

# **Elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunksendeanlagen**

## **Bericht über durchgeführte Feldstärkemessungen**

**Auftraggeber:** O<sub>2</sub> Germany GmbH & Co. OHG  
Projektbüro Nürnberg  
Südwestpark 38  
90449 Nürnberg

**Ort:** Regensburg, Prüfeninger Str. 35

**Durchführung:** EM-Institut  
Carlstr. 5  
93049 Regensburg

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

**Projektnummer:** 04/007

**Ort und Datum:** Regensburg, 04. August 2004

---

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Seite</b>	
<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung</b>	3
<b>2</b>	<b>Felder in der Umgebung einer Mobilfunksendeanlage</b>	5
<b>3</b>	<b>Durchführung der Messungen</b>	8
3.1	Messgrößen für hochfrequente Felder	8
3.2	Verwendete Messgeräte, Messverfahren	9
3.3	Messgenauigkeit, Bestimmung der Maximalimmission	9
3.4	Qualitätssicherung	10
3.5	Messorte	10
<b>4</b>	<b>Festgestellte Immissionswerte</b>	11
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	14
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	15
<b>7</b>	<b>Anlagen</b>	16
	Anlage 1: Ausführliche Ergebnistabellen	16
	Anlage 2: Grenzwerte und ihre Entstehung	22
	Anlage 3: Lageplan mit Senderstandort und Messpunkten	25
	Anlage 4: Photos	26

## 1. Aufgabenstellung

Das EM-Institut, Regensburg wurde von der Firma O<sub>2</sub> Germany GmbH & Co. OHG (Projektbüro Nürnberg) beauftragt, an verschiedenen Punkten in der Umgebung eines Mobilfunkstandortes in Regensburg die durch Mobilfunk verursachten hochfrequenten Immissionen messtechnisch zu erfassen. Die Ergebnisse der Messungen sind zu dokumentieren und mit den derzeit in Deutschland verbindlichen Grenzwerten zu vergleichen.

Hauptursache für die an den betrachteten Punkten messbaren Hochfrequenzfelder sind Mobilfunksendeanlagen, deren Antennen auf dem Dach des "Agrippina-Hochhauses" in der Prüfeninger Str. 35, 93049 Regensburg installiert sind. Betreiber der Anlagen sind die Firmen T-Mobile, Vodafone und O<sub>2</sub>. Von diesen werden am Standort derzeit folgende Systeme betrieben:

Betreiber	In Betrieb befindliche Mobilfunksysteme
T-Mobile	GSM 900 + UMTS
Vodafone	GSM 900 + UMTS
O <sub>2</sub>	GSM 1800 + UMTS

**Tab. 1:** Am Standort "Prüfeninger Str. 35" betriebene Mobilfunksendeanlagen

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 Funkseideanlage 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 durch die derzeit in Betrieb befindlichen Mobilfunksendeanlagen an den Messpunkten erzeugt werden?**

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

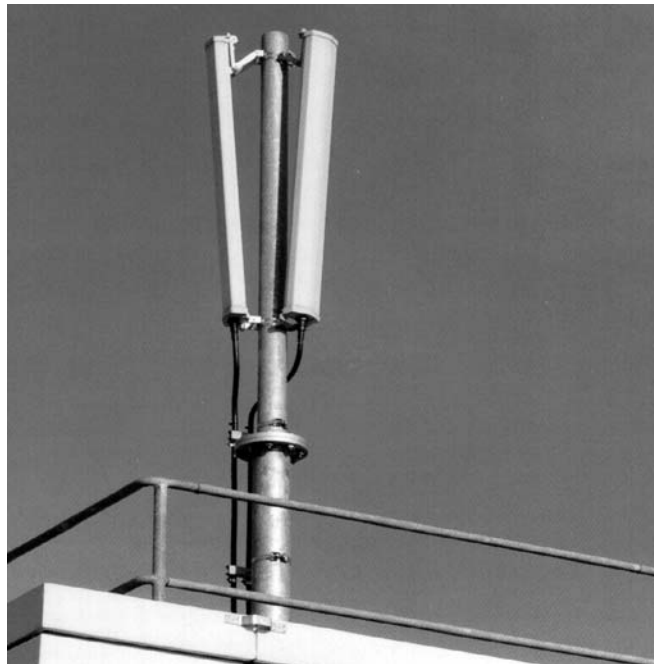
## 2. Felder in der Umgebung einer Mobilfunksendeanlage

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

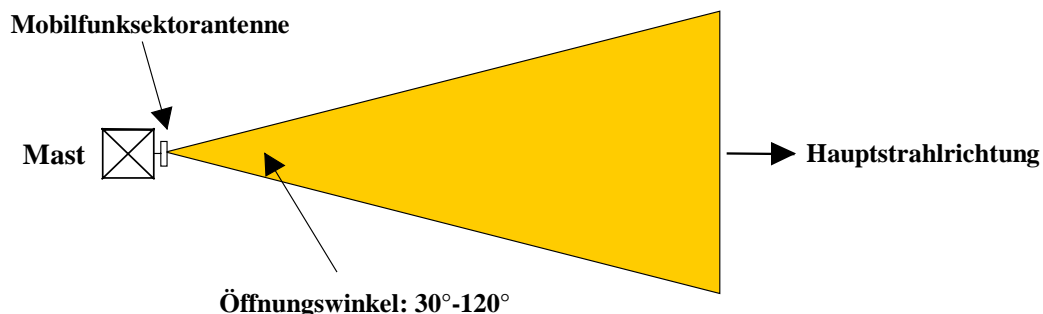
Die beim Mobilfunk verwendeten Antennen senden in der horizontalen Ebene entweder omnidirektional (Abb. 1), d.h. in alle Richtungen parallel zum Erdboden wird gleich viel Energie abgegeben oder die elektromagnetische Welle wird mittels Richtantennen horizontal auf einen typisch  $60^\circ$  bis  $120^\circ$  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



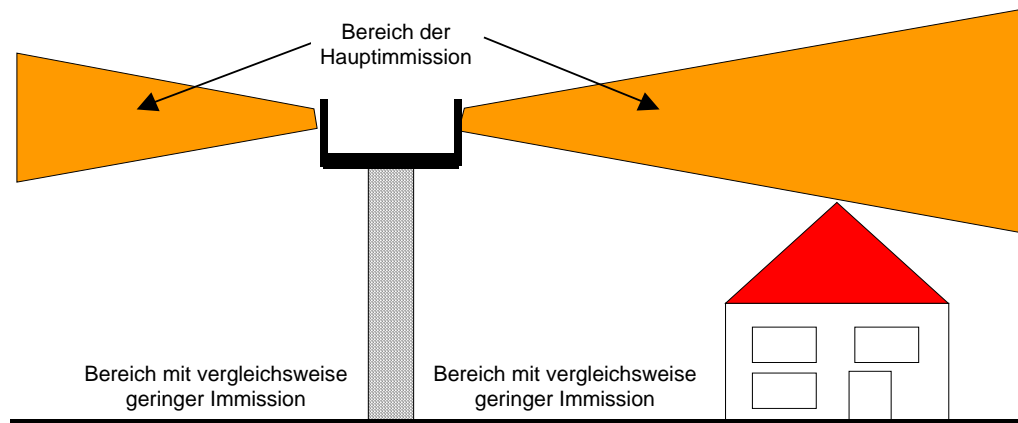
**Abb. 2:** Zwei Sektorantennen, montiert auf einem Flachdach (hier mit mechanischer Strahlabsenkung, engl. "Downtilt")



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

An den meisten Standorten, die sich im städtischen Umfeld befinden, 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 typisch ca. 5 - 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 entfernt liegende 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 (typisch 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.

### 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 wurden die folgenden Messgeräte eingesetzt:

1. Spektrumanalysator Rohde & Schwarz ESPI3 (Ser. Nr. 100093)
2. Messantenne Schwarzbeck USLP 9142 (Ser. Nr. 112)
3. 10 Meter kalibriertes Messkabel RG 214 (K1, rot)

Mittels des Spektrumanalysators 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 des Kabels zwischen Messantenne und Spektrumanalysator 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 [8].

GSM-Signale werden mit einer Auflösungsbandbreite (RBW) von 0,2 MHz, UMTS-Signale hingegen mit einer Bandbreite 5 MHz erfasst. Als Detektor kommt der RMS-Detektor des Analysators zum Einsatz.

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  $\pm 3$  dB gerechnet werden [9]. Gründe dafür sind z.B. unvermeidbare Restfehler bei der Kalibrierung der Messantennen und -kabel, die entsprechende Messtoleranz des Spektrumanalysators 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) unter Zuhilfenahme der uns von den Betreibern zur Verfügung gestellten technischen Anlagendaten (Von der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post genehmigte Kanalzahl je Antenne) auf die Immissionswerte bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung hochgerechnet, damit eine echte "worst-case"-Betrachtung sichergestellt ist.

Bei der Hochrechnung der gemessenen UMTS-Signale wurde in vergleichbarer Weise vorgegangen: Da derzeit noch so gut wie keine Kunden diese Anlagen nutzen, repräsentieren die an den Messpunkten gemessenen Felder die Immissionen, verursacht durch die, beim UMTS-Mobilfunk ebenfalls permanent abgestrahlten Signalisierungssignale. Aus den von den Betreibern zur Verfügung gestellten technischen Daten der UMTS-Anlagen (Leistung der Signalisierungssignale im Verhältnis zur Maximalleistung der Station), sowie aus der von der RegTP genehmigten Kanalzahl, wurde ein Korrekturfaktor errechnet, um den der Messwert jeweils vergrößert wurde, 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 Spektrumanalysator) 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 im Gebäude bzw. im Freien in verschiedenen Abständen zum Antennenstandort durchgeführt. Folgende Messpunkte wurden in Absprache mit dem Umweltamt der Stadt Regensburg gewählt:

Messpunkt Nr.	Bezeichnung	Horizontaldistanz zum Anlagenstandort	Sichtverbindung zu den Antennen
1	Goethegymnasium (3. OG, Raum 304)	Ca. 180 m	Ja
2	Hedwigsklinik (3. OG, Flur vor Archiv Onkologie)	Ca. 100 m	Ja
3	Wohnheim Wilhelmstr. (Dachterrasse)	Ca. 165 m	Ja
4	Heitzerstr. 10 (Balkon, 14. OG)	Ca. 190 m	Ja

5	Heitzerstr. 10 (Loggia, 6. OG)	Ca. 190 m	Ja
6	Heitzerstr. 10 (vor Hauseingang)	Ca. 185 m	Eingeschränkt*
7	Prüfening Str. 20 (Gehweg)	Ca. 185 m	Ja
8	Carlstr. 5 (Küche 2. OG)	Ca. 95 m	Ja

\*: Sicht teilweise durch Bäume behindert.

**Tab. 2:** Messpunkte

Ein Umgebungsplan mit eingezeichnetem Senderstandort und den Messpunkten, sowie einige Photos finden sich in den Anlagen 3 und 4 zu diesem Bericht.

Durchgeführt wurden die Messungen am 23. Juni 2004 zwischen 15:00 und 17:15 Uhr (Verantwortlicher vor Ort: Dr.-Ing. M. Wuschek). Ein Vertreter des Umweltamtes der Stadt Regensburg (Herr Dr. Hahn) war bei den Messungen anwesend.

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

## 4. Festgestellte Immissionswerte

In folgender Tabelle sind für jeden Messpunkt zwei verschiedene Immissionswerte angegeben: Der niedrigere Wert repräsentiert die minimal am Messpunkt herrschende Feldstärke, die dann von den Anlagen generiert wird, wenn gerade keine Telefon- oder Datenverkehr abgewickelt wird, was z.B. nachts der Fall sein kann. Erzeugt wird diese Immission durch die permanent von den Mobilfunkanlagen abgegebenen Signalisierungssignale.

Der zweite (größere) Wert gibt an, welche Immissionen bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung und bei Ausbau der Anlagen auf die von der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP) jeweils genehmigte Maximalkapazität am Messpunkt entstehen würde. Diese wurde, wie in Kapitel 3.3 beschrieben, aus den Messwerten durch Hochrechnung bestimmt. Angemerkt werden muss auch, dass derzeit noch keine der am Standort betriebenen Anlagen auf die genehmigte Maximalkapazität ausgebaut ist, so dass der hier angegebene maximale Immissionswert zur Zeit noch nicht erzeugt werden kann.

Zur besseren Verständlichkeit werden in der Tabelle jedoch keine absoluten Feldstärkewerte angegeben, sondern es ist aufgeführt, wie viel Prozent bezüglich der Grenzwerte nach 26. BImSchV an den einzelnen Messpunkten jeweils erreicht werden.

Immissionen, verursacht durch weiter entfernte Mobilfunksender, konnten an einigen Messpunkten zwar festgestellt werden, sie haben allerdings keinen nennenswerten Anteil an der Mobilfunk-Summenimmission, da hier die Felder der in unmittelbarer Umgebung befindlichen Sendeanlagen immer deutlich überwiegen.

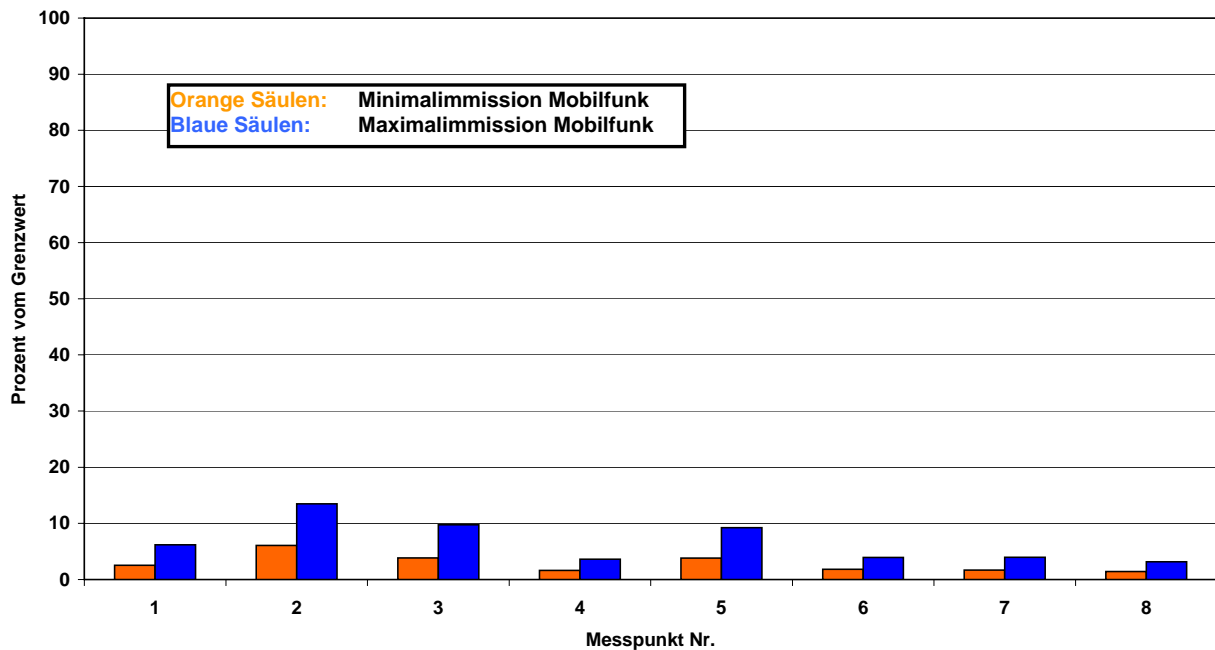
Ausführliche Ergebnistabellen der durchgeführten Messungen finden sich in der Anlage 1 zu diesem Bericht. Dort sind die Messergebnisse auch als Feldstärke in Volt/m und als Leistungsflussdichte in Mikrowatt/m<sup>2</sup> angegeben.

Messpunkt Nr.	Summenfeldstärke in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV (Minimalimmission)	Summenfeldstärke in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV (Immission bei höchster be- trieblicher Anlagenauslastung und Maximalaus- bau)
1	2,52 %	6,19 %
2	6,04 %	13,46 %
3	3,84 %	9,73 %
4	1,61 %	3,59 %
5	3,81 %	9,25 %
6	1,81 %	3,93 %
7	1,68 %	3,94 %
8	1,43 %	3,14 %

**Tab. 3:** Festgestellte Immissionswerte

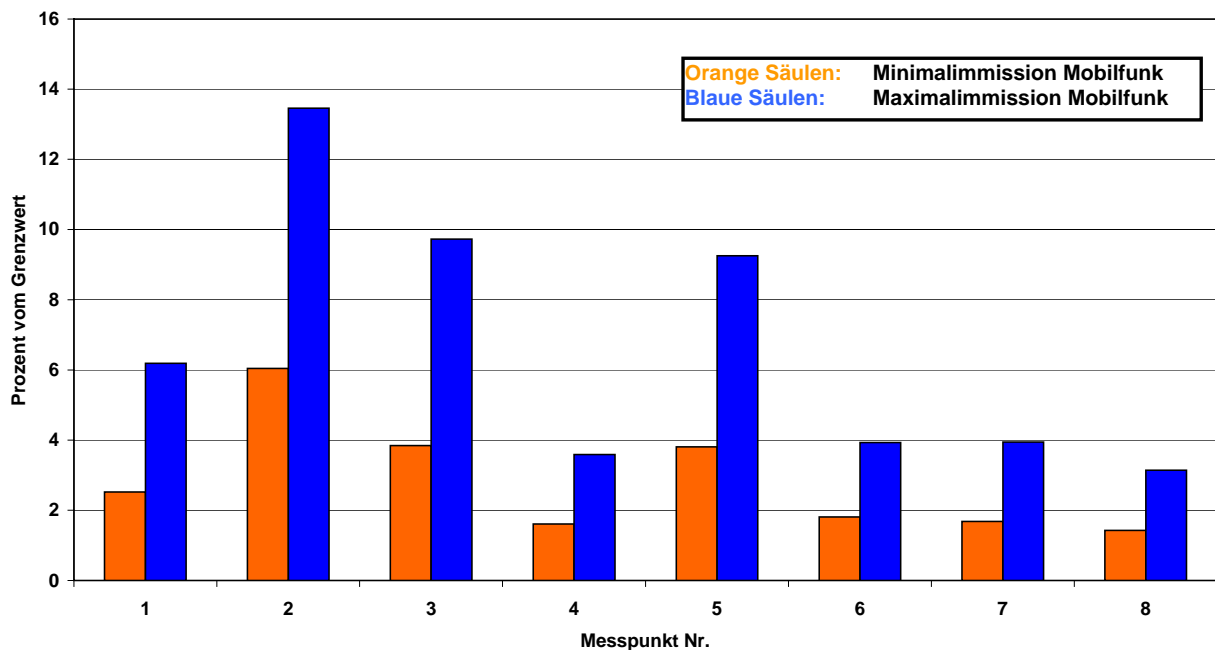
Nach 26. BImSchV gilt für den Mobilfunk ein Grenzwert von zirka 42 Volt/m (D-Netz), zirka 59 Volt/m (E-Netz) bzw. 61 Volt/m (UMTS).

Die folgenden beiden Abbildungen stellen die Ergebnisse aus Tabelle 3 graphisch dar:



**Abb. 5:** Graphische Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 3 (Summenimmission 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.



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

## 5. Schlussfolgerungen

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

- Wie aus Tabelle 3 und den Abbildungen 5 und 6 ersichtlich ist, wird der Grenzwert nach 26. BImSchV an allen 8 Messorten unterschritten. Bei den Messungen ergaben sich Immissionen, die bei **Maximalausbau und Vollauslastung** der verursachenden Anlagen **etwa zwischen 3 und 13,5 Prozent des gesetzlich zulässigen Wertes** betragen.
- Bei **Minimalauslastung** der Stationen (z.B. nachts) verringern sich die Feldstärken an den Messpunkten auf etwas weniger als 50 % des Wertes bei Vollauslastung und Maximalausbau.
- Die Messpunkte 4 bis 6 (Heitzerstr. 10) zeigen sehr schön die Höhenabhängigkeit der Mobilfunkimmission: Messpunkt 4 befindet sich oberhalb der vertikalen Hauptsenderichtung der Antennen, so dass hier niedrigere Werte gefunden werden, als in mittlerer Höhe Messpunkt 5). Auch in Bodennähe verringern sich die Immissionen wieder, da man sich hier offensichtlich noch etwas unterhalb der vertikalen Hauptsenderichtung der Antennen befindet und eventuell zusätzlich eine gewisse Dämpfung durch die vorhandenen Laubbäume verursacht wird.
- Die Messungen haben deutlich gezeigt, dass die Entfernung zur Anlage oder die Zahl der installierten Antennen als alleiniges Kriterien zur Einschätzung der Größe der elektromagnetischen Felder in der Umgebung eines Mobilfunksenders kaum geeignet sind, da die Feldstärke auch noch von sehr vielen anderen Faktoren abhängig ist. Solche Faktoren sind beispielsweise die Antennenausrichtung, Montagehöhe und Neigungswinkel ("Downtilt") der Antennen, Dämpfung durch Bewuchs und Bebauung sowie als sehr wichtige Einflussgröße, die relative Höhe der Immissionsorte bezüglich der Mobilfunkantennen.

Regensburg, 04. August 2004



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] **Bundesamt für Post und Telekommunikation (heute: RegTP)**  
"Messvorschrift BAPT MV 22"  
Mainz 1995.
- [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.

## 7. Anlagen

### Anlage 1: Ausführliche Ergebnistabellen

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

#### Anmerkung:

Nach 26. BImSchV 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:

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

$E_1, E_2, E_n$ :	Feldstärke der Einzelimmission
$E_{g1}, E_{g2}, E_{gn}$ :	Für die Einzelimmission gültiger Grenzwert
$(I_{\text{Summe}})^2$ :	Gesamtimmission (Summenwert)

Diese quadratische Summe (in Prozent) wird von der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP) 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:

$$I_{\text{wirksam}} = \sqrt{\left(I_{\text{Summe}}\right)^2}$$

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.



## Gemessene Minimalimmissionen durch Mobilfunksender:

**Ort:** Regensburg, Prüfeninger Str.  
**Durchf.** Dr. Wuschek  
**Datum:** 23.06.2004  
**Uhrzeit:** 15:00-17:15 Uhr  
**Wetter:** heiter/kein Niederschlag

Messpunkt Nr.	Freq. in MHz	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/m <sup>2</sup>
1	938,0	T-Mobile	85,6	1	3	88,6	0,027	42,11	0,064	1,9
	942,6	T-Mobile	109,8	1	3	112,8	0,437	42,21	1,034	505,43
	944,6	T-Mobile	98,2	1	3	101,2	0,115	42,26	0,272	34,97
	947,2	Vodafone	107,7	1	3	110,7	0,343	42,32	0,810	311,6
	950,0	Vodafone	88,2	1	3	91,2	0,036	42,38	0,086	3,50
	956,6	Vodafone	110,8	1	3	113,8	0,490	42,53	1,152	636,30
	1826,2	O2	107,2	1	3	110,2	0,324	58,76	0,551	277,8
	1835,4	O2	114,2	1	3	117,2	0,724	58,91	1,230	1392,1
	1842,4	O2	85,2	1	3	88,2	0,026	59,02	0,044	1,75
UMTS	2112,6	Vodafone	107,9	1	3	110,9	0,351	61,00	0,575	326,33
UMTS	2157,2	O2	99,2	1	3	102,2	0,129	61,00	0,211	44,0
UMTS	2167,2	T-Mobile	112,7	1	3	115,7	0,610	61,00	0,999	985,5
Summen							1,31		2,52	4521,2
2	938,0	T-Mobile	122,0	1	3	125,0	1,778	42,11	4,223	8388,0
	942,6	T-Mobile	91,0	1	3	94,0	0,050	42,21	0,119	6,66
	944,6	T-Mobile	101,3	1	3	104,3	0,164	42,26	0,388	71,39
	947,2	Vodafone	84,0	1	3	87,0	0,022	42,32	0,053	1,3
	950,0	Vodafone	120,8	1	3	123,8	1,549	42,38	3,655	6362,95
	956,6	Vodafone	93,9	1	3	96,9	0,070	42,53	0,165	12,99
	1826,2	O2	96,6	1	3	99,6	0,095	58,76	0,163	24,2
	1835,4	O2	91,3	1	3	94,3	0,052	58,91	0,088	7,1
	1842,4	O2	113,4	1	3	116,4	0,661	59,02	1,119	1157,87
UMTS	2112,6	Vodafone	105,9	1	3	108,9	0,279	61,00	0,457	205,90
UMTS	2157,2	O2	102,0	1	3	105,0	0,178	61,00	0,292	83,9
UMTS	2167,2	T-Mobile	118,1	1	3	121,1	1,135	61,00	1,861	3417,1
Summen							2,73		6,04	19739,4
3	938,0	T-Mobile	98,7	1	3	101,7	0,122	42,11	0,289	39,2
	942,6	T-Mobile	94,4	1	3	97,4	0,074	42,21	0,176	14,58
	944,6	T-Mobile	102,1	1	3	105,1	0,180	42,26	0,426	85,83
	947,2	Vodafone	94,6	1	3	97,6	0,076	42,32	0,179	15,3
	950,0	Vodafone	116,1	1	3	119,1	0,902	42,38	2,127	2156,05
	956,6	Vodafone	98,8	1	3	101,8	0,123	42,53	0,289	40,15
	1826,2	O2	98,6	1	3	101,6	0,120	58,76	0,205	38,3
	1835,4	O2	97,7	1	3	100,7	0,108	58,91	0,184	31,2
	1842,4	O2	121,3	1	3	124,3	1,641	59,02	2,780	7139,35
UMTS	2112,6	Vodafone	113,6	1	3	116,6	0,676	61,00	1,108	1212,44
UMTS	2157,2	O2	111,4	1	3	114,4	0,525	61,00	0,860	730,6
UMTS	2167,2	T-Mobile	97,7	1	3	100,7	0,108	61,00	0,178	31,2
Summen							2,09		3,84	11534,1
4	938,0	T-Mobile	100,8	1	3	103,8	0,155	42,11	0,368	63,6
	942,6	T-Mobile	100,0	1	3	103,0	0,141	42,21	0,335	52,92
	944,6	T-Mobile	92,6	1	3	95,6	0,060	42,26	0,143	9,63
	947,2	Vodafone	90,6	1	3	93,6	0,048	42,32	0,113	6,1
	950,0	Vodafone	94,7	1	3	97,7	0,077	42,38	0,181	15,62
	956,6	Vodafone	111,9	1	3	114,9	0,556	42,53	1,307	819,71
	1826,2	O2	107,7	1	3	110,7	0,343	58,76	0,583	311,6
	1835,4	O2	91,1	1	3	94,1	0,051	58,91	0,086	6,8
	1842,4	O2	95,8	1	3	98,8	0,087	59,02	0,148	20,12
UMTS	2112,6	Vodafone	99,3	1	3	102,3	0,130	61,00	0,214	45,05
UMTS	2157,2	O2	97,4	1	3	100,4	0,105	61,00	0,172	29,1
UMTS	2167,2	T-Mobile	103,7	1	3	106,7	0,216	61,00	0,355	124,1
Summen							0,75		1,61	1504,4

Messpunkt Nr.	Freq. in MHz	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
5	938,0	T-Mobile	105,6	1	3	108,6	0,269	42,11	0,639	192,2
	942,6	T-Mobile	111,3	1	3	114,3	0,519	42,21	1,229	713,93
	944,6	T-Mobile	88,9	1	3	91,9	0,039	42,26	0,093	4,11
	947,2	Vodafone	93,9	1	3	96,9	0,070	42,32	0,165	13,0
	950,0	Vodafone	92,7	1	3	95,7	0,061	42,38	0,144	9,86
	956,6	Vodafone	116,7	1	3	119,7	0,966	42,53	2,272	2475,48
	1826,2	O2	119,9	1	3	122,9	1,396	58,76	2,376	5172,0
	1835,4	O2	97,3	1	3	100,3	0,104	58,91	0,176	28,4
	1842,4	O2	97,9	1	3	100,9	0,111	59,02	0,188	32,63
UMTS	2112,6	Vodafone	111,4	1	3	114,4	0,525	61,00	0,860	730,56
UMTS	2157,2	O2	110,0	1	3	113,0	0,447	61,00	0,732	529,2
UMTS	2167,2	T-Mobile	108,2	1	3	111,2	0,363	61,00	0,595	349,7
Summen							1,97		3,81	10251,1
6	938,0	T-Mobile	103,6	1	3	106,6	0,214	42,11	0,508	121,2
	942,6	T-Mobile	106,7	1	3	109,7	0,305	42,21	0,724	247,55
	944,6	T-Mobile	72,1	1	3	75,1	0,006	42,26	0,013	0,09
	947,2	Vodafone	81,8	1	3	84,8	0,017	42,32	0,041	0,8
	950,0	Vodafone	82,3	1	3	85,3	0,018	42,38	0,043	0,90
	956,6	Vodafone	111,6	1	3	114,6	0,537	42,53	1,263	765,00
	1826,2	O2	110,6	1	3	113,6	0,479	58,76	0,815	607,7
	1835,4	O2	78,4	1	3	81,4	0,012	58,91	0,020	0,4
	1842,4	O2	80,3	1	3	83,3	0,015	59,02	0,025	0,57
UMTS	2112,6	Vodafone	102,3	1	3	105,3	0,184	61,00	0,302	89,88
UMTS	2157,2	O2	92,0	1	3	95,0	0,056	61,00	0,092	8,4
UMTS	2167,2	T-Mobile	104,3	1	3	107,3	0,232	61,00	0,380	142,4
Summen							0,87		1,81	1984,9
7	938,0	T-Mobile	75,4	1	3	78,4	0,008	42,11	0,020	0,2
	942,6	T-Mobile	81,7	1	3	84,7	0,017	42,21	0,041	0,78
	944,6	T-Mobile	110,6	1	3	113,6	0,479	42,26	1,133	607,66
	947,2	Vodafone	98,4	1	3	101,4	0,117	42,32	0,278	36,6
	950,0	Vodafone	107,9	1	3	110,9	0,351	42,38	0,828	326,33
	956,6	Vodafone	84,5	1	3	87,5	0,024	42,53	0,056	1,49
	1826,2	O2	82,2	1	3	85,2	0,018	58,76	0,031	0,9
	1835,4	O2	95,6	1	3	98,6	0,085	58,91	0,144	19,2
	1842,4	O2	107,9	1	3	110,9	0,351	59,02	0,594	326,33
UMTS	2112,6	Vodafone	96,5	1	3	99,5	0,094	61,00	0,155	23,64
UMTS	2157,2	O2	97,0	1	3	100,0	0,100	61,00	0,164	26,5
UMTS	2167,2	T-Mobile	108,1	1	3	111,1	0,359	61,00	0,588	341,7
Summen							0,80		1,68	1711,4
8	938,0	T-Mobile	112,0	1	3	115,0	0,562	42,11	1,335	838,8
	942,6	T-Mobile	93,7	1	3	96,7	0,068	42,21	0,162	12,41
	944,6	T-Mobile	77,5	1	3	80,5	0,011	42,26	0,025	0,30
	947,2	Vodafone	77,3	1	3	80,3	0,010	42,32	0,024	0,3
	950,0	Vodafone	94,0	1	3	97,0	0,071	42,38	0,167	13,29
	956,6	Vodafone	91,2	1	3	94,2	0,051	42,53	0,121	6,98
	1826,2	O2	83,1	1	3	86,1	0,020	58,76	0,034	1,1
	1835,4	O2	78,3	1	3	81,3	0,012	58,91	0,020	0,4
	1842,4	O2	94,0	1	3	97,0	0,071	59,02	0,120	13,29
UMTS	2112,6	Vodafone	87,0	1	3	90,0	0,032	61,00	0,052	2,65
UMTS	2157,2	O2	88,7	1	3	91,7	0,038	61,00	0,063	3,9
UMTS	2167,2	T-Mobile	105,0	1	3	108,0	0,251	61,00	0,412	167,4
Summen							0,63		1,43	1060,7

## Immission durch Mobilfunksender, hochgerechnet auf Maximalausbau und Volllast:

**Ort:** Regensburg, Prüfeninger Str.  
**Durchf.** Dr. Wuschek  
**Datum:** 23.06.2004  
**Uhrzeit:** 15:00-17:15 Uhr  
**Wetter:** heiter/kein Niederschlag

Messpunkt Nr.	Freq. in MHz	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	938,0	T-Mobile	85,6	4	3,0	94,6	0,054	42,11	0,128	7,7
	942,6	T-Mobile	109,8	4	3,0	118,8	0,873	42,21	2,068	2021,71
	944,6	T-Mobile	98,2	4	3,0	107,2	0,230	42,26	0,543	139,87
	947,2	Vodafone	107,7	4	3,0	116,7	0,686	42,32	1,620	1246,6
	950,0	Vodafone	88,2	4	3,0	97,2	0,073	42,38	0,171	13,99
	956,6	Vodafone	110,8	4	3,0	119,8	0,980	42,53	2,303	2545,18
	1826,2	O2	107,2	4	3,0	116,2	0,647	58,76	1,101	1111,0
	1835,4	O2	114,2	4	3,0	123,2	1,449	58,91	2,460	5568,2
	1842,4	O2	85,2	4	3,0	94,2	0,051	59,02	0,087	7,01
UMTS	2112,6	Vodafone	107,9	2	10,7	121,6	1,204	61,00	1,973	3843,16
UMTS	2157,2	O2	99,2	2	15,9	118,1	0,804	61,00	1,319	1716,7
UMTS	2167,2	T-Mobile	112,7	2	11,1	126,8	2,190	61,00	3,591	12725,9
<b>Summen</b>							<b>3,42</b>		<b>6,19</b>	<b>30947,0</b>
2	938,0	T-Mobile	122,0	4	3,0	131,0	3,557	42,11	8,446	33552,0
	942,6	T-Mobile	91,0	4	3,0	100,0	0,100	42,21	0,237	26,65
	944,6	T-Mobile	101,3	4	3,0	110,3	0,328	42,26	0,776	285,57
	947,2	Vodafone	84,0	4	3,0	93,0	0,045	42,32	0,106	5,3
	950,0	Vodafone	120,8	4	3,0	129,8	3,098	42,38	7,309	25451,81
	956,6	Vodafone	93,9	4	3,0	102,9	0,140	42,53	0,329	51,97
	1826,2	O2	96,6	4	3,0	105,6	0,191	58,76	0,325	96,8
	1835,4	O2	91,3	4	3,0	100,3	0,104	58,91	0,176	28,6
	1842,4	O2	113,4	4	3,0	122,4	1,321	59,02	2,239	4631,47
UMTS	2112,6	Vodafone	105,9	2	10,7	119,6	0,956	61,00	1,567	2424,87
UMTS	2157,2	O2	102,0	2	15,9	120,9	1,110	61,00	1,820	3271,1
UMTS	2167,2	T-Mobile	118,1	2	11,1	132,2	4,079	61,00	6,686	44125,4
<b>Summen</b>							<b>6,55</b>		<b>13,46</b>	<b>113951,5</b>
3	938,0	T-Mobile	98,7	4	3,0	107,7	0,243	42,11	0,578	156,9
	942,6	T-Mobile	94,4	4	3,0	103,4	0,148	42,21	0,351	58,31
	944,6	T-Mobile	102,1	4	3,0	111,1	0,360	42,26	0,851	343,34
	947,2	Vodafone	94,6	4	3,0	103,6	0,152	42,32	0,359	61,1
	950,0	Vodafone	116,1	4	3,0	125,1	1,803	42,38	4,255	8624,20
	956,6	Vodafone	98,8	4	3,0	107,8	0,246	42,53	0,579	160,59
	1826,2	O2	98,6	4	3,0	107,6	0,240	58,76	0,409	153,4
	1835,4	O2	97,7	4	3,0	106,7	0,217	58,91	0,368	124,7
	1842,4	O2	121,3	4	3,0	130,3	3,281	59,02	5,559	28557,40
UMTS	2112,6	Vodafone	113,6	2	10,7	127,3	2,320	61,00	3,804	14278,70
UMTS	2157,2	O2	111,4	2	15,9	130,3	3,277	61,00	5,373	28489,8
UMTS	2167,2	T-Mobile	97,7	2	11,1	111,8	0,390	61,00	0,639	402,4
<b>Summen</b>							<b>5,54</b>		<b>9,73</b>	<b>81410,7</b>
4	938,0	T-Mobile	100,8	4	3,0	109,8	0,310	42,11	0,736	254,5
	942,6	T-Mobile	100,0	4	3,0	109,0	0,283	42,21	0,669	211,70
	944,6	T-Mobile	92,6	4	3,0	101,6	0,121	42,26	0,285	38,52
	947,2	Vodafone	90,6	4	3,0	99,6	0,096	42,32	0,226	24,3
	950,0	Vodafone	94,7	4	3,0	103,7	0,153	42,38	0,362	62,48
	956,6	Vodafone	111,9	4	3,0	120,9	1,112	42,53	2,614	3278,83
	1826,2	O2	107,7	4	3,0	116,7	0,686	58,76	1,167	1246,6
	1835,4	O2	91,1	4	3,0	100,1	0,101	58,91	0,172	27,3
	1842,4	O2	95,8	4	3,0	104,8	0,174	59,02	0,295	80,49
UMTS	2112,6	Vodafone	99,3	2	10,7	113,0	0,447	61,00	0,733	530,50
UMTS	2157,2	O2	97,4	2	15,9	116,3	0,654	61,00	1,072	1134,2
UMTS	2167,2	T-Mobile	103,7	2	11,1	117,8	0,777	61,00	1,274	1602,1
<b>Summen</b>							<b>1,79</b>		<b>3,59</b>	<b>8491,5</b>

Messpunkt Nr.	Freq. in MHz	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/m <sup>2</sup>
<b>5</b>	<b>938,0</b>	T-Mobile	105,6	4	3,0	114,6	0,538	42,11	1,278	768,6
	942,6	T-Mobile	111,3	4	3,0	120,3	1,038	42,21	2,458	2855,74
	944,6	T-Mobile	88,9	4	3,0	97,9	0,079	42,26	0,186	16,43
	947,2	Vodafone	93,9	4	3,0	102,9	0,140	42,32	0,331	52,0
	950,0	Vodafone	92,7	4	3,0	101,7	0,122	42,38	0,288	39,42
	956,6	Vodafone	116,7	4	3,0	125,7	1,932	42,53	4,543	9901,90
	1826,2	O2	119,9	4	3,0	128,9	2,793	58,76	4,753	20688,0
	1835,4	O2	97,3	4	3,0	106,3	0,207	58,91	0,351	113,7
	1842,4	O2	97,9	4	3,0	106,9	0,222	59,02	0,376	130,53
	<b>UMTS</b>	<b>2112,6</b>	Vodafone	111,4	2	10,7	125,1	1,801	61,00	2,952
<b>UMTS</b>	<b>2157,2</b>	O2	110,0	2	15,9	128,9	2,789	61,00	4,573	20639,0
<b>UMTS</b>	<b>2167,2</b>	T-Mobile	108,2	2	11,1	122,3	1,305	61,00	2,139	4515,3
<b>Summen</b>							<b>5,08</b>		<b>9,25</b>	<b>68324,4</b>
<b>6</b>	<b>938,0</b>	T-Mobile	103,6	4	3,0	112,6	0,428	42,11	1,015	485,0
	942,6	T-Mobile	106,7	4	3,0	115,7	0,611	42,21	1,447	990,19
	944,6	T-Mobile	72,1	4	3,0	81,1	0,011	42,26	0,027	0,34
	947,2	Vodafone	81,8	4	3,0	90,8	0,035	42,32	0,082	3,2
	950,0	Vodafone	82,3	4	3,0	91,3	0,037	42,38	0,087	3,60
	956,6	Vodafone	111,6	4	3,0	120,6	1,074	42,53	2,526	3059,98
	1826,2	O2	110,6	4	3,0	119,6	0,957	58,76	1,629	2430,6
	1835,4	O2	78,4	4	3,0	87,4	0,023	58,91	0,040	1,5
	1842,4	O2	80,3	4	3,0	89,3	0,029	59,02	0,050	2,27
	<b>UMTS</b>	<b>2112,6</b>	Vodafone	102,3	2	10,7	116,0	0,632	61,00	1,036
<b>UMTS</b>	<b>2157,2</b>	O2	92,0	2	15,9	110,9	0,351	61,00	0,576	327,1
<b>UMTS</b>	<b>2167,2</b>	T-Mobile	104,3	2	11,1	118,4	0,833	61,00	1,365	1839,5
<b>Summen</b>							<b>1,96</b>		<b>3,93</b>	<b>10201,7</b>
<b>7</b>	<b>938,0</b>	T-Mobile	75,4	4	3,0	84,4	0,017	42,11	0,040	0,7
	942,6	T-Mobile	81,7	4	3,0	90,7	0,034	42,21	0,081	3,13
	944,6	T-Mobile	110,6	4	3,0	119,6	0,957	42,26	2,265	2430,63
	947,2	Vodafone	98,4	4	3,0	107,4	0,235	42,32	0,555	146,5
	950,0	Vodafone	107,9	4	3,0	116,9	0,702	42,38	1,655	1305,32
	956,6	Vodafone	84,5	4	3,0	93,5	0,047	42,53	0,112	5,97
	1826,2	O2	82,2	4	3,0	91,2	0,036	58,76	0,062	3,5
	1835,4	O2	95,6	4	3,0	104,6	0,170	58,91	0,289	76,9
	1842,4	O2	107,9	4	3,0	116,9	0,702	59,02	1,189	1305,32
	<b>UMTS</b>	<b>2112,6</b>	Vodafone	96,5	2	10,7	110,2	0,324	61,00	0,531
<b>UMTS</b>	<b>2157,2</b>	O2	97,0	2	15,9	115,9	0,624	61,00	1,024	1034,4
<b>UMTS</b>	<b>2167,2</b>	T-Mobile	108,1	2	11,1	122,2	1,290	61,00	2,114	4412,5
<b>Summen</b>							<b>2,04</b>		<b>3,94</b>	<b>11003,3</b>
<b>8</b>	<b>938,0</b>	T-Mobile	112,0	4	3,0	121,0	1,125	42,11	2,671	3355,2
	942,6	T-Mobile	93,7	4	3,0	102,7	0,137	42,21	0,324	49,63
	944,6	T-Mobile	77,5	4	3,0	86,5	0,021	42,26	0,050	1,19
	947,2	Vodafone	77,3	4	3,0	86,3	0,021	42,32	0,049	1,1
	950,0	Vodafone	94,0	4	3,0	103,0	0,142	42,38	0,334	53,18
	956,6	Vodafone	91,2	4	3,0	100,2	0,103	42,53	0,241	27,91
	1826,2	O2	83,1	4	3,0	92,1	0,040	58,76	0,069	4,3
	1835,4	O2	78,3	4	3,0	87,3	0,023	58,91	0,039	1,4
	1842,4	O2	94,0	4	3,0	103,0	0,142	59,02	0,240	53,18
	<b>UMTS</b>	<b>2112,6</b>	Vodafone	87,0	2	10,7	100,7	0,109	61,00	0,178
<b>UMTS</b>	<b>2157,2</b>	O2	88,7	2	15,9	107,6	0,240	61,00	0,394	153,0
<b>UMTS</b>	<b>2167,2</b>	T-Mobile	105,0	2	11,1	119,1	0,903	61,00	1,480	2161,2
<b>Summen</b>							<b>1,49</b>		<b>3,14</b>	<b>5892,6</b>

**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:** Betreiberzuordnung.
- Spalte 4:** Vor Ort gemessene Feldstärke in dB $\mu$ V/m.
- Spalte 5:** Summe der von der Reg TP genehmigten Kanäle dieses Sektors (In der Tabelle für die Minimalimmission wird dieser Wert auf 1 gesetzt, da minimal von jeder Station nur der Signalisierungskanal abgegeben wird).
- Spalte 6:** Aufschlagfaktor für die Gesamtmessunsicherheit des Verfahrens (3 dB).  
Bei UMTS-Messungen wird in der Tabelle für die Maximalimmission an dieser Stelle zusätzlich der Hochrechnungsfaktor auf maximale Anlagenauslastung eingebracht, daher ergibt sich dort in den UMTS-Zeilen ein Aufschlagfaktor größer 3 dB. Gemäß Betreiberangaben, resultiert bei den betrachteten Standorten ein Hochrechnungsfaktor von 8,1 dB (T-Mobile), 7,7 dB (Vodafone) bzw. 12,9 dB (O<sub>2</sub>).
- Spalte 7:** Hochgerechnete Feldstärke für Maximalauslastung inkl. Messunsicherheitszuschlag  
<Spalte 7> = <Spalte 4> + 10·log (<Spalte 5>) + <Spalte 6>. In der Tabelle für die Minimalimmission ergibt sich hier die Minimalimmission incl. Messunsicherheitszuschlag.
- Spalte 8:** Umrechnung des Wertes aus Spalte 7 von dB $\mu$ V/m in V/m.
- Spalte 9:** Für die gemessene Frequenz gültiger Grenzwert nach 26. BImSchV (10 MHz - 300 GHz) bzw. nach EU-Ratsempfehlung (für Frequenzen unter 10 MHz).
- Spalte 10:** Quotient aus Spalte 8 und Spalte 9 in Prozent.
- Spalte 11:** Umrechnung des Wertes aus Spalte 8 von V/m in Mikrowatt/m<sup>2</sup>.

## Anlage 2: Grenzwerte und ihre Entstehung

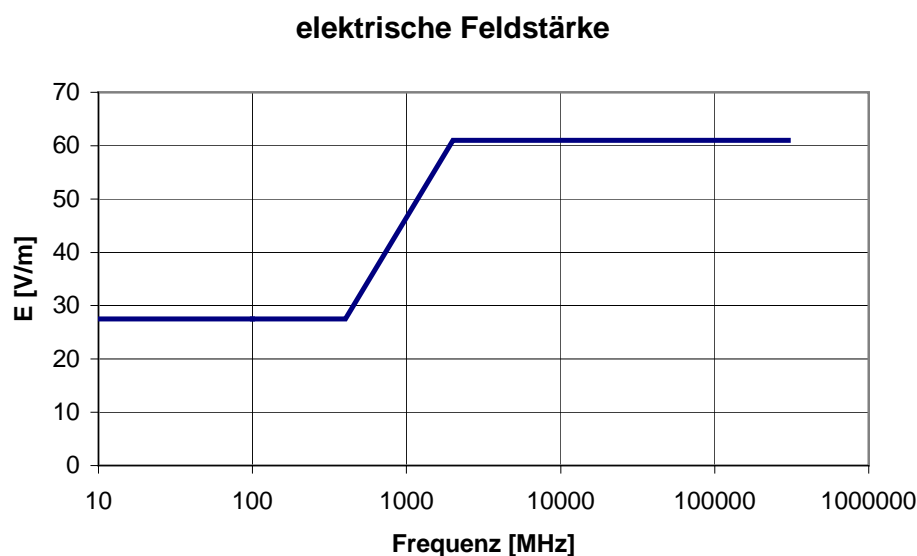
Die Bewertung elektromagnetischer Felder ist in Deutschland seit Januar 1997 in der "26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes" (26. BImSchV) [1] verbindlich geregelt. Die in dieser Verordnung festgelegten Immissionsgrenzwerte entsprechen den aktuellen Empfehlungen der *Weltgesundheitsorganisation* (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	$0,0037 \cdot \sqrt{f}$
2.000 – 300.000	61	0,16

$f$ : Betriebsfrequenz in MHz

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



**Bild 1:** Graphische Darstellung der Grenzwerte 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 - 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.

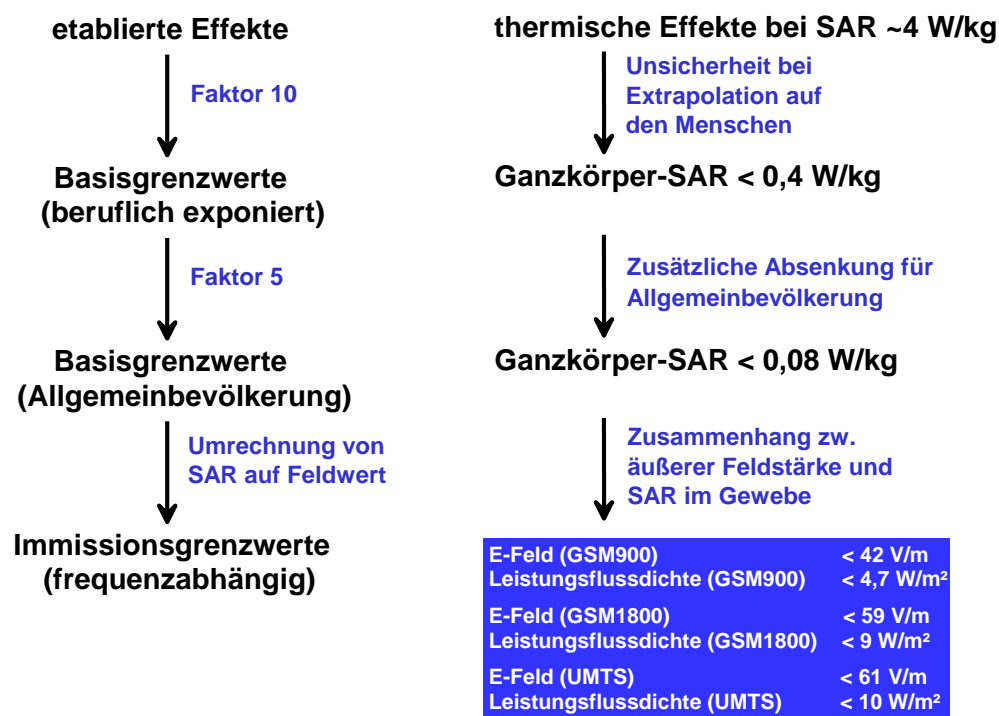
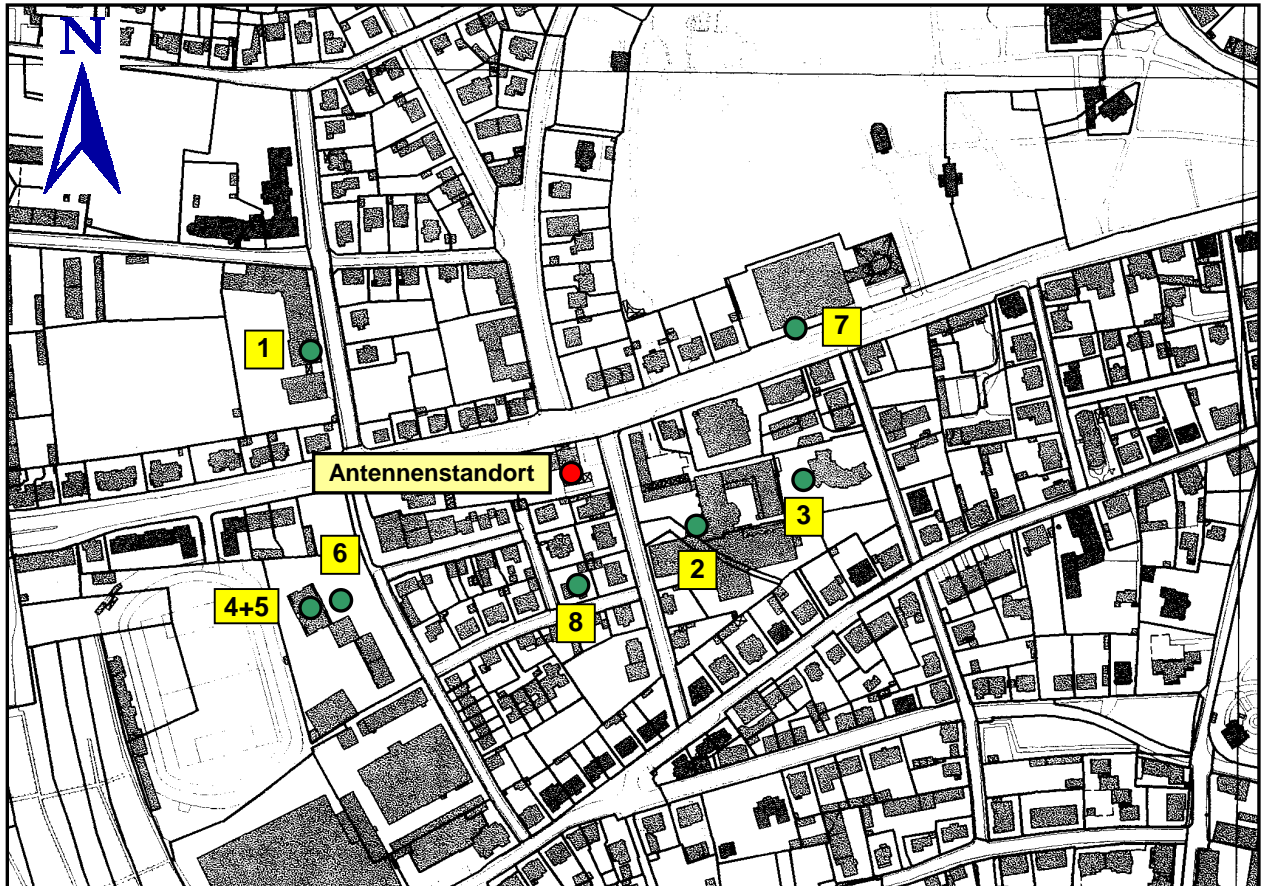


Bild 2: Darstellung der Entstehung internationaler Grenzwertempfehlungen

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:** Lageplan mit Senderstandort und Messpunkten

**Anlage 4:** Photos



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



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



**Bild 3:** Anlagenstandort, von Messpunkt 3 aus gesehen



**Bild 4:** Anlagenstandort, von Messpunkt 4 aus gesehen





**Bild 5:** Anlagenstandort, von Messpunkt 5 aus gesehen



**Bild 6:** Anlagenstandort, von Messpunkt 6 aus gesehen



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



**Bild 8:** Anlagenstandort, von Messpunkt 8 aus gesehen