

# Elektromagnetische Immissionen durch Mobilfunksendeanlagen

Bericht über durchgeführte Feldstärkemessungen und Prognoseberechnungen



**Auftraggeber:** Stadt Regensburg  
Umweltamt  
Minoritenweg 8-10  
93047 Regensburg

**Ort:** Umgebung des geplanten Anlagenstandortes "Rilkestraße 23"

**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:** 14/072

**Ort und Datum:** Regensburg, 27. Juni 2015

---

## Inhaltsverzeichnis

	<b>Seite</b>
<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung</b> 3
<b>2</b>	<b>Immissionen durch Mobilfunksendeanlagen</b> 5
<b>3</b>	<b>Durchführung der Messungen</b> 8
3.1	Messgrößen für hochfrequente elektromagnetische Felder 8
3.2	Verwendete Messgeräte, Messverfahren 8
3.3	Messgenauigkeit, Bestimmung der Maximalimmission 9
3.4	Qualitätssicherung 10
3.5	Messorte 10
<b>4</b>	<b>Festgestellte Immissionswerte</b> 11
<b>5</b>	<b>Immissionsprognose für den geplanten Standort</b> 13
5.1	Wichtige Randbedingungen 14
5.2	Berechnete Feldstärkewerte, Grenzwertvergleich 15
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen</b> 17
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> 19
<b>8</b>	<b>Anlagen</b> 20
	Anlage 1: Ausführliche Ergebnistabellen 20
	Anlage 2: Grenzwerte und ihre Entstehung 24
	Anlage 3: Lageplan mit Anlagenstandort und den Messpunkten 27
	Anlage 4: Fotos 28
	Anlage 5: Dokumentation der Immissionsberechnungen 30

# 1 Aufgabenstellung

Aufgrund der geplanten Errichtung eines neuen Mobilfunkstandortes (Rilkestraße 23, 93049 Regensburg) wurde die EM-Institut GmbH vom Umweltamt der Stadt Regensburg beauftragt, an einigen Punkten in der Umgebung des neuen Standortes die dort aktuell durch Mobilfunksignale verursachten elektromagnetischen Immissionen messtechnisch zu erfassen. Die Ergebnisse der Messungen sind mit den derzeit in Deutschland verbindlichen Grenzwerten zu vergleichen.

Aktuell sind in der näheren Umgebung der Messpunkte folgende Mobilfunksendeanlagen in Betrieb.

Adresse (Standortbescheinigungsnummer)	Betreiberfirma (Mobilfunksysteme)
Prüfeninger Straße 79 (680879)	Vodafone (GSM+UMTS)

**Quelle:** Standortdatenbank der Bundesnetzagentur (BNetzA), sowie Auskünfte der Netzbetreiber.

**Tab. 1:** In der näheren Umgebung der Messpunkte aktuell vorhandene Mobilfunksendeanlagen.

Die Deutsche Telekom beabsichtigt, am Standort GSM-, UMTS- und LTE-Anlagen in Betrieb zu nehmen. Die dadurch zu erwartende Veränderung der Immission soll durch Berechnungen vorab prognostiziert und der aktuellen Immissionssituation gegenübergestellt werden.

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 Internationalen Kommission für den Schutz vor nicht ionisierenden Strahlen (ICNIRP) [2], des Europäischen Rates [3] sowie der deutschen Strahlenschutzkommission [4].

Die Intensität elektromagnetischer Wellenfelder wird durch die *Feldstärke* oder die *Leistungsflussdichte* beschrieben. Welche Feldstärke- bzw. Leistungsflussdichtewerte an bestimmten Orten auftreten, lässt sich im Allgemeinen nur näherungsweise berechnen, da neben der Leistung der Sendeanlage verschiedene andere Einflussfaktoren zusätzlich eine Rolle spielen können. Als Beispiel seien hier Antennencharakteristik, Bewuchs (vor allem Bäume), Bebauung und Gebäudeschirmung genannt.

Um zuverlässige Aussagen über die Hochfrequenzimmission in der Umgebung einer Funk-sendeanlage 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.

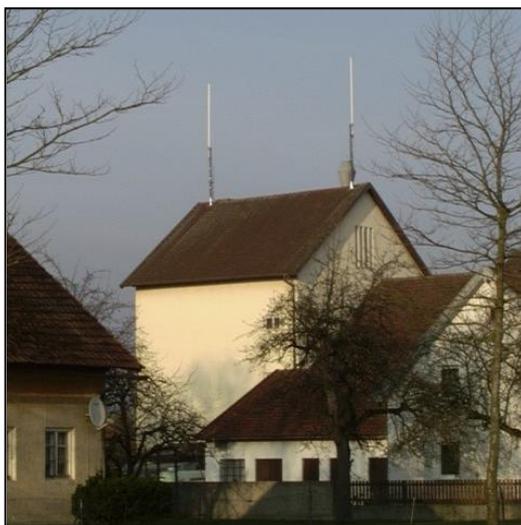
Im vorliegenden Fall soll mittels der Messergebnisse und zusätzlicher Prognoseberechnungen die Beantwortung der folgenden Fragen möglich werden:

- *Wie groß, im Vergleich zum gesetzlichen Grenzwert, sind die Immissionen, die derzeit durch bestehende Mobilfunkanlagen an den betrachteten Messpunkten erzeugt werden?*
- *Wie stark wird sich die Immission an den betrachteten Punkten durch die geplante Inbetriebnahme des neuen Anlagenstandortes verändern?*

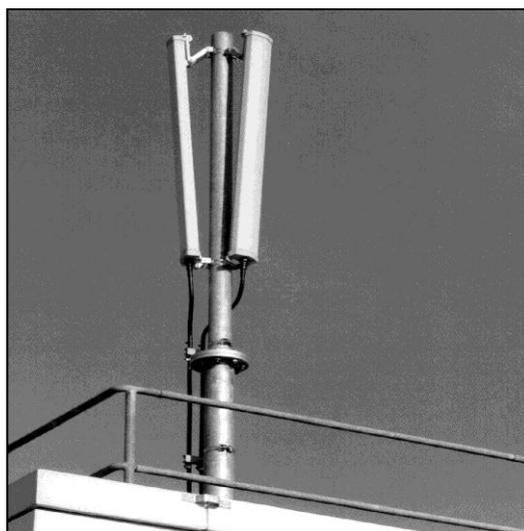
Die Ergebnisse der Messungen und der Prognoseberechnungen, sowie die sich daraus ergebenden Schlussfolgerungen werden im Folgenden dargestellt.

## 2 Immissionen durch Mobilfunksendeanlagen

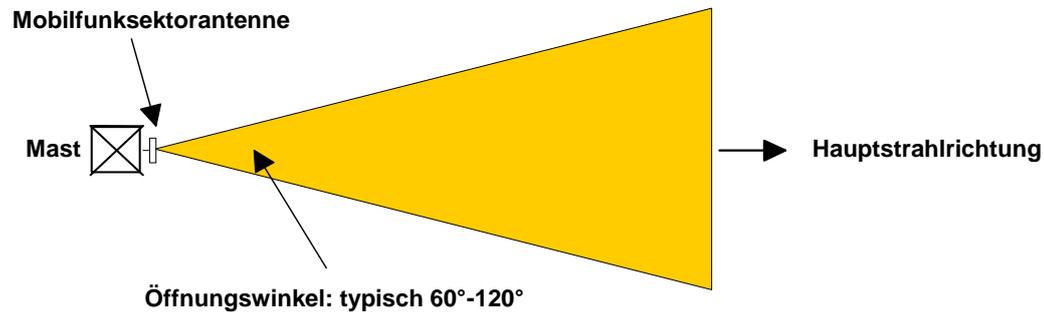
Neben der Sendeleistung ist insbesondere das Bündelungsverhalten der montierten Antennen ein wesentlicher Faktor für die Größe der Immissionen in der unmittelbaren Umgebung einer Mobilfunksendeanlage. Die beim Mobilfunk verwendeten Antennen senden in der horizontalen Ebene entweder omnidirektional (Abb. 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  $60^\circ$  bis  $120^\circ$  breiten Sektor konzentriert (Abbildung 3). Häufig werden von einem Anlagenstandort aus, durch die Montage mehrerer derartiger Richtantennen, gleich zwei oder drei Sektoren versorgt (Abbildung 2).



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



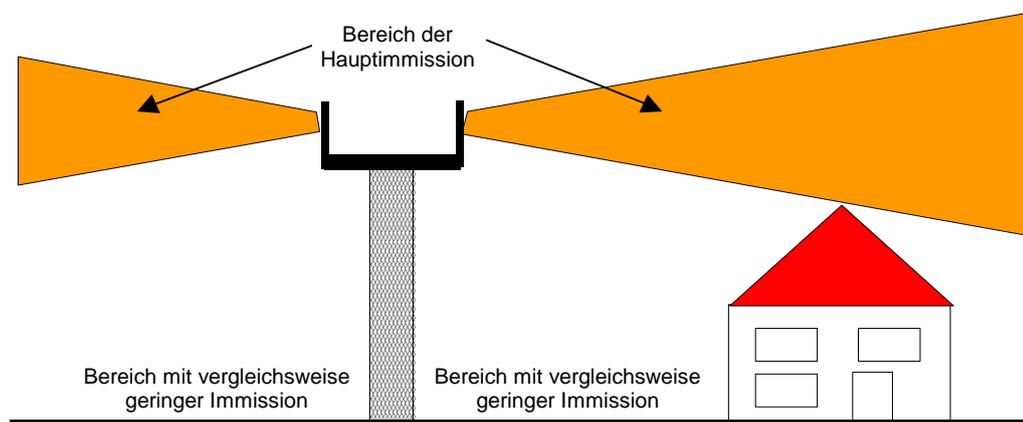
**Abb. 2:** Zwei Sektorantennen, montiert auf einem Flachdach (hier mit mechanischer Strahlabsenkung, engl. "Downtilt").



**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 (Abbildung 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 sogenannter "Gleichkanalstörungen").



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

Außerhalb dieses schmalen Feldkegels der Antenne (vergleichbar mit der Lichtverteilung 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 Topografie, 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](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 elektromagnetische Felder

Für die Beurteilung der elektromagnetischen Immissionen in der Umgebung von Hochfrequenzquellen werden bei Frequenzen oberhalb 30 Megahertz üblicherweise die folgenden Größen verwendet [7]:

- Der Effektivwert der *elektrischen Feldstärke* E in Volt pro Meter (V/m).
- Der Effektivwert der *magnetischen Feldstärke* H in Ampere pro Meter (A/m).
- Die *Leistungsdichte* (häufig auch *Leistungsflussdichte* bezeichnet) S in Watt pro Quadratmeter ( $W/m^2$ ) oder Milliwatt pro Quadratmeter ( $mW/m^2$ ).

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 bzw. magnetische Feldstärke in einem festen Verhältnis zueinander. Alle drei Größen sind im Fernfeld äquivalent, ähnlich wie Stromaufnahme und Leistungsverbrauch bei Elektrogeräten. Bei den 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 drei 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 27M-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 spektral mit einer Messbandbreite von 0,2 MHz, TETRA-Signale mit 0,03 MHz, UMTS mit 5 MHz und LTE-Signale mit ca. 1 MHz (plus anschließender Extrapolation auf die volle Signalbandbreite) erfasst. Als Detektor kommen der Peak-Detektor (bei GSM) bzw. der RMS-Detektor (bei TETRA, UMTS und LTE) zum Einsatz. Bei den UMTS-

und den LTE-Signalen werden die Immissionen zellspezifisch erfasst ("codeselektive Messung").

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  $\pm 3$  Dezibel (dB) gerechnet werden [9]. Gründe dafür sind z.B. unvermeidbare Restfehler bei der Kalibrierung der Messantennen, die entsprechende Messtoleranz des Feldanalysators und die Unsicherheit der Probennahme. Bei den im Folgenden dokumentierten Immissionswerten wurde die Messunsicherheit nicht auf die vor Ort abgelesenen Anzeige des Messgerätes aufgeschlagen.

Falls die Messunsicherheit von typisch 3 dB eine Berücksichtigung finden soll, muss die jeweils angegebene Leistungsflussdichte um den Faktor 2 vergrößert werden. Erfolgt ein Vergleich hinsichtlich der elektrischen Feldstärke, sind die dokumentierten Ergebnisse um den Faktor 1,4 höher anzusetzen.

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.

Signale des BOS-Digitalfunks (TETRA-Standard) werden vergleichbar zu GSM auf höchste Anlagenauslastung extrapoliert: Messung der permanent abgestrahlten Signalisierungskanäle (MCCH) mit anschließender multiplikativer Hochrechnung auf Maximalauslastung.

Auch bei UMTS-Stationen ändern 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 [10].

Bei Anlagen des LTE-Mobilfunks ergibt sich ebenfalls eine auslastungsabhängige Leistungsabgabe. Daher wird auch hier ein Messverfahren angewendet, bei dem ein auslastungsunabhängiges Signalisierungssignal gemessen und daraus sowohl auf die maximal, als auch auf die minimal mögliche Immission extrapoliert wird [11].

Gegebenenfalls werden die gemäß den obigen Beschreibungen errechneten Extrapolationsfaktoren noch geeignet vergrößert, falls die Anlagen aktuell mit einer geringeren Leistung arbeiten, als vom Betreiber bei der BNetzA beantragt wurde.

Durch diese Korrekturen ist gewährleistet, dass in diesem Bericht möglichst die am jeweils betrachteten Punkt erzeugbare *Maximalimmission* dargestellt ist. Die Messergebnisse beim GSM-, TETRA-, UMTS- und LTE-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

Es wurden an acht Punkten in der Umgebung des geplanten Anlagenstandortes Mobilfunk-Immissionsmessungen durchgeführt. Sieben der Messpunkte befanden sich im Bereich des Kindergartens "St. Michael" (Rilkestraße 19).

Im Detail handelt es sich um folgende Punkte:

Messpunkt Nr.	Bezeichnung	Entfernung zum geplanten Anlagenstandort
1	Kindergarten (Gruppenraum "Gelbe Gruppe"; EG)	ca. 60 m
2	Kindergarten (Gruppenraum "Grüne Gruppe"; EG)	ca. 65 m
3	Kindergarten (Gruppenraum "Blaue Gruppe"; EG)	ca. 85 m
4	Kindergarten (Gruppenraum "Rote Gruppe"; 1. OG)	ca. 85 m

Messpunkt Nr.	Bezeichnung	Entfernung zum geplanten Anlagenstandort
5	Kindergarten (Außenbereich-Rutschbahn)	ca. 65 m
6	Kindergarten (Außenbereich-Sandkasten)	ca. 85 m
7	Kindergarten (Außenbereich-Fußballwiese)	ca. 70 m
8	Parkplatz Klinik "Barmherzige Brüder"	ca. 80 m

**Tab. 2:** Messpunkte.

Durchgeführt wurden die Messungen am 23. April 2015 zwischen 16:50 und 18:05 Uhr (Verantwortlicher vor Ort: Dr.-Ing. M. Wuschek). Ein Vertreter der Stadt Regensburg war bei den Messungen anwesend.

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

Ein Umgebungsplan mit eingezeichnetem Anlagenstandort und den Messpunkten sowie einige Fotos finden sich in den Anlagen 3 und 4 zu diesem Bericht.

## 4 Festgestellte Immissionswerte

In folgender Tabelle sind die aktuell 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 Anlagen erzeugt.

Ebenfalls aufgeführt ist der *Maximalimmissionswert* für Vollausbau und Vollaustattung (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 Ausbau und momentaner Auslastung der Anlagen immer zwischen diesen beiden Extremwerten.

Immissionen, verursacht durch weiter entfernte Mobilfunksendeanlagen, wurden in die Ermittlung der am Messort herrschenden Summenimmission einbezogen, wenn sie aufgrund ihrer Stärke einen nennenswerten Beitrag zur Gesamtimmission liefern.

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").

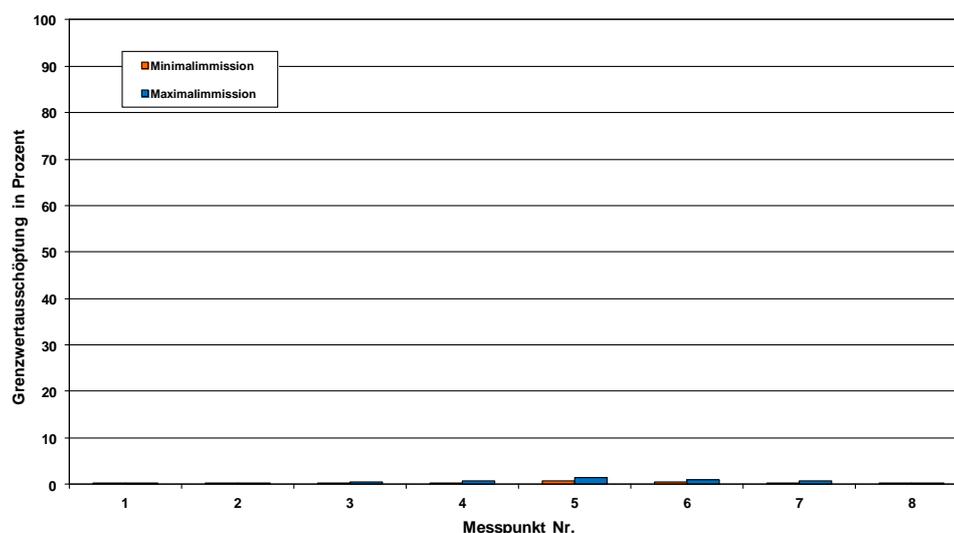
Ausführliche Ergebnistabellen der Messungen finden sich in der Anlage 1 zu diesem Bericht. Dort sind die Ergebnisse zusätzlich auch als Feldstärkewert und als Leistungsflussdichte angegeben.

Messpunkt Nr.	Grenzwertausschöpfung Mobilfunk ( <u>Minimalimmission</u> )	Grenzwertausschöpfung Mobilfunk ( <u>Maximalimmission</u> )
1	0,12 %	0,25 %
2	0,14 %	0,28 %
3	0,27 %	0,60 %
4	0,35 %	0,71 %
5	0,64 %	1,39 %
6	0,45 %	0,91 %
7	0,39 %	0,83 %
8	0,13 %	0,21 %

**Tab. 3:** Aktuelle Mobilfunk-Immissionswerte (Grenzwertausschöpfung bezogen auf die Feldstärkegrenzwerte nach 26. BImSchV).

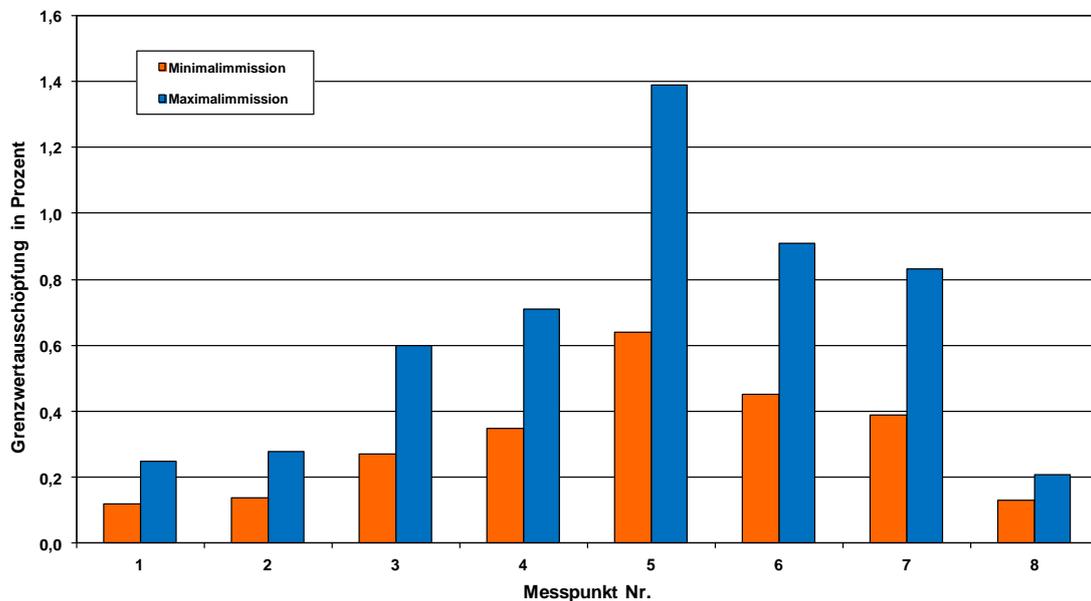
Nach 26. BImSchV gilt für den Mobilfunk ein Grenzwert von zirka 39 Volt/m (LTE-800), zirka 42 Volt/m (GSM-900), zirka 59 Volt/m (GSM- bzw. LTE-1800) bzw. 61 Volt/m (UMTS bzw. LTE-2600) und 28 Volt/m (TETRA).

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 der Summenimmissionswert am Messpunkt den Wert von 100 Prozent unterschreitet, was hier an allen Messpunkten offensichtlich *sehr deutlich* der Fall ist.



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

## 5 Immissionsprognose für den geplanten Standort

Im Folgenden sollen die hochfrequenten Immissionen näher quantifiziert und vergleichend der bisherigen Situation gegenübergestellt werden, die nach Inbetriebnahme des neuen Standortes "Rilkestraße 23" an den betrachteten Punkten zu erwarten sind.

Die Deutsche Telekom beabsichtigt, am Standort GSM-, UMTS- und LTE-Anlagen in Betrieb zu nehmen.

Als Prognosepunkte werden die gleichen Punkte herangezogen, an denen auch die in Kapitel 3 und 4 dokumentierte Messung der aktuellen Mobilfunkimmission durchgeführt wurde (siehe Tabelle 4).

Zudem sollen die Berechnungen für zwei unterschiedliche Montagekonfigurationen der Mobilfunkantennen durchgeführt werden.

Punkt Nr.	Beschreibung
1	Kindergarten (Gruppenraum "Gelbe Gruppe"; EG)
2	Kindergarten (Gruppenraum "Grüne Gruppe"; EG)
3	Kindergarten (Gruppenraum "Blaue Gruppe"; EG)
4	Kindergarten (Gruppenraum "Rote Gruppe"; 1. OG)
5	Kindergarten (Außenbereich-Rutschbahn)
6	Kindergarten (Außenbereich-Sandkasten)
7	Kindergarten (Außenbereich-Fußballwiese)
8	Parkplatz Klinik "Barmherzige Brüder"

**Tab. 4:** Betrachtete Punkte.

Mittels der Berechnungsergebnisse soll insbesondere die folgende Frage beantwortet werden:

*Wie stark wird sich die Immission an den betrachteten Punkten durch die geplante Inbetriebnahme des Anlagenstandortes verändern?*

Die Ergebnisse der Prognoseberechnungen werden im Folgenden dargestellt.

## 5.1 Wichtige Randbedingungen

Bei der Berechnung elektromagnetischer Felder in der Umgebung einer Funksendeanlage zum Zwecke des Personenschutzes ist es sehr wichtig, die an einem Punkt maximal auftretenden Felder zu ermitteln, um für den Grenzwertvergleich auf jeden Fall die dort herrschende *Maximalimmission* der betrachteten Antennen zu erhalten. Auf diese Weise wird in der Abschätzung versucht, möglichst "ungünstige" Bedingungen und somit möglichst "hohe" Felder an Prognosepunkten bzw. in der betrachteten Umgebung zu gewährleisten. Daher wurden für die Feldstärkeberechnung folgende Randbedingungen festgelegt:

- Es werden die Felder berechnet, die bei *maximaler Sendeleistung* der Anlagen als Summenwert in der Umgebung entstehen. Die Größe der maximal an den Antenneneingängen anstehenden Sendeleistungen wurden uns vom Betreiber mitgeteilt. Auch die anderen notwendigen technischen Daten (Typ, Montagehöhe, Downtilt und Ausrichtung der Antennen) wurden uns ebenfalls schriftlich übermittelt (siehe Tabelle in Anlage 5). Die angegebenen Werte sind nach unserer Erfahrung typisch für derartige Mobilfunktendeanlagen.

- Entfernungen und topografische Höhenunterschiede zwischen dem Antennenstandort und den betrachteten Immissionspunkten wurden geeigneten topografischen Karten sowie "Google-Earth" entnommen und bei den Prognoseberechnungen berücksichtigt.
- Die berechneten Immissionswerte beziehen sich auf Punkte im Freien, von denen aus direkte Sichtverbindung zu den Antennen besteht. Wird in der Realität die Sichtverbindung zum Installationsort der Antennen durch Gebäude oder Bewuchs (Bäume) versperrt, sind dort deutlich niedrigere Immissionswerte zu erwarten, als in der Prognose errechnet. Auch im Gebäudeinneren ist aufgrund der Gebäudedämpfung mit niedrigeren Immissionswerten, als hier prognostiziert, zu rechnen.
- Das für die Feldstärkebestimmung angewendete Berechnungsmodell (ungestörte Freiraumausbreitung) führt ebenfalls eher zu einer Über- als zu einer Unterschätzung der Immissionswerte [12].
- Trotz der insgesamt sehr konservativen Feldstärkeberechnung, wird der Einfluss von lokalen Feldstärkeüberhöhungen, die durch Reflexionen entstehen können, nicht vernachlässigt, sondern mit einem Aufschlagfaktor von 40 % (d.h. 3 dB) berücksichtigt.
- Zusätzlich wurden, gegenüber dem theoretischen Abstrahlverhalten der Mobilfunkantennen, die Einzüge im vertikalen Antennendiagramm auf maximal 20 dB begrenzt, wodurch verhindert wird, dass im Nahbereich lokale Immissionsminima prognostiziert werden, die im realen Umfeld erfahrungsgemäß so nicht auftreten.

Wegen der komplexen Ausbreitung elektromagnetischer Wellen kann eine Immissionsprognose niemals eine hundertprozentige Zuverlässigkeit erreichen. Des Weiteren ist klarzustellen, dass der Prognose die technischen Daten zugrunde liegen, die auf Grund der aktuellen Planungen des Betreibers vorgesehen sind. Änderungen dieser technischen Parameter sind jederzeit möglich und können zu einer Veränderung der in der Prognose enthaltenen Immissionswerte führen.

## 5.2 Berechnete Feldstärkewerte, Grenzwertvergleich

In Tabelle 5 ist die derzeit an den betrachteten Punkten vorhandene Immission (Messergebnisse aus Tabelle 3) der Immissionssituation nach Inbetriebnahme des neuen Standortes "Rilkestraße 23" für zwei verschiedene Antennenkonfigurationen gegenübergestellt. Konfiguration 1 bezieht sich auf die von der Deutschen Telekom favorisierte Anlagenkonfiguration, während bei Konfiguration 2 eine kompaktere vertikale Antennenanordnung angenommen wird (Details: Siehe Anlage 5).

In folgender Tabelle ist angegeben, wie viel Prozent der Grenzwerte nach 26. BImSchV in der Summe von der elektrischen Feldstärke am Immissionspunkt jeweils erreicht werden ("Grenzwertausschöpfung").

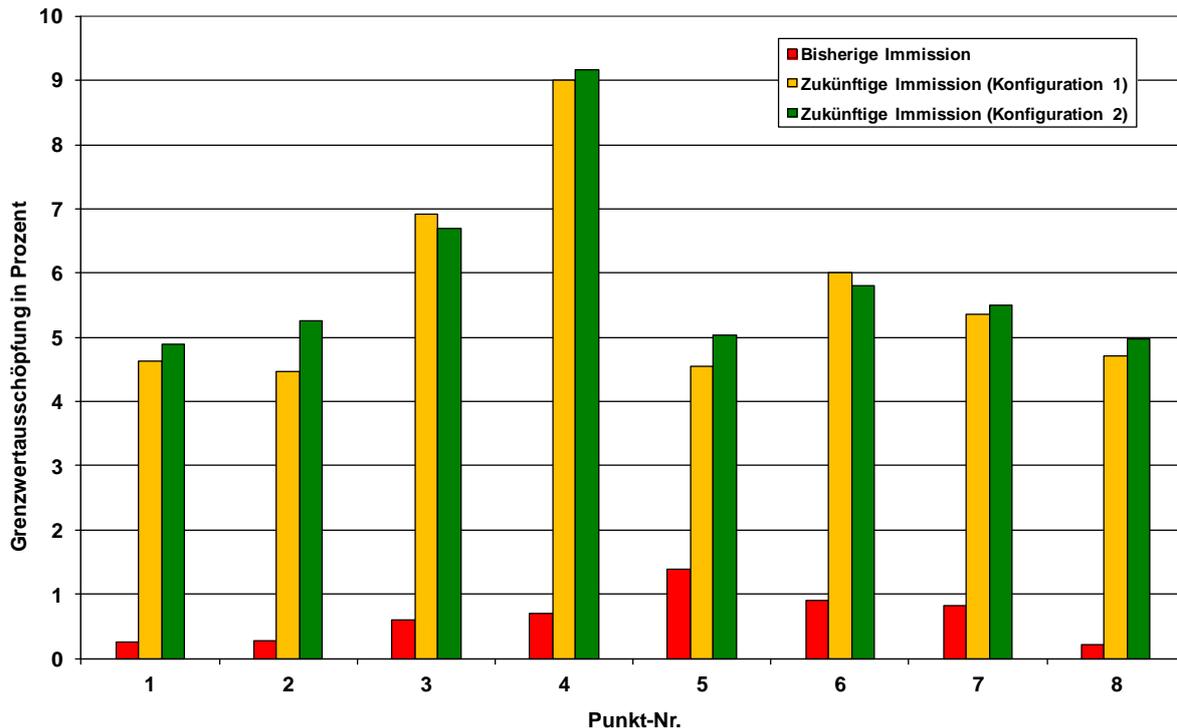
Punkt Nr.	Aktuelle Grenzwertausschöpfung in Prozent (aus Tabelle 3)	Zukünftige Grenzwertausschöpfung in Prozent (Konfiguration 1)	Zukünftige Grenzwertausschöpfung in Prozent (Konfiguration 2)
1	0,25 %	4,64 %	4,88 %
2	0,28 %	4,48 %	5,26 %
3	0,60 %	6,92 %	6,69 %
4	0,71 %	9,00 %	9,16 %
5	1,39 %	4,56 %	5,04 %
6	0,91 %	6,00 %	5,79 %
7	0,83 %	5,35 %	5,51 %
8	0,21 %	4,70 %	4,97 %

**Tab. 5:** Gegenüberstellung der aktuellen Immissionssituation und der prognostizierten Immission nach Inbetriebnahme des neuen Standortes (aktuelle plus neu dazukommende Immission) für zwei unterschiedliche Antennenkonfigurationen (Prozentuale Grenzwertausschöpfung bezüglich der Feldstärke in Prozent für Maximalauslastung).

Eine ausführliche Ergebnistabelle der Immissionsberechnungen für den neuen Anlagenstandort findet sich in der Anlage 5 zu diesem Bericht. Dort sind die Ergebnisse zusätzlich auch als Feldstärkewert und als Leistungsflussdichte angegeben.

Ein Vergleich der Berechnungsergebnisse für die beiden möglichen Antennenkonfigurationen, zeigt, dass sich Immissionen in etwa der gleichen Größenordnung an den betrachteten Punkten ergeben, wobei Konfiguration 1 an sechs der acht Punkte etwas geringere Werte liefert, als Konfiguration 2.

Folgende Abbildung stellt die berechnete Immissionsveränderung an den betrachteten Punkten grafisch dar:



**Abb. 7:** Grafische Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 5 (Grenzwertausschöpfung bezüglich der Feldstärke in Prozent für Maximalauslastung).

Wie aus Tabelle 5 bzw. Abbildung 7 ersichtlich, ist durch die Erweiterung des Mobilfunkstandortes an allen betrachteten Punkten mit einer Zunahme der Hochfrequenzimmissionen zu rechnen. Die an den betrachteten Punkten berechneten Immissionswerte unterschreiten allerdings auch nach Inbetriebnahme der neuen Anlagen mit Grenzwertausschöpfungen zwischen etwa 4,5 und 9,2 Prozent die Vorgaben der 26. BImSchV *deutlich*.

Anzumerken ist noch, dass die Zunahme der Immission an den Punkten 1 und 2 vermutlich geringer ausfallen wird, als hier berechnet, da von diesen Punkten aus keine direkte Sichtverbindung zum Antennenstandort besteht.

## 6 Schlussfolgerungen

Die Deutsche Telekom plant die Inbetriebnahme eines neuen Mobilfunkstandortes im Stadtgebiet von Regensburg (Rilkestraße 23). Die dadurch zu erwartende Veränderung der Immission soll durch Berechnungen vorab prognostiziert und der aktuellen Immissionssituation gegenübergestellt werden.

Mit den in diesem Bericht dokumentierten Messergebnissen und zusätzlich durchgeführten Prognoseberechnungen sollte die Beantwortung der folgenden Fragen möglich werden:

- *Wie groß, im Vergleich zum gesetzlichen Grenzwert, sind die Immissionen, die derzeit durch bestehende Mobilfunkanlagen an den betrachteten Messpunkten erzeugt werden?*

- *Wie stark wird sich die Immission an den betrachteten Punkten durch die geplante Inbetriebnahme des neuen Anlagenstandortes verändern?*

Aus den in Kapitel 4 und 5 dargestellten Ergebnissen der durchgeführten Untersuchungen lassen sich die folgenden Schlüsse ziehen:

#### **Aktuelle Immissionssituation:**

Wie aus Tabelle 3 sowie den Abbildungen 5 und 6 ersichtlich ist, werden die Vorgaben der 26. BImSchV - auch unter Berücksichtigung der vorhandenen Messunsicherheit - an allen Messpunkten derzeit *sehr deutlich unterschritten*. Die Messungen ergaben (feldstärkebezogene) Grenzwertausschöpfungen, die bei Vollauslastung der verursachenden Anlagen etwa *zwischen 0,2 und 1,4 Prozent des gesetzlich zulässigen Wertes* betragen.

#### **Zukünftige Immissionssituation:**

- Durch die Erweiterung des Mobilfunkstandortes ist an allen betrachteten Punkten mit einer Zunahme der Hochfrequenzimmissionen zu rechnen. Die hierbei für den Zustand nach Anlagenerweiterung berechneten Immissionswerte unterschreiten allerdings mit Grenzwertausschöpfungen zwischen *4,5 und 9,2 Prozent* die Vorgaben der 26. BImSchV weiterhin *deutlich*.
- Ein Vergleich der Berechnungsergebnisse für die beiden möglichen Antennenkonfigurationen, zeigt, dass sich Immissionen in etwa der gleichen Größenordnung an den betrachteten Punkten ergeben, wobei Konfiguration 1 an sechs der acht Punkte etwas geringere Werte liefert, als Konfiguration 2.

Regensburg, 27. Juni 2015



Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] **Bundesrepublik Deutschland**  
"Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV)", Bundesgesetzblatt Jg. 2013, Teil I, Nr.50, Bonn 21.08.2013.
- [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](http://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 EN 50413**  
Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz); Deutsche Fassung EN 50413:2008.
- [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](http://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] **Chr. Bornkessel**  
"Immissionsmessungen in der Umgebung von LTE-Basisstationen, Teil 2: Messmethoden"  
Application Note Nr. HF\_1064, Narda Safety Test Solutions GmbH, Pfullingen 2013.  
[www.narda-sts.de/no\\_cache/literature/article-library-appl-notes.html](http://www.narda-sts.de/no_cache/literature/article-library-appl-notes.html)
- [12] **Chr. Bornkessel; M. Schubert**  
"Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunk Basisstationen"  
Abschlussbericht, Studie im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz, Kamp-Lintfort, 2005 ([www.emf-forschungsprogramm.de](http://www.emf-forschungsprogramm.de)).

## 8 Anlagen

### Anlage 1: Ausführliche Ergebnistabellen

In den folgenden Ergebnistabellen sind die Resultate der Messungen der Hochfrequenzimmissionen als Einzelwerte und als Summe sowie die Hochrechnung auf maximale betriebliche Anlagenauslastung wiedergegeben.

#### Anmerkung:

Nach 26. BImSchV [1] wird im hier betrachteten Frequenzbereich die Summenbildung bei Vorhandensein mehrerer Signale nicht linear, sondern quadratisch durchgeführt. Dies folgt unmittelbar aus den bekannten Wirkungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. Es gilt also:

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

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

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

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

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

Um die gesetzlichen Vorgaben einzuhalten, dürfen 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.



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
f [MHz] / Code (UMTS) bzw. Cell-ID (LTE)	Betreiber	GW [W/m]	E (gem.) [dBµV/m]	Aufschl. MU [dB]	Faktor min. Imm.	E <sub>min</sub> [dBµV/m]	E <sub>min</sub> [V/m]	E <sub>min</sub> [% vom GW]	S <sub>min</sub> [µW/m²]	Faktor max. Imm. (BNetzA)	E <sub>max</sub> beintr. [dBµV/m]	E <sub>max</sub> beintr. [V/m]	E <sub>max</sub> beintr. [% vom GW]	S <sub>max</sub> beintr. [mW/m²]
Messpunkt:	6													
928,0	E-Plus	41,7	91,5	0,0	1,0	91,5	0,038	0,090	0,0037	2,0	94,5	0,053	0,127	0,007
937,8	Telekom	41,7	81,2	0,0	1,0	81,2	0,011	0,028	0,0003	2,0	84,2	0,016	0,039	0,001
942,4	Telekom	41,7	88,4	0,0	1,0	88,4	0,026	0,063	0,0018	2,0	91,4	0,037	0,089	0,004
946,6	Vodafone	41,7	85,2	0,0	1,0	85,2	0,018	0,044	0,0009	4,0	91,2	0,036	0,087	0,004
947,6	Vodafone	41,7	85,8	0,0	1,0	85,8	0,019	0,047	0,0010	4,0	91,8	0,039	0,094	0,004
949,6	Vodafone	41,7	104,2	0,0	1,0	104,2	0,162	0,389	0,0698	4,0	110,2	0,324	0,778	0,279
952,6	Telekom	41,7	80,9	0,0	1,0	80,9	0,011	0,027	0,0003	4,0	86,9	0,022	0,053	0,001
1836,2	Telefónica	58,4	92,9	0,0	1,0	92,9	0,044	0,076	0,0052	2,0	95,9	0,062	0,107	0,010
1840,2	Telefónica	58,4	92,7	0,0	1,0	92,7	0,043	0,074	0,0049	2,0	95,7	0,061	0,104	0,010
1844,0	Telefónica	58,4	84,2	0,0	1,0	84,2	0,016	0,028	0,0007	2,0	87,2	0,023	0,039	0,001
1854,8	E-Plus	58,4	93,0	0,0	1,0	93,0	0,045	0,076	0,0053	2,0	96,0	0,063	0,108	0,011
1856,4	E-Plus	58,4	88,1	0,0	1,0	88,1	0,025	0,044	0,0017	2,0	91,1	0,036	0,062	0,003
2112,8/264	Vodafone	61,0	93,4	0,0	1,0	93,4	0,047	0,077	0,0058	16,0	105,4	0,187	0,307	0,093
2112,8/25	Vodafone	61,0	75,1	0,0	1,0	75,1	0,006	0,009	0,0001	30,0	89,9	0,031	0,051	0,003
2112,8/304	Vodafone	61,0	70,9	0,0	1,0	70,9	0,004	0,006	0,0000	16,0	82,9	0,014	0,023	0,001
2132,6/7	E-Plus	61,0	74,6	0,0	1,0	74,6	0,005	0,009	0,0001	40,0	90,6	0,034	0,056	0,003
1815/449-0	Telekom	58,4	63,8	0,0	300,0	88,6	0,027	0,046	0,0019	1200,0	94,6	0,054	0,092	0,008
1815/449-1	Telekom	58,4	65,4	0,0	300,0	90,2	0,032	0,055	0,0028	1200,0	96,2	0,065	0,110	0,011
1870,5/201-0	E-Plus	59,2	64,1	0,0	150,0	85,9	0,020	0,033	0,0010	600,0	91,9	0,039	0,066	0,004
1870,5/201-1	E-Plus	59,2	65,7	0,0	150,0	87,5	0,024	0,040	0,0015	600,0	93,5	0,047	0,080	0,006
Messpunkt:	7					minimal:	0,20	0,45	0,11		maximal:	0,42	0,91	0,46
928,0	E-Plus	41,7	89,1	0,0	1,0	89,1	0,029	0,068	0,0022	2,0	92,1	0,040	0,097	0,004
937,8	Telekom	41,7	80,6	0,0	1,0	80,6	0,011	0,026	0,0003	2,0	83,6	0,015	0,036	0,001
942,4	Telekom	41,7	84,1	0,0	1,0	84,1	0,016	0,038	0,0007	2,0	87,1	0,023	0,054	0,001
946,6	Vodafone	41,7	87,2	0,0	1,0	87,2	0,023	0,055	0,0014	4,0	93,2	0,046	0,110	0,006
947,6	Vodafone	41,7	81,3	0,0	1,0	81,3	0,012	0,028	0,0004	4,0	87,3	0,023	0,056	0,001
948,4	Vodafone	41,7	80,5	0,0	1,0	80,5	0,011	0,025	0,0003	4,0	86,5	0,021	0,051	0,001
949,6	Vodafone	41,7	102,8	0,0	1,0	102,8	0,138	0,331	0,0505	4,0	108,8	0,276	0,662	0,202
1836,2	Telefónica	58,4	91,0	0,0	1,0	91,0	0,035	0,061	0,0033	2,0	94,0	0,050	0,086	0,007
1840,2	Telefónica	58,4	93,4	0,0	1,0	93,4	0,047	0,080	0,0058	2,0	96,4	0,066	0,113	0,012
1844,0	Telefónica	58,4	80,8	0,0	1,0	80,8	0,011	0,019	0,0003	2,0	83,8	0,016	0,027	0,001
1854,8	E-Plus	58,4	92,6	0,0	1,0	92,6	0,043	0,073	0,0048	2,0	95,6	0,060	0,103	0,010
1856,4	E-Plus	58,4	85,5	0,0	1,0	85,5	0,019	0,032	0,0009	2,0	88,5	0,027	0,046	0,002
2112,8/264	Vodafone	61,0	96,0	0,0	1,0	96,0	0,063	0,103	0,0106	16,0	108,0	0,252	0,414	0,169
2132,6/7	E-Plus	61,0	74,2	0,0	1,0	74,2	0,005	0,008	0,0001	40,0	90,2	0,032	0,053	0,003
1870,5/201-0	E-Plus	59,2	63,1	0,0	150,0	84,9	0,018	0,030	0,0008	600,0	90,9	0,035	0,059	0,003
1870,5/201-1	E-Plus	59,2	63,5	0,0	150,0	85,3	0,018	0,031	0,0009	600,0	91,3	0,037	0,062	0,004
Messpunkt:	8					minimal:	0,18	0,39	0,08		maximal:	0,40	0,83	0,43
928,0	E-Plus	41,7	89,1	0,0	1,0	89,1	0,029	0,068	0,0022	2,0	92,1	0,040	0,097	0,004
937,4	Vodafone	41,7	83,6	0,0	1,0	83,6	0,015	0,036	0,0006	2,0	86,6	0,021	0,051	0,001
942,4	Telekom	41,7	81,8	0,0	1,0	81,8	0,012	0,030	0,0004	2,0	84,8	0,017	0,042	0,001
947,6	Vodafone	41,7	80,8	0,0	1,0	80,8	0,011	0,026	0,0003	4,0	86,8	0,022	0,053	0,001
949,6	Vodafone	41,7	86,8	0,0	1,0	86,8	0,022	0,052	0,0013	4,0	92,8	0,044	0,105	0,005
951,0	Vodafone	41,7	80,2	0,0	1,0	80,2	0,010	0,025	0,0003	4,0	86,2	0,020	0,049	0,001
1833,6	Telefónica	58,4	86,5	0,0	1,0	86,5	0,021	0,036	0,0012	2,0	89,5	0,030	0,051	0,002
1836,2	Telefónica	58,4	86,2	0,0	1,0	86,2	0,020	0,035	0,0011	2,0	89,2	0,029	0,049	0,002
1840,2	Telefónica	58,4	84,4	0,0	1,0	84,4	0,017	0,028	0,0007	2,0	87,4	0,023	0,040	0,001
1854,8	E-Plus	58,4	85,4	0,0	1,0	85,4	0,019	0,032	0,0009	2,0	88,4	0,026	0,045	0,002
1856,4	E-Plus	58,4	87,1	0,0	1,0	87,1	0,023	0,039	0,0014	2,0	90,1	0,032	0,055	0,003
2112,8/264	Vodafone	61,0	70,6	0,0	1,0	70,6	0,003	0,006	0,0000	16,0	82,6	0,014	0,022	0,000
Messpunkt:	9					minimal:	0,06	0,13	0,01		maximal:	0,10	0,21	0,02

## Legende zu obiger Tabelle:

<b>Spalte 1</b>	Frequenz des Signalisierungskanals BCCH (MCCH) bei GSM (TETRA) bzw. Mittenfrequenz und Scramblingcode/Cell-ID bei UMTS/LTE
<b>Spalte 2</b>	Messpunktnummer; Betreiberzuordnung
<b>Spalte 3</b>	Gesetzlicher Grenzwert nach 26. BImSchV in V/m (Worst Case)
<b>Spalte 4</b>	Gemessene Feldstärke des BCCH (GSM), MCCH (TETRA), des CPICH (UMTS) bzw. der RS-Symbole (LTE) in dB $\mu$ V/m Anmerkung: Wurde bei den GSM bzw. TETRA-Messungen festgestellt, dass ein Verkehrskanal (TCH) am Messpunkt eine höhere Immission erzeugt als der dazugehörige BCCH (MCCH), ist hier die Immission des TCH dokumentiert und bildet die Basis für die weitere Auswertung.
<b>Spalte 5</b>	Messunsicherheitsaufschlag in dB (Es wird keine Messunsicherheit aufgeschlagen, daher ist dieser Wert zu Null gesetzt).
<b>Spalte 6</b>	Faktor für die minimale Immission; bei GSM und TETRA = 1 (da die minimale Immission etwa der Immission entspricht, die allein durch den BCCH (MCCH) verursacht wird) und bei UMTS = 2 (da die minimale Immission in etwa doppelt so groß ist, wie die Immission, die allein durch den CPICH erzeugt wird). Bei LTE wird hier ein Wert verwendet, der um den Faktor vier kleiner ist, als der in Spalte 11 verwendete Faktor zur Extrapolation auf maximale Leistung, da bei LTE die minimal abgestrahlte Leistung in etwa ein Viertel der maximalen Leistung beträgt.
<b>Spalte 7</b>	Minimale Immission (inkl. Messunsicherheitsaufschlag) in dB $\mu$ V/m: <Spalte 7> = <Spalte 4> + <Spalte 5> + 10·log <Spalte 6>
<b>Spalte 8</b>	Wert aus Spalte 7 als elektrische Feldstärke in V/m
<b>Spalte 9</b>	Prozentuale Grenzwertausschöpfung: <Spalte 9> = 100 % · <Spalte 8> / <Spalte 3>
<b>Spalte 10</b>	Wert aus Spalte 7 als Leistungsflussdichte in mW/m <sup>2</sup>
<b>Spalte 11</b>	Faktor für die maximale Immission: Für GSM bzw. TETRA 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). Bei LTE wird ein Faktor verwendet, der sich als Quotient aus maximaler Leistung und der Leistung des RS-Signals ergibt. Zusätzlich wird berücksichtigt, dass bei den aktuell betriebenen LTE-Anlagen immer zwei Kanäle abgestrahlt werden. Zusätzlich werden in diesem Faktor gegebenenfalls noch Unterschiede zwischen der aktuell pro Kanal abgestrahlten und der bei der BNetzA beantragten Maximalleistung pro Kanal berücksichtigt.
<b>Spalte 12</b>	Maximale Immission (inkl. Messunsicherheitsaufschlag) in dB $\mu$ V/m: <Spalte 12> = <Spalte 4> + <Spalte 5> + 10·log <Spalte 11>
<b>Spalte 13</b>	Wert aus Spalte 12 als elektrische Feldstärke in V/m
<b>Spalte 14</b>	Prozentuale Grenzwertausschöpfung: <Spalte 14> = 100 % · <Spalte 13> / <Spalte 3>
<b>Spalte 15</b>	Wert aus Spalte 12 als Leistungsflussdichte in mW/m <sup>2</sup>

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

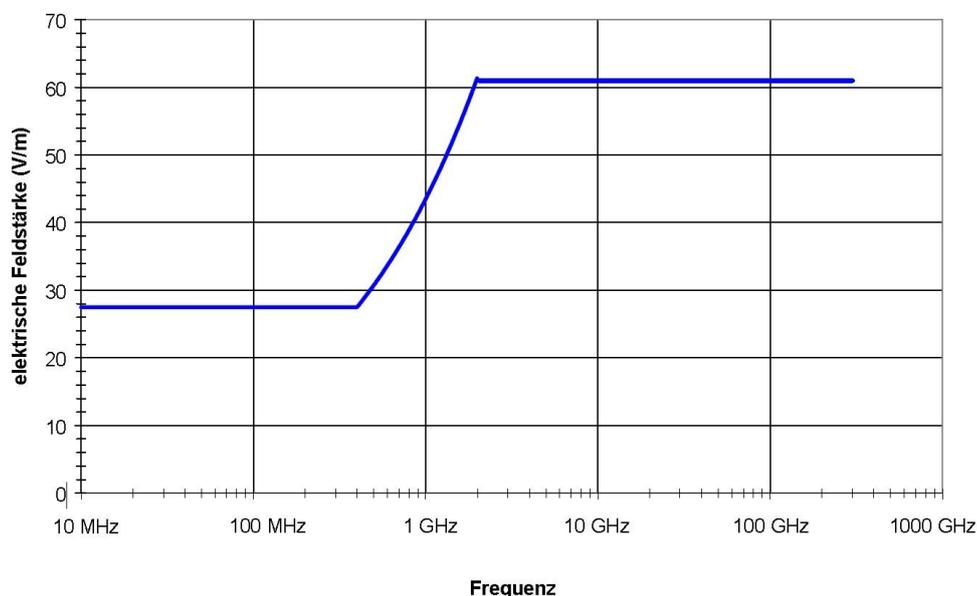
Die Bewertung elektromagnetischer Felder ist in Deutschland seit Januar 1997 in der "26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes" (26. BImSchV) [1] verbindlich geregelt. Die in dieser Verordnung festgelegten Immissionsgrenzwerte basieren auf den aktuellen Empfehlungen der Internationalen Kommission für den Schutz vor nicht ionisierenden Strahlen (ICNIRP) [2], des Europäischen Rates [3] sowie der deutschen Strahlenschutzkommission [4].

Die festgelegten Grenzwerte für die hier relevanten Hochfrequenzimmissionen ab 10 MHz sind in folgender Tabelle aufgelistet und in Bild 1 grafisch dargestellt.

Signalfrequenz [MHz]	Effektivwert der elektrischen und magnetischen Feldstärke	
	elektrische Feldstärke [V/m]	magnetische Feldstärke [A/m]
10 - 400	28	0,073
400 - 2.000	$1,375 \cdot \sqrt{f}$	$0,0037 \cdot \sqrt{f}$
2.000 - 300.000	61	0,16

$f$ : Signalfrequenz in MHz

**Tabelle 1:** Grenzwerte der 26. BImSchV für Hochfrequenzanlagen



**Bild 1:** Grafische Darstellung der Grenzwerte (elektrische Feldstärke) aus Tabelle 1 (nach 26. BImSchV) für Hochfrequenzanlagen ab 10 MHz

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 für den Hochfrequenzbereich 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 Mitgliedstaaten 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.

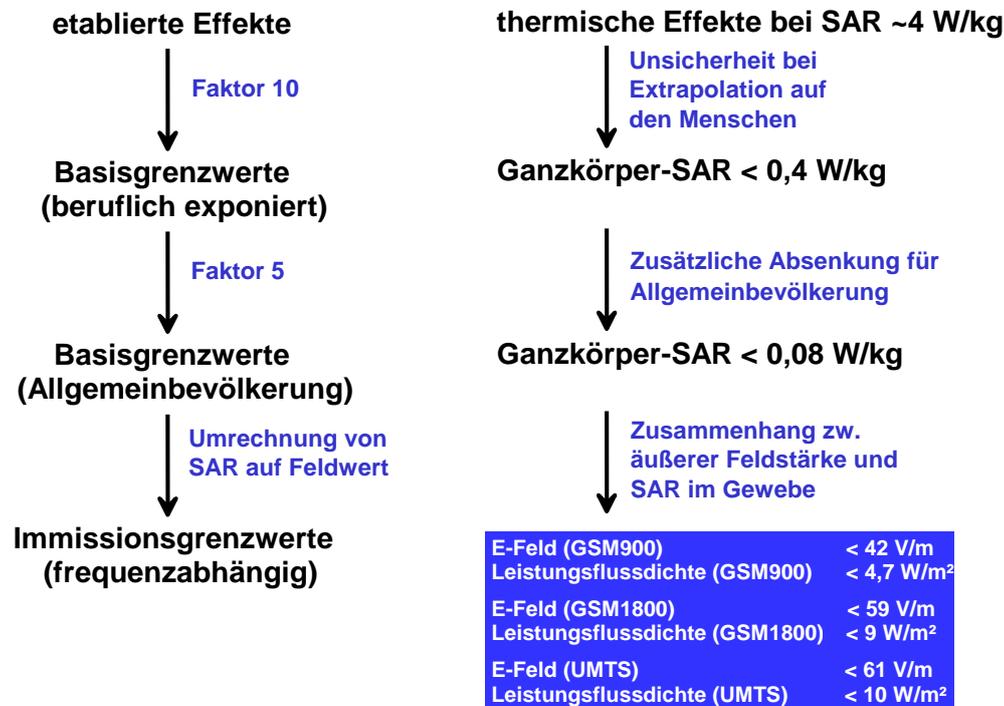
Um diese Sicherheit zu gewährleisten, ist der *Basisgrenzwert* so gewählt, dass er um den Faktor 10 niedriger liegt, als die spezifische Absorptionsrate, ab der Wirkungen auf den Menschen wissenschaftlich gesichert nachgewiesen werden können. Bei Personen, die im Rahmen ihrer *beruflichen Tätigkeit*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

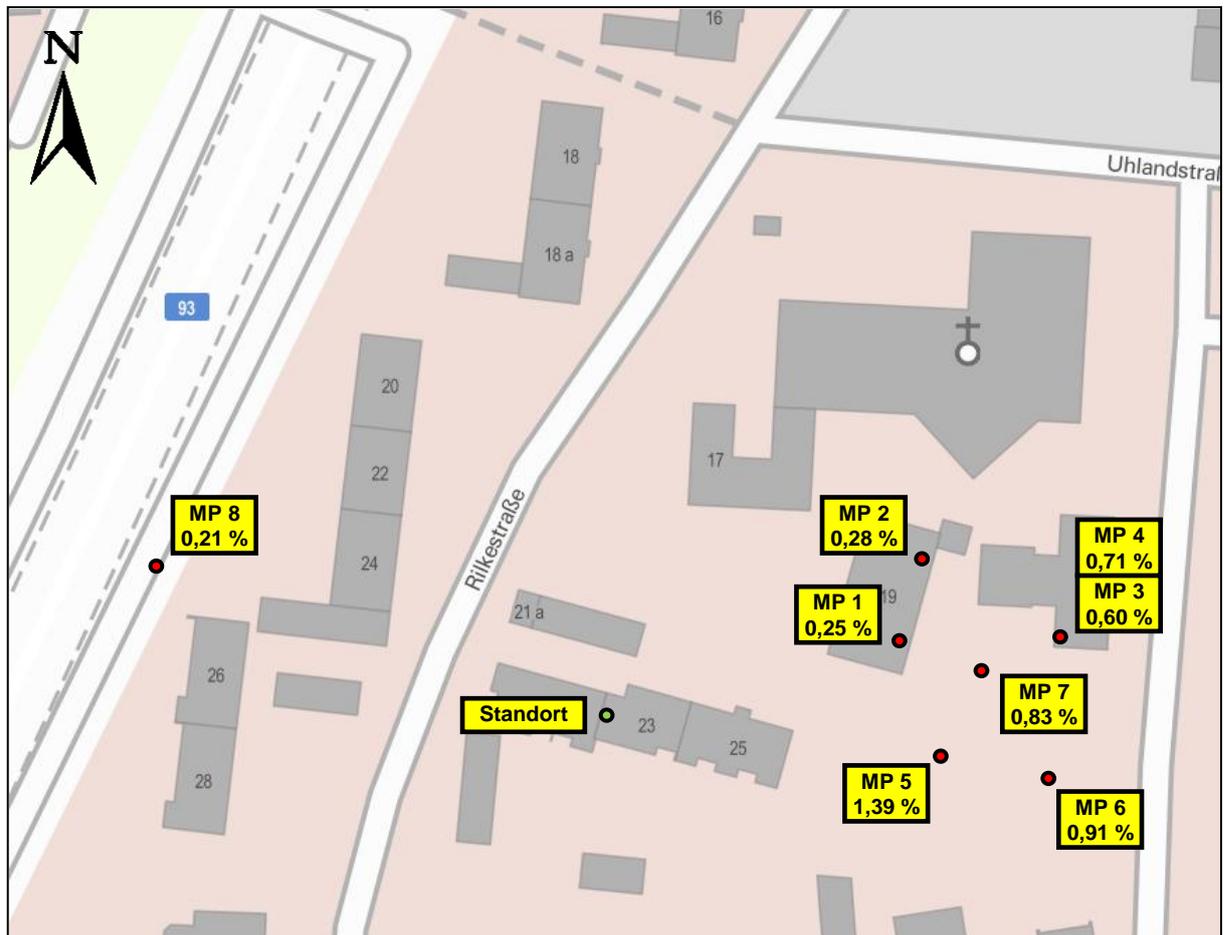
dass bei einer Einhaltung der abgeleiteten Grenzwerte auf jeden Fall sichergestellt ist, dass auch die dazugehörigen Basisgrenzwerte unterschritten werden.

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:** Lageplan mit Anlagenstandort und den Messpunkten

An jedem Messpunkt ist der im Rahmen der Messung vom 23.04.2015 aktuell festgestellte Mobilfunk-Immissionswert (für Maximalauslastung und Vollausbau der derzeit in der Umgebung vorhandenen Anlagen) in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV (bezüglich der elektrischen Feldstärke) angegeben.

**Anlage 4:** Fotos



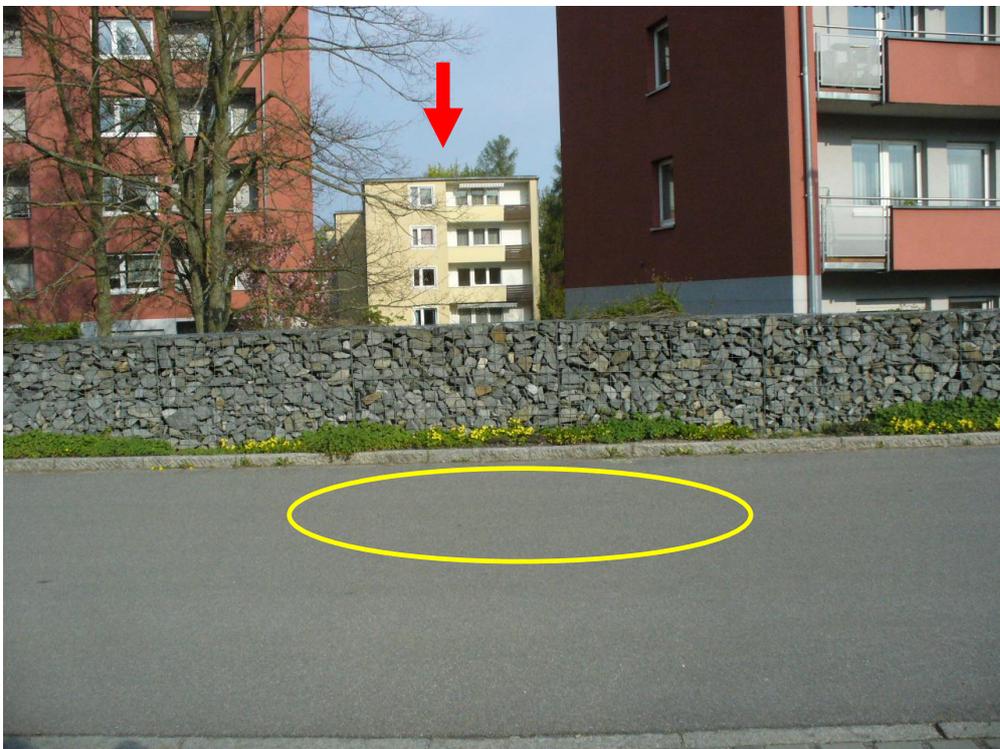
**Bild 1:** Messpunkt 5



**Bild 2:** Messpunkt 6



**Bild 3:** Messpunkt 7



**Bild 4:** Messpunkt 8 mit Anlagenstandort im Hintergrund

## Anlage 5: Dokumentation der Immissionsberechnungen

Für die Prognose der Immissionen wurden folgende technische Daten zu Grunde gelegt:

Betreiber: <b>Telekom</b>	<b>Rilkestraße 23, 93049 Regensburg (Konfiguration 1)</b>					
System	A	B	C	D	E	F
Antennenträger	AT 1	AT 1	AT 1	AT 1	AT 1	AT 1
Funksystem	GSM-900	GSM-900	GSM-900	UMTS	UMTS	UMTS
Relevante Betriebsfrequenz in MHz	935,1	935,1	935,1	2110,0	2110,0	2110,0
Grenzwert in V/m	42,0	42,0	42,0	61,0	61,0	61,0
Montagehöhe der Senderantennenunterkante über Grund in Meter	16,5	16,5	16,5	19,3	19,3	19,3
Hauptstrahlrichtung in Grad	40	160	290	40	160	290
Mechanische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	0	0	0	0	0	0
Elektrische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	3	3	3	3	3	3
Antenne (Hersteller und Typ)	Kathrein 80010647V01	Kathrein 80010647V01	Kathrein 80010647V01	Kathrein 80010622V01	Kathrein 80010622V01	Kathrein 80010622V01
Spitzenleistung pro Kanal am Senderausgang in Watt	107	107	107	32	32	32
Anzahl der Kanäle	1	1	1	2	2	2
Verluste zwischen Senderausgang und Antenneneingang in dB	1,98	1,98	2,0	0,9	0,9	0,93

Betreiber: <b>Telekom</b>	<b>Rilkestraße 23, 93049 Regensburg (Konfiguration 1)</b>					
System	G	H	I	J	K	L
Antennenträger	AT 1	AT 1	AT 1	AT 1	AT 1	AT 1
Funksystem	LTE-800	LTE-800	LTE-800	LTE-1800	LTE-1800	LTE-1800
Relevante Betriebsfrequenz in MHz	811,0	811,0	811,0	1805,0	1805,0	1805,0
Grenzwert in V/m	39,1	39,1	39,1	58,4	58,4	58,4
Montagehöhe der Senderantennenunterkante über Grund in Meter	16,5	16,5	16,5	19,3	19,3	19,3
Hauptstrahlrichtung in Grad	40	160	290	40	160	290
Mechanische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	0	0	0	0	0	0
Elektrische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	3	3	3	3	3	3
Antenne (Hersteller und Typ)	Kathrein 80010647V01	Kathrein 80010647V01	Kathrein 80010647V01	Kathrein 80010622V01	Kathrein 80010622V01	Kathrein 80010622V01
Spitzenleistung pro Kanal am Senderausgang in Watt	30	30	30	30	30	30
Anzahl der Kanäle	2	2	2	2	2	2
Verluste zwischen Senderausgang und Antenneneingang in dB	0,52	0,52	0,54	0,93	0,93	0,96

Betreiber: <b>Telekom</b>	<b>Rilkestraße 23, 93049 Regensburg (Konfiguration 2)</b>					
System	A	B	C	D	E	F
Antennenträger	AT 1	AT 1	AT 1	AT 1	AT 1	AT 1
Funksystem	GSM-900	GSM-900	GSM-900	UMTS	UMTS	UMTS
Relevante Betriebsfrequenz in MHz	935,1	935,1	935,1	2110,0	2110,0	2110,0
Grenzwert in V/m	42,0	42,0	42,0	61,0	61,0	61,0
Montagehöhe der Senderantennenunterkante über Grund in Meter	16,5	16,5	16,5	17,0	17,0	17,0
Hauptstrahlrichtung in Grad	40	160	290	40	160	290
Mechanische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	0	0	0	0	0	0
Elektrische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	3	3	3	3	3	3
Antenne (Hersteller und Typ)	Kathrein 80010647V01	Kathrein 80010647V01	Kathrein 80010647V01	Kathrein 80010622V01	Kathrein 80010622V01	Kathrein 80010622V01
Spitzenleistung pro Kanal am Senderausgang in Watt	107	107	107	32	32	32
Anzahl der Kanäle	1	1	1	2	2	2
Verluste zwischen Senderausgang und Antenneneingang in dB	1,98	1,98	2,0	0,9	0,9	0,93

Betreiber: <b>Telekom</b>	<b>Rilkestraße 23, 93049 Regensburg (Konfiguration 2)</b>					
System	G	H	I	J	K	L
Antennenträger	AT 1	AT 1	AT 1	AT 1	AT 1	AT 1
Funksystem	LTE-800	LTE-800	LTE-800	LTE-1800	LTE-1800	LTE-1800
Relevante Betriebsfrequenz in MHz	811,0	811,0	811,0	1805,0	1805,0	1805,0
Grenzwert in V/m	39,1	39,1	39,1	58,4	58,4	58,4
Montagehöhe der Senderantennenunterkante über Grund in Meter	16,5	16,5	16,5	17,0	17,0	17,0
Hauptstrahlrichtung in Grad	40	160	290	40	160	290
Mechanische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	0	0	0	0	0	0
Elektrische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	3	3	3	3	3	3
Antenne (Hersteller und Typ)	Kathrein 80010647V01	Kathrein 80010647V01	Kathrein 80010647V01	Kathrein 80010622V01	Kathrein 80010622V01	Kathrein 80010622V01
Spitzenleistung pro Kanal am Senderausgang in Watt	30	30	30	30	30	30
Anzahl der Kanäle	2	2	2	2	2	2
Verluste zwischen Senderausgang und Antenneneingang in dB	0,52	0,52	0,54	0,93	0,93	0,96

Topografische Höhe des Antennenstandortes (Bodenniveau über N.N.): 341 m

Die Immissionsberechnungen wurden mit folgenden Ortsparametern durchgeführt:

Punkt Nr.	Horizontale Entfernung zum Standort	Azimet (N über O)	Höhe der Punktes über Grund	Topografische Höhe (Bodenniveau) über NN
1	59 m	76°	1,5 m	342 m
2	66 m	67°	1,5 m	342 m
3	85 m	80°	1,5 m	342 m
4	85 m	80°	4,0 m	342 m
5	65 m	98°	1,5 m	342 m
6	84 m	99°	1,5 m	342 m
7	72 m	83°	1,5 m	342 m
8	81 m	287°	1,5 m	340 m

Als Berechnungssoftware wurde "FieldView", Version 6.1.0 (eine Eigenentwicklung der EM-Institut GmbH) eingesetzt.

Ergebnisse der Immissionsberechnungen (Immissionen, verursacht durch den neuen Standort):

#### Konfiguration 1:

Punkt Nr.	Elektrische Feldstärke E in Volt/m (V/m)	Grenzwertausschöpfung bezüglich E in Prozent	Leistungsflussdichte S in Milliwatt/m <sup>2</sup> (mW/m <sup>2</sup> )
1	2,26 V/m	4,63 %	13,5 mW/m <sup>2</sup>
2	2,18 V/m	4,47 %	12,6 mW/m <sup>2</sup>
3	3,07 V/m	6,90 %	25,0 mW/m <sup>2</sup>
4	3,77 V/m	8,98 %	37,7 mW/m <sup>2</sup>
5	2,09 V/m	4,34 %	11,6 mW/m <sup>2</sup>
6	2,68 V/m	5,93 %	19,0 mW/m <sup>2</sup>
7	2,53 V/m	5,29 %	17,0 mW/m <sup>2</sup>
8	2,32 V/m	4,70 %	14,3 mW/m <sup>2</sup>

**Konfiguration 2:**

<b>Punkt Nr.</b>	<b>Elektrische Feldstärke E in Volt/m (V/m)</b>	<b>Grenzwertausschöpfung bezüglich E in Prozent</b>	<b>Leistungsflussdichte S in Milliwatt/m<sup>2</sup> (mW/m<sup>2</sup>)</b>
1	2,49 V/m	4,88 %	16,4 mW/m <sup>2</sup>
2	2,75 V/m	5,26 %	20,1 mW/m <sup>2</sup>
3	2,88 V/m	6,67 %	22,0 mW/m <sup>2</sup>
4	3,90 V/m	9,13 %	40,3 mW/m <sup>2</sup>
5	2,47 V/m	4,85 %	16,2 mW/m <sup>2</sup>
6	2,53 V/m	5,72 %	16,9 mW/m <sup>2</sup>
7	2,65 V/m	5,44 %	18,6 mW/m <sup>2</sup>
8	2,53 V/m	4,97 %	16,9 mW/m <sup>2</sup>