

Ergebnisbericht über die Messung elektromagnetischer Felder in der Umgebung einer Mobilfunksendeanlage

Auftraggeber: Vodafone D2 GmbH
Niederlassung Süd
Kastenbauerstr. 2
81677 München

Ort: Drausnickstr. 94
91052 Erlangen

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: 03/109

Ort und Datum: Regensburg, 26. Januar 2004

Inhaltsverzeichnis

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

1. Aufgabenstellung

Das EM-Institut, Regensburg wurde von der Firma Vodafone D2 GmbH beauftragt, in der Umgebung des Antennenstandortes Drausnickstr. 94, 91052 Erlangen, die dort 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.

Am betreffenden Standort ist die Erweiterung einer bestehenden GSM-Sendeanlage mit Systemen für den neuen UMTS-Mobilfunk geplant. Zusätzlich sollen durch Verwendung anderer Antennentypen sowie durch eine Veränderung der horizontalen und vertikalen Ausrichtung der Antennen die Immissionen im Bereich benachbarter Kindertagesstätten bzw. einer Schule möglichst minimiert werden. Die Messungen haben hauptsächlich den Zweck, die Wirksamkeit der getroffenen Minimierungsmaßnahmen zu dokumentieren.

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 Immissionsituation 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 sollen mittels der Messergebnisse die Beantwortung der folgenden Fragen möglich werden:

- **Wie groß, im Vergleich zum gesetzlichen Grenzwert, sind die Immissionen, die vor Umbau und UMTS-Erweiterung durch die vorhandene GSM-Mobilfunksendeanlage bei Vollaustattung an den Messpunkten erzeugt werden?**
- **Welche Immissionen ergeben sich an den Messpunkten nach Umbau und Erweiterung auf UMTS?**

Die Ergebnisse der Messungen und 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° 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

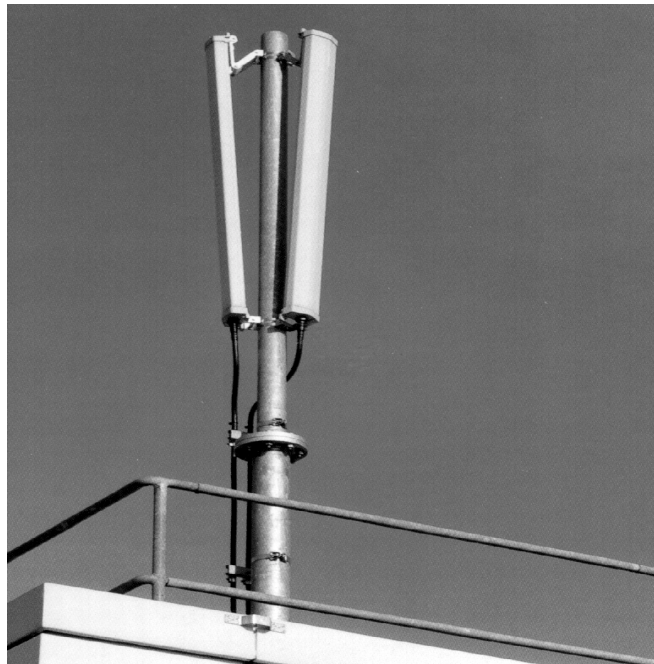


Abb. 2: Zwei Sektorantennen, montiert auf einem Flachdach (hier mit mechanischer Strahlabsenkung, engl. "Downtilt")

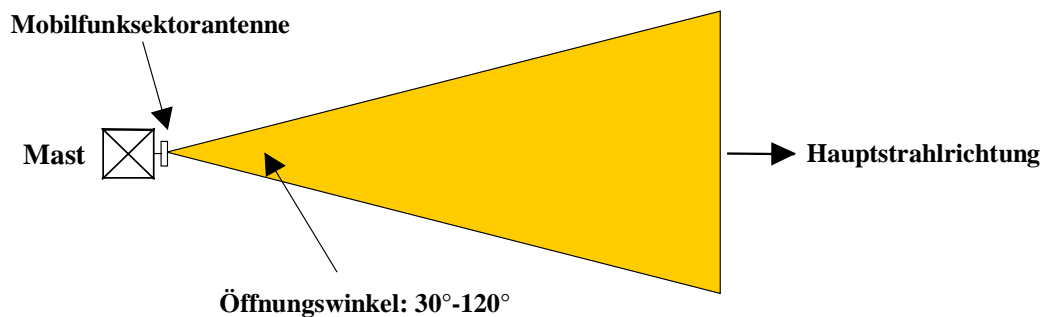


Abb. 3: Horizontales Abstrahlverhalten einer Mobilfunksektorantenne

An den meisten Standorten, 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").

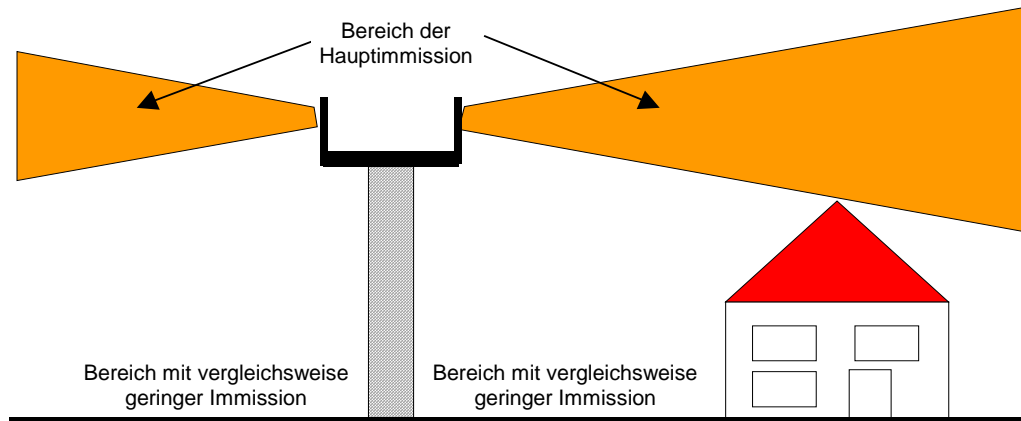


Abb. 4: Vertikales Bündelungsverhalten von Mobilfunkantennen (prinzipielle Darstellung mit übertrieben großem vertikalen Öffnungswinkel).

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.

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 Advantest R3131 (Ser. Nr. 81780497)
2. Spektrumanalysator Rohde & Schwarz ESPI03 (Ser. Nr. 100093)
3. Messantenne Schwarzbeck SBA 9113 (Ser. Nr. 101)
4. Messantenne Schwarzbeck USLP 9142 (Ser. Nr. 112)
5. 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].

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 immer mit einer gerätebedingten Messunsicherheit von typisch ± 3 dB gerechnet werden [9]. Gründe dafür sind u.a. unvermeidbare Restfehler bei der Kalibrierung von Messantennen, die entsprechende Messtoleranz des Spektrumanalysators und die Unsicherheiten der Kabelkalibrierung. 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 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.

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 Gesprächsaufkommen abhängig.

Bei der Hochrechnung der gemessenen UMTS-Signale (von einer weiter entfernten Station) wurde in vergleichbarer Weise vorgegangen: Da derzeit noch keine Kunden diese Anlage nutzen, repräsentieren die an den Messpunkten gemessenen Felder die Immissionen, verursacht durch die, beim UMTS-Mobilfunk ebenfalls permanent abgestrahlten Signalisierungssignale. Aus den typischen technischen Daten von UMTS-Anlagen (Leistung der Signalisierungssignale im Verhältnis zur Maximalleistung der Station), sowie aus der von der RegTP genehmigten Kanalzahl für die Anlage, wurde ein Korrekturfaktor errechnet, um den der Messwert jeweils vergrößert wurde, damit im diesem Bericht die maximal mögliche Immission, die durch die gemessene UMTS-Anlage bei regulärem Betrieb am Messpunkt erzeugt werden kann, angegeben ist.

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 an fünf Punkten in der Umgebung des Antennenstandortes durchgeführt. Folgende Messpunkte wurden in Absprache mit dem Auftraggeber und Vertretern der Stadt Erlangen gewählt:

Messpunkt Nr.	Bezeichnung	Horizontaldistanz zur Mobilfunkanlage	Sichtverbindung zu den Antennen
1	Kindergruppe Artilleriestr. 110 (Raum Nord)	Ca. 35 m	Ja
2	Kindergruppe Artilleriestr. 110 (Raum Süd)	Ca. 38 m	Nein
3	Parkplatz Wirtschaftsschule, Artilleriestr.	Ca. 80 m	Ja
4	Löhe- Kinderhaus (Vor Eingang)	Ca. 70 m	Ja
5	Löhe- Kinderhaus (Vor Spielbereich)	Ca. 80 m	Ja

Tab. 1: Messpunkte

Einige Photos von den Messpunkten finden sich in der Anlage 3 zu diesem Bericht.

Durchgeführt wurde die Vorher-Messung am 22. Februar 2003, sowie die Nachher-Messung am 01. Dezember 2003 (Verantwortlicher vor Ort: Dr.-Ing. M. Wuschek). Vertreter des Auftraggebers und der Stadt Erlangen waren bei den Messungen vor Ort anwesend.

4. Festgestellte Immissionswerte

In folgender Tabelle sind die an den Messpunkten ermittelten und gemäß der Beschreibung in Abschnitt 3.3 hochgerechneten Summenimmissionswerte für **Vollausbau** und **Vollauslastung** dargestellt und zwar jeweils die Immissionen vor und nach Umbau bzw. Erweiterung des Standortes.

Ausführliche Ergebnistabellen der durchgeführten Messungen finden sich in der Anlage 1 zu diesem Bericht. Dort sind die Immissionen zusätzlich auch als Feldstärkewerte und als Leistungsflussdichte angegeben.

Messpunkt Nr.	Summenfeldstärke in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV vor Erweiterung	Summenfeldstärke in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV nach Erweiterung	Verringerung auf
1	4,1 %	3,5 %	85 %
2	2,1 %	0,8 %	38 %
3	14,9 %	3,9 %	26 %
4	11,7 %	3,3 %	28 %
5	14,2 %	3,3 %	23 %

Tab. 2: Festgestellte Immissionswerte (vor bzw. nach Erweiterung der Anlage)

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

Die folgende Abbildung stellt die Ergebnisse aus Tabelle 2 graphisch dar:

Rote Säulen:	Immission, verursacht durch die GSM-Sender vor Erweiterung des Antennenstandortes
Grüne Säulen:	Immission, verursacht durch die GSM- und UMTS-Sender nach Erweiterung des Antennenstandortes

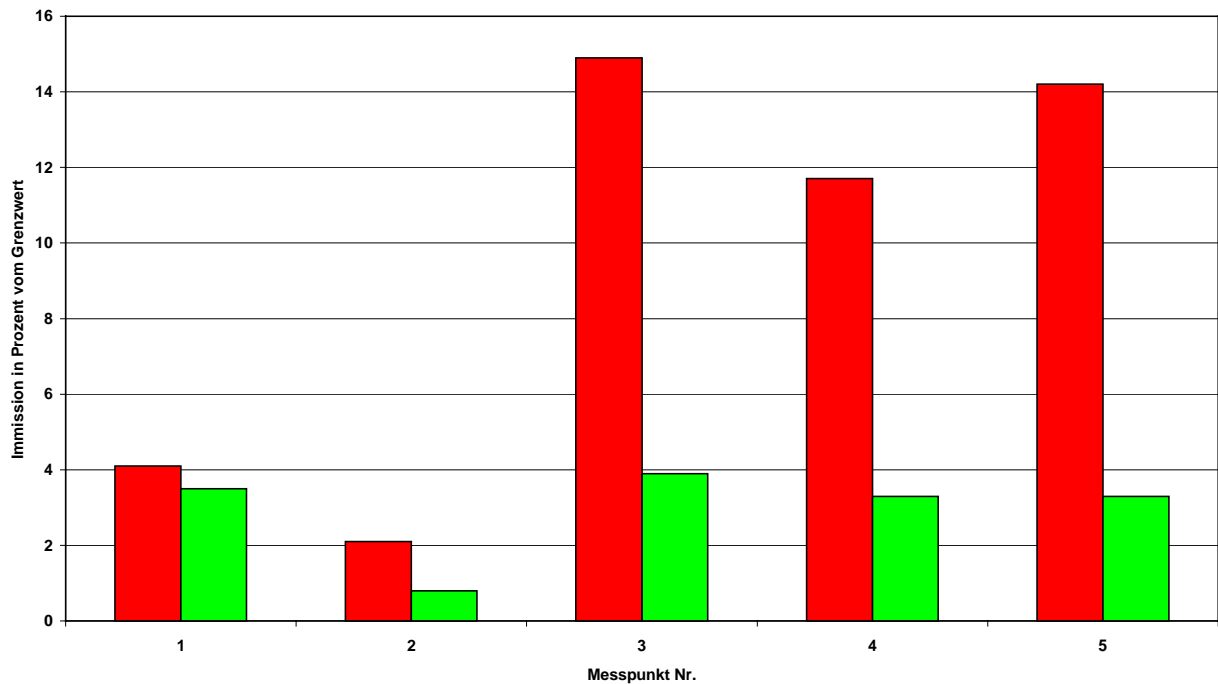


Abb. 5: Graphische Darstellung der gefundenen Immissionen (In Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV)

Die Vorgaben der 26. BImSchV sind eingehalten, so lange der Summenimmissionswert am Messpunkt den Wert von 100 % unterschreitet.

5. Zusammenfassung

Die in Kapitel 4 dargestellten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Wie aus Tabelle 2 und der Abbildung 5 ersichtlich ist, erreichen die Immissionen an den Messpunkten vor dem Umbau der Anlage etwa bis zu 15 Prozent vom Grenzwert.
- Nach Umbau des Standortes wurden, obwohl zusätzlich noch Sender für den UMTS-Mobilfunk in Betrieb gegangen sind, Immissionen von maximal nur noch etwa 4 Prozent des Grenzwertes gemessen.
- An allen betrachteten Punkten ist ein Rückgang der Immission zu beobachten. Die Immission reduziert sich durch die Antennenmodifikationen auf Werte, die zwischen 23 und 85 Prozent der Immission vor Umbau der Anlage betragen. Im Mittel reduziert sich die Immission an den 5 betrachteten Punkten auf etwa 40 Prozent vom Ausgangswert.

Regensburg, 26. Januar 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

7. Anlagen

Anlage 1: Ausführliche Ergebnistabellen

Im folgenden sind die Ergebnisse der Messungen der Hochfrequenzfelder als Einzelwerte und als Summe wiedergegeben.

Anmerkung:

Nach 26. BImSchV und der EU-Ratsempfehlung 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)

Um die gesetzlichen Vorgaben einzuhalten, darf diese Summe der Quadrate den Wert 1 (bzw. 100 %) nicht überschreiten. Der Kehrwert dieser Summe wird von der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP) 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 Gesamtimmission gezogen. Es ergibt sich also die wirksame feldstärkebezogene Immission I_{wirksam} zu:

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

Diese Formeln werden in den folgenden Auswertungen angewendet.

Die Leistungsflussdichtewerte können hingegen auf herkömmliche Weise linear aufsummiert werden.

Messergebnisse vor Erweiterung des Antennenstandortes:

Ort: Erlangen
 Drausnickstr.
 Messung vor Erweiterung

Durchf. Dr. Wuschek

Signal: GSM-Mobilfunk

Datum: 22.02.2003

Uhrzeit: 11:15-12:15 Uhr

Wetter: heiter

Antenne: SBA9113

Messpunkt Nr.	BCCH-Freq. in MHz	Betreiber	E (gem.) in dB μ V/m	Kanalzahl	Aufschlag in dB	E (korr.) in dB μ V/m	E in V/m	ges. GW in V/m	Prozent vom GW	S in μ W/m ²
1	958,0	Vodafone	101,5	4	3,0	110,5	0,336	42,0	0,80	299,03
	935,2	Vodafone	115,3	4	3,0	124,3	1,644	42,0	3,92	7.173,29
	936,6	Vodafone	104,0	4	3,0	113,0	0,448	42,0	1,07	531,76
Summen							1,74		4,1	8.004,1
2	958,0	Vodafone	96,2	4	3,0	105,2	0,182	42,0	0,43	88,25
	935,2	Vodafone	109,5	4	3,0	118,5	0,843	42,0	2,01	1.886,77
	936,6	Vodafone	97,1	4	3,0	106,1	0,202	42,0	0,48	108,57
Summen							0,89		2,1	2.083,6
3	958,0	Vodafone	101,5	4	3,0	110,5	0,336	42,0	0,80	299,03
	935,2	Vodafone	126,9	4	3,0	135,9	6,252	42,0	14,89	103.685,65
	936,6	Vodafone	99,4	4	3,0	108,4	0,264	42,0	0,63	184,38
Summen							6,27		14,9	104.169,1
4	958,0	Vodafone	124,7	4	3,0	133,7	4,853	42,0	11,56	62.476,78
	935,2	Vodafone	100,5	4	3,0	109,5	0,299	42,0	0,71	237,53
	936,6	Vodafone	107,2	4	3,0	116,2	0,647	42,0	1,54	1.111,01
Summen							4,91		11,7	63.825,3
5	958,0	Vodafone	126,4	4	3,0	135,4	5,902	42,0	14,05	92.409,93
	935,2	Vodafone	102,3	4	3,0	111,3	0,368	42,0	0,88	359,52
	936,6	Vodafone	106,8	4	3,0	115,8	0,618	42,0	1,47	1.013,25
Summen							5,95		14,2	93.782,7

Messergebnisse nach Erweiterung des Antennenstandortes:

Ort: Erlangen
 Drausnickstr.
 Messung nach Erweiterung

Durchf. Dr. Wuschek

Signal: GSM/UMTS-Mobilfunk

Datum: 01.12.2003

Uhrzeit: 15:20-16:00 Uhr

Wetter: bewölkt

Antenne: USLP9142

Messpunkt Nr.	BCCH-Freq. in MHz	Betreiber	E (gem.) in dB μ V/m	Kanalzahl	Aufschlag in dB	E (korr.) in dB μ V/m	E in V/m	ges. GW in V/m	Prozent vom GW	S in μ W/m ²
1	936,8	Vodafone	106,6	4	3,0	115,6	0,604	42,1	1,44	967,65
	958,6	Vodafone	112,6	4	3,0	121,6	1,205	42,6	2,83	3.852,29
	959,0	Vodafone	99,0	4	3,0	108,0	0,252	42,6	0,59	168,16
	2112,8	Vodafone	105,9	2	9,7	118,6	0,847	61,0	1,39	1.904,10
Summen							1,61		3,5	6.892,2
2	936,8	Vodafone	96,9	4	3,0	105,9	0,198	42,1	0,47	103,69
	958,6	Vodafone	99,5	4	3,0	108,5	0,267	42,6	0,63	188,68
	959,0	Vodafone	84,5	4	3,0	93,5	0,047	42,6	0,11	5,97
	2112,8	Vodafone	91,7	2	9,7	104,4	0,165	61,0	0,27	72,39
Summen							0,37		0,8	370,7
3	936,8	Vodafone	113,1	4	3,0	122,1	1,277	42,1	3,03	4.322,34
	958,6	Vodafone	110,2	4	3,0	119,2	0,914	42,6	2,15	2.216,76
	959,0	Vodafone	98,5	4	3,0	107,5	0,238	42,6	0,56	149,87
	2112,8	Vodafone	103,4	2	9,7	116,1	0,635	61,0	1,04	1.070,75
Summen							1,71		3,9	7.759,7
4	936,8	Vodafone	106,1	4	3,0	115,1	0,570	42,1	1,35	862,42
	958,6	Vodafone	102,9	4	3,0	111,9	0,394	42,6	0,93	412,78
	959,0	Vodafone	111,5	4	3,0	120,5	1,062	42,6	2,49	2.990,33
	2112,8	Vodafone	106,2	2	9,7	118,9	0,877	61,0	1,44	2.040,27
Summen							1,54		3,3	6.305,8
5	936,8	Vodafone	110,8	4	3,0	119,8	0,980	42,1	2,33	2.545,18
	958,6	Vodafone	101,6	4	3,0	110,6	0,340	42,6	0,80	306,00
	959,0	Vodafone	110,1	4	3,0	119,1	0,904	42,6	2,12	2.166,30
	2112,8	Vodafone	100,7	2	9,7	113,4	0,466	61,0	0,76	575,03
Summen							1,45		3,3	5.592,5

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): Mittelfrequenz des gemessenen Kanals in MHz.
Spalte 3: Betreiberzuordnung.
Spalte 4: Vor Ort gemessene Feldstärke in dB μ V/m.
Spalte 5: Summe der von der Reg TP genehmigten Kanäle dieses Sektors.
Spalte 6: Aufschlagfaktor für die Gesamtmessunsicherheit des Verfahrens (3 dB).
Bei UMTS-Messungen wird an dieser Stelle zusätzlich der Hochrechnungsfaktor auf maximale Anlagenauslastung eingebracht, daher ergibt sich in den UMTS-Zeilen ein Aufschlagfaktor größer 3 dB.
Spalte 7: Hochgerechnete Feldstärke für Maximalauslastung inkl. Messunsicherheitszuschlag
 $\langle \text{Spalte 7} \rangle = \langle \text{Spalte 4} \rangle + 10 \cdot \log(\langle \text{Spalte 5} \rangle) + \langle \text{Spalte 6} \rangle$.
Spalte 8: Umrechnung des Wertes aus Spalte 7 von dB μ 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/m².

Der in Spalte 10 errechnete "Immissionswert als Prozentzahl vom zulässigen Grenzwert" kann auch in einen "Ausschöpfungsgrad der Grenzwerte" umgerechnet werden. Diese andere Darstellungsart wird beispielsweise in der Regel von der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP) praktiziert. Es ist dabei zu beachten, dass der "Ausschöpfungsgrad der Grenzwerte" bei Frequenzen über 10 MHz nicht auf die Feldstärke sondern auf die Leitungsflussdichte bezogen ist und daher eine Quadrierung durchgeführt werden muss. Es gilt also folgender Zusammenhang zur Umrechnung in den "Ausschöpfungsgrad der Grenzwerte":

$$\text{Ausschöpfungsgrad der Grenzwerte} = [100 / \langle \text{Spalte 10} \rangle]^2$$

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

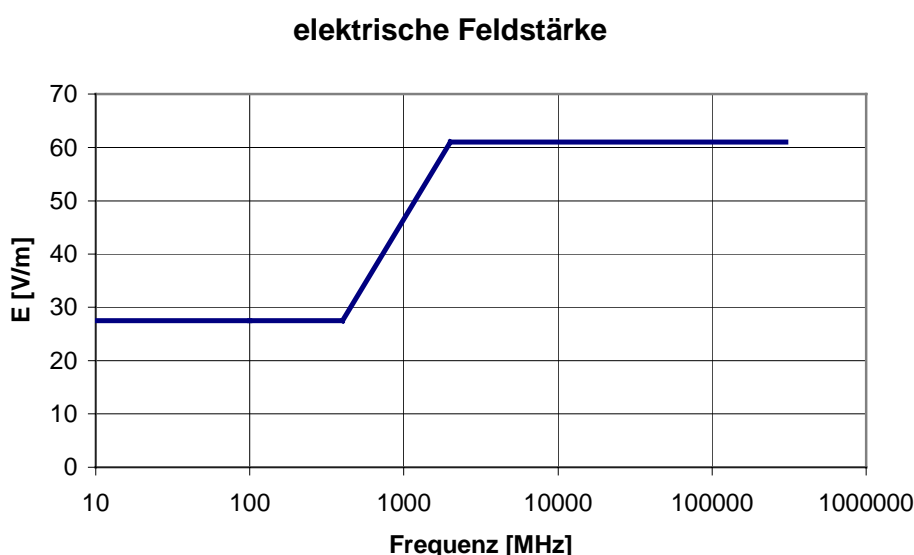


Bild 1: Graphische Darstellung der Grenzwerte nach 26. BImSchV für Hochfrequenzanlagen

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.

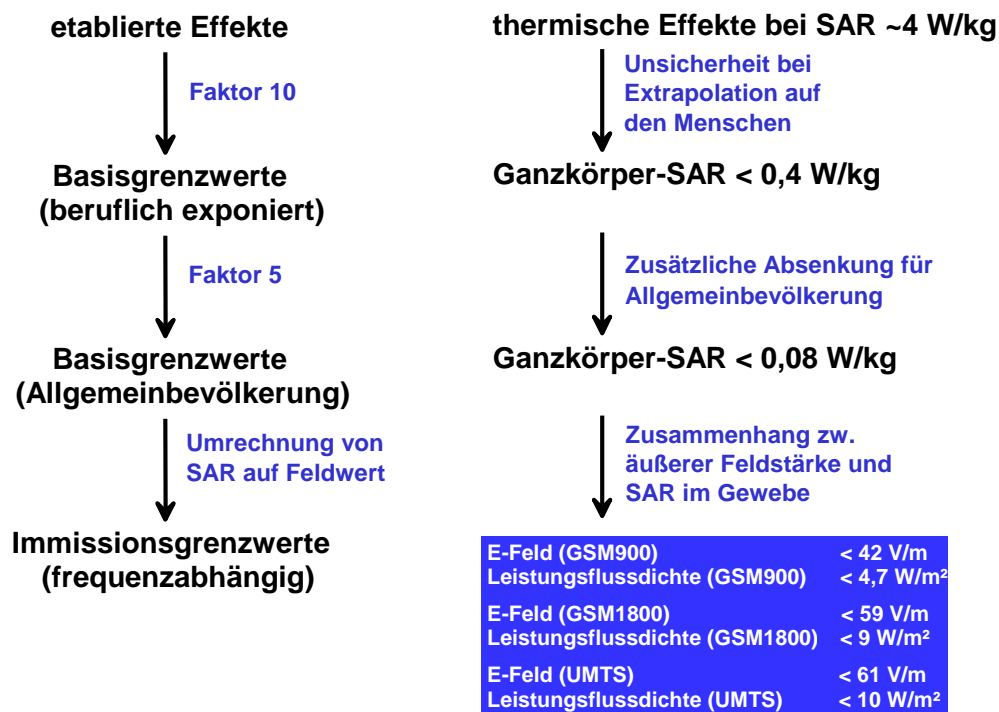


Bild 2: **Darstellung der Entstehung internationaler Grenzwertempfehlungen**

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: Photos**Bild 1:** Anlagenstandort, von Messpunkt 3 aus gesehen**Bild 2:** Anlagenstandort, von Messpunkt 4 aus gesehen



Bild 3: Anlagenstandort, von Messpunkt 5 aus gesehen