

# Elektromagnetische Immissionen durch Mobilfunksendeanlagen

## Bericht über durchgeführte Feldstärkemessungen



**Auftraggeber:** Stadt Hauzenberg  
Marktplatz 10  
94051 Hauzenberg

**Untersuchungsort:** Umgebung des Mobilfunkanlagenstandortes "Duschlberg"

**Durchführung:** EM-Institut GmbH  
Carlstraße 5  
93049 Regensburg

**Autor:** Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek  
Öffentlich bestellter und beeidigter Sachverständiger für das Fachgebiet  
"Elektromagnetische Umweltverträglichkeit (EMVU)"

**Projektnummer:** 15/028

**Ort und Datum:** Regensburg, 27. Dezember 2019

## Inhaltsverzeichnis

	<b>Seite</b>	
<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung</b>	3
<b>2</b>	<b>Immissionen durch Mobilfunksendeanlagen</b>	5
<b>3</b>	<b>Durchführung der Messungen</b>	8
3.1	Messgrößen für hochfrequente elektromagnetische Felder	8
3.2	Verwendete Messgeräte, Messverfahren	8
3.3	Messgenauigkeit, Bestimmung der Maximalimmission	9
3.4	Qualitätssicherung	10
3.5	Messorte	10
<b>4</b>	<b>Festgestellte Immissionswerte</b>	11
4.1	Aktuelle Immission durch Mobilfunk	11
4.2	Veränderung der Immission im Vergleich zur letzten Messung	14
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	16
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	17
<b>7</b>	<b>Anlagen</b>	18
	Anlage 1: Ausführliche Ergebnistabellen	18
	Anlage 2: Grenzwerte und ihre Festlegung	24
	Anlage 3: Lageplan mit Anlagenstandort und den Messpunkten	27
	Anlage 4: Fotos	28

**Hinweis:** Die Weitergabe bzw. Veröffentlichung dieses Berichts (auch auszugsweise) bedarf der vorherigen Zustimmung durch den Autor.

# 1 Aufgabenstellung

Aufgrund der Erweiterung eines Mobilfunkstandortes (Mast auf dem Duschlberg, 94051 Hauzenberg) durch die Firma Vodafone (zusätzliche Inbetriebnahme von LTE-Sendeanlagen) wurde die EM-Institut GmbH von der Stadt Hauzenberg beauftragt, an einigen Punkten im näheren Umfeld des Standortes die dadurch entstandene Veränderung der durch Mobilfunksignale verursachten elektromagnetischen Immissionen zu bestimmen.

Zu diesem Zweck wurde eine "Vorhermessung" vor, sowie eine "Nachhermessung" nach Inbetriebnahme der neuen Sendeanlagen durchgeführt. Die Ergebnisse der Messungen wurden mit den in Deutschland verbindlichen Grenzwerten verglichen.

Zum Zeitpunkt der "Nachhermessung" waren am betrachteten Anlagenstandort (Duschlberg, Fl. Nr. 473/8; Standortbescheinigungsnummer: 690425) folgende Mobilfunksendeanlagen in Betrieb:

Betreiber	Mobilfunksysteme
Vodafone	GSM + UMTS + LTE
Telefónica	GSM + UMTS

**Quelle:** Standortdatenbank der Bundesnetzagentur (BNetzA), sowie Auskünfte der Netzbetreiber.

**Tab. 1:** Am betrachteten Anlagenstandort aktuell vorhandene Mobilfunksendeanlagen.

In diesem Bericht sind die Ergebnisse der "Nachhermessung" dokumentiert. Zusätzlich wird ein Vergleich mit den Resultaten der "Vorhermessung" vom Juni 2015 vorgenommen.

Der Schutz der Bevölkerung vor den Wirkungen elektromagnetischer Felder ist in Deutschland seit Januar 1997 in der 26. *Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV)* [1] verbindlich geregelt. Die in dieser Verordnung festgelegten Immissionsgrenzwerte basieren auf den aktuellen Empfehlungen der Internationalen Kommission für den Schutz vor nicht ionisierenden Strahlen (ICNIRP) [2], des Europäischen Rates [3] sowie der deutschen Strahlenschutzkommission [4].

Die Intensität elektromagnetischer Wellenfelder wird durch die *Feldstärke* oder die *Leistungsflussdichte* beschrieben. Welche Feldstärke- bzw. Leistungsflussdichtewerte an bestimmten Orten auftreten, lässt sich im Allgemeinen nur näherungsweise berechnen, da neben der Leistung der Sendeanlage verschiedene andere Einflussfaktoren zusätzlich eine Rolle spielen können. Als Beispiel seien hier Antennencharakteristik, Bewuchs (vor allem Bäume), Bebauung und Gebäudeschirmung genannt.

Um zuverlässige Aussagen über die Hochfrequenzimmission in der Umgebung einer Funkse Sendeanlage treffen zu können, sind daher bei in Betrieb befindlichen Anlagen Messungen in der Regel Berechnungen vorzuziehen. Ein Vergleich der Messergebnisse mit den gesetzlichen Grenzwerten für elektromagnetische Felder erlaubt eine objektive Einschätzung der Immissi-

onssituation vor Ort. Bei geplanten oder noch nicht in Betrieb befindlichen Sendern sind hingegen rechnerische Prognosen die einzige Möglichkeit zur Darstellung der Immissionsverhältnisse.

Im vorliegenden Fall soll mittels der Messergebnisse die Beantwortung der folgenden Fragen möglich werden:

- *Wie groß, im Vergleich zum gesetzlichen Grenzwert, sind die Immissionen, die derzeit durch Mobilfunksignale an den betrachteten Messpunkten erzeugt werden?*
- *Wie hat sich die Immission im Vergleich zur "Vorhermessung" verändert?*

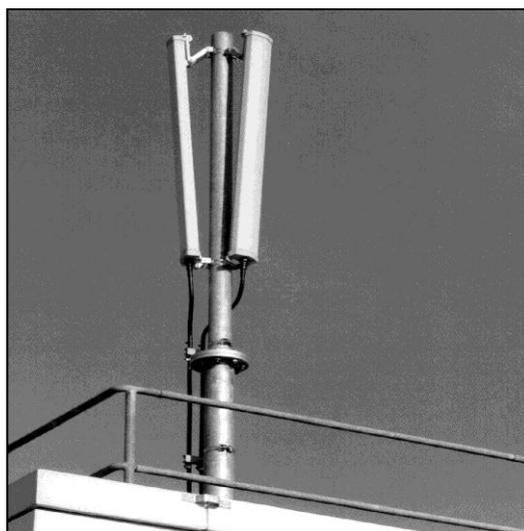
Die Ergebnisse der Messungen und die sich daraus ergebenden Schlussfolgerungen werden im Folgenden dargestellt.

## 2 Immissionen durch Mobilfunksendeanlagen

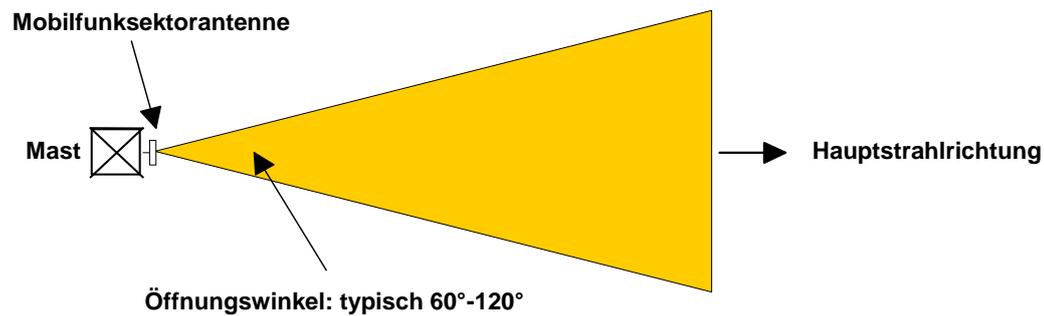
Neben der Sendeleistung ist insbesondere das Bündelungsverhalten der montierten Antennen ein wesentlicher Faktor für die Größe der Immissionen in der unmittelbaren Umgebung einer Mobilfunksendeanlage. Die beim Mobilfunk verwendeten Antennen senden in der horizontalen Ebene entweder omnidirektional (Abbildung 1), d.h. in alle Richtungen parallel zum Erdboden wird gleich viel Energie abgegeben oder die elektromagnetische Welle wird mittels Richtantennen horizontal auf einen typisch  $60^\circ$  bis  $120^\circ$  breiten Sektor konzentriert (Abbildung 3). Häufig werden von einem Anlagenstandort aus, durch die Montage mehrerer derartiger Richtantennen, gleich zwei oder drei Sektoren versorgt (Abbildung 2).



**Abb. 1:** Beispiel für eine Mobilfunksendeanlage mit omnidirektionalen Antennen.



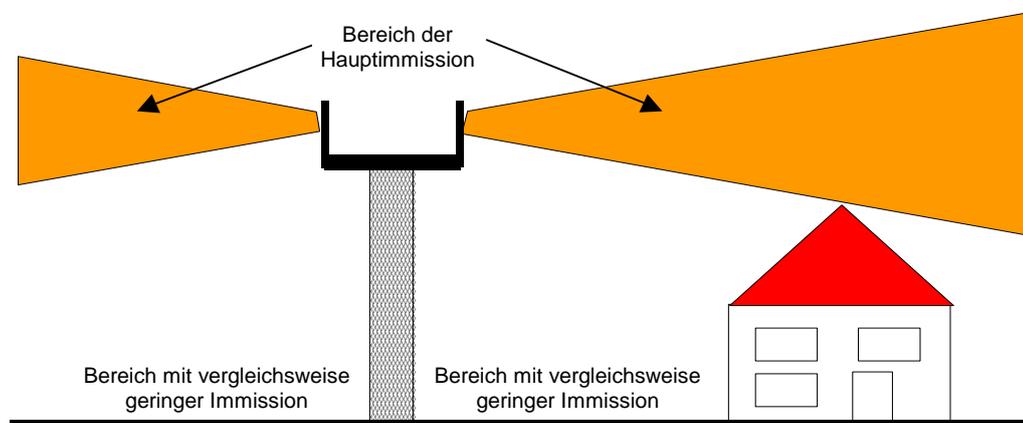
**Abb. 2:** Zwei Sektorantennen, montiert auf einem Flachdach (hier mit mechanischer Strahlabsenkung, engl. "Downtilt").



**Abb. 3:** Horizontales Abstrahlverhalten einer Mobilfunksektorantenne.

An den meisten Standorten werden Sektorantennen verwendet.

In der Vertikalen hingegen senden alle Mobilfunkantennen, ähnlich wie die Scheinwerfer eines Leuchtturmes, sehr stark gebündelt (Abbildung 4). Der Hauptabgabebereich der elektromagnetischen Energie wird als "Öffnungswinkel" der Antenne bezeichnet. Er beträgt vertikal typisch zirka 5 bis 10°. Zusätzlich ist die Hauptstrahlrichtung häufig bezüglich der Horizontalen um einige Grad nach unten geneigt [5]. Damit erreicht man eine gezielte Versorgung der lokalen Funkzelle, eine Leistungsabgabe in unerwünschte Bereiche, wie beispielsweise in weiter entfernte Funkzellen, die mit der gleichen Trägerfrequenz arbeiten, wird verhindert (Vermeidung sogenannter "Gleichkanalstörungen").



**Abb. 4:** Vertikales Bündelungsverhalten von Mobilfunkantennen (prinzipielle Darstellung).

Außerhalb dieses schmalen Feldkegels der Antenne (vergleichbar mit der Lichtverteilung im Kegel eines Scheinwerfers) ist die Energieabgabe deutlich geringer (typisch nur 1/10 bis 1/1.000 der Wertes der Leistungsflussdichte in der Hauptstrahlrichtung). Der bodennahe Raum in unmittelbarer Nähe einer erhöht angebrachten Mobilfunkantenne und auch die Räume eines Gebäudes, auf dem die Antennen errichtet sind, werden somit häufig wesentlich geringer exponiert sein, als es durch eine reine Entfernungsbetrachtung zu erwarten gewesen wäre. Man befindet sich also, ähnlich wie beim Nahbereich eines Leuchtturmes, in einer mehr

oder weniger stark ausgeprägten Schattenzone. Noch stärker wirksam ist diese Schattenzone, wenn die Antennen an einem besonders erhöhten Punkt, wie beispielsweise auf einem hohen Turm oder Schornstein montiert sind.

Ist eine Antenne beispielsweise auf einem Gebäudedach installiert, werden die Felder im Inneren des Gebäudes durch das Bündelungsverhalten der Antenne sowie zusätzlich noch von der Dämpfung des Daches und der vorhandenen Decke bestimmt. Aufgrund der Dämpfung, die durch die Antennen und die Gebäudemauern bedingt ist, erreicht der dominierende Teil der hochfrequenten Energie, die im Gebäude messbar ist, häufig nicht auf dem direkten Weg durch Dach und Decke den Innenbereich. Vielmehr gelangt sie als von benachbarten Gebäuden, Berghängen, Bäumen oder Büschen reflektiertes Signal durch die Fenster in das Gebäudeinnere.

Die Stärke der Felder, die im Inneren eines benachbarten Gebäudes noch messbar sind, wird hauptsächlich vom Abstand, dem relativen Höhenunterschied zu den Mobilfunkantennen und ebenfalls der Dämpfung der Mauern, des Daches und der vorhandenen Fenster bestimmt. Abhängig von den verwendeten Baumaterialien (Holz, Ziegel, Beton) tritt damit eine zusätzliche, unter Umständen erhebliche, Schwächung der Felder auf.

An dieser Stelle muss zudem darauf hingewiesen werden, dass bei elektromagnetischen Wellen die Intensität mit zunehmendem Abstand zur Sendeanlage sehr stark abnimmt: Wenn sich die elektromagnetische Welle ungestört ausbreitet, nimmt die Leistungsflussdichte in der Hauptstrahlrichtung mit wachsender Entfernung quadratisch ab. Dies bedeutet, dass sie bei Verdoppelung der Distanz bereits auf ein Viertel, bei Verzehnfachung des Abstandes sogar auf ein Hundertstel des Ausgangswertes abgefallen ist. Unter realen Ausbreitungsverhältnissen (Einfluss von Topografie, Bewuchs, Bebauung) ist die Abnahme der Felder sogar noch stärker ausgeprägt [6]. Das gilt unabhängig vom Typ der verwendeten Antenne.

Zusätzlich zu den Mobilfunkantennen sind an einigen Standorten auch Richtfunkantennen (Parabolspiegel) installiert. Sie dienen zur Verbindung der Mobilfunksendeanlage mit den benachbarten Stationen bzw. der Vermittlungszentrale des Betreibers. Diese Antennen geben, ähnlich wie eine Hochleistungstaschenlampe, ein stark gebündeltes Signal in horizontaler Richtung ab und erzeugen daher keine nennenswerten Immissionen in der näheren Umgebung.

## 3 Durchführung der Messungen

### 3.1 Messgrößen für hochfrequente elektromagnetische Felder

Für die Beurteilung der elektromagnetischen Immissionen in der Umgebung von Hochfrequenzquellen werden bei Frequenzen oberhalb 30 Megahertz üblicherweise die folgenden Größen verwendet [7]:

- Der Effektivwert der *elektrischen Feldstärke* E in Volt pro Meter (V/m).
- Der Effektivwert der *magnetischen Feldstärke* H in Ampere pro Meter (A/m).
- Die *Leistungsdichte* (häufig auch *Leistungsflussdichte* bezeichnet) S in Watt pro Quadratmeter ( $W/m^2$ ) oder Milliwatt pro Quadratmeter ( $mW/m^2$ ).

Die Leistungsflussdichte gibt die in einer Fläche von einem Quadratmeter fließende Leistungsmenge der durch die elektromagnetische Welle transportierten Hochfrequenzenergie an.

Im "Fernfeld" einer Antenne stehen Leistungsflussdichte und elektrische bzw. magnetische Feldstärke in einem festen Verhältnis zueinander. Alle drei Größen sind im Fernfeld äquivalent, ähnlich wie Stromaufnahme und Leistungsverbrauch bei Elektrogeräten. Bei den hier durchgeführten Messungen kann von Fernfeldbedingungen ausgegangen werden, da die Messpunkte ausreichend weit von der Antenne entfernt sind. Für die Beschreibung der Immission genügt also die Angabe einer der drei Größen.

In der folgenden Untersuchung wird primär die elektrische Feldstärke E bzw. ihr Grenzwert-Ausschöpfungsgrad als Größe für die Immissionswerte verwendet.

### 3.2 Verwendete Messgeräte, Messverfahren

Im Rahmen der Immissionsmessungen wurde folgende Messausrüstung eingesetzt:

1. Feldanalysatorsystem Narda SRM-3006 (Ser. Nr. C-0034)
2. Isotropantenne 3AX 27M-3G (Ser. Nr. D-0043)

Mittels des Feldanalysators und einer geeigneten Messantenne wurden Frequenz und Empfangspegel der einzelnen am Messort zu untersuchenden Funksignale festgestellt. Unter Zuhilfenahme der Kalibrierdaten der verwendeten Messantenne und unter Berücksichtigung der Dämpfung der Leitung zwischen Messantenne und Feldanalysator kann damit die am Messort herrschende Feldstärke bestimmt werden. Durch geeignetes manuelles Ausrichten der Antenne wurde jeweils die stärkste am Messpunkt vorhandene Immission gesucht und aufgezeichnet ("Schwenkmethode") [8].

GSM-Signale werden spektral mit einer Messbandbreite von 0,2 MHz, TETRA-Signale mit 0,03 MHz, UMTS mit 5 MHz und LTE-Signale mit ca. 1 MHz (plus anschließender Extrapolation auf die volle Signalbandbreite) erfasst. Als Detektor kommt der RMS-Detektor zum

Einsatz. Bei den UMTS- und den LTE-Signalen werden die Immissionen zellspezifisch erfasst ("codeselektive Messung").

Bei Vorhandensein mehrerer etwa gleich großer Immissionen wurde entsprechend der Vorgaben der Normen eine Summation durchgeführt, um die wirksame *Summenimmission* zu erhalten. Einzelimmissionen, die aufgrund geringer Stärke nur einen vernachlässigbar kleinen Beitrag zur Gesamtimmission liefern, wurden vernachlässigt.

### 3.3 Messgenauigkeit, Bestimmung der Maximalimmission

Bei derartigen Immissionsmessungen muss mit einer Messunsicherheit von typisch  $\pm 3$  Dezibel (dB) gerechnet werden [9]. Gründe dafür sind z.B. unvermeidbare Restfehler bei der Kalibrierung der Messantennen, die entsprechende Messtoleranz des Feldanalysators und die Unsicherheit der Probennahme. Bei den im Folgenden dokumentierten Immissionswerten wurde die Messunsicherheit nicht auf die vor Ort abgelesenen Anzeige des Messgerätes aufgeschlagen.

Falls die Messunsicherheit von typisch 3 dB eine Berücksichtigung finden soll, muss die jeweils angegebene Leistungsflussdichte um den Faktor 2 vergrößert werden. Erfolgt ein Vergleich hinsichtlich der elektrischen Feldstärke, sind die dokumentierten Ergebnisse um den Faktor 1,4 höher anzusetzen.

Die Intensität der Felder von Mobilfunksendeanlagen ist zusätzlich abhängig von der momentanen Gesprächsauslastung. Nach 26. BImSchV ist die bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung entstehende Immission zu bestimmen. Aus diesem Grund wurden zusätzlich die gefundenen Messergebnisse des GSM-Mobilfunks (Immission, verursacht durch den Signalisierungskanal je Sektor, häufig als "BCCH-Träger" oder "Broadcast-Channel" bezeichnet) unter Zuhilfenahme der von den Betreibern zur Verfügung gestellten technischen Anlagendaten (von der Bundesnetzagentur maximal für die jeweilige Funkzelle genehmigte Kanalzahl bzw. GSM-Sendeleistung) auf die Immissionswerte bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung hochgerechnet, damit eine echte "Worst-Case"-Betrachtung sichergestellt ist.

Signale des BOS-Digitalfunks (TETRA-Standard) werden vergleichbar zu GSM auf höchste Anlagenauslastung extrapoliert: Messung der permanent abgestrahlten Signalisierungskanäle (MCCH) mit anschließender multiplikativer Hochrechnung auf Maximalauslastung.

Auch bei UMTS-Stationen ändern sich die von der Anlage abgegebene Sendeleistung und damit die Immission in der Umgebung mit der momentanen Auslastung der Station. Jedoch existiert hier ebenfalls ein Signalisierungssignal (der "Common Pilot Channel", kurz "CPICH"), das ähnlich wie der BCCH-Träger mit definierter, konstanter Leistung abgegeben wird. Falls UMTS-Signale nennenswert vorhanden sind, wird mit der im Feldanalysator implementierten "CPICH Demodulation" an jedem Messpunkt die vorhandene Feldstärke, welche die CPICH-Signale dort erzeugen, gemessen. Aus den von den Betreibern zur Verfügung gestellten technischen Daten der UMTS-Anlagen (Leistung des CPICH im Verhältnis zur Maximalleistung der Anlage), sowie aus der von der BNetzA genehmigten Kanalzahl errechnet sich ein Korrekturfaktor, um den der Messwert jeweils vergrößert wird, damit in diesem

Bericht die maximal mögliche Immission, die durch die gemessenen UMTS-Anlagen bei regulärem Betrieb am Messpunkt erzeugt werden kann, angegeben ist [10].

Bei Anlagen des LTE-Mobilfunks ergibt sich ebenfalls eine auslastungsabhängige Leistungsabgabe. Daher wird auch hier ein Messverfahren angewendet, bei dem ein auslastungsunabhängiges Signalisierungssignal gemessen und daraus sowohl auf die maximal, als auch auf die minimal mögliche Immission extrapoliert wird [11].

Gegebenenfalls werden die gemäß den obigen Beschreibungen errechneten Extrapolationsfaktoren noch geeignet vergrößert, falls die Anlagen aktuell mit einer geringeren Leistung arbeiten, als dem Betreiber von der BNetzA genehmigt wurde.

Durch diese Korrekturen ist gewährleistet, dass in diesem Bericht möglichst die am jeweils betrachteten Punkt erzeugbare *Maximalimmission* dargestellt ist. Die Messergebnisse beim GSM-, TETRA-, UMTS- und LTE-Mobilfunk sind damit nicht mehr vom momentanen Gesprächs- bzw. Datenaufkommen abhängig.

### 3.4 Qualitätssicherung

Für alle verwendeten Messantennen liegen die entsprechenden Wandlungsfaktoren als Kalibrierdaten vor. Die frequenzabhängigen Dämpfungswerte der bei den Messungen gegebenenfalls eingesetzten Koaxialkabel sind ebenfalls dokumentiert. Die Messmittel (insbesondere der Feldanalysator) unterliegen einem regelmäßigen Kalibrierzyklus, sie wurden zusätzlich sowohl vor als auch nach der Messung auf ihre ordnungsgemäße Funktion überprüft.

### 3.5 Messorte

Die Messungen wurden an insgesamt sechs Punkten in der näheren Umgebung des betrachteten Anlagenstandortes durchgeführt. Alle Messpunkte befanden sich im Freien in Bodennähe (zirka 1,5 bis 2 Meter über Grund). Von allen Messpunkten bestand Sichtverbindung zu den Antennen des Standortes.

Folgende Messpunkte wurden gewählt:

Messpunkt Nr.	Bezeichnung	Entfernung zum Anlagenstandort
1	Bergweg 16 (Weg westlich des Anwesens)	ca. 60 m
2	Parkplatz nördlich Schürzinger Straße 15	ca. 135 m
3	Einfahrt zu Anwesen Waldkirchener Straße 50	ca. 255 m
4	Hochreutweg 2 (vor dem Anwesen)	ca. 235 m

Messpunkt Nr.	Bezeichnung	Entfernung zum Anlagen- standort
5	Am Kalvarienberg 2 (vor dem Anwesen)	ca. 385 m
6	Böhmerwaldstraße (Spielplatz)	ca. 465 m

**Tab. 2:** Messpunkte.

An obigen Punkten wurde vor Standorterweiterung am 11. Juni 2015 die "Vorhermessung" zwischen 18:50 und 19:30 Uhr durchgeführt. Da sich die Inbetriebnahme der neuen Sendeanlagen erheblich verzögerte, erfolgte die "Nachhermessung" erst am 22. November 2019 zwischen 17:50 und 18:40 Uhr (Verantwortlicher vor Ort: Dr.-Ing. M. Wuschek).

Der genaue Termin der Messungen wurde den Anlagenbetreibern im Vorfeld nicht mitgeteilt.

In Kapitel 4.2 wird ein Vergleich der aktuellen Messergebnisse mit den Resultaten der Messung aus dem Jahr 2015 vorgenommen.

Ein Umgebungsplan mit eingezeichnetem Anlagenstandort und den Messpunkten findet sich in Anlage 3 zu diesem Bericht. Einige Fotos von den Messpunkten und dem Anlagenstandort befinden sich in Anlage 4 zu diesem Bericht.

## 4 Festgestellte Immissionswerte

### 4.1 Aktuelle Immission durch Mobilfunk

In folgender Tabelle sind die an den Messpunkten ermittelten Summenimmissionswerte des Mobilfunks dargestellt. Dabei wird in Spalte 2 angegeben, welche Immissionen auftreten, wenn die Mobilfunkanlagen gerade gar keinen Telefon- bzw. Datenverkehr abwickeln (z.B. nachts). Dieser Wert stellt die *Minimalimmission* dar und wird durch die permanent abgegebenen Signalisierungssignale der Sendestationen erzeugt.

Zusätzlich aufgeführt ist auch der *Maximalimmissionswert* für Vollausbau und Vollausslastung (Spalte 3). Dieser tritt auf, wenn die Anlagen gemäß der BNetzA-Standortbescheinigung voll ausgebaut sind und gerade den maximal möglichen Telefon- bzw. Datenverkehr mit größtmöglicher Sendeleistung abwickeln.

Die Immission im Alltagsbetrieb liegt also je nach momentaner Auslastung der Anlagen immer zwischen diesen beiden Extremwerten.

Immissionen, verursacht durch weiter entfernte Mobilfunksendeanlagen, konnten an einigen Punkten gemessen werden. Soweit sie nennenswert zur Gesamtimmission beitragen, wurden auch diese bei der Ermittlung der vorhandenen Immission berücksichtigt.

Zur besseren Verständlichkeit werden in Tabelle 3 jedoch nicht absolute Feldstärkewerte angegeben, sondern es ist aufgeführt, wie viel Prozent bezüglich der Grenzwerte nach 26. BImSchV an den einzelnen Messpunkten jeweils erreicht werden ("Grenzwertausschöpfung").

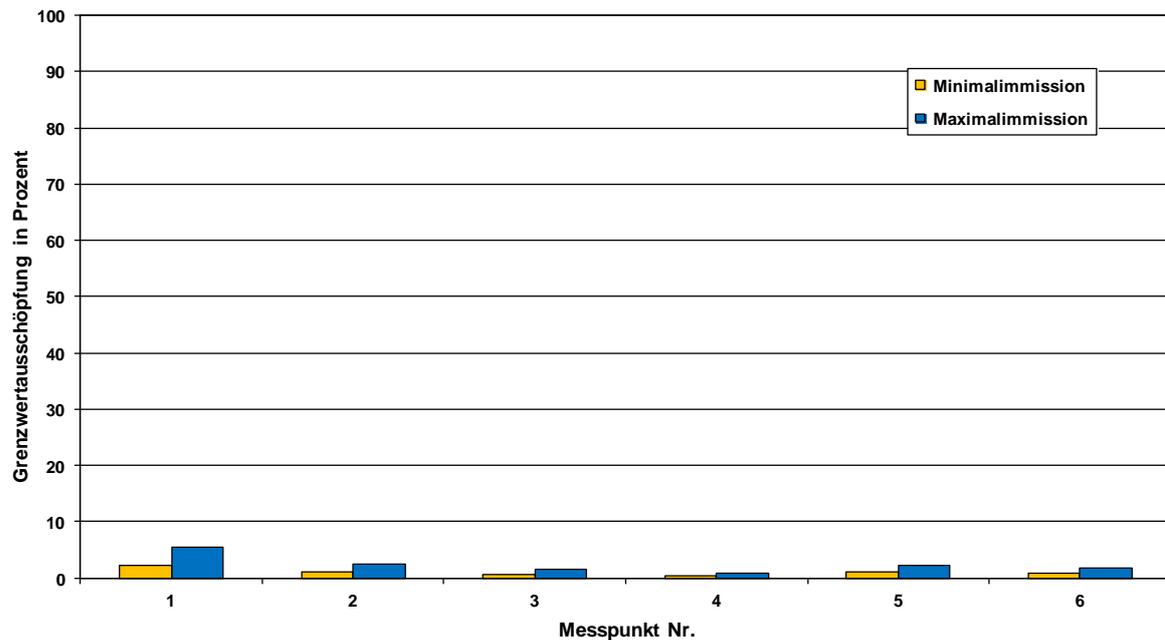
Ausführliche Ergebnistabellen der Messungen finden sich in der Anlage 1 zu diesem Bericht. Dort sind die Ergebnisse zusätzlich auch als Feldstärkewert in Volt/m und als Leistungsflussdichte in Milliwatt/m<sup>2</sup> angegeben.

Messpunkt Nr.	Grenzwertausschöpfung Mobilfunk ( <u>Minimal</u> immission)	Grenzwertausschöpfung Mobilfunk ( <u>Maximal</u> immission)
1	2,2 %	5,5 %
2	1,0 %	2,5 %
3	0,7 %	1,5 %
4	0,4 %	0,9 %
5	1,0 %	2,2 %
6	0,8 %	1,7 %

**Tab. 3:** Festgestellte aktuelle Mobilfunk-Immissionswerte (Grenzwertausschöpfung bezogen auf die Feldstärkegrenzwerte nach 26. BImSchV).

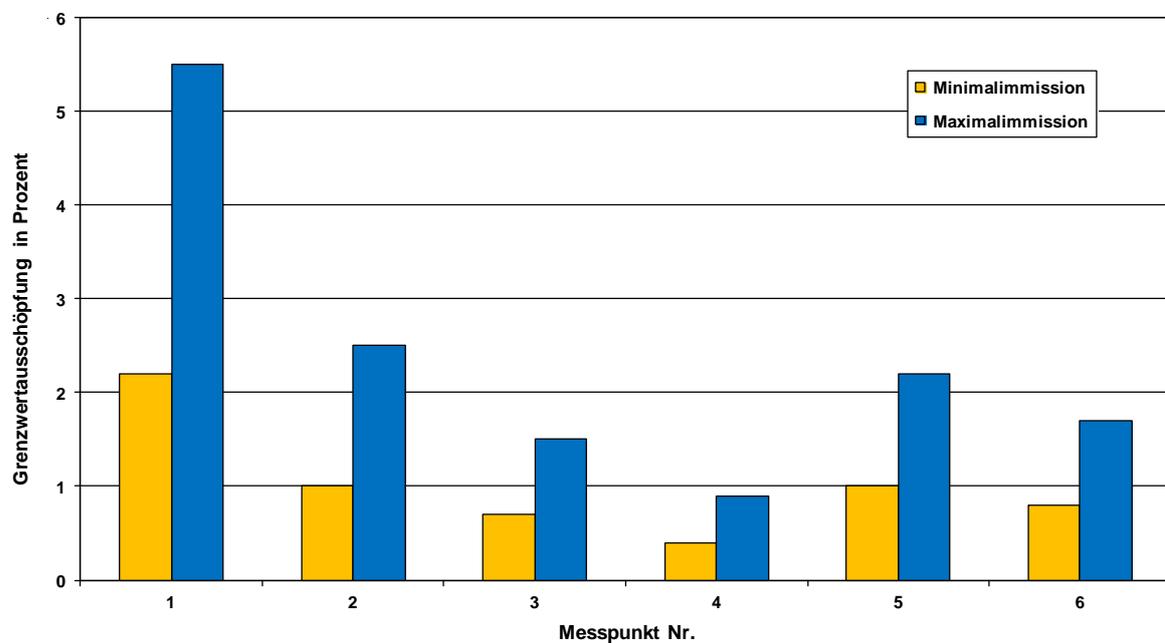
Nach 26. BImSchV gilt für Mobilfunksignale ein Grenzwert von zirka 39 Volt/m (LTE-800), zirka 42 Volt/m (GSM- bzw. LTE-900), zirka 59 Volt/m (GSM- bzw. LTE-1800) bzw. 61 Volt/m (UMTS bzw. LTE-2600) und 28 Volt/m (TETRA).

Die folgenden beiden Abbildungen stellen die Ergebnisse der Messungen (Tabelle 3) grafisch dar:



**Abb. 5:** Grafische Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 3 (Grenzwertausschöpfung bezogen auf die Feldstärkegrenzwerte nach 26. BImSchV).

Die Vorgaben der 26. BImSchV sind eingehalten, wenn die Grenzwertausschöpfung den Wert von 100 % unterschreitet, was an allen Messpunkten offensichtlich deutlich der Fall ist.



**Abb. 6:** Detaillierte Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 3

## 4.2 Veränderung der Immission im Vergleich zur letzten Messung

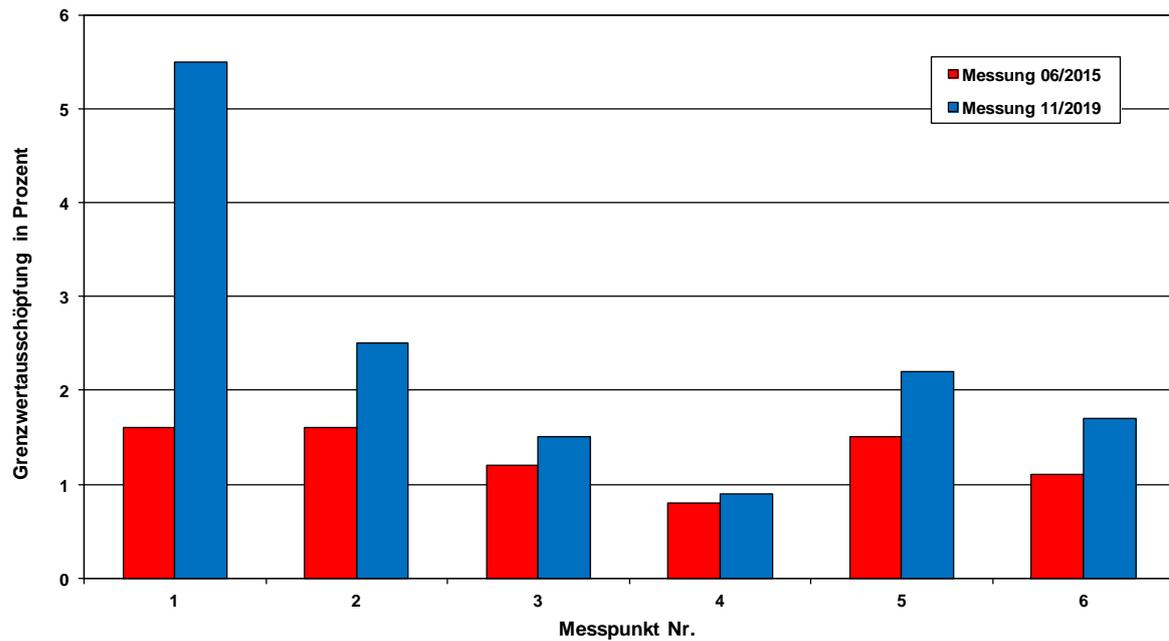
Ein Vergleich der aktuellen Immissionswerte nach Inbetriebnahme der neuen Sendeanlagen am Standort mit den Ergebnissen der Messungen vom Juni 2015 soll Aufschluss über die Veränderung der Hochfrequenzimmissionen geben.

In folgender Tabelle ist die Veränderung der Mobilfunkimmissionswerte an den betrachteten Punkten zahlenmäßig dokumentiert:

Messpunkt Nr.	Grenzwertausschöpfung Mobilfunk (Messung 11/2019)	Grenzwertausschöpfung Mobilfunk (Messung 06/2015)
1	5,5 %	1,6 %
2	2,5 %	1,6 %
3	1,5 %	1,2 %
4	0,9 %	0,8 %
5	2,2 %	1,5 %
6	1,7 %	1,1 %

**Tab. 4:** Vergleich der aktuellen Immissionswerte mit den Resultaten der Messung vom Juni 2015 (Grenzwertausschöpfung für Maximalimmission bezogen auf die 26. BImSchV).

Abbildung 7 stellt die Ergebnisse aus Tabelle 4 grafisch dar.



**Abb. 7:** Grafische Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 4 (Mobilfunk-Grenzwertausschöpfung "06/2015" und "11/2019" für Maximalimmission bezogen auf die 26. BImSchV).

Bei näherer Betrachtung der Ergebnisse aus Tabelle 4 bzw. Abbildung 7 erkennt man, dass aufgrund der Standorterweiterung an allen untersuchten Punkten eine Zunahme der Immission zu verzeichnen ist.

Allerdings werden auch nach Inbetriebnahme des neuen Anlagenstandortes die Vorgaben der 26. BImSchV weiterhin deutlich unterschritten.

## 5 Schlussfolgerungen

Aus den in Kapitel 4 dargestellten Ergebnissen lassen sich die folgenden Schlüsse ziehen:

- Wie aus Tabelle 3 sowie den Abbildungen 5 und 6 ersichtlich, wird der Grenzwert nach 26. BImSchV - auch unter Berücksichtigung der vorhandenen Messunsicherheit - aktuell an allen untersuchten Punkten deutlich unterschritten.
- Im Rahmen der aktuell durchgeführten Messungen ergaben sich - für den Fall der Vollauslastung der verursachenden Mobilfunkanlagen - an den untersuchten Punkten (feldstärkebezogene) Grenzwertausschöpfungen zwischen etwa *1 und 6 Prozent* der maximal zulässigen Summenimmission.
- Der Vergleich mit den Resultaten einer vor Erweiterung des Standortes im Juni 2015 durchgeführten "Vorhermessung" zeigt, dass an den untersuchten Punkten eine Zunahme der Immission stattgefunden hat.

Regensburg, 27. Dezember 2019



Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek



## 6 Literaturverzeichnis

- [1] **Bundesrepublik Deutschland**  
"Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV)", Bundesgesetzblatt Jg. 2013, Teil I, Nr.50, Bonn 21.08.2013.
- [2] **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.
- [3] **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.
- [4] **Strahlenschutzkommission (SSK)**  
"Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern; Empfehlungen der Strahlenschutzkommission", Bonn, 14.09.2001 ([www.ssk.de](http://www.ssk.de)).
- [5] **Firma Kathrein, Rosenheim**  
"Base Station Antennas for Mobile Communications", Firmenschrift, Rosenheim.
- [6] **S. R. Saunders**  
"Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems"  
John Wiley & Sons, Chichester, New York 1999.
- [7] **DIN EN 50413**  
Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz); Deutsche Fassung EN 50413:2008.
- [8] **Länderausschuss für Immissionsschutz"**  
"Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV in der Fassung des Beschlusses der 128. Sitzung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz am 17. und 18.9.2014 in Landshut"; 09/2014; Internet: [www.lai-immissionsschutz.de](http://www.lai-immissionsschutz.de)
- [9] **M. Wuschek**  
"Feldstärkemessungen in der Umgebung von GSM-Mobilfunkbasisstationen"  
EMV 2002; Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit  
VDE Verlag GmbH, Berlin, Offenbach 2002, S. 683-692.
- [10] **M. Wuschek**  
"Feldstärkemessungen in der Umgebung von UMTS-Mobilfunkbasisstationen"  
EMV 2004; Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit  
VDE Verlag GmbH, Berlin, Offenbach 2004, S. 539-548.
- [11] **Chr. Bornkessel**  
"Immissionsmessungen in der Umgebung von LTE-Basisstationen, Teil 2: Messmethoden"  
Application Note Nr. HF\_1064, Narda Safety Test Solutions GmbH, Pfullingen 2013.  
[www.narda-sts.de/no\\_cache/literature/article-library-appl-notes.html](http://www.narda-sts.de/no_cache/literature/article-library-appl-notes.html)

## 7 Anlagen

### Anlage 1: Ausführliche Ergebnistabellen

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Messungen der Hochfrequenzfelder als Einzelwerte und als Summe sowie die Hochrechnung auf maximale betriebliche Anlagenauslastung wiedergegeben.

#### Anmerkung:

Nach 26. BImSchV [1] wird im hier betrachteten Frequenzbereich die Summenbildung bei Vorhandensein mehrerer Signale nicht linear, sondern quadratisch durchgeführt. Dies folgt unmittelbar aus den bekannten Wirkungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. Es gilt also:

$$I_{\text{Summe}} = \left( \frac{E_1}{E_{g1}} \right)^2 + \left( \frac{E_2}{E_{g2}} \right)^2 + \dots + \left( \frac{E_n}{E_{gn}} \right)^2$$

$E_1, E_2, E_n:$	Feldstärke der Einzelimmission
$E_{g1}, E_{g2}, E_{gn}:$	Für die Einzelimmission gültiger Grenzwert
$I_{\text{Summe}}:$	Gesamtimmission (quadratischer Summenwert)

Diese quadratische Summe (in Prozent) wird von der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) in den Darstellungen ihrer Immissionsmessungen im Internet auch als "Ausschöpfungsgrad der Grenzwerte" bezeichnet.

Um wieder einen Bezug zu den, in der 26. BImSchV angegebenen Feldstärkegrenzwerten herzustellen, wird in diesem Bericht die Wurzel aus der Summenimmission gezogen. Es ergibt sich also die wirksame feldstärkebezogene Immission  $I_{\text{wirksam}}$  zu:

$$I_{\text{wirksam}} = \sqrt{I_{\text{Summe}}}$$

Um die gesetzlichen Vorgaben einzuhalten, dürfen die Summe der Quadrate und auch die Wurzel daraus den Wert 1 (bzw. 100 %) nicht überschreiten.

Diese Formeln werden in der Auswertung angewendet.

Leistungsflussdichtewerte können hingegen auf herkömmliche Weise linear aufsummiert werden.

## Detaillierte Dokumentation der Mobilfunk-Immissionsmessungen:

### 1. "Nachhermessung"

Messort:	Hauzenberg									Uhrzeit:	17:50 - 18:40 Uhr
Leitung:	Dr. Wuschek									Wetter:	Sonnig, kein Niederschlag
Signal:	Mobilfunk									Analyzer:	SRM-3006
Datum:	22.11.2019									Antenne:	3AX-27M-3G

Signale, deren Intensität zu schwach waren, um auf die Gesamtimmision einen nennenswerten Einfluss zu haben, wurden nicht protokolliert.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
f [MHz] / Code (UMTS) bzw. Cell-ID (LTE)	Betreiber	GW [V/m]	E (gem.) [dBµV/m]	Aufschl. MU [dB]	Faktor min. Imm.	Emin [dBµV/m]	Emin [V/m]	Emin [% vom GW]	Smin [mW/m²]	Faktor max. Imm. (BNetzA)	Emax (BNetzA) [dBµV/m]	Emax (BNetzA) [V/m]	Emax (BNetzA) [% vom GW]	Smax (BNetzA) [mW/m²]
Messpunkt Nr.	1													
925,4	Telefónica	41,8	112,1	0,0	1,0	112,1	0,403	0,963	0,4302	2,0	115,1	0,570	1,363	0,860
925,8	Telefónica	41,8	98,7	0,0	1,0	98,7	0,086	0,206	0,0197	2,0	101,7	0,122	0,291	0,039
929,8	Telefónica	41,8	99,6	0,0	1,0	99,6	0,095	0,228	0,0242	2,0	102,6	0,135	0,323	0,048
944,0	Vodafone	42,0	104,6	0,0	1,0	104,6	0,170	0,404	0,0765	10,4	114,8	0,548	1,304	0,796
944,4	Vodafone	42,0	114,0	0,0	1,0	114,0	0,501	1,193	0,6663	10,4	124,2	1,616	3,848	6,929
944,8	Vodafone	42,0	94,7	0,0	1,0	94,7	0,054	0,129	0,0078	10,4	104,9	0,175	0,417	0,081
945,8	Telekom	42,3	87,6	0,0	1,0	87,6	0,024	0,057	0,0015	4,0	93,6	0,048	0,113	0,006
947,0	Telekom	42,3	83,5	0,0	1,0	83,5	0,015	0,035	0,0006	4,0	89,5	0,030	0,071	0,002
957,6	Telekom	42,3	89,3	0,0	1,0	89,3	0,029	0,069	0,0023	4,0	95,3	0,058	0,138	0,009
1839,6	Telefónica	58,9	92,7	0,0	1,0	92,7	0,043	0,073	0,0049	5,0	99,7	0,096	0,164	0,025
1841,0	Telefónica	58,9	81,7	0,0	1,0	81,7	0,012	0,021	0,0004	5,0	88,7	0,027	0,046	0,002
2112,8/182	Vodafone	61,0	98,7	0,0	2,0	101,7	0,122	0,200	0,0393	52,0	115,9	0,621	1,018	1,022
2112,8/285	Vodafone	61,0	89,3	0,0	2,0	92,3	0,041	0,068	0,0045	52,0	106,5	0,210	0,345	0,117
2112,8/419	Vodafone	61,0	103,5	0,0	2,0	106,5	0,212	0,347	0,1188	52,0	120,7	1,079	1,769	3,088
806/189-RS Max	Vodafone	38,9	90,5	0,0	236,0	114,2	0,515	1,323	0,7022	943,8	120,2	1,029	2,645	2,809
806/191-RS Max	Vodafone	38,9	78,0	0,0	236,0	101,7	0,122	0,314	0,0395	943,8	107,7	0,244	0,627	0,158
						minimal:	0,9	2,2	2,1		maximal (BNetzA):	2,5	5,5	16,0
Messpunkt Nr.	2													
925,4	Telefónica	41,8	103,0	0,0	1,0	103,0	0,141	0,338	0,0529	2,0	106,0	0,200	0,478	0,106
925,8	Telefónica	41,8	90,2	0,0	1,0	90,2	0,032	0,077	0,0028	2,0	93,2	0,046	0,109	0,006
929,8	Telefónica	41,8	83,4	0,0	1,0	83,4	0,015	0,035	0,0006	2,0	86,4	0,021	0,050	0,001
944,0	Vodafone	42,0	93,7	0,0	1,0	93,7	0,048	0,115	0,0062	10,4	103,9	0,156	0,372	0,065
944,4	Vodafone	42,0	108,6	0,0	1,0	108,6	0,269	0,641	0,1922	10,4	118,8	0,868	2,067	1,998
944,8	Vodafone	42,0	87,0	0,0	1,0	87,0	0,022	0,053	0,0013	10,4	97,2	0,072	0,172	0,014
945,8	Telekom	42,3	93,3	0,0	1,0	93,3	0,046	0,109	0,0057	4,0	99,3	0,092	0,219	0,023
947,0	Telekom	42,3	83,7	0,0	1,0	83,7	0,015	0,036	0,0006	4,0	89,7	0,031	0,072	0,002
1839,6	Telefónica	58,9	93,2	0,0	1,0	93,2	0,046	0,078	0,0055	5,0	100,2	0,102	0,174	0,028
2112,8/182	Vodafone	61,0	83,1	0,0	2,0	86,1	0,020	0,033	0,0011	52,0	100,3	0,103	0,169	0,028
2112,8/285	Vodafone	61,0	77,1	0,0	2,0	80,1	0,010	0,017	0,0003	52,0	94,3	0,052	0,085	0,007
2112,8/419	Vodafone	61,0	89,6	0,0	2,0	92,6	0,043	0,070	0,0048	52,0	106,8	0,218	0,357	0,126
806/189-RS Max	Vodafone	38,9	83,7	0,0	236,0	107,4	0,235	0,605	0,1467	943,8	113,4	0,470	1,209	0,587
						minimal:	0,4	1,0	0,4		maximal (BNetzA):	1,1	2,5	3,0
Messpunkt Nr.	3													
925,4	Telefónica	41,8	105,5	0,0	1,0	105,5	0,188	0,451	0,0941	2,0	108,5	0,266	0,637	0,188
925,8	Telefónica	41,8	90,1	0,0	1,0	90,1	0,032	0,077	0,0027	2,0	93,1	0,045	0,108	0,005
929,8	Telefónica	41,8	83,4	0,0	1,0	83,4	0,015	0,035	0,0006	2,0	86,4	0,021	0,050	0,001
944,0	Vodafone	42,0	88,6	0,0	1,0	88,6	0,027	0,064	0,0019	10,4	98,8	0,087	0,207	0,020
944,4	Vodafone	42,0	103,1	0,0	1,0	103,1	0,143	0,340	0,0542	10,4	113,3	0,461	1,097	0,563
944,8	Vodafone	42,0	82,9	0,0	1,0	82,9	0,014	0,033	0,0005	10,4	93,1	0,045	0,107	0,005
945,8	Telekom	42,3	87,7	0,0	1,0	87,7	0,024	0,057	0,0016	4,0	93,7	0,049	0,115	0,006
957,6	Telekom	42,3	81,8	0,0	1,0	81,8	0,012	0,029	0,0004	4,0	87,8	0,025	0,058	0,002
1839,6	Telefónica	58,9	87,3	0,0	1,0	87,3	0,023	0,039	0,0014	5,0	94,3	0,052	0,088	0,007
2112,8/419	Vodafone	61,0	93,1	0,0	2,0	96,1	0,064	0,105	0,0108	52,0	110,3	0,326	0,534	0,282
806/189-RS Max	Vodafone	38,9	77,3	0,0	236,0	101,0	0,113	0,289	0,0336	943,8	107,0	0,225	0,579	0,134
						minimal:	0,3	0,7	0,2		maximal (BNetzA):	0,7	1,5	1,2
Messpunkt Nr.	4													
925,4	Telefónica	41,8	90,6	0,0	1,0	90,6	0,034	0,081	0,0030	2,0	93,6	0,048	0,115	0,006
925,8	Telefónica	41,8	91,7	0,0	1,0	91,7	0,038	0,092	0,0039	2,0	94,7	0,054	0,130	0,008
929,8	Telefónica	41,8	83,6	0,0	1,0	83,6	0,015	0,036	0,0006	2,0	86,6	0,021	0,051	0,001
944,0	Vodafone	42,0	92,8	0,0	1,0	92,8	0,044	0,104	0,0051	10,4	103,0	0,141	0,335	0,053
944,4	Vodafone	42,0	97,6	0,0	1,0	97,6	0,076	0,181	0,0153	10,4	107,8	0,245	0,582	0,159
951,6	Telekom	42,3	86,0	0,0	1,0	86,0	0,020	0,047	0,0011	4,0	92,0	0,040	0,094	0,004
957,6	Telekom	42,3	92,8	0,0	1,0	92,8	0,044	0,103	0,0051	4,0	98,8	0,087	0,206	0,020
1839,6	Telefónica	58,9	80,4	0,0	1,0	80,4	0,010	0,018	0,0003	5,0	87,4	0,023	0,040	0,001
2112,8/182	Vodafone	61,0	72,1	0,0	2,0	75,1	0,006	0,009	0,0001	52,0	89,3	0,029	0,048	0,002
2112,8/419	Vodafone	61,0	81,3	0,0	2,0	84,3	0,016	0,027	0,0007	52,0	98,5	0,084	0,137	0,019
2167,2/195	Telekom	61,0	73,0	0,0	2,0	76,0	0,006	0,010	0,0001	32,0	88,1	0,025	0,041	0,002
806/189-RS Max	Vodafone	38,9	70,4	0,0	236,0	94,1	0,051	0,131	0,0069	943,8	100,1	0,102	0,262	0,027
806/191-RS Max	Vodafone	38,9	66,9	0,0	236,0	90,6	0,034	0,087	0,0031	943,8	96,6	0,068	0,175	0,012
816/257-RS Max	Telekom	39,2	67,8	0,0	300,0	92,6	0,043	0,108	0,0048	1200,0	98,6	0,085	0,217	0,019
1815/111-RS Max	Telekom	58,4	71,0	0,0	600,0	98,8	0,087	0,149	0,0200	2400,0	104,8	0,174	0,298	0,080
						minimal:	0,2	0,4	0,1		maximal (BNetzA):	0,4	0,9	0,4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
f [MHz] / Code (UMTS) bzw. Cell-ID (LTE)	Betreiber	GW [V/m]	E (gem.) [dBµV/m]	Aufschl. MU [dB]	Faktor min. Imm.	Emin [dBµV/m]	Emin [V/m]	Emin [% vom GW]	Smin [mW/m²]	Faktor max. Imm. (BNetzA)	Emax (BNetzA) [dBµV/m]	Emax (BNetzA) [V/m]	Emax (BNetzA) [% vom GW]	Smax (BNetzA) [mW/m²]	
Messpunkt Nr.	5														
925,4	Telefónica	41,8	103,5	0,0	1,0	103,5	0,150	0,358	0,0594	2,0	106,5	0,212	0,506	0,119	
925,8	Telefónica	41,8	105,4	0,0	1,0	105,4	0,186	0,445	0,0920	2,0	108,4	0,263	0,630	0,184	
929,8	Telefónica	41,8	92,7	0,0	1,0	92,7	0,043	0,103	0,0049	2,0	95,7	0,061	0,146	0,010	
944,0	Vodafone	42,0	101,5	0,0	1,0	101,5	0,119	0,283	0,0375	10,4	111,7	0,383	0,913	0,390	
944,4	Vodafone	42,0	103,2	0,0	1,0	103,2	0,145	0,344	0,0554	10,4	113,4	0,466	1,110	0,576	
951,6	Telekom	42,3	87,4	0,0	1,0	87,4	0,023	0,055	0,0015	4,0	93,4	0,047	0,111	0,006	
957,6	Telekom	42,3	98,8	0,0	1,0	98,8	0,087	0,206	0,0201	4,0	104,8	0,174	0,412	0,080	
1839,6	Telefónica	58,9	92,0	0,0	1,0	92,0	0,040	0,068	0,0042	5,0	99,0	0,089	0,151	0,021	
1841,0	Telefónica	58,9	84,3	0,0	1,0	84,3	0,016	0,028	0,0007	5,0	91,3	0,037	0,062	0,004	
2112,8/182	Vodafone	61,0	87,5	0,0	2,0	90,5	0,034	0,055	0,0030	52,0	104,7	0,171	0,280	0,078	
2112,8/419	Vodafone	61,0	94,5	0,0	2,0	97,5	0,075	0,123	0,0150	52,0	111,7	0,383	0,628	0,389	
2167,2/195	Telekom	61,0	89,1	0,0	2,0	92,1	0,040	0,066	0,0043	32,0	104,2	0,161	0,264	0,069	
806/189-RS Max	Vodafone	38,9	76,9	0,0	236,0	100,6	0,108	0,276	0,0307	943,8	106,6	0,215	0,553	0,123	
806/191-RS Max	Vodafone	38,9	74,3	0,0	236,0	98,0	0,080	0,205	0,0168	943,8	104,0	0,159	0,410	0,067	
816/257-RS Max	Telekom	39,2	69,1	0,0	300,0	93,9	0,049	0,126	0,0065	1200,0	99,9	0,099	0,252	0,026	
1815/111-RS Max	Telekom	58,4	80,5	0,0	600,0	108,3	0,259	0,444	0,1786	2400,0	114,3	0,519	0,889	0,714	
Messpunkt Nr.	6					minimal:	0,4	1,0	0,5	maximal (BNetzA):			1,0	2,2	2,9
925,4	Telefónica	41,8	106,7	0,0	1,0	106,7	0,216	0,517	0,1241	2,0	109,7	0,306	0,732	0,248	
925,8	Telefónica	41,8	98,2	0,0	1,0	98,2	0,081	0,194	0,0175	2,0	101,2	0,115	0,275	0,035	
929,8	Telefónica	41,8	94,4	0,0	1,0	94,4	0,052	0,126	0,0073	2,0	97,4	0,074	0,178	0,015	
944,0	Vodafone	42,0	94,1	0,0	1,0	94,1	0,051	0,121	0,0068	10,4	104,3	0,163	0,389	0,071	
944,4	Vodafone	42,0	103,9	0,0	1,0	103,9	0,157	0,373	0,0651	10,4	114,1	0,505	1,203	0,677	
945,8	Telekom	42,3	81,7	0,0	1,0	81,7	0,012	0,029	0,0004	4,0	87,7	0,024	0,058	0,002	
1839,6	Telefónica	58,9	87,7	0,0	1,0	87,7	0,024	0,041	0,0016	5,0	94,7	0,054	0,092	0,008	
2112,8/182	Vodafone	61,0	78,9	0,0	2,0	81,9	0,012	0,020	0,0004	52,0	96,1	0,064	0,104	0,011	
2112,8/419	Vodafone	61,0	90,8	0,0	2,0	93,8	0,049	0,080	0,0064	52,0	108,0	0,250	0,410	0,166	
806/189-RS Max	Vodafone	38,9	77,3	0,0	236,0	101,0	0,113	0,289	0,0336	943,8	107,0	0,225	0,579	0,134	
806/191-RS Max	Vodafone	38,9	64,3	0,0	236,0	88,0	0,025	0,065	0,0017	943,8	94,0	0,050	0,130	0,007	
						minimal:	0,3	0,8	0,3	maximal (BNetzA):			0,7	1,7	1,4



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
f [MHz] / Code (UMTS) bzw. Cell-ID (LTE)	Betreiber	GW [V/m]	E (gem.) [dBµV/m]	Aufschl. MU [dB]	Faktor min. Imm.	Emin [dBµV/m]	Emin [V/m]	Emin [% vom GW]	Smin [mW/m²]	Faktor max. Imm. (BNetzA)	Emax (BNetzA) [dBµV/m]	Emax (BNetzA) [V/m]	Emax (BNetzA) [% vom GW]	Smax (BNetzA) [mW/m²]
Messpunkt Nr.	5													
932,6	Telefónica	41,8	107,4	0,0	1,0	107,4	0,234	0,561	0,1458	2,0	110,4	0,332	0,793	0,292
933,6	Telefónica	41,8	94,4	0,0	1,0	94,4	0,052	0,126	0,0073	2,0	97,4	0,074	0,178	0,015
934,0	Telefónica	41,8	103,9	0,0	1,0	103,9	0,157	0,375	0,0651	2,0	106,9	0,222	0,530	0,130
939,4	Telekom	42,0	90,5	0,0	1,0	90,5	0,033	0,080	0,0030	4,0	96,5	0,067	0,160	0,012
945,6	Vodafone	42,3	102,2	0,0	1,0	102,2	0,129	0,305	0,0440	4,2	108,4	0,263	0,621	0,183
952,6	Telekom	42,3	83,1	0,0	1,0	83,1	0,014	0,034	0,0005	4,0	89,1	0,029	0,068	0,002
957,8	Vodafone	42,3	96,7	0,0	1,0	96,7	0,068	0,162	0,0124	4,2	102,9	0,139	0,330	0,052
1842,6	Telefónica	58,9	83,2	0,0	1,0	83,2	0,014	0,025	0,0006	2,0	86,2	0,020	0,035	0,001
1856,8	E-Plus	58,9	101,5	0,0	1,0	101,5	0,119	0,202	0,0375	5,0	108,5	0,266	0,451	0,187
1858,4	E-Plus	58,9	86,7	0,0	1,0	86,7	0,022	0,037	0,0012	5,0	93,7	0,048	0,082	0,006
1860,2	E-Plus	58,9	104,7	0,0	1,0	104,7	0,172	0,292	0,0783	5,0	111,7	0,384	0,652	0,391
2112,8/182	Vodafone	61,0	77,7	0,0	2,0	80,7	0,011	0,018	0,0003	52,0	94,9	0,055	0,091	0,008
2112,8/419	Vodafone	61,0	91,8	0,0	2,0	94,8	0,055	0,090	0,0080	52,0	109,0	0,281	0,460	0,209
						minimal:	0,4	0,9	0,4		maximal (BNetzA):	0,7	1,5	1,5
Messpunkt Nr.	6													
928,8	Telefónica	41,8	100,5	0,0	1,0	100,5	0,106	0,253	0,0298	2,0	103,5	0,150	0,358	0,060
932,6	Telefónica	41,8	97,1	0,0	1,0	97,1	0,072	0,171	0,0136	2,0	100,1	0,101	0,242	0,027
933,6	Telefónica	41,8	107,3	0,0	1,0	107,3	0,232	0,554	0,1424	2,0	110,3	0,328	0,784	0,285
945,6	Vodafone	42,3	98,8	0,0	1,0	98,8	0,087	0,206	0,0201	4,2	105,0	0,178	0,420	0,084
955,8	Vodafone	42,3	81,1	0,0	1,0	81,1	0,011	0,027	0,0003	4,2	87,3	0,023	0,055	0,001
957,8	Vodafone	42,3	89,0	0,0	1,0	89,0	0,028	0,067	0,0021	4,2	95,2	0,057	0,136	0,009
1842,6	Telefónica	58,9	83,9	0,0	1,0	83,9	0,016	0,027	0,0007	2,0	86,9	0,022	0,038	0,001
1856,8	E-Plus	58,9	87,1	0,0	1,0	87,1	0,023	0,038	0,0014	5,0	94,1	0,051	0,086	0,007
1860,2	E-Plus	58,9	99,5	0,0	1,0	99,5	0,094	0,160	0,0236	5,0	106,5	0,211	0,358	0,118
2112,8/182	Vodafone	61,0	75,6	0,0	2,0	78,6	0,009	0,014	0,0002	52,0	92,8	0,043	0,071	0,005
2112,8/419	Vodafone	61,0	89,3	0,0	2,0	92,3	0,041	0,068	0,0045	52,0	106,5	0,210	0,345	0,117
						minimal:	0,3	0,7	0,2		maximal (BNetzA):	0,5	1,1	0,7

## Legende zu obigen Tabellen:

- Spalte 1** Frequenz des Signalisierungskanals BCCH (MCCH) bei GSM (TETRA) bzw. Mittenfrequenz und Scramblingcode/Cell-ID bei UMTS/LTE
- Spalte 2** Messpunktnummer; Betreiberzuordnung
- Spalte 3** Gesetzlicher Grenzwert nach 26. BImSchV in V/m (Worst Case)
- Spalte 4** Gemessene Feldstärke des BCCH (GSM), des MCCH (TETRA), des CPICH (UMTS) bzw. der RS-Signale (LTE) in dB $\mu$ V/m  
Anmerkung: Wurde bei den GSM bzw. TETRA-Messungen festgestellt, dass ein Verkehrskanal (TCH) am Messpunkt eine höhere Immission erzeugt als der dazugehörige BCCH (MCCH), ist hier die Immission des TCH dokumentiert und bildet die Basis für die weitere Auswertung.
- Spalte 5** Messunsicherheitsaufschlag in dB (Es wird keine Messunsicherheit aufgeschlagen, daher ist dieser Wert zu Null gesetzt).
- Spalte 6** Faktor für die minimale Immission; bei GSM und TETRA = 1 (da die minimale Immission etwa der Immission entspricht, die allein durch den BCCH (MCCH) verursacht wird) und bei UMTS = 2 (da die minimale Immission in etwa doppelt so groß ist, wie die Immission, die allein durch den CPICH erzeugt wird). Bei LTE wird hier ein Wert verwendet, der um den Faktor vier kleiner ist, als der in Spalte 11 verwendete Faktor zur Extrapolation auf maximale Leistung, da bei LTE die minimal abgestrahlte Leistung in etwa ein Viertel der maximal abgestrahlten Leistung beträgt.
- Spalte 7** Minimale Immission (inkl. Messunsicherheitsaufschlag) in dB $\mu$ V/m:  
 $\langle \text{Spalte 7} \rangle = \langle \text{Spalte 4} \rangle + \langle \text{Spalte 5} \rangle + 10 \cdot \log \langle \text{Spalte 6} \rangle$
- Spalte 8** Wert aus Spalte 7 als elektrische Feldstärke in V/m
- Spalte 9** Prozentuale Grenzwertausschöpfung:  $\langle \text{Spalte 9} \rangle = 100 \% \cdot \langle \text{Spalte 8} \rangle / \langle \text{Spalte 3} \rangle$
- Spalte 10** Wert aus Spalte 7 als Leistungsflussdichte in mW/m<sup>2</sup>
- Spalte 11** Faktor für die maximale Immission bei dem von der BNetzA genehmigtem Anlagenausbau:  
Bei GSM bzw. TETRA fließt in diesen Faktor die von der BNetzA pro Funkzelle genehmigte Kanalzahl sowie die aktuelle Leistung des BCCH- (MCCH-) Kanals im Verhältnis zur genehmigten Maximalleistung der Funkzelle ein.  
Bei UMTS fließt in diesen Faktor die von der BNetzA pro Funkzelle genehmigte Kanalzahl und die aktuelle CPICH-Leistung im Verhältnis zur maximal genehmigten Sendeleistung der Funkzelle ein.  
Bei LTE wird ein Faktor verwendet, der sich als Quotient aus maximal genehmigter Leistung der Funkzelle sowie der Leistung der RS-Signale ergibt.
- Spalte 12** Maximale Immission (inkl. Messunsicherheitsaufschlag) in dB $\mu$ V/m:  
 $\langle \text{Spalte 12} \rangle = \langle \text{Spalte 4} \rangle + \langle \text{Spalte 5} \rangle + 10 \cdot \log \langle \text{Spalte 11} \rangle$
- Spalte 13** Wert aus Spalte 12 als elektrische Feldstärke in V/m
- Spalte 14** Prozentuale Grenzwertausschöpfung:  $\langle \text{Spalte 14} \rangle = 100 \% \cdot \langle \text{Spalte 13} \rangle / \langle \text{Spalte 3} \rangle$
- Spalte 15** Wert aus Spalte 12 als Leistungsflussdichte in mW/m<sup>2</sup>

In den gelb markierten Feldern sind die Summenwerte (minimale bzw. maximale Immission) angegeben (Spalten 8/9 und 13/14: quadratische Summation; Spalten 10 und 15: lineare Summation).

Die genaue zahlenmäßige Berechnung der Hochrechnungsfaktoren für maximale Immission wird in diesem Bericht nicht dokumentiert, da es sich hierbei um von den Betreibern als vertraulich eingestufte Daten handelt. Diese Informationen können nur nach Vorlage einer Freigabeerklärung des jeweiligen Betreibers zur Verfügung gestellt werden.

Falls Messwerte von weiter entfernten Mobilfunkstandorten mit in die Auswertung einbezogen wurden, kommen typische Anlagendaten für die Hochrechnung auf Maximalauslastung zur Anwendung.

## Anlage 2: Grenzwerte und ihre Festlegung

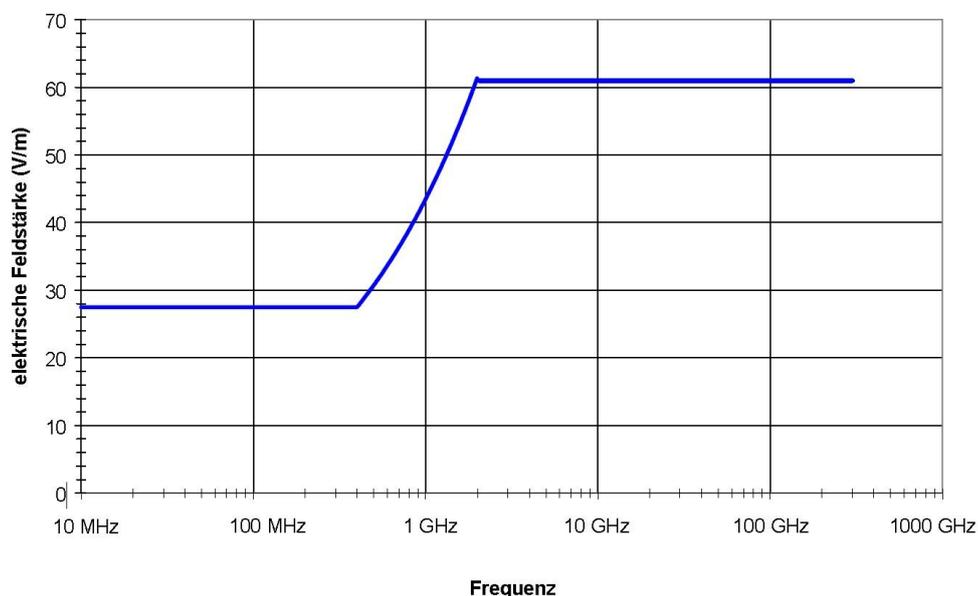
Die Bewertung elektromagnetischer Felder ist in Deutschland seit Januar 1997 in der "26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes" (26. BImSchV) [1] verbindlich geregelt. Die in dieser Verordnung festgelegten Immissionsgrenzwerte entsprechen den aktuellen Empfehlungen der *Internationalen Kommission für den Schutz nicht ionisierender Strahlung* (ICNIRP) [2], des *Europäischen Rates* [3], sowie der deutschen *Strahlenschutzkommission* [4].

Die festgelegten Grenzwerte für die hier relevanten Hochfrequenzimmissionen ab 10 MHz sind in folgender Tabelle aufgelistet und in Bild 1 grafisch dargestellt.

Signalfrequenz [MHz]	Effektivwert der elektrischen und magnetischen Feldstärke	
	elektrische Feldstärke [V/m]	magnetische Feldstärke [A/m]
10 - 400	28	0,073
400 - 2.000	$1,375 \cdot \sqrt{f}$	$0,0037 \cdot \sqrt{f}$
2.000 - 300.000	61	0,16

$f$ : Signalfrequenz in MHz

**Tabelle 1:** Grenzwerte der 26. BImSchV für Hochfrequenzanlagen



**Bild 1:** Grafische Darstellung der Grenzwerte (elektrische Feldstärke) aus Tabelle 1 (nach 26. BImSchV) für Hochfrequenzanlagen ab 10 MHz

Folgendes Vorgehen wird bei der Festlegung der Immissionsgrenzwerte für nicht ionisierende Strahlung angewandt:

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. Die zurzeit aktuellen Empfehlungen der ICNIRP für den Hochfrequenzbereich stammen aus dem Jahr 1998 [2].

Die ICNIRP wird von der *Weltgesundheitsorganisation* (WHO), der *Internationalen Arbeitsorganisation* (ILO) sowie der *Europäischen Union* als die staatlich unabhängige Organisation anerkannt, die Grenzwerte im Bereich nicht ionisierender Strahlung empfiehlt.

Im Jahr 1999 hat der *Rat der Europäischen Union* die "*Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz - 300 GHz)*" verabschiedet [3]. Diese Empfehlung basiert ebenfalls auf den Richtwerten der ICNIRP und empfiehlt den Mitgliedstaaten die Übernahme dieser Werte in nationale Gesetze und Normen.

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 nicht ionisierender Strahlen zu gewährleisten, wurden die sog. "*Basisgrenzwerte*" so festgelegt, dass eine zusätzliche Erwärmung von Körperbereichen um mehr als 1°C mit Sicherheit ausgeschlossen wird.

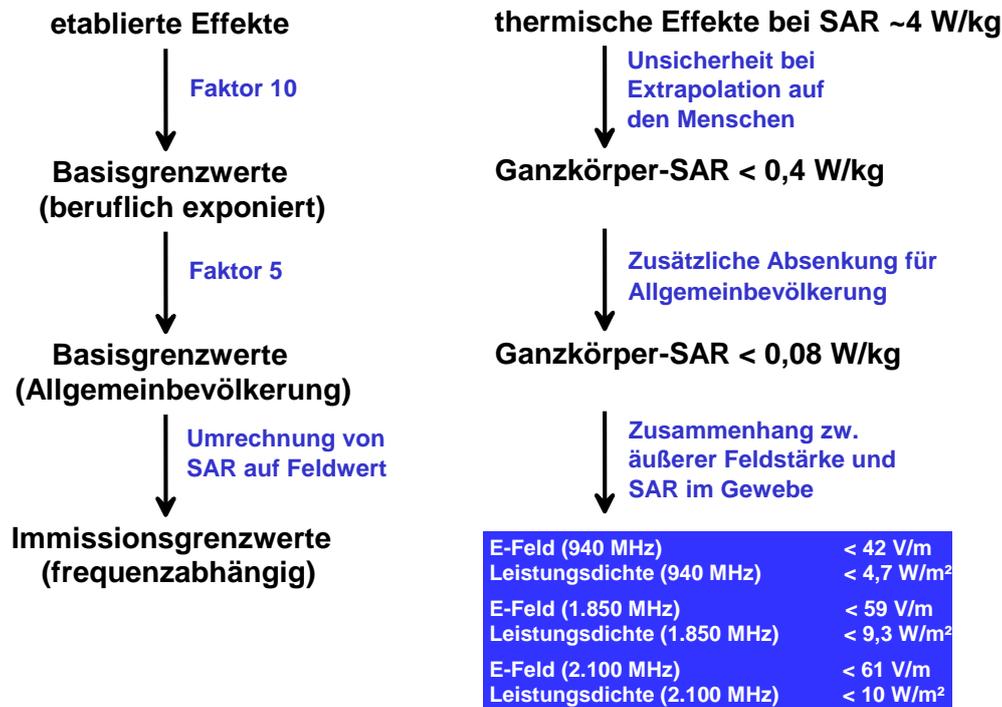
Um diese Sicherheit zu gewährleisten, ist der *Basisgrenzwert* so gewählt, dass er um den Faktor 10 niedriger liegt, als die spezifische Absorptionsrate, ab der Wirkungen auf den Menschen wissenschaftlich gesichert nachgewiesen werden können. Bei Personen, die im Rahmen ihrer *beruflichen Tätigkeit* während der gesamten täglichen Arbeitszeit (typ. 6 bis 8 Std.) hochfrequenten Feldern ausgesetzt sind, dürfen also maximal Immissionen auftreten, die um den *Faktor 10 unter der Grenze für nachgewiesene Gesundheitsbeeinträchtigungen* liegen.

Aus Gründen einer *zusätzlichen Sicherheit*, wird für die *Allgemeinbevölkerung* (d.h. alle Personengruppen) der *Grenzwert für die Dauerexposition* (24h-Wert) nochmals um den Faktor 5 gegenüber dem Arbeitsplatzwert reduziert, so dass hier insgesamt eine *Unterschreitung um den Faktor 50 bezüglich wissenschaftlich nachgewiesener negativer Gesundheitswirkungen* vorliegt.

Da die spezifische Absorptionsrate SAR im menschlichen Körper schwierig zu bestimmen ist, werden in einem weiteren Schritt "*abgeleitete Grenzwerte*" für die leichter zu messende *elektrische* und *magnetische Feldstärke* aus den Basisgrenzwerten ermittelt. Sie sind so gewählt,

dass bei einer Einhaltung der abgeleiteten Grenzwerte auf jeden Fall sichergestellt ist, dass auch die dazugehörigen Basisgrenzwerte unterschritten werden.

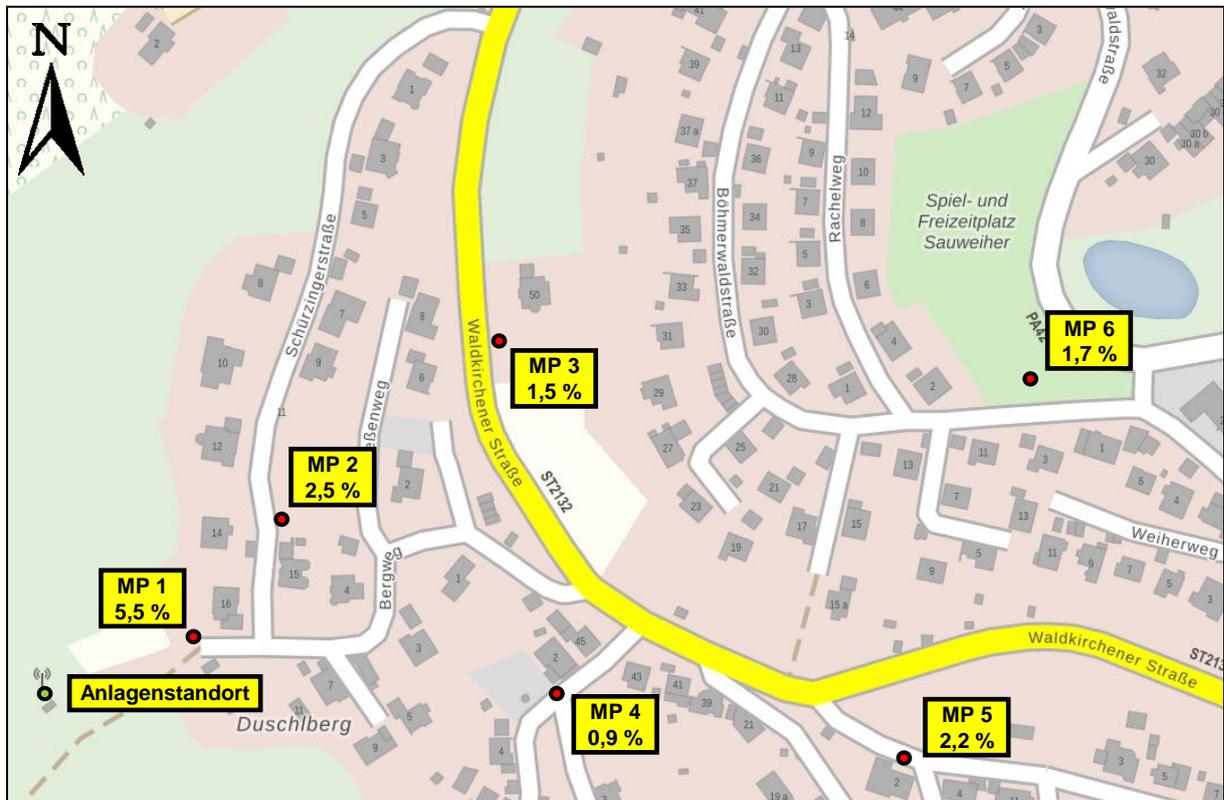
Das eben beschriebene Verfahren wird im folgenden Bild grafisch dargestellt.



**Bild 2:** Darstellung der Entstehung internationaler Grenzwertempfehlungen

Um zu berücksichtigen, dass in manchen Situationen die einzelnen Körperteile sehr unterschiedlich den elektromagnetischen Feldern ausgesetzt sein können (beispielsweise wirken bei Benutzung von Mobiltelefonen die hochfrequenten elektromagnetischen Felder hauptsächlich auf den Kopf ein) bzw. dass bestimmte Körperteile empfindlicher als andere reagieren (z.B. das Auge), hat es sich als zweckmäßig erwiesen, national wie international für Teilbereiche des Körpers zusätzlich "*Teilkörpergrenzwerte*" festzusetzen. Diese werden z.B. bei der Bewertung der Immissionen, verursacht durch die Benutzung von Mobiltelefonen angewendet.

### Anlage 3: Lageplan mit Anlagenstandort und den Messpunkten



An jedem Messpunkt ist der im Rahmen der "Nachhermessung" festgestellte Mobilfunk-Immissionswert (für Maximalauslastung und Vollausbau der Anlagen) in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV ("Grenzwertausschöpfung" bezüglich der elektrischen Feldstärke) angegeben.

**Anlage 4:** Fotos



**Bild 1:** Messpunkt 1



**Bild 2:** Anlagenstandort von Messpunkt 1 aus gesehen



**Bild 3:** Messpunkt 2 mit Anlagenstandort im Hintergrund



**Bild 4:** Messpunkt 3 mit Anlagenstandort im Hintergrund



**Bild 5:** Messpunkt 4 mit Anlagenstandort im Hintergrund



**Bild 6:** Messpunkt 5 mit Anlagenstandort im Hintergrund



**Bild 7:** Messpunkt 6 mit Anlagenstandort im Hintergrund