. vor jeder Inbetriebnahme einer neuen Sendeanlage eine Berechnung (Simulation) der Immissionen durch. Auf Grundlage dieser Berechnungen werden Schutzbereiche festgelegt. Dieses Verfahren stellt sicher, dass die gesetzlichen Grenzwerte nicht überschritten werden. In der direkten Umgebung sehr leistungsstarker Sender kann es notwendig sein, Bereiche mit erhöhten Immissionen durch Schutzmaßnahmen (z. B. Zaun, Warnschilder) für die allgemeine Bevölkerung zu sperren. Solche Maßnahmen kommen vor allem bei Radiosendern (LMK) in Betracht.

Da also in allen frei zugänglichen Bereichen der Grenzwert eingehalten werden muss und das elektromagnetische Feld mit der Entfernung von der Sendeanlage abnimmt, sind die ermittelten niedrigen Einwirkungen plausibel.

Dies lässt jedoch im Gegenzug nicht den Schluss zu, dass die aktuell geltenden Grenzwerte aufgrund der Messergebnisse abgesenkt werden könnten bzw. müssten:

- a) Die Festlegung eines Grenzwertes erfolgt aufgrund gesicherter wissenschaftlicher Erkenntnisse über die Wirkungen nichtionisierender Strahlung.
- b) Der Grenzwert muss an allen öffentlich zugänglichen Orten, auch in Sendernähe, eingehalten werden. Die Abnahme der Einwirkungen mit zunehmender Entfernung vom Sender ist lediglich eine sich zwangsläufig ergebende Gesetzmäßigkeit.

3.2 Immissionsverteilung auf die verschiedenen Funkdienste

Wie verteilen sich die Immissionen auf verschiedene Funkdienste (z. B. Tonrundfunk, TV, Mobilfunk)?

Ergebnis:

Der Beitrag der klassischen Funkdienste (Rundfunk und Fernsehen) zu den Einwirkungen durch elektromagnetische Felder ist höher als der Beitrag durch den Mobilfunk.

Die Belastung der Bevölkerung durch den Mobilfunk ist im Durchschnitt geringer als die durch Rundfunk und Fernsehen. In den vier Untersuchungsgebieten überwiegt nur bei einem Fünftel aller Messpunkte der Mobilfunk, während bei allen anderen Messpunkten die klassischen Funkdienste den höheren Beitrag liefern.

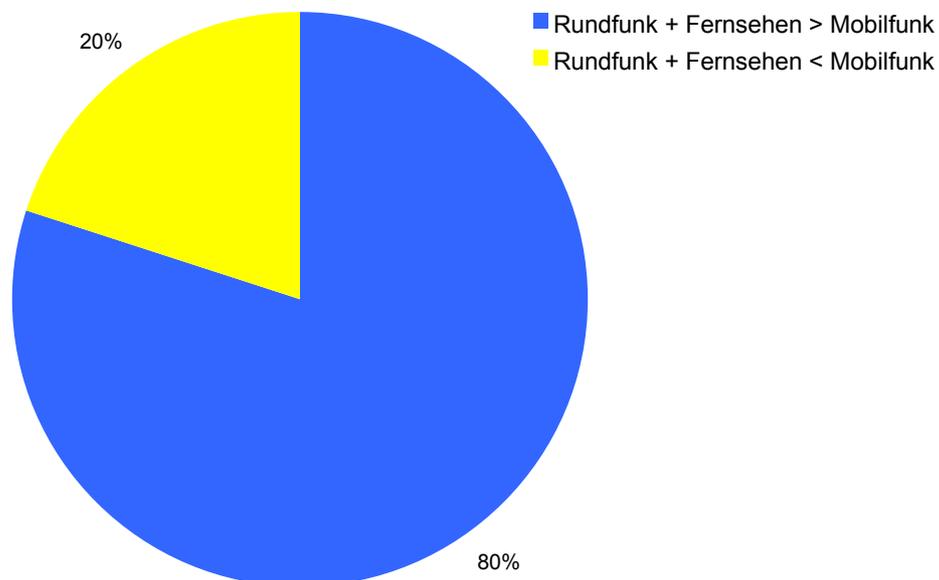


Diagramm 2: Beitrag des Mobilfunks und der klassischen Funkdienste (Rundfunk + Fernsehen) im Vergleich

In den Untersuchungsgebieten erzeugen LMK-Sender durchschnittlich höhere Einwirkungen als die Mobilfunkdienste zusammen. In Diagramm 3 sind die Verhältnisse grafisch dargestellt.

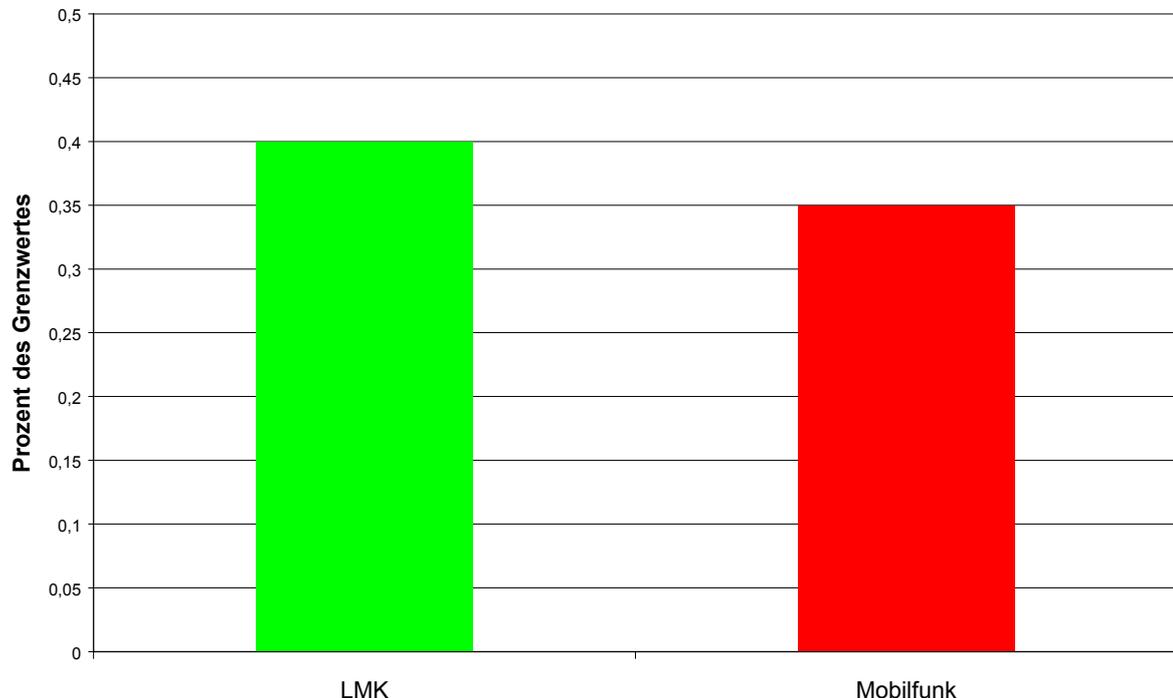


Diagramm 3: Vergleich der durchschnittlichen Einwirkungen durch den Mobilfunk mit den Einwirkungen durch LMK-Sender

Erläuterungen:

Mobilfunk überträgt drahtlos Sprache und Kurzmitteilungen, neuerdings auch Bilder und Videofilme. Der technische Vorgang ist grundsätzlich ähnlich wie beim Radio und Fernsehen. Die Sendeleistungen von Mobilfunkbasisstationen sind jedoch deutlich geringer als bei Rundfunk- und Fernsehsendern, die ihre Empfänger über weite Entfernungen erreichen müssen. Die Sendefrequenzen sind hingegen höher.

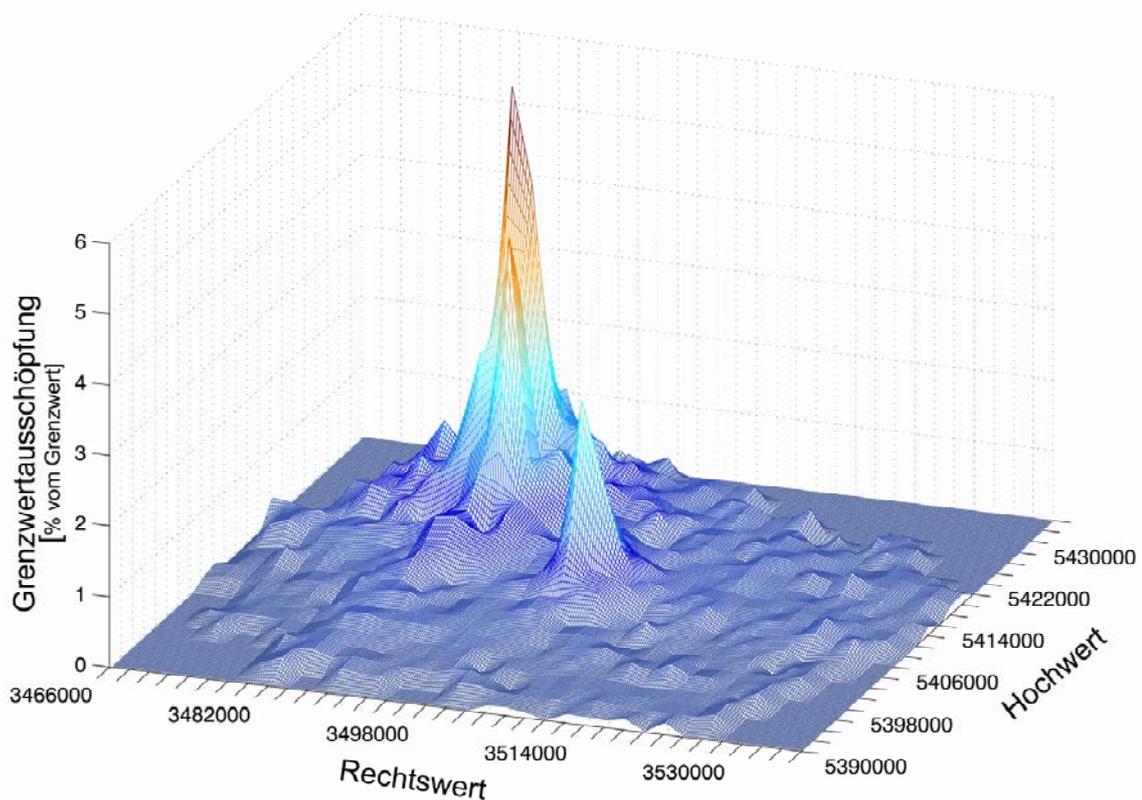
Rundfunksender mit Sendeleistungen bis zu 100 kW ERP (z. B. Standorte Stuttgart und Mühlacker) und Fernsehsender mit Sendeleistungen bis zu 404 kW ERP (z. B. Standort Stuttgart-Fernsehturm) versorgen Zuschauer und Zuhörer auch noch in 200 bis 300 km Entfernung. Lang- und Mittelwellensender versorgen noch größere Gebiete. Der für das Zeitsignal zuständige Sender DCF77 (Standort Mainflingen / Seligenstadt bei Frankfurt) deckt z. B. ein Gebiet von der Größe Deutschlands und darüber hinaus ab.

Dem gegenüber beträgt beim Mobilfunk der Abstand zwischen Sender (Mobilfunkbasisstation) und Empfänger (Handy) nur einige hundert Meter bis zu theoretisch maximal etwa 30 km.

In Senderichtung nimmt der Energiegehalt der Funkwellen mit der Entfernung rasch ab. Die Abnahme der Energie erfolgt näherungsweise mindestens mit dem Quadrat der Entfernung. Gebäude dämpfen zusätzlich.

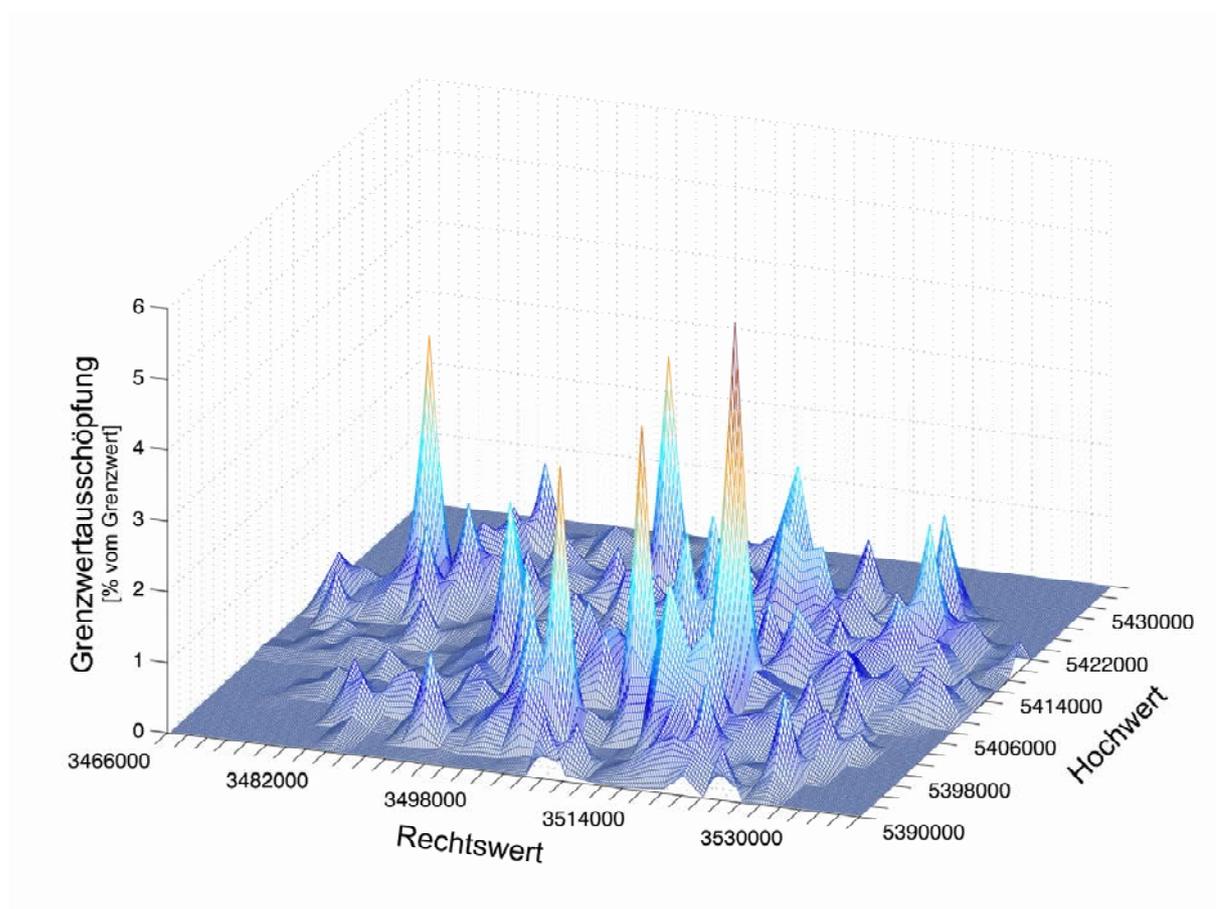
Dies bedeutet einen in der Fläche dominierenden Einfluss der wenigen, jedoch teilweise sehr leistungsstarken LMK-Sender in den Untersuchungsgebieten. In den Diagrammen 4 und 5 wird dieser Zusammenhang anhand von 3D-Darstellungen der Summenimmissionsverteilung im Untersuchungsgebiet Stuttgart beispielhaft dargestellt.

In Diagramm 4 treten die beiden Mittelwellensender (Stuttgart-Hirschlanden und Mühlacker) deutlich in Erscheinung. Diagramm 5 zeigt die Verteilung der Summenimmissionen in den Frequenzbereichen der Mobilfunkdienste (D-Netz und E-Netz). Hierbei fällt auf, dass die Einwirkungen stark ortsabhängig sind. Durch das 2-km-Raster treten in der Abbildung nur solche Mobilfunksendeanlagen als "Immissionsberg" in Erscheinung, die zufällig in der Nähe eines Messpunktes liegen.



Hinweis: Dargestellte Fläche entspricht in Richtung des Rechtswertes 70 km und in Richtung des Hochwertes 44 km

Diagramm 4: Verteilung der Summenimmissionen durch LMK-Sender im Untersuchungsgebiet Stuttgart



Hinweis: Dargestellte Fläche entspricht in Richtung des Rechtswertes 70 km und in Richtung des Hochwertes 44 km

Diagramm 5: Verteilung der Summenimmissionen durch Mobilfunksender im Untersuchungsgebiet Stuttgart

3.3 Unterschiede je nach geographischer Lage

Zeigen sich bei den Immissionen signifikante Unterschiede je nach geographischer Lage (z. B. Stadt / ländlicher Raum)?

Ergebnis:

Innerorts ist der Beitrag des Mobilfunks zu den Einwirkungen durch elektromagnetische Felder größer als der Beitrag durch die klassischen Funkdienste. Außerorts ist es gerade umgekehrt. Die jeweiligen Beiträge (Mittelwerte, angegeben in Prozent vom Grenzwert) sind in Diagramm 7 grafisch dargestellt.

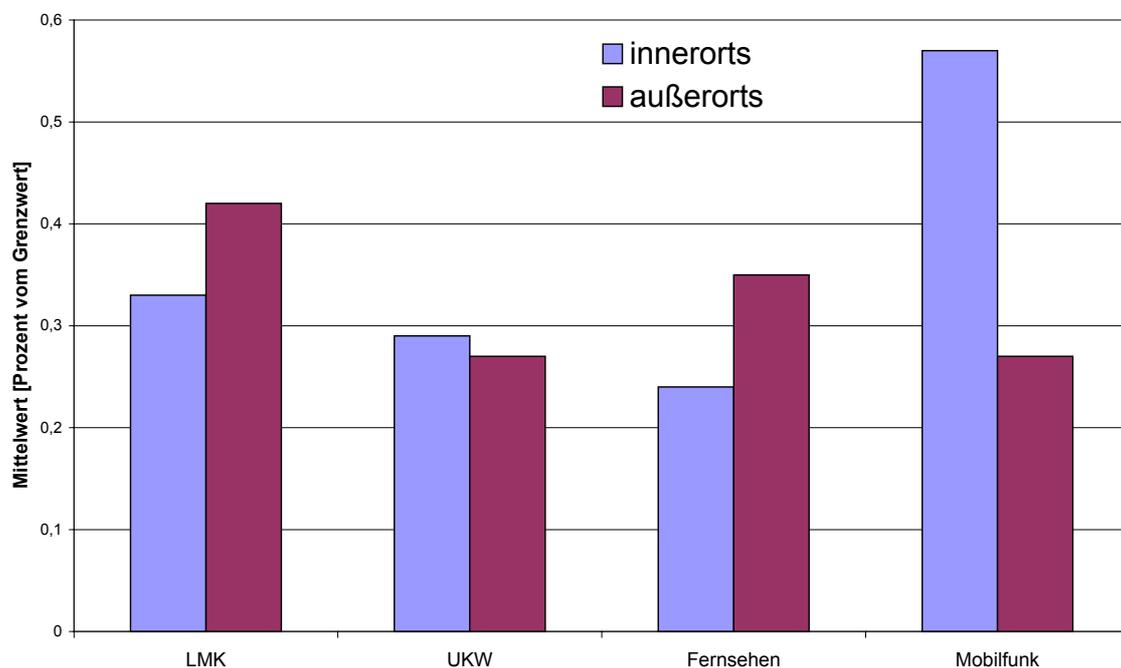


Diagramm 6: Durchschnittliche Beiträge der einzelnen Funkdienste zu den Immissionen je nach geografischer Lage der Messorte

Erläuterungen:

Die Sendeanlagen für Rundfunk und TV befinden sich in der Regel außerhalb geschlossener Ortschaften (z. B. auf Bergen oder hohen Sendetürmen). Die elektromagnetischen Wellen dieser Anlagen dringen also meist von außen kommend in die bebauten Bereiche ein, so dass die Abschattungswirkung von Gebäuden deutlich zum Tragen kommt. In unbebauten Gebieten hingegen können sich die Funkwellen ungestörter ausbreiten, so dass dort im Durchschnitt etwas höhere Immissionen nachweisbar sind als innerorts.

Die Reichweite von Mobilfunksendeanlagen ist in dicht bebautem Gebiet relativ gering. Dies ergibt sich einerseits aus ihrer niedrigeren Sendeleistung, andererseits können die Antennen aus baulichen und optischen Gründen nicht so exponiert errichtet werden wie dies bei Rundfunk- oder TV-Sendern der Fall ist. Zudem benötigen die Mobilfunknetze innerhalb von Ortschaften und Ballungszentren eine höhere Kapazität (hinsichtlich der gleichzeitig zu führenden Gespräche) als außerorts. Aus diesen Gründen muss das Netz der Mobilfunksendeanlagen innerorts engmaschiger sein als außerorts. Folglich wird ein beliebiger Messpunkt im Durchschnitt näher an einer Sendeanlage liegen als außerorts und somit sind höhere Immissionen nachweisbar.

3.4 Regionen mit besonders auffälligen Immissionen

Gibt es Regionen mit besonders hohen oder besonders niedrigen Immissionen?

Ergebnis:

Einwirkungen von mehr als 2 % des Grenzwertes treten nur in unmittelbarer Nähe von Sendeanlagen auf.

Erläuterung:

Summenimmissionen in Höhe von 2 % des Grenzwertes oder mehr ergaben sich nur in unmittelbarer Sendernähe. Beim Mobilfunk traten sie immer dann auf, wenn eine Sendeanlage weniger als einige hundert Meter vom Messpunkt entfernt war und Sichtverbindung zu den Sendeantennen bestand. Weiter war dies in der Nähe z. B. in maximal zirka einem Kilometer Entfernung von leistungsstarken LMK-Sendern der Fall. Bei Mobilfunksendeanlagen, UKW- und TV-Sendern, deren Antennen in der Regel erhöht auf Masten, Gebäudedächern oder Türmen montiert sind, sind höhere Immissionen in Bodennähe allein schon aufgrund der Abstrahlcharakteristik der Antennen unwahrscheinlich.

Daraus kann jedoch nicht abgeleitet werden, dass Orte mit höheren Einwirkungen in Baden-Württemberg nicht existieren. Das Versuchsdesign dieses Projekts (Messpunkte in Bodennähe in einem regelmäßigen Raster von 2 x 2 km) war so gewählt, dass repräsentative Aussagen über die typischen Immissionen in der Fläche getroffen werden können. Es sollten nicht gezielt die höchsten vorkommenden Immissionen ermittelt werden; durch den statistischen Ansatz spiegeln sich jedoch auch die höheren Immissionen entsprechend ihrer Häufigkeit in der gefundenen Immissionsverteilung wider (vgl. Anhang A.5).

Höhere Feldstärken können nur dann auftreten, wenn sich die Messpunkte annähernd auf gleicher Höhe zu den Sendeantennen befinden, also beispielsweise in den oberen Stockwerken von benachbarten Gebäuden. Die Untersuchung derartiger Fälle war jedoch nicht Aufgabe dieser Messkampagne. Hierzu wird auf entsprechende Messaktionen, beispielsweise der RegTP, verwiesen.

3.5 Weitere Schlussfolgerungen

Der Anteil des Mobilfunks an den Gesamtmissionen durch elektromagnetische Felder beträgt in Baden-Württemberg durchschnittlich etwa 20 %.

Erläuterungen:

Radio- und Fernsehsender, die von Funktürmen in der Stadt oder auf Geländeerhebungen abstrahlen, existieren seit vielen Jahrzehnten. Die Erfahrung in den Kommunen zeigen, dass diese Anlagen von der Bevölkerung nicht als Bedrohung empfunden werden. An Mobilfunkanlagen, die seit etwa 10 Jahren flächendeckend installiert werden, entzünden sich demgegenüber immer wieder kritische Diskussionen. Daher ist die Frage, welche Feldanteile durch den Mobilfunk „neu“ hinzugekommen sind, von Interesse.

Gemittelt über alle erfassten Messpunkte beträgt der Anteil des Mobilfunks an den derzeitigen Gesamtmissionen etwa ein Fünftel; der Anteil der klassischen Funkdienste liegt demgegenüber bei vier Fünfteln. Dabei ist zu beachten, dass der Mobilfunk den gesetzlichen Grenzwert im Durchschnitt nur zu 0,34 % ausschöpft.

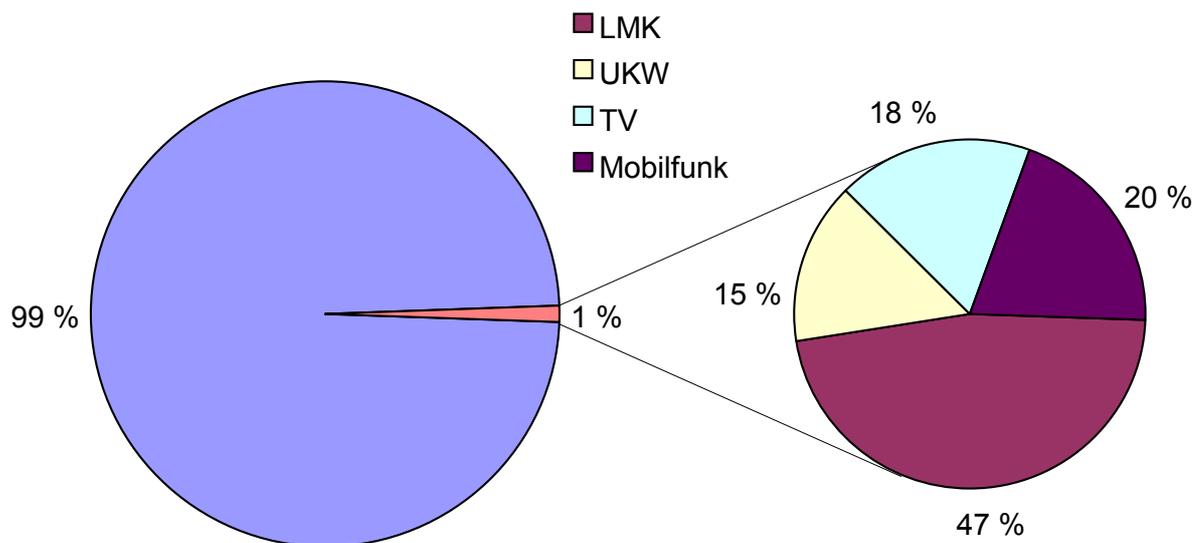


Diagramm 7: Grenzwertausschöpfung durch alle Funkdienste zusammen (links) und Anteil der einzelnen Funkdienste an den Gesamtmissionen (rechts) im Durchschnitt für alle Messpunkte

Hinsichtlich der denkbaren zukünftigen Entwicklung beim Mobilfunk können folgende prognostischen Aussagen getroffen werden:

- Der Markt für Mobilfunk-Endgeräte (Handys) erreicht zurzeit die Sättigung. Spätestens wenn jeder Bundesbürger ein Handy besitzt, werden nur noch Altgegen Neugeräte ausgetauscht, und das Wachstum des Marktes findet ein Ende.
- Mit allgemeiner Verfügbarkeit des neuen UMTS Standards werden die Nutzer allmählich vom derzeitigen GSM Standard auf UMTS umschwenken. In einer längeren Übergangsphase werden beide Dienste verfügbar sein.
- UMTS Funkzellen werden kleiner sein als die Funkzellen der GSM Netze. Die Sendeleistungen der einzelnen Mobilfunkanlagen und auch der Handys wird nicht zunehmen.

Unter diesen Voraussetzungen ist nicht zu erwarten, dass durch flächendeckende Einführung der neuen Gerätegeneration eine wesentliche Erhöhung der durch den Mobilfunk hervorgerufenen Immissionen auftreten wird.

Beim Vergleich der Immissionen mit den Grenzwerten zeigt sich, dass der Bewertung der Körperströme mindestens die gleiche Bedeutung zukommt wie der Bewertung der thermischen Wirkungen.

Erläuterungen:

Während bei zahlreichen anderen Studien lediglich die erfassten Gesamtimmis- sionen nach dem Wirkungsmodell der thermischen Wirkung im Mittelpunkt stehen, werden in diesem Projekt für die Bewertung der an den einzelnen Messpunkten erfassten Gesamtimmis- sionen, wie in [1], Kapitel 2.3 beschrieben, zwei unter- schiedliche Wirkungsmodelle für die Berechnung der Grenzwertausschöpfung herangezogen.

In Diagramm 8 wird die Verteilung des dominierenden Bewertungsverfahrens dargestellt. Man erkennt, dass an 64 % der untersuchten Messpunkte der Einfluss der Körperströme größer ist, als der Einfluss der thermischen Wirkung.

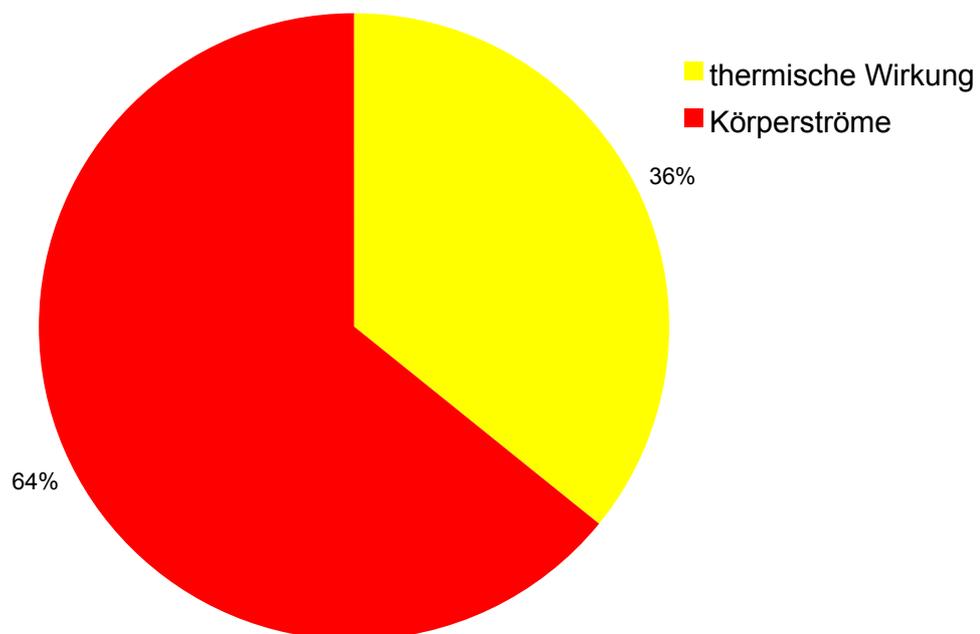


Diagramm 8: Prozentuale Verteilung der an den Messpunkten je nach Wirkungsmodell (thermische Wirkungen oder Körperströme) überwiegenden Summenimmissionswerte

Die Bewertung nach dem Modell der "Körperströme" kommt in Frequenzbereichen unterhalb von 10 MHz zum Tragen. Bei diesen Frequenzen arbeiten vor allem Sendeanlagen von Lang- und Mittelwellensendern. Beispielhaft seien hier die Sende- standorte "Stuttgart-Mühlacker", "Freiburg", "Ravensburg" und "Heidelberg-Dossen- heim" genannt.

Bei der Bewertung nach dem Modell der "thermischen Wirkungen" wird in diesem Projekt der Frequenzbereich von 50 kHz bis 3 GHz berücksichtigt. Hierbei spielen im Gegensatz zu der Bewertung der "Körperströme" auch die UKW-Rundfunk-, Fernseh- und Mobilfunkdienste eine Rolle. Vor allem bei den Mobilfunkdiensten sind die nachweisbaren Immissionen stark ortsabhängig, so dass ihr Einfluss auf das Gesamtergebnis im Mittel eine geringere Rolle spielt, als der Einfluss der leistungsstarken Lang- und Mittelwellensender, deren Immissionen über die gesamte Fläche der Untersuchungsgebiete nachweisbar sind.

Anhang: Ausführliche Bewertung des Messprojektes

A.1 Untersuchungsgebiete

Lage und Größe der vier Untersuchungsgebiete sind in Diagramm 9 dargestellt.

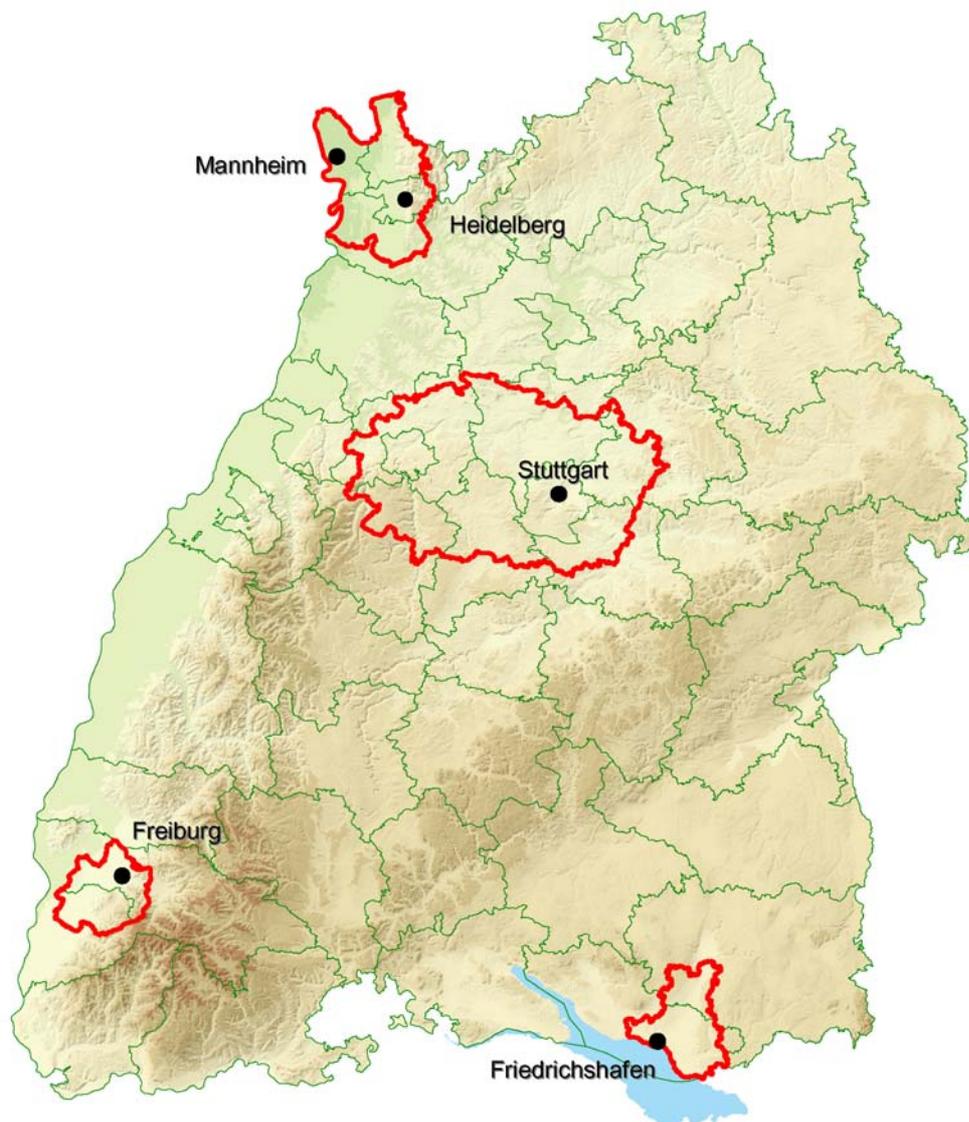


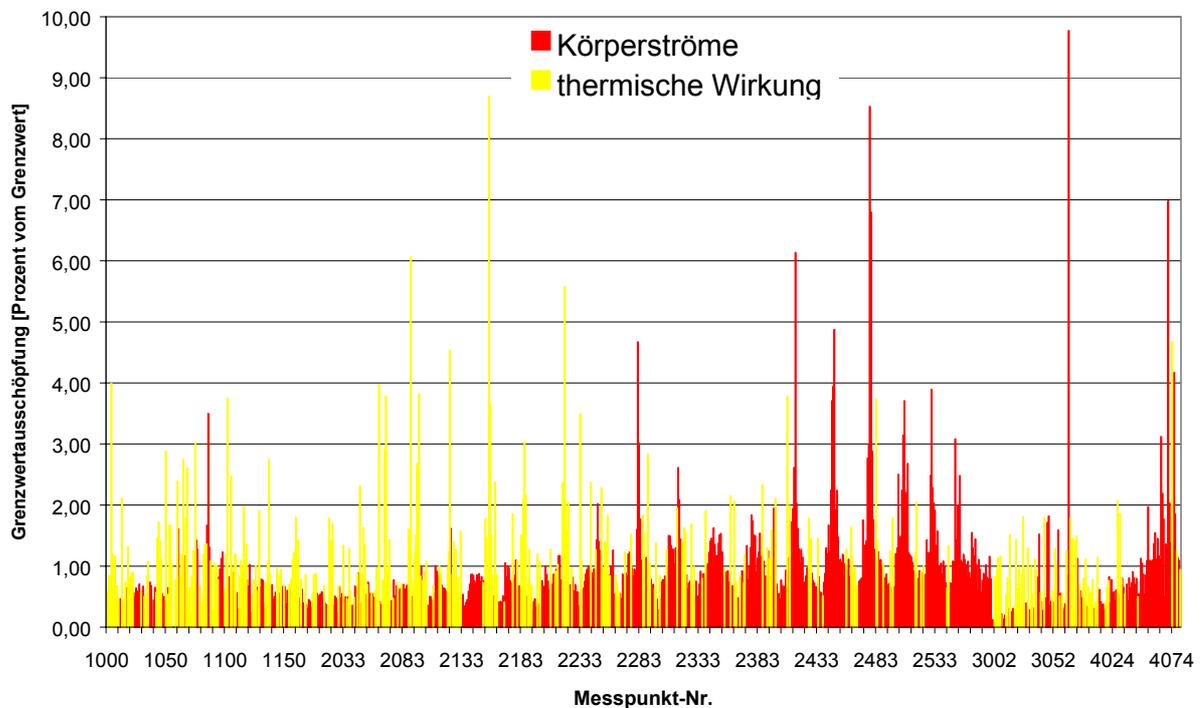
Diagramm 9: Lage und Größe der vier Untersuchungsgebiete

A.2 Darstellung der Gesamtimmissionen

Bei der Berechnung und Bewertung der an den einzelnen Messpunkten erfassten Gesamtimmissionen werden, wie in [1] beschrieben, zwei unterschiedliche Wirkungsmodelle herangezogen.

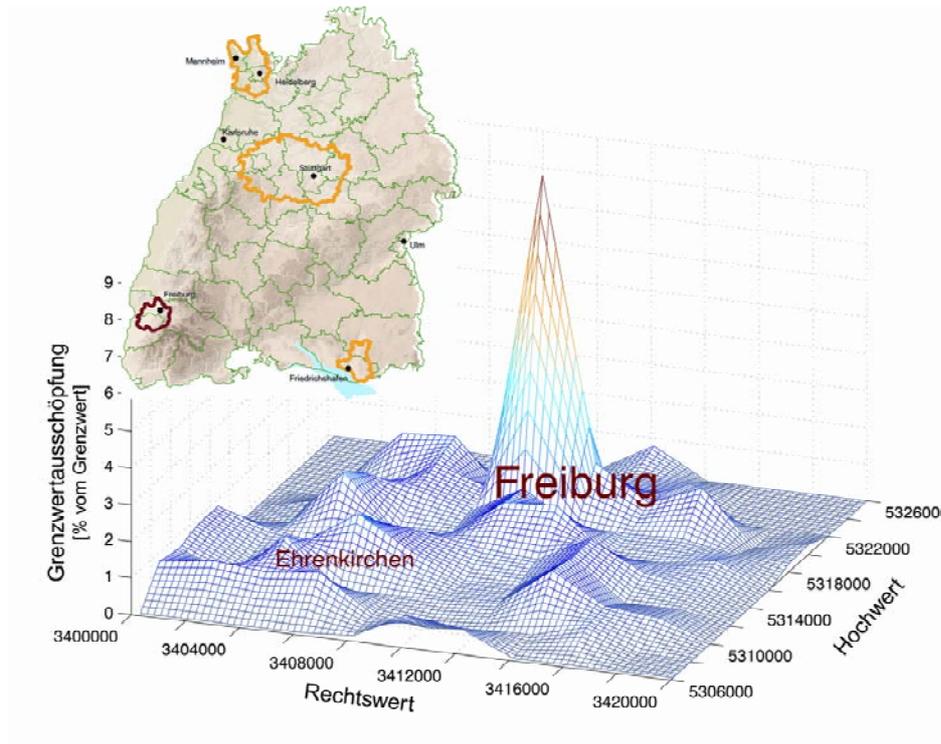
In Diagramm 10 ist für alle Messpunkte der maximale Summenimmissionswert dargestellt. Hierbei wurden die Immissionen an jedem Messpunkt nach beiden Wirkungsmodellen bewertet und das höhere der beiden Ergebnisse in die Grafik übernommen.

In Diagramm 8 wird die Verteilung des dominierenden Bewertungsverfahrens dargestellt. Man erkennt daraus, dass an 64 % der untersuchten Messpunkte der Einfluss der Körperströme größer ist, als die jeweilige thermische Wirkung.



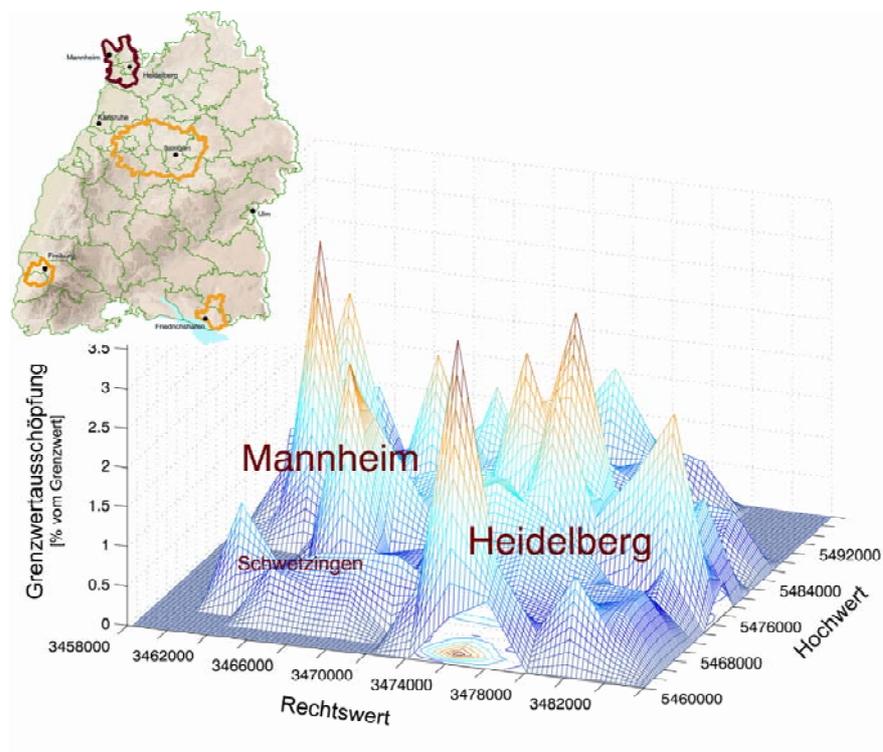
Hinweis: MP-Nr. 1xxx .. Gebiet Heidelberg/Mannheim; MP-Nr. 2xxx .. Gebiet Stuttgart; MP-Nr. 3xxx .. Gebiet Freiburg;
MP-Nr. 4xxx .. Gebiet Oberschwaben)

Diagramm 10: Gesamtimmissionen an allen Messpunkten (Ausschöpfung des Grenzwertes unter Berücksichtigung der Bewertungsverfahrens)



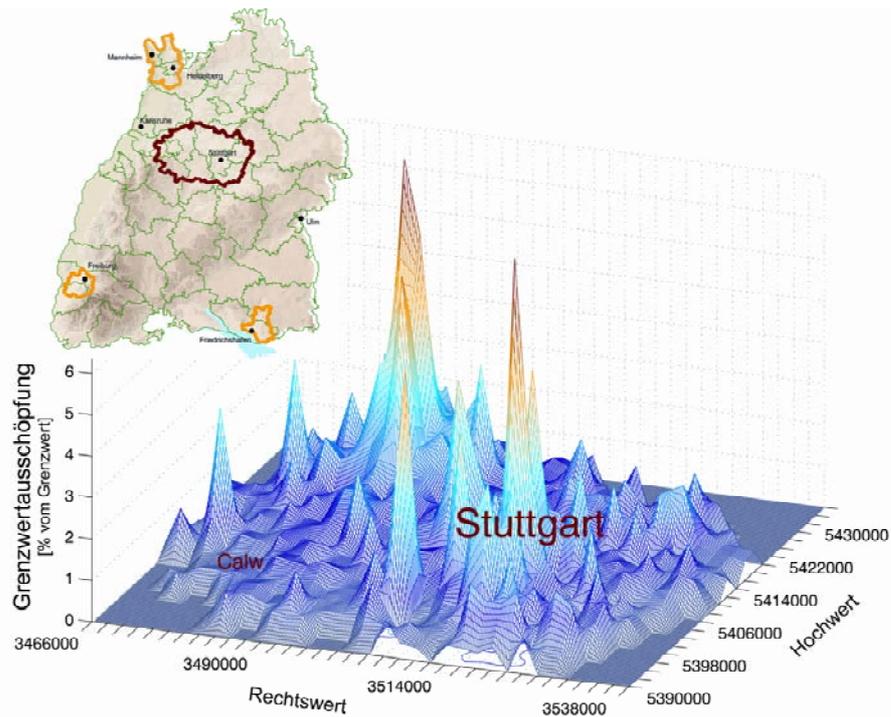
Hinweis: Dargestellte Fläche entspricht in Richtung des Rechtswertes 20 km und in Richtung des Hochwertes 20 km

Diagramm 11: Verteilung der Gesamtimmissionen im Untersuchungsgebiet Freiburg



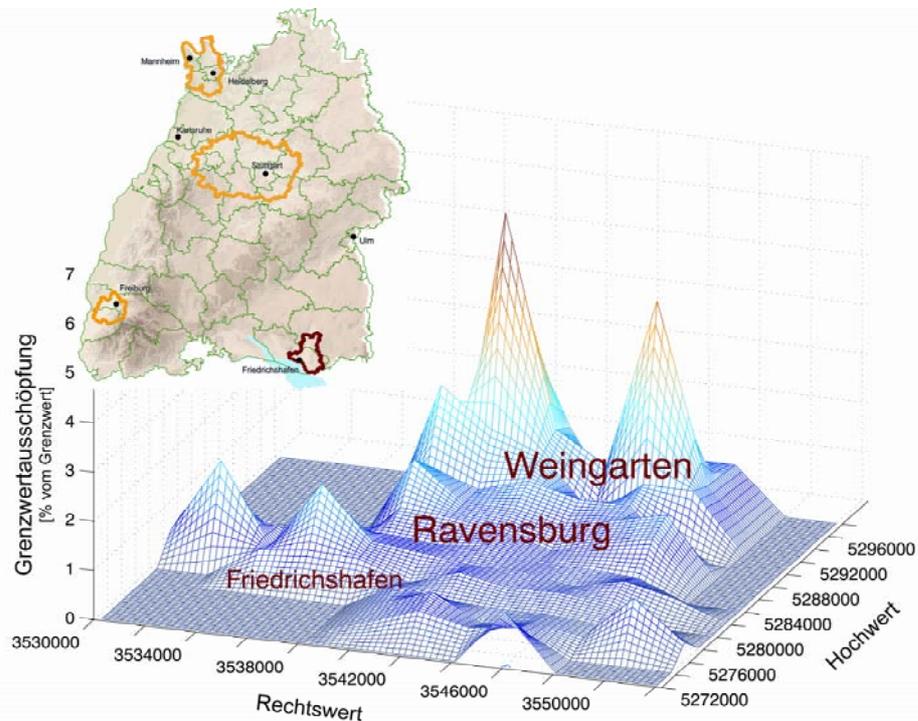
Hinweis: Dargestellte Fläche entspricht in Richtung des Rechtswertes 26 km und in Richtung des Hochwertes 38 km

Diagramm 12: Verteilung der Gesamtimmissionen im Untersuchungsgebiet Heidelberg/Mannheim



Hinweis: Dargestellte Fläche entspricht in Richtung des Rechtswertes 70 km und in Richtung des Hochwertes 44 km

Diagramm 13: Verteilung der Gesamtimmissionen im Untersuchungsgebiet Stuttgart



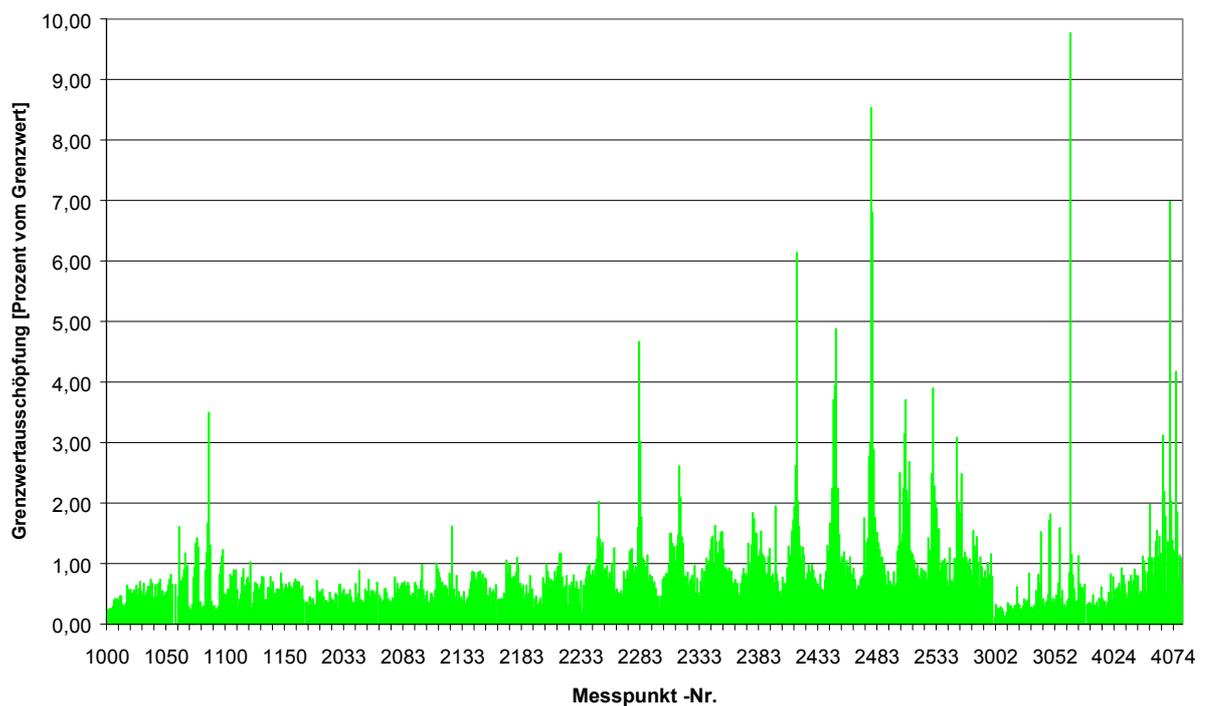
Hinweis: Dargestellte Fläche entspricht in Richtung des Rechtswertes 22 km und in Richtung des Hochwertes 26 km

Diagramm 14: Verteilung der Gesamtimmissionen im Untersuchungsgebiet Ober-schwaben

A.3 Bewertung der Körperströme

Bei der Übersicht der Immissionen, die nach dem Wirkungsmodell der Körperströme (siehe [1]) bewertet sind, ist zu erkennen, dass sich die Messpunkte mit überdurchschnittlichen Immissionswerten jeweils in der unmittelbaren Nähe von leistungsstarken Sendern befinden (siehe hierzu [2], [3], [4] und [5]).

An 77 % aller Messpunkte ist die Summenimmission niedriger als 1 % des Grenzwertes.



Hinweis: MP-Nr. 1xxx .. Gebiet Heidelberg/Mannheim; MP-Nr. 2xxx .. Gebiet Stuttgart; MP-Nr. 3xxx .. Gebiet Freiburg;
MP-Nr. 4xxx .. Gebiet Oberschwaben)

Diagramm 15: Summenimmissionen an den Messpunkten unter Anwendung des Wirkungsmodells "Körperströme"

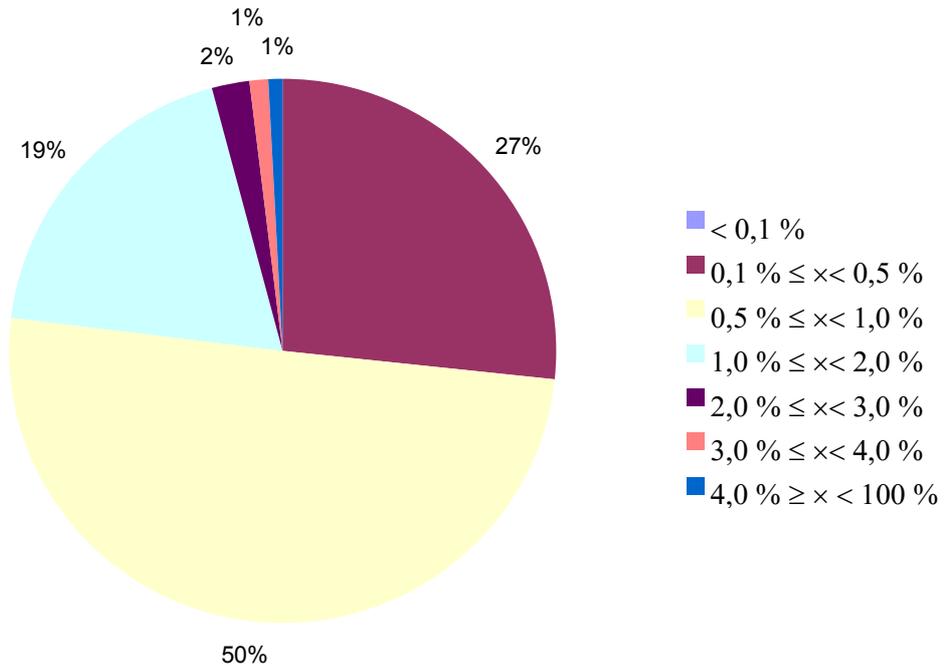
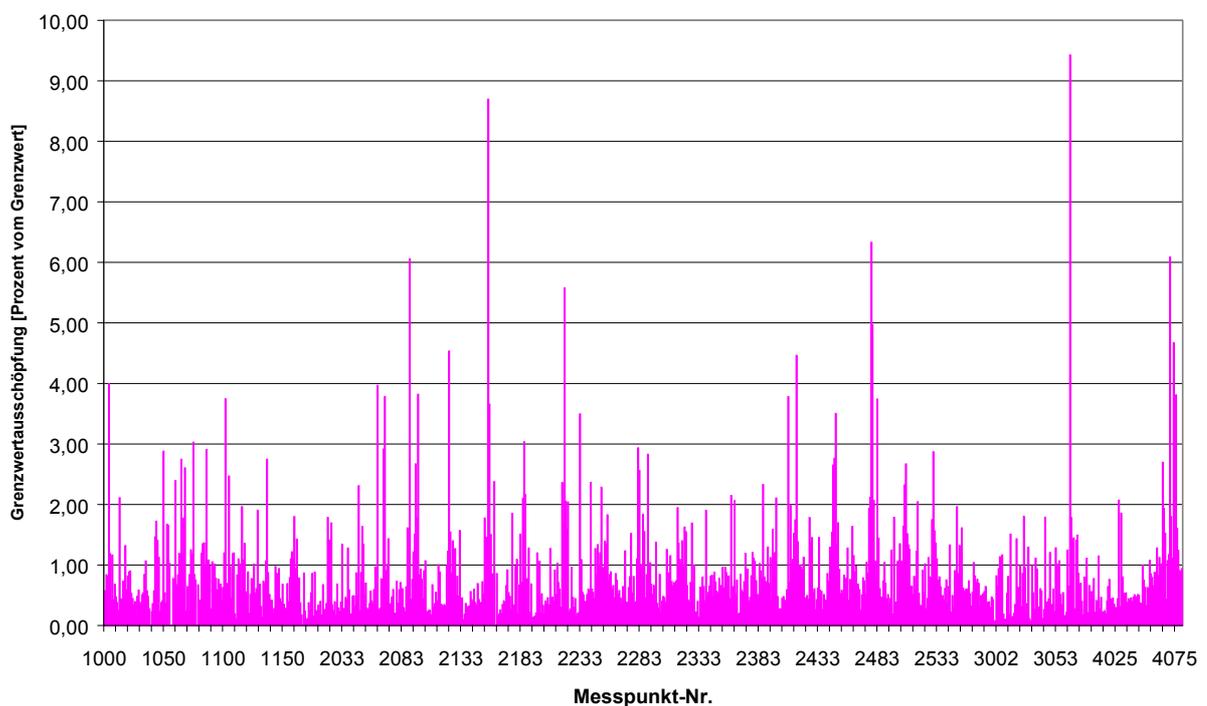


Diagramm 16: Prozentuale Verteilung der Summenimmissionen unter Anwendung des Wirkungsmodells "Körperströme"

A.4 Bewertung der thermischen Wirkung

Bei der Betrachtung der Summenimmissionswerte unter Berücksichtigung aller Funkdienste wird deutlich, dass 73 % der Messpunkte eine Summenimmission unterhalb 1 % des Grenzwertes aufweisen. Lediglich 1 % der Messpunkte erreichen eine Summenimmission von 4 % des Grenzwertes oder mehr.

Der Medianwert, der angibt, welcher Immissionswert an 50% aller untersuchten Messpunkte unterschritten wird, beträgt bei der Betrachtung der Summenimmission über alle Funkdienste an den einzelnen Messpunkten 0,63 % vom Grenzwert.



Hinweis: MP-Nr. 1xxx .. Gebiet Heidelberg/Mannheim; MP-Nr. 2xxx .. Gebiet Stuttgart; MP-Nr. 3xxx .. Gebiet Freiburg;
MP-Nr. 4xxx .. Gebiet Oberschwaben)

Diagramm 17: Summenimmission an den Messpunkten unter Anwendung des Wirkungsmodells "thermische Wirkung"

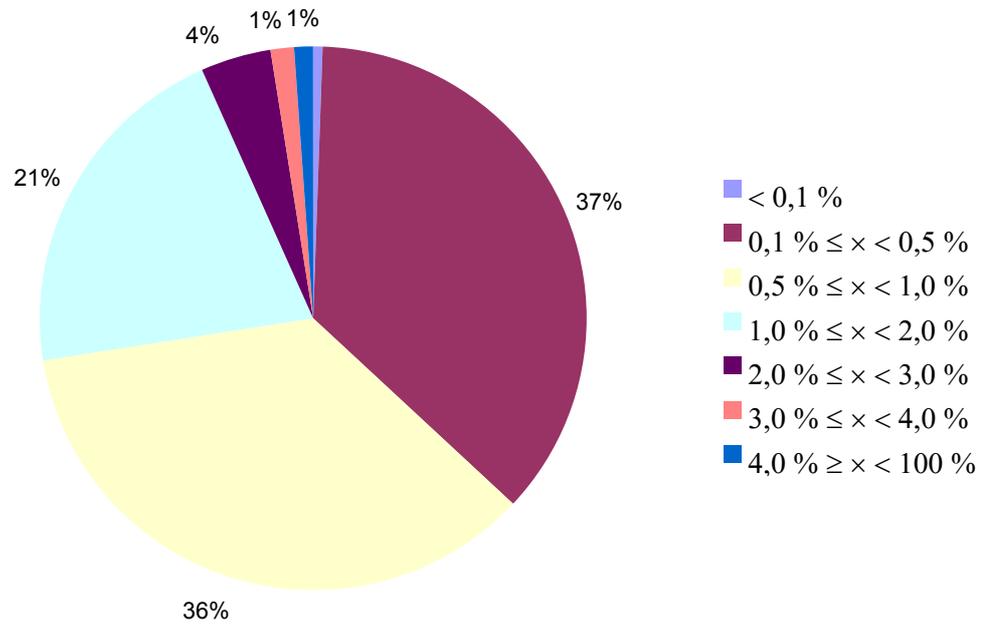


Diagramm 18: Prozentuale Aufteilung der Summenimmissionen unter Berücksichtigung aller Frequenzdienste in allen Messgebieten

A.5 Statistische Auswertungen

Die Auswertung großer Datenmengen wird durch die Berechnung statistischer Kenngrößen vereinfacht. Derartige Größen (Mittelwert, Median, Varianz etc.) dienen der Veranschaulichung wesentlicher Eigenschaften der Verteilung der Messergebnisse. In den Ergebnisberichten der einzelnen Untersuchungsgebiete [2], [3], [4] und [5] wurden schon einige dieser Werte verwendet. Diese werden hier für die Gesamtheit aller Einzelergebnisse ergänzt und erweitert.

	Maximum aus Körperströme und therm. Wirkung [% vom Grenzwert]	Körperströme [% vom Grenzwert]	thermische Wirkung [% vom Grenzwert]				
			Gesamt	LMK	UKW	TV	Mobilfunk
Median	0,86	0,68	0,64	0,24	0,15	0,17	0,16
Mittelwert	1,10	0,85	0,87	0,40	0,27	0,32	0,35
Standardabweichung	0,92	0,76	0,86	0,60	0,44	0,42	0,55
Variationskoeffizient	0,84	0,89	0,99	1,50	1,63	1,31	1,57

Anmerkung: Variationskoeffizient = Standardabweichung/Mittelwert

Tabelle 2: Zusammenstellung statistischer Daten

Tabelle 2 zeigt, dass keiner der betrachteten Mittelwerte höher ist als 1,10 % des Grenzwertes.

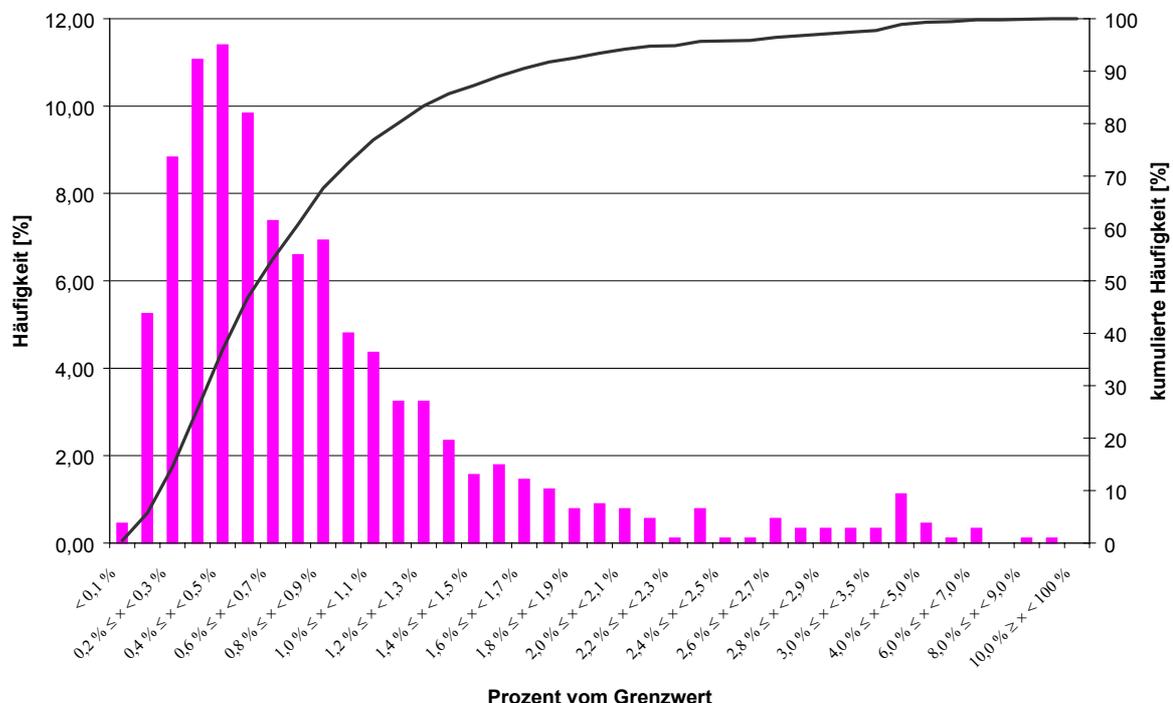


Diagramm 19: Häufigkeitsverteilung "thermische Wirkung" über alle Messpunkte

Diagramm 17 und Diagramm 19 zeigen eine typische Eigenschaft der Immissionsverteilung in den Untersuchungsgebieten. An den meisten Messpunkten finden sich Immissionswerte um 0,5 % vom Grenzwert, nur einige wenige Orte mit deutlich über dem Durchschnitt liegenden Immissionswerten "ragen" aus dem Verteilungsbild heraus. Aus diesem Grund liegt der Medianwert in Tabelle 2 immer unter dem arithmetischen Mittelwert.

Während des Projektes wurden die Immissionen durch hochfrequente Felder an insgesamt 895 Punkten innerhalb Baden-Württembergs aufgenommen. Hierbei fielen 667 Messpunkte auf Gebiete außerhalb und 228 Messpunkte auf Bereiche innerhalb geschlossener Ortschaften. Die folgenden beiden Tabellen geben die statistischen Parameter, aufgeschlüsselt nach geographischer Lage (innerorts bzw. außerorts) wieder:

	Maximum aus Körperströme und therm. Wirkung [% vom Grenzwert]		Körperströme [% vom Grenzwert]		thermische Wirkung [% vom Grenzwert] Gesamt	
	innerorts	außerorts	innerorts	außerorts	innerorts	außerorts
Median	0,84	0,87	0,65	0,69	0,68	0,62
Mittelwert	1,14	1,09	0,78	0,87	0,95	0,85
Standardabweichung	0,97	0,90	0,66	0,79	0,93	0,83
Variationskoeffizient	0,85	0,83	0,85	0,91	0,98	0,98

Anmerkung: Variationskoeffizient = Standardabweichung/Mittelwert

Tabelle 3: Zusammenstellung statistischer Daten aufgeschlüsselt nach Messpunkten innerorts und außerorts

	thermische Wirkung [% vom Grenzwert]							
	LMK		UKW		Fernsehen		Mobilfunk	
	innerorts	außerorts	innerorts	außerorts	innerorts	außerorts	innerorts	außerorts
Median	0,22	0,25	0,15	0,14	0,14	0,18	0,28	0,13
Mittelwert	0,33	0,42	0,29	0,27	0,24	0,35	0,57	0,27
Standardabweichung	0,47	0,63	0,37	0,46	0,30	0,44	0,85	0,37
Variationskoeffizient	1,42	1,5	1,28	1,70	1,25	1,26	1,49	1,37

Anmerkung: Variationskoeffizient = Standardabweichung/Mittelwert

Tabelle 4: Zusammenstellung statistischer Daten aufgeschlüsselt nach Verursachern und Messpunkten innerorts und außerorts

Tabelle 4 belegt nochmals die Aussagen des Abschnitts 3.3.

A.6 Grenzwerte

Rechtsgrundlage für die Immissionsbewertung in Deutschland ist seit Januar 1997 die 26. Bundes-Immissionsschutzverordnung (26. BImSchV) [6]. Die dort festgelegten Grenzwerte sind in Tabelle 5 aufgelistet und in Diagramm 20 grafisch dargestellt.

Frequenz [MHz]	Effektivwerte der Feldstärken	
	elektrische Feldstärke [V/m]	magnetische Feldstärke [A/m]
10 – 400	27,5	0,073
400 – 2 000	$1,375 \cdot \sqrt{f}$	$0,0037 \cdot \sqrt{f}$
2 000 – 300 000	61	0,16

Tabelle 5: Grenzwerte der 26. BImSchV für Hochfrequenzanlagen

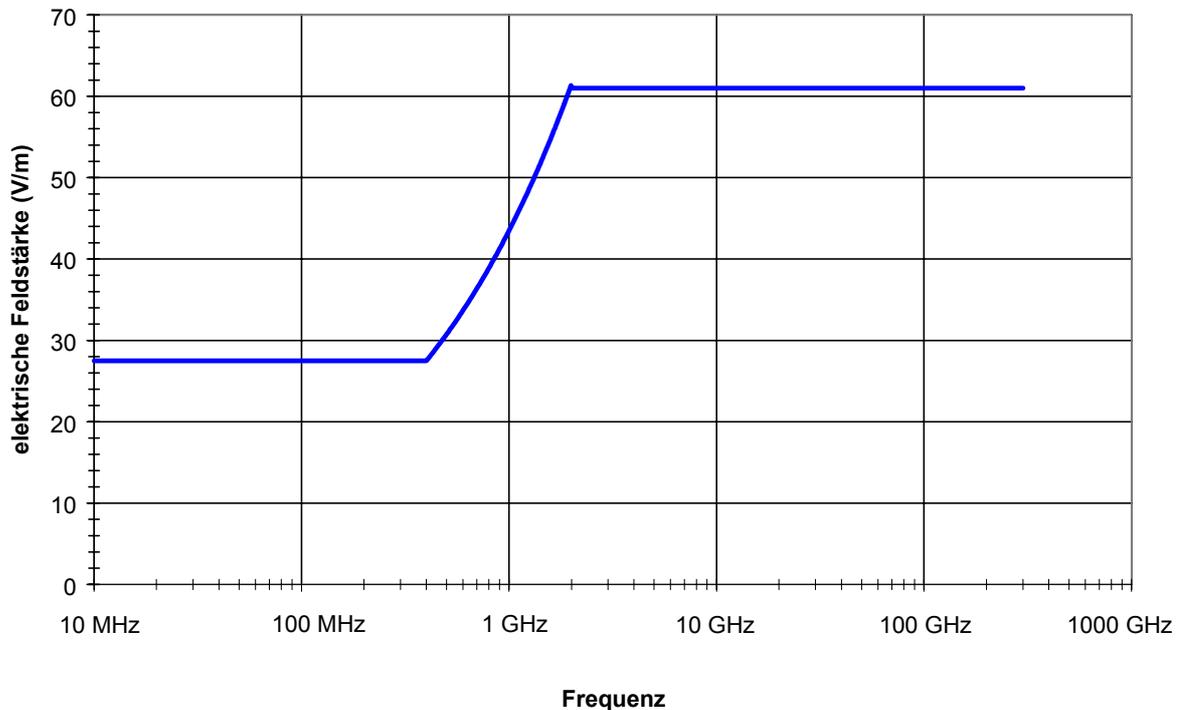


Diagramm 20: Grafische Darstellung der Grenzwerte der 26. BImSchV für Hochfrequenzanlagen

Die Grenzwerte stimmen mit den aktuellen Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) [7], der Internationalen Kommission für den Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung (ICNIRP) [8], des Europäischen Rates [9] sowie der deutschen Strahlenschutzkommission [10] überein. Die dort für einen erweiterten Frequenzbereich genannten Referenzwerte sind in Diagramm 21 grafisch dargestellt.

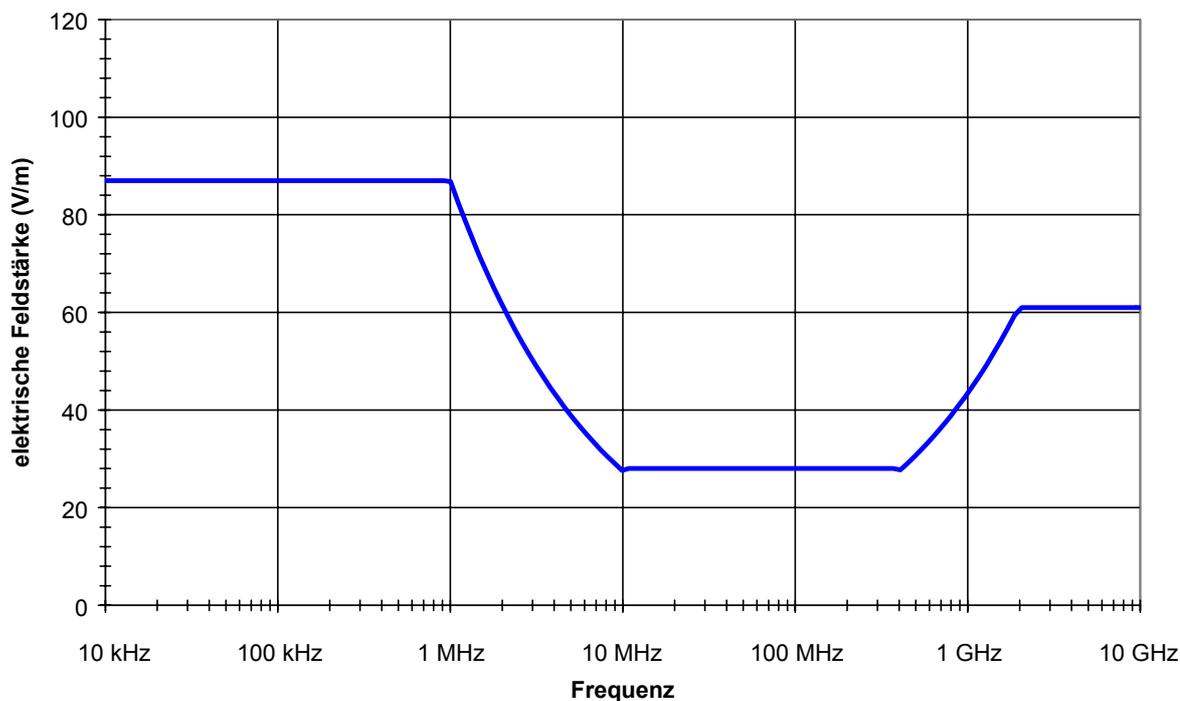


Diagramm 21: Grafische Darstellung der Grenzwerte der EU für Hochfrequenzanlagen

Bei der Festlegung der Grenzwerte für nichtionisierende Strahlung wird wie folgt vorgegangen:

Die Internationale Strahlenschutzkommission ICNIRP erarbeitet Grenzwertempfehlungen auf der Basis des aktuellen Forschungsstandes. Grundlage ist die von der WHO und der Umweltorganisation der Vereinten Nationen (UNEP) gemeinsam durchgeführte Bewertung der aktuellen wissenschaftlichen Befunde. Die Ergebnisse dieser Bewertung sind in den sog. „Environmental Health Criteria“ (z.B. EHC Doc.137) zusammengefaßt und als Buch veröffentlicht. In regelmäßigen Abständen prüft die ICNIRP den aktuellen Stand der Forschung und entscheidet darüber, ob eine Aktualisierung der Grenzwerte erforderlich ist.

Das Prinzip des Personenschutzes im Bereich des Mobilfunks ist die Begrenzung der vom Körper aufgenommenen Energie. Als Maß hierfür dient die spezifische Absorptionsrate (SAR), gemessen in Watt pro Kilogramm (W/kg) Körpergewicht. Um den Schutz der Bevölkerung vor den thermischen Einwirkungen hochfrequenter nichtionisierender Strahlen zu gewährleisten, wurden die sog. Basisgrenzwerte so

festgelegt, dass eine zusätzliche Erwärmung von Körperbereichen um mehr als 1°C mit Sicherheit ausgeschlossen wird. Für beruflich exponierte Personengruppen wird dieser Basisgrenzwert aus Sicherheitsgründen nochmals um den Faktor 10 reduziert. Weiter wird dann für die Allgemeinbevölkerung aus Gründen der Vorsorge dieser Grenzwert nochmals um den Faktor 5 reduziert, so dass der Grenzwert für die Allgemeinbevölkerung um den Faktor 50 geringer ist als der auf wissenschaftlicher Grundlage basierende Grenzwert, bei dem Wirkungen auf den Menschen nachweisbar sind.

Da die spezifische Absorptionsrate SAR in Körpern im allgemeinen schwierig zu bestimmen ist, werden abgeleitete Grenzwerte für die leichter zu messenden elektrischen und magnetischen Feldstärken festgesetzt.

Das hier beschriebene Verfahren wird in Diagramm 22 grafisch dargestellt.

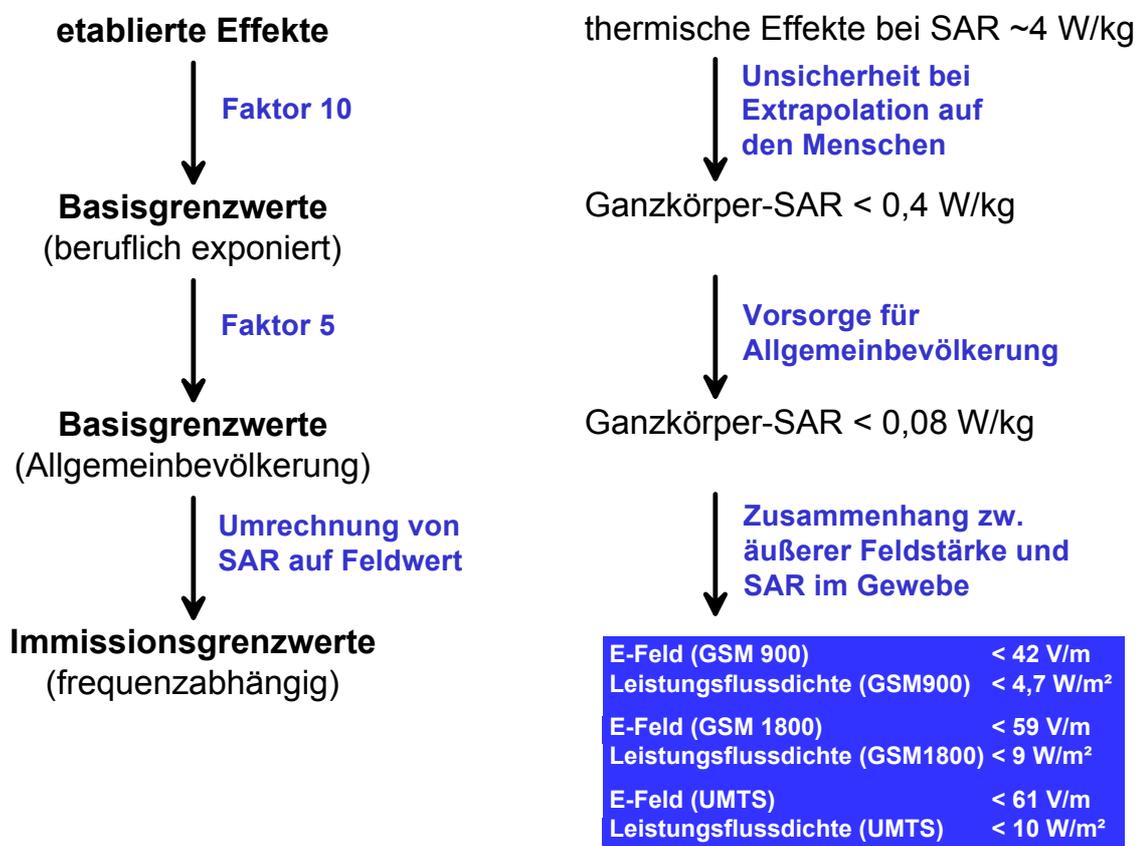


Diagramm 22: Vorgehensweise bei der Festlegung der Grenzwerte

Abkürzungsverzeichnis

Liste der verwendeten Formelzeichen (mit Einheit)

E	[V/m]	Elektrische Feldstärke
ERP	[W]	Äquivalente Strahlungsleistung bezogen auf einen $\lambda/2$ -Dipol (effective radiated power)
H	[A/m]	Magnetische Feldstärke
S	[W/m ²]	Leistungsflussdichte

Liste der verwendeten Abkürzungen

AFN	American Forces Network Radio
AM	Amplitudenmodulation
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft; Schweiz
DAB	Digitaler Rundfunk (digital audio broadcast)
DCF77	über Langwelle (77,5 kHz) ausgesendetes Zeitsignal
ERP	effective radiated power / äquivalente Strahlungsleistung
FM	Frequenzmodulation
GSM	Mobilfunkstandard (global system for mobile communications)
ICNIRP	Internationale Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlen (international commission on non-ionizing radiation protection)
KW	Kurzwelle
LMK	Langwelle, Mittelwelle und Kurzwelle
LW	Langwelle
METAS	Bundesamt für Metrologie und Akkreditierung Schweiz
MW	Mittelwelle
RegTP	Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post
SAR	Spezifische Absorptionsrate
TV	Fernsehen (Television)
UHF	Ultra High Frequency
UKW	Ultrakurzwelle
UMTS	neuer mobiler Kommunikationsstandard (universal mobile telecommunications system)
VHF	Very High Frequency
WHO	Weltgesundheitsorganisation (world health organization)

Verwendete Literatur

- [1] **U. Bochtler, R. Eidher, M. Wuschek**
"Großräumige Ermittlung von Funkwellen in Baden-Württemberg – Beschreibung und wissenschaftliche Bewertung des Messvorhabens"
Stuttgart 07.2002
- [2] **U. Bochtler, R. Eidher, M. Wuschek**
"Großräumige Ermittlung von Funkwellen in Baden-Württemberg Messergebnisse Untersuchungsgebiet Heidelberg/Mannheim"
Stuttgart 07.2003
- [3] **U. Bochtler, R. Eidher, M. Wuschek**
"Großräumige Ermittlung von Funkwellen in Baden-Württemberg Messergebnisse Untersuchungsgebiet Stuttgart"
Stuttgart 07.2003
- [4] **U. Bochtler, R. Eidher, M. Wuschek**
"Großräumige Ermittlung von Funkwellen in Baden-Württemberg Messergebnisse Untersuchungsgebiet Freiburg"
Stuttgart 07.2003
- [5] **U. Bochtler, R. Eidher, M. Wuschek**
"Großräumige Ermittlung von Funkwellen in Baden-Württemberg Messergebnisse Untersuchungsgebiet Oberschwaben"
Stuttgart 07.2003
- [6] **Bundesrepublik Deutschland**
"26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes"
Bundesgesetzblatt Jg. 1996, Teil I, Nr.66, Bonn 20.12.1996.
- [7] **World Health Organization (WHO)**
"The International EMF Project – EMF Project Information"
<http://www.who.int/peh-emf/project/en/>
- [8] **International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)**
"Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)"
Health Physics, Vol. 74, Nr. 4, April 1998, S. 494-522.
- [9] **Der Rat der Europäischen Union**
"Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz)"
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L199, 30.07.1999, S. 59 – 70.
- [10] **Strahlenschutzkommission (SSK)**
"Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern; Empfehlungen der Strahlenschutzkommission"
Bonn, 14.09.2001 (www.ssk.de).