

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: 11/046

Ort und Datum: Regensburg, 04. November 2011

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
4.1	Ergebnis der "Vorhermessung"	11
4.2	Veränderung der Immission im Vergleich zur "Vorhermessung"	13
5	Schlussfolgerungen	14
6	Literaturverzeichnis	15
7	Anlagen	16
	Anlage 1: Ausführliche Ergebnistabellen	16
	Anlage 2: Grenzwerte und ihre Entstehung	22
	Anlage 3: Lagepläne mit Anlagenstandorten und Messpunkten	25
	Anlage 4: Fotos	29

1 Aufgabenstellung

Aufgrund der Inbetriebnahme neuer bzw. der Erweiterung bestehender Mobilfunkstandorte wurde die EM-Institut GmbH von der Stadt Bayreuth beauftragt, an einigen Punkten im Stadtgebiet die elektromagnetischen 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:

Standort Nr.	Ort	Betreiberfirma (Mobilfunksystem)
1	Carl-Kolb-Str. 4	Telefónica (GSM + UMTS)
2	Ritter-von-Eitzenberger-Str. 27	Telekom (GSM + UMTS)
3	Ritter-von-Eitzenberger-Str. 24	Vodafone (UMTS)
4	Ziegelleite 2-4	Telekom (GSM + UMTS), Vodafone (GSM + UMTS), E-Plus (GSM + UMTS), Telefónica (GSM + UMTS)
5	Ottostr. 3	Telekom (UMTS)
6	Sophian-Kolb-Str. 5	Telekom (UMTS)
7	Riedinger Str. 15	Telekom (GSM)
8	Weiherrstr. 31	Telefónica (UMTS)
9	Dieselstr. 17	Telekom (UMTS)
10	St-Nikolaus-Str. 38	Vodafone (UMTS)
11	Fantaisiestr. 38	Telekom (GSM)

Quelle: Angaben des Auftraggebers, sowie Auskünfte der Netzbetreiber.

Tab. 1: In der 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 Fragen möglich werden:

- **Wie groß, im Vergleich zum gesetzlichen Grenzwert, sind die Immissionen, die derzeit durch Mobilfunksignale an den Messpunkten erzeugt werden?**
- **Wie hat sich die Immission an den Messpunkten durch die Inbetriebnahme neuer Anlagen verändert?**

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 Größe der Immissionen in der unmittelbaren Umgebung einer Mobilfunksendeanlage.

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



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

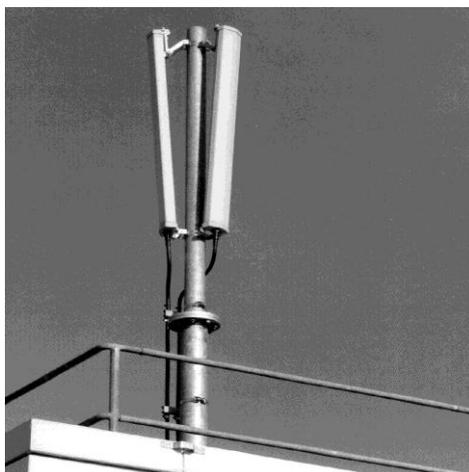


Abb. 2: Zwei Sektorantennen, montiert auf einem Flachdach (hier mit mechanischer Strahlabsenkung, engl. "Downtilt").

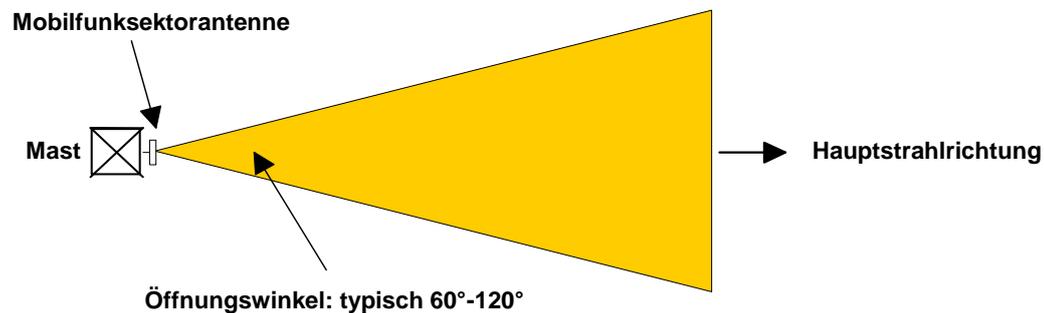


Abb. 3: Horizontales Abstrahlverhalten einer Mobilfunksektorantenne.

An den meisten Standorten werden Sektorantennen verwendet.

In der Vertikalen hingegen senden alle Mobilfunkantennen, ähnlich wie die Scheinwerfer eines Leuchtturmes, sehr stark gebündelt (Abb. 4). Der Hauptabgabebereich der elektromagnetischen Energie wird als "Öffnungswinkel" der Antenne bezeichnet. Er beträgt vertikal typisch zirka 5 bis 15°. 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").

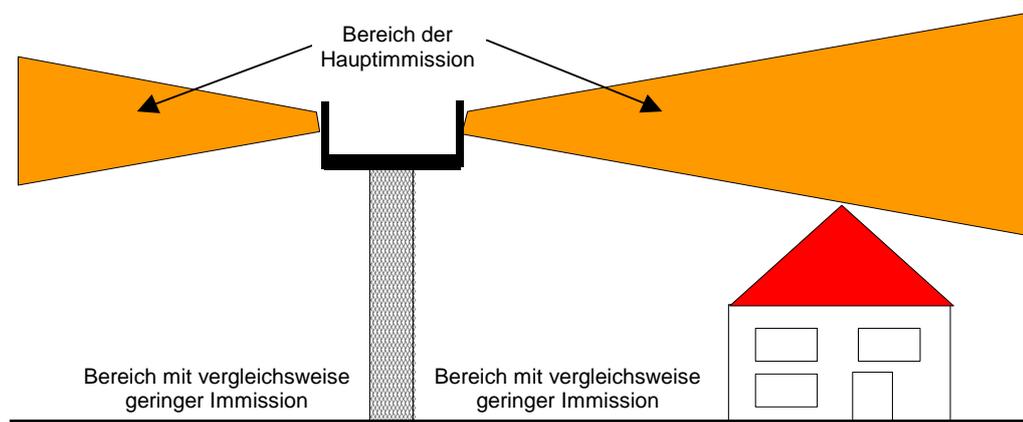


Abb. 4: Vertikales Bündelungsverhalten von Mobilfunkantennen (prinzipielle Darstellung).

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

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

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

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

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

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

Falls tiefer gehende Informationen zum Themenkomplex "Immissionen durch Mobilfunk" gewünscht werden: Unter

http://www.lfu.bayern.de/strahlung/fachinformationen/emf_minimierung_schirmung/index.htm

findet sich ein ausführlicher Untersuchungsbericht über Möglichkeiten und Grenzen der Minimierung von Mobilfunkimmissionen.

3 Durchführung der Messungen

3.1 Messgrößen für hochfrequente Felder

Für die Beurteilung der elektromagnetischen Immissionen in der Umgebung von Hochfrequenzquellen, werden bei Frequenzen oberhalb 30 Megahertz üblicherweise die folgenden Größen verwendet:

- Der Effektivwert der elektrischen Feldstärke E in Volt pro Meter (V/m).
- Die Leistungsflussdichte S in Watt pro Quadratmeter (W/m^2) oder Mikrowatt pro Quadratmeter ($\mu W/m^2$).

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

Im "Fernfeld" einer Antenne stehen Leistungsflussdichte und elektrische Feldstärke in einem festen Verhältnis zueinander. Beide Größen sind im Fernfeld äquivalent, ähnlich wie Stromaufnahme und Leistungsverbrauch bei Elektrogeräten. Bei allen hier durchgeführten Messungen kann von Fernfeldbedingungen ausgegangen werden, da die Messpunkte ausreichend weit von der Antenne entfernt sind. Für die Beschreibung der Immission genügt also die Angabe einer der beiden Größen.

In der folgenden Untersuchung wird primär die elektrische Feldstärke E bzw. ihr Grenzwert-Ausschöpfungsgrad als Größe für die Immissionswerte verwendet.

3.2 Verwendete Messgeräte, Messverfahren

Im Rahmen der Immissionsmessungen wurde folgende Messausrüstung eingesetzt:

1. Feldanalysatorsystem Narda SRM-3006 (Ser. Nr. C-0034)
2. Isotropantenne 3AX 0.4-6G (Ser. Nr. B-0090)

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") [7].

GSM-Signale werden mit einer Auflösebandbreite von 0,2 MHz, UMTS-Signale hingegen mit einer Bandbreite von 5 MHz erfasst. Als Detektor kommt der Peak-Detektor (bei GSM) bzw. der RMS-Detektor (bei UMTS) zum Einsatz.

Bei Vorhandensein mehrerer etwa gleich großer Immissionen wurde entsprechend der Vorgaben der Normen eine Summation durchgeführt, um die wirksame **Summenimmission** zu erhalten. Einzelimmissionen, die aufgrund geringer Stärke nur einen vernachlässigbar kleinen Beitrag zur Gesamtimmission liefern, wurden vernachlässigt.

3.3 Messgenauigkeit, Bestimmung der Maximalimmission

Bei derartigen Immissionsmessungen muss mit einer Messunsicherheit von typisch ± 3 dB gerechnet werden [8]. Gründe dafür sind z.B. unvermeidbare Restfehler bei der Kalibrierung der Messantennen, die entsprechende Messtoleranz des Feldanalysators und die Unsicherheit der Probenahme. 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 ändert sich 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 [9].

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 vor. Die frequenzabhängigen Dämpfungswerte der bei den Messungen gegebenenfalls eingesetzten Koaxialkabel 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 neun 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 nächsten Standort*	Sichtverbindung zu den Antennen
1	Goldkronacher Str. 7-9 (Schule Laineck)	Ca. 260 m (2)	Ja
2	Warmensteinacher Str. 87 (Am Bahndamm)	Ca. 130 m (2)	Ja
3	Sonntagstr. 5 (Kindergarten, Außenbereich)	Ca. 330 m (4)	Nein
4	Ziegelleite 15 (Schule St. Johannis, Pausenhof)	Ca. 180 m (4)	Ja
5	Weiherrstr. 17 (Kindergarten, nördlicher Außenbereich)	Ca. 175 m (5)	Ja
6	Fantaisiestr. 6 ½ (Kindergarten, Außenbereich Nordwest)	Ca. 50 m (10)	Ja
7	Fantaisiestr. 11 (vor Altstadtschule)	Ca. 150 m (11)	Ja
8	Schützenplatz, Einmündung Lisztstr.	._**	
9	Graserstraße (nördlich Kindergarten)	._**	

*: Siehe Nummerierung in Tabelle 1

**.: Kein Mobilfunkstandort in unmittelbarer Umgebung

Tab. 2: Messpunkte.

An den Punkten 1, 2, 6 und 7 wurden von uns bereits im Juni 2010 Mobilfunkimmissionsmessungen durchgeführt. Die Ergebnisse liegen der Stadtverwaltung Bayreuth vor. In Kapitel 4.2 wird daher ein Vergleich der aktuellen Messergebnisse mit den Resultaten aus 2010 durchgeführt.

Vorgenommen wurde die Messungen am 04. Oktober 2011 zwischen 15:00 und 17:20 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.

Umgebungspläne mit eingezeichneten Anlagenstandorten und den Messpunkten sowie einige Fotos finden sich in den Anlagen 3 und 4 zu diesem Bericht.

4 Festgestellte Immissionswerte

4.1 Ergebnis der "Vorhermessung"

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

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

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

Immissionen, verursacht durch weiter entfernte Mobilfunksendeanlagen, konnten an einigen Punkten gemessen werden. Soweit sie nennenswert zur Gesamtimmission beitragen, wurden auch diese bei der Ermittlung der vorhandenen Immission berücksichtigt.

Zur besseren Verständlichkeit werden in Tabelle 3 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 ("Grenzwertausschöpfung").

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

Messpunkt Nr.	Grenzwertausschöpfung Mobilfunk (Minimalimmission)	Grenzwertausschöpfung Mobilfunk (Maximalimmission)
1	4,33 %	7,67 %
2	6,25 %	11,51 %
3	0,34 %	0,81 %
4	3,81 %	8,77 %
5	1,19 %	2,55 %
6	0,85 %	1,89 %
7	1,10 %	2,22 %
8	0,18 %	0,34 %
9	0,26 %	0,46 %

Tab. 3: Festgestellte aktuelle Immissionswerte (Grenzwertausschöpfung bezogen auf die Feldstärkegrenzwerte nach 26. BImSchV).

Nach 26. BImSchV gilt für den Mobilfunk ein Grenzwert von zirka 42 Volt/m (GSM 900), zirka 59 Volt/m (GSM 1800) bzw. 61 Volt/m (UMTS). Die folgenden beiden Abbildungen stellen die Ergebnisse der Messungen (Tabelle 3) grafisch dar:

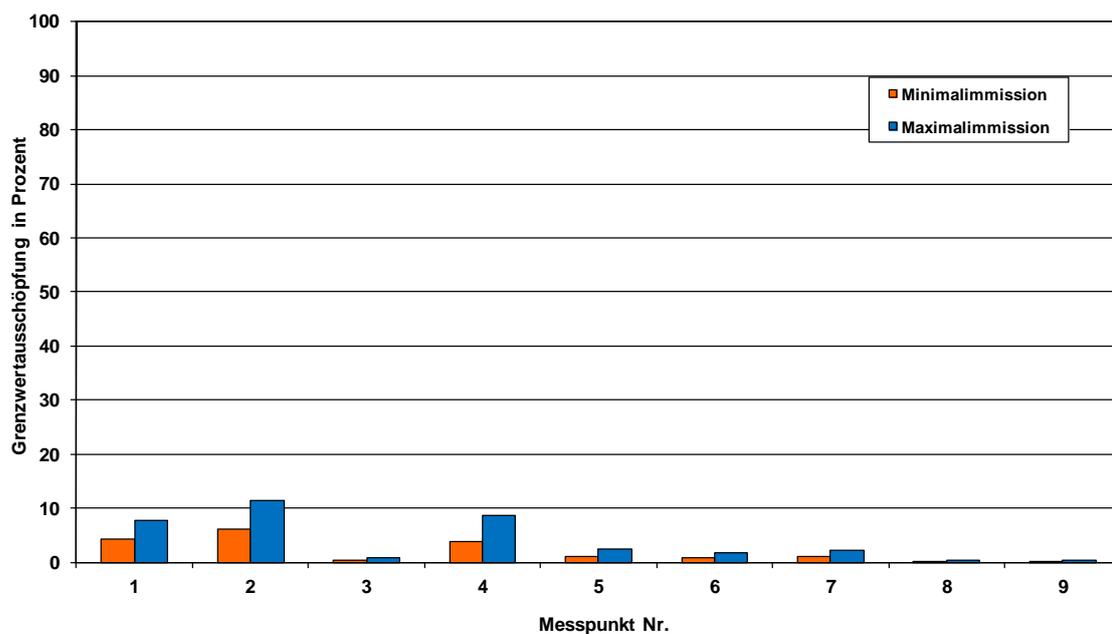


Abb. 5: Grafische Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 3 (Grenzwertausschöpfung bezogen auf die Feldstärkegrenzwerte nach 26. BImSchV).

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

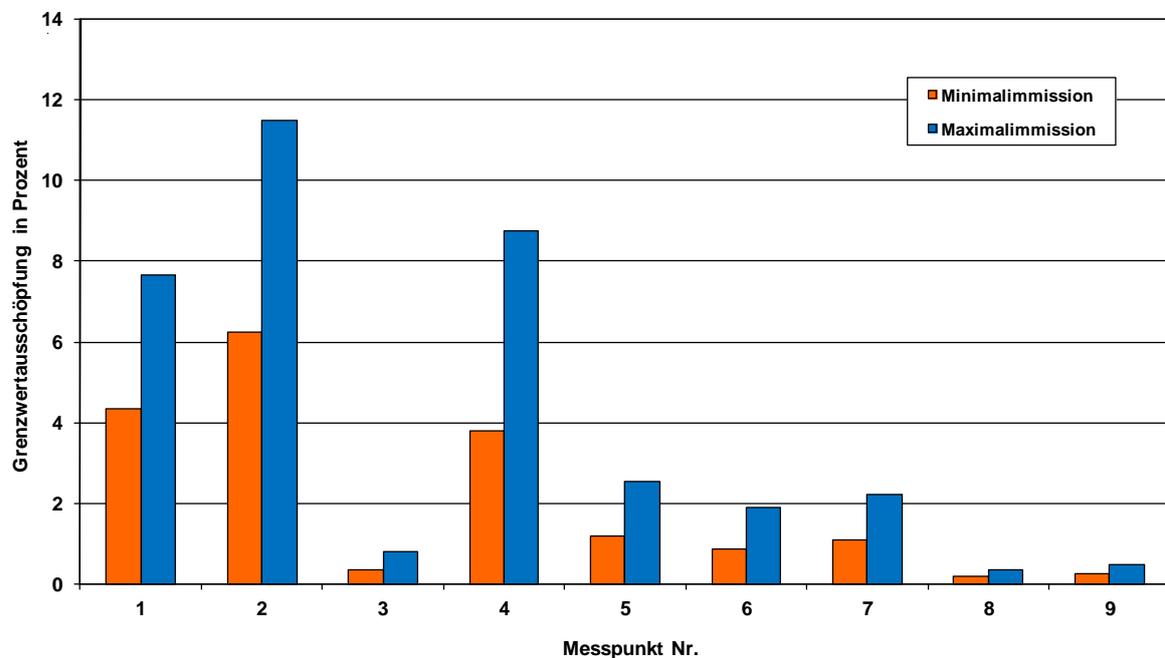


Abb. 6: Detaillierte Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 3.

4.2 Veränderung der Immission im Vergleich zur "Vorhermessung"

Ein Vergleich der Resultate der aktuellen Messung mit den Ergebnissen der "Vorhermessung" vom Juni 2010 soll Aufschluss über die Veränderung der Immissionen, verursacht durch die beiden neu errichteten Sendeanlagen (Standort 1 und 10) geben. In folgender Tabelle ist die Veränderung der Mobilfunk-Immissionswerte für die vier Messpunkte, an denen sowohl in 2010 als auch in 2011 Immissionsmessungen durchgeführt wurden, zahlenmäßig dokumentiert:

Messpunkt Nr.	Grenzwertausschöpfung Mobilfunk ("Vorhermessung"; 06/2010)	Grenzwertausschöpfung Mobilfunk ("Nachhermessung"; 10/2011)
1	4,87 %	7,67 %
2	8,34 %	11,51 %
6	1,05 %	1,89 %
7	2,15 %	2,22 %

Tab. 4: Vergleich der Immissionswerte von "Vorher-" und "Nachhermessung" (Grenzwertausschöpfung für Maximalimmission bezogen auf die 26. BImSchV).

Betrachtet man die Ergebnisse aus Tabelle 4, so kann man feststellen, dass im Vergleich zu den Ergebnissen der "Vorhermessung" an allen Messpunkten eine gewisse Zunahme der Immission zu beobachten ist. Allerdings ist diese Zunahme an den Punkten 2 und 7 als "nicht signifikant" zu bezeichnen, da die festgestellte Veränderung der Immission kleiner als die bei derartigen Immissionsmessungen immer vorhandene Messunsicherheit ist (Siehe Kapitel 3.3). An den anderen beiden Punkten (1 und 6) ist die Zunahme signifikant.

5 Schlussfolgerungen

Aus den in 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 untersuchten Punkten unterschritten. Im Rahmen der Messungen ergaben sich - für den Fall der Volllastung der verursachenden Mobilfunkanlagen - an den untersuchten Punkten (feldstärkebezogene) Grenzwertausschöpfungen zwischen 0,3 und 11,5 Prozent der maximal zulässigen Summenimmission.
- Die geringsten Immissionswerte fanden sich an den drei Punkte ohne direkte Sichtverbindung zu Mobilfunkantennen (Punkte 3, 8 und 9).
- Ein "Vorher-Nachher"-Vergleich konnte für die Punkte 1, 2, 6 und 7 durchgeführt werden. Dieser ergab für alle Messpunkte eine Zunahme der Immission. Allerdings ist diese Zunahme an den Punkten 2 und 7 als "nicht signifikant" zu bezeichnen, da die festgestellte Veränderung der Immission kleiner als die bei derartigen Immissionsmessungen immer vorhandene Messunsicherheit ist
- Um die aktuell in Bayreuth gefundenen Immissionswerte besser einordnen zu können, sei hier folgender Vergleich genannt: Im Rahmen einer Studie unter Schirmherrschaft des Bayerischen Landesamtes für Umwelt wurden im Jahr 2009 insgesamt mehr als 1.850 Messpunkte ausgewertet, die im Rahmen von ähnlichen Messkampagnen, wie hier durchgeführt, vermessen wurden [10]. Diese Auswertung ergab, dass bei Betrachtung von 1.249 Messpunkten, von denen aus Sicht zu einer Mobilfunksendeanlage bestand, an 50 Prozent der Messpunkte ein Immissionswert von 2,0 Prozent vom Grenzwert (bei Maximalauslastung und Volllastung der verursachenden Sendeanlagen) nicht überschritten wird ("Medianwert"). An vier der in Bayreuth untersuchten Punkte liegt die aktuell festgestellte Mobilfunkimmission unter, an den restlichen fünf Punkten über diesem Medianwert. Bei drei der vier Punkte, an denen Immissionen von weniger als 2 Prozent vom Grenzwert festgestellt wurden, handelte es sich allerdings um Punkte ohne direkte Sichtverbindung zu Mobilfunkantennen.

Regensburg, 04. November 2010

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] **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
- [8] **M. Wuschek**
"Feldstärkemessungen in der Umgebung von GSM-Mobilfunkbasisstationen"
EMV 2002; Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit
VDE Verlag GmbH, Berlin, Offenbach 2002, S. 683-692.
- [9] **M. Wuschek**
"Feldstärkemessungen in der Umgebung von UMTS-Mobilfunkbasisstationen"
EMV 2004; Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit
VDE Verlag GmbH, Berlin, Offenbach 2004, S. 539-548.
- [10] **Chr. Bornkessel**
"Wissenschaft(f)t Vertrauen:"; Auswertung der FEE-Immissions-Datenbank; Studie im Auftrag des Informationszentrum Mobilfunk e.V. unter Schirmherrschaft des Bayerischen Landesamtes für Umwelt; IMST GmbH, Kamp-Lintfort 2009;
www.izmf.de/download/downloads/Broschuere_Wissenschaft_Vertrauen.pdf

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 ICNIRP [2] bzw. EU-Ratsempfehlung [3] 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.

Messergebnisse Mobilfunk:

Messort:	Bayreuth														Uhrzeit:	15:00 - 17:20 Uhr
Leitung:	Dr. Wuschek														Wetter:	Sonnig, trocken
Signal:	GSM/UMTS														Analyzer:	SRM-3006
Datum:	04.10.2011														Antenne:	3AX-420M-6G

Signale, deren Intensität zu schwach waren, um auf die Gesamtmission einen nennenswerten Einfluss zu haben, wurden nicht protokolliert.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
f [MHz] / Code (UMTS)	Betreiber	GW [V/m]	E (gem.) [dBµV/m]	Aufschl. MU [dB]	Faktor min. Imm.	Emin [dBµV/m]	Emin [V/m]	Emin [% vom GW]	Smin [µW/m²]	Faktor max. Imm. (BNetzA)	Emax beant. [dBµV/m]	Emax beant. [V/m]	Emax beant. [% vom GW]	Smax beant. [µW/m²]
Messpunkt:	1													
926,4	E-Plus	41,7	99,2	3,0	1	102,2	0,129	0,309	44,02	2,0	105,2	0,182	0,437	88,04
929,2	E-Plus	41,7	90,8	3,0	1	93,8	0,049	0,117	6,36	2,0	96,8	0,069	0,166	12,73
931,0	Telefónica	41,7	97,2	3,0	1	100,2	0,102	0,245	27,78	2,0	103,2	0,145	0,347	55,55
932,4	Telefónica	41,7	119,1	3,0	1	122,1	1,274	3,054	4301,88	2,0	125,1	1,801	4,319	8603,77
933,8	Telefónica	41,7	94,1	3,0	1	97,1	0,072	0,172	13,60	2,0	100,1	0,101	0,243	27,21
940,6	Telekom	41,7	114,4	3,0	1	117,4	0,741	1,778	1457,67	6,4	125,5	1,875	4,497	9329,08
942,4	Telekom	41,7	95,4	3,0	1	98,4	0,083	0,199	18,35	6,4	106,5	0,210	0,505	117,45
953,6	Telekom	41,7	106,8	3,0	1	109,8	0,309	0,741	253,31	6,4	117,9	0,782	1,875	1621,21
1834,2	Telefónica	58,4	119,2	3,0	1	122,2	1,288	2,206	4402,09	2,0	125,2	1,822	3,120	8804,17
1838,4	Telefónica	58,4	91,0	3,0	1	94,0	0,050	0,086	6,66	2,0	97,0	0,071	0,121	13,33
1842,4	Telefónica	58,4	101,0	3,0	1	104,0	0,158	0,271	66,63	2,0	107,0	0,224	0,384	133,26
1863,6	E-Plus	58,4	91,1	3,0	1	94,1	0,051	0,087	6,82	2,0	97,1	0,072	0,123	13,64
1866,0	E-Plus	58,4	98,3	3,0	1	101,3	0,116	0,199	35,78	2,0	104,3	0,164	0,281	71,56
2112,8/70	Vodafone	61,0	91,8	3,0	2	97,8	0,078	0,127	16,02	10,7	105,1	0,180	0,295	85,69
2112,8/157	Vodafone	61,0	79,5	3,0	2	85,5	0,019	0,031	0,94	10,7	92,8	0,044	0,072	5,05
2117,6/70	Vodafone	61,0	93,9	3,0	2	99,9	0,099	0,162	25,98	10,7	107,2	0,229	0,375	138,98
2117,6/157	Vodafone	61,0	80,6	3,0	2	86,6	0,021	0,035	1,22	10,7	93,9	0,050	0,081	6,50
2132,6/26	E-Plus	61,0	87,0	3,0	2	93,0	0,045	0,073	5,31	10,0	100,0	0,100	0,164	26,53
2132,6/18	E-Plus	61,0	75,5	3,0	2	81,5	0,012	0,020	0,38	10,0	88,5	0,027	0,044	1,88
2132,6/27	E-Plus	61,0	68,0	3,0	2	74,0	0,005	0,008	0,07	10,0	81,0	0,011	0,018	0,33
2137,4/26	E-Plus	61,0	87,5	3,0	2	93,5	0,047	0,078	5,95	10,0	100,5	0,106	0,174	29,76
2137,4/18	E-Plus	61,0	76,9	3,0	2	82,9	0,014	0,023	0,52	10,0	89,9	0,031	0,051	2,59
2137,4/27	E-Plus	61,0	63,9	3,0	2	69,9	0,003	0,005	0,03	10,0	76,9	0,007	0,011	0,13
2157,2/500	Telefónica	61,0	104,1	3,0	2	110,1	0,320	0,525	272,08	30,0	121,9	1,240	2,033	4081,13
2162,4/485	Telekom	61,0	87,8	3,0	2	93,8	0,049	0,080	6,38	16,0	102,8	0,139	0,227	51,02
2162,4/283	Telekom	61,0	98,3	3,0	2	104,3	0,164	0,269	71,56	16,0	113,3	0,465	0,762	572,50
2167,2/485	Telekom	61,0	87,4	3,0	2	93,4	0,047	0,077	5,82	16,0	102,4	0,132	0,217	46,53
2162,4/283	Telekom	61,0	98,6	3,0	2	104,6	0,170	0,279	76,68	16,0	113,6	0,481	0,788	613,45
						minimal:	2,05	4,33	11129,9		maximal:	3,61	7,67	34553,1
Messpunkt:	2													
926,4	E-Plus	41,7	99,1	3,0	1	102,1	0,127	0,305	43,02	2,0	105,1	0,180	0,432	86,04
929,2	E-Plus	41,7	93,4	3,0	1	96,4	0,066	0,158	11,58	2,0	99,4	0,093	0,224	23,16
931,0	Telefónica	41,7	102,4	3,0	1	105,4	0,186	0,447	91,97	2,0	108,4	0,263	0,632	183,95
932,4	Telefónica	41,7	123,4	3,0	1	126,4	2,089	5,010	11578,67	2,0	129,4	2,955	7,086	23157,34
933,8	Telefónica	41,7	92,2	3,0	1	95,2	0,058	0,138	8,78	2,0	98,2	0,081	0,195	17,57
940,6	Telekom	41,7	97,3	3,0	1	100,3	0,104	0,248	28,42	6,4	108,4	0,262	0,628	181,90
942,4	Telekom	41,7	102,5	3,0	1	105,5	0,188	0,452	94,11	6,4	113,6	0,477	1,143	602,34
953,6	Telekom	41,7	120,0	3,0	1	123,0	1,413	3,387	5292,47	6,4	131,1	3,573	8,569	33871,83
1831,6	Telefónica	58,4	90,3	3,0	1	93,3	0,046	0,079	5,67	2,0	96,3	0,065	0,112	11,34
1834,2	Telefónica	58,4	113,6	3,0	1	116,6	0,676	1,158	1212,44	2,0	119,6	0,956	1,637	2424,87
1838,4	Telefónica	58,4	88,9	3,0	1	91,9	0,039	0,067	4,11	2,0	94,9	0,056	0,095	8,22
1842,4	Telefónica	58,4	96,1	3,0	1	99,1	0,090	0,154	21,56	2,0	102,1	0,128	0,218	43,12
1863,6	E-Plus	58,4	95,0	3,0	1	98,0	0,079	0,136	16,74	2,0	101,0	0,112	0,192	33,47
1866,0	E-Plus	58,4	99,9	3,0	1	102,9	0,140	0,239	51,72	2,0	105,9	0,197	0,338	103,44
1868,6	E-Plus	58,4	96,2	3,0	1	99,2	0,091	0,156	22,06	2,0	102,2	0,129	0,221	44,13
2112,8/70	Vodafone	61,0	98,4	3,0	2	104,4	0,166	0,272	73,23	10,7	111,7	0,384	0,630	391,69
2117,6/70	Vodafone	61,0	99,5	3,0	2	105,5	0,189	0,309	94,34	10,7	112,8	0,436	0,715	504,60
2117,6/143	Vodafone	61,0	74,3	3,0	2	80,3	0,010	0,017	0,28	10,7	87,6	0,024	0,039	1,52
2132,6/26	E-Plus	61,0	91,4	3,0	2	97,4	0,074	0,122	14,61	10,0	104,4	0,166	0,272	73,06
2132,6/18	E-Plus	61,0	87,4	3,0	2	93,4	0,047	0,077	5,82	10,0	100,4	0,105	0,172	29,08
2137,4/26	E-Plus	61,0	90,3	3,0	2	96,3	0,065	0,107	11,34	10,0	103,3	0,146	0,240	56,71
2137,4/18	E-Plus	61,0	87,3	3,0	2	93,3	0,046	0,076	5,68	10,0	100,3	0,104	0,170	28,42
2157,2/497	Telefónica	61,0	99,7	3,0	2	105,7	0,193	0,316	98,78	30,0	117,5	0,747	1,225	1481,77
2162,4/61	Telekom	61,0	83,7	3,0	2	89,7	0,031	0,050	2,48	16,0	98,7	0,087	0,142	19,85
2162,4/485	Telekom	61,0	97,2	3,0	2	103,2	0,145	0,237	55,55	16,0	112,2	0,409	0,671	444,40
2162,4/283	Telekom	61,0	79,9	3,0	2	85,9	0,020	0,032	1,03	16,0	94,9	0,056	0,092	8,28
2167,2/61	Telekom	61,0	83,8	3,0	2	89,8	0,031	0,051	2,54	16,0	98,8	0,088	0,143	20,31
2167,2/485	Telekom	61,0	97,2	3,0	2	103,2	0,145	0,237	55,55	16,0	112,2	0,409	0,671	444,40
2162,4/283	Telekom	61,0	80,5	3,0	2	86,5	0,021	0,035	1,19	16,0	95,5	0,060	0,098	9,50
						minimal:	2,67	6,25	18905,8		maximal:	4,92	11,51	64306,3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
f [MHz] / Code (UMTS)	Betreiber	GW [V/m]	E (gem.) [dBµV/m]	Aufschl. MU [dB]	Faktor min. Imm.	E _{min} [dBµV/m]	E _{min} [V/m]	E _{min} [% vom GW]	S _{min} [µW/m²]	Faktor max. Imm. (BNetzA)	E _{max} beantr. [dBµV/m]	E _{max} beantr. [V/m]	E _{max} beantr. [% vom GW]	S _{max} beantr. [µW/m²]
Messpunkt: 3														
926,4	E-Plus	41,7	85,1	3,0	1	88,1	0,025	0,061	1,71	2,0	91,1	0,036	0,086	3,43
932,4	Telefónica	41,7	80,4	3,0	1	83,4	0,015	0,035	0,58	2,0	86,4	0,021	0,050	1,16
937,8	Telekom	41,7	93,5	3,0	1	96,5	0,067	0,160	11,85	6,4	104,6	0,169	0,405	75,83
950,0	Vodafone	41,7	83,8	3,0	1	86,8	0,022	0,052	1,27	6,0	94,6	0,054	0,129	7,62
954,2	Telekom	41,7	93,4	3,0	1	96,4	0,066	0,158	11,58	6,4	104,5	0,167	0,401	74,10
956,6	Vodafone	41,7	91,7	3,0	1	94,7	0,054	0,130	7,83	6,0	102,5	0,133	0,319	46,97
1833,8	Telefónica	58,4	88,4	3,0	1	91,4	0,037	0,064	3,66	4,0	97,4	0,074	0,127	14,65
1840,8	Telefónica	58,4	82,1	3,0	1	85,1	0,018	0,031	0,86	4,0	91,1	0,036	0,062	3,43
1864,6	E-Plus	58,4	79,3	3,0	1	82,3	0,013	0,022	0,45	2,0	85,3	0,018	0,032	0,90
1865,2	E-Plus	58,4	73,9	3,0	1	76,9	0,007	0,012	0,13	2,0	79,9	0,010	0,017	0,26
1868,6	E-Plus	58,4	95,7	3,0	1	98,7	0,086	0,147	19,66	2,0	101,7	0,122	0,208	39,33
2112,8/56	Vodafone	61,0	84,8	3,0	2	90,8	0,035	0,057	3,20	21,4	101,1	0,114	0,186	34,20
2132,6/18	E-Plus	61,0	75,5	3,0	2	81,5	0,012	0,020	0,38	10,0	88,5	0,027	0,044	1,88
2137,4/18	E-Plus	61,0	76,4	3,0	2	82,4	0,013	0,022	0,46	10,0	89,4	0,030	0,048	2,31
2157,2/412	Telefónica	61,0	67,3	3,0	2	73,3	0,005	0,008	0,06	20,0	83,3	0,015	0,024	0,57
2157,2/497	Telefónica	61,0	65,5	3,0	2	71,5	0,004	0,006	0,04	30,0	83,3	0,015	0,024	0,56
2157,2/408	Telefónica	61,0	72,9	3,0	2	78,9	0,009	0,014	0,21	20,0	88,9	0,028	0,046	2,06
2162,4/168	Telekom	61,0	86,9	3,0	2	92,9	0,044	0,072	5,18	16,0	101,9	0,125	0,205	41,47
2162,4/187	Telekom	61,0	70,9	3,0	2	76,9	0,007	0,011	0,13	16,0	85,9	0,020	0,032	1,04
2167,2/168	Telekom	61,0	87,2	3,0	2	93,2	0,046	0,075	5,56	16,0	102,2	0,129	0,212	44,44
2167,2/187	Telekom	61,0	70,9	3,0	2	76,9	0,007	0,011	0,13	16,0	85,9	0,020	0,032	1,04
						minimal:	0,17	0,34	74,9		maximal:	0,39	0,81	397,3
Messpunkt: 4														
928,4	E-Plus	41,7	87,0	3,0	1	90,0	0,032	0,076	2,65	2,0	93,0	0,045	0,107	5,31
937,8	Telekom	41,7	88,0	3,0	1	91,0	0,035	0,085	3,34	6,4	99,1	0,090	0,215	21,37
950,0	Vodafone	41,7	114,7	3,0	1	117,7	0,767	1,840	1561,92	6,0	125,5	1,880	4,508	9371,52
954,2	Telekom	41,7	113,1	3,0	1	116,1	0,638	1,531	1080,58	6,4	124,2	1,615	3,872	6915,74
954,6	Telekom	41,7	104,5	3,0	1	107,5	0,237	0,569	149,16	6,4	115,6	0,600	1,439	954,64
956,6	Vodafone	41,7	90,3	3,0	1	93,3	0,046	0,111	5,67	6,0	101,1	0,113	0,272	34,03
1833,4	Telefónica	58,4	104,9	3,0	1	107,9	0,248	0,425	163,55	4,0	113,9	0,497	0,850	654,21
1833,8	Telefónica	58,4	94,5	3,0	1	97,5	0,075	0,128	14,92	4,0	103,5	0,150	0,257	59,66
1840,8	Telefónica	58,4	117,3	3,0	1	120,3	1,035	1,773	2842,23	4,0	126,3	2,070	3,545	11368,91
1864,6	E-Plus	58,4	115,5	3,0	1	118,5	0,841	1,441	1877,84	2,0	121,5	1,190	2,038	3755,68
1865,2	E-Plus	58,4	93,2	3,0	1	96,2	0,065	0,111	11,06	2,0	99,2	0,091	0,156	22,12
1868,6	E-Plus	58,4	104,8	3,0	1	107,8	0,245	0,420	159,83	2,0	110,8	0,347	0,594	319,66
2112,8/56	Vodafone	61,0	86,8	3,0	2	92,8	0,044	0,072	5,07	21,4	103,1	0,143	0,234	54,20
2112,8/64	Vodafone	61,0	100,9	3,0	2	106,9	0,222	0,363	130,22	21,4	117,2	0,725	1,188	1393,09
2112,8/72	Vodafone	61,0	81,9	3,0	2	87,9	0,025	0,041	1,64	21,4	98,2	0,081	0,133	17,54
2132,6/19	E-Plus	61,0	104,3	3,0	2	110,3	0,328	0,537	284,90	10,0	117,3	0,733	1,201	1424,49
2137,4/18	E-Plus	61,0	77,2	3,0	2	83,2	0,014	0,024	0,56	10,0	90,2	0,032	0,053	2,78
2137,4/19	E-Plus	61,0	103,0	3,0	2	109,0	0,282	0,463	211,20	10,0	116,0	0,631	1,034	1055,99
2137,4/20	E-Plus	61,0	79,1	3,0	2	85,1	0,018	0,030	0,86	10,0	92,1	0,040	0,066	4,30
2157,2/412	Telefónica	61,0	91,6	3,0	2	97,6	0,076	0,125	15,30	20,0	107,6	0,240	0,394	153,00
2157,2/410	Telefónica	61,0	72,6	3,0	2	78,6	0,009	0,014	0,19	20,0	88,6	0,027	0,044	1,93
2157,2/408	Telefónica	61,0	81,1	3,0	2	87,1	0,023	0,037	1,36	20,0	97,1	0,072	0,118	13,64
2162,4/187	Telekom	61,0	110,4	3,0	2	116,4	0,661	1,084	1160,62	16,0	125,4	1,871	3,067	9284,93
2162,4/64	Telekom	61,0	78,7	3,0	2	84,7	0,017	0,028	0,78	16,0	93,7	0,049	0,080	6,28
2167,2/187	Telekom	61,0	109,7	3,0	2	115,7	0,610	1,000	987,84	16,0	124,7	1,726	2,830	7902,76
						minimal:	2,01	3,81	10673,3		maximal:	4,55	8,77	54797,7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
f [MHz] / Code (UMTS)	Betreiber	GW [V/m]	E (gem.) [dBµV/m]	Aufschl. MU [dB]	Faktor min. Imm.	E _{min} [dBµV/m]	E _{min} [V/m]	E _{min} [% vom GW]	S _{min} [µW/m²]	Faktor max. Imm. (BNetzA)	E _{max} beentr. [dBµV/m]	E _{max} beentr. [V/m]	E _{max} beentr. [% vom GW]	S _{max} beentr. [µW/m²]
Messpunkt:	5													
940,4	Telekom	41,7	105,1	3,0	1	108,1	0,254	0,609	171,26	4,0	114,1	0,508	1,219	685,04
1830,2	Telefónica	58,4	82,9	3,0	1	85,9	0,020	0,034	1,03	4,0	91,9	0,039	0,068	4,13
1831,6	Telefónica	58,4	102,8	3,0	1	105,8	0,195	0,334	100,85	4,0	111,8	0,390	0,668	403,38
1836,8	Telefónica	58,4	101,2	3,0	1	104,2	0,162	0,278	69,77	4,0	110,2	0,324	0,555	279,07
1864,8	E-Plus	58,4	103,4	3,0	1	106,4	0,209	0,358	115,79	4,0	112,4	0,418	0,716	463,15
1868,0	E-Plus	58,4	93,4	3,0	1	96,4	0,066	0,113	11,58	4,0	102,4	0,132	0,226	46,31
2112,8/3	Vodafone	61,0	80,6	3,0	2	86,6	0,021	0,035	1,22	20,0	96,6	0,068	0,111	12,15
2112,8/405	Vodafone	61,0	64,8	3,0	2	70,8	0,003	0,006	0,03	20,0	80,8	0,011	0,018	0,32
2112,8/240	Vodafone	61,0	68,2	3,0	2	74,2	0,005	0,008	0,07	20,0	84,2	0,016	0,027	0,70
2132,6/226	E-Plus	61,0	89,6	3,0	2	95,6	0,060	0,099	9,65	20,0	105,6	0,191	0,313	96,54
2132,6/230	E-Plus	61,0	70,5	3,0	2	76,5	0,007	0,011	0,12	20,0	86,5	0,021	0,035	1,19
2157,2/265	Telefónica	61,0	81,9	3,0	2	87,9	0,025	0,041	1,64	20,0	97,9	0,079	0,129	16,39
2157,2/269	Telefónica	61,0	84,9	3,0	2	90,9	0,035	0,058	3,27	20,0	100,9	0,111	0,182	32,71
2162,4/160	Telekom	61,0	103,0	3,0	2	109,0	0,282	0,463	211,20	10,0	116,0	0,631	1,034	1055,99
2162,4/126	Telekom	61,0	80,2	3,0	2	86,2	0,020	0,034	1,11	10,0	93,2	0,046	0,075	5,54
2167,2/160	Telekom	61,0	106,6	3,0	2	112,6	0,427	0,700	483,83	10,0	119,6	0,955	1,566	2419,13
2167,2/126	Telekom	61,0	78,1	3,0	2	84,1	0,016	0,026	0,68	10,0	91,1	0,036	0,059	3,42
						minimal:	0,67	1,19	1183,1		maximal:	1,44	2,55	5525,2
Messpunkt:	6													
925,8	E-Plus	41,7	82,3	3,0	1	85,3	0,018	0,044	0,90	2,0	88,3	0,026	0,062	1,80
939,6	Telekom	41,7	96,8	3,0	1	99,8	0,098	0,234	25,33	4,0	105,8	0,195	0,469	101,33
941,2	Telekom	41,7	83,4	3,0	1	86,4	0,021	0,050	1,16	4,0	92,4	0,042	0,100	4,63
943,0	Telekom	41,7	101,4	3,0	1	104,4	0,166	0,398	73,06	4,0	110,4	0,332	0,796	292,23
944,8	Telekom	41,7	80,6	3,0	1	83,6	0,015	0,036	0,61	4,0	89,6	0,030	0,073	2,43
1832,8	Telefónica	58,4	82,4	3,0	1	85,4	0,019	0,032	0,92	4,0	91,4	0,037	0,064	3,68
1863,2	E-Plus	58,4	82,6	3,0	1	85,6	0,019	0,033	0,96	4,0	91,6	0,038	0,065	3,85
2112,8/132	Vodafone	61,0	103,4	3,0	2	109,4	0,295	0,484	231,57	10,7	116,7	0,683	1,120	1238,65
2112,8/119	Vodafone	61,0	90,2	3,0	2	96,2	0,065	0,106	11,08	10,7	103,5	0,150	0,245	59,29
2112,8/74	Vodafone	61,0	94,3	3,0	2	100,3	0,104	0,170	28,49	10,7	107,6	0,240	0,393	152,39
2117,6/132	Vodafone	61,0	102,7	3,0	2	108,7	0,273	0,447	197,10	10,7	116,0	0,630	1,034	1054,26
2117,6/119	Vodafone	61,0	91,3	3,0	2	97,3	0,073	0,120	14,28	10,7	104,6	0,170	0,278	76,37
2117,6/74	Vodafone	61,0	92,2	3,0	2	98,2	0,081	0,133	17,57	10,7	105,5	0,188	0,309	93,96
						minimal:	0,48	0,85	603,0		maximal:	1,08	1,89	3084,9
Messpunkt:	7													
939,6	Telekom	41,7	108,7	3,0	1	111,7	0,385	0,922	392,34	4,0	117,7	0,769	1,845	1569,35
943,0	Telekom	41,7	104,6	3,0	1	107,6	0,240	0,575	152,64	4,0	113,6	0,480	1,151	610,55
944,8	Telekom	41,7	84,5	3,0	1	87,5	0,024	0,057	1,49	4,0	93,5	0,047	0,114	5,97
1831,6	Telefónica	58,4	86,5	3,0	1	89,5	0,030	0,051	2,36	4,0	95,5	0,060	0,102	9,46
1839,8	Telefónica	58,4	82,1	3,0	1	85,1	0,018	0,031	0,86	4,0	91,1	0,036	0,062	3,43
2112,8/132	Vodafone	61,0	91,1	3,0	2	97,1	0,072	0,118	13,64	10,7	104,4	0,166	0,272	72,94
2112,8/119	Vodafone	61,0	70,0	3,0	2	76,0	0,006	0,010	0,11	10,7	83,3	0,015	0,024	0,57
2117,6/132	Vodafone	61,0	91,4	3,0	2	97,4	0,074	0,122	14,61	10,7	104,7	0,172	0,281	78,15
2117,6/119	Vodafone	61,0	68,3	3,0	2	74,3	0,005	0,009	0,07	10,7	81,6	0,012	0,020	0,38
						minimal:	0,47	1,10	578,1		maximal:	0,94	2,22	2350,8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
f [MHz] / Code (UMTS)	Betreiber	GW [V/m]	E (gem.) [dBµV/m]	Aufschl. MU [dB]	Faktor min. Imm.	E _{min} [dBµV/m]	E _{min} [V/m]	E _{min} [% vom GW]	S _{min} [µW/m²]	Faktor max. Imm. (BNetzA)	E _{max} beantr. [dBµV/m]	E _{max} beantr. [V/m]	E _{max} beantr. [% vom GW]	S _{max} beantr. [µW/m²]	
Messpunkt: 8															
924,4	E-Plus	41,7	86,7	3,0	1	89,7	0,031	0,073	2,48	2,0	92,7	0,043	0,104	4,95	
928,4	E-Plus	41,7	86,0	3,0	1	89,0	0,028	0,068	2,11	2,0	92,0	0,040	0,096	4,21	
940,0	Telekom	41,7	85,6	3,0	1	88,6	0,027	0,065	1,92	4,0	94,6	0,054	0,129	7,69	
1831,2	Telefónica	58,4	89,2	3,0	1	92,2	0,041	0,070	4,40	4,0	98,2	0,081	0,140	17,61	
1834,0	Telefónica	58,4	82,5	3,0	1	85,5	0,019	0,032	0,94	4,0	91,5	0,038	0,065	3,76	
1836,6	Telefónica	58,4	81,9	3,0	1	84,9	0,018	0,030	0,82	4,0	90,9	0,035	0,060	3,28	
1863,4	E-Plus	58,4	88,0	3,0	1	91,0	0,035	0,061	3,34	3,0	95,8	0,061	0,105	10,02	
1866,4	E-Plus	58,4	83,9	3,0	1	86,9	0,022	0,038	1,30	4,0	92,9	0,044	0,076	5,20	
1867,6	E-Plus	58,4	87,0	3,0	1	90,0	0,032	0,054	2,65	4,0	96,0	0,063	0,108	10,61	
2112,8/127	Vodafone	61,0	77,2	3,0	2	83,2	0,014	0,024	0,56	10,0	90,2	0,032	0,053	2,78	
2112,8/166	Vodafone	61,0	72,5	3,0	2	78,5	0,008	0,014	0,19	10,0	85,5	0,019	0,031	0,94	
2112,8/213	Vodafone	61,0	70,0	3,0	2	76,0	0,006	0,010	0,11	10,0	83,0	0,014	0,023	0,53	
2112,8/44	Vodafone	61,0	60,6	3,0	2	66,6	0,002	0,004	0,01	10,0	73,6	0,005	0,008	0,06	
2117,6/127	Vodafone	61,0	74,8	3,0	2	80,8	0,011	0,018	0,32	10,0	87,8	0,025	0,040	1,60	
2117,6/213	Vodafone	61,0	71,1	3,0	2	77,1	0,007	0,012	0,14	10,0	84,1	0,016	0,026	0,68	
2117,6/44	Vodafone	61,0	61,1	3,0	2	67,1	0,002	0,004	0,01	10,0	74,1	0,005	0,008	0,07	
2117,6/144	Vodafone	61,0	61,5	3,0	2	67,5	0,002	0,004	0,01	10,0	74,5	0,005	0,009	0,07	
2132,6/13	E-Plus	61,0	76,5	3,0	2	82,5	0,013	0,022	0,47	10,0	89,5	0,030	0,049	2,36	
2132,6/498	E-Plus	61,0	68,1	3,0	2	74,1	0,005	0,008	0,07	10,0	81,1	0,011	0,019	0,34	
2132,6/2	E-Plus	61,0	68,3	3,0	2	74,3	0,005	0,009	0,07	10,0	81,3	0,012	0,019	0,36	
2137,4/13	E-Plus	61,0	78,0	3,0	2	84,0	0,016	0,026	0,67	10,0	91,0	0,035	0,058	3,34	
2137,4/498	E-Plus	61,0	69,0	3,0	2	75,0	0,006	0,009	0,08	10,0	82,0	0,013	0,021	0,42	
2157,2/11	Telefónica	61,0	77,6	3,0	2	83,6	0,015	0,025	0,61	20,0	93,6	0,048	0,079	6,09	
2162,4/73	Telekom	61,0	71,5	3,0	2	77,5	0,008	0,012	0,15	10,0	84,5	0,017	0,028	0,75	
2162,4/465	Telekom	61,0	65,6	3,0	2	71,6	0,004	0,006	0,04	10,0	78,6	0,009	0,014	0,19	
2167,2/73	Telekom	61,0	71,8	3,0	2	77,8	0,008	0,013	0,16	10,0	84,8	0,017	0,028	0,80	
2167,2/465	Telekom	61,0	62,9	3,0	2	68,9	0,003	0,005	0,02	10,0	75,9	0,006	0,010	0,10	
							minimal:	0,09	0,18	23,6	maximal:		0,18	0,34	88,8
Messpunkt: 9															
924,4	E-Plus	41,7	94,0	3,0	1	97,0	0,071	0,170	13,29	2,0	100,0	0,100	0,240	26,59	
940,0	Telekom	41,7	89,0	3,0	1	92,0	0,040	0,095	4,20	2,0	95,0	0,056	0,135	8,41	
1831,2	Telefónica	58,4	89,9	3,0	1	92,9	0,044	0,076	5,17	2,0	95,9	0,062	0,107	10,34	
1863,4	E-Plus	58,4	88,4	3,0	1	91,4	0,037	0,064	3,66	6,4	99,5	0,094	0,161	23,43	
1866,4	E-Plus	58,4	85,3	3,0	1	88,3	0,026	0,045	1,79	6,4	96,4	0,066	0,113	11,48	
2112,8/127	Vodafone	61,0	86,7	3,0	2	92,7	0,043	0,071	4,95	10,0	99,7	0,097	0,158	24,75	
2112,8/166	Vodafone	61,0	79,9	3,0	2	85,9	0,020	0,032	1,03	10,0	92,9	0,044	0,072	5,17	
2117,6/127	Vodafone	61,0	89,2	3,0	2	95,2	0,058	0,094	8,80	10,0	102,2	0,129	0,211	44,02	
2132,6/2	E-Plus	61,0	68,6	3,0	2	74,6	0,005	0,009	0,08	10,0	81,6	0,012	0,020	0,38	
2132,6/13	E-Plus	61,0	65,3	3,0	2	71,3	0,004	0,006	0,04	10,0	78,3	0,008	0,013	0,18	
2132,6/498	E-Plus	61,0	72,0	3,0	2	78,0	0,008	0,013	0,17	10,0	85,0	0,018	0,029	0,84	
2137,4/498	E-Plus	61,0	71,0	3,0	2	77,0	0,007	0,012	0,13	10,0	84,0	0,016	0,026	0,67	
2137,4/13	E-Plus	61,0	65,1	3,0	2	71,1	0,004	0,006	0,03	10,0	78,1	0,008	0,013	0,17	
2157,2/11	Telefónica	61,0	77,5	3,0	2	83,5	0,015	0,025	0,60	20,0	93,5	0,047	0,078	5,95	
2162,4/465	Telekom	61,0	70,5	3,0	2	76,5	0,007	0,011	0,12	10,0	83,5	0,015	0,025	0,59	
2162,4/73	Telekom	61,0	74,3	3,0	2	80,3	0,010	0,017	0,28	10,0	87,3	0,023	0,038	1,42	
2167,2/465	Telekom	61,0	68,8	3,0	2	74,8	0,006	0,009	0,08	10,0	81,8	0,012	0,020	0,40	
2167,2/73	Telekom	61,0	76,9	3,0	2	82,9	0,014	0,023	0,52	10,0	89,9	0,031	0,051	2,59	
							minimal:	0,13	0,26	45,0	maximal:		0,25	0,46	167,4

Legende zu obiger Tabelle:

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

In den gelb markierten Feldern sind die Summenwerte (minimale bzw. maximale Immission) angegeben (Spalten 8/9 und 13/14: quadratische Summation; Spalten 10 und 15: lineare Summation).

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

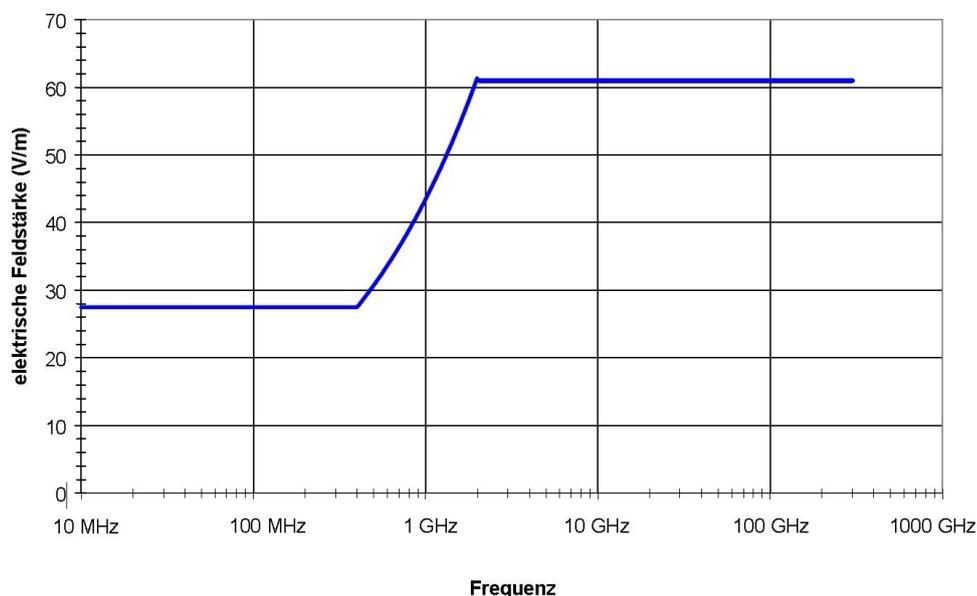


Bild 1: Grafische Darstellung der Grenzwerte (elektrische Feldstärke) nach 26. BImSchV für Hochfrequenzanlagen

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 zurzeit aktuellen Empfehlungen der ICNIRP stammen aus dem Jahr 1998 [2].

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 grafisch dargestellt.

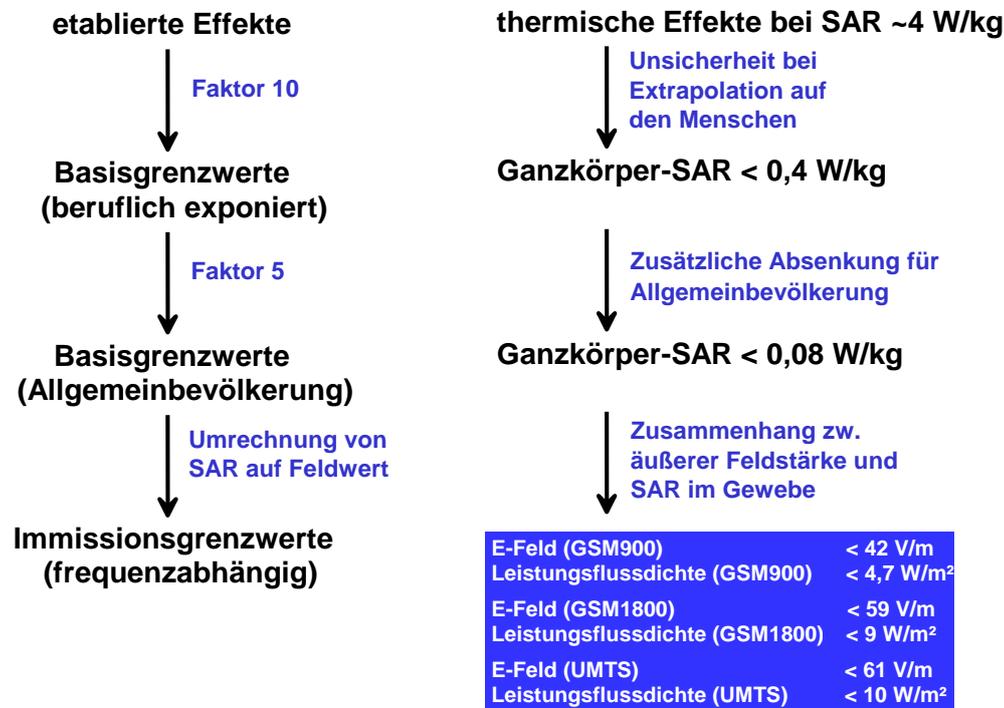
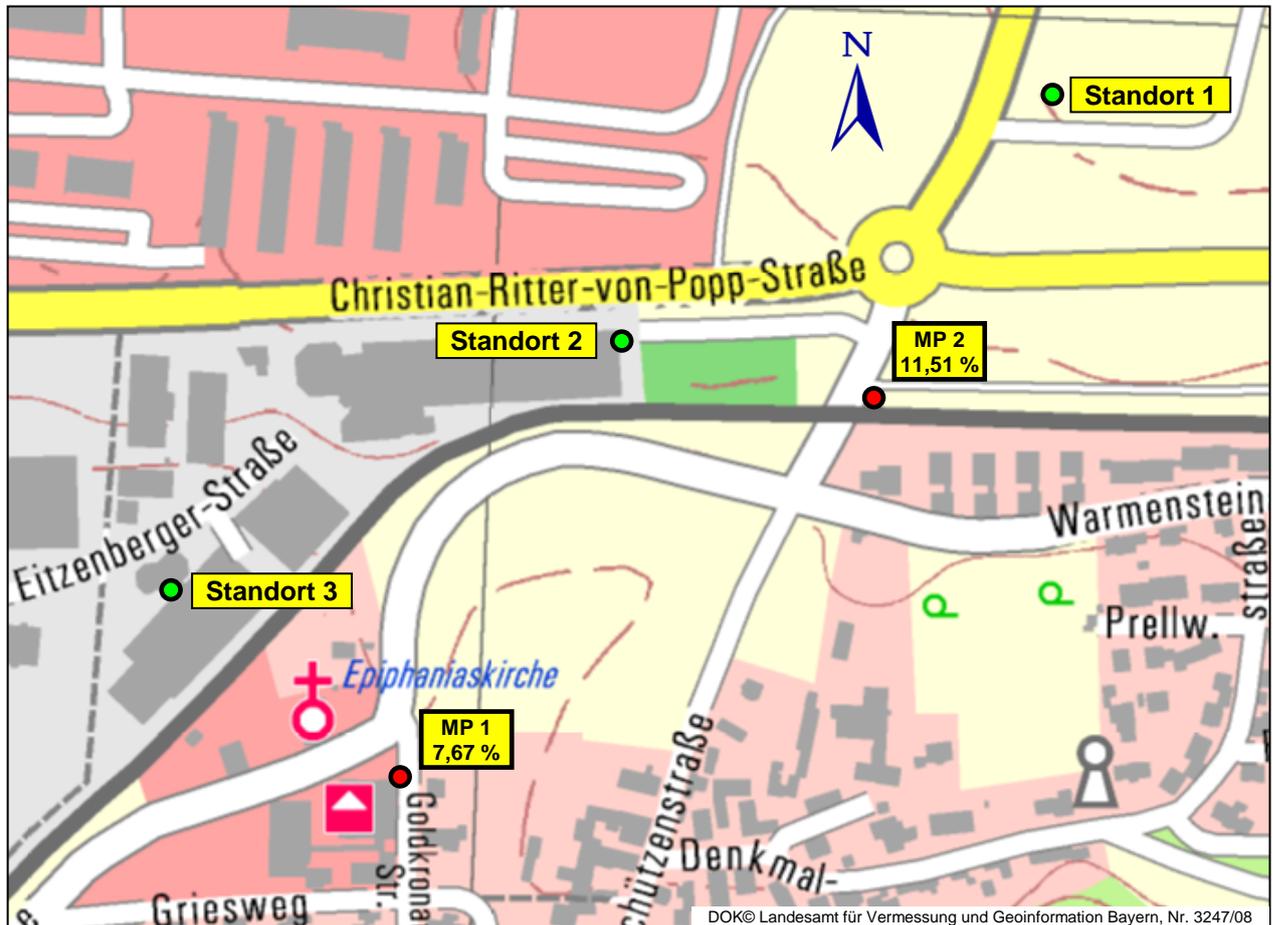


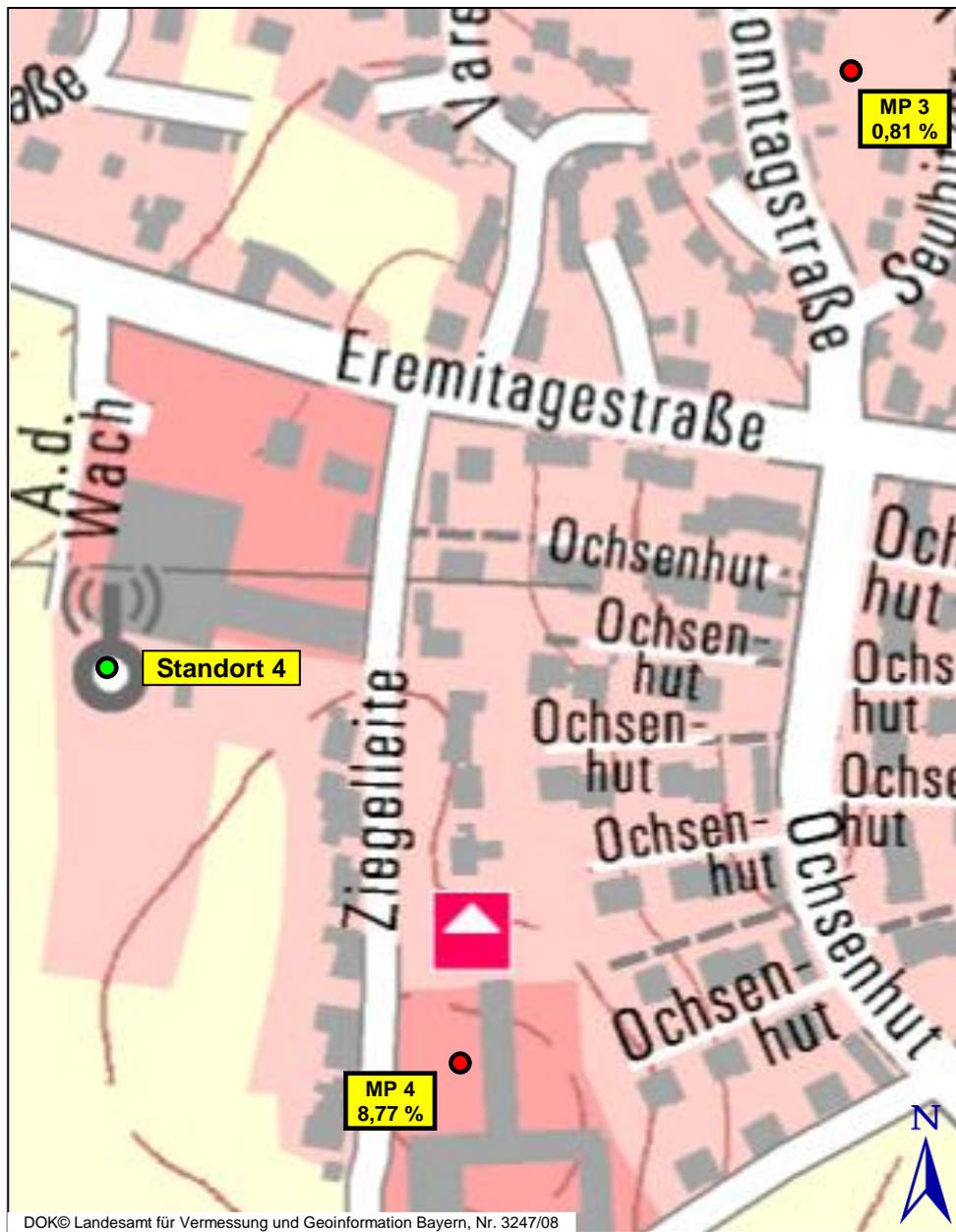
Bild 2: Darstellung der Entstehung internationaler Grenzwertempfehlungen

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

Anlage 3: Lagepläne mit Anlagenstandorten und den Messpunkten**Laineck:**

An jedem Messpunkt ist der im Rahmen der Messungen festgestellte Mobilfunk-Immissionswert (für Maximalauslastung und Vollausbau der Anlagen) in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV ("Grenzwertausschöpfung" bezüglich der elektrischen Feldstärke) angegeben.

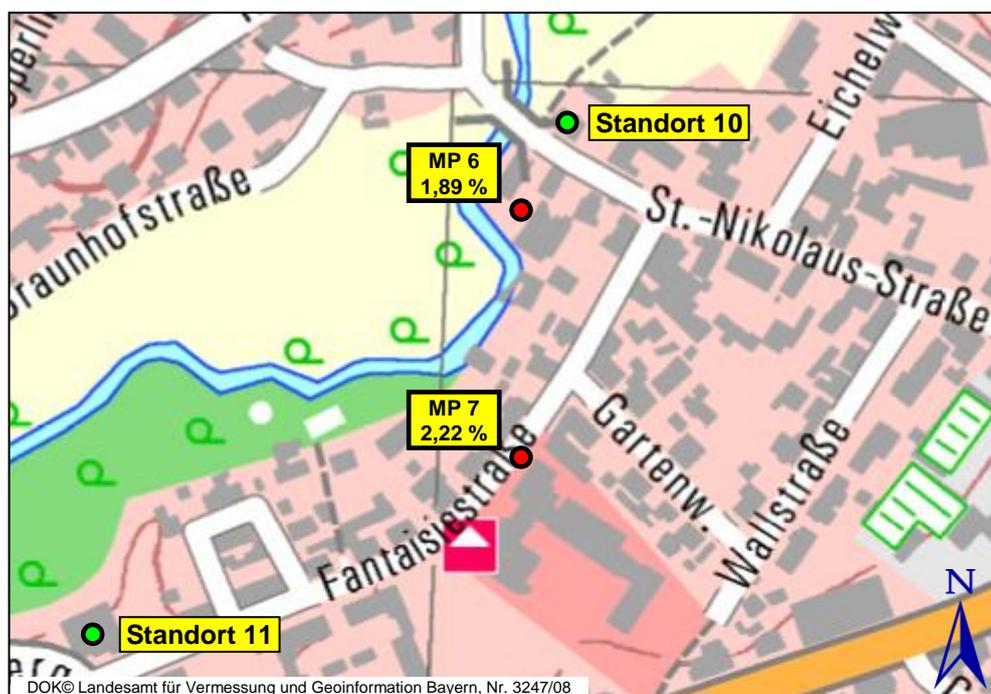
St. Johannis:



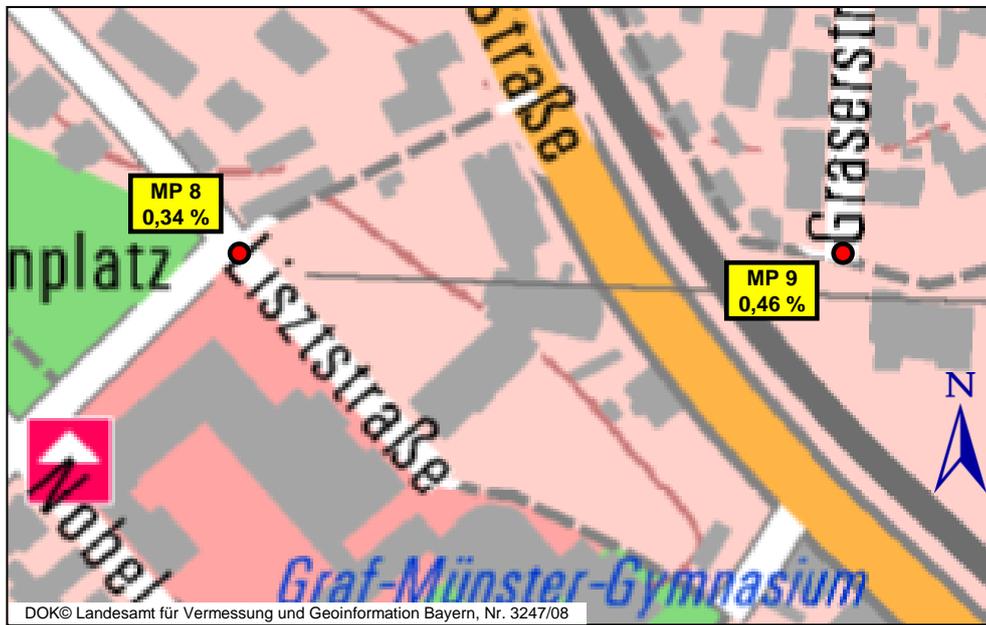
Weiberstr.:



Fantaisiestr.:



Nürnberger Str.:



Anlage 4: Fotos



Bild 1: Messpunkt 1.

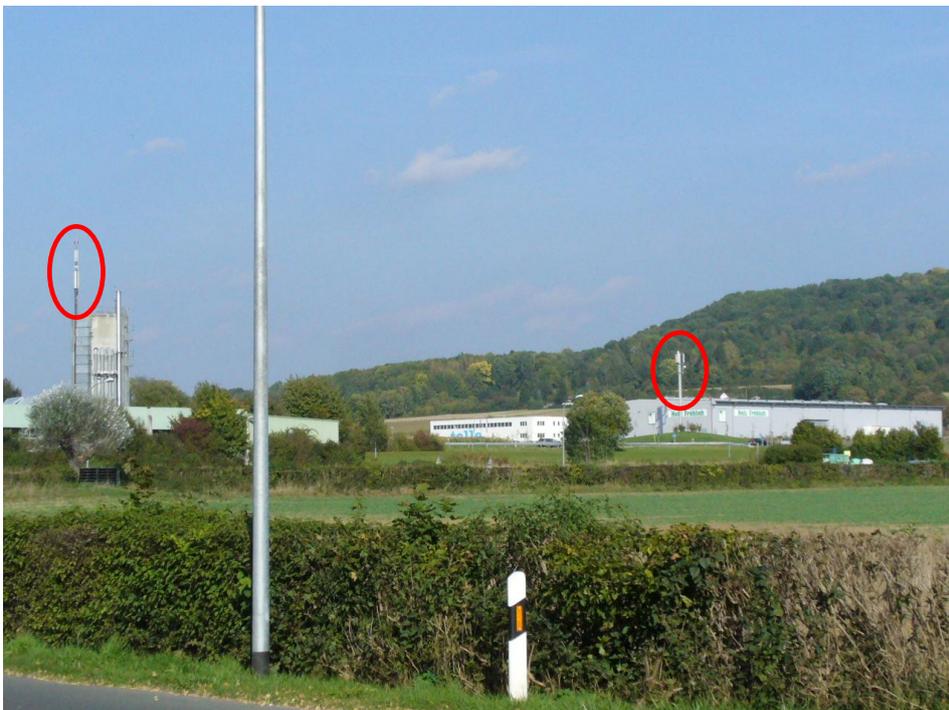


Bild 2: Standorte 1 (rechts) und 2 (links) Messpunkt 1 aus gesehen.



Bild 3: Messpunkt 2.



Bild 4: Standort 1 von Messpunkt 2 aus gesehen.



Bild 5: Messpunkt 3.

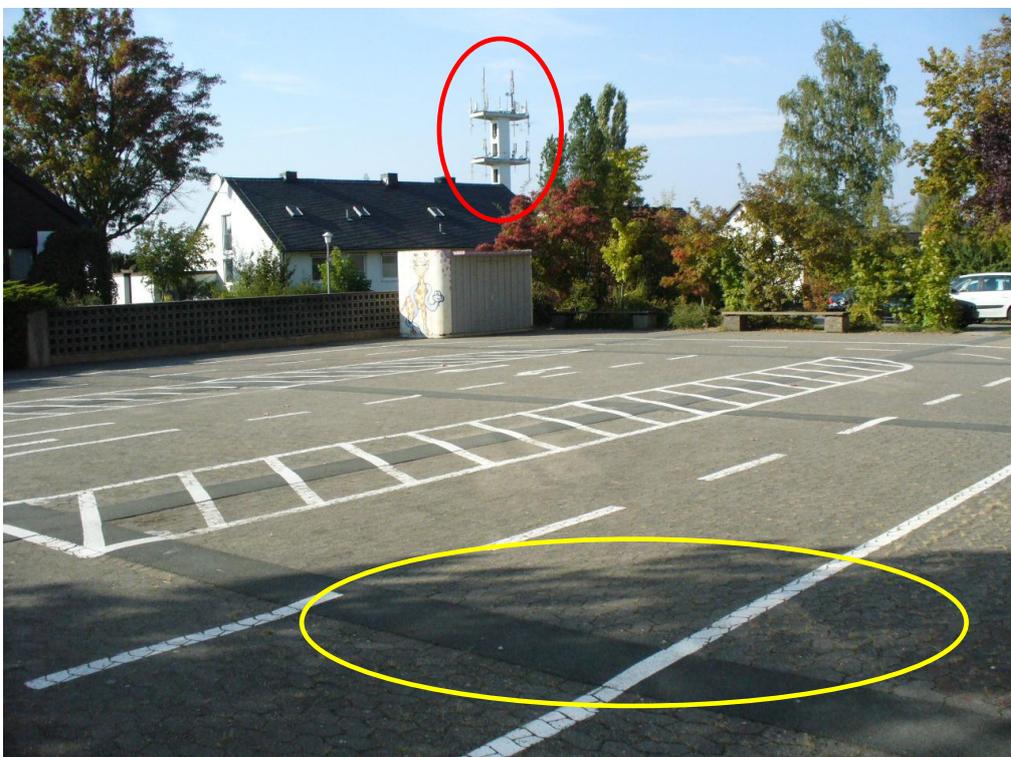


Bild 6: Messpunkt 4, mit Standort 4 im Hintergrund.



Bild 7: Messpunkt 5.



Bild 8: Standort 5 von Messpunkt 5 aus gesehen.

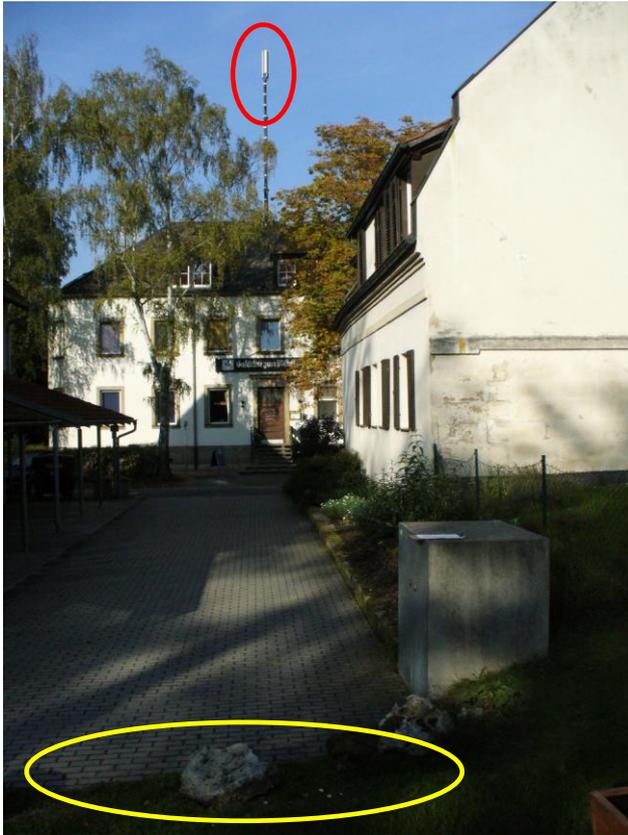


Bild 9: Messpunkt 6 mit Standort 10 im Hintergrund.



Bild 10: Messpunkt 7.

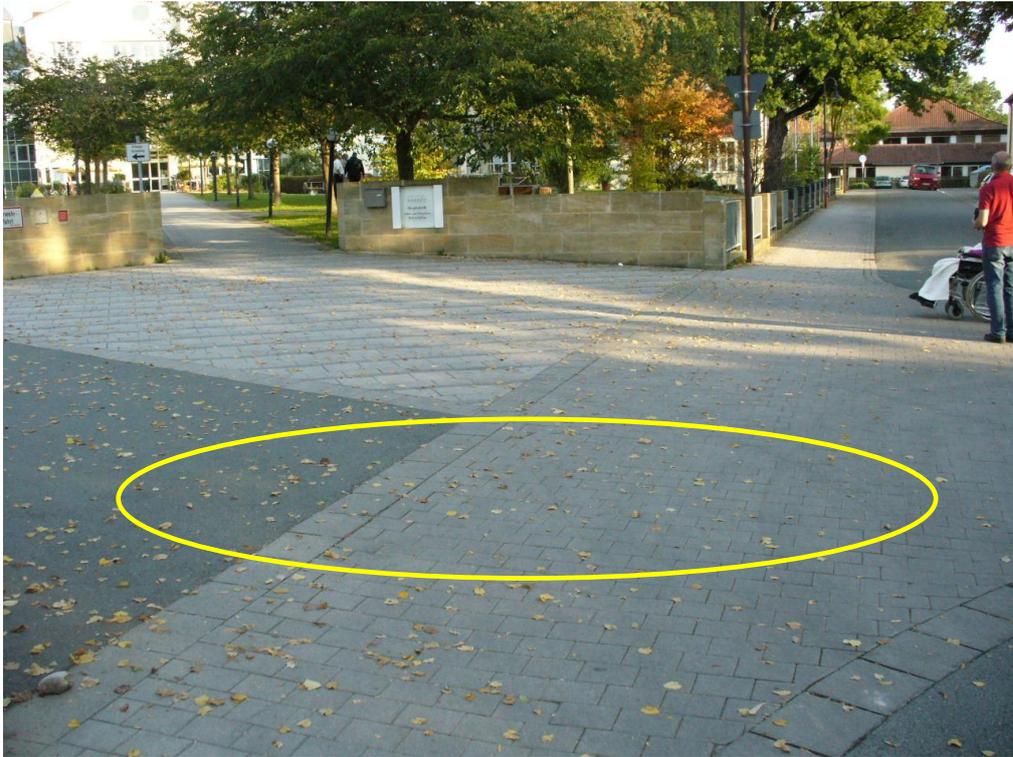


Bild 11: Messpunkt 8.



Bild 12: Messpunkt 9.