

Elektromagnetische Immissionen durch Mobilfunksendeanlagen

Bericht über durchgeführte Feldstärkemessungen



Auftraggeber: Stadt Bayreuth
Amt für Umweltschutz
Luitpoldplatz 13
95410 Bayreuth

Ort: Stadtgebiet von Bayreuth

Durchführung: EM-Institut GmbH
Carlstr. 5
93049 Regensburg

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

Projektnummer: 07/030

Ort und Datum: Regensburg, 16. Juli 2007

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	8
3.3	Messgenauigkeit, Bestimmung der Maximalimmission	9
3.4	Qualitätssicherung	10
3.5	Messorte	10
4	Festgestellte Immissionswerte	11
5	Schlussfolgerungen	14
6	Literaturverzeichnis	15
7	Anlagen	16
	Anlage 1: Ausführliche Ergebnistabellen	16
	Anlage 2: Grenzwerte und ihre Entstehung	25
	Anlage 3: Lagepläne mit Antennenstandorten und den Messpunkten	28
	Anlage 4: Fotos	32

1 Aufgabenstellung

Die EM-Institut GmbH, Regensburg wurde von der Stadt Byreuth beauftragt, an einigen Punkten, die sich in der Nähe von Mobilfunkstandorten befinden, die dort vorhandenen hochfrequenten Immissionen, verursacht durch Mobilfunksignale, messtechnisch zu erfassen. Die Ergebnisse der Messungen sind zu dokumentieren und mit den derzeit in Deutschland verbindlichen Grenzwerten zu vergleichen.

Zum Zeitpunkt der Messungen waren in der unmittelbaren Umgebung der Messpunkte folgende Mobilfunksendeanlagen in Betrieb:

Nr.	Adresse	Betreiberfirma (Mobilfunksystem)
1	Meranierring 30	Vodafone (GSM 900)
2	Scheffelstr. 35	T-Mobile (GSM 900 + UMTS) E-Plus (GSM 1800 + UMTS) O ₂ (GSM 1800 + UMTS)
3	Richard-Wagner-Str. 38	Vodafone (UMTS)*
4	Colmdorf / Hasenweg	T-Mobile (UMTS)*
5	Albrecht-Dürer-Str. 42	O ₂ (GSM 1800 + UMTS)*
6	Ziegelleite 2 - 4	T-Mobile (GSM 900 + UMTS) Vodafone (GSM 900 + UMTS) E-Plus (GSM 1800 + UMTS) O ₂ (GSM 1800 + UMTS)

*: Anlage zum Zeitpunkt der Messungen noch nicht in Betrieb.

Quelle: Auskünfte des Auftraggebers und der Netzbetreiber.

Tab. 1: In der unmittelbaren Umgebung der Messpunkte vorhandene Mobilfunksendeanlagen.

Der Schutz der Bevölkerung vor den Wirkungen elektromagnetischer Felder ist in Deutschland seit Januar 1997 in der **26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV)** [1] verbindlich geregelt. Die in dieser Verordnung festgelegten Immissionsgrenzwerte basieren auf den aktuellen Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO), der Internationalen Kommission für den Schutz vor nichtionisierenden Strahlen (ICNIRP), des Europäischen Rates sowie der deutschen Strahlenschutzkommission [2,3,4].

Die Intensität elektromagnetischer Wellenfelder wird durch die **Feldstärke** oder die **Leistungsflussdichte** beschrieben. Welche Feldstärke- bzw. Leistungsflussdichtewerte an be-

stimmten 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 soll mittels der Messergebnisse die Beantwortung der folgenden Frage möglich werden:

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

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

2 Immissionen durch Mobilfunksendeanlagen

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

Die beim Mobilfunk verwendeten Antennen senden in der horizontalen Ebene entweder omnidirektional (Abb. 1), d.h. in alle Richtungen parallel zum Erdboden wird gleich viel Energie abgegeben oder die elektromagnetische Welle wird mittels Richtantennen horizontal auf einen typisch 60° bis 120° breiten Sektor konzentriert (Abb. 3). Häufig werden von einem Anlagenstandort aus, durch die Montage mehrerer derartiger Richtantennen, gleich zwei oder drei Sektoren versorgt (Abb. 2).



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

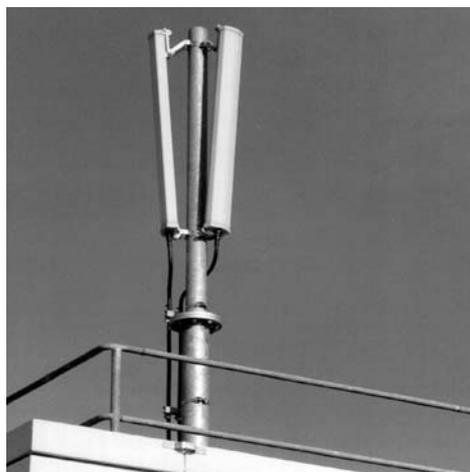


Abb. 2: Zwei Sektorantennen, montiert auf einem Flachdach (hier mit mechanischer Strahlabsenkung, engl. "Downtilt").

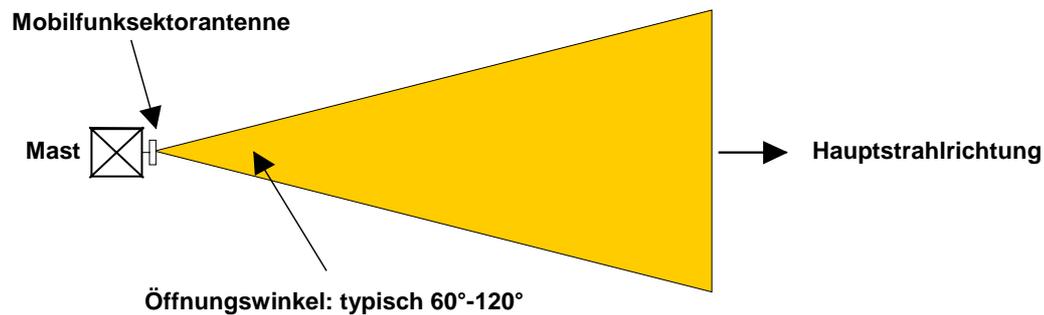


Abb. 3: Horizontales Abstrahlverhalten einer Mobilfunksektorantenne.

An den meisten Standorten werden Sektorantennen verwendet.

In der Vertikalen hingegen senden alle Mobilfunkantennen, ähnlich wie die Scheinwerfer eines Leuchtturmes, sehr stark gebündelt (Abb. 4). Der Hauptabgabebereich der elektromagnetischen Energie wird als "Öffnungswinkel" der Antenne bezeichnet. Er beträgt vertikal typischerweise zirka 5 bis 10°. Zusätzlich ist die Hauptstrahlrichtung häufig bezüglich der Horizontalen um einige Grad nach unten geneigt [5]. Damit erreicht man eine gezielte Versorgung der lokalen Funkzelle, eine Leistungsabgabe in unerwünschte Bereiche, wie beispielsweise in weiter entfernte Funkzellen, die mit der gleichen Trägerfrequenz arbeiten, wird verhindert (Vermeidung sog. "Gleichkanalstörungen").

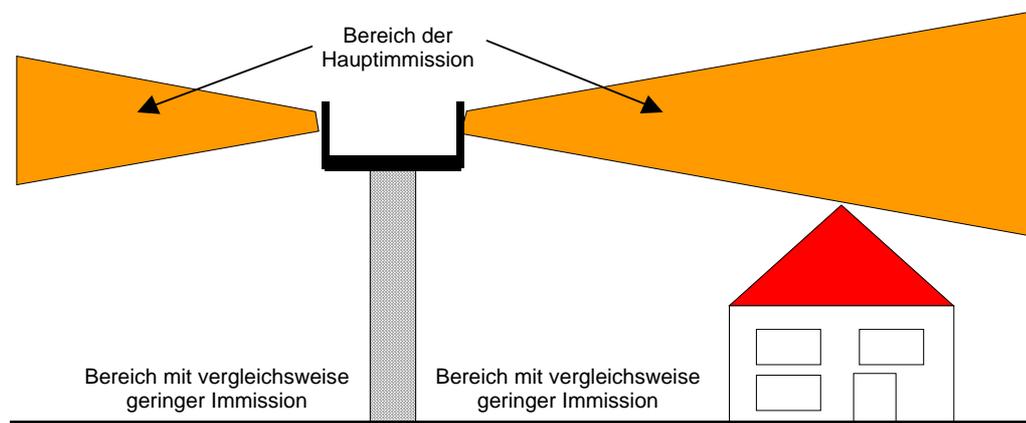


Abb. 4: Vertikales Bündelungsverhalten von Mobilfunkantennen (prinzipielle Darstellung mit übertriebenem großem vertikalem Öffnungswinkel).

Außerhalb dieses schmalen Feldkegels der Antenne (vergleichbar mit der Lichtaussendung im Kegel eines Scheinwerfers) ist die Energieabgabe deutlich geringer (typischerweise nur 1/10 bis 1/1000 der Werte der Leistungsflussdichte in der Hauptstrahlrichtung). Der bodennahe Raum in unmittelbarer Nähe einer erhöht angebrachten Mobilfunkantenne und auch die Räume eines Gebäudes, auf dem die Antennen errichtet sind, werden somit häufig wesentlich geringer exponiert sein, als es durch eine reine Entfernungsbetrachtung zu erwarten gewesen wäre.

Man befindet sich also, ähnlich wie beim Nahbereich eines Leuchtturmes, in einer mehr oder weniger stark ausgeprägten Schattenzone. Noch stärker wirksam ist diese Schattenzone, wenn die Antennen an einem besonders erhöhten Punkt, wie beispielsweise auf einem hohen Turm oder Schornstein montiert sind.

Ist eine Antenne beispielsweise auf einem Gebäudedach installiert, werden die Felder im Inneren des Gebäudes durch das Bündelungsverhalten der Antenne sowie zusätzlich noch von der Dämpfung des Daches und der vorhandenen Decke bestimmt. Aufgrund der Dämpfung, die durch die Antennen und die Gebäudemauern bedingt ist, erreicht der dominierende Teil der hochfrequenten Energie, die im Gebäude messbar ist, häufig nicht auf dem direkten Weg durch Dach und Decke den Innenbereich. Vielmehr gelangt sie als von benachbarten Gebäuden, Berghängen, Bäumen oder Büschen reflektiertes Signal durch die Fenster in das Gebäudeinnere.

Die Stärke der Felder, die im Inneren eines benachbarten Gebäudes noch messbar sind, wird hauptsächlich vom Abstand, dem relativen Höhenunterschied zu den Mobilfunkantennen und ebenfalls der Dämpfung der Mauern, des Daches und der vorhandenen Fenster bestimmt. Abhängig von den verwendeten Baumaterialien (Holz, Ziegel, Beton) tritt damit eine zusätzliche, unter Umständen erhebliche, Schwächung der Felder auf.

An dieser Stelle muss zudem darauf hingewiesen werden, dass bei elektromagnetischen Wellen die Intensität mit zunehmendem Abstand zur Sendeanlage sehr stark abnimmt: Wenn sich die elektromagnetische Welle ungestört ausbreitet, nimmt die Leistungsflussdichte in der Hauptstrahlrichtung mit wachsender Entfernung quadratisch ab. Dies bedeutet, dass sie bei Verdoppelung der Distanz bereits auf ein Viertel, bei Verzehnfachung des Abstandes sogar auf ein Hundertstel des Ausgangswertes abgefallen ist. Unter realen Ausbreitungsverhältnissen (Einfluss von Topographie, Bewuchs, Bebauung) ist die Abnahme der Felder sogar noch stärker ausgeprägt [6]. Das gilt unabhängig vom Typ der verwendeten Antenne.

Zusätzlich zu den Mobilfunkantennen sind an einigen Standorten auch Richtfunkantennen (Parabolspiegel) installiert. Sie dienen zur Verbindung der Mobilfunksendeanlage mit den benachbarten Stationen bzw. der Vermittlungszentrale des Betreibers. Diese Antennen geben, ähnlich wie eine Hochleistungstaschenlampe, ein stark gebündeltes Signal in horizontaler Richtung ab und erzeugen daher keine nennenswerten Immissionen in der näheren Umgebung.

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

3 Durchführung der Messungen

3.1 Messgrößen für hochfrequente Felder

Für die Beurteilung der Feldintensität in der Umgebung von Hochfrequenzquellen werden üblicherweise die folgenden Größen verwendet [7]:

- Der Effektivwert der elektrischen Feldstärke E in Volt pro Meter.
- Der Effektivwert der magnetischen Feldstärke H in Ampere pro Meter.
- Die Leistungsflussdichte S in Watt pro Quadratmeter oder Mikrowatt pro Quadratmeter (1 Mikrowatt = 1 Millionstel Watt).

Die Leistungsflussdichte in Mikrowatt pro Quadratmeter gibt die in einer Fläche von einem Quadratmeter fließende Leistungsmenge der durch die elektromagnetische Welle transportierten Hochfrequenzenergie an.

Im Fernfeld einer Antenne stehen Leistungsflussdichte, elektrische und magnetische Feldstärke in einem festen Verhältnis zueinander. Alle drei Größen sind im Fernfeld also äquivalent, ähnlich wie Stromaufnahme und Leistungsverbrauch bei Elektrogeräten. Bei allen hier durchgeführten Messungen kann von Fernfeldbedingungen ausgegangen werden, da man sich ausreichend weit von der Antenne entfernt befindet. Für die Beurteilung der Feldintensität in den bei dieser Untersuchung auftretenden Abständen zu den Antennen genügt also die Angabe einer dieser drei Größen. In der Auswertung der durchgeführten Messungen wird deshalb die **elektrische Feldstärke** als Größe für die Immissionswerte verwendet.

3.2 Verwendete Messgeräte, Messverfahren

Im Rahmen der Immissionsmessungen wurde folgende Messausrüstung eingesetzt:

1. Feldanalysatorsystem Narda SRM-3000 (Ser. Nr. E-0042)
2. Isotropantenne 3AX 75M-3G (Ser. Nr. 0043)

Mittels des Feldanalysators und einer geeigneten Messantenne wurden Frequenz und Empfangspegel der einzelnen am Messort zu untersuchenden Funksignale festgestellt. Unter Zuhilfenahme der Kalibrierdaten der verwendeten Messantenne und unter Berücksichtigung der Dämpfung der Leitung zwischen Messantenne und Feldanalysator kann damit die am Messort herrschende Feldstärke bestimmt werden. Durch geeignetes manuelles Ausrichten der Antenne wurde jeweils die stärkste am Messpunkt vorhandene Immission gesucht und aufgezeichnet ("Schwenkmethode") [8].

GSM-Signale werden mit einer 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 er-

halten. Einzelimmissionen, die aufgrund geringer Stärke nur einen vernachlässigbar kleinen Beitrag zur Gesamtimmission liefern, wurden vernachlässigt.

3.3 Messgenauigkeit, Bestimmung der Maximalimmission

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

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

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

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

3.4 Qualitätssicherung

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

3.5 Messorte

Die Messungen wurden an insgesamt zehn Punkten im Stadtgebiet von Bayreuth durchgeführt. Alle Messpunkte befanden sich im Freien. Folgende Messpunkte wurden in Absprache mit dem Auftraggeber gewählt:

Messpunkt Nr.	Bezeichnung	Entfernung zum Standort*	Sichtverbindung zu den Antennen
1	Kiefernweg 3 (Gehweg vor Anwesen)	Ca. 120 m (1)	Ja
2	Schule Herzoghöhe, Preuschwitzer Str. 34 (Außenbereich NW)	Ca. 220 m (1)	Nein
3	Kindergarten, Preuschwitzer Str. 32 (Außenbereich)	Ca. 340 m (1)	Nein
4	Egerer Str. 5/7 (Parkplatz)	Ca. 60 m (2)	Ja
5	Egerer Str. 6 (Garten)	Ca. 60 m (2)	Ja
6	Scheffelstr. 33 (Balkon 2. OG, Nordseite)	Ca. 25 m (2)	Ja
7	Kindergarten, Wener-von-Siemens-Str. 22	Ca. 130 m (3)	Nein
8	Frankenstr. 50 (Dachterrasse)	Ca. 160 m (4)	Ja
9	Kindergarten Stuckberg, Brahmstr. 5	Ca. 160 m (5)	Nein
10	Schule St. Johannes, Ziegelleite 15	Ca. 170 m (6)	Ja

*: Siehe Nummerierung in Tabelle 1

Tab. 2: Messpunkte.

Durchgeführt wurden die Messungen am 22. Juni 2007 zwischen 08:30 und 11:30 Uhr (Verantwortlicher vor Ort: Dr.-Ing. M. Wuschek). Ein Vertreter des Auftraggebers war bei den Messungen anwesend.

Der genaue Termin der Messungen wurde den Anlagenbetreibern im Vorfeld nicht mitgeteilt. Übersichtspläne sowie einige Fotos von den Antennenstandorten und den Messpunkten finden sich in den Anlagen 3 und 4 zu diesem Bericht.

4 Festgestellte Immissionswerte

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

Zusätzlich aufgeführt ist auch der **Maximalimmissionswert** für Vollausbau und Vollausslastung der Stationen (Spalte 3). Dieser tritt auf, wenn die Anlagen gemäß der BNetzA-Standortbescheinigung voll ausgebaut sind und gerade den maximal möglichen Telefon- bzw. Datenverkehr mit größtmöglicher Sendeleistung abwickeln.

Die Immission im Alltagsbetrieb liegt also je nach momentaner Auslastung der Stationen immer zwischen diesen beiden Extremwerten.

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

Die zusätzlich zum Vergleich am Punkt 8 ermittelten Immissionen, verursacht durch Tonrundfunk- und TV-Signale (Hauptquelle: Sendeturm Oschenberg), sind in Tabelle 3 in einer eigenen Zeile dokumentiert (blaue Schrift).

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

Ausführliche Ergebnistabellen der Messungen finden sich in der Anlage 1 zu diesem Bericht. Dort sind die Ergebnisse zusätzlich auch als Feldstärkewert in Volt/m und als Leistungsflussdichte in Mikrowatt/m² angegeben.

Messpunkt Nr.	Summenfeldstärke in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV (<u>Minimalimmission</u>)	Summenfeldstärke in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV (<u>Maximalimmission</u>)
1	3,20 %	6,40 %
2	0,94 %	1,89 %
3	0,95 %	2,00 %
4	2,49 %	5,65 %
5	1,23 %	2,95 %
6	4,30 %	11,04 %
7	1,20 %	2,40 %
8	0,46 %	0,98 %
8*	-	2,92 %
9	0,34 %	0,66 %
10	2,89 %	6,85 %

Blaue Zeile: Immissionen, verursacht durch Tonrundfunk- und TV-Signale

Tab. 3: Festgestellte Immissionswerte (Summenfeldstärkewerte bezogen auf die Grenzwerte nach 26. BImSchV).

Nach 26. BImSchV gilt für den Mobilfunk ein Grenzwert von zirka 42 Volt/m (GSM 900), zirka 59 Volt/m (GSM 1800) bzw. 61 Volt/m (UMTS).

Für die hier festgestellten Tonrundfunk- und TV-Signale gilt, je nach Frequenz, ein Grenzwert von zirka 28 bis 38 Volt/m.

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

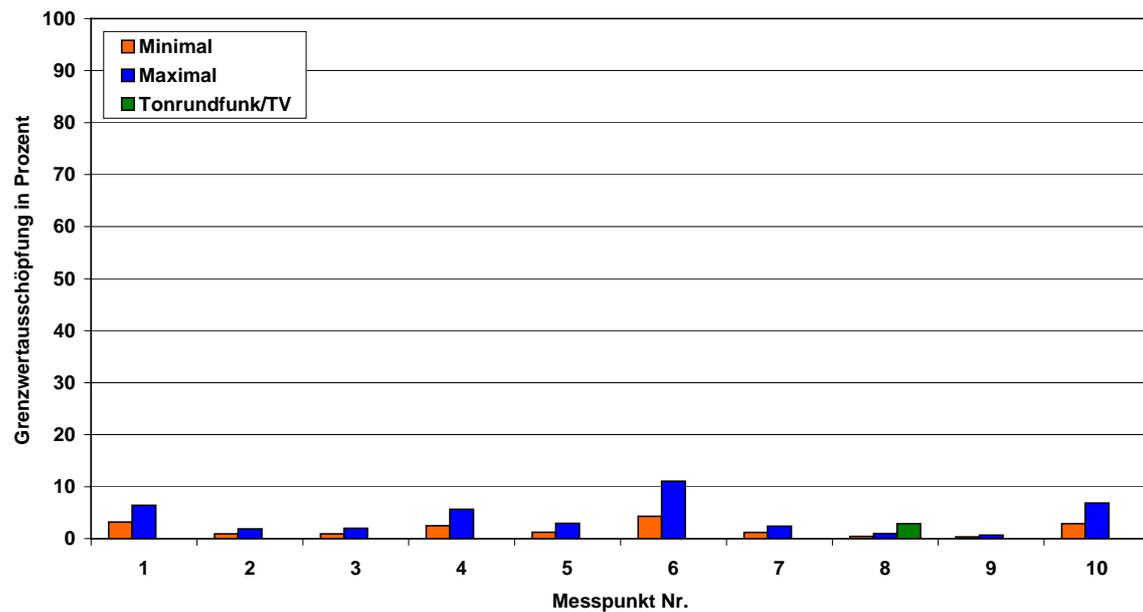


Abb. 5: Grafische Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 3 (Summenfeldstärke Mobilfunk in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV).

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

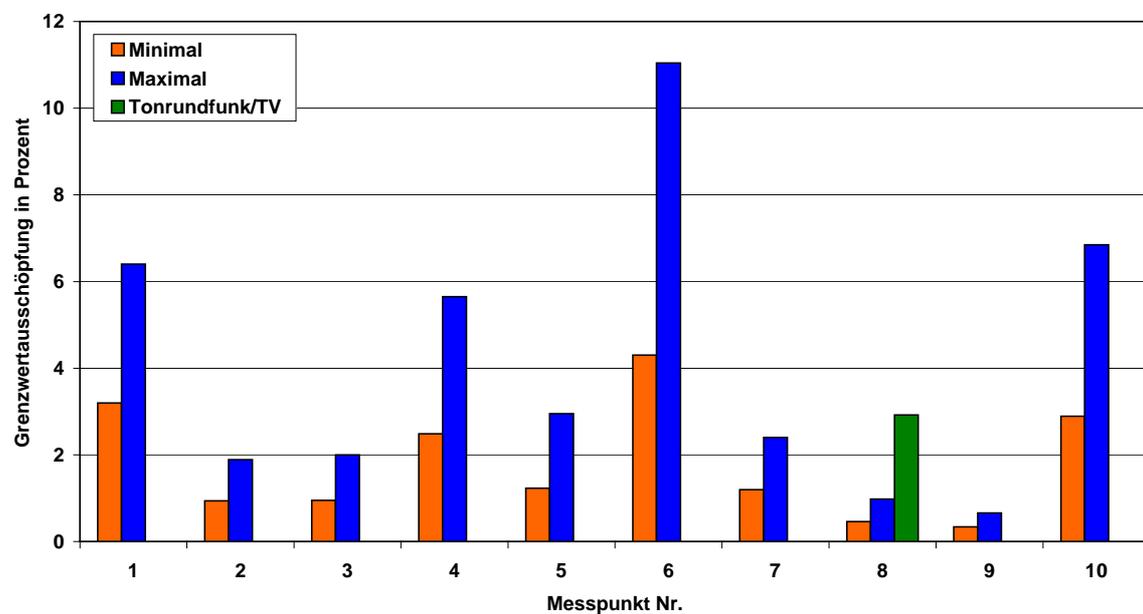


Abb. 6: Detaillierte Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 3.

5 Schlussfolgerungen

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

- Wie aus Tabelle 3 sowie den Abbildungen 5 und 6 ersichtlich, wird der Grenzwert nach 26. BImSchV an allen Messpunkten unterschritten. Bei den Messungen ergaben sich Immissionen (bezogen auf die Feldstärke), die bei Vollaustattung der verursachenden Anlagen **etwa zwischen 0,7 und 11 Prozent des gesetzlich zulässigen Wertes** betragen.
- An vier von insgesamt zehn Messpunkten wurde eine Mobilfunkimmission von maximal zwei Prozent vom Grenzwert (bei Maximalauslastung und Vollausbau der verursachenden Sendeanlagen) festgestellt.
- Der größte Immissionswert wurde am Messpunkt 6 (Scheffelstr. 33, Balkon, 2. OG) festgestellt. Die dort messbaren Felder werden von der Antennenanlage verursacht, die sich in unmittelbarer Nähe im Bereich Scheffelstr. 35 befindet.
- Die am Messpunkt 8 zum Vergleich ermittelten Immissionen, verursacht durch regionale Tonrundfunk- und TV-Signale erreichen etwa 3 Prozent vom Grenzwert. Verursacht werden diese Immissionen im wesentlichen vom Sendeturm "Oschenberg".
- Um die in Bayreuth gefundenen Immissionswerte besser einordnen zu können, sei hier folgender Vergleich genannt: Im Rahmen einer Studie für das Bayerische Landesamt für Umwelt wurden im Jahr 2004 insgesamt mehr als 1.200 Messpunkte ausgewertet, die im Rahmen von ähnlichen Messkampagnen, wie in Bayreuth durchgeführt, vermessen wurden [11]. Diese Auswertung ergab, dass bei Betrachtung von 850 Messpunkten, von denen aus Sicht zu einer Mobilfunksendeanlage bestand, sich ein mittlerer Immissionswert von 4,54 Prozent vom Grenzwert (bei Maximalauslastung und Vollausbau der verursachenden Sendeanlagen) ergab. An vier der zehn Punkte liegen die Messergebnisse in Bayreuth über diesem Durchschnittswert.

Regensburg, 16. Juli 2007

Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek



6 Literaturverzeichnis

- [1] **Bundesrepublik Deutschland**
"26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes"
Bundesgesetzblatt Jg. 1996, Teil I, Nr.66, Bonn 20.12.1996.
- [2] **International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)**
"Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)"
Health Physics, Vol. 74, Nr. 4, April 1998, S. 494-522.
- [3] **Der Rat der Europäischen Union**
"Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz)"
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L199, 30.07.1999, S. 59 – 70.
- [4] **Strahlenschutzkommission (SSK)**
"Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern; Empfehlungen der Strahlenschutzkommission"
Bonn, 14.09.2001 (www.ssk.de).
- [5] **Firma Kathrein, Rosenheim**
"Base Station Antennas for Mobile Communications"
Firmenschrift, Rosenheim 01/2001.
- [6] **S. R. Saunders**
"Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems"
John Wiley & Sons, Chichester, New York 1999.
- [7] **DIN VDE 0848**
"Sicherheit in elektromagnetischen Feldern – Grenzwerte von Feldstärken zum Schutz von Personen, Teil 1: Mess- und Berechnungsverfahren"
VDE-Verlag GmbH, Berlin, 08/2000.
- [8] **Länderausschuss für Immissionsschutz"**
"Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV in der Fassung vom 26. März 2004"
3/2004; Internet: www.lai-immissionsschutz.de
- [9] **M. Wuschek**
"Feldstärkemessungen in der Umgebung von GSM-Mobilfunkbasisstationen"
EMV 2002; Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit
VDE Verlag GmbH, Berlin, Offenbach 2002, S. 683-692
- [10] **M. Wuschek**
"Feldstärkemessungen in der Umgebung von UMTS-Mobilfunkbasisstationen"
EMV 2004; Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit
VDE Verlag GmbH, Berlin, Offenbach 2004, S. 539-548.
- [11] **M. Wuschek et al.**
"Möglichkeiten und Grenzen der Minimierung von Mobilfunkimmissionen: Auf Messdaten und Simulationen basierende Optionen und Beispiele"
Studie im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt
Regensburg 2004, www.bayern.de/lfu/laerm/emv/emv2.htm

7 Anlagen

Anlage 1: Ausführliche Ergebnistabellen

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

Anmerkung:

Nach EU-Ratsempfehlung bzw. DIN VDE 0848-1 wird im hier betrachteten Frequenzbereich die Summenbildung bei Vorhandensein mehrerer Signale nicht linear, sondern quadratisch durchgeführt. Dies folgt unmittelbar aus den bekannten Wirkungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. Es gilt also:

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

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

Diese quadratische Summe (in Prozent) wird von der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) in den Darstellungen ihrer Immissionsmessungen im Internet auch als "Ausschöpfungsgrad der Grenzwerte" bezeichnet.

Um wieder einen Bezug zu den, in der 26. BImSchV bzw. der EU-Ratsempfehlung angegebenen Feldstärkegrenzwerten herzustellen, wird in diesem Bericht die Wurzel aus der Summenimmission gezogen. Es ergibt sich also die wirksame feldstärkebezogene Immission I_{wirksam} zu:

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

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

Diese Formeln werden in den folgenden Auswertungen angewendet.

Leistungsflussdichtewerte können hingegen auf herkömmliche Weise linear aufsummiert werden.

Festgestellte Mobilfunk-Immissionswerte (Maximalauslastung):

Messort: Bayreuth
Leitung: Dr. Wuschek
Signal: GSM/UMTS
Datum: 11.06.2007

Uhrzeit: 08:30-11:30 Uhr
Wetter: wolkg, trocken
Analyzer: SRM-3000
Antenne: 3AX75M-3G

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Messpunkt Nr.	Freq. in MHz	SC Nr. (nur UMTS)	Betreiber	E (gem.) in dBµV/m	Kanalzahl	Aufschlag in dB	E (korr.) in dBµV/m	E in V/m	ges. GW in V/m	Prozent vom GW	S in µW/m²
1	937,0		Vodafone	119,0	4	3,0	128,0	2,518	42,09	5,982	16815,84
	948,0		Vodafone	110,6	4	3,0	119,6	0,957	42,34	2,261	2430,63
	949,6		Vodafone	88,8	4	3,0	97,8	0,078	42,37	0,184	16,06
Summen								2,69		6,40	19262,5
2	937,0		Vodafone	82,1	4	3,0	91,1	0,036	42,09	0,085	3,43
	948,0		Vodafone	97,6	4	3,0	106,6	0,214	42,34	0,506	121,82
	949,6		Vodafone	108,6	4	3,0	117,6	0,760	42,37	1,795	1533,62
	1844,0		O ₂	95,4	4	3,0	104,4	0,166	59,05	0,282	73,40
Summen								0,81		1,89	1732,3
3	940,4		T-Mobile	101,1	4	3,0	110,1	0,321	42,17	0,760	272,72
	954,4		T-Mobile	105,2	4	3,0	114,2	0,514	42,48	1,210	701,00
	948,0		Vodafone	86,3	4	3,0	95,3	0,058	42,34	0,138	9,03
	949,6		Vodafone	96,6	4	3,0	105,6	0,191	42,37	0,451	96,77
	1837,8		O ₂	103,9	4	3,0	112,9	0,443	58,95	0,751	519,66
	1844,0		O ₂	91,0	4	3,0	100,0	0,100	59,05	0,170	26,65
	1858,2		E-Plus	102,0	2	3,0	108,0	0,251	59,27	0,424	167,76
	1859,0		E-Plus	90,3	2	3,0	96,3	0,065	59,28	0,110	11,34
	2132,6	1	E-Plus	75,3	2	13,0	91,3	0,037	61,00	0,060	3,59
	2132,6	208	E-Plus	71,0	2	13,0	87,0	0,022	61,00	0,037	1,33
	2132,6	212	E-Plus	98,4	2	13,0	114,4	0,525	61,00	0,861	732,30
	2167,2	7	T-Mobile	92,1	2	13,0	108,1	0,254	61,00	0,417	171,67
	2167,2	335	T-Mobile	81,0	2	13,0	97,0	0,071	61,00	0,116	13,33
Summen								1,01		2,00	2727,1
4	940,4		T-Mobile	106,5	4	3,0	115,5	0,597	42,17	1,416	945,62
	940,0		T-Mobile	91,9	4	3,0	100,9	0,111	42,16	0,264	32,79
	954,4		T-Mobile	106,8	4	3,0	115,8	0,618	42,48	1,455	1013,25
	1836,6		O ₂	105,8	4	3,0	114,8	0,551	58,93	0,935	804,86
	1837,8		O ₂	115,8	4	3,0	124,8	1,742	58,95	2,955	8048,57
	1843,6		O ₂	103,1	4	3,0	112,1	0,404	59,04	0,684	432,23
	1858,2		E-Plus	112,9	2	3,0	118,9	0,882	59,27	1,488	2063,90
	1864,6		E-Plus	98,3	2	3,0	104,3	0,164	59,37	0,277	71,56
	1872,6		E-Plus	94,1	2	3,0	100,1	0,101	59,50	0,170	27,21
	2132,6	208	E-Plus	92,0	2	13,0	108,0	0,251	61,00	0,412	167,76
	2132,6	210	E-Plus	88,9	2	13,0	104,9	0,176	61,00	0,289	82,17
	2132,6	212	E-Plus	108,1	2	13,0	124,1	1,605	61,00	2,631	6834,22
	2157,2	445	O ₂	93,2	2	17,8	114,0	0,502	61,00	0,823	667,86
	2167,2	7	T-Mobile	108,2	2	13,0	124,2	1,624	61,00	2,662	6993,40
	2167,2	314	T-Mobile	87,0	2	13,0	103,0	0,141	61,00	0,232	53,05
	2167,2	335	T-Mobile	95,2	2	13,0	111,2	0,364	61,00	0,596	350,50
Summen								3,28		5,65	28589,0

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
5	940,4		T-Mobile	94,2	4	3,0	103,2	0,145	42,17	0,344	55,68
	940,0		T-Mobile	92,7	4	3,0	101,7	0,122	42,16	0,289	39,42
	954,4		T-Mobile	103,4	4	3,0	112,4	0,418	42,48	0,984	463,15
	1836,6		O ₂	97,7	4	3,0	106,7	0,217	58,93	0,368	124,66
	1837,8		O ₂	111,0	4	3,0	120,0	1,002	58,95	1,701	2665,13
	1843,6		O ₂	101,4	4	3,0	110,4	0,332	59,04	0,562	292,23
	1858,2		E-Plus	102,0	2	3,0	108,0	0,251	59,27	0,424	167,76
	1864,6		E-Plus	87,3	2	3,0	93,3	0,046	59,37	0,078	5,68
	1872,6		E-Plus	99,9	2	3,0	105,9	0,197	59,50	0,332	103,44
	2132,6	208	E-Plus	86,9	2	13,0	102,9	0,140	61,00	0,229	51,84
	2132,6	210	E-Plus	95,1	2	13,0	111,1	0,359	61,00	0,589	342,52
	2132,6	212	E-Plus	91,1	2	13,0	107,1	0,227	61,00	0,372	136,36
	2157,2	445	O ₂	98,5	2	17,8	119,3	0,924	61,00	1,514	2263,02
	2167,2	7	T-Mobile	99,2	2	13,0	115,2	0,576	61,00	0,944	880,42
	2167,2	314	T-Mobile	92,7	2	13,0	108,7	0,273	61,00	0,447	197,10
	2167,2	335	T-Mobile	68,6	2	13,0	84,6	0,017	61,00	0,028	0,77
Summen								1,71		2,95	7789,2
6	940,4		T-Mobile	100,4	4	3,0	109,4	0,296	42,17	0,702	232,12
	940,0		T-Mobile	99,5	4	3,0	108,5	0,267	42,16	0,633	188,68
	954,4		T-Mobile	115,6	4	3,0	124,6	1,702	42,48	4,007	7686,32
	1836,6		O ₂	105,6	4	3,0	114,6	0,538	58,93	0,914	768,63
	1837,8		O ₂	122,2	4	3,0	131,2	3,639	58,95	6,174	35133,28
	1843,6		O ₂	102,1	4	3,0	111,1	0,360	59,04	0,609	343,34
	1858,2		E-Plus	112,5	2	3,0	118,5	0,842	59,27	1,421	1882,30
	1864,6		E-Plus	99,5	2	3,0	105,5	0,189	59,37	0,318	94,34
	1872,6		E-Plus	108,2	2	3,0	114,2	0,513	59,50	0,863	699,34
	2132,6	208	E-Plus	93,1	2	13,0	109,1	0,285	61,00	0,468	216,12
	2132,6	210	E-Plus	107,9	2	13,0	123,9	1,569	61,00	2,571	6526,62
	2132,6	212	E-Plus	101,0	2	13,0	117,0	0,709	61,00	1,162	1332,57
	2157,2	445	O ₂	111,8	2	17,8	132,6	4,271	61,00	7,001	48382,54
	2167,2	7	T-Mobile	106,5	2	13,0	122,5	1,335	61,00	2,189	4728,12
	2167,2	314	T-Mobile	96,3	2	13,0	112,3	0,413	61,00	0,676	451,53
	2167,2	335	T-Mobile	93,6	2	13,0	109,6	0,302	61,00	0,496	242,49
Summen								6,41		11,04	108908,3
7	942,2		T-Mobile	111,0	4	3,0	120,0	1,002	42,21	2,375	2665,13
	952,6		T-Mobile	94,0	4	3,0	103,0	0,142	42,44	0,334	53,18
	954,2		T-Mobile	85,8	4	3,0	94,8	0,055	42,47	0,130	8,05
Summen								1,01		2,40	2726,4

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
8	922,0		GSM-R	86,0	2	3,0	92,0	0,040	41,75	0,095	4,21
	927,6		E-Plus	90,7	4	3,0	99,7	0,097	41,88	0,231	24,87
	938,4		T-Mobile	92,9	4	3,0	101,9	0,125	42,12	0,296	41,28
	942,0		O ₂	97,0	4	3,0	106,0	0,200	42,20	0,474	106,10
	948,8		Vodafone	90,1	4	3,0	99,1	0,090	42,35	0,213	21,66
	957,4		Vodafone	90,8	4	3,0	99,8	0,098	42,55	0,230	25,45
	1836,6		O ₂	94,0	4	3,0	103,0	0,142	58,93	0,240	53,18
	1844,0		O ₂	88,1	4	3,0	97,1	0,072	59,05	0,122	13,67
	1852,4		Vodafone	85,6	2	3,0	91,6	0,038	59,18	0,064	3,84
	1861,8		E-Plus	96,3	4	3,0	105,3	0,185	59,33	0,311	90,31
	1864,0		E-Plus	86,5	4	3,0	95,5	0,060	59,36	0,101	9,46
	1872,4		E-Plus	89,0	4	3,0	98,0	0,080	59,50	0,134	16,82
	1874,6		E-Plus	93,3	4	3,0	102,3	0,131	59,53	0,219	45,26
	2112,8	64	Vodafone	81,9	2	13,0	97,9	0,079	61,00	0,129	16,39
	2112,8	72	Vodafone	75,6	2	13,0	91,6	0,038	61,00	0,062	3,84
	2112,8	144	Vodafone	79,7	2	13,0	95,7	0,061	61,00	0,100	9,88
	2132,6	215	E-Plus	70,5	2	13,0	86,5	0,021	61,00	0,035	1,19
	2132,6	219	E-Plus	73,9	2	13,0	89,9	0,031	61,00	0,051	2,60
	2132,6	223	E-Plus	83,7	2	13,0	99,7	0,097	61,00	0,159	24,81
	2132,6	225	E-Plus	73,1	2	13,0	89,1	0,029	61,00	0,047	2,16
2167,2	0	T-Mobile	88,4	2	13,0	104,4	0,166	61,00	0,272	73,23	
2167,2	64	T-Mobile	80,5	2	13,0	96,5	0,067	61,00	0,110	11,88	
2167,2	145	T-Mobile	83,8	2	13,0	99,8	0,098	61,00	0,160	25,39	
2167,2	221	T-Mobile	74,2	2	13,0	90,2	0,032	61,00	0,053	2,78	
2167,2	283	T-Mobile	71,8	2	13,0	87,8	0,025	61,00	0,040	1,60	
2167,2	462	T-Mobile	70,9	2	13,0	86,9	0,022	61,00	0,036	1,30	
2167,2	492	T-Mobile	87,5	2	13,0	103,5	0,150	61,00	0,246	59,52	
Summen								0,51		0,98	692,7
9	922,0		GSM-R	90,0	2	3,0	96,0	0,063	41,75	0,151	10,58
	935,8		Vodafone	96,2	4	3,0	105,2	0,182	42,06	0,434	88,25
	938,6		T-Mobile	95,7	4	3,0	104,7	0,172	42,13	0,409	78,65
	948,8		Vodafone	86,7	4	3,0	95,7	0,061	42,35	0,144	9,90
	1843,4		O ₂	89,1	4	3,0	98,1	0,081	59,04	0,136	17,21
	1872,4		E-Plus	87,6	4	3,0	96,6	0,068	59,50	0,114	12,18
Summen							0,29		0,66	216,8	
10	942,0		T-Mobile	104,2	4	3,0	113,2	0,458	42,20	1,086	556,82
	950,0		Vodafone	115,7	6	3,0	126,5	2,109	42,38	4,976	11798,04
	951,6		T-Mobile	89,6	4	3,0	98,6	0,085	42,42	0,201	19,31
	956,6		Vodafone	87,5	6	3,0	98,3	0,082	42,53	0,193	17,86
	959,8		T-Mobile	110,1	4	3,0	119,1	0,904	42,60	2,121	2166,30
	1837,6		O ₂	110,8	4	3,0	119,8	0,980	58,94	1,662	2545,18
	1838,4		O ₂	101,3	4	3,0	110,3	0,328	58,96	0,557	285,57
	1844,4		O ₂	88,1	4	3,0	97,1	0,072	59,05	0,122	13,67
	1861,8		E-Plus	112,7	4	3,0	121,7	1,219	59,33	2,055	3942,02
	1863,2		E-Plus	103,7	4	3,0	112,7	0,433	59,35	0,729	496,27
	1874,6		E-Plus	92,0	4	3,0	101,0	0,112	59,53	0,189	33,55
	2112,8	56	Vodafone	82,0	2	13,0	98,0	0,080	61,00	0,130	16,78
	2112,8	64	Vodafone	91,0	2	13,0	107,0	0,224	61,00	0,367	133,26
	2112,8	72	Vodafone	73,3	2	13,0	89,3	0,029	61,00	0,048	2,26
	2132,6	221	E-Plus	83,7	2	13,0	99,7	0,097	61,00	0,159	24,81
	2132,6	223	E-Plus	99,0	2	13,0	115,0	0,563	61,00	0,923	840,79
	2157,2	412	O ₂	87,8	2	17,8	108,6	0,269	61,00	0,442	192,61
	2167,2	64	T-Mobile	91,0	2	13,0	107,0	0,224	61,00	0,367	133,26
	2167,2	75	T-Mobile	108,2	2	13,0	124,2	1,624	61,00	2,662	6993,40
2167,2	168	T-Mobile	86,7	2	13,0	102,7	0,137	61,00	0,224	49,51	
Summen							3,38		6,85	30261,3	

Festgestellte Mobilfunk-Immissionswerte (Minimalauslastung):

Messort: Bayreuth
Leitung: Dr. Wuschek
Signal: GSM/UMTS
Datum: 11.06.2007

Uhrzeit: 08:30-11:30 Uhr
Wetter: wolkg, trocken
Analyzer: SRM-3000
Antenne: 3AX75M-3G

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Messpunkt Nr.	Freq. in MHz	SC Nr. (nur UMTS)	Betreiber	E (gem.) in dBµV/m	Kanalzahl	Aufschlag in dB	E (korr.) in dBµV/m	E in V/m	ges. GW in V/m	Prozent vom GW	S in µW/m²
1	937,0		Vodafone	119,0	1	3,0	122,0	1,259	42,09	2,991	4203,96
	948,0		Vodafone	110,6	1	3,0	113,6	0,479	42,34	1,131	607,66
	949,6		Vodafone	88,8	1	3,0	91,8	0,039	42,37	0,092	4,01
Summen								1,35		3,20	4815,6
2	937,0		Vodafone	82,1	1	3,0	85,1	0,018	42,09	0,043	0,86
	948,0		Vodafone	97,6	1	3,0	100,6	0,107	42,34	0,253	30,46
	949,6		Vodafone	108,6	1	3,0	111,6	0,380	42,37	0,897	383,41
	1844,0		O ₂	95,4	1	3,0	98,4	0,083	59,05	0,141	18,35
	Summen							0,40		0,94	433,1
3	940,4		T-Mobile	101,1	1	3,0	104,1	0,160	42,17	0,380	68,18
	954,4		T-Mobile	105,2	1	3,0	108,2	0,257	42,48	0,605	175,25
	948,0		Vodafone	86,3	1	3,0	89,3	0,029	42,34	0,069	2,26
	949,6		Vodafone	96,6	1	3,0	99,6	0,095	42,37	0,225	24,19
	1837,8		O ₂	103,9	1	3,0	106,9	0,221	58,95	0,375	129,91
	1844,0		O ₂	91,0	1	3,0	94,0	0,050	59,05	0,085	6,66
	1858,2		E-Plus	102,0	1	3,0	105,0	0,178	59,27	0,300	83,88
	1859,0		E-Plus	90,3	1	3,0	93,3	0,046	59,28	0,078	5,67
	2132,6	1	E-Plus	75,3	1	6,0	81,3	0,012	61,00	0,019	0,36
	2132,6	208	E-Plus	71,0	1	6,0	77,0	0,007	61,00	0,012	0,13
	2132,6	212	E-Plus	98,4	1	6,0	104,4	0,166	61,00	0,272	73,06
	2167,2	7	T-Mobile	92,1	1	6,0	98,1	0,080	61,00	0,132	17,13
	2167,2	335	T-Mobile	81,0	1	6,0	87,0	0,022	61,00	0,037	1,33
Summen								0,47		0,95	588,0
4	940,4		T-Mobile	106,5	1	3,0	109,5	0,299	42,17	0,708	236,41
	940,0		T-Mobile	91,9	1	3,0	94,9	0,056	42,16	0,132	8,20
	954,4		T-Mobile	106,8	1	3,0	109,8	0,309	42,48	0,727	253,31
	1836,6		O ₂	105,8	1	3,0	108,8	0,275	58,93	0,467	201,21
	1837,8		O ₂	115,8	1	3,0	118,8	0,871	58,95	1,478	2012,14
	1843,6		O ₂	103,1	1	3,0	106,1	0,202	59,04	0,342	108,06
	1858,2		E-Plus	112,9	1	3,0	115,9	0,624	59,27	1,052	1031,95
	1864,6		E-Plus	98,3	1	3,0	101,3	0,116	59,37	0,196	35,78
	1872,6		E-Plus	94,1	1	3,0	97,1	0,072	59,50	0,120	13,60
	2132,6	208	E-Plus	92,0	1	6,0	98,0	0,079	61,00	0,130	16,74
	2132,6	210	E-Plus	88,9	1	6,0	94,9	0,056	61,00	0,091	8,20
	2132,6	212	E-Plus	108,1	1	6,0	114,1	0,507	61,00	0,831	681,80
	2157,2	445	O ₂	93,2	1	6,0	99,2	0,091	61,00	0,150	22,06
	2167,2	7	T-Mobile	108,2	1	6,0	114,2	0,513	61,00	0,841	697,68
2167,2	314	T-Mobile	87,0	1	6,0	93,0	0,045	61,00	0,073	5,29	
2167,2	335	T-Mobile	95,2	1	6,0	101,2	0,115	61,00	0,188	34,97	
Summen								1,42		2,49	5367,4

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
5	940,4		T-Mobile	94,2	1	3,0	97,2	0,072	42,17	0,172	13,92
	940,0		T-Mobile	92,7	1	3,0	95,7	0,061	42,16	0,145	9,86
	954,4		T-Mobile	103,4	1	3,0	106,4	0,209	42,48	0,492	115,79
	1836,6		O ₂	97,7	1	3,0	100,7	0,108	58,93	0,184	31,16
	1837,8		O ₂	111,0	1	3,0	114,0	0,501	58,95	0,850	666,28
	1843,6		O ₂	101,4	1	3,0	104,4	0,166	59,04	0,281	73,06
	1858,2		E-Plus	102,0	1	3,0	105,0	0,178	59,27	0,300	83,88
	1864,6		E-Plus	87,3	1	3,0	90,3	0,033	59,37	0,055	2,84
	1872,6		E-Plus	99,9	1	3,0	102,9	0,140	59,50	0,235	51,72
	2132,6	208	E-Plus	86,9	1	6,0	92,9	0,044	61,00	0,072	5,17
	2132,6	210	E-Plus	95,1	1	6,0	101,1	0,114	61,00	0,186	34,17
	2132,6	212	E-Plus	91,1	1	6,0	97,1	0,072	61,00	0,117	13,60
	2157,2	445	O ₂	98,5	1	6,0	104,5	0,168	61,00	0,275	74,76
	2167,2	7	T-Mobile	99,2	1	6,0	105,2	0,182	61,00	0,298	87,83
	2167,2	314	T-Mobile	92,7	1	6,0	98,7	0,086	61,00	0,141	19,66
2167,2	335	T-Mobile	68,6	1	6,0	74,6	0,005	61,00	0,009	0,08	
Summen								0,70		1,23	1283,8
6	940,4		T-Mobile	100,4	1	3,0	103,4	0,148	42,17	0,351	58,03
	940,0		T-Mobile	99,5	1	3,0	102,5	0,133	42,16	0,316	47,17
	954,4		T-Mobile	115,6	1	3,0	118,6	0,851	42,48	2,004	1921,58
	1836,6		O ₂	105,6	1	3,0	108,6	0,269	58,93	0,457	192,16
	1837,8		O ₂	122,2	1	3,0	125,2	1,820	58,95	3,087	8783,32
	1843,6		O ₂	102,1	1	3,0	105,1	0,180	59,04	0,305	85,83
	1858,2		E-Plus	112,5	1	3,0	115,5	0,596	59,27	1,005	941,15
	1864,6		E-Plus	99,5	1	3,0	102,5	0,133	59,37	0,225	47,17
	1872,6		E-Plus	108,2	1	3,0	111,2	0,363	59,50	0,610	349,67
	2132,6	208	E-Plus	93,1	1	6,0	99,1	0,090	61,00	0,148	21,56
	2132,6	210	E-Plus	107,9	1	6,0	113,9	0,495	61,00	0,812	651,12
	2132,6	212	E-Plus	101,0	1	6,0	107,0	0,224	61,00	0,367	132,94
	2157,2	445	O ₂	111,8	1	6,0	117,8	0,776	61,00	1,273	1598,30
	2167,2	7	T-Mobile	106,5	1	6,0	112,5	0,422	61,00	0,691	471,69
	2167,2	314	T-Mobile	96,3	1	6,0	102,3	0,130	61,00	0,214	45,05
2167,2	335	T-Mobile	93,6	1	6,0	99,6	0,095	61,00	0,157	24,19	
Summen								2,41		4,30	15370,9
7	942,2		T-Mobile	111,0	1	3,0	114,0	0,501	42,21	1,187	666,28
	952,6		T-Mobile	94,0	1	3,0	97,0	0,071	42,44	0,167	13,29
	954,2		T-Mobile	85,8	1	3,0	88,8	0,028	42,47	0,065	2,01
Summen								0,51		1,20	681,6

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
8	922,0		GSM-R	86,0	1	3,0	89,0	0,028	41,75	0,068	2,11
	927,6		E-Plus	90,7	1	3,0	93,7	0,048	41,88	0,116	6,22
	938,4		T-Mobile	92,9	1	3,0	95,9	0,062	42,12	0,148	10,32
	942,0		O ₂	97,0	1	3,0	100,0	0,100	42,20	0,237	26,53
	948,8		Vodafone	90,1	1	3,0	93,1	0,045	42,35	0,107	5,42
	957,4		Vodafone	90,8	1	3,0	93,8	0,049	42,55	0,115	6,36
	1836,6		O ₂	94,0	1	3,0	97,0	0,071	58,93	0,120	13,29
	1844,0		O ₂	88,1	1	3,0	91,1	0,036	59,05	0,061	3,42
	1852,4		Vodafone	85,6	1	3,0	88,6	0,027	59,18	0,045	1,92
	1861,8		E-Plus	96,3	1	3,0	99,3	0,092	59,33	0,156	22,58
	1864,0		E-Plus	86,5	1	3,0	89,5	0,030	59,36	0,050	2,36
	1872,4		E-Plus	89,0	1	3,0	92,0	0,040	59,50	0,067	4,20
	1874,6		E-Plus	93,3	1	3,0	96,3	0,065	59,53	0,110	11,32
	2112,8	64	Vodafone	81,9	1	6,0	87,9	0,025	61,00	0,041	1,64
	2112,8	72	Vodafone	75,6	1	6,0	81,6	0,012	61,00	0,020	0,38
	2112,8	144	Vodafone	79,7	1	6,0	85,7	0,019	61,00	0,032	0,99
	2132,6	215	E-Plus	70,5	1	6,0	76,5	0,007	61,00	0,011	0,12
	2132,6	219	E-Plus	73,9	1	6,0	79,9	0,010	61,00	0,016	0,26
	2132,6	223	E-Plus	83,7	1	6,0	89,7	0,031	61,00	0,050	2,48
	2132,6	225	E-Plus	73,1	1	6,0	79,1	0,009	61,00	0,015	0,22
2167,2	0	T-Mobile	88,4	1	6,0	94,4	0,052	61,00	0,086	7,31	
2167,2	64	T-Mobile	80,5	1	6,0	86,5	0,021	61,00	0,035	1,18	
2167,2	145	T-Mobile	83,8	1	6,0	89,8	0,031	61,00	0,051	2,53	
2167,2	221	T-Mobile	74,2	1	6,0	80,2	0,010	61,00	0,017	0,28	
2167,2	283	T-Mobile	71,8	1	6,0	77,8	0,008	61,00	0,013	0,16	
2167,2	462	T-Mobile	70,9	1	6,0	76,9	0,007	61,00	0,011	0,13	
2167,2	492	T-Mobile	87,5	1	6,0	93,5	0,047	61,00	0,078	5,94	
Summen								0,23		0,46	139,6
9	922,0		GSM-R	90,0	1	3,0	93,0	0,045	41,75	0,107	5,29
	935,8		Vodafone	96,2	1	3,0	99,2	0,091	42,06	0,217	22,06
	938,6		T-Mobile	95,7	1	3,0	98,7	0,086	42,13	0,204	19,66
	948,8		Vodafone	86,7	1	3,0	89,7	0,031	42,35	0,072	2,48
	1843,4		O ₂	89,1	1	3,0	92,1	0,040	59,04	0,068	4,30
	1872,4		E-Plus	87,6	1	3,0	90,6	0,034	59,50	0,057	3,05
Summen							0,15		0,34	56,8	
10	942,0		T-Mobile	104,2	1	3,0	107,2	0,229	42,20	0,543	139,21
	950,0		Vodafone	115,7	1	3,0	118,7	0,861	42,38	2,032	1966,34
	951,6		T-Mobile	89,6	1	3,0	92,6	0,043	42,42	0,101	4,83
	956,6		Vodafone	87,5	1	3,0	90,5	0,033	42,53	0,079	2,98
	959,8		T-Mobile	110,1	1	3,0	113,1	0,452	42,60	1,061	541,58
	1837,6		O ₂	110,8	1	3,0	113,8	0,490	58,94	0,831	636,30
	1838,4		O ₂	101,3	1	3,0	104,3	0,164	58,96	0,278	71,39
	1844,4		O ₂	88,1	1	3,0	91,1	0,036	59,05	0,061	3,42
	1861,8		E-Plus	112,7	1	3,0	115,7	0,610	59,33	1,027	985,50
	1863,2		E-Plus	103,7	1	3,0	106,7	0,216	59,35	0,364	124,07
	1874,6		E-Plus	92,0	1	3,0	95,0	0,056	59,53	0,094	8,39
	2112,8	56	Vodafone	82,0	1	6,0	88,0	0,025	61,00	0,041	1,67
	2112,8	64	Vodafone	91,0	1	6,0	97,0	0,071	61,00	0,116	13,29
	2112,8	72	Vodafone	73,3	1	6,0	79,3	0,009	61,00	0,015	0,23
	2132,6	221	E-Plus	83,7	1	6,0	89,7	0,031	61,00	0,050	2,48
	2132,6	223	E-Plus	99,0	1	6,0	105,0	0,178	61,00	0,292	83,88
	2157,2	412	O ₂	87,8	1	6,0	93,8	0,049	61,00	0,080	6,36
	2167,2	64	T-Mobile	91,0	1	6,0	97,0	0,071	61,00	0,116	13,29
	2167,2	75	T-Mobile	108,2	1	6,0	114,2	0,513	61,00	0,841	697,68
	2167,2	168	T-Mobile	86,7	1	6,0	92,7	0,043	61,00	0,071	4,94
Summen							1,41		2,89	5307,8	

Legende zu obigen Tabellen:

- Spalte 1:** Nummerierung der Messpunkte.
- Spalte 2:** Bei GSM-Signalen: Frequenz des für jede Senderichtung vorhandenen Signalisierungskanals (BCCH) in MHz. Bei UMTS-Signalen (Trägerfrequenzen zwischen 2110 und 2170 MHz): Mittenfrequenz des gemessenen Kanals in MHz.
- Spalte 3:** Scramblingcodenummer des gemessenen Signalisierungskanals (nur bei UMTS-Signalen).
- Spalte 4:** Betreiberzuordnung.
- Spalte 5:** Vor Ort gemessene Feldstärke in dB μ V/m.
- Spalte 6:** Summe der von der Bundesnetzagentur genehmigten Kanäle.
- Spalte 7:** Aufschlagfaktor für die Gesamtmessunsicherheit des Verfahrens (3 dB; K = 2).
Aufgrund der technischen Angaben der Betreiber wird bei UMTS-Messungen an dieser Stelle zusätzlich der Hochrechnungsfaktor auf maximale Anlagenauslastung eingebracht (10 dB bei T-Mobile, Vodafone und E-Plus bzw. 14,8 dB bei O₂), daher ergibt sich in den UMTS-Zeilen ein Aufschlagfaktor von insgesamt 13 dB (bei T-Mobile, Vodafone und E-Plus) bzw. 17,8 dB (bei O₂).
- Spalte 8:** Hochgerechnete Feldstärke für Maximalauslastung inkl. Messunsicherheitszuschlag
<Spalte 8> = <Spalte 5> + 10·log (<Spalte 6>) + <Spalte 7>.
- Spalte 9:** Umrechnung des Wertes aus Spalte 8 von dB μ V/m in V/m.
- Spalte 10:** Für die gemessene Frequenz gültiger Grenzwert nach 26. BImSchV (10 MHz - 300 GHz) bzw. nach EU-Ratsempfehlung (für Frequenzen unter 10 MHz).
- Spalte 11:** Quotient aus Spalte 9 und Spalte 10 in Prozent.
- Spalte 12:** Umrechnung des Wertes aus Spalte 9 von V/m in Mikrowatt/m².

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

Immissionen, verursacht durch Tonrundfunk- und TV-Sender:

Ort: Bayreuth
Durchf. Dr. Wuschek
Signal: Tonrundfunk/TV
Datum: 11.08.2007
Uhrzeit: 08:30-11:30 Uhr
Wetter: wolkig, trocken
Analyzer: SRM-3000
Antenne: 3AX 75M-3G

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Messpunkt Nr.	Freq. in MHz	Programm	E (gem.) in dB μ V/m	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
8	104,3	Mainwelle	104,4	3,0	107,4	0,234	27,50	0,852	145,8
	103,2	Antenne Bayern	94,8	3,0	97,8	0,078	27,50	0,282	16,0
	90,7	BR 1	94,5	3,0	97,5	0,075	27,50	0,273	14,9
	99,4	BR 3	94,4	3,0	97,4	0,074	27,50	0,270	14,6
	100,3	DLF	94,1	3,0	97,1	0,072	27,50	0,260	13,6
	96,0	BR 2	94,0	3,0	97,0	0,071	27,50	0,257	13,3
	107,1	BR 5	88,7	3,0	91,7	0,038	27,50	0,140	3,9
	102,3	BR 4	88,1	3,0	91,1	0,036	27,50	0,131	3,4
	92,7	Galaxy	85,6	3,0	88,6	0,027	27,50	0,098	1,9
	543,25	ZDF	111,8	3,0	114,8	0,550	32,05	1,715	801,0
	735,25	BR 3	114,9	3,0	117,9	0,785	37,28	2,106	1635,5
Summen						1,00		2,92	2664,0

Legende zu obiger Tabelle:

- Spalte 1:** Nummerierung der Messpunkte
Spalte 2: Frequenz des gemessenen Signals in MHz
Spalte 3: Funkdienst mit Programm- und Senderzuordnung (so weit bekannt)
Spalte 4: Vor Ort gemessene Feldstärke in dB μ V/m
Spalte 5: Aufschlagfaktor für die Gesamtmessunsicherheit des Verfahrens (3 dB; K = 2)
Spalte 6: Hochgerechnete Feldstärke für inkl. Messunsicherheitszuschlag in dB μ V/m
 <Spalte 6> = <Spalte 4> + <Spalte 5>
Spalte 7: Umrechnung des Wertes aus Spalte 6 von dB μ V/m in V/m
Spalte 8: Für die gemessene Frequenz gültiger Grenzwert nach 26. BImSchV (10 MHz - 300 GHz) bzw. nach EU-Ratsempfehlung (für Frequenzen unter 10 MHz)
Spalte 9: Quotient aus Spalte 7 und Spalte 8 in Prozent
Spalte 10: Umrechnung des Wertes aus Spalte 7 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

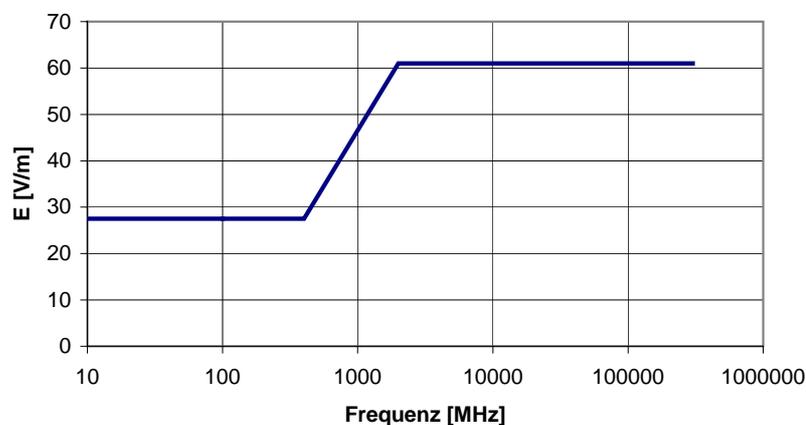


Bild 1: Grafische Darstellung der Grenzwerte (elektrische Feldstärke) nach 26. BImSchV für Hochfrequenzanlagen

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

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

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

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

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

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

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

Um diese Sicherheit zu gewährleisten, ist der *Basisgrenzwert* so gewählt, dass er um den Faktor 10 niedriger liegt, als die spezifische Absorptionsrate, ab der Wirkungen auf den Menschen wissenschaftlich gesichert nachgewiesen werden können. Bei Personen, die im Rahmen ihrer *beruflichen Tätigkeit* während der gesamten täglichen Arbeitszeit (typ. 6 bis 8 Std.) hochfrequenten Feldern ausgesetzt sind, dürfen also maximal Immissionen auftreten, die um den *Faktor 10 unter der Grenze für nachgewiesene Gesundheitsbeeinträchtigungen* liegen.

Aus Gründen einer *zusätzlichen Sicherheit*, wird für die *Allgemeinbevölkerung* (d.h. alle Personengruppen) der *Grenzwert für die Dauerexposition* (24h-Wert) nochmals um den Faktor 5 gegenüber dem Arbeitsplatzwert reduziert, so dass hier insgesamt eine *Unterschreitung um den Faktor 50 bezüglich wissenschaftlich nachgewiesener negativer Gesundheitswirkungen* vorliegt.

Da die spezifische Absorptionsrate SAR in Körpern im allgemeinen schwierig zu bestimmen ist, werden in einem weiteren Schritt *"abgeleitete Grenzwerte"* für die leichter zu messende *elektrische* und *magnetische Feldstärke* aus den Basisgrenzwerten ermittelt. Sie sind so gewählt, dass bei einer Einhaltung der abgeleiteten Grenzwerte auf jeden Fall sichergestellt ist, dass auch die dazugehörigen Basisgrenzwerte unterschritten werden.

Das eben beschriebene Verfahren wird im folgenden Bild graphisch dargestellt.

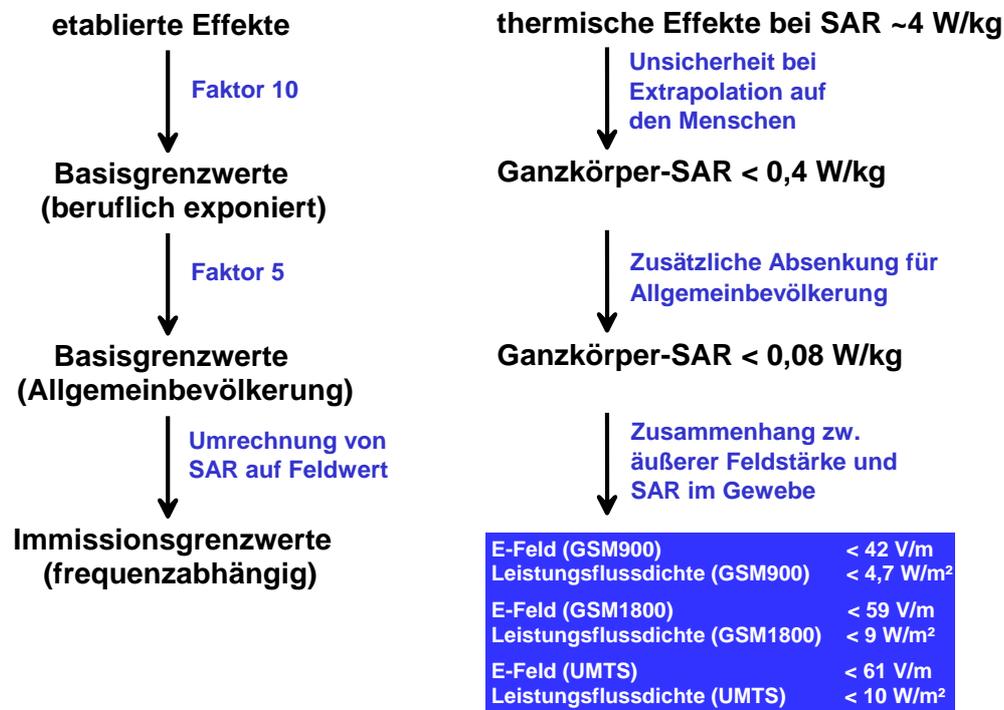
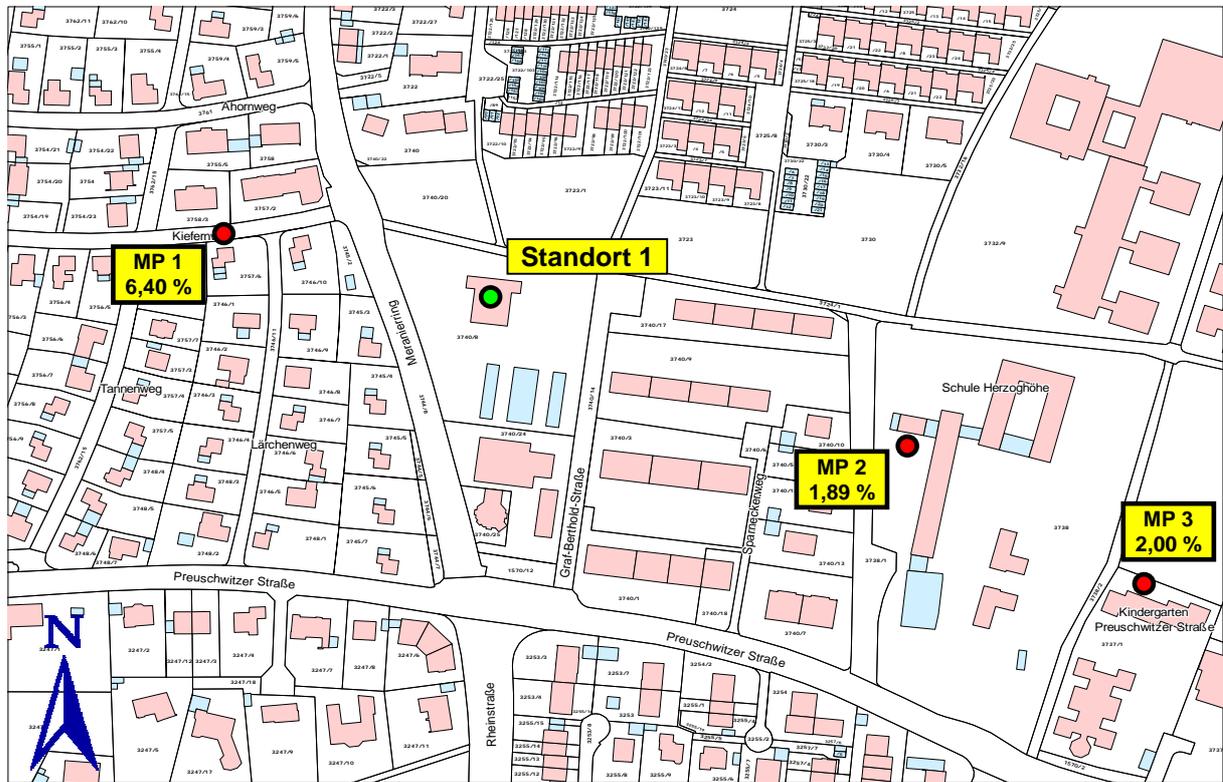


Bild 2: Darstellung der Entstehung internationaler Grenzwertempfehlungen

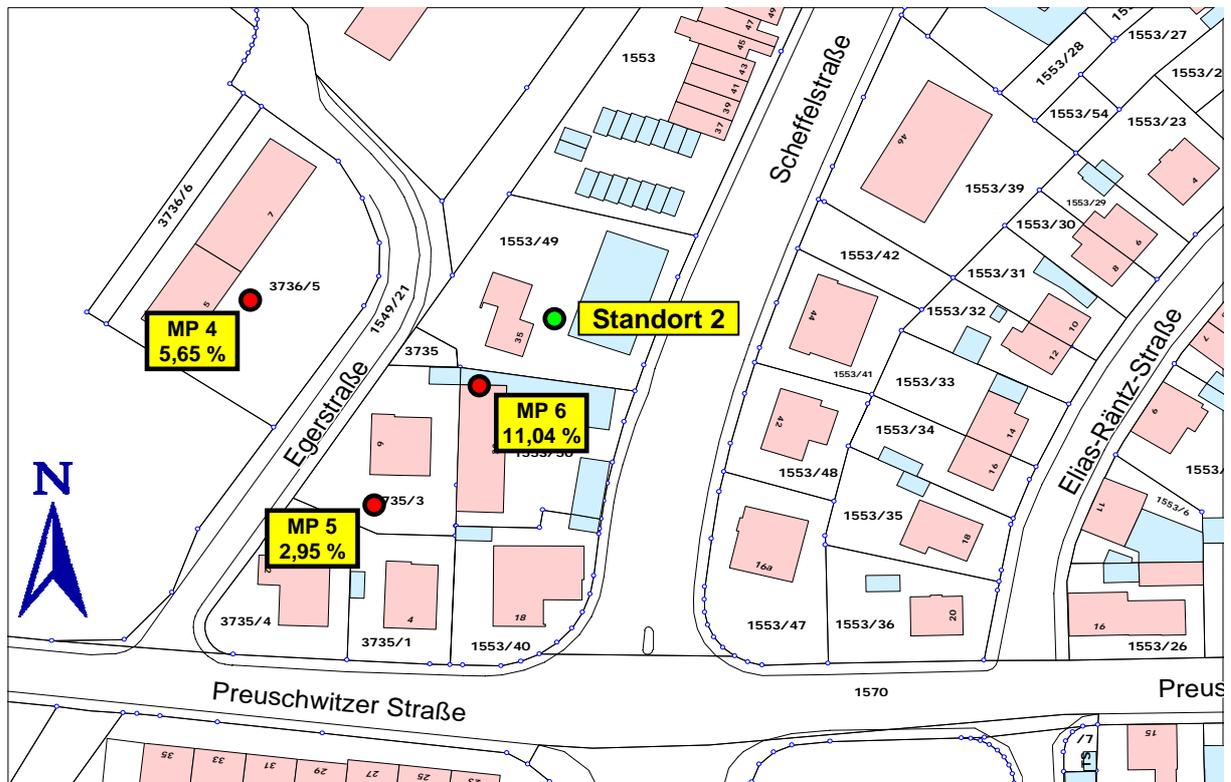
Um zu berücksichtigen, dass in manchen Situationen die einzelnen Körperteile sehr unterschiedlich den elektromagnetischen Feldern ausgesetzt sein können (beispielsweise wirken bei Benutzung von Mobiltelefonen die hochfrequenten elektromagnetischen Felder hauptsächlich auf den Kopf ein) bzw. dass bestimmte Körperteile empfindlicher als andere reagieren (z.B. das Auge), hat es sich als zweckmäßig erwiesen, national wie international für Teilbereiche des Körpers zusätzlich "*Teilkörpergrenzwerte*" festzusetzen. Diese werden z.B. bei der Bewertung der Immissionen, verursacht durch die Benutzung von Mobiltelefonen angewendet.

Anlage 3: Lagepläne mit Antennenstandorten und den Messpunkten

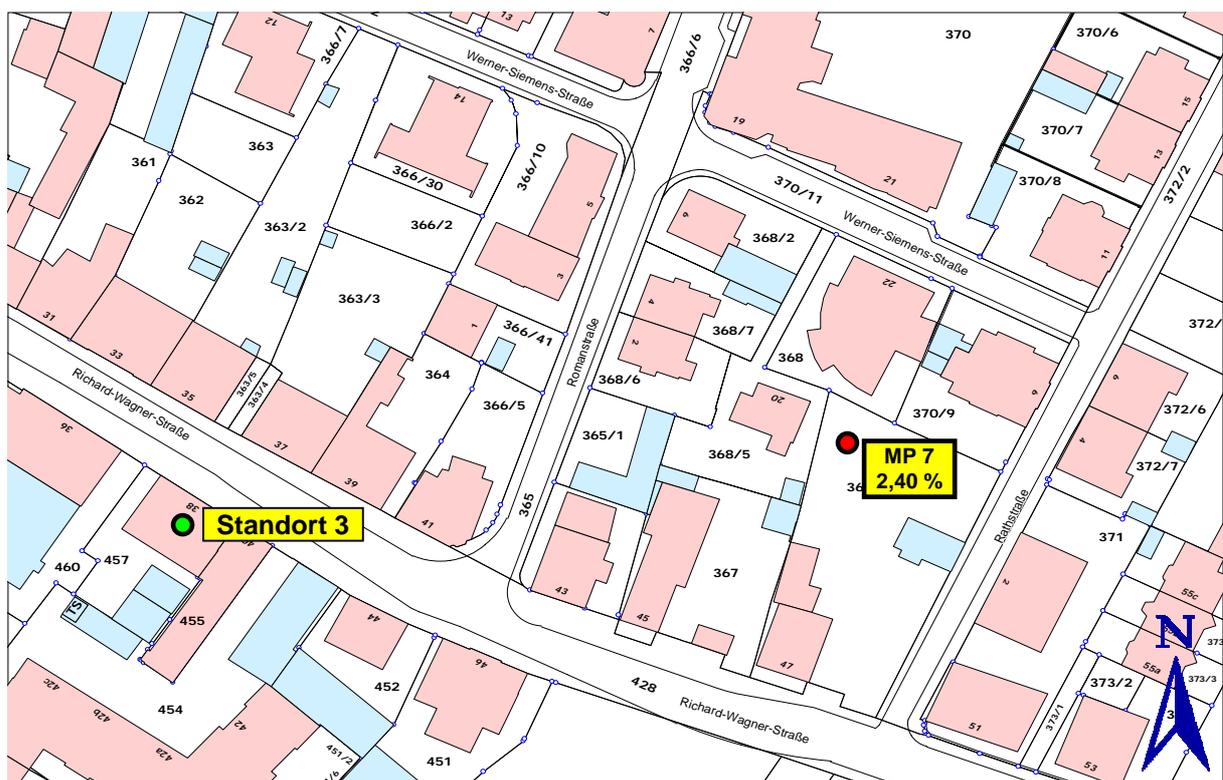
Messpunkte in der Umgebung des geplanten Standortes "Kiefernweg 2":



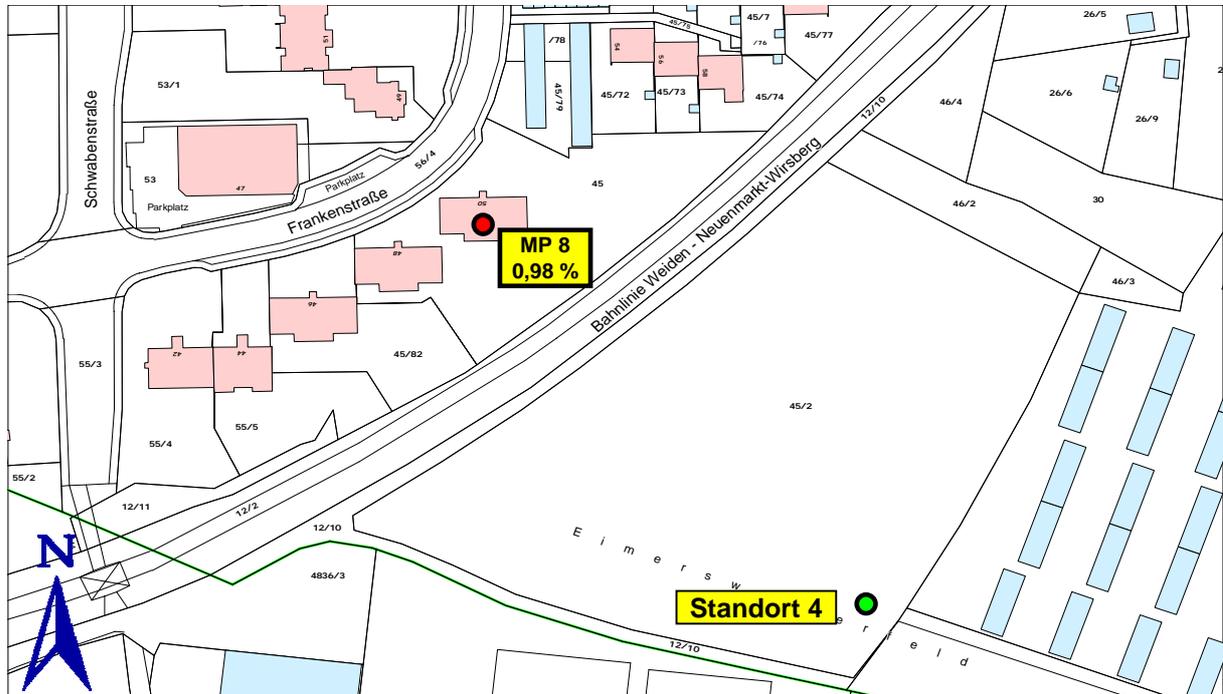
Messpunkte in der Umgebung des Standortes "Scheffelstr. 35":



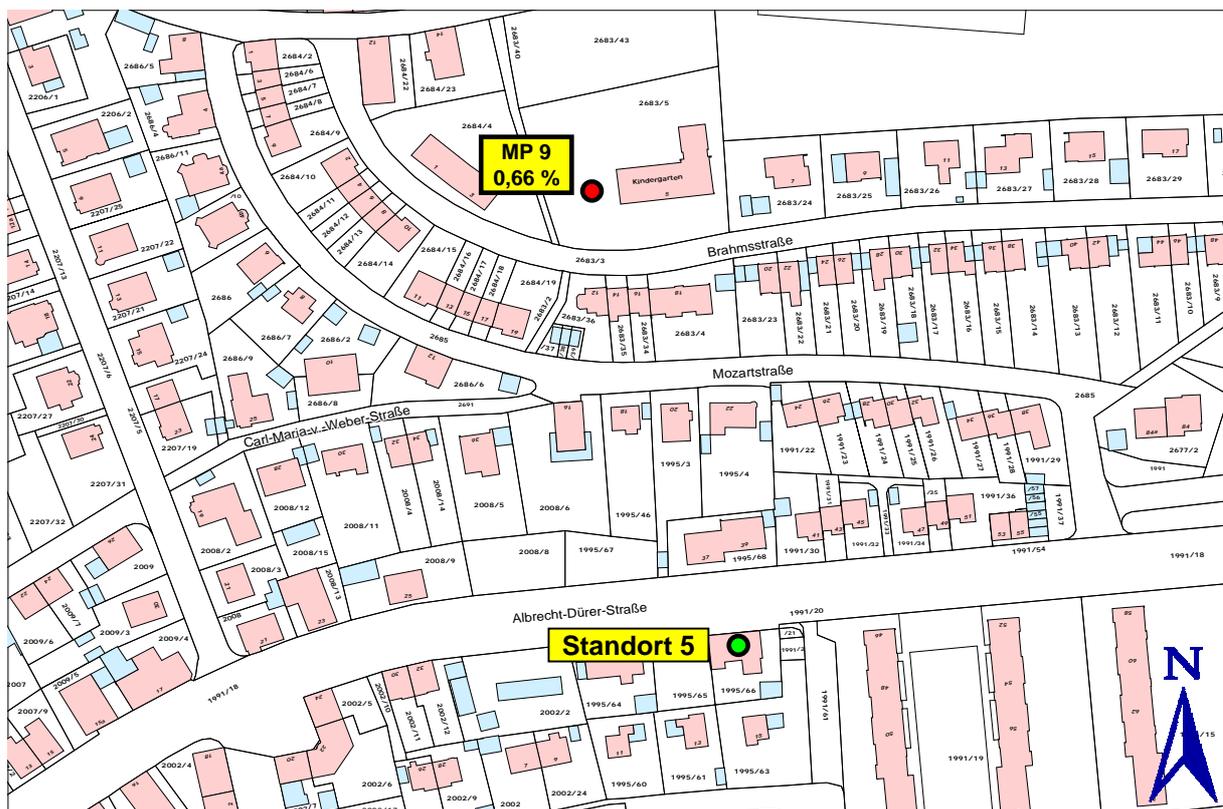
Messpunkt in der Umgebung des geplanten Standortes "Richard-Wagner-Str. 38":



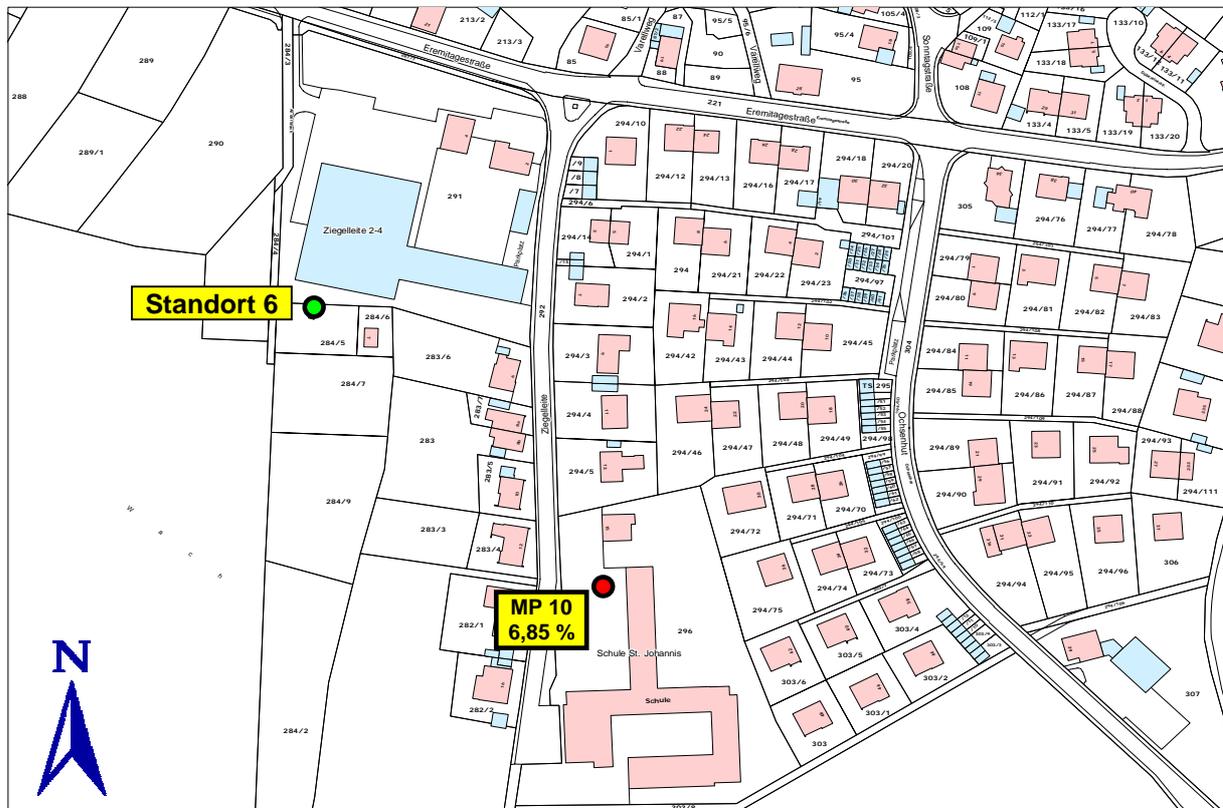
Messpunkt in der Umgebung des im Bau befindlichen Standortes " Colmdorf / Hasenweg ":



Messpunkt in der Umgebung des im Bau befindlichen Standortes "Albrecht-Dürer-Str. 42":



Messpunkt in der Umgebung des Standortes "Ziegelreihe 2-4":



An jedem Messpunkt ist der festgestellte Immissionswert (für Maximalauslastung und Vollausbau der Stationen) in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV (bezüglich der elektrischen Feldstärke) angegeben.

Anlage 4: Fotos



Bild 1: Messpunkt 1



Bild 2: Messpunkt 2



Bild 3: Messpunkt 3



Bild 4: Messpunkt 4 mit Standort 2 im Hintergrund



Bild 5: Messpunkt 5



Bild 6: Standort 2 von Messpunkt 5 aus gesehen



Bild 7: Messpunkt 7



Bild 8: Messpunkt 9



Bild 9: Messpunkt 10



Bild 10: Standort 6 von Messpunkt 10 aus gesehen