

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

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

Projektnummer: 08/051

Ort und Datum: Regensburg, 05. Dezember 2008

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 Bayreuth 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	Fl. Nr. 42/2 (Gem. Colmdorf)	T-Mobile (UMTS), Vodafone (UMTS)
2	Maximilianstr. 40-42	Telefónica O ₂ (GSM + UMTS), E-Plus (GSM), Vodafone (GSM)
3	Maximilianstr. 32	T-Mobile (GSM),
4	Maximilianstr. 63	T-Mobile (UMTS)
5	Bahnhofstr. 15	Telefónica O ₂ (GSM)
6	Eduard-Bayerlein-Str. 5a	Telefónica O ₂ (GSM)
7	Scheffelstr. 35	Telefónica O ₂ (GSM + UMTS), E-Plus (GSM + UMTS), T-Mobile (GSM+UMTS)
8	Graf-Berthold-Str. 15	Vodafone (GSM)
9	Buchstein, Fl. Nr. 195 (Gem. Bayreuth)	Telefónica O ₂ (GSM + UMTS), E-Plus (GSM)
10	Saas-Süd, Fl. Nr. 335	Vodafone (UMTS)
11	Robert-Koch-Str. 17	Vodafone (GSM)
12	Ludwig-Thoma-Str. 4	Vodafone (UMTS)
13	Ludwig-Thoma-Str. 9	Telefónica O ₂ (GSM + UMTS)
14	Hans-Sachs-Str. 2-4	T-Mobile (GSM+UMTS)

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 bestimmten Orten auftreten, lässt sich im allgemeinen nur näherungsweise berechnen, da neben der Leistung der Sendeanlage verschiedene andere Einflussfaktoren zusätzlich eine Rolle spielen können. Als Beispiel seien hier Antennencharakteristik, Bewuchs (vor allem Bäume), Bauung und Gebäudeschirmung genannt.

Um zuverlässige Aussagen über die Felder in der Umgebung einer Funksendeanlage treffen zu können, sind daher bei in Betrieb befindlichen Anlagen Messungen in der Regel Berechnungen vorzuziehen. Ein Vergleich der Messergebnisse mit den gesetzlichen Grenzwerten für elektromagnetische Felder erlaubt eine objektive Einschätzung der Immissionssituation vor Ort. Bei geplanten oder noch nicht in Betrieb befindlichen Sendern sind hingegen rechnerische Prognosen die einzige Möglichkeit zur Darstellung der Immissionsverhältnisse.

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

Wie groß, im Vergleich zum gesetzlichen Grenzwert, sind die Immissionen, die 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.

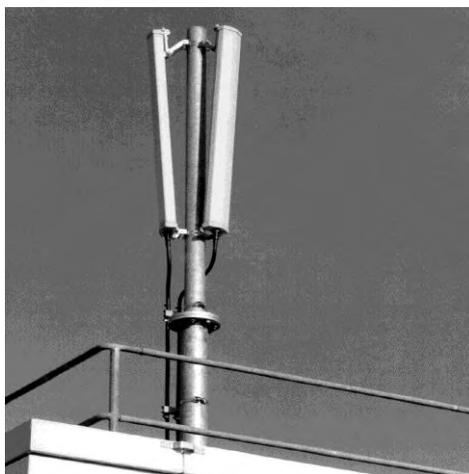


Abb. 2: Zwei Sektorantennen, montiert auf einem Flachdach (hier mit mechanischer Strahlabsenkung, engl. "Downtilt").

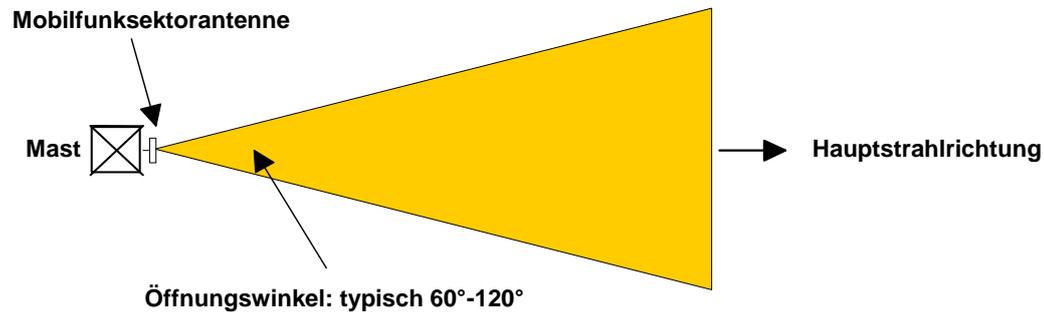


Abb. 3: Horizontales Abstrahlverhalten einer Mobilfunksektorantenne.

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 typisch zirka 5 bis 10°. Zusätzlich ist die Hauptstrahlrichtung häufig bezüglich der Horizontalen um einige Grad nach unten geneigt [5]. Damit erreicht man eine gezielte Versorgung der lokalen Funkzelle, eine Leistungsabgabe in unerwünschte Bereiche, wie beispielsweise in weiter entfernt liegende Funkzellen, die mit der gleichen Trägerfrequenz arbeiten, wird verhindert (Vermeidung sog. "Gleichkanalstörungen").

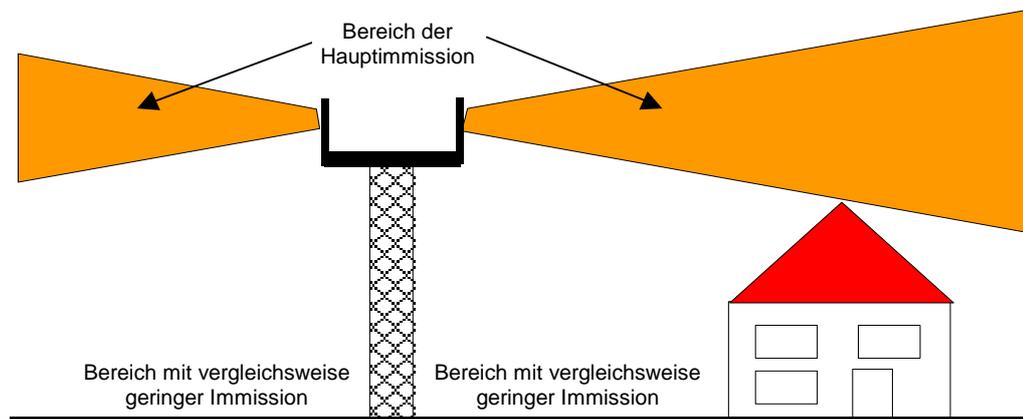


Abb. 4: Vertikales Bündelungsverhalten von Mobilfunkantennen (prinzipielle Darstellung mit übertriebenem großem vertikalem Öffnungswinkel).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3 Durchführung der Messungen

3.1 Messgrößen für hochfrequente Felder

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

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

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

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

3.2 Verwendete Messgeräte, Messverfahren

Im Rahmen der Immissionsmessungen wurde folgende Messausrüstung eingesetzt:

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

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

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

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

3.3 Messgenauigkeit, Bestimmung der Maximalimmission

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

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

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 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 Mobilfunkstandort*	Sichtverbindung zu den Antennen
1	Hasenweg (Spielplatz Kleingartenanlage)	Ca. 235 m (1)	Ja
2	Maximilianstr. 64 (vor Spitalkirche)	Ca. 130 m (2)	Ja
3	Rathausparkplatz (Nähe Pausenhof Graserschule)	Ca. 145 m (2)	Ja
4	Carl-Schüller-Str. 54 (Kindergarten, Außenbereich)	Ca. 185 m (6)	Ja
5	Preuschwitzer Str. 32 (Kindergarten, Außenbereich)	Ca. 230 m (7)	Nein
6	Meyernberg: Wiese südlich Wohnbebauung Virchowstr.	Ca. 700 m (9)	Ja
7	Saas: Wiese westlich Wohnbebauung Ginsterweg	Ca. 410 m (10)	Ja
8	Moritzhöfen 31 (Parkplatz Kindergarten)	Ca. 310 m (13)	Ja
9	Frankengutstr. 22 (vor Kindergarten)	Ca. 250 m (14)	Ja

*: Siehe Nummerierung in Tabelle 1

Tab. 2: Messpunkte.

Durchgeführt wurden die Messungen am 28. November 2008 zwischen 09:00 und 11:40 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 im ermittelten Summenimmissionswerte des Mobilfunks dargestellt. Dabei wird in Spalte 2 angegeben, welche Immissionen auftreten, wenn die Mobilfunkanlagen gerade gar keinen Telefon- bzw. Datenverkehr abwickeln (z.B. nachts). Dieser Wert stellt die **Minimalimmission** dar und wird durch die permanent abgegebenen Signalisierungssignale der Sendestationen erzeugt.

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

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

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

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

Messpunkt Nr.	Grenzwertausschöpfung Mobilfunk (<u>Minimal</u> immission)	Grenzwertausschöpfung Mobilfunk (<u>Maximal</u> immission)
1	1,13 %	3,58 %
2	3,60 %	7,21 %
3	2,25 %	4,24 %
4	1,78 %	3,56 %
5	1,21 %	2,41 %
6	0,74 %	1,19 %
7	0,18 %	0,44 %
8	0,66 %	1,83 %
9	1,29 %	2,56 %

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).

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

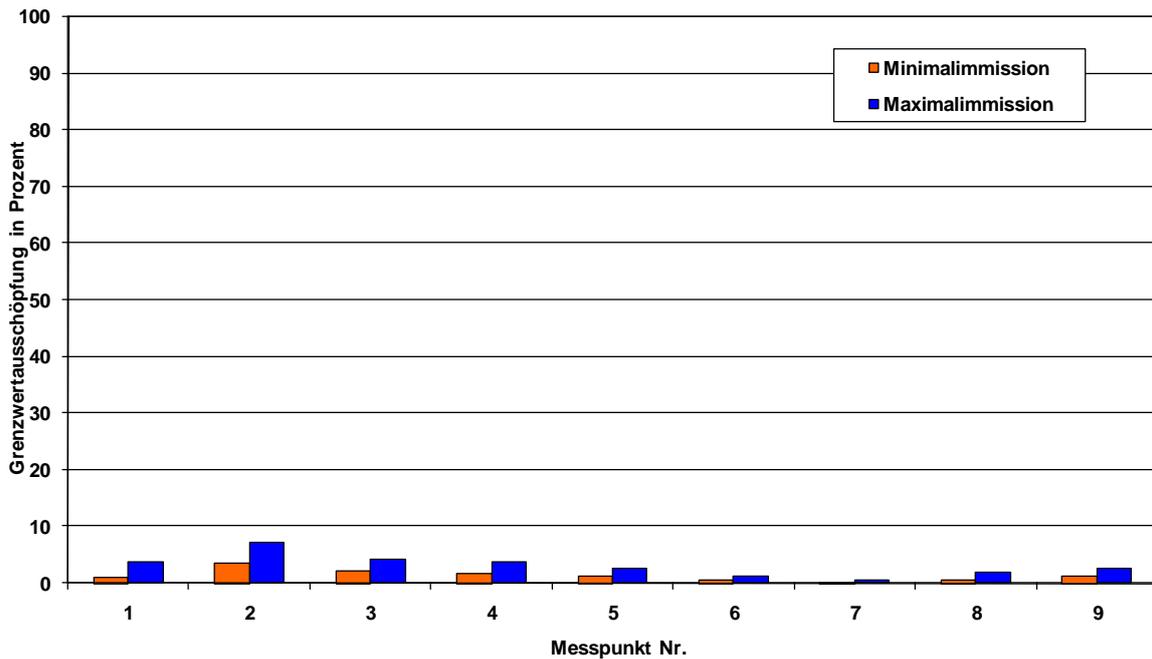


Abb. 5: Grafische Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 3 (Summenfeldstärke Mobilfunk in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV).

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

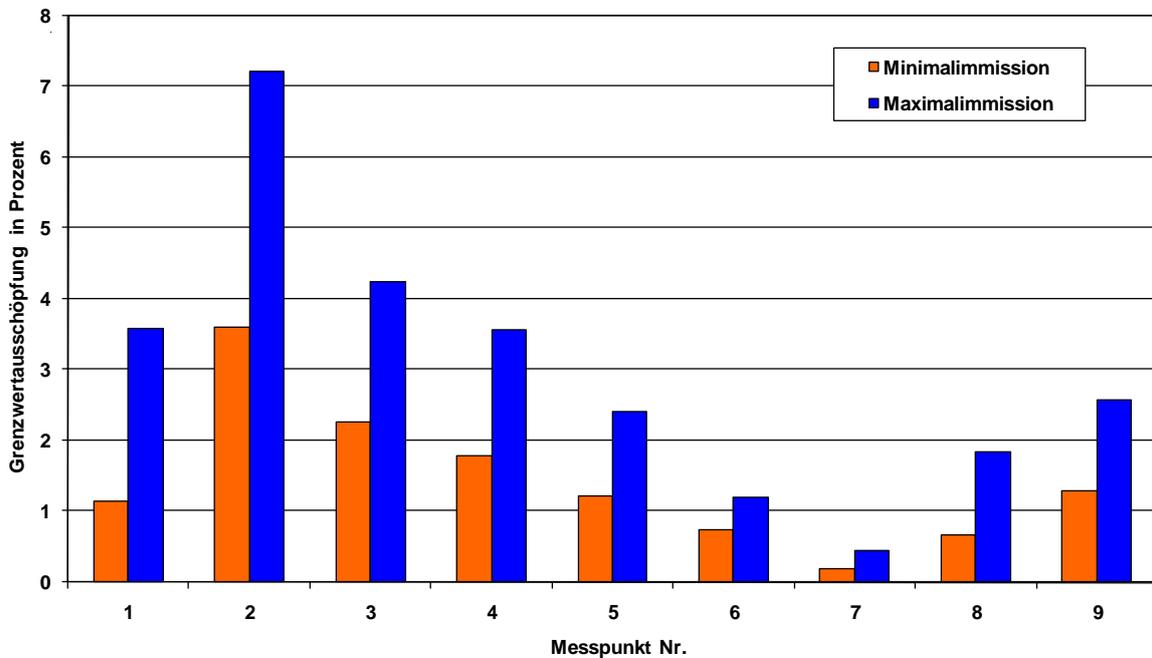


Abb. 6: Detaillierte Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 3.

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 deutlich unterschritten. Bei den Messungen ergaben sich Immissionen (bezogen auf die Feldstärke), die bei Vollaustattung der verursachenden Anlagen **etwa zwischen 0,4 und 7,2 Prozent des gesetzlich zulässigen Wertes** betragen.
- 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 hier durchgeführt, vermessen wurden [11]. Diese Auswertung zeigte, 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. Bis auf Punkt 2 liegt die aktuell festgestellte Mobilfunkimmission an allen untersuchten Punkten unter diesem Durchschnittswert.
- Im Jahr 2007 wurden in Bayreuth im Rahmen einer ähnlichen Messkampagne exemplarisch auch die Immissionen verursacht durch Tonrundfunk- und TV-Sender gemessen. Inzwischen kann davon ausgegangen werden, dass derartige Immissionen im Stadtgebiet von Bayreuth signifikant abgenommen haben, da die beiden leistungsstarken analogen Fernsehsignale vom Sendeturm "Oschenberg" im November 2008 abgeschaltet wurden und die stattdessen in Betrieb genommenen digitalen Anlagen nicht an diesem Standort, sondern auf dem deutlich weiter entfernten Ochsenkopf installiert sind.

Regensburg, 05. Dezember 2008

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.lfu.bayern.de/strahlung/fachinformationen/emf_minimierung_schirmung.

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_{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: 28.11.2008

Uhrzeit: 09:00-11:40 Uhr
Wetter: Heiter, 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 (max.) in dBµV/m	E in V/m	Grenzwert in V/m	Prozent vom Grenzw.	S in µW/m²
1	2112,8	55	Vodafone	88,7	2	13,0	104,7	0,172	61,00	0,282	78,47
	2112,8	63	Vodafone	110,1	2	13,0	126,1	2,021	61,00	3,313	10831,50
	2112,8	166	Vodafone	83,4	2	13,0	99,4	0,093	61,00	0,153	23,16
	2167,2	424	T-Mobile	73,1	2	13,0	89,1	0,029	61,00	0,047	2,16
	2167,2	449	T-Mobile	101,5	2	13,0	117,5	0,751	61,00	1,231	1495,16
	2167,2	465	T-Mobile	92,7	2	13,0	108,7	0,273	61,00	0,447	197,10
	2167,2	0	T-Mobile	82,4	2	13,0	98,4	0,083	61,00	0,137	18,39
	2167,2	145	T-Mobile	75,2	2	13,0	91,2	0,036	61,00	0,060	3,51
Summen								2,18		3,58	12649,5
2	926,6		E-Plus	89,6	1	3,0	92,6	0,043	41,86	0,102	4,83
	927,4		E-Plus	91,6	1	3,0	94,6	0,054	41,87	0,128	7,65
	929,4		E-Plus	110,7	1	3,0	113,7	0,484	41,92	1,155	621,81
	939,4		T-Mobile	97,4	4	3,0	106,4	0,209	42,14	0,497	116,34
	940,2		T-Mobile	112,8	4	3,0	121,8	1,233	42,16	2,925	4033,84
	945,6		Vodafone	99,6	4	3,0	108,6	0,270	42,28	0,638	193,07
	949,2		Vodafone	105,6	4	3,0	114,6	0,538	42,36	1,271	768,63
	950,0		Vodafone	114,0	4	3,0	123,0	1,416	42,38	3,341	5317,64
	953,6		T-Mobile	113,5	4	3,0	122,5	1,337	42,46	3,148	4739,35
	1837,8		Telefónica O2	81,4	4	3,0	90,4	0,033	58,95	0,056	2,92
	1836,8		Telefónica O2	97,3	4	3,0	106,3	0,207	58,93	0,351	113,69
	1834,6		Telefónica O2	112,8	8	3,0	124,8	1,744	58,89	2,961	8067,68
	1851,6		Vodafone	95,4	2	3,0	101,4	0,118	59,17	0,199	36,70
	1852,0		Vodafone	115,5	2	3,0	121,5	1,190	59,17	2,011	3755,68
	1852,4		Vodafone	103,0	2	3,0	109,0	0,282	59,18	0,477	211,20
	1863,0		E-Plus	104,4	2	3,0	110,4	0,332	59,35	0,559	291,53
	1867,4		E-Plus	87,6	2	3,0	93,6	0,048	59,42	0,081	6,09
	1868,4		E-Plus	89,7	2	3,0	95,7	0,061	59,43	0,103	9,88
	2112,8	248	Vodafone	66,0	2	13,0	82,0	0,013	61,00	0,021	0,42
	2112,8	256	Vodafone	91,4	2	13,0	107,4	0,235	61,00	0,385	146,11
	2157,2	404	Telefónica O2	99,8	2	19,3	122,1	1,275	61,00	2,090	4312,10
	2167,2	14	T-Mobile	95,4	2	13,0	111,4	0,372	61,00	0,610	367,02
	2167,2	47	T-Mobile	73,3	2	13,0	89,3	0,029	61,00	0,048	2,26
	2167,2	55	T-Mobile	87,6	2	13,0	103,6	0,152	61,00	0,248	60,91
	2167,2	483	T-Mobile	92,3	2	13,0	108,3	0,260	61,00	0,427	179,76
Summen								3,55		7,21	33367,1

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 (max.) in dBµV/m	E in V/m	Grenzwert in V/m	Prozent vom Grenzw.	S in µW/m²
3	926,6		E-Plus	107,3	1	3,0	110,3	0,327	41,86	0,782	284,22
	927,4		E-Plus	96,4	1	3,0	99,4	0,093	41,87	0,223	23,10
	929,4		E-Plus	88,6	1	3,0	91,6	0,038	41,92	0,091	3,83
	939,4		T-Mobile	94,3	4	3,0	103,3	0,147	42,14	0,348	56,98
	940,2		T-Mobile	102,0	4	3,0	111,0	0,356	42,16	0,844	335,52
	945,6		Vodafone	103,9	4	3,0	112,9	0,443	42,28	1,047	519,66
	949,2		Vodafone	76,7	4	3,0	85,7	0,019	42,36	0,046	0,99
	950,0		Vodafone	86,4	4	3,0	95,4	0,059	42,38	0,139	9,24
	953,6		T-Mobile	78,4	4	3,0	87,4	0,023	42,46	0,055	1,46
	1837,8		Telefónica O2	111,1	4	3,0	120,1	1,014	58,95	1,720	2727,21
	1836,8		Telefónica O2	94,0	4	3,0	103,0	0,142	58,93	0,240	53,18
	1834,6		Telefónica O2	77,6	8	3,0	89,6	0,030	58,89	0,051	2,44
	1835,0		Telefónica O2	95,6	4	3,0	104,6	0,170	58,90	0,289	76,86
	1840,6		Telefónica O2	106,4	4	3,0	115,4	0,590	58,99	1,001	924,10
	1844,6		Telefónica O2	116,7	4	3,0	125,7	1,932	59,05	3,272	9901,90
	1851,6		Vodafone	97,5	2	3,0	103,5	0,150	59,17	0,253	59,52
	1852,0		Vodafone	82,2	2	3,0	88,2	0,026	59,17	0,043	1,76
	1852,4		Vodafone	74,6	2	3,0	80,6	0,011	59,18	0,018	0,31
	1863,0		E-Plus	81,5	2	3,0	87,5	0,024	59,35	0,040	1,50
	1867,4		E-Plus	103,5	2	3,0	109,5	0,299	59,42	0,503	236,97
	1868,4		E-Plus	92,9	2	3,0	98,9	0,088	59,43	0,148	20,64
	2112,8	248	Vodafone	91,9	2	13,0	107,9	0,249	61,00	0,408	163,94
	2112,8	256	Vodafone	76,2	2	13,0	92,2	0,041	61,00	0,067	4,41
	2112,8	40	Vodafone	80,3	2	13,0	96,3	0,065	61,00	0,107	11,34
	2167,2	14	T-Mobile	81,8	2	13,0	97,8	0,078	61,00	0,127	16,02
	2167,2	47	T-Mobile	68,7	2	13,0	84,7	0,017	61,00	0,028	0,78
	2167,2	55	T-Mobile	71,3	2	13,0	87,3	0,023	61,00	0,038	1,43
	2167,2	74	T-Mobile	67,0	2	13,0	83,0	0,014	61,00	0,023	0,53
	2167,2	93	T-Mobile	77,1	2	13,0	93,1	0,045	61,00	0,074	5,43
	2167,2	195	T-Mobile	67,9	2	13,0	83,9	0,016	61,00	0,026	0,65
	2167,2	208	T-Mobile	72,2	2	13,0	88,2	0,026	61,00	0,042	1,76
	2167,2	223	T-Mobile	63,9	2	13,0	79,9	0,010	61,00	0,016	0,26
Summen								2,41		4,24	15447,9
4	1833,4		Telefónica O2	93,9	4	3,0	102,9	0,140	58,88	0,238	51,97
	1836,2		Telefónica O2	117,3	4	3,0	126,3	2,070	58,92	3,514	11368,91
	1840,2		Telefónica O2	100,9	4	3,0	109,9	0,313	58,98	0,531	260,45
Summen								2,10		3,56	11681,3

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 (max.) in dBµV/m	E in V/m	Grenzwert in V/m	Prozent vom Grenzw.	S in µW/m²
5	926,2		E-Plus	84,2	2	3,0	90,2	0,032	41,85	0,077	2,78
	928,4		E-Plus	104,1	2	3,0	110,1	0,320	41,90	0,764	272,08
	929,8		E-Plus	87,0	2	3,0	93,0	0,045	41,93	0,107	5,31
	940,0		T-Mobile	74,6	4	3,0	83,6	0,015	42,16	0,036	0,61
	940,4		T-Mobile	94,7	4	3,0	103,7	0,153	42,17	0,364	62,48
	954,4		T-Mobile	106,8	4	3,0	115,8	0,618	42,48	1,455	1013,25
	937,2		Vodafone	89,3	4	3,0	98,3	0,082	42,09	0,196	18,02
	949,6		Vodafone	99,9	4	3,0	108,9	0,279	42,37	0,659	206,88
	1830,6		Telefónica O2	108,3	4	3,0	117,3	0,735	58,83	1,249	1431,26
	1844,2		Telefónica O2	84,0	4	3,0	93,0	0,045	59,05	0,076	5,32
	1845,4		Telefónica O2	97,4	4	3,0	106,4	0,209	59,07	0,355	116,34
	1859,8		E-Plus	77,1	2	3,0	83,1	0,014	59,30	0,024	0,54
	1864,4		E-Plus	81,3	2	3,0	87,3	0,023	59,37	0,039	1,43
	2132,6	210	E-Plus	74,7	2	13,0	90,7	0,034	61,00	0,056	3,12
	2132,6	212	E-Plus	94,5	2	13,0	110,5	0,335	61,00	0,550	298,32
	2132,6	1	E-Plus	74,8	2	13,0	90,8	0,035	61,00	0,057	3,20
	2157,2	445	Telefónica O2	85,0	2	19,3	107,3	0,232	61,00	0,380	142,79
	2157,2	460	Telefónica O2	70,0	2	19,3	92,3	0,041	61,00	0,068	4,52
	2157,2	473	Telefónica O2	64,3	2	19,3	86,6	0,021	61,00	0,035	1,22
	2167,2	7	T-Mobile	95,1	2	13,0	111,1	0,359	61,00	0,589	342,52
2167,2	335	T-Mobile	77,4	2	13,0	93,4	0,047	61,00	0,077	5,82	
Summen								1,22		2,41	3937,8
6	926,4		E-Plus	84,3	2	3,0	90,3	0,033	41,85	0,078	2,85
	926,8		E-Plus	73,2	2	3,0	79,2	0,009	41,86	0,022	0,22
	928,8		E-Plus	103,9	2	3,0	109,9	0,313	41,90	0,747	259,83
	1831,8		Telefónica O2	82,9	2	3,0	88,9	0,028	58,85	0,047	2,06
	1836,0		Telefónica O2	98,7	2	3,0	104,7	0,172	58,92	0,292	78,47
	1837,6		Telefónica O2	105,6	2	3,0	111,6	0,381	58,94	0,646	384,32
	2157,2	449	Telefónica O2	88,8	2	19,3	111,1	0,359	61,00	0,589	342,52
	Summen							0,64		1,19	1070,3
7	942,0		T-Mobile	92,8	4	3,0	101,8	0,123	42,20	0,292	40,34
	2112,8	61	Vodafone	90,0	2	13,0	106,0	0,200	61,00	0,327	105,85
	2112,8	421	Vodafone	70,0	2	13,0	86,0	0,020	61,00	0,033	1,06
	2112,8	96	Vodafone	72,9	2	13,0	88,9	0,028	61,00	0,046	2,06
Summen							0,24		0,44	149,3	

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 (max.) in dBµV/m	E in V/m	Grenzwert in V/m	Prozent vom Grenzw.	S in µW/m²
8	936,6		Vodafone	69,9	4	3,0	78,9	0,009	42,08	0,021	0,21
	940,2		T-Mobile	86,9	4	3,0	95,9	0,063	42,16	0,148	10,37
	848,8		Vodafone	93,5	4	3,0	102,5	0,134	40,06	0,334	47,39
	1838,6		Telefónica O2	102,2	8	3,0	114,2	0,515	58,96	0,873	702,67
	1845,8		Telefónica O2	106,2	8	3,0	118,2	0,816	59,07	1,381	1765,02
	1840,2		Telefónica O2	75,5	8	3,0	87,5	0,024	58,98	0,040	1,50
	1852,4		Vodafone	80,4	2	3,0	86,4	0,021	59,18	0,035	1,16
	1852,8		Vodafone	83,6	2	3,0	89,6	0,030	59,19	0,051	2,42
	1859,0		E-Plus	86,6	2	3,0	92,6	0,043	59,28	0,072	4,84
	1865,0		E-Plus	99,1	2	3,0	105,1	0,180	59,38	0,303	86,04
	2112,8	61	Vodafone	64,0	2	13,0	80,0	0,010	61,00	0,016	0,27
	2112,8	160	Vodafone	82,2	2	13,0	98,2	0,081	61,00	0,133	17,57
	2132,6	1	E-Plus	66,4	2	13,0	82,4	0,013	61,00	0,022	0,46
	2132,6	2	E-Plus	89,0	2	13,0	105,0	0,178	61,00	0,292	84,08
	2157,2	473	Telefónica O2	88,4	2	19,3	110,7	0,343	61,00	0,563	312,38
	2167,2	17	T-Mobile	63,3	2	13,0	79,3	0,009	61,00	0,015	0,23
	2167,2	135	T-Mobile	64,6	2	13,0	80,6	0,011	61,00	0,018	0,31
	2167,2	202	T-Mobile	60,9	2	13,0	76,9	0,007	61,00	0,011	0,13
	2167,2	259	T-Mobile	62,0	2	13,0	78,0	0,008	61,00	0,013	0,17
	2167,2	379	T-Mobile	59,8	2	13,0	75,8	0,006	61,00	0,010	0,10
	2167,2	465	T-Mobile	58,5	2	13,0	74,5	0,005	61,00	0,009	0,07
	2167,2	473	T-Mobile	78,0	2	13,0	94,0	0,050	61,00	0,082	6,68
	2167,2	503	T-Mobile	59,8	2	13,0	75,8	0,006	61,00	0,010	0,10
Summen								1,07		1,83	3044,2
9	922,0		GSM-R	95,1	2	3,0	101,1	0,114	41,75	0,272	34,25
	940,2		T-Mobile	102,2	4	3,0	111,2	0,364	42,16	0,863	351,33
	948,8		Vodafone	85,8	4	3,0	94,8	0,055	42,35	0,130	8,05
	952,4		T-Mobile	108,6	4	3,0	117,6	0,760	42,43	1,792	1533,62
	1835,4		Telefónica O2	110,3	4	3,0	119,3	0,925	58,91	1,570	2268,39
	1837,6		Telefónica O2	84,6	4	3,0	93,6	0,048	58,94	0,081	6,11
	1864,0		E-Plus	88,4	2	3,0	94,4	0,053	59,36	0,089	7,32
	1874,2		E-Plus	95,6	2	3,0	101,6	0,120	59,53	0,202	38,43
	1874,6		E-Plus	80,6	2	3,0	86,6	0,021	59,53	0,036	1,22
Summen								1,27		2,56	4248,7

Festgestellte Mobilfunk-Immissionswerte (Minimalauslastung):

Messort: Bayreuth
Leitung: Dr. Wuschek
Signal: GSM/UMTS
Datum: 28.11.2008

Uhrzeit: 09:00-11:40 Uhr
Wetter: Heiter, trocken
Analyzler: 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 (max.) in dBµV/m	E in V/m	Grenzwert in V/m	Prozent vom Grenzw.	S in µW/m²
1	2112,8	55	Vodafone	88,7	1	6,0	94,7	0,054	61,00	0,089	7,83
	2112,8	63	Vodafone	110,1	1	6,0	116,1	0,638	61,00	1,046	1080,58
	2112,8	166	Vodafone	83,4	1	6,0	89,4	0,030	61,00	0,048	2,31
	2167,2	424	T-Mobile	73,1	1	6,0	79,1	0,009	61,00	0,015	0,22
	2167,2	449	T-Mobile	101,5	1	6,0	107,5	0,237	61,00	0,389	149,16
	2167,2	465	T-Mobile	92,7	1	6,0	98,7	0,086	61,00	0,141	19,66
	2167,2	0	T-Mobile	82,4	1	6,0	88,4	0,026	61,00	0,043	1,84
2167,2	145	T-Mobile	75,2	1	6,0	81,2	0,011	61,00	0,019	0,35	
Summen								0,69		1,13	1261,9
2	926,6		E-Plus	89,6	1	3,0	92,6	0,043	41,86	0,102	4,83
	927,4		E-Plus	91,6	1	3,0	94,6	0,054	41,87	0,128	7,65
	929,4		E-Plus	110,7	1	3,0	113,7	0,484	41,92	1,155	621,81
	939,4		T-Mobile	97,4	1	3,0	100,4	0,105	42,14	0,248	29,08
	940,2		T-Mobile	112,8	1	3,0	115,8	0,617	42,16	1,462	1008,46
	945,6		Vodafone	99,6	1	3,0	102,6	0,135	42,28	0,319	48,27
	949,2		Vodafone	105,6	1	3,0	108,6	0,269	42,36	0,635	192,16
	950,0		Vodafone	114,0	1	3,0	117,0	0,708	42,38	1,670	1329,41
	953,6		T-Mobile	113,5	1	3,0	116,5	0,668	42,46	1,574	1184,84
	1837,8		Telefónica O2	81,4	1	3,0	84,4	0,017	58,95	0,028	0,73
	1836,8		Telefónica O2	97,3	1	3,0	100,3	0,104	58,93	0,176	28,42
	1834,6		Telefónica O2	112,8	1	3,0	115,8	0,617	58,89	1,047	1008,46
	1851,6		Vodafone	95,4	1	3,0	98,4	0,083	59,17	0,141	18,35
	1852,0		Vodafone	115,5	1	3,0	118,5	0,841	59,17	1,422	1877,84
	1852,4		Vodafone	103,0	1	3,0	106,0	0,200	59,18	0,337	105,60
	1863,0		E-Plus	104,4	1	3,0	107,4	0,234	59,35	0,395	145,77
	1867,4		E-Plus	87,6	1	3,0	90,6	0,034	59,42	0,057	3,05
	1868,4		E-Plus	89,7	1	3,0	92,7	0,043	59,43	0,073	4,94
	2112,8	248	Vodafone	66,0	1	6,0	72,0	0,004	61,00	0,007	0,04
	2112,8	256	Vodafone	91,4	1	6,0	97,4	0,074	61,00	0,122	14,58
	2157,2	404	Telefónica O2	99,8	1	6,0	105,8	0,195	61,00	0,320	100,85
2167,2	14	T-Mobile	95,4	1	6,0	101,4	0,117	61,00	0,193	36,61	
2167,2	47	T-Mobile	73,3	1	6,0	79,3	0,009	61,00	0,015	0,23	
2167,2	55	T-Mobile	87,6	1	6,0	93,6	0,048	61,00	0,078	6,08	
2167,2	483	T-Mobile	92,3	1	6,0	98,3	0,082	61,00	0,135	17,93	
Summen								1,71		3,60	7796,0

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 (max.) in dBµV/m	E in V/m	Grenzwert in V/m	Prozent vom Grenzw.	S in µW/m²
3	926,6		E-Plus	107,3	1	3,0	110,3	0,327	41,86	0,782	284,22
	927,4		E-Plus	96,4	1	3,0	99,4	0,093	41,87	0,223	23,10
	929,4		E-Plus	88,6	1	3,0	91,6	0,038	41,92	0,091	3,83
	939,4		T-Mobile	94,3	1	3,0	97,3	0,073	42,14	0,174	14,24
	940,2		T-Mobile	102,0	1	3,0	105,0	0,178	42,16	0,422	83,88
	945,6		Vodafone	103,9	1	3,0	106,9	0,221	42,28	0,523	129,91
	949,2		Vodafone	76,7	1	3,0	79,7	0,010	42,36	0,023	0,25
	950,0		Vodafone	86,4	1	3,0	89,4	0,030	42,38	0,070	2,31
	953,6		T-Mobile	78,4	1	3,0	81,4	0,012	42,46	0,028	0,37
	1837,8		Telefónica O2	111,1	1	3,0	114,1	0,507	58,95	0,860	681,80
	1836,8		Telefónica O2	94,0	1	3,0	97,0	0,071	58,93	0,120	13,29
	1834,6		Telefónica O2	77,6	1	3,0	80,6	0,011	58,89	0,018	0,30
	1835,0		Telefónica O2	95,6	1	3,0	98,6	0,085	58,90	0,145	19,22
	1840,6		Telefónica O2	106,4	1	3,0	109,4	0,295	58,99	0,500	231,02
	1844,6		Telefónica O2	116,7	1	3,0	119,7	0,966	59,05	1,636	2475,48
	1851,6		Vodafone	97,5	1	3,0	100,5	0,106	59,17	0,179	29,76
	1852,0		Vodafone	82,2	1	3,0	85,2	0,018	59,17	0,031	0,88
	1852,4		Vodafone	74,6	1	3,0	77,6	0,008	59,18	0,013	0,15
	1863,0		E-Plus	81,5	1	3,0	84,5	0,017	59,35	0,028	0,75
	1867,4		E-Plus	103,5	1	3,0	106,5	0,211	59,42	0,356	118,48
	1868,4		E-Plus	92,9	1	3,0	95,9	0,062	59,43	0,105	10,32
	2112,8	248	Vodafone	91,9	1	6,0	97,9	0,079	61,00	0,129	16,36
	2112,8	256	Vodafone	76,2	1	6,0	82,2	0,013	61,00	0,021	0,44
	2112,8	40	Vodafone	80,3	1	6,0	86,3	0,021	61,00	0,034	1,13
	2167,2	14	T-Mobile	81,8	1	6,0	87,8	0,025	61,00	0,040	1,60
	2167,2	47	T-Mobile	68,7	1	6,0	74,7	0,005	61,00	0,009	0,08
	2167,2	55	T-Mobile	71,3	1	6,0	77,3	0,007	61,00	0,012	0,14
	2167,2	74	T-Mobile	67,0	1	6,0	73,0	0,004	61,00	0,007	0,05
	2167,2	93	T-Mobile	77,1	1	6,0	83,1	0,014	61,00	0,023	0,54
	2167,2	195	T-Mobile	67,9	1	6,0	73,9	0,005	61,00	0,008	0,07
	2167,2	208	T-Mobile	72,2	1	6,0	78,2	0,008	61,00	0,013	0,18
	2167,2	223	T-Mobile	63,9	1	6,0	69,9	0,003	61,00	0,005	0,03
Summen								1,25		2,25	4144,2
4	1833,4		Telefónica O2	93,9	1	3,0	96,9	0,070	58,88	0,119	12,99
	1836,2		Telefónica O2	117,3	1	3,0	120,3	1,035	58,92	1,757	2842,23
	1840,2		Telefónica O2	100,9	1	3,0	103,9	0,157	58,98	0,266	65,11
Summen								1,05		1,78	2920,3

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 (max.) in dBµV/m	E in V/m	Grenzwert in V/m	Prozent vom Grenzw.	S in µW/m²
5	926,2		E-Plus	84,2	1	3,0	87,2	0,023	41,85	0,055	1,39
	928,4		E-Plus	104,1	1	3,0	107,1	0,226	41,90	0,541	136,04
	929,8		E-Plus	87,0	1	3,0	90,0	0,032	41,93	0,075	2,65
	940,0		T-Mobile	74,6	1	3,0	77,6	0,008	42,16	0,018	0,15
	940,4		T-Mobile	94,7	1	3,0	97,7	0,077	42,17	0,182	15,62
	954,4		T-Mobile	106,8	1	3,0	109,8	0,309	42,48	0,727	253,31
	937,2		Vodafone	89,3	1	3,0	92,3	0,041	42,09	0,098	4,50
	949,6		Vodafone	99,9	1	3,0	102,9	0,140	42,37	0,330	51,72
	1830,6		Telefónica O2	108,3	1	3,0	111,3	0,367	58,83	0,624	357,82
	1844,2		Telefónica O2	84,0	1	3,0	87,0	0,022	59,05	0,038	1,33
	1845,4		Telefónica O2	97,4	1	3,0	100,4	0,105	59,07	0,177	29,08
	1859,8		E-Plus	77,1	1	3,0	80,1	0,010	59,30	0,017	0,27
	1864,4		E-Plus	81,3	1	3,0	84,3	0,016	59,37	0,028	0,71
	2132,6	210	E-Plus	74,7	1	6,0	80,7	0,011	61,00	0,018	0,31
	2132,6	212	E-Plus	94,5	1	6,0	100,5	0,106	61,00	0,174	29,76
	2132,6	1	E-Plus	74,8	1	6,0	80,8	0,011	61,00	0,018	0,32
	2157,2	445	Telefónica O2	85,0	1	6,0	91,0	0,035	61,00	0,058	3,34
	2157,2	460	Telefónica O2	70,0	1	6,0	76,0	0,006	61,00	0,010	0,11
	2157,2	473	Telefónica O2	64,3	1	6,0	70,3	0,003	61,00	0,005	0,03
	2167,2	7	T-Mobile	95,1	1	6,0	101,1	0,114	61,00	0,186	34,17
	2167,2	335	T-Mobile	77,4	1	6,0	83,4	0,015	61,00	0,024	0,58
Summen								0,59		1,21	923,2
6	926,4		E-Plus	84,3	1	3,0	87,3	0,023	41,85	0,055	1,42
	926,8		E-Plus	73,2	1	3,0	76,2	0,006	41,86	0,015	0,11
	928,8		E-Plus	103,9	1	3,0	106,9	0,221	41,90	0,528	129,91
	1831,8		Telefónica O2	82,9	1	3,0	85,9	0,020	58,85	0,034	1,03
	1836,0		Telefónica O2	98,7	1	3,0	101,7	0,122	58,92	0,206	39,23
	1837,6		Telefónica O2	105,6	1	3,0	108,6	0,269	58,94	0,457	192,16
	2157,2	449	Telefónica O2	88,8	1	6,0	94,8	0,055	61,00	0,090	8,01
Summen								0,37		0,74	371,9
7	942,0		T-Mobile	92,8	1	3,0	95,8	0,062	42,20	0,146	10,08
	2112,8	61	Vodafone	90,0	1	6,0	96,0	0,063	61,00	0,103	10,56
	2112,8	421	Vodafone	70,0	1	6,0	76,0	0,006	61,00	0,010	0,11
	2112,8	96	Vodafone	72,9	1	6,0	78,9	0,009	61,00	0,014	0,21
Summen								0,09		0,18	21,0

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 (max.) in dBµV/m	E in V/m	Grenzwert in V/m	Prozent vom Grenzw.	S in µW/m²
8	936,6		Vodafone	69,9	1	3,0	72,9	0,004	42,08	0,010	0,05
	940,2		T-Mobile	86,9	1	3,0	89,9	0,031	42,16	0,074	2,59
	848,8		Vodafone	93,5	1	3,0	96,5	0,067	40,06	0,167	11,85
	1838,6		Telefónica O2	102,2	1	3,0	105,2	0,182	58,96	0,309	87,83
	1845,8		Telefónica O2	106,2	1	3,0	109,2	0,288	59,07	0,488	220,63
	1840,2		Telefónica O2	75,5	1	3,0	78,5	0,008	58,98	0,014	0,19
	1852,4		Vodafone	80,4	1	3,0	83,4	0,015	59,18	0,025	0,58
	1852,8		Vodafone	83,6	1	3,0	86,6	0,021	59,19	0,036	1,21
	1859,0		E-Plus	86,6	1	3,0	89,6	0,030	59,28	0,051	2,42
	1865,0		E-Plus	99,1	1	3,0	102,1	0,127	59,38	0,214	43,02
	2112,8	61	Vodafone	64,0	1	6,0	70,0	0,003	61,00	0,005	0,03
	2112,8	160	Vodafone	82,2	1	6,0	88,2	0,026	61,00	0,042	1,75
	2132,6	1	E-Plus	66,4	1	6,0	72,4	0,004	61,00	0,007	0,05
	2132,6	2	E-Plus	89,0	1	6,0	95,0	0,056	61,00	0,092	8,39
	2157,2	473	Telefónica O2	88,4	1	6,0	94,4	0,052	61,00	0,086	7,31
	2167,2	17	T-Mobile	63,3	1	6,0	69,3	0,003	61,00	0,005	0,02
	2167,2	135	T-Mobile	64,6	1	6,0	70,6	0,003	61,00	0,006	0,03
	2167,2	202	T-Mobile	60,9	1	6,0	66,9	0,002	61,00	0,004	0,01
	2167,2	259	T-Mobile	62,0	1	6,0	68,0	0,003	61,00	0,004	0,02
	2167,2	379	T-Mobile	59,8	1	6,0	65,8	0,002	61,00	0,003	0,01
	2167,2	465	T-Mobile	58,5	1	6,0	64,5	0,002	61,00	0,003	0,01
	2167,2	473	T-Mobile	78,0	1	6,0	84,0	0,016	61,00	0,026	0,67
	2167,2	503	T-Mobile	59,8	1	6,0	65,8	0,002	61,00	0,003	0,01
Summen								0,38		0,66	388,7
9	922,0		GSM-R	95,1	1	3,0	98,1	0,080	41,75	0,192	17,13
	940,2		T-Mobile	102,2	1	3,0	105,2	0,182	42,16	0,432	87,83
	948,8		Vodafone	85,8	1	3,0	88,8	0,028	42,35	0,065	2,01
	952,4		T-Mobile	108,6	1	3,0	111,6	0,380	42,43	0,896	383,41
	1835,4		Telefónica O2	110,3	1	3,0	113,3	0,462	58,91	0,785	567,10
	1837,6		Telefónica O2	84,6	1	3,0	87,6	0,024	58,94	0,041	1,53
	1864,0		E-Plus	88,4	1	3,0	91,4	0,037	59,36	0,063	3,66
	1874,2		E-Plus	95,6	1	3,0	98,6	0,085	59,53	0,143	19,22
	1874,6		E-Plus	80,6	1	3,0	83,6	0,015	59,53	0,025	0,61
Summen								0,64		1,29	1082,5

Legende zu obigen Tabellen:

- Spalte 1:** Nummerierung der Messpunkte.
- Spalte 2:** Bei GSM-Signalen: Frequenz des für jede Senderichtung vorhandenen Signalisierungskanals (BCCH) in MHz. Bei UMTS-Signalen (Trägerfrequenzen zwischen 2110 und 2170 MHz): Mittelfrequenz des gemessenen Kanals in MHz.
- Spalte 3:** Scramblingcodenummer des gemessenen Signalisierungskanals (nur bei UMTS-Signalen).
- Spalte 4:** Betreiberzuordnung.
- Spalte 5:** Vor Ort gemessene Feldstärke in dBµV/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, daher ergibt sich in den UMTS-Zeilen ein Aufschlagfaktor von insgesamt 13 dB (T-Mobile, Vodafone, E-Plus) bzw. 19,3 dB (Telefónica 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 dBµV/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.

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

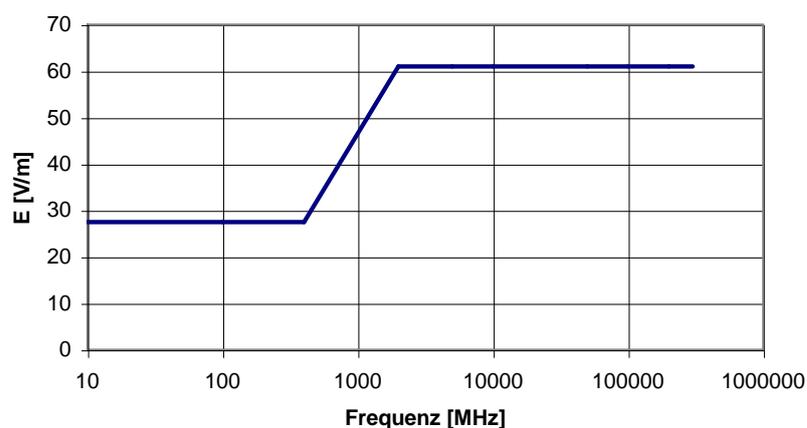


Bild 1: Grafische Darstellung der Grenzwerte (elektrische Feldstärke) nach 26. BImSchV für Hochfrequenzanlagen

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.

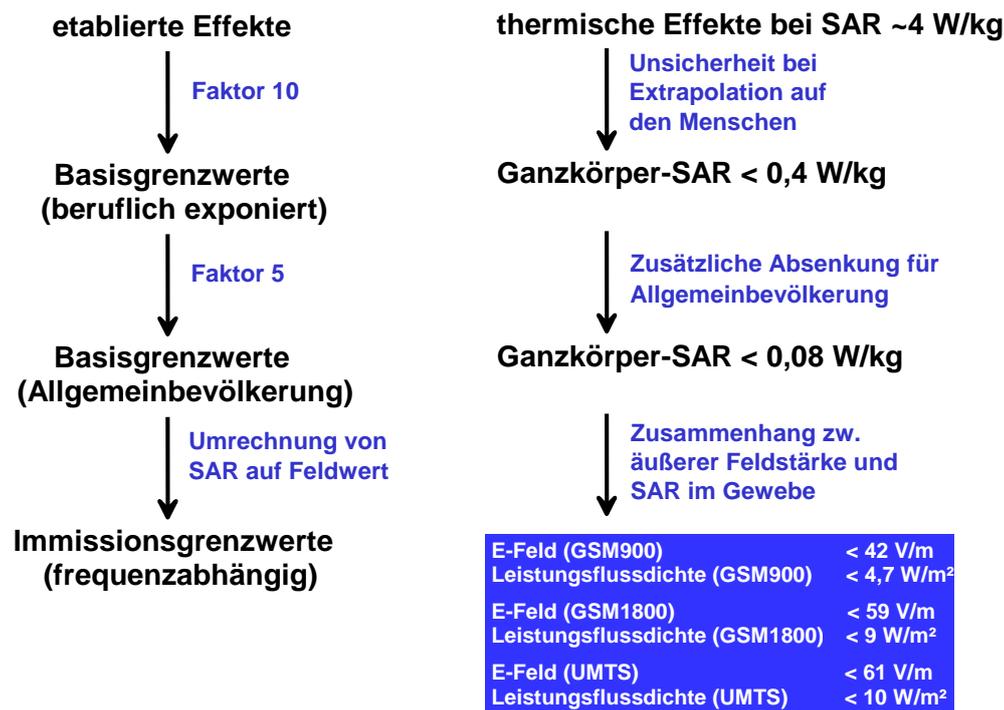
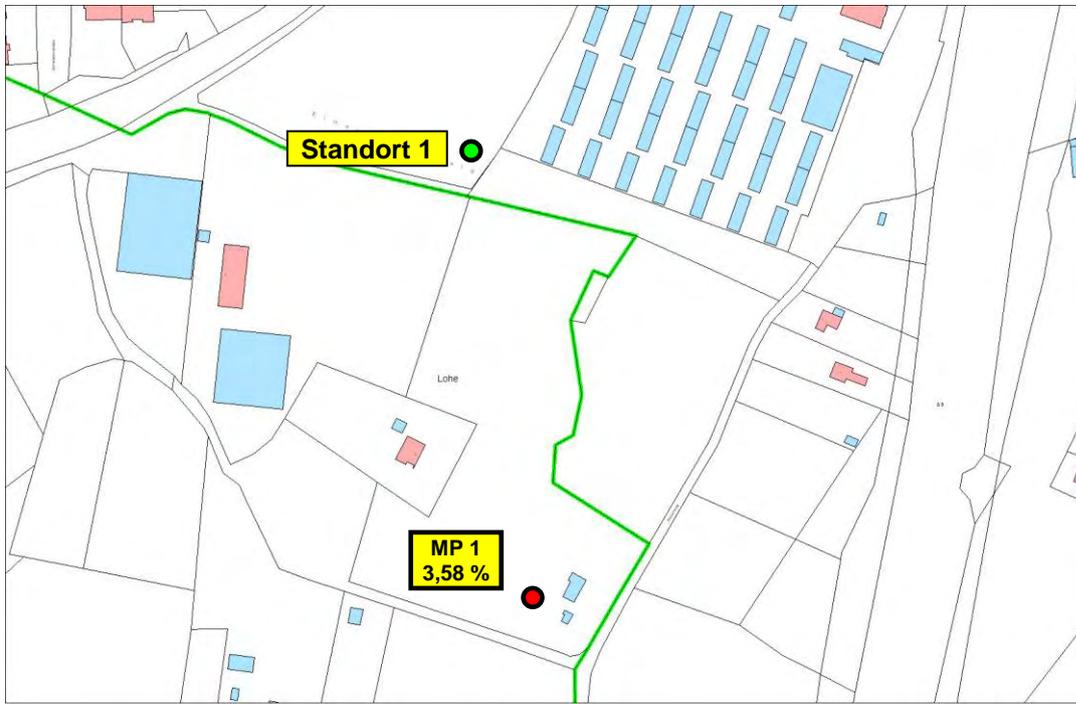


Bild 2: Darstellung der Entstehung internationaler Grenzwertempfehlungen

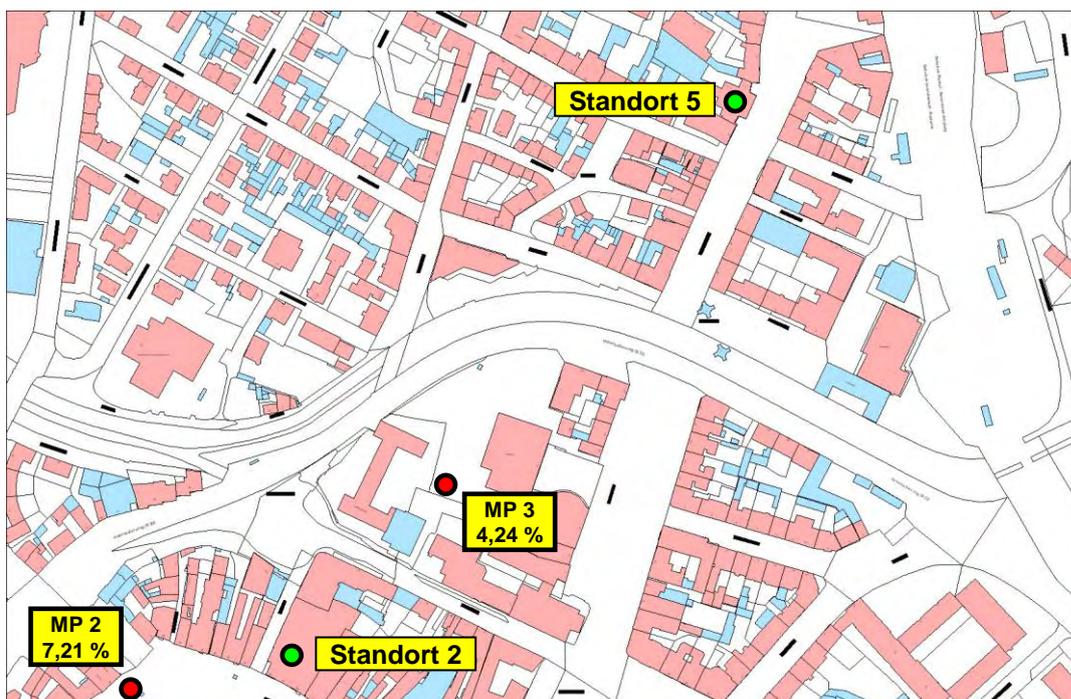
Um zu berücksichtigen, dass in manchen Situationen die einzelnen Körperteile sehr unterschiedlich den elektromagnetischen Feldern ausgesetzt sein können (beispielsweise wirken bei Benutzung von Mobiltelefonen die hochfrequenten elektromagnetischen Felder hauptsächlich auf den Kopf ein) bzw. dass bestimmte 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

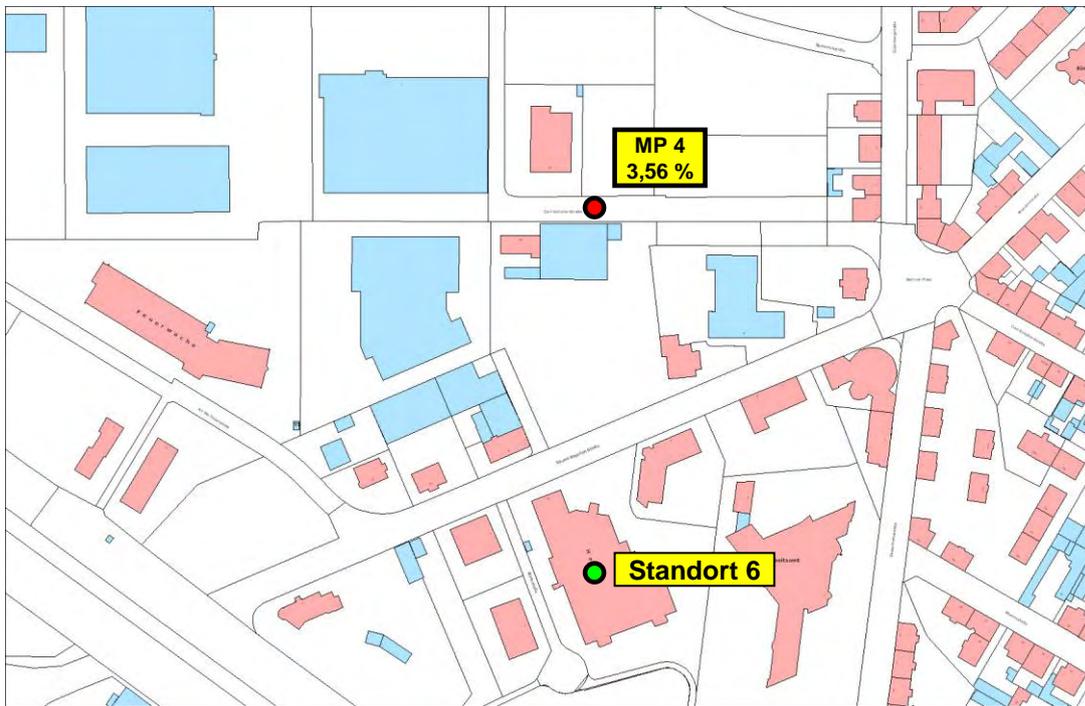
Messpunkt 1:



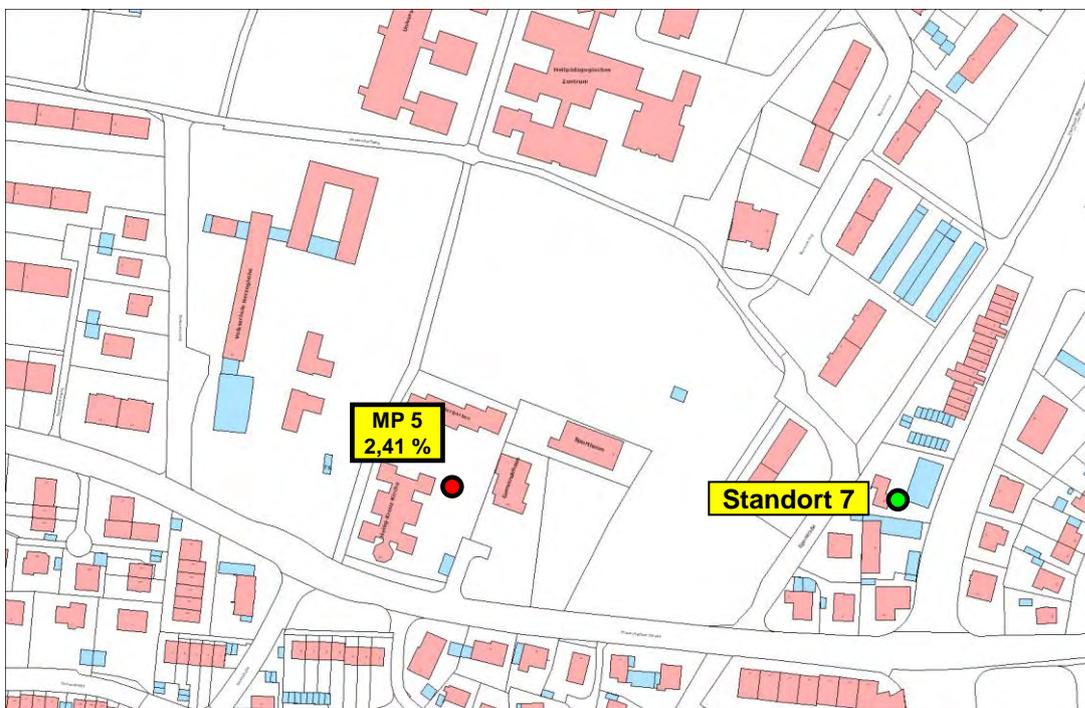
Messpunkte 2 und 3:



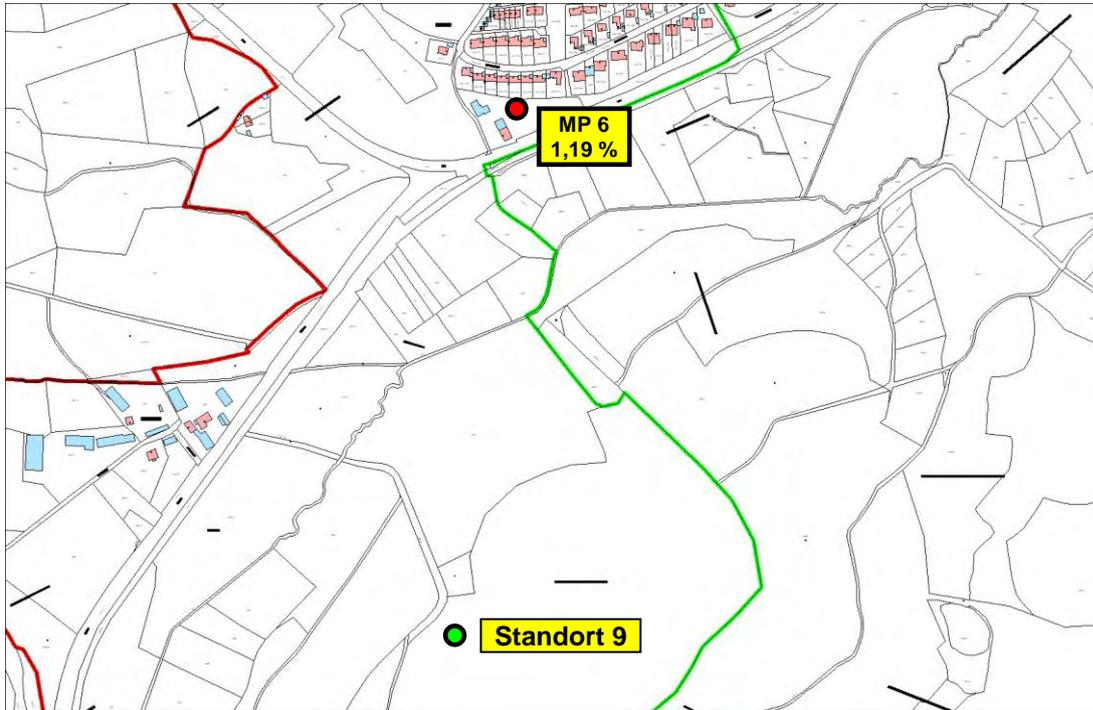
Messpunkt 4:



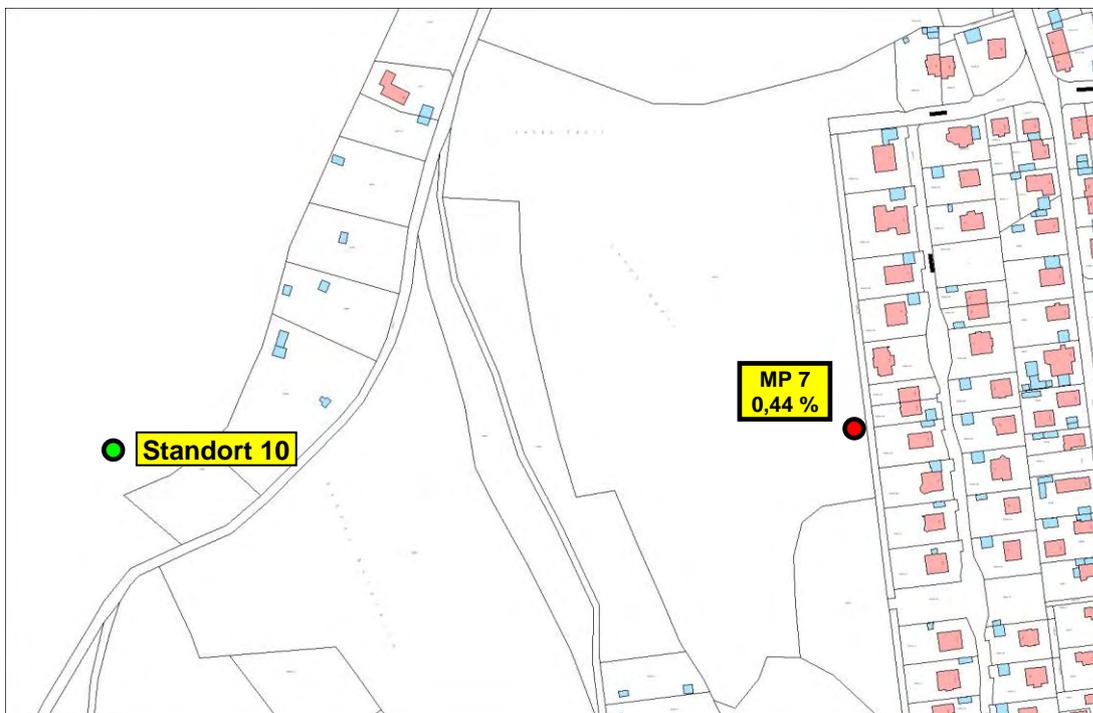
Messpunkt 5:

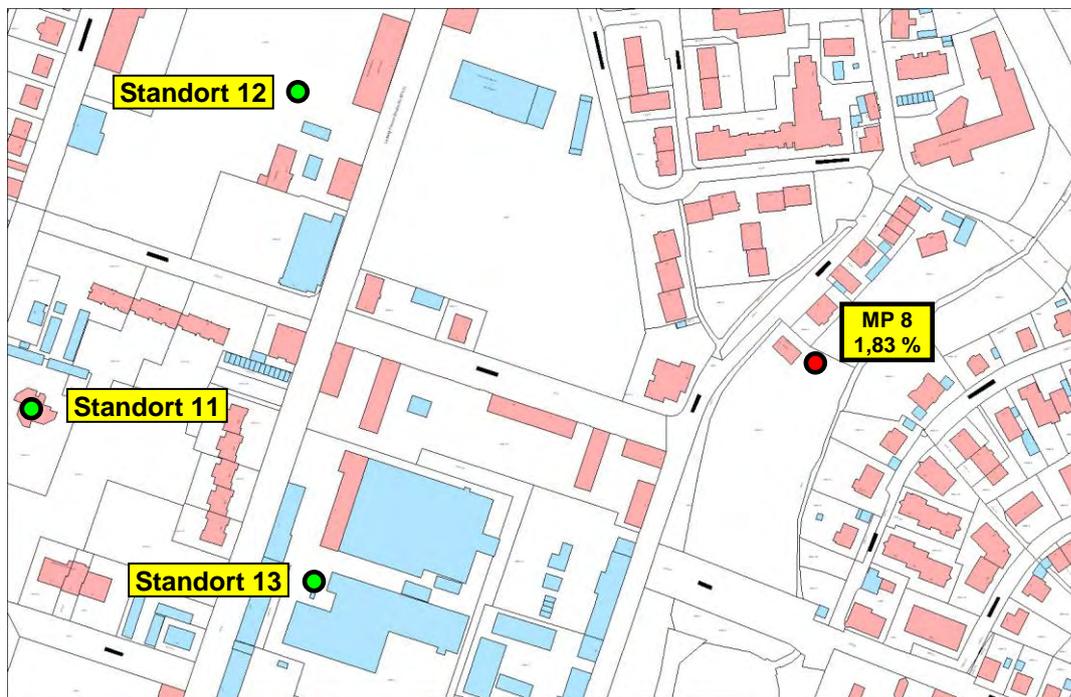
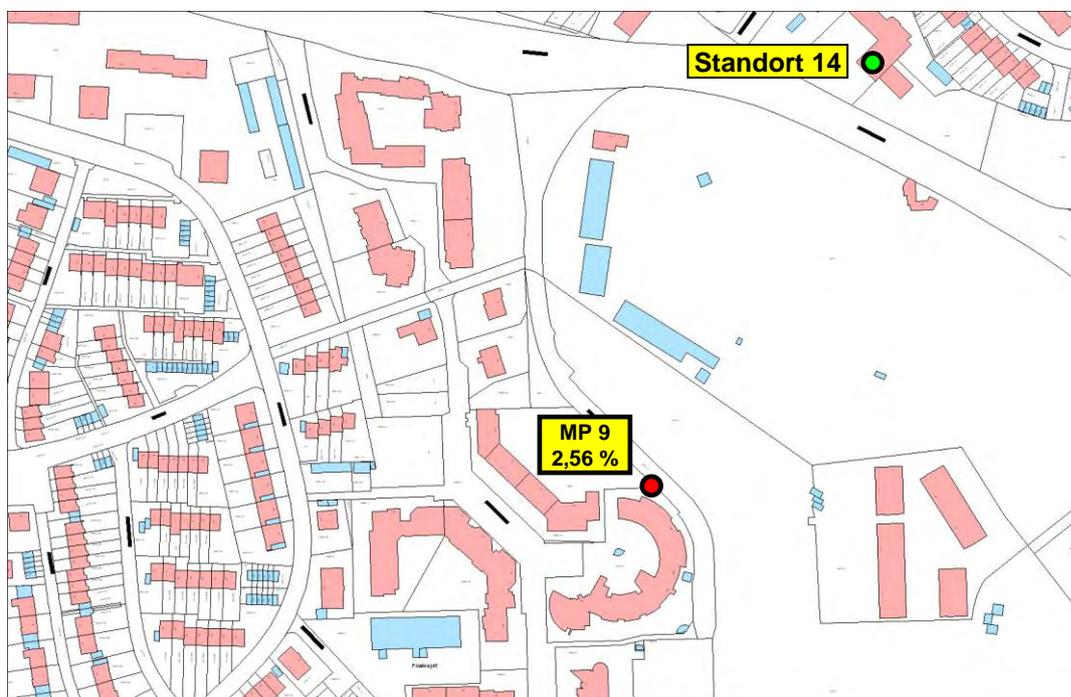


Messpunkt 6:



Messpunkt 7:



Messpunkt 8:**Messpunkt 9:**

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 mit Standort 1 im Hintergrund



Bild 2: Messpunkt 2



Bild 3: Standort 2 von Messpunkt 1 aus gesehen



Bild 4: Messpunkt 3



Bild 5: Standort 2 von Messpunkt 3 aus gesehen



Bild 6: Standort 5 von Messpunkt 3 aus gesehen



Bild 7: Messpunkt 4



Bild 8: Standort 6 von Messpunkt 4 aus gesehen



Bild 9: Messpunkt 5



Bild 10: Messpunkt 6



Bild 11: Standort 9 von Messpunkt 6 aus gesehen



Bild 12: Messpunkt 7



Bild 13: Standort 10 von Messpunkt 7 aus gesehen



Bild 14: Messpunkt 8 mit Standort 13 im Hintergrund



Bild 15: Messpunkt 9



Bild 16: Standort 14 von Messpunkt 9 aus gesehen