

Elektromagnetische Immissionen durch Mobilfunksendeanlagen

Bericht über durchgeführte Feldstärkemessungen



Auftraggeber: Stadtverwaltung Ravensburg
Bauordnungsamt
Seestr. 32/2
88214 Ravensburg

Ort: Stadtteil Sickenried

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: 09/039

Ort und Datum: Regensburg, 06. Juli 2009

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	8
3.5	Messorte	9
4	Festgestellte Immissionswerte	9
4.1	Vergleich mit den gesetzlichen Grenzwerten nach 26. BImSchV	9
4.2	Vergleich mit den Schweizer "Anlagegrenzwerten"	12
5	Schlussfolgerungen	13
6	Literaturverzeichnis	14
7	Anlagen	15
	Anlage 1: Ausführliche Ergebnistabellen	15
	Anlage 2: Grenzwerte und ihre Entstehung	18
	Anlage 3: Lageplan mit Anlagenstandort und den Messpunkten	21
	Anlage 4: Fotos	22

1 Aufgabenstellung

Die EM-Institut GmbH wurde von der Stadtverwaltung Ravensburg beauftragt, an einigen Punkten in der Umgebung eines Mobilfunkstandortes ("Hüttenberg", Stadtteil Sickenried) die dort durch Mobilfunksignale verursachten hochfrequenten Immissionen messtechnisch zu erfassen. Die Ergebnisse der Messungen sind zu dokumentieren und mit den derzeit in Deutschland verbindlichen Grenzwerten zu vergleichen.

Am Standort "Hüttenberg" (Dach eines landwirtschaftlichen Anwesens) sind die Antennen einer Sendeanlage für den GSM-Mobilfunk installiert. Betreiber der Anlage ist die Firma Telefónica O₂.

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 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.

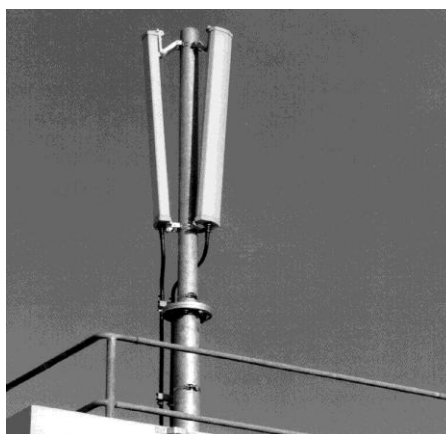


Abb. 2: Zwei Sektorantennen, montiert auf einem Flachdach (hier mit mechanischer Strahlabsenkung, engl. "Downtilt").

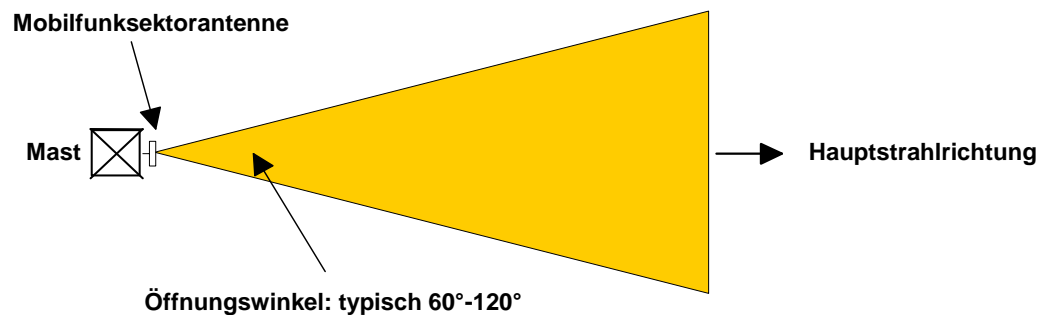


Abb. 3: Horizontales Abstrahlverhalten einer Mobilfunksektorantenne.

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 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 entfernt liegende Funkzellen, die mit der gleichen Trägerfrequenz arbeiten, wird verhindert (Vermeidung sog. "Gleichkanalstörungen").

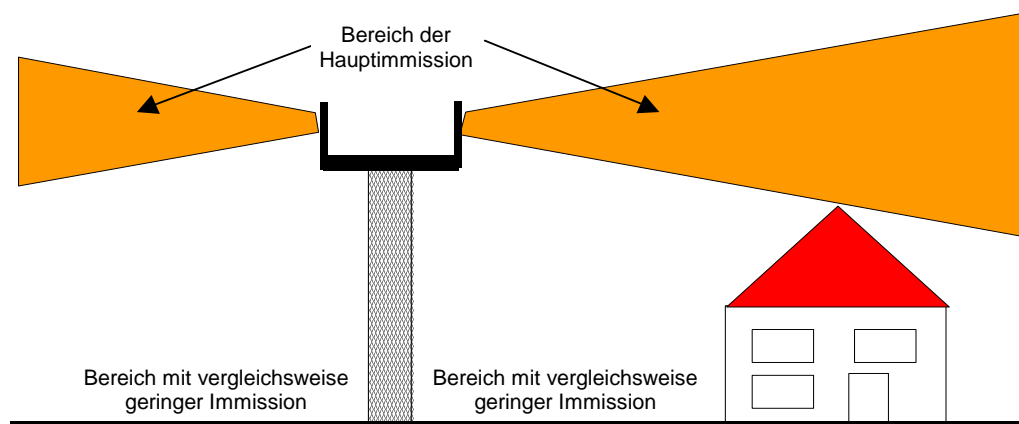


Abb. 4: Vertikales Bündelungsverhalten von Mobilfunkantennen (prinzipielle Darstellung mit übertriebenem großem vertikalem Öffnungswinkel).

Außerhalb dieses schmalen Feldkegels der Antenne (vergleichbar mit der Lichtaussendung im Kegel eines Scheinwerfers) ist die Energieabgabe deutlich geringer (typisch nur 1/10 bis 1/1000 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 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

http://www.lfu.bayern.de/strahlung/fachinformationen/emf_minimierung_schirmung/index.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. A-0042)
2. Isotropantenne 3AX 75M-3G (Ser. Nr. E-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 Auflösebandbreite 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 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 ± 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.

Durch diese Korrekturen ist gewährleistet, dass in diesem Bericht möglichst die, am jeweils betrachteten Punkt erzeugbare **Maximalimmission** dargestellt ist. Die Messergebnisse beim GSM-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 gegebenenfalls 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 insgesamt sieben Punkten in der Umgebung der betrachteten Mobilfunksendeanlage durchgeführt. Zwei Messpunkte befanden sich im Gebäudeinneren, der Rest im Freien. Folgende Messpunkte wurden in Absprache mit dem Auftraggeber gewählt:

Messpunkt Nr.	Bezeichnung	Entfernung zum Standort	Sichtverbindung zu den Antennen?
1	Hüttenberg 3 (Einfahrt)	Ca. 50 m	Ja
2	Waldspielplatz	Ca. 140 m	Ja
3	Hüttenberg 3 (Schlafzimmer; 1. OG)	Ca. 5 m	Nein
4	Hüttenberg 3 (Kinderzimmer; 1. OG)	Ca. 7 m	Nein
5	Indianerspielplatz	Ca. 650 m	Nein
6	Straße gegenüber Hüttenberger Str. 24	Ca. 165 m	Nein
7	Lukasweg 2; Kindergarten (Außenbereich)	Ca. 480 m	Nein

Tab. 1: Messpunkte.

Durchgeführt wurden die Messungen am 15. Juni 2009 zwischen 13:40 und 14:20 Uhr (Verantwortlicher vor Ort: Dr.-Ing. M. Wuschek). Vertreter des Auftraggebers waren bei den Messungen anwesend.

Der genaue Zeitpunkt der Messungen wurde dem Anlagenbetreiber im Vorfeld nicht mitgeteilt.

Ein Übersichtsplan mit Anlagenstandort und den Messpunkten sowie einige Fotos finden sich in den Anlagen 3 und 4 zu diesem Bericht.

4 Festgestellte Immissionswerte

4.1 Vergleich mit den gesetzlichen Grenzwerten nach 26. BImSchV

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 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 Anlagen 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 auch diese bei der Ermittlung der vorhandenen Immission berücksichtigt.

UMTS-Signale sind derzeit an den Messpunkten noch nicht in nennenswerter Intensität vorhanden.

Zur besseren Verständlichkeit werden in Tabelle 2 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.	Grenzwertausschöpfung Mobilfunk (<u>Minimalimmission</u>)	Grenzwertausschöpfung Mobilfunk (<u>Maximalimmission</u>)
1	3,37 %	4,76 %
2	7,94 %	11,22 %
3	2,21 %	3,12 %
4	1,62 %	2,29 %
5	0,01 %	0,02 %
6	1,35 %	1,90 %
7	0,19 %	0,35 %

Tab. 2: Festgestellte Immissionswerte (Grenzwertausschöpfung bezogen auf die Feldstärkegrenzwerte 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 der Messungen (Tabelle 2) grafisch dar:

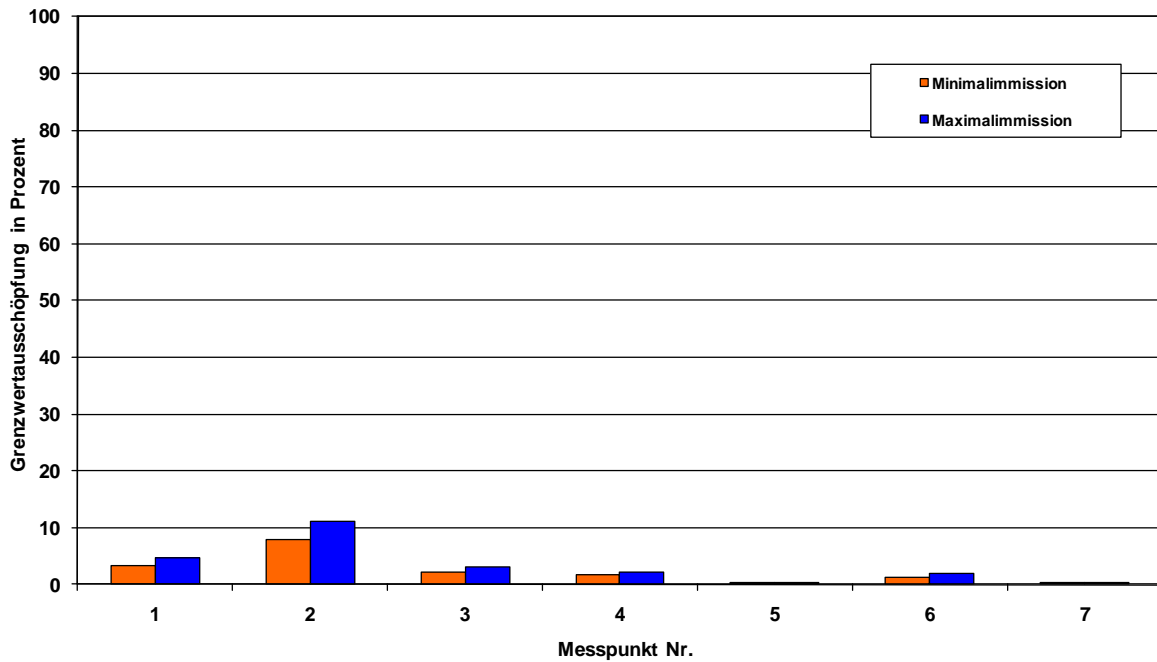


Abb. 5: Grafische Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 2 (Grenzwertausschöpfung bezogen auf die Feldstärkegrenzwerte nach 26. BImSchV).

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

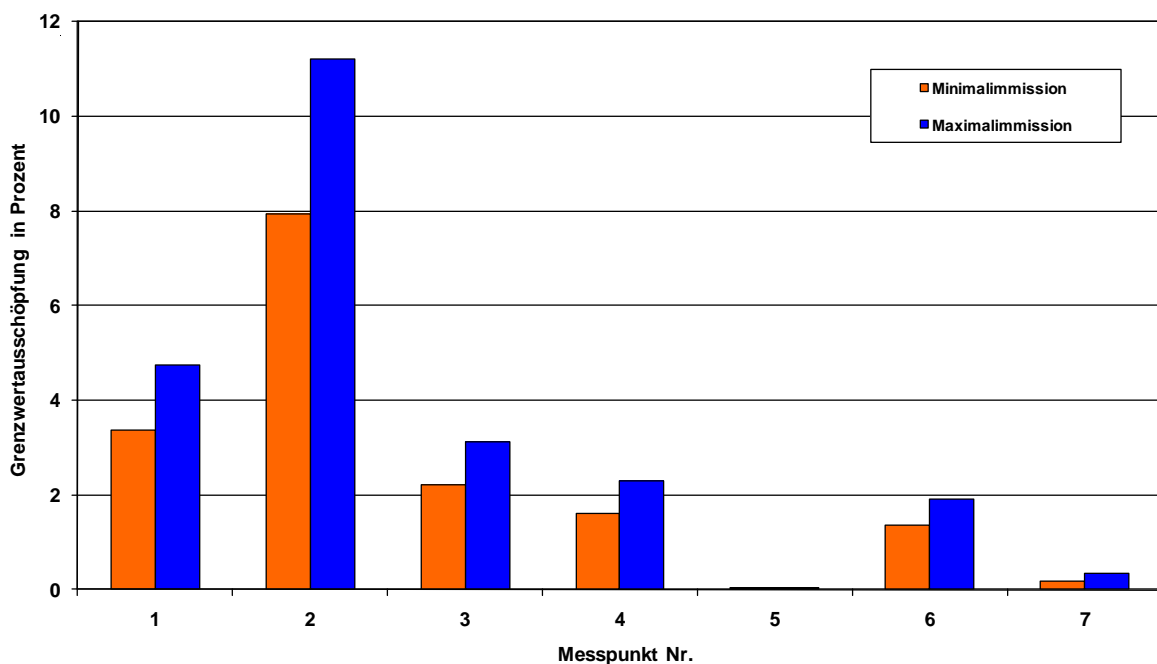


Abb. 6: Detaillierte Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 2.

4.2 Vergleich mit den Schweizer "Anlagegrenzwerten"

Auf besonderen Wunsch des Auftraggebers sollen die hier festgestellten Immissionswerte auch mit den in der Schweiz derzeit verbindlichen "Anlagegrenzwerten" [10] verglichen werden. Diese Grenzwerte sind derzeit die strengsten rechtsverbindlichen Vorgaben zum Schutz vor nicht ionisierenden Strahlen der Welt.

In der Schweiz gelten für "Orte mit empfindlicher Nutzung" ("OMEN"), also für Räume in Gebäuden, in denen sich Personen regelmäßig während längerer Zeit aufhalten (das sind z.B. Wohnräume, Schulräume, Kindergärten, Krankenhäuser, Alters- und Pflegeheime, ständige Arbeitsplätze), sowie für Pausenhöfe von Schulen und raumplanungsrechtlich festgesetzte Kinderspielplätze, strengere Grenzwerte als in Deutschland. An allen anderen Orten (z.B. im Garten oder auf Straßen und Plätzen) sind die **gleichen Grenzwerte wie in Deutschland** anzuwenden. Auch Dachterrassen, Balkone, Treppenhäuser, Lagerräume, Garagen und Autoeinstellplätze, Sport- und Freizeitanlagen, Badeanstalten, Aussichtsterrassen, Kirchen, Konzert- und Theatersäle sowie Tierställe sind **nicht** als "Orte mit empfindlicher Nutzung" anzusehen [11].

Die an den "Orten mit empfindlicher Nutzung" wirksame Immission wird - im Gegensatz zu den in Deutschland gültigen Vorgaben - **standortbezogen** ermittelt. Die zur Beurteilung heranzuziehende Immission ergibt sich dabei als Summe der Felder, die jeweils von einer einzelnen "Anlage" erzeugt werden. Die Verordnung definiert, dass eine "Anlage" alle Sendeantennen umfasst, die auf einem Mast angebracht sind oder die in einem engen räumlichen Zusammenhang - z.B. auf dem Dach des gleichen Gebäudes - stehen (Nur in Ausnahmefällen werden die Felder von Antennen, die auf verschiedenen Masten oder Dächern stehen, als eine einzige "Anlage" betrachtet [11]). Alle Einzelfelder, welche die Mobilfunkantennen einer "Anlage" am Messpunkt erzeugen, werden aufsummiert und anschließend mit dem nach der Verordnung für den Standort relevanten Grenzwert ("Anlagegrenzwert") verglichen.

Die verschärften Schweizer Vorgaben sind eingehalten, so lange an den "Orten mit empfindlicher Nutzung" folgende Summenfeldstärkewerte, verursacht durch die betrachtete "Anlage" nicht überschritten werden [10]:

Anlage für	Anlagegrenzwert
GSM 900	4 Volt/m
GSM 1800 oder UMTS	6 Volt/m
(GSM 1800 oder UMTS) und GSM 900	5 Volt/m

Tab. 3: Schweizer "Anlagegrenzwerte" für Mobilfunksender.

Ja nach Bestückung des benachbarten Anlagenstandortes, ergibt sich also für die Messpunkte in der Umgebung ein individueller "Anlagegrenzwert", mit dem die gemessene Immission zu vergleichen ist.

Da der hier betrachtete Standort mit Anlagen für den GSM-900- und den GSM-1800-Mobilfunk bestückt ist, muss gemäß Tabelle 3 ein Anlagengrenzwert von 5 Volt/m für die Beurteilung herangezogen werden.

Bei den hier durchgeführten Messungen wurde maximal eine Feldstärke von 4,93 Volt/m festgestellt (Punkt 2; siehe Spalte 13 in der Auswertetabelle in Anlage 1). Es kann also festgehalten werden, dass die Schweizer "Anlagengrenzwerte für Orte mit empfindlicher Nutzung" an allen Messpunkten **unterschritten werden**.

5 Schlussfolgerungen

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

- Wie aus Tabelle 2 sowie den Abbildungen 5 und 6 ersichtlich ist, wird der Grenzwert nach 26. BImSchV an allen Messpunkten deutlich unterschritten. Bei den Messungen ergaben sich Immissionen (bezogen auf die Feldstärke), die bei Vollaustattung der verursachenden Anlagen **etwa zwischen 0,02 und 11,2 Prozent des gesetzlich zulässigen Wertes** betragen.
- Die größten Immissionswerte traten erwartungsgemäß an Punkten mit direkter Sichtverbindung zu den Mobilfunkantennen auf (Punkte 1 und 2). An den Messpunkten ohne direkte Sicht zur Mobilfunkanlage sind die Immissionen geringer ausgeprägt. Dies gilt insbesondere auch für die beiden untersuchten Räume im Anwesen "Hüttenberg 3", die nur wenige Meter von den Mobilfunkantennen entfernt sind, sowie den Indianerspielplatz.
- Auf besonderen Wunsch des Auftraggebers wurden die gefundenen Immissionswerte auch mit den in der Schweiz verbindlichen verschärften "Anlagengrenzwerten" verglichen. An allen Messpunkten werden die Schweizer Vorgaben derzeit **eingehalten**.

Regensburg, 06. Juli 2009



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] **Schweizerischer Bundesrat**
"Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV)"
23.12.1999; Veröffentlicht durch das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).
- [11] **Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)**
"Mobilfunk- und WLL-Basisstationen: Vollzugsempfehlung zur NISV"
Bern, Juni 2002.

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:

Messort:	Ravensburg-Sickenried	Uhrzeit:	13:40 - 14:20 Uhr
Leitung:	Dr. Wuschek	Wetter:	Bedeckt, kein Niederschlag
Signal:	GSM	Analyzer:	SRM-3000
Datum:	15.06.2009	Antenne:	3AX75M-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)	Betreiber	GW [W/m]	E (gem.) [dBµV/m]	Aufschl. MU [dB]	Faktor min. Imm.	Emin [dBµV/m]	Emin [V/m]	Emin [% vom GW]	Smin [µW/m²]	Faktor max. Imm. (BNetzA)	E _{max} beantr. [dBµV/m]	E _{max} beantr. [V/m]	E _{max} beantr. [% vom GW]	S _{max} beantr. [µW/m²]
Messpunkt: 1														
931,0	Telefónica O ₂	41,7	113,1	3,0	0,0	116,1	0,638	1,531	1080,58	3,0	119,1	0,902	2,162	2156,05
933,0	Telefónica O ₂	41,7	118,1	3,0	0,0	121,1	1,135	2,722	3417,11	3,0	124,1	1,603	3,845	6818,03
934,4	Telefónica O ₂	41,7	100,8	3,0	0,0	103,8	0,155	0,371	63,63	3,0	106,8	0,219	0,525	126,96
1833,2	Telefónica O ₂	58,4	114,0	3,0	0,0	117,0	0,708	1,212	1329,41	3,0	120,0	1,000	1,712	2652,52
						minimal:	1,49	3,37	5890,7	maximal:		2,11	4,76	11753,6
Messpunkt: 2														
931,0	Telefónica O ₂	41,7	108,8	3,0	0,0	111,8	0,389	0,933	401,48	3,0	114,8	0,550	1,318	801,05
933,0	Telefónica O ₂	41,7	126,8	3,0	0,0	129,8	3,090	7,411	25331,37	3,0	132,8	4,365	10,468	50542,72
934,4	Telefónica O ₂	41,7	97,7	3,0	0,0	100,7	0,108	0,260	31,16	3,0	103,7	0,153	0,367	62,18
1833,2	Telefónica O ₂	58,4	120,9	3,0	0,0	123,9	1,567	2,683	6511,16	3,0	126,9	2,213	3,790	12991,48
						minimal:	3,49	7,94	32275,2	maximal:		4,93	11,22	64397,4
Messpunkt: 3														
931,0	Telefónica O ₂	41,7	113,2	3,0	0,0	116,2	0,646	1,548	1105,75	3,0	119,2	0,912	2,187	2206,27
933,0	Telefónica O ₂	41,7	109,9	3,0	0,0	112,9	0,442	1,059	517,20	3,0	115,9	0,624	1,496	1031,95
934,4	Telefónica O ₂	41,7	109,8	3,0	0,0	112,8	0,437	1,047	505,43	3,0	115,8	0,617	1,479	1008,46
1833,2	Telefónica O ₂	58,4	106,3	3,0	0,0	109,3	0,292	0,500	225,77	3,0	112,3	0,412	0,706	450,46
						minimal:	0,94	2,21	2354,1	maximal:		1,33	3,12	4697,1
Messpunkt: 4														
931,0	Telefónica O ₂	41,7	111,2	3,0	0,0	114,2	0,513	1,230	697,68	3,0	117,2	0,724	1,737	1392,06
933,0	Telefónica O ₂	41,7	105,6	3,0	0,0	108,6	0,269	0,645	192,16	3,0	111,6	0,380	0,912	383,41
934,4	Telefónica O ₂	41,7	101,6	3,0	0,0	104,6	0,170	0,407	76,50	3,0	107,6	0,240	0,575	152,64
1833,2	Telefónica O ₂	58,4	109,6	3,0	0,0	112,6	0,427	0,730	482,68	3,0	115,6	0,603	1,032	963,07
						minimal:	0,74	1,62	1449,0	maximal:		1,04	2,29	2891,2
Messpunkt: 5														
954,2	T-Mobile	41,7	67,6	3,0	0,0	70,6	0,003	0,008	0,03	6,0	76,6	0,007	0,016	0,12
						minimal:	0,00	0,01	0,03	maximal:		0,01	0,02	0,1
Messpunkt: 6														
931,0	Telefónica O ₂	41,7	111,1	3,0	0,0	114,1	0,507	1,216	681,80	3,0	117,1	0,716	1,717	1360,38
933,0	Telefónica O ₂	41,7	95,2	3,0	0,0	98,2	0,081	0,195	17,53	3,0	101,2	0,115	0,275	34,97
934,4	Telefónica O ₂	41,7	104,0	3,0	0,0	107,0	0,224	0,537	132,94	3,0	110,0	0,316	0,758	265,25
1833,2	Telefónica O ₂	58,4	93,8	3,0	0,0	96,8	0,069	0,118	12,70	3,0	99,8	0,098	0,167	25,33
						minimal:	0,56	1,35	845,0	maximal:		0,80	1,90	1685,9
Messpunkt: 7														
931,0	Telefónica O ₂	41,7	76,4	3,0	0,0	79,4	0,009	0,022	0,23	3,0	82,4	0,013	0,032	0,46
933,0	Telefónica O ₂	41,7	66,6	3,0	0,0	69,6	0,003	0,007	0,02	3,0	72,6	0,004	0,010	0,05
934,4	Telefónica O ₂	41,7	83,8	3,0	0,0	86,8	0,022	0,052	1,27	3,0	89,8	0,031	0,074	2,53
930,4	Telefónica O ₂	41,7	88,1	3,0	0,0	91,1	0,036	0,086	3,42	3,0	94,1	0,051	0,122	6,82
955,2	T-Mobile	41,7	90,0	3,0	0,0	93,0	0,045	0,107	5,29	6,0	99,0	0,089	0,214	21,07
957,8	Vodafone	41,7	90,8	3,0	0,0	93,8	0,049	0,117	6,36	6,0	99,8	0,098	0,234	25,33
						minimal:	0,08	0,19	16,6	maximal:		0,15	0,35	56,3

Legende zu obiger Tabelle:

Spalte 1	Messpunktnummer; Frequenz des Signalisierungskanals BCCH bei GSM bzw. Mittenfrequenz und Scramblingcode bei UMTS
Spalte 2	Betreiberzuordnung
Spalte 3	Gesetzlicher Grenzwert nach 26. BImSchV in V/m
Spalte 4	Gemessene Feldstärke des BCCH (GSM) bzw. des CPICH (UMTS) in dB μ V/m Anmerkung: Wurde bei den Messungen festgestellt, dass ein Verkehrskanal (TCH) am Messpunkt eine höhere Immission erzeugt als der dazugehörige BCCH, ist hier die Immission des TCH dokumentiert und bildet die Basis für die weitere Auswertung.
Spalte 5	Messunsicherheit in dB
Spalte 6	Faktor (in dB) für die minimale Immission; in der Regel bei GSM 0 dB (da die minimale Immission durch den BCCH bestimmt wird) und bei UMTS 3 dB (da die minimale Immission durch die doppelte CPICH-Leistung bestimmt wird)
Spalte 7	Minimale Immission in dB μ V/m: $\langle \text{Spalte 7} \rangle = \langle \text{Spalte 4} \rangle + \langle \text{Spalte 5} \rangle + \langle \text{Spalte 6} \rangle$
Spalte 8	Minimale Immission in V/m
Spalte 9	Minimale Immission in Prozent des Grenzwertes: $\langle \text{Spalte 9} \rangle = 100 \% \cdot \langle \text{Spalte 8} \rangle / \langle \text{Spalte 3} \rangle$
Spalte 10	Minimale Immission als Leistungsflussdichte in μ W/m ²
Spalte 11	Faktor (in dB) für die maximale Immission: Für GSM fließt in diesen Faktor die bei der BNetzA beantragte und genehmigte Kanalzahl, bei UMTS erfolgt zusätzlich die Hochrechnung der CPICH-Leistung auf die maximale Kanalsendeleistung (in der Regel ein Faktor 10 bezüglich der Leistung) Zusätzlich werden in diesem Faktor noch Unterschiede zwischen der aktuell pro Kanal abgestrahlten und der bei der BNetzA beantragten Maximalleistung pro Kanal berücksichtigt.
Spalte 12	Maximale Immission in dB μ V/m: $\langle \text{Spalte 12} \rangle = \langle \text{Spalte 4} \rangle + \langle \text{Spalte 5} \rangle + \langle \text{Spalte 11} \rangle$
Spalte 13	Maximale Immission in V/m
Spalte 14	Maximale Immission in Prozent des Grenzwertes: $\langle \text{Spalte 14} \rangle = 100 \% \cdot \langle \text{Spalte 13} \rangle / \langle \text{Spalte 3} \rangle$
Spalte 15	Maximale Immission als Leistungsflussdichte in μ W/m ²

In den gelb markierten Feldern sind die Summenwerte (minimale bzw. maximale Immission) angegeben.

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

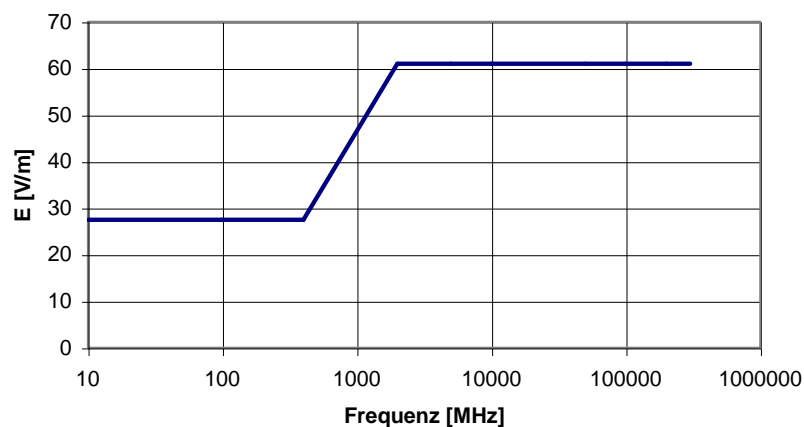


Bild 1: Grafische Darstellung der Grenzwerte (elektrische Feldstärke) nach 26. BImSchV für Hochfrequenzanlagen

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 veröffent-

licht. 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 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 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 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 ge-

wählt, 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.

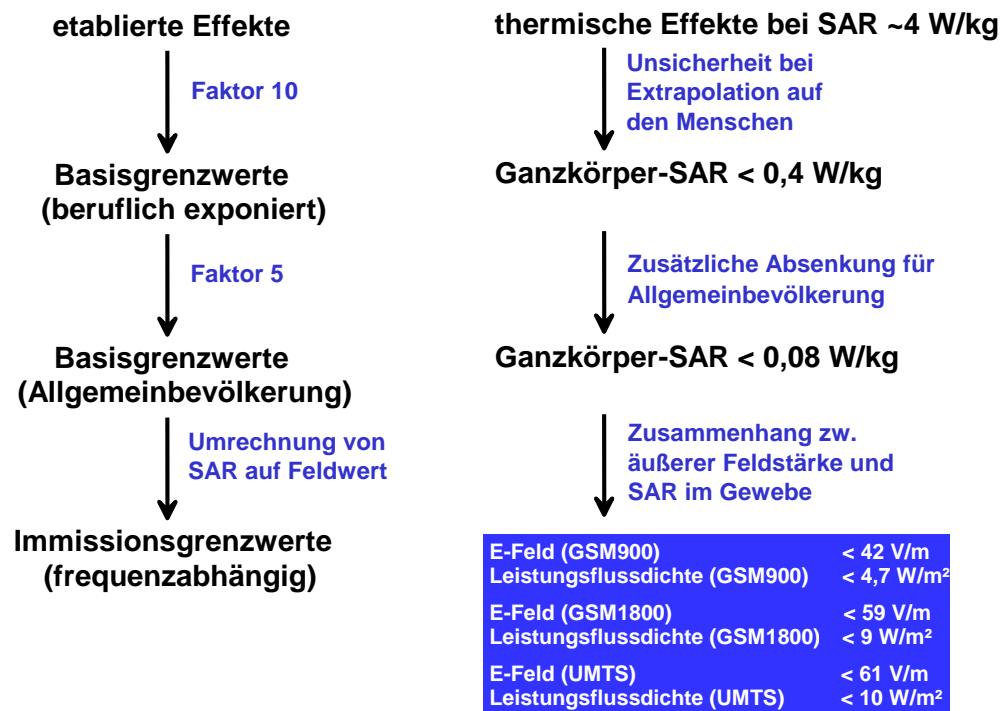
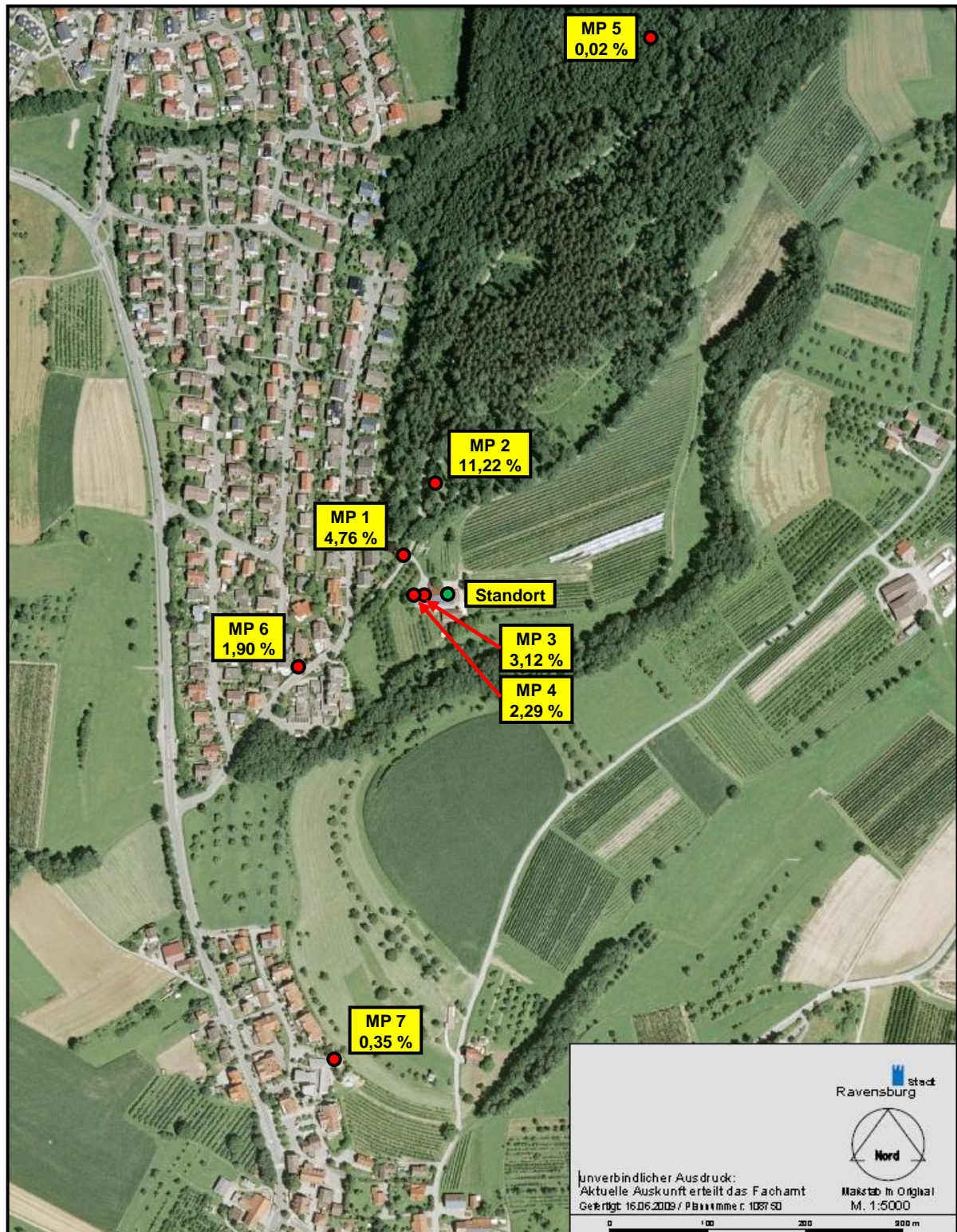


Bild 2: Darstellung der Entstehung internationaler Grenzwertempfehlungen

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



Anlage 4: Fotos



Bild 1: Messpunkt 1



Bild 2: Anlagenstandort von Messpunkt 1 aus gesehen



Bild 3: Messpunkt 2



Bild 4: Messpunkt 5



Bild 5: Messpunkt 6



Bild 6: Messpunkt 7