

Elektromagnetische Immissionen durch Mobilfunksendeanlagen

Bericht über durchgeführte Feldstärkemessungen



Auftraggeber: O₂ (Germany) GmbH & Co. OHG
Südwestpark 38
90449 Nürnberg

Ort: Emmeramsplatz 8
93047 Regensburg

Durchführung: EM-Institut GmbH
Carlstr. 5
93049 Regensburg

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

Projektnummer: 07/052

Ort und Datum: Regensburg, 17. August 2007

Inhaltsverzeichnis

	Seite	
1	Aufgabenstellung	3
2	Immissionen durch Mobilfunksendeanlagen	4
3	Durchführung der Messungen	7
3.1	Messgrößen für hochfrequente Felder	7
3.2	Verwendete Messgeräte, Messverfahren	7
3.3	Messgenauigkeit, Bestimmung der Maximalimmission	8
3.4	Qualitätssicherung	9
3.5	Messorte	9
4	Festgestellte Immissionswerte	10
5	Schlussfolgerungen	12
6	Literaturverzeichnis	13
7	Anlagen	14
	Anlage 1: Ausführliche Ergebnistabellen	14
	Anlage 2: Grenzwerte und ihre Entstehung	18
	Anlage 3: Fotos	21

1 Aufgabenstellung

Die EM-Institut GmbH, Regensburg wurde von der Firma O₂ GmbH & Co. OHG beauftragt, an einigen Punkten in der Umgebung des Mobilfunkstandortes "Emmeramsplatz 8", die dort vorhandenen hochfrequenten Immissionen, verursacht durch Mobilfunksignale, messtechnisch zu erfassen. Die Ergebnisse der Messungen sind zu dokumentieren und mit den derzeit in Deutschland verbindlichen Grenzwerten zu vergleichen.

Im Dach des Gebäudes "Emmeramsplatz 8" betreibt die Firma O₂ eine Sendeanlage für den GSM1800-Mobilfunk.

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 Weltgesundheitsorganisation (WHO), der Internationalen Kommission für den Schutz vor nichtionisierenden Strahlen (ICNIRP), des Europäischen Rates sowie der deutschen Strahlenschutzkommission [2,3,4].

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 Felder in der Umgebung einer Funksendeanlage 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 Immissionssituation 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 Frage möglich werden:

Wie groß, im Vergleich zum gesetzlichen Grenzwert, sind die Immissionen, die derzeit durch Mobilfunksignale an den Messpunkten erzeugt werden?

Die Ergebnisse der Messungen und die sich daraus ergebenden Schlussfolgerungen sind im folgenden dargestellt.

2 Immissionen durch Mobilfunksendeanlagen

Neben der Sendeleistung ist insbesondere das Bündelungsverhalten der montierten Antennen ein wesentlicher Faktor für die Stärke der Felder in der unmittelbaren Umgebung einer Mobilfunksendeanlage.

Die beim Mobilfunk verwendeten Antennen senden in der horizontalen Ebene entweder omnidirektional (Abb. 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° bis 120° breiten Sektor konzentriert (Abb. 3). Häufig werden von einem Anlagenstandort aus, durch die Montage mehrerer derartiger Richtantennen, gleich zwei oder drei Sektoren versorgt (Abb. 2).



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

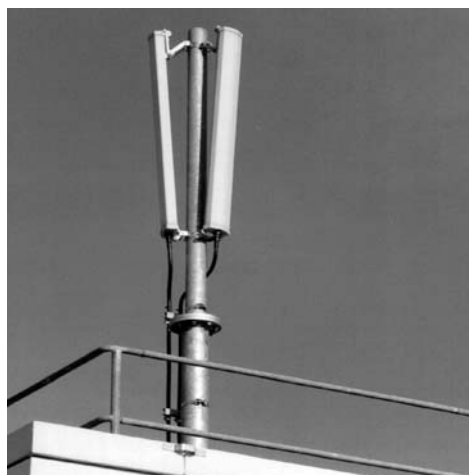


Abb. 2: Zwei Sektorantennen, montiert auf einem Flachdach (hier mit mechanischer Strahlabsenkung, engl. "Downtilt").

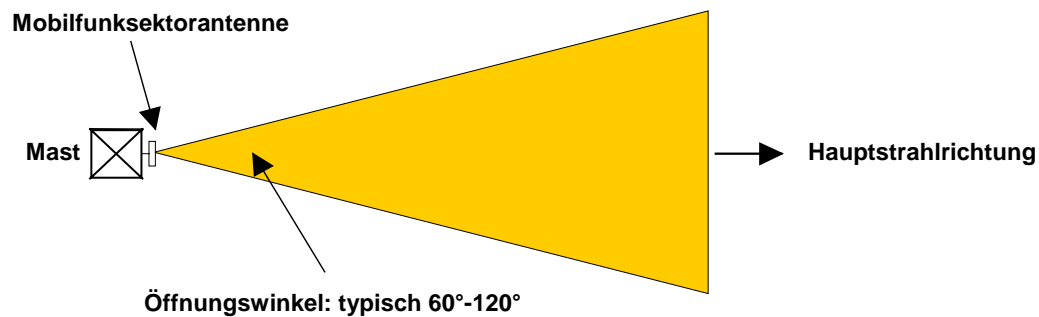


Abb. 3: Horizontales Abstrahlverhalten einer Mobilfunksektorantenne.

An den meisten Standorten werden Sektorantennen verwendet.

In der Vertikalen hingegen senden alle Mobilfunkantennen, ähnlich wie die Scheinwerfer eines Leuchtturmes, sehr stark gebündelt (Abb. 4). Der Hauptabgabebereich der elektromagnetischen Energie wird als "Öffnungswinkel" der Antenne bezeichnet. Er beträgt vertikal typischerweise 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 sog. "Gleichkanalstörungen").

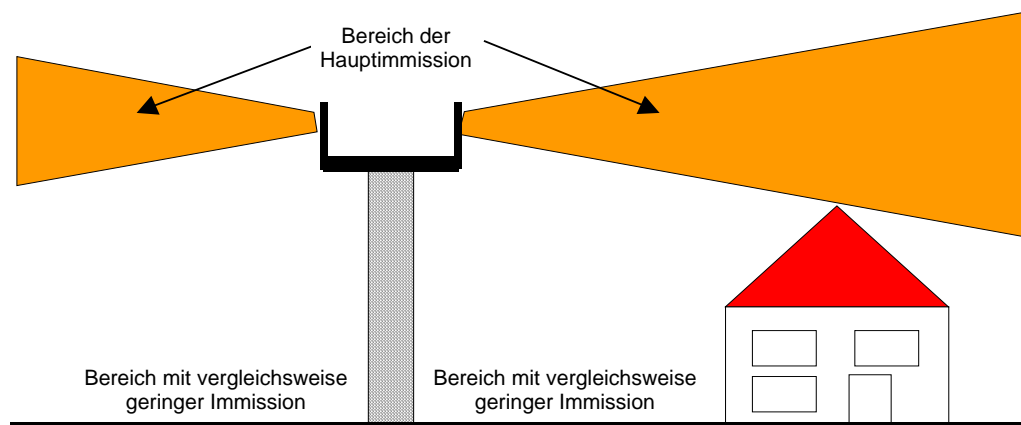


Abb. 4: Vertikales Bündelungsverhalten von Mobilfunkantennen (prinzipielle Darstellung mit übertriebenem großem vertikalem Öffnungswinkel).

Außerhalb dieses schmalen Feldkegels der Antenne (vergleichbar mit der Lichtausstrahlung im Kegel eines Scheinwerfers) ist die Energieabgabe deutlich geringer (typischerweise nur 1/10 bis 1/1000 der Werte 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 Topographie, 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.

Falls tiefer gehende Informationen zum Themenkomplex "Immissionen durch Mobilfunk" gewünscht werden: Unter www.bayern.de/lfu/laerm/emv/emv2.htm findet sich ein ausführlicher Untersuchungsbericht über Möglichkeiten und Grenzen der Minimierung von Mobilfunkimmissionen.

3 Durchführung der Messungen

3.1 Messgrößen für hochfrequente Felder

Für die Beurteilung der Feldintensität in der Umgebung von Hochfrequenzquellen 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 Mikrowatt pro Quadratmeter gibt die in einer Fläche von einem Quadratmeter fließende Leistungsmenge der durch die elektromagnetische Welle transportierten Hochfrequenzenergie an.

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 allen hier durchgeführten Messungen kann von Fernfeldbedingungen ausgegangen werden, da man sich ausreichend weit von der Antenne entfernt befindet. Für die Beurteilung der Feldintensität in den bei dieser Untersuchung auftretenden Abständen zu den Antennen genügt also die Angabe einer dieser drei Größen. In der Auswertung der durchgeführten Messungen wird deshalb die **elektrische Feldstärke** als Größe für die Immissionswerte verwendet.

3.2 Verwendete Messgeräte, Messverfahren

Im Rahmen der Immissionsmessungen wurde folgende Messausrüstung eingesetzt:

1. Feldanalysatorsystem Narda SRM-3000 (Ser. Nr. E-0042)
2. Isotropantenne 3AX 75M-3G (Ser. Nr. 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 mit einer Auflösungsbreite von 0,2 MHz, UMTS-Signale hingegen mit einer Bandbreite von 5 MHz erfasst. Als Detektor kommt der Peak-Detektor (bei GSM) bzw. der RMS-Detektor (bei UMTS) zum Einsatz.

Bei Vorhandensein mehrerer etwa gleich großer Immissionen wurde entsprechend der Vorgaben der Normen eine Summation durchgeführt, um die wirksame **Summenimmission** zu er-

halten. 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 ± 3 dB gerechnet werden [9]. Gründe dafür sind z.B. unvermeidbare Restfehler bei der Kalibrierung der Messantennen und -kabel, die entsprechende Messtoleranz des Feldanalysators und die Unsicherheit der Probennahme. Zur Kompensation wurden alle Messwerte um diesen Unsicherheitsfaktor erhöht, d.h. die in diesem Bericht angegebenen Feldstärkewerte sind, gegenüber der vor Ort abgelesenen Anzeige des Messgerätes, zur Sicherheit **um den Faktor 1,4 vergrößert** worden.

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 für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen genehmigte Kanalzahl je Antenne) auf die Immissionswerte bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung hochgerechnet, damit eine echte "worst-case"-Betrachtung sichergestellt ist.

Auch bei UMTS-Stationen schwankt 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 Station), 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].

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

3.4 Qualitätssicherung

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

3.5 Messorte

Die Messungen wurden an drei Punkten in der Umgebung des betrachteten Mobilfunkstandortes durchgeführt. Folgende Messpunkte wurden in Absprache mit einem Vertreter der Stadt Regensburg gewählt:

Messpunkt Nr.	Bezeichnung	Horizontaldistanz zum Antennenstandort	Sichtverbindung
1	Emmeramsplatz, evang. Krankenhaus (Treppenhaus 3. OG)	Ca. 70 m	Ja
2	Grünes Gässchen 4, Kindergarten St. Emmeram (Außenbereich)	Ca. 60 m	Ja
3	Kindergarten Dänzergasse (Außenbereich)	Ca. 165 m	Nein

Tab. 1: Messpunkte.

Durchgeführt wurden die Messungen am 17. Juli 2007 zwischen 10:00 und 10:50 Uhr (Verantwortlicher vor Ort: Dr.-Ing. M. Wuschek). Ein Vertreter der Stadt Regensburg war bei den Messungen anwesend.

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

Einige Fotos vom Antennenstandort und den Messpunkten finden sich in der Anlage 3 zu diesem Bericht.

4 Festgestellte Immissionswerte

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

Zusätzlich aufgeführt ist auch der **Maximalimmissionswert** für Vollausbau und Vollausslastung der Stationen (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 Stationen immer zwischen diesen beiden Extremwerten.

Immissionen, verursacht durch weiter entfernte Mobilfunksendeanlagen konnten an einigen Punkten gemessen werden. So weit sie nennenswert zur Gesamtimmission beitragen, wurden sie bei der Summation berücksichtigt.

Zur besseren Verständlichkeit werden hier 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.

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 Mikrowatt/m² angegeben.

Messpunkt Nr.	Summenfeldstärke in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV (Minimalimmission)	Summenfeldstärke in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV (Maximalimmission)
1	3,53 %	7,06 %
2	0,32 %	0,64 %
3	0,16 %	0,32 %

Tab. 2: Festgestellte Immissionswerte (Summenfeldstärkewerte bezogen auf die Grenzwerte nach 26. BImSchV).

Nach 26. BImSchV gilt für den Mobilfunk ein Grenzwert von zirka 42 Volt/m (GSM 900), zirka 59 Volt/m (GSM 1800) bzw. 61 Volt/m (UMTS). Die folgenden beiden Abbildungen stellen die Ergebnisse aus Tabelle 2 grafisch dar:

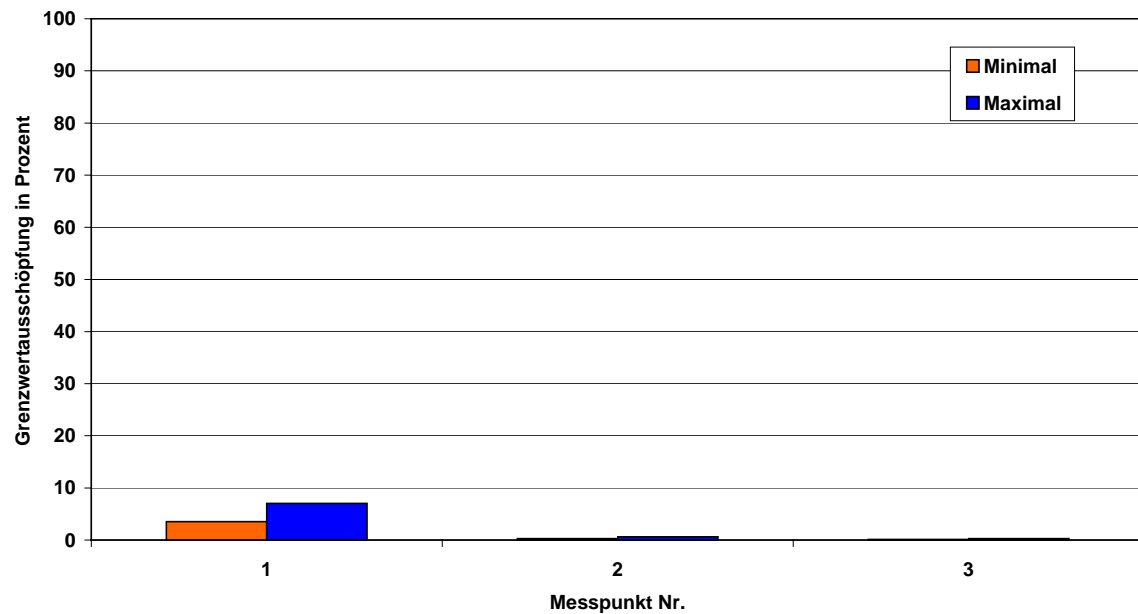


Abb. 5: Grafische Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 2 (Summenfeldstärke Mobilfunk in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV).

Die Vorgaben der 26. BImSchV sind eingehalten, so lange der Summenimmissionswert am Messpunkt den Wert von 100 % unterschreitet, was hier an allen Messpunkten offensichtlich deutlich der Fall ist.

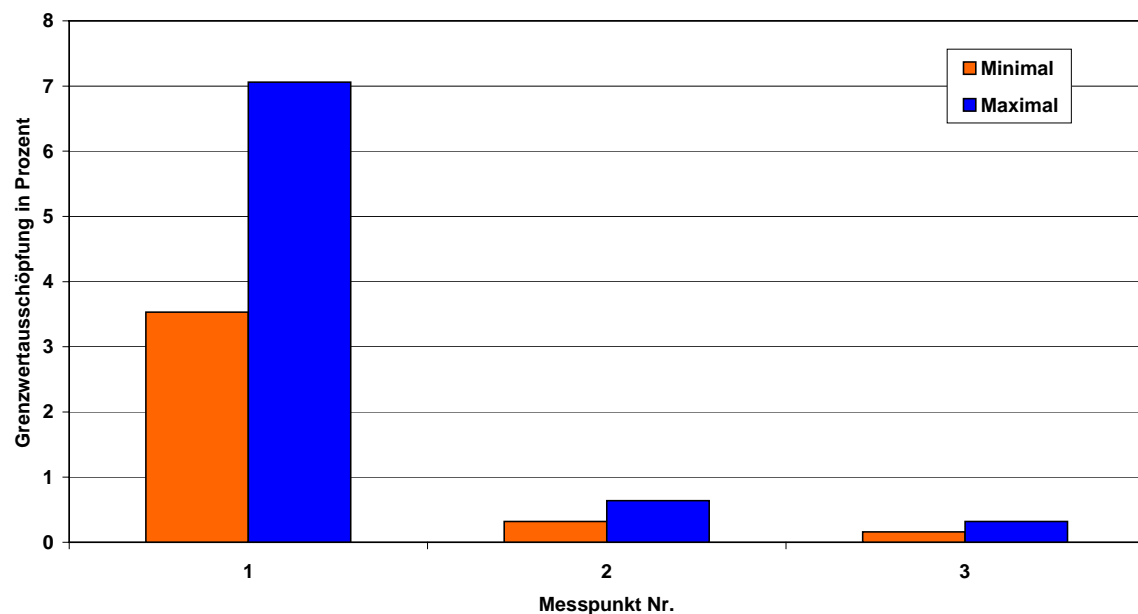


Abb. 6: Detaillierte Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 2.

5 Schlussfolgerungen

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

- Wie aus Tabelle 2 sowie den Abbildungen 5 und 6 ersichtlich, wird der Grenzwert nach 26. BImSchV an allen Messpunkten deutlich unterschritten. Bei den Messungen ergaben sich Immissionen (bezogen auf die Feldstärke), die bei Volllastung der verursachenden Anlagen **etwa zwischen 0,3 und 7 Prozent des gesetzlich zulässigen Wertes** betragen.
- Im Vergleich zum Messergebnis im Treppenhaus des evangelischen Krankenhauses, fallen die Immissionen in den beiden Kindergärten sehr niedrig aus. Der Grund dafür liegt im größeren Höhenunterschied zwischen dem Montageort der Antennen und den Messpunkten, sowie der teilweise nicht vorhandenen Sichtverbindung (Dämpfung der Funkwellen durch Gebäude). Am Messpunkt 3 sind die Immissionen, verursacht durch den Mobilfunkstandort "Emmeramsplatz 8" bereits so stark abgeklungen, dass die Felder, verursacht von anderen Mobilfunksendeanlagen, überwiegen.
- Um die hier gefundenen Immissionswerte besser einordnen zu können, sei hier folgender Vergleich genannt: In einer Studie für das Bayerische Landesamt für Umwelt wurden im Jahr 2004 insgesamt mehr als 1.200 Messpunkte ausgewertet, die im Rahmen von ähnlichen Messkampagnen, wie in der Umgebung des Standortes "Emmeramsplatz 8" durchgeführt, vermessen wurden [11]. Diese Auswertung ergab, dass bei Betrachtung von 850 Messpunkten, von denen aus Sicht zu einer Mobilfunksendeanlage bestand, sich ein mittlerer Immissionswert von 4,54 Prozent vom Grenzwert (bei Maximalauslastung und Vollausbau der verursachenden Sendeanlagen) ergab. An Messpunkt 1 liegen die Messergebnisse über, an den anderen beiden Punkten (Kindergärten) unter diesem Durchschnittswert.

Regensburg, 17. August 2007

Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek



6 Literaturverzeichnis

- [1] **Bundesrepublik Deutschland**
"26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes"
Bundesgesetzblatt Jg. 1996, Teil I, Nr.66, Bonn 20.12.1996.
- [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).
- [5] **Firma Kathrein, Rosenheim**
"Base Station Antennas for Mobile Communications"
Firmenschrift, Rosenheim 01/2001.
- [6] **S. R. Saunders**
"Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems"
John Wiley & Sons, Chichester, New York 1999.
- [7] **DIN VDE 0848**
"Sicherheit in elektromagnetischen Feldern – Grenzwerte von Feldstärken zum Schutz von Personen, Teil 1: Mess- und Berechnungsverfahren"
VDE-Verlag GmbH, Berlin, 08/2000.
- [8] **Länderausschuss für Immissionsschutz"**
"Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV in der Fassung vom 26. März 2004"
3/2004; Internet: 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] **M. Wuschek et al.**
"Möglichkeiten und Grenzen der Minimierung von Mobilfunkimmissionen: Auf Messdaten und Simulationen basierende Optionen und Beispiele"
Studie im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt
Regensburg 2004, www.bayern.de/lfu/laerm/emv/emv2.htm

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 EU-Ratsempfehlung bzw. DIN VDE 0848-1 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 bzw. der EU-Ratsempfehlung angegebenen Feldstärkegrenzwerten herzustellen, wird in diesem Bericht die Wurzel aus der Summenimmission gezogen. Es ergibt sich also die wirksame feldstärkebezogene Immission I_{wirksam} zu:

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

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

Diese Formeln werden in den folgenden Auswertungen angewendet.

Leistungsflussdichtewerte können hingegen auf herkömmliche Weise linear aufsummiert werden.

Festgestellte Mobilfunk-Immissionswerte (Maximalauslastung):

Messort: Regensburg
Leitung: Dr. Wuschek
Signal: GSM/UMTS
Datum: 17.07.2007

Uhrzeit: 10:00-10:50 Uhr
Wetter: Sonnig, trocken
Analyzer: SRM-3000
Antenne: 3AX75M-3G

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Messpunkt Nr.	Freq. in MHz	SC Nr. (nur UMTS)	Betreiber	E (gem.) in dBµV/m	Kanalzahl	Aufschlag in dB	E (korr.) in dBµV/m	E in V/m	ges. GW in V/m	Prozent vom GW	S in µW/m²
1	926,6		E-Plus	84,6	4	3,0	93,6	0,048	41,86	0,115	6,11
	957,0		Vodafone	89,1	4	3,0	98,1	0,081	42,54	0,189	17,21
	957,4		Vodafone	82,1	4	3,0	91,1	0,036	42,55	0,085	3,43
	959,8		T-Mobile	81,0	4	3,0	90,0	0,032	42,60	0,074	2,67
	1838,4		O ₂	97,9	4	3,0	106,9	0,222	58,96	0,376	130,53
	1840,6		O ₂	104,3	4	3,0	113,3	0,463	58,99	0,786	569,80
	1844,6		O ₂	123,3	4	3,0	132,3	4,131	59,05	6,995	45260,43
	1860,0		E-Plus	84,6	4	3,0	93,6	0,048	59,30	0,081	6,11
	1865,0		E-Plus	75,0	4	3,0	84,0	0,016	59,38	0,027	0,67
	1869,4		E-Plus	87,7	4	3,0	96,7	0,069	59,45	0,115	12,47
	2112,8	57	Vodafone	74,8	2	13,0	90,8	0,035	61,00	0,057	3,20
	2112,8	64	Vodafone	71,9	2	13,0	87,9	0,025	61,00	0,041	1,64
	2112,8	65	Vodafone	78,6	2	13,0	94,6	0,054	61,00	0,088	7,67
	2167,2	70	T-Mobile	77,4	2	13,0	93,4	0,047	61,00	0,077	5,82
	2167,2	92	T-Mobile	70,8	2	13,0	86,8	0,022	61,00	0,036	1,27
	2167,2	314	T-Mobile	73,1	2	13,0	89,1	0,029	61,00	0,047	2,16
2167,2	354	T-Mobile	73,2	2	13,0	89,2	0,029	61,00	0,047	2,21	
2167,2	390	T-Mobile	88,5	2	13,0	104,5	0,168	61,00	0,276	74,94	
Summen								4,17		7,06	46108,3
2	926,6		E-Plus	77,3	4	3,0	86,3	0,021	41,86	0,049	1,14
	957,0		Vodafone	87,1	4	3,0	96,1	0,064	42,54	0,150	10,86
	959,8		T-Mobile	76,5	4	3,0	85,5	0,019	42,60	0,044	0,95
	1838,4		O ₂	78,8	4	3,0	87,8	0,025	58,96	0,042	1,61
	1840,6		O ₂	101,9	4	3,0	110,9	0,352	58,99	0,596	327,88
	1844,6		O ₂	87,1	4	3,0	96,1	0,064	59,05	0,108	10,86
	2167,2	390	T-Mobile	79,5	2	13,0	95,5	0,060	61,00	0,098	9,43
	Summen							0,37		0,64	362,7
3	926,6		E-Plus	84,1	4	3,0	93,1	0,045	41,86	0,108	5,44
	957,0		Vodafone	90,7	4	3,0	99,7	0,097	42,54	0,228	24,87
	957,4		Vodafone	76,9	4	3,0	85,9	0,020	42,55	0,046	1,04
	959,8		T-Mobile	76,0	4	3,0	85,0	0,018	42,60	0,042	0,84
	1838,4		O ₂	68,8	4	3,0	77,8	0,008	58,96	0,013	0,16
	1840,6		O ₂	85,7	4	3,0	94,7	0,054	58,99	0,092	7,87
	1844,6		O ₂	68,5	4	3,0	77,5	0,008	59,05	0,013	0,15
	1860,0		E-Plus	83,2	4	3,0	92,2	0,041	59,30	0,069	4,42
	1865,0		E-Plus	88,6	4	3,0	97,6	0,076	59,38	0,128	15,34
	1869,4		E-Plus	75,1	4	3,0	84,1	0,016	59,45	0,027	0,69
	2167,2	70	T-Mobile	76,7	2	13,0	92,7	0,043	61,00	0,071	4,95
Summen							0,16		0,32	65,8	

Festgestellte Mobilfunk-Immissionswerte (Minimalauslastung):

Messort: Regensburg
Leitung: Dr. Wuschek
Signal: GSM/UMTS
Datum: 17.07.2007

Uhrzeit: 10:00-10:50 Uhr
Wetter: Sonnig, trocken
Analyzer: SRM-3000
Antenne: 3AX75M-3G

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Messpunkt Nr.	Freq. in MHz	SC Nr. (nur UMTS)	Betreiber	E (gem.) in dBµV/m	Kanalzahl	Aufschlag in dB	E (korr.) in dBµV/m	E in V/m	ges. GW in V/m	Prozent vom GW	S in µW/m²
1	926,6		E-Plus	84,6	1	3,0	87,6	0,024	41,86	0,057	1,53
	957,0		Vodafone	89,1	1	3,0	92,1	0,040	42,54	0,095	4,30
	957,4		Vodafone	82,1	1	3,0	85,1	0,018	42,55	0,042	0,86
	959,8		T-Mobile	81,0	1	3,0	84,0	0,016	42,60	0,037	0,67
	1838,4		O ₂	97,9	1	3,0	100,9	0,111	58,96	0,188	32,63
	1840,6		O ₂	104,3	1	3,0	107,3	0,232	58,99	0,393	142,45
	1844,6		O ₂	123,3	1	3,0	126,3	2,065	59,05	3,497	11315,11
	1860,0		E-Plus	84,6	1	3,0	87,6	0,024	59,30	0,040	1,53
	1865,0		E-Plus	75,0	1	3,0	78,0	0,008	59,38	0,013	0,17
	1869,4		E-Plus	87,7	1	3,0	90,7	0,034	59,45	0,058	3,12
	2112,8	57	Vodafone	74,8	1	6,0	80,8	0,011	61,00	0,018	0,32
	2112,8	64	Vodafone	71,9	1	6,0	77,9	0,008	61,00	0,013	0,16
	2112,8	65	Vodafone	78,6	1	6,0	84,6	0,017	61,00	0,028	0,76
	2167,2	70	T-Mobile	77,4	1	6,0	83,4	0,015	61,00	0,024	0,58
	2167,2	92	T-Mobile	70,8	1	6,0	76,8	0,007	61,00	0,011	0,13
	2167,2	314	T-Mobile	73,1	1	6,0	79,1	0,009	61,00	0,015	0,22
	2167,2	354	T-Mobile	73,2	1	6,0	79,2	0,009	61,00	0,015	0,22
	2167,2	390	T-Mobile	88,5	1	6,0	94,5	0,053	61,00	0,087	7,48
Summen								2,08		3,53	11512,2
2	926,6		E-Plus	77,3	1	3,0	80,3	0,010	41,86	0,025	0,28
	957,0		Vodafone	87,1	1	3,0	90,1	0,032	42,54	0,075	2,71
	959,8		T-Mobile	76,5	1	3,0	79,5	0,009	42,60	0,022	0,24
	1838,4		O ₂	78,8	1	3,0	81,8	0,012	58,96	0,021	0,40
	1840,6		O ₂	101,9	1	3,0	104,9	0,176	58,99	0,298	81,97
	1844,6		O ₂	87,1	1	3,0	90,1	0,032	59,05	0,054	2,71
	2167,2	390	T-Mobile	79,5	1	6,0	85,5	0,019	61,00	0,031	0,94
Summen								0,18		0,32	89,3
3	926,6		E-Plus	84,1	1	3,0	87,1	0,023	41,86	0,054	1,36
	957,0		Vodafone	90,7	1	3,0	93,7	0,048	42,54	0,114	6,22
	957,4		Vodafone	76,9	1	3,0	79,9	0,010	42,55	0,023	0,26
	959,8		T-Mobile	76,0	1	3,0	79,0	0,009	42,60	0,021	0,21
	1838,4		O ₂	68,8	1	3,0	71,8	0,004	58,96	0,007	0,04
	1840,6		O ₂	85,7	1	3,0	88,7	0,027	58,99	0,046	1,97
	1844,6		O ₂	68,5	1	3,0	71,5	0,004	59,05	0,006	0,04
	1860,0		E-Plus	83,2	1	3,0	86,2	0,020	59,30	0,034	1,11
	1865,0		E-Plus	88,6	1	3,0	91,6	0,038	59,38	0,064	3,83
	1869,4		E-Plus	75,1	1	3,0	78,1	0,008	59,45	0,014	0,17
	2167,2	70	T-Mobile	76,7	1	6,0	82,7	0,014	61,00	0,022	0,49
Summen								0,08		0,16	15,7

Legende zu obigen Tabellen:

- Spalte 1:** Nummerierung der Messpunkte.
- Spalte 2:** Bei GSM-Signalen: Frequenz des für jede Senderichtung vorhandenen Signalisierungskanals (BCCH) in MHz. Bei UMTS-Signalen (Trägerfrequenzen zwischen 2110 und 2170 MHz): Mittenfrequenz des gemessenen Kanals in MHz.
- Spalte 3:** Scramblingcodenummer des gemessenen Signalisierungskanals (nur bei UMTS-Signalen).
- Spalte 4:** Betreiberzuordnung.
- Spalte 5:** Vor Ort gemessene Feldstärke in dB μ V/m.
- Spalte 6:** Summe der von der Bundesnetzagentur genehmigten Kanäle.
- Spalte 7:** Aufschlagfaktor für die Gesamtmessunsicherheit des Verfahrens (3 dB; K = 2).
Aufgrund der technischen Angaben der Betreiber wird bei UMTS-Messungen an dieser Stelle zusätzlich der Hochrechnungsfaktor auf maximale Anlagenauslastung eingebracht (10 dB bei Vodafone), daher ergibt sich in den UMTS-Zeilen ein Aufschlagfaktor von insgesamt 13 dB.
- Spalte 8:** Hochgerechnete Feldstärke für Maximalauslastung inkl. Messunsicherheitszuschlag
<Spalte 8> = <Spalte 5> + 10·log (<Spalte 6>) + <Spalte 7>.
- Spalte 9:** Umrechnung des Wertes aus Spalte 8 von dB μ V/m in V/m.
- Spalte 10:** Für die gemessene Frequenz gültiger Grenzwert nach 26. BImSchV (10 MHz - 300 GHz) bzw. nach EU-Ratsempfehlung (für Frequenzen unter 10 MHz).
- Spalte 11:** Quotient aus Spalte 9 und Spalte 10 in Prozent.
- Spalte 12:** Umrechnung des Wertes aus Spalte 9 von V/m in Mikrowatt/m².

Die minimale Immission ergibt sich, wenn man die Kanalzahl (Spalte 6) in allen Zeilen auf "1" setzt und zusätzlich in den UMTS-Zeilen den Aufschlagfaktor (Spalte 7) auf 6 dB erniedrigt.

Anlage 2: Grenzwerte und ihre Entstehung

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 *Weltgesundheitsorganisation* (WHO), der *Internationalen Kommission für den Schutz nicht ionisierender Strahlung* (ICNIRP), des *Europäischen Rates*, sowie der deutschen *Strahlenschutzkommission* [2,3,4].

Die festgelegten Grenzwerte für Hochfrequenzimmissionen sind in folgender Tabelle aufgelistet und in Bild 1 graphisch dargestellt.

Frequenz [MHz]	Effektivwert der el. und magn. Feldstärke	
	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

f : Betriebsfrequenz in MHz

Tabelle 1: Grenzwerte der 26. BImSchV für Hochfrequenzanlagen

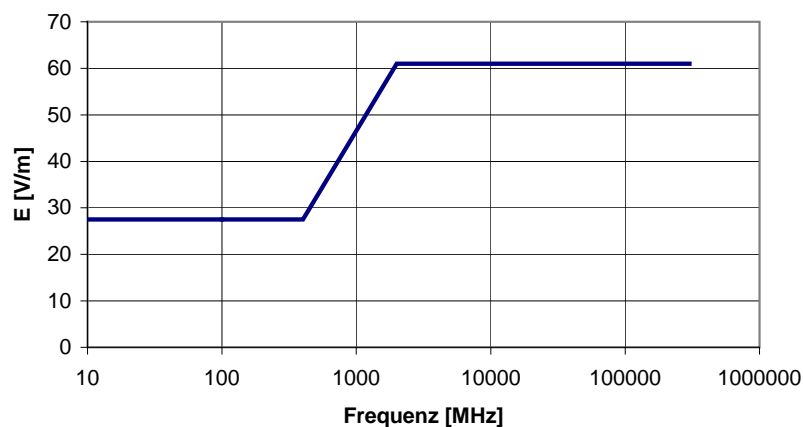


Bild 1: Grafische Darstellung der Grenzwerte (elektrische Feldstärke) nach 26. BImSchV für Hochfrequenzanlagen

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 zur Zeit aktuellen Empfehlungen der ICNIRP stammen aus dem Jahr 1998 [2].

An dieser Stelle kann angemerkt werden, dass die deutsche *Strahlenschutzkommission* in ihrer letzten Stellungnahme vom 14. September 2001 [4] festgestellt hat, dass derzeit keine wissenschaftliche Begründung existiert, die eine Verschärfung der gesetzlichen Grenzwerte rechtfertigen würde: *"Die SSK kommt zu dem Schluss, dass auch nach Bewertung der neueren wissenschaftlichen Literatur keine neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse im Hinblick auf nachgewiesene Gesundheitsbeeinträchtigungen vorliegen, die Zweifel an der wissenschaftlichen Bewertung aufkommen lassen, die den Schutzkonzepten der ICNIRP bzw. der EU-Ratsempfehlung zugrunde liegt."*

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 Mitgliedsstaaten 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 in Körpern im allgemeinen 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 graphisch dargestellt.

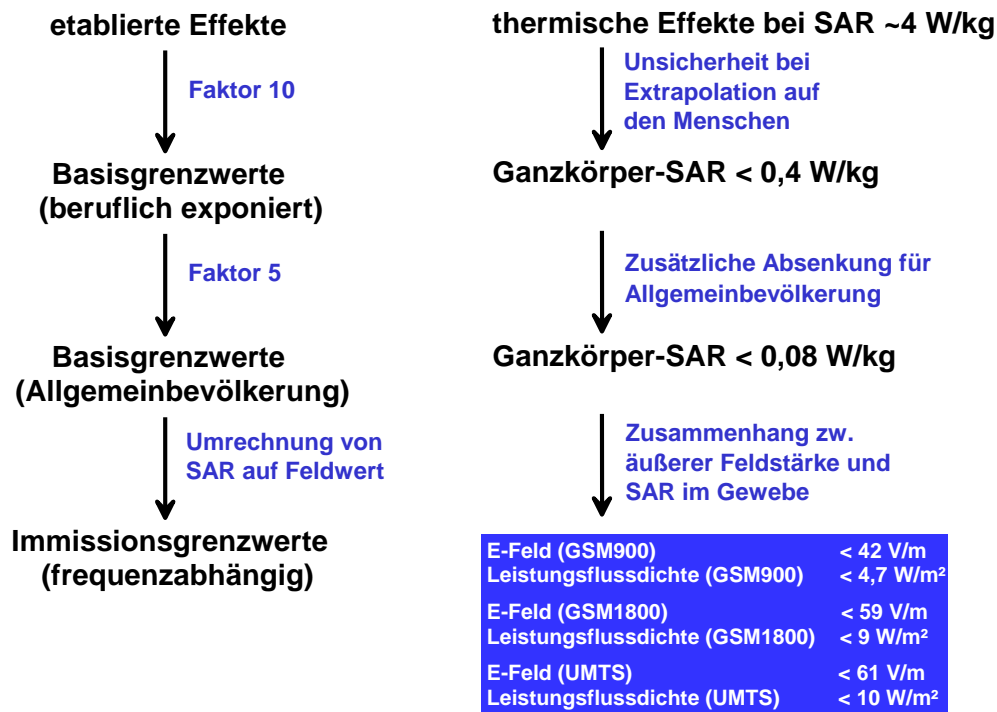


Bild 2: Darstellung der Entstehung internationaler Grenzwertempfehlungen

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: Fotos



Bild 1: Blick von Messpunkt 1 zum Antennenstandort (Antennen unter der "Dachhaut")



Bild 2: Messpunkt 2



Bild 3: Messpunkt 3