

Elektromagnetische Immissionen in der Umgebung von Mobilfunksendeanlagen

Bericht über durchgeführte Feldstärkemessungen



Auftraggeber: Stadt Fürth
Ordnungsamt
Schwabacher Str. 170
90763 Fürth

Ort: Pestalozzistr. 20
90765 Fürth

Durchführung: EM-Institut GmbH
Carlstr. 5
93049 Regensburg

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

Projektnummer: 05/003

Ort und Datum: Regensburg, 23. August 2005

Inhaltsverzeichnis

	Seite	
1	Aufgabenstellung	3
2	Immissionen durch Mobilfunksendeanlagen	5
3	Durchführung der Messungen	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	11
4	Festgestellte Immissionswerte	12
5	Schlussfolgerungen	14
6	Literaturverzeichnis	15
7	Anlagen	16
	Anlage 1: Ausführliche Ergebnistabellen	16
	Anlage 2: Grenzwerte und ihre Entstehung	20
	Anlage 3: Lageplan mit Anlagenstandorten und Messpunkten	23
	Anlage 4: Photos	24

1 Aufgabenstellung

Mit Schreiben vom 07.04.2005 wurde die EM-Institut GmbH, Regensburg von der Stadt Fürth beauftragt, an einigen Punkten in Bereich des Schulgebäudes Pestalozzistr. 20 in Fürth 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.

Für die Immissionen auf dem Schulgelände sind insbesondere die folgenden drei Mobilfunkstandorte von Relevanz:

Standort	Adresse	Betreiberfirma (Mobilfunksystem)
1	Laubenweg 1	O ₂ (GSM+UMTS)
2	Laubenweg 6	T-Mobile (GSM)
3	Espanstr. 8	O ₂ (GSM)

Quelle: Standortbescheinigungen der Bundesnetzagentur BNetzA (früher: Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post, RegTP), sowie Auskünfte der Netzbetreiber und der Stadt Fürth.

Tab. 1: In der Umgebung der Schule vorhandene Mobilfunksendeanlagen

Mittels einer Vorher-/Nachhermessung soll insbesondere die Immissionsveränderung dokumentiert werden, die sich aufgrund der Inbetriebnahme des Standortes "Laubenweg 1" ergibt, da dieser weniger als hundert Meter vom Schulgelände entfernt ist (siehe Übersichtsplan in Anlage 3).

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

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

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

- **Wie groß, im Vergleich zum gesetzlichen Grenzwert, sind die Immissionen, die durch Mobilfunksignale an den Messpunkten erzeugt werden?**
- **Ergibt sich durch die Inbetriebnahme der Anlage am Standort "Laubenweg 1" eine signifikante Zunahme der Immission im Bereich der Schule?**

Die Ergebnisse der Messungen 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.

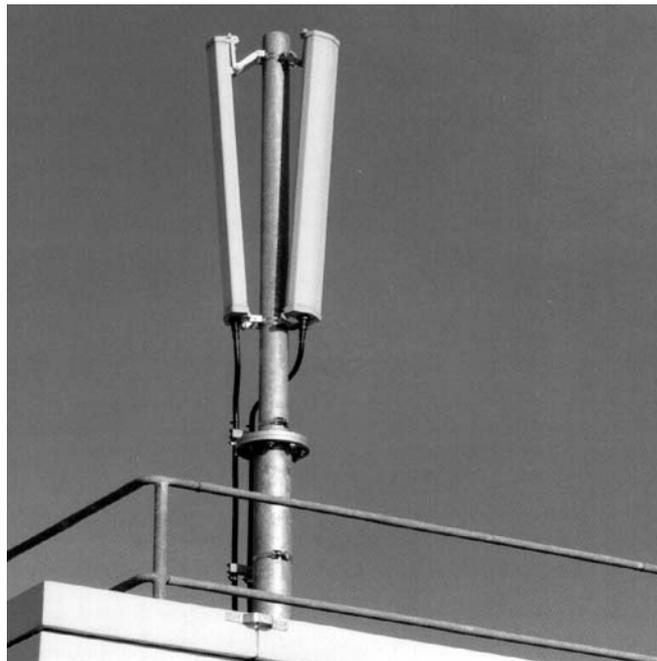


Abb. 2: Zwei Sektorantennen, montiert auf einem Flachdach (hier mit mechanischer Strahlabsenkung, engl. "Downtilt").

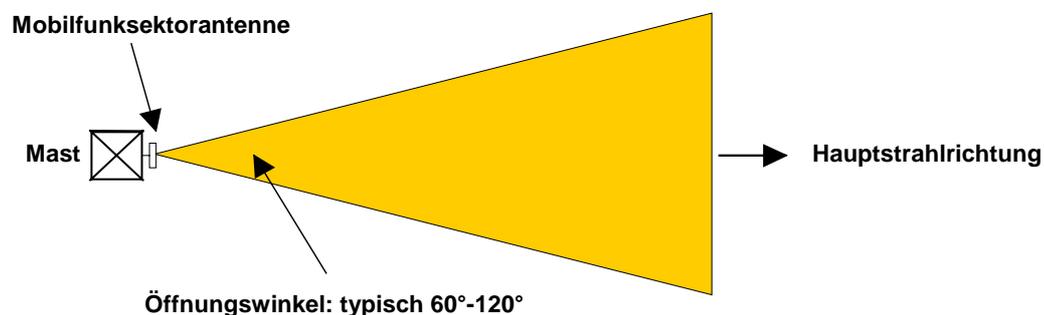


Abb. 3: Horizontales Abstrahlverhalten einer Mobilfunksektorantenne.

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 - 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").

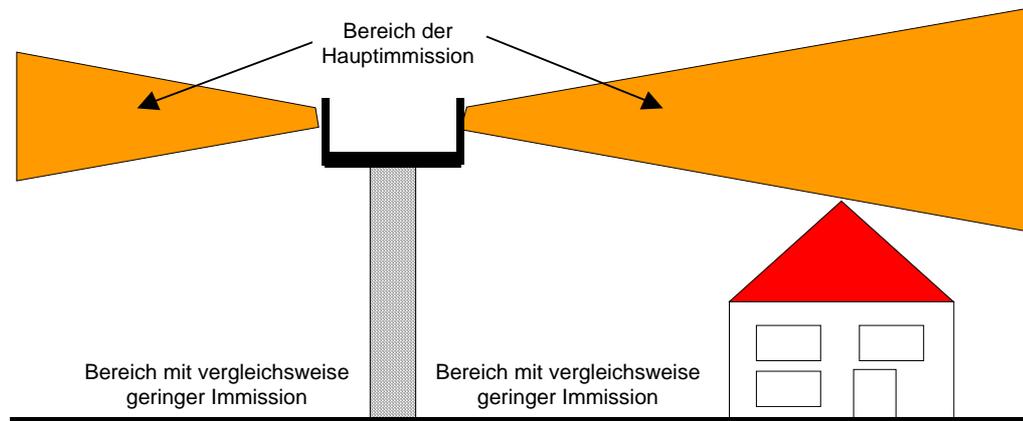


Abb. 4: Vertikales Bündelungsverhalten von Mobilfunkantennen (prinzipielle Darstellung mit übertriebenem großem vertikalem Öffnungswinkel).

Außerhalb dieses schmalen Feldkegels der Antenne (vergleichbar mit der Lichtausendung 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 wurde folgende Messausrüstung eingesetzt:

1. Feldanalysatorsystem Narda SRM-3000 (Ser. Nr. E-0042)
2. Spektrumanalysator Advantest R3131 (Ser. Nr. 81780497)
3. Radio Network Analyzer Rohde & Schwarz TSMU (Ser. Nr. 100110)
4. Messantenne Schwarzbeck USLP 9142 (Ser. Nr. 112)
5. 10 Meter kalibrierte Koaxialleitung RG 214 (K1, rot)
6. 1,5 Meter kalibrierte Koaxialleitung RF-cable SRM (Ser. Nr. E-0012)

Mittels des Spektrumanalysators bzw. 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 Analysator 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 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 Analysators und die Unsicherheit der Probennahme. Zur Kompensation wurden alle Messwerte um diesen Unsicherheitsfaktor erhöht, d.h. die in diesem Bericht angegebenen Feldstärkewerte sind, gegenüber der vor Ort abgelesenen Anzeige des Messgerätes, zur Sicherheit **um den Faktor 1,4 vergrößert** worden.

Die Intensität der Felder von Mobilfunksendeanlagen ist zusätzlich abhängig von der momentanen Gesprächsauslastung. Nach 26. BImSchV ist die bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung entstehende Immission zu bestimmen. Aus diesem Grund wurden zusätzlich die gefundenen Messergebnisse des GSM-Mobilfunks (Immission, verursacht durch den Signalisierungskanal je Sektor, häufig als "BCCH-Träger" oder "Broadcast-Channel" bezeichnet) unter Zuhilfenahme der von den Betreibern zur Verfügung gestellten technischen Anlagendaten (Von der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen

genehmigte Kanalzahl je Antenne) auf die Immissionswerte bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung hochgerechnet, damit eine echte "worst-case"-Betrachtung sichergestellt ist.

Auch bei UMTS-Stationen schwankt die von der Anlage abgegebene Sendeleistung und damit die Immission in der Umgebung mit der momentanen Auslastung der Station. Jedoch existiert hier ebenfalls ein Signalisierungssignal (der "Common Pilot Channel", kurz "CPICH"), das ähnlich wie der BCCH-Träger mit definierter, konstanter Leistung abgegeben wird. Falls UMTS-Signale nennenswert vorhanden sind, wird mit der im Feldanalysator implementierten "CPICH Demodulation" an jedem Messpunkt die vorhandene Feldstärke, welche die CPICH-Signale dort erzeugen, gemessen. Aus den von den Betreibern zur Verfügung gestellten technischen Daten der UMTS-Anlagen (Leistung des CPICH im Verhältnis zur Maximalleistung der Station), sowie aus der von der BNetzA genehmigten Kanalzahl errechnet sich ein Korrekturfaktor, um den der Messwert jeweils vergrößert wird, damit in diesem Bericht die maximal mögliche Immission, die durch die gemessenen UMTS-Anlagen bei regulärem Betrieb am Messpunkt erzeugt werden kann, angegeben ist [10].

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

3.4 Qualitätssicherung

Für alle verwendeten Messantennen liegen die entsprechenden Wandlungsfaktoren als Kalibrierdaten in Tabellenform vor. Die frequenzabhängigen Dämpfungswerte der bei den Messungen eingesetzten Kabel sind ebenfalls dokumentiert.

Die Messmittel (insbesondere die Analysatoren) 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 vier Messorten auf dem Schulgelände durchgeführt. Ein Messpunkt befand sich im Freien, der Rest im Gebäude. Folgende Messpunkte wurden in Absprache mit dem Auftraggeber gewählt:

Messpunkt Nr.	Bezeichnung	Horizontaldistanz zu sichtbaren Mobilfunkanlagen*	Sichtverbindung zu den Antennen
1	Raum 201 (2. OG)	Ca. 115 m (1) Ca. 145 m (2)	Eingeschränkt** Eingeschränkt**
2	Raum 222 (2. OG)	Ca. 75 m (1) Ca. 95 m (2) Ca. 400 m (3)	Ja Ja Eingeschränkt**
3	Pausenhof	Ca. 100 m (1) Ca. 380 m (3)	Ja Eingeschränkt**
4	Raum 301 (3. OG)	Ca. 115 m (1) Ca. 145 m (2)	Ja Ja

*: Siehe Nummerierung in Tabelle 1

** : Sichtverbindung durch Bäume eingeschränkt

Tab. 2: Messpunkte.

Durchgeführt wurden die "Vorhermessung" am 18. April 2005 zwischen 14:15 und 15:00 Uhr bzw. die "Nachhermessung" am 01. August 2005 zwischen 13:15 und 14:15 Uhr (Verantwortlicher vor Ort: Dr.-Ing. M. Wuschek). Ein Vertreter des Auftraggebers war bei den Messungen anwesend.

Die Anlagen am Standort 1 waren zum Zeitpunkt der "Vorhermessung" noch nicht in Betrieb, die "Nachhermessung" hingegen wurde erst nach Inbetriebnahme des Standortes 1 durchgeführt.

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

Messpunkt 4 wurde im Rahmen der "Nachhermessung" zusätzlich aufgenommen. Daher existiert von diesem Punkt kein "Vorhermesswert". Stattdessen wurde aus dem "Nachhermesswert" die Immission, die der neue Standort erzeugt, herausgerechnet und so als Ersatz eine Immission bestimmt, die ausschließlich von den bereits seit längerem vorhandenen Stationen erzeugt wird. Dieser wird in Tabelle 3 als "Vorhermesswert" verwendet.

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

4 Festgestellte Immissionswerte

In den folgenden beiden Tabellen sind die an den Messpunkten ermittelten und gemäß der Beschreibung in Abschnitt 3.3 hochgerechneten Summenimmissionswerte des Mobilfunks für **Vollausbau** und **Vollauslastung** dargestellt. Zur besseren Verständlichkeit werden jedoch nicht nur absolute Feldstärkewerte angegeben, sondern es ist aufgeführt, wie viel Prozent bezüglich der Grenzwerte nach 26. BImSchV an den einzelnen Messpunkten jeweils erreicht werden. Zusätzlich sind in der Tabelle die Messergebnisse auch als Leistungsflussdichte in Mikrowatt/m² bzw. in Prozent vom Grenzwert angegeben. Immissionen, verursacht durch weiter entfernte Mobilfunksendeanlagen konnten an einigen Punkten gemessen werden. Soweit diese nennenswert zur Gesamtimmission beitragen, wurden sie in die Auswertung mit einbezogen.

Messpunkt Nr.	Summenfeldstärke in Volt/m	Summenfeldstärke in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV	Leistungsflussdichte (Summe) in Mikrowatt/m ²	Leistungsflussdichte (Summe) in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV
1	3,37 V/m	7,92 %	30.049,2 µW/m ²	0,63 %
2	3,75 V/m	8,64 %	37.284,9 µW/m ²	0,75 %
3	1,19 V/m	2,24 %	3.754,7 µW/m ²	0,05 %
4	1,28 V/m	3,01 %	4.342,8 µW/m ²	0,09 %

Tab. 3: Festgestellte Immissionswerte ("Vorhermessung").

Messpunkt Nr.	Summenfeldstärke in Volt/m	Summenfeldstärke in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV	Leistungsflussdichte (Summe) in Mikrowatt/m ²	Leistungsflussdichte (Summe) in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV
1	1,33 V/m	3,06 %	4.718,2 µW/m ²	0,09 %
2	1,62 V/m	3,64 %	7.001,4 µW/m ²	0,13 %
3	0,41 V/m	0,76 %	446,6 µW/m ²	0,01 %
4	1,52 V/m	3,31 %	6.098,6 µW/m ²	0,11 %

Tab. 4: Festgestellte Immissionswerte ("Nachhermessung").

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 den Tabellen 3 und 4 graphisch dar:

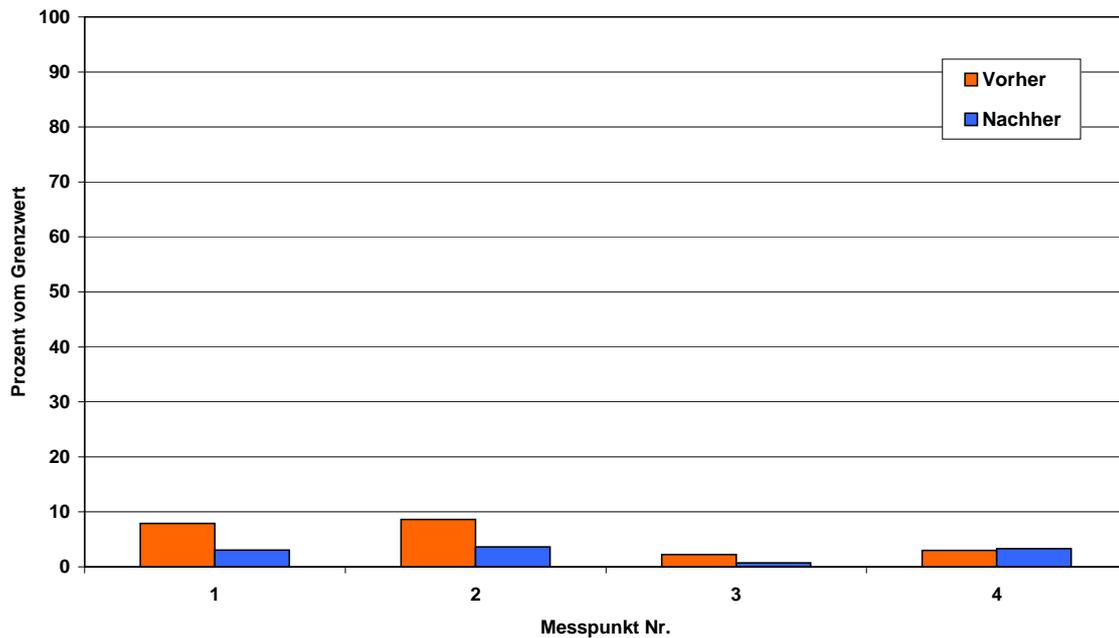


Abb. 5: Graphische Darstellung der Ergebnisse aus den Tabellen 3 und 4 (Summenfeldstärke Mobilfunk in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV).

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

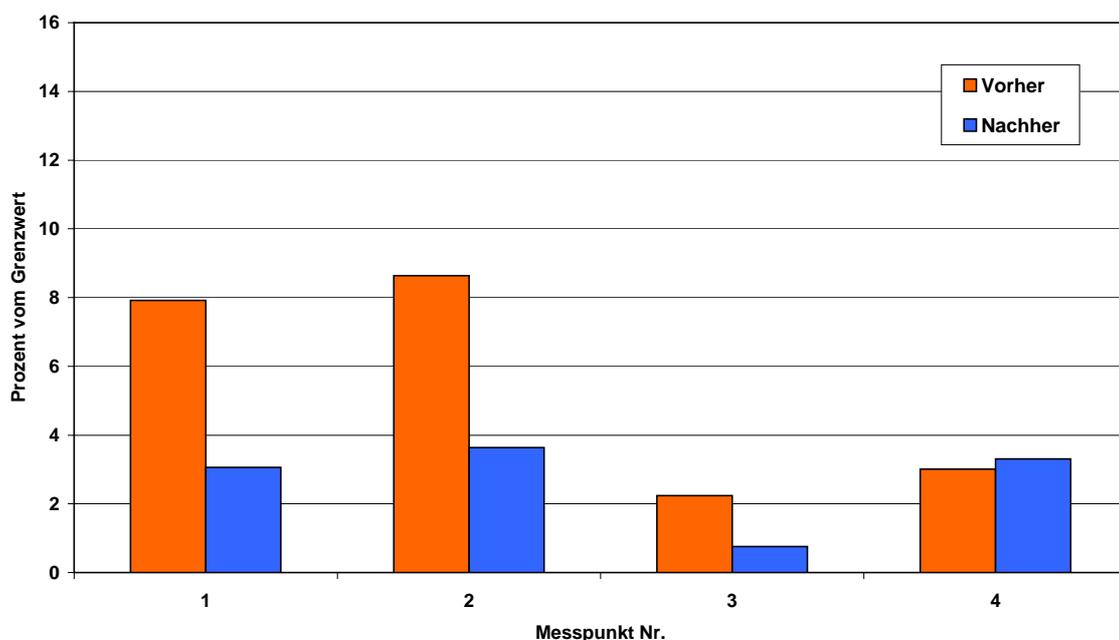


Abb. 6: Detaillierte Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 3.

5 Schlussfolgerungen

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

- Wie aus den Tabellen 3 und 4 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 0,8 und 8,7 Prozent des gesetzlich zulässigen Wertes** betragen.
- Nur am Messpunkt 3 dominieren die Immissionen, verursacht durch den neuen Standort (Laubenweg 1), an allen anderen Messpunkten wird die überwiegende Immission durch den bereits seit längerer Zeit vorhandenen Standort "Laubenweg 6" erzeugt.
- Die auf den ersten Blick etwas verwunderliche Tatsache, dass an drei der vier Messpunkte im Rahmen der "Nachhermessung" weniger Immission ermittelt wurde, als bei der "Vorhermessung", lässt sich wie folgt erklären: Bei der ersten Messung (18.4.2005) war die Belaubung an den Bäumen noch nicht sehr stark ausgebildet, so dass diese noch relativ geringen Einfluss auf die Ausbreitung der Funkwellen ausübt (siehe auch Photos in Anlage 4). Bei der "Nachhermessung" im August hingegen, war die Sichtverbindung zu den Anlagen durch das Laub deutlich behindert, so dass trotz Inbetriebnahme des neuen Standortes in der Summe niedrigere Immissionen gemessen wurden. Einzig an Punkt 4 kann die Zunahme durch die neue Anlage anschaulich dargestellt werden, da diese Messung nur am 01.08.2005 durchgeführt wurde: Die Immission vergrößert sich dort durch die neue Anlage von 3 Prozent auf 3,3 Prozent vom Grenzwert. Die relativ geringe Zunahme ist auch hier durch den deutlich dominierenden Einfluss des Standorts "Laubenweg 6" begründet.

Regensburg, 23. August 2005



Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek

6 Literaturverzeichnis

- [1] **Bundesrepublik Deutschland**
"26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes"
Bundesgesetzblatt Jg. 1996, Teil I, Nr.66, Bonn 20.12.1996.
- [2] **International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)**
"Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)"
Health Physics, Vol. 74, Nr. 4, April 1998, S. 494-522.
- [3] **Der Rat der Europäischen Union**
"Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz)"
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L199, 30.07.1999, S. 59 – 70.
- [4] **Strahlenschutzkommission (SSK)**
"Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern; Empfehlungen der Strahlenschutzkommission"
Bonn, 14.09.2001 (www.ssk.de).
- [5] **Firma Kathrein, Rosenheim**
"Base Station Antennas for Mobile Communications"
Firmenschrift, Rosenheim 01/2001.
- [6] **S. R. Saunders**
"Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems"
John Wiley & Sons, Chichester, New York 1999.
- [7] **DIN VDE 0848**
"Sicherheit in elektromagnetischen Feldern – Grenzwerte von Feldstärken zum Schutz von Personen, Teil 1: Mess- und Berechnungsverfahren"
VDE-Verlag GmbH, Berlin, 08/2000.
- [8] **Länderausschuss für Immissionsschutz"**
"Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV in der Fassung vom 26. März 2004"
3/2004; Internet: www.lai-immissionsschutz.de
- [9] **M. Wuschek**
"Feldstärkemessungen in der Umgebung von GSM-Mobilfunkbasisstationen"
EMV 2002; Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit
VDE Verlag GmbH, Berlin, Offenbach 2002, S. 683-692
- [10] **M. Wuschek**
"Feldstärkemessungen in der Umgebung von UMTS-Mobilfunkbasisstationen"
EMV 2004; Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit
VDE Verlag GmbH, Berlin, Offenbach 2004, S. 539-548.

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.

Immissionen durch Mobilfunksender ("Vorhermessung"):

Messort: Fürth, Schule Pestalozzistr.
Leitung: Dr. Wuschek
Signal: GSM/UMTS
Datum: 18.04.2005
Uhrzeit: 14:15 - 15:00 Uhr
Wetter: bedeckt/trocken
Analyzer: R3131/TSMU
Antenne: USLP-9142

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Messpunkt Nr.	Freq. in MHz	SC Nr. (nur UMTS)	Betreiber	E (gem.) in dBµV/m	Kanalzahl	Aufschlag in dB	E (korr.) in dBµV/m	E in V/m	ges. GW in V/m	Prozent vom GW	S in µW/m ²
1	938,8		T-Mobile	95,4	4	3	104,4	0,166	42,13	0,395	73,4
	952,4		T-Mobile	120,2	4	3	129,2	2,891	42,43	6,813	22167,6
	959,8		T-Mobile	115,6	4	3	124,6	1,702	42,60	3,996	7686,3
	1828,8		O2	80,7	2	3	86,7	0,022	58,80	0,037	1,2
	1834,6		O2	94,3	2	3	100,3	0,104	58,89	0,176	28,5
	1837,0		O2	99,4	2	3	105,4	0,186	58,93	0,316	92,2
Summen								3,37		7,92	30049,2
2	938,8		T-Mobile	100,7	4	3	109,7	0,306	42,13	0,727	248,7
	952,4		T-Mobile	118,0	4	3	127,0	2,244	42,43	5,288	13357,3
	959,8		T-Mobile	119,9	4	3	128,9	2,793	42,60	6,556	20688,0
	1828,8		O2	91,5	2	3	97,5	0,075	58,80	0,128	15,0
	1834,6		O2	110,0	2	3	116,0	0,632	58,89	1,073	1058,5
	1837,0		O2	112,4	2	3	118,4	0,833	58,93	1,413	1839,5
	2112,8	432	Vodafone	86,7	2	13	102,7	0,137	61,00	0,224	49,5
2132,6	22	E-Plus	84,3	2	13	100,3	0,104	61,00	0,170	28,5	
Summen								3,75		8,64	37284,9
3	938,8		T-Mobile	82,2	4	3	91,2	0,036	42,13	0,086	3,5
	952,4		T-Mobile	105,1	4	3	114,1	0,508	42,43	1,198	685,0
	959,8		T-Mobile	100,4	4	3	109,4	0,296	42,60	0,694	232,1
	1828,8		O2	108,6	2	3	114,6	0,538	58,80	0,914	766,8
	1834,6		O2	105,2	2	3	111,2	0,364	58,89	0,617	350,5
	1837,0		O2	112,1	2	3	118,1	0,804	58,93	1,365	1716,7
Summen								1,19		2,24	3754,7
4	938,8		T-Mobile	92,2	4	3	101,2	0,115	42,13	0,273	35,1
	952,4		T-Mobile	111,3	4	3	120,3	1,038	42,43	2,445	2855,7
	959,8		T-Mobile	108,3	4	3	117,3	0,735	42,60	1,724	1431,3
	1828,8		O2	64,4	2	3	70,4	0,003	58,80	0,006	0,0
	1834,6		O2	88,9	2	3	94,9	0,056	58,89	0,095	8,2
	1837,0		O2	90,7	2	3	96,7	0,068	58,93	0,116	12,4
Summen								1,28		3,01	4342,8

Immissionen durch Mobilfunksender ("Nachhermessung"):

Messort: Fürth, Schule Pestalozzistr.
Leitung: Dr. Wuschek
Signal: GSM/UMTS
Datum: 01.08.2005
Uhrzeit: 13:15 - 14:15 Uhr
Wetter: heiter/trocken
Analyzer: SRM-3000
Antenne: USLP-9142

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Messpunkt Nr.	Freq. in MHz	SC Nr. (nur UMTS)	Betreiber	E (gem.) in dBµV/m	Kanalzahl	Aufschlag in dB	E (korr.) in dBµV/m	E in V/m	ges. GW in V/m	Prozent vom GW	S in µW/m²
1	938,8		T-Mobile	84,6	4	3	93,6	0,048	42,13	0,114	6,1
	952,4		T-Mobile	111,6	4	3	120,6	1,074	42,43	2,531	3060,0
	959,8		T-Mobile	107,4	4	3	116,4	0,662	42,60	1,555	1163,4
	1828,8		O2	60,8	2	3	66,8	0,002	58,80	0,004	0,0
	1834,0		O2	97,6	2	3	103,6	0,152	58,88	0,257	60,9
	1834,6		O2	85,8	2	3	91,8	0,039	58,89	0,066	4,0
	1835,8		O2	100,2	2	3	106,2	0,204	58,91	0,347	110,8
	1837,0		O2	87,1	2	3	93,1	0,045	58,93	0,077	5,4
	1844,6		O2	83,2	2	3	89,2	0,029	59,05	0,049	2,2
	2132,6	240	O2	89,6	2	18	110,6	0,339	61,00	0,556	305,3
Summen								1,33		3,06	4718,2
2	938,8		T-Mobile	89,4	4	3	98,4	0,083	42,13	0,198	18,4
	952,4		T-Mobile	110,4	4	3	119,4	0,935	42,43	2,205	2321,2
	959,8		T-Mobile	112,0	4	3	121,0	1,125	42,60	2,640	3355,2
	1828,8		O2	75,6	2	3	81,6	0,012	58,80	0,020	0,4
	1834,0		O2	92,0	2	3	98,0	0,080	58,88	0,135	16,8
	1834,6		O2	102,2	2	3	108,2	0,257	58,89	0,437	175,7
	1835,8		O2	101,3	2	3	107,3	0,232	58,91	0,394	142,8
	1837,0		O2	104,9	2	3	110,9	0,351	58,93	0,596	327,1
	1844,6		O2	87,5	2	3	93,5	0,047	59,05	0,080	6,0
	2132,6	240	O2	92,8	2	18	113,8	0,490	61,00	0,804	637,8
Summen								1,62		3,64	7001,4
3	938,8		T-Mobile	70,7	4	3	79,7	0,010	42,13	0,023	0,2
	952,4		T-Mobile	93,7	4	3	102,7	0,137	42,43	0,322	49,6
	959,8		T-Mobile	93,5	4	3	102,5	0,134	42,60	0,314	47,4
	1828,8		O2	67,7	2	3	73,7	0,005	58,80	0,008	0,1
	1834,0		O2	88,1	2	3	94,1	0,051	58,88	0,086	6,8
	1834,6		O2	94,7	2	3	100,7	0,109	58,89	0,184	31,2
	1835,8		O2	100,0	2	3	106,0	0,200	58,91	0,339	105,8
	1837,0		O2	99,1	2	3	105,1	0,180	58,93	0,306	86,0
	1844,6		O2	77,0	2	3	83,0	0,014	59,05	0,024	0,5
	2132,6	240	O2	85,5	2	18	106,5	0,212	61,00	0,347	118,8
Summen								0,41		0,76	446,6
4	938,8		T-Mobile	92,2	4	3	101,2	0,115	42,13	0,273	35,1
	952,4		T-Mobile	111,3	4	3	120,3	1,038	42,43	2,445	2855,7
	959,8		T-Mobile	108,3	4	3	117,3	0,735	42,60	1,724	1431,3
	1828,8		O2	64,4	2	3	70,4	0,003	58,80	0,006	0,0
	1834,0		O2	105,8	2	3	111,8	0,390	58,88	0,661	402,4
	1834,6		O2	88,9	2	3	94,9	0,056	58,89	0,095	8,2
	1835,8		O2	109,9	2	3	115,9	0,624	58,91	1,060	1034,4
	1837,0		O2	90,7	2	3	96,7	0,068	58,93	0,116	12,4
	1844,6		O2	92,9	2	3	98,9	0,088	59,05	0,149	20,6
	2132,6	240	O2	89,5	2	18	110,5	0,335	61,00	0,550	298,3
Summen								1,52		3,31	6098,6

Legende zu obigen Tabellen:

- Spalte 1:** Nummerierung der Messpunkte.
- Spalte 2:** Bei GSM-Signalen: Frequenz des für jede Senderichtung vorhandenen Signalisierungskanals (BCCH) in MHz. Bei UMTS-Signalen (Trägerfrequenzen zwischen 2110 und 2170 MHz): Mittenfrequenz des gemessenen Kanals in MHz.
- Spalte 3:** Scramblingcodenummer des gemessenen Signalisierungskanals (nur bei UMTS-Signalen).
- Spalte 4:** Betreiberzuordnung.
- Spalte 5:** Vor Ort gemessene Feldstärke in dB μ V/m.
- Spalte 6:** Summe der von der Bundesnetzagentur genehmigten Kanäle dieses Sektors.
- Spalte 7:** Aufschlagfaktor für die Gesamtmessunsicherheit des Verfahrens (3 dB).
Bei UMTS-Messungen wird an dieser Stelle zusätzlich der Hochrechnungsfaktor auf maximale Anlagenauslastung eingebracht (je nach Anlagenkonfiguration 10 bzw. 15 dB), daher ergibt sich in den UMTS-Zeilen ein Aufschlagfaktor von insgesamt 13 bzw. 18 dB.
- Spalte 8:** Hochgerechnete Feldstärke für Maximalauslastung inkl. Messunsicherheitszuschlag
 $\langle \text{Spalte 8} \rangle = \langle \text{Spalte 5} \rangle + 10 \cdot \log(\langle \text{Spalte 6} \rangle) + \langle \text{Spalte 7} \rangle$.
- Spalte 9:** Umrechnung des Wertes aus Spalte 8 von dB μ V/m in V/m.
- Spalte 10:** Für die gemessene Frequenz gültiger Grenzwert nach 26. BImSchV (10 MHz - 300 GHz) bzw. nach EU-Ratsempfehlung (für Frequenzen unter 10 MHz).
- Spalte 11:** Quotient aus Spalte 9 und Spalte 10 in Prozent.
- Spalte 12:** Umrechnung des Wertes aus Spalte 9 von V/m in Mikrowatt/m².

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

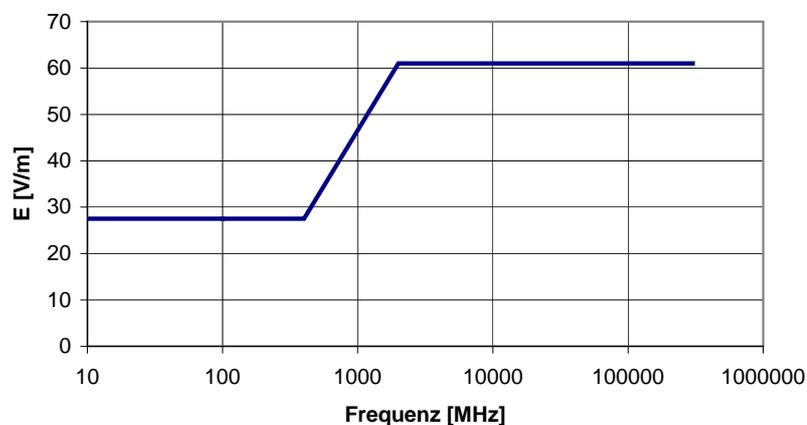


Bild 1: Graphische Darstellung der Grenzwerte (elektrische Feldstärke) nach 26. BImSchV für Hochfrequenzanlagen

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

Die *Internationale Strahlenschutzkommission* (ICNIRP) erarbeitet Grenzwertempfehlungen auf der Basis des aktuellen Forschungsstandes. Grundlage ist die von der WHO und der Umweltorganisation der Vereinten Nationen (UNEP) gemeinsam durchgeführte Bewertung der aktuellen wissenschaftlichen Befunde. Die Ergebnisse dieser Bewertung sind in den sog. "*Environmental Health Criteria*" (z.B. EHC Doc.137) zusammengefasst und als Buch veröffentlicht. In regelmäßigen Abständen prüft die ICNIRP den aktuellen Stand der Forschung und

entscheidet darüber, ob eine Aktualisierung der Grenzwerte erforderlich ist. Die zur Zeit aktuellen Empfehlungen der ICNIRP stammen aus dem Jahr 1998 [2].

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

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

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

Das Prinzip des Personenschutzes im Bereich des Mobilfunks ist die Begrenzung der vom Körper aufgenommenen Energie. Als Maß hierfür dient die *"spezifische Absorptionsrate"* (SAR), gemessen in Watt pro Kilogramm (W/kg) Körpergewicht. Um den Schutz der Bevölkerung vor den thermischen Einwirkungen hochfrequenter nicht ionisierender Strahlen zu gewährleisten, wurden die sog. *"Basisgrenzwerte"* so festgelegt, dass eine zusätzliche Erwärmung von Körperbereichen um mehr als 1°C mit Sicherheit ausgeschlossen wird.

Um diese Sicherheit zu gewährleisten, ist der *Basisgrenzwert* so gewählt, dass er um den Faktor 10 niedriger liegt, als die spezifische Absorptionsrate, ab der Wirkungen auf den Menschen wissenschaftlich gesichert nachgewiesen werden können. Bei Personen, die im Rahmen ihrer *beruflichen Tätigkeit* während der gesamten täglichen Arbeitszeit (typ. 6 - 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.

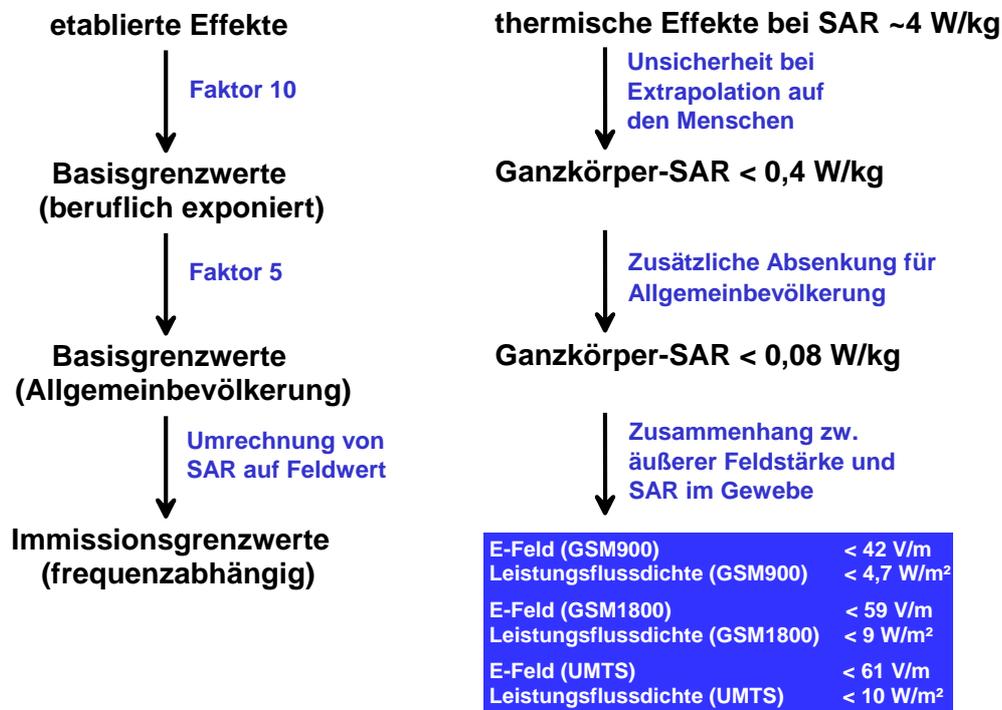
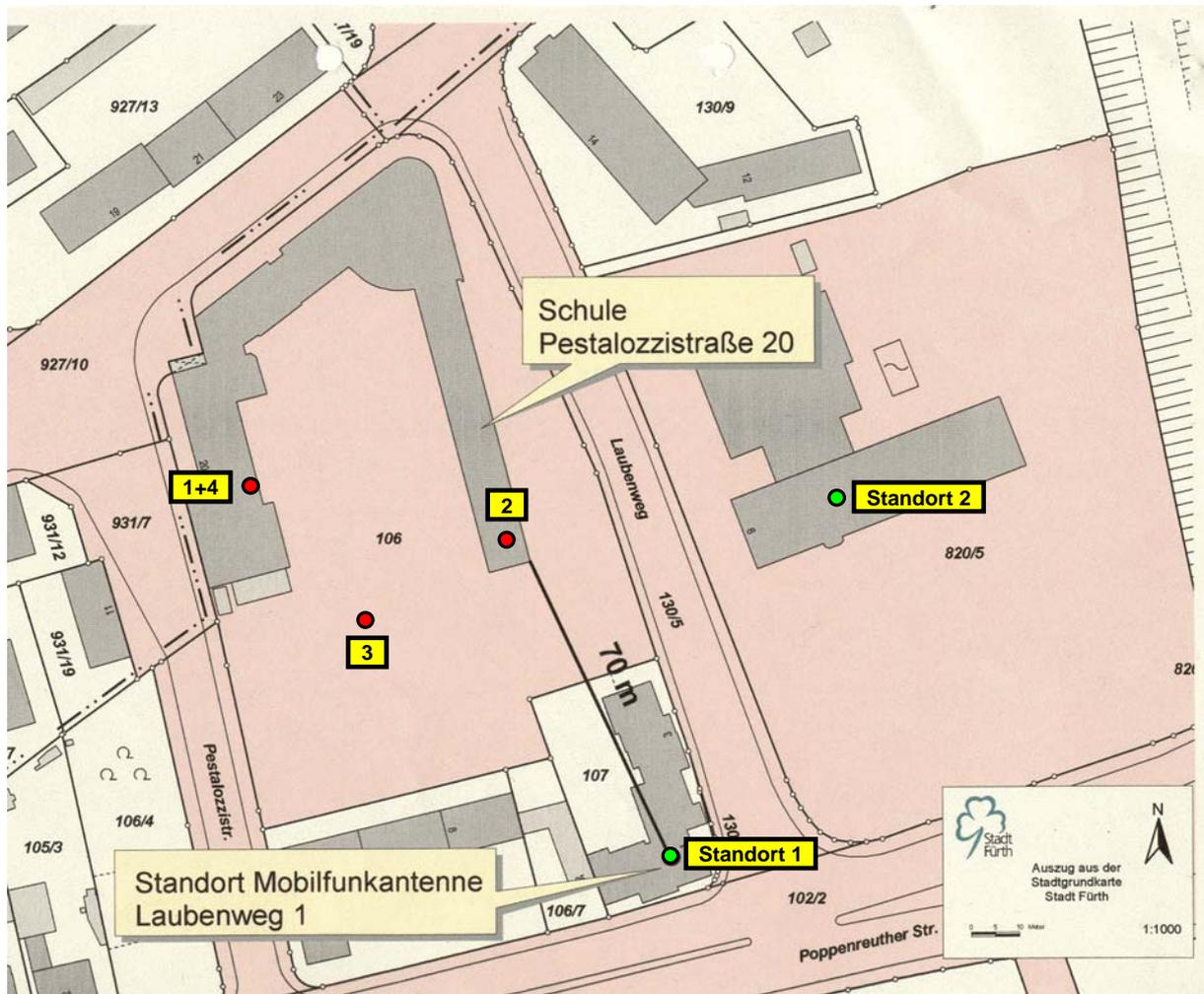


Bild 2: Darstellung der Entstehung internationaler Grenzwertempfehlungen

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 Anlagenstandorten und Messpunkten



Anlage 4: Photos



Bild 1: Standort 1 von Messpunkt 1 aus gesehen



Bild 2: Standort 2 von Messpunkt 1 aus gesehen



Bild 3: Standort 2 von Messpunkt 2 aus gesehen



Bild 4: Standort 3 von Messpunkt 2 aus gesehen

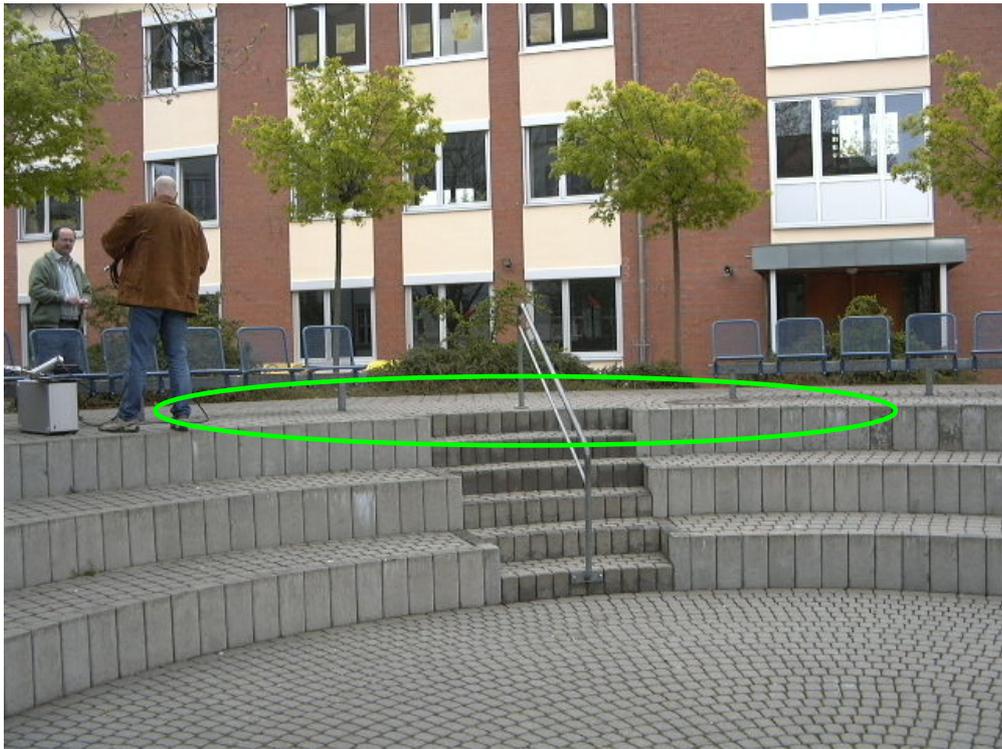


Bild 5: Messpunkt 3



Bild 6: Standort 1 von Messpunkt 3 aus gesehen



Bild 7: Standort 3 Messpunkt 3 aus gesehen



Bild 8: Standort 1 von Messpunkt 4 aus gesehen



Bild 9: Standort 2 von Messpunkt 4 aus gesehen