

Elektromagnetische Immissionen durch Mobilfunksendeanlagen

Bericht über durchgeführte Feldstärkemessungen



Auftraggeber: Stadt Regensburg
Umweltamt
Minoritenweg 8-10
93047 Regensburg

Ort: Umgebung des Anlagenstandortes "Rilkestraße 23"

Durchführung: EM-Institut GmbH
Carlstraße 5
93049 Regensburg

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

Projektnummer: 17/025

Ort und Datum: Regensburg, 19. Februar 2018

Inhaltsverzeichnis

	Seite	
1	Aufgabenstellung	3
2	Immissionen durch Mobilfunksendeanlagen	5
3	Durchführung der Messungen	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
4	Festgestellte Immissionswerte	11
4.1	Aktuelle Immission durch Mobilfunk	11
4.2	Veränderung der Immission im Vergleich zur letzten Messung	14
5	Schlussfolgerungen	16
6	Literaturverzeichnis	17
7	Anlagen	18
	Anlage 1: Ausführliche Ergebnistabellen	18
	Anlage 2: Grenzwerte und ihre Festlegung	22
	Anlage 3: Lageplan mit Anlagenstandort und den Messpunkten	25

1 Aufgabenstellung

Aufgrund der Errichtung eines neuen Mobilfunkanlagenstandorts (Rilkestraße 23, 93049 Regensburg) durch die Deutsche Telekom wurde die EM-Institut GmbH vom Umweltamt der Stadt Regensburg beauftragt, an einigen Punkten in der Umgebung des neuen Standortes mittels einer "Vorhermessung" vor und einer "Nachhermessung" nach Inbetriebnahme der neuen Anlagen die Veränderung der in der Umgebung vorhandenen elektromagnetischen Immissionen, verursacht durch Mobilfunksignale, messtechnisch zu erfassen.

Die Ergebnisse der Messungen sind mit den derzeit in Deutschland verbindlichen Grenzwerten zu vergleichen.

Zum Zeitpunkt der "Nachhermessung" waren in der Umgebung der Messpunkte folgende Mobilfunksendeanlagen in Betrieb:

Standort	Ort (Standortbescheinigungsnummer)	Betreiber (Mobilfunksysteme)
1	Rilkestraße 23 (69016540)	Deutsche Telekom (GSM + UMTS + LTE)
2	Prüfeninger Straße 79 (680879)	Vodafone (GSM+UMTS)

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

Tab. 1: In der Umgebung der Messpunkte vorhandene Mobilfunksendeanlagen

In diesem Bericht sind die Ergebnisse der "Nachhermessung" dokumentiert. Zusätzlich wird ein Vergleich mit den Ergebnissen der "Vorhermessung" vom April 2015 vorgenommen.

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 hin-

gegen rechnerische Prognosen die einzige Möglichkeit zur Darstellung der Immissionsverhältnisse.

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

- *Wie groß, im Vergleich zum gesetzlichen Grenzwert, sind die Immissionen, die derzeit durch Mobilfunksignale an den betrachteten Messpunkten erzeugt werden?*
- *Wie hat sich die Immission im Vergleich zur letzten Messung verändert?*

Die Ergebnisse der Messungen und 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 (Abbildung 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 (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.

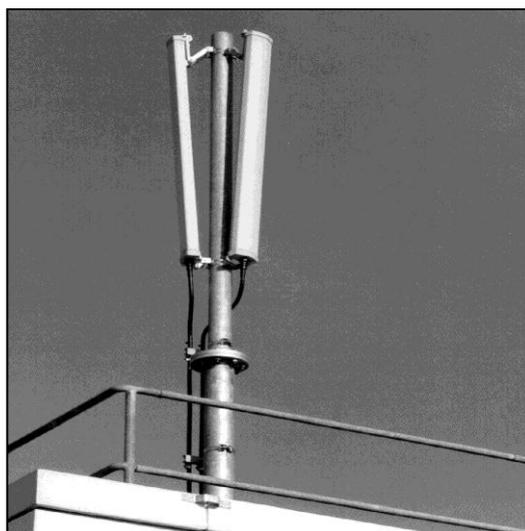


Abb. 2: Zwei Sektorantennen, montiert auf einem Flachdach (hier mit mechanischer Strahlabsenkung, engl. "Downtilt").

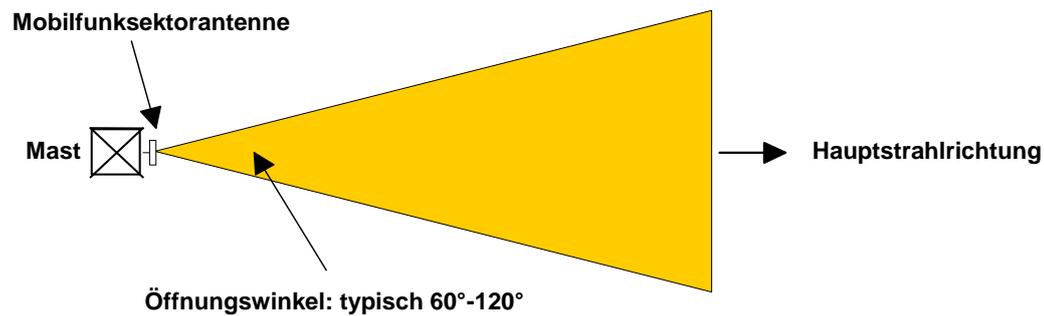


Abb. 3: Horizontales Abstrahlverhalten einer Mobilfunksektorantenne.

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").

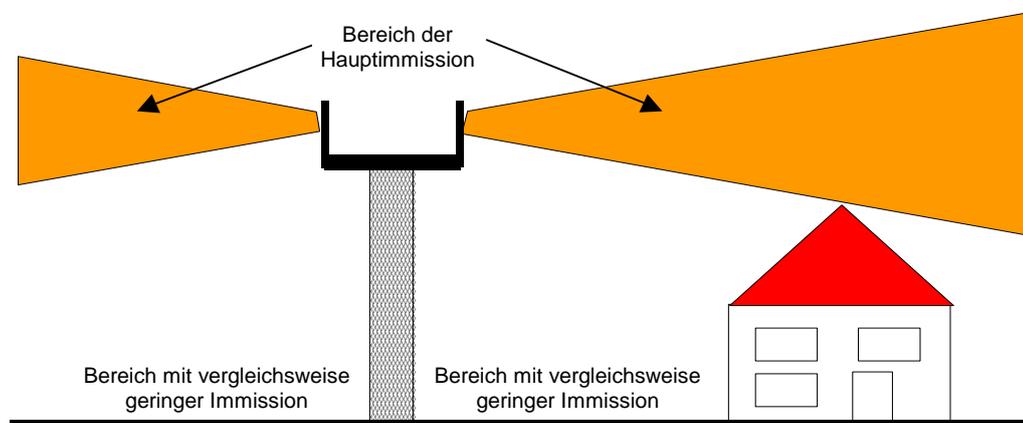


Abb. 4: Vertikales Bündelungsverhalten von Mobilfunkantennen (prinzipielle Darstellung).

Außerhalb dieses schmalen Feldkegels der Antenne (vergleichbar mit der Lichtverteilung im Kegel eines Scheinwerfers) ist die Energieabgabe deutlich geringer (typisch nur 1/10 bis 1/1.000 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.

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 ± 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 maximale 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 Anlage), sowie aus der von der BNetzA genehmigten Kanalzahl errech-

net 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 dem Betreiber von der BNetzA genehmigt 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 Messung auf ihre ordnungsgemäße Funktion überprüft.

3.5 Messorte

Die Messungen wurden an insgesamt acht Punkten in der Umgebung des neuen Anlagenstandortes durchgeführt. Sieben Messpunkte befanden sich im Bereich des Kindergartens "St. Michael" (Rilkestraße 19). Vier der acht Messungen wurden im Gebäudeinneren (Gruppenräume im Kindergarten), der Rest im Freien in Bodennähe (ca. 1,5 bis 2 Meter über Grund) vorgenommen.

Im Detail handelt es sich um folgende Punkte:

Messpunkt Nr.	Bezeichnung	Entfernung zum neuen Standort*	Sichtverbindung zu den Antennen
1	Kindergarten (Gruppenraum "Gelbe Gruppe"; EG)	ca. 60 m	nein
2	Kindergarten (Gruppenraum "Grüne Gruppe"; EG)	ca. 65 m	nein
3	Kindergarten (Gruppenraum "Blaue Gruppe"; EG)	ca. 85 m	eingeschränkt (Bäume)
4	Kindergarten (Gruppenraum "Rote Gruppe"; 1. OG)	ca. 85 m	ja

Messpunkt Nr.	Bezeichnung	Entfernung zum neuen Standort*	Sichtverbindung zu den Antennen
5	Kindergarten (Außenbereich-Rutschbahn)	ca. 65 m	nein
6	Kindergarten (Außenbereich-Sandkasten)	ca. 85 m	eingeschränkt (Bäume)
7	Kindergarten (Außenbereich-Fußballwiese)	ca. 70 m	ja
8	Parkplatz Klinik "Barmherzige Brüder"	ca. 90 m	ja

Tab. 2: Messpunkte.

An obigen Punkten wurde am 23. April 2015 zwischen 16:50 und 18:05 Uhr die "Vorhermessung" durchgeführt. Die Ergebnisse liegen dem Umweltamt der Stadt Regensburg vor [12]. Die "Nachhermessung" erfolgte am 01. Februar 2018 zwischen 16:15 und 17:15 Uhr (Verantwortlicher vor Ort: Dr.-Ing. M. Wuschek). Ein Vertreter des Auftraggebers war bei den Messungen vor Ort anwesend.

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

In Kapitel 4.2 wird ein Vergleich der aktuellen Messergebnisse mit den Resultaten der "Vorhermessung" durchgeführt.

Ein Umgebungsplan mit eingezeichnetem Anlagenstandort und den Messpunkten findet sich in der Anlage 3 zu diesem Bericht. Eine Fotodokumentation der Messpunkte ist bereits im Bericht über die Vorhermessungen enthalten [12].

4 Festgestellte Immissionswerte

4.1 Aktuelle Immission durch Mobilfunk

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

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

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

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

Zur besseren Verständlichkeit werden in Tabelle 3 jedoch nicht absolute Feldstärkewerte angegeben, sondern es ist aufgeführt, wie viel Prozent bezüglich der Grenzwerte nach 26. BImSchV an den einzelnen Messpunkten jeweils erreicht werden ("Grenzwertausschöpfung").

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

Messpunkt Nr.	Grenzwertausschöpfung Mobilfunk (<u>Minimal</u> immission)	Grenzwertausschöpfung Mobilfunk (<u>Maximal</u> immission)
1	0,5 %	1,5 %
2	0,4 %	1,2 %
3	0,6 %	1,8 %
4	0,8 %	2,6 %
5	1,0 %	3,0 %
6	1,0 %	3,1 %
7	1,0 %	2,8 %
8	2,6 %	8,1 %

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

Nach 26. BImSchV gilt für Mobilfunksignale ein Grenzwert von zirka 39 Volt/m (LTE-800), zirka 42 Volt/m (GSM- bzw. LTE-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:

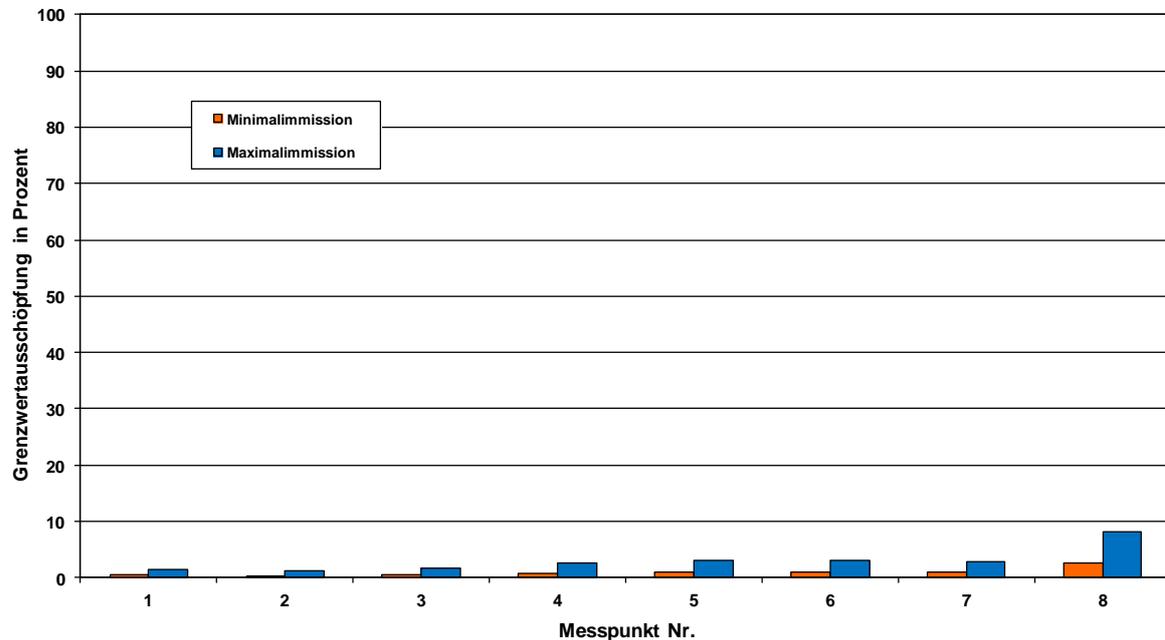


Abb. 5: Grafische Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 3 (Grenzwertausschöpfung bezogen auf die Feldstärkegrenzwerte nach 26. BImSchV).

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

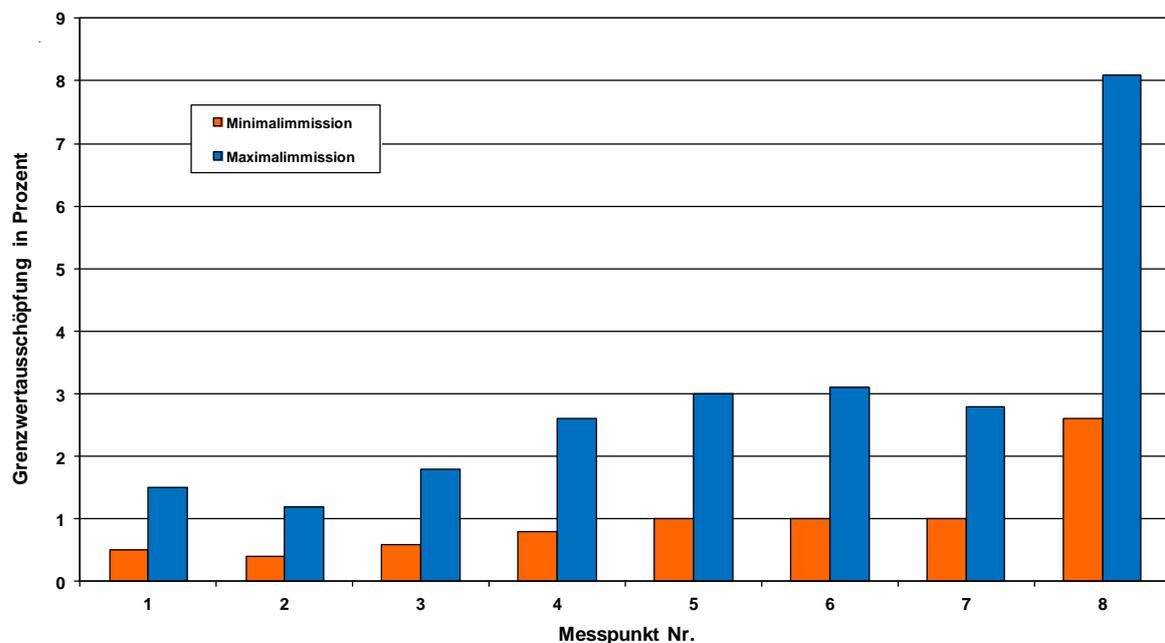


Abb. 6: Detaillierte Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 3

4.2 Veränderung der Immission im Vergleich zur letzten Messung

Ein Vergleich der aktuellen Immissionswerte nach Inbetriebnahme des neuen Mobilfunkanlagenstandortes mit den Ergebnissen der Messungen vom April 2015 [12] soll Aufschluss über die Veränderung der Hochfrequenzimmissionen geben.

In folgender Tabelle ist die Veränderung der Mobilfunkimmissionswerte an den betrachteten Punkten zahlenmäßig dokumentiert:

Messpunkt Nr.	Grenzwertausschöpfung Mobilfunk (Messung 04/2015)	Grenzwertausschöpfung Mobilfunk (Messung 02/2018)
1	0,3 %	1,5 %
2	0,3 %	1,2 %
3	0,6 %	1,8 %
4	0,7 %	2,6 %
5	1,4 %	3,0 %
6	0,9 %	3,1 %
7	0,8 %	2,8 %
8	0,2 %	8,1 %

Tab. 4: Vergleich der aktuellen Immissionswerte mit den Resultaten der Messung vom April 2015 (Grenzwertausschöpfung für Maximalimmission bezogen auf die 26. BImSchV).

Abbildung 7 stellt die Ergebnisse aus Tabelle 4 grafisch dar:

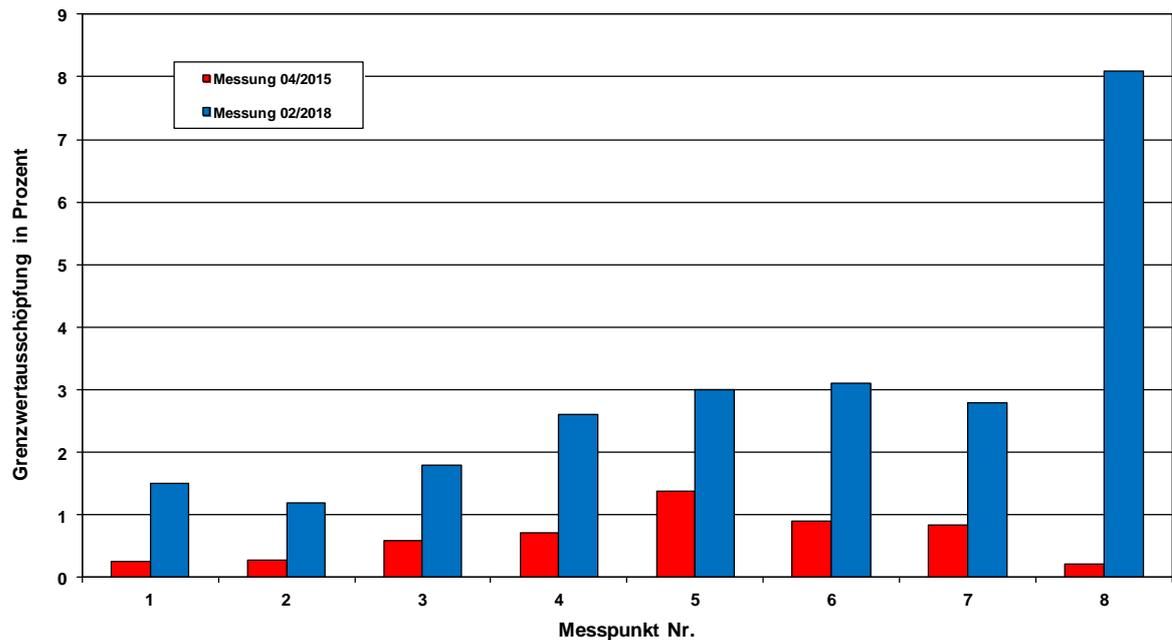


Abb. 7: Grafische Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 4 (Mobilfunk-Grenzwertausschöpfung "04/2015" - "02/2018" für Maximalimmission bezogen auf die 26. BImSchV).

Bei näherer Betrachtung der Ergebnisse aus Tabelle 4 bzw. Abbildung 7 erkennt man, dass an allen Punkten eine Zunahme der Immission zu beobachten ist. Diese wird durch den neuen Anlagenstandort verursacht.

5 Schlussfolgerungen

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

- Wie aus Tabelle 3 sowie den Abbildungen 5 und 6 ersichtlich, wird der Grenzwert nach 26. BImSchV - auch unter Berücksichtigung der vorhandenen Messunsicherheit - aktuell an allen untersuchten Punkten *deutlich* unterschritten. Im Rahmen der "Nachhermessung" ergaben sich - für den Fall der Vollausslastung der verursachenden Mobilfunkanlagen - an den untersuchten Punkten (feldstärkebezogene) Grenzwertausschöpfungen zwischen etwa 1,2 und 8,1 Prozent der maximal zulässigen Summenimmission.
- Ein Vergleich mit den Resultaten einer vor Inbetriebnahme des neuen Standortes im April 2015 durchgeführten Messung zeigt, dass an allen Punkten eine Zunahme der Immission zu beobachten ist. Diese wird durch den neuen Anlagenstandort verursacht.
- Die Messungen zeigen auch, dass sich der Bereich des Kindergartens im so genannten "Nahbereichsschatten" des Anlagenstandortes befindet. Im Vergleich zu Messpunkt 8 (Entfernung zirka 90 Meter zu den Antennen) ergaben die Messungen sowohl im Außenbereich als auch in den Gruppenräumen des Kindergartens deutlich niedrigere Immissionswerte (siehe Abbildung 6).

Regensburg, 19. Februar 2018



Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek



6 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).
- [5] **Firma Kathrein, Rosenheim**
"Base Station Antennas for Mobile Communications", Firmenschrift, Rosenheim.
- [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 des Beschlusses der 128. Sitzung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz am 17. und 18.9.2014 in Landshut"; 09/2014; 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] **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
- [12] **M. Wuschek**
Bericht Nr. 14/072 vom 27.06.2015, EM-Institut GmbH, Regensburg

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 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_{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 der Auswertung angewendet.

Leistungsflussdichtewerte können hingegen auf herkömmliche Weise linear aufsummiert werden.

Detaillierte Dokumentation der Mobilfunk-Immissionsmessungen ("Nachhermessung"):

Messort:	Regensburg-Rilkestraße	Uhrzeit:	16:15 - 17:15 Uhr
Leitung:	Dr. Wuschek	Wetter:	Bedeckt, zeitweise leichter Nieselregen
Signal:	Mobilfunk	Analyser:	SRM-3006
Datum:	01.02.2018	Antenne:	3AX-420M-6G

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

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
f [MHz] / Code (UMTS) bzw. Cell-ID (LTE)	Betreiber	GW [V/m]	E (gem.) [dBµV/m]	Aufschl. MU [dB]	Faktor min. Imm.	Emin [dBµV/m]	Emin [V/m]	Emin [% vom GW]	Smin [mW/m²]	Faktor max. Imm. (BNetzA)	Emax (BNetzA) [dBµV/m]	Emax (BNetzA) [V/m]	Emax (BNetzA) [% vom GW]	Smax (BNetzA) [mW/m²]
Messpunkt Nr. 1														
940,4	Vodafone	42,0	96,2	0,0	1,0	96,2	0,065	0,154	0,0111	10,7	106,5	0,211	0,503	0,118
946,0	Telekom	42,3	101,2	0,0	1,0	101,2	0,115	0,271	0,0350	10,9	111,6	0,379	0,896	0,381
948,4	Telekom	42,3	90,9	0,0	1,0	90,9	0,035	0,083	0,0033	10,9	101,3	0,116	0,274	0,036
958,8	Telekom	42,3	101,4	0,0	1,0	101,4	0,117	0,278	0,0366	10,9	111,8	0,388	0,917	0,399
2167,2/27	Telekom	61,0	89,2	0,0	2,0	92,2	0,041	0,067	0,0044	32,0	104,3	0,163	0,267	0,071
2167,2/207	Telekom	61,0	75,1	0,0	2,0	78,1	0,008	0,013	0,0002	32,0	90,2	0,032	0,053	0,003
2167,2/224	Telekom	61,0	84,0	0,0	2,0	87,0	0,022	0,037	0,0013	32,0	99,1	0,090	0,147	0,021
1815/462-Sum	Telekom	58,4	77,4	0,0	225,0	100,9	0,111	0,190	0,0328	900,0	106,9	0,222	0,381	0,131
1815/463-Sum	Telekom	58,4	71,2	0,0	225,0	94,7	0,054	0,093	0,0079	900,0	100,7	0,109	0,187	0,031
1815/464-Sum	Telekom	58,4	68,3	0,0	225,0	91,8	0,039	0,067	0,0040	900,0	97,8	0,078	0,134	0,016
					minimal:	0,2	0,5	0,14	maximal (BNetzA):			0,7	1,5	1,2
Messpunkt Nr. 2														
940,4	Vodafone	42,0	94,0	0,0	1,0	94,0	0,050	0,119	0,0067	10,7	104,3	0,164	0,390	0,071
946,0	Telekom	42,3	93,8	0,0	1,0	93,8	0,049	0,116	0,0064	10,9	104,2	0,162	0,382	0,069
948,4	Telekom	42,3	95,2	0,0	1,0	95,2	0,058	0,136	0,0088	10,9	105,6	0,190	0,449	0,096
958,8	Telekom	42,3	100,9	0,0	1,0	100,9	0,111	0,262	0,0326	10,9	111,3	0,366	0,865	0,355
2167,2/27	Telekom	61,0	88,2	0,0	2,0	91,2	0,036	0,060	0,0035	32,0	103,3	0,145	0,238	0,056
2167,2/207	Telekom	61,0	78,1	0,0	2,0	81,1	0,011	0,019	0,0003	32,0	93,2	0,045	0,075	0,005
2167,2/224	Telekom	61,0	79,1	0,0	2,0	82,1	0,013	0,021	0,0004	32,0	94,2	0,051	0,084	0,007
1815/462-Sum	Telekom	58,4	73,4	0,0	225,0	96,9	0,070	0,120	0,0131	900,0	102,9	0,140	0,240	0,052
1815/463-Sum	Telekom	58,4	62,8	0,0	225,0	86,3	0,021	0,035	0,0011	900,0	92,3	0,041	0,071	0,005
1815/464-Sum	Telekom	58,4	72,4	0,0	225,0	95,9	0,063	0,107	0,0104	900,0	101,9	0,125	0,214	0,041
					minimal:	0,2	0,4	0,08	maximal (BNetzA):			0,5	1,2	0,8
Messpunkt Nr. 3														
940,4	Vodafone	42,0	96,9	0,0	1,0	96,9	0,070	0,167	0,0130	10,7	107,2	0,229	0,545	0,139
946,0	Telekom	42,3	101,5	0,0	1,0	101,5	0,119	0,281	0,0375	10,9	111,9	0,392	0,927	0,408
948,4	Telekom	42,3	89,9	0,0	1,0	89,9	0,031	0,074	0,0026	10,9	100,3	0,103	0,244	0,028
958,8	Telekom	42,3	102,9	0,0	1,0	102,9	0,140	0,330	0,0517	10,9	113,3	0,461	1,089	0,563
2167,2/27	Telekom	61,0	96,5	0,0	2,0	99,5	0,095	0,155	0,0237	32,0	111,6	0,378	0,620	0,379
2167,2/224	Telekom	61,0	86,9	0,0	2,0	89,9	0,031	0,051	0,0026	32,0	102,0	0,125	0,205	0,042
1815/462-Sum	Telekom	58,4	82,4	0,0	225,0	105,9	0,198	0,339	0,1037	900,0	111,9	0,395	0,677	0,415
1815/463-Sum	Telekom	58,4	74,4	0,0	225,0	97,9	0,079	0,135	0,0164	900,0	103,9	0,157	0,270	0,066
					minimal:	0,3	0,6	0,25	maximal (BNetzA):			0,9	1,8	2,0
Messpunkt Nr. 4														
940,4	Vodafone	42,0	100,8	0,0	1,0	100,8	0,110	0,261	0,0319	10,7	111,1	0,359	0,854	0,341
946,0	Telekom	42,3	103,8	0,0	1,0	103,8	0,155	0,366	0,0636	10,9	114,2	0,511	1,208	0,693
948,4	Telekom	42,3	90,2	0,0	1,0	90,2	0,032	0,076	0,0028	10,9	100,6	0,107	0,252	0,030
958,8	Telekom	42,3	106,8	0,0	1,0	106,8	0,219	0,517	0,1270	10,9	117,2	0,722	1,707	1,383
2167,2/27	Telekom	61,0	101,3	0,0	2,0	104,3	0,164	0,269	0,0716	32,0	116,4	0,657	1,077	1,145
2167,2/207	Telekom	61,0	72,1	0,0	2,0	75,1	0,006	0,009	0,0001	32,0	87,2	0,023	0,037	0,001
2167,2/224	Telekom	61,0	88,1	0,0	2,0	91,1	0,036	0,059	0,0034	32,0	103,2	0,144	0,236	0,055
1815/462-Sum	Telekom	58,4	82,0	0,0	225,0	105,5	0,189	0,323	0,0946	900,0	111,5	0,378	0,647	0,378
1815/463-Sum	Telekom	58,4	76,8	0,0	225,0	100,3	0,104	0,178	0,0286	900,0	106,3	0,208	0,355	0,114
1815/464-Sum	Telekom	58,4	67,0	0,0	225,0	90,5	0,034	0,058	0,0030	900,0	96,5	0,067	0,115	0,012
					minimal:	0,4	0,8	0,43	maximal (BNetzA):			1,3	2,6	4,2
Messpunkt Nr. 5														
940,4	Vodafone	42,0	106,6	0,0	1,0	106,6	0,214	0,509	0,1212	10,7	116,9	0,699	1,665	1,297
942,4	Vodafone	42,0	84,2	0,0	1,0	84,2	0,016	0,039	0,0007	4,0	90,2	0,032	0,077	0,003
944,0	Vodafone	42,0	83,9	0,0	1,0	83,9	0,016	0,037	0,0007	10,7	94,2	0,051	0,122	0,007
946,0	Telekom	42,3	106,0	0,0	1,0	106,0	0,200	0,472	0,1056	10,9	116,4	0,658	1,557	1,150
948,4	Telekom	42,3	97,8	0,0	1,0	97,8	0,078	0,184	0,0160	10,9	108,2	0,256	0,606	0,174
958,8	Telekom	42,3	105,7	0,0	1,0	105,7	0,193	0,456	0,0986	10,9	116,1	0,636	1,504	1,073
2167,2/27	Telekom	61,0	92,7	0,0	2,0	95,7	0,061	0,100	0,0099	32,0	107,8	0,244	0,400	0,158
2167,2/207	Telekom	61,0	89,0	0,0	2,0	92,0	0,040	0,065	0,0042	32,0	104,1	0,159	0,261	0,067
2167,2/224	Telekom	61,0	93,8	0,0	2,0	96,8	0,069	0,114	0,0127	32,0	108,9	0,277	0,454	0,204
1815/462-Sum	Telekom	58,4	81,4	0,0	225,0	104,9	0,176	0,302	0,0824	900,0	110,9	0,352	0,604	0,330
1815/463-Sum	Telekom	58,4	81,5	0,0	225,0	105,0	0,178	0,305	0,0843	900,0	111,0	0,357	0,611	0,337
1815/464-Sum	Telekom	58,4	77,9	0,0	225,0	101,4	0,118	0,202	0,0368	900,0	107,4	0,236	0,403	0,147
					minimal:	0,5	1,0	0,57	maximal (BNetzA):			1,4	3,0	4,9

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 [V/m]	E (gem.) [dBµV/m]	Aufschl. MU [dB]	Faktor min. Imm.	Emin [dBµV/m]	Emin [V/m]	Emin [% vom GW]	Smin [mW/m²]	Faktor max. Imm. (BNetzA)	E _{max} (BNetzA) [dBµV/m]	E _{max} (BNetzA) [V/m]	E _{max} (BNetzA) [% vom GW]	S _{max} (BNetzA) [mW/m²]
Messpunkt Nr.	6													
940,0	Vodafone	42,0	88,2	0,0	1,0	88,2	0,026	0,061	0,0018	10,7	98,5	0,084	0,200	0,019
940,4	Vodafone	42,0	103,5	0,0	1,0	103,5	0,150	0,356	0,0594	10,7	113,8	0,489	1,165	0,635
942,4	Vodafone	42,0	81,0	0,0	1,0	81,0	0,011	0,027	0,0003	4,0	87,0	0,022	0,053	0,001
944,0	Vodafone	42,0	81,4	0,0	1,0	81,4	0,012	0,028	0,0004	10,7	91,7	0,038	0,092	0,004
946,0	Telekom	42,3	105,5	0,0	1,0	105,5	0,188	0,445	0,0941	10,9	115,9	0,622	1,470	1,025
948,4	Telekom	42,3	98,3	0,0	1,0	98,3	0,082	0,194	0,0179	10,9	108,7	0,271	0,641	0,195
958,8	Telekom	42,3	107,3	0,0	1,0	107,3	0,232	0,548	0,1424	10,9	117,7	0,765	1,808	1,551
959,6	Telekom	42,3	84,4	0,0	1,0	84,4	0,017	0,039	0,0007	4,0	90,4	0,033	0,078	0,003
2167,2/27	Telekom	61,0	95,6	0,0	2,0	98,6	0,085	0,140	0,0193	32,0	110,7	0,341	0,559	0,308
2167,2/207	Telekom	61,0	86,5	0,0	2,0	89,5	0,030	0,049	0,0024	32,0	101,6	0,120	0,196	0,038
2167,2/224	Telekom	61,0	98,9	0,0	2,0	101,9	0,125	0,204	0,0412	32,0	114,0	0,498	0,817	0,659
1815/462-Sum	Telekom	58,4	84,8	0,0	225,0	108,3	0,261	0,446	0,1802	900,0	114,3	0,521	0,893	0,721
1815/463-Sum	Telekom	58,4	80,1	0,0	225,0	103,6	0,152	0,260	0,0611	900,0	109,6	0,303	0,520	0,244
1815/464-Sum	Telekom	58,4	75,1	0,0	225,0	98,6	0,085	0,146	0,0193	900,0	104,6	0,171	0,292	0,077
						minimal:	0,5	1,0	0,64		maximal (BNetzA):	1,4	3,1	5,5
Messpunkt Nr.	7													
940,0	Vodafone	42,0	86,6	0,0	1,0	86,6	0,021	0,051	0,0012	10,7	96,9	0,070	0,167	0,013
940,4	Vodafone	42,0	103,5	0,0	1,0	103,5	0,150	0,356	0,0594	10,7	113,8	0,489	1,165	0,635
944,0	Vodafone	42,0	81,6	0,0	1,0	81,6	0,012	0,029	0,0004	10,7	91,9	0,039	0,094	0,004
946,0	Telekom	42,3	102,5	0,0	1,0	102,5	0,133	0,315	0,0472	10,9	112,9	0,440	1,040	0,514
948,4	Telekom	42,3	97,7	0,0	1,0	97,7	0,077	0,181	0,0156	10,9	108,1	0,253	0,599	0,170
958,8	Telekom	42,3	105,0	0,0	1,0	105,0	0,178	0,420	0,0839	10,9	115,4	0,587	1,387	0,913
959,6	Telekom	42,3	81,5	0,0	1,0	81,5	0,012	0,028	0,0004	4,0	87,5	0,024	0,056	0,001
2167,2/27	Telekom	61,0	98,7	0,0	2,0	101,7	0,122	0,200	0,0393	32,0	113,8	0,487	0,798	0,629
2167,2/207	Telekom	61,0	87,5	0,0	2,0	90,5	0,034	0,055	0,0030	32,0	102,6	0,134	0,220	0,048
2167,2/224	Telekom	61,0	96,0	0,0	2,0	99,0	0,089	0,146	0,0211	32,0	111,1	0,357	0,585	0,338
1815/462-Sum	Telekom	58,4	87,8	0,0	225,0	111,3	0,368	0,630	0,3596	900,0	117,3	0,736	1,261	1,438
1815/463-Sum	Telekom	58,4	81,7	0,0	225,0	105,2	0,182	0,312	0,0883	900,0	111,2	0,365	0,625	0,353
1815/464-Sum	Telekom	58,4	72,2	0,0	225,0	95,7	0,061	0,105	0,0099	900,0	101,7	0,122	0,209	0,040
						minimal:	0,5	1,0	0,73		maximal (BNetzA):	1,4	2,8	5,1
Messpunkt Nr.	8													
940,4	Vodafone	42,0	89,0	0,0	1,0	89,0	0,028	0,067	0,0021	10,7	99,3	0,092	0,220	0,023
940,8	Vodafone	42,0	85,2	0,0	1,0	85,2	0,018	0,043	0,0009	4,0	91,2	0,036	0,087	0,004
944,0	Vodafone	42,0	85,4	0,0	1,0	85,4	0,019	0,044	0,0009	10,7	95,7	0,061	0,145	0,010
946,0	Telekom	42,3	101,9	0,0	1,0	101,9	0,124	0,294	0,0411	10,9	112,3	0,411	0,971	0,447
948,4	Telekom	42,3	119,7	0,0	1,0	119,7	0,966	2,284	2,4755	10,9	130,1	3,188	7,537	26,958
958,8	Telekom	42,3	90,2	0,0	1,0	90,2	0,032	0,076	0,0028	10,9	100,6	0,107	0,252	0,030
1835,8	Telefónica	58,9	84,3	0,0	1,0	84,3	0,016	0,028	0,0007	4,0	90,3	0,033	0,056	0,003
1838,6	Telefónica	58,9	85,0	0,0	1,0	85,0	0,018	0,030	0,0008	4,0	91,0	0,036	0,060	0,003
1851,6	Telefónica	58,9	80,0	0,0	1,0	80,0	0,010	0,017	0,0003	4,0	86,0	0,020	0,034	0,001
2167,2/27	Telekom	61,0	84,8	0,0	2,0	87,8	0,025	0,040	0,0016	32,0	99,9	0,098	0,161	0,026
2167,2/207	Telekom	61,0	104,7	0,0	2,0	107,7	0,243	0,398	0,1566	32,0	119,8	0,972	1,593	2,505
1815/464-Sum	Telekom	58,4	93,5	0,0	225,0	117,0	0,710	1,215	1,3361	900,0	123,0	1,419	2,431	5,344
						minimal:	1,2	2,6	4,02		maximal (BNetzA):	3,7	8,1	35,4

Legende zu obiger Tabelle:

- Spalte 1** Frequenz des Signalisierungskanals BCCH (MCCH) bei GSM (TETRA) bzw. Mittenfrequenz und Scramblingcode/Cell-ID bei UMTS/LTE
- Spalte 2** Messpunktnummer; Betreiberzuordnung
- Spalte 3** Gesetzlicher Grenzwert nach 26. BImSchV in V/m (Worst Case)
- Spalte 4** Gemessene Feldstärke des BCCH (GSM), des MCCH (TETRA), des CPICH (UMTS) bzw. der RS-Signale (LTE) in dB μ 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.
- Spalte 5** Messunsicherheitsaufschlag in dB (Es wird keine Messunsicherheit aufgeschlagen, daher ist dieser Wert zu Null gesetzt).
- Spalte 6** 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 maximal abgestrahlten Leistung beträgt.
- Spalte 7** Minimale Immission (inkl. Messunsicherheitsaufschlag) in dB μ V/m:
 $\langle \text{Spalte 7} \rangle = \langle \text{Spalte 4} \rangle + \langle \text{Spalte 5} \rangle + 10 \cdot \log \langle \text{Spalte 6} \rangle$
- Spalte 8** Wert aus Spalte 7 als elektrische Feldstärke in V/m
- Spalte 9** Prozentuale Grenzwertausschöpfung: $\langle \text{Spalte 9} \rangle = 100 \% \cdot \langle \text{Spalte 8} \rangle / \langle \text{Spalte 3} \rangle$
- Spalte 10** Wert aus Spalte 7 als Leistungsflussdichte in mW/m²
- Spalte 11** Faktor für die maximale Immission bei dem von der BNetzA genehmigtem Anlagenausbau:
Bei GSM bzw. TETRA fließt in diesen Faktor die von der BNetzA pro Funkzelle genehmigte Kanalzahl sowie die aktuelle Leistung des BCCH- (MCCH-) Kanals im Verhältnis zur genehmigten Maximalleistung der Funkzelle ein.
Bei UMTS fließt in diesen Faktor die von der BNetzA pro Funkzelle genehmigte Kanalzahl und die aktuelle CPICH-Leistung im Verhältnis zur maximal genehmigten Sendeleistung der Funkzelle ein.
Bei LTE wird ein Faktor verwendet, der sich als Quotient aus maximal genehmigter Leistung der Funkzelle sowie der Leistung der RS-Signale ergibt.
- Spalte 12** Maximale Immission (inkl. Messunsicherheitsaufschlag) in dB μ V/m:
 $\langle \text{Spalte 12} \rangle = \langle \text{Spalte 4} \rangle + \langle \text{Spalte 5} \rangle + 10 \cdot \log \langle \text{Spalte 11} \rangle$
- Spalte 13** Wert aus Spalte 12 als elektrische Feldstärke in V/m
- Spalte 14** Prozentuale Grenzwertausschöpfung: $\langle \text{Spalte 14} \rangle = 100 \% \cdot \langle \text{Spalte 13} \rangle / \langle \text{Spalte 3} \rangle$
- Spalte 15** Wert aus Spalte 12 als Leistungsflussdichte in mW/m²

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).

Die genaue zahlenmäßige Berechnung der Hochrechnungsfaktoren für maximale Immission wird in diesem Bericht nicht dokumentiert, da es sich hierbei um von den Betreibern als vertraulich eingestufte Daten handelt. Diese Informationen können nur nach Vorlage einer Freigabeerklärung des jeweiligen Betreibers zur Verfügung gestellt werden.

Falls Messwerte von weiter entfernten Mobilfunkstandorten mit in die Auswertung einbezogen wurden, kommen typische Anlagendaten für die Hochrechnung auf Maximalauslastung zur Anwendung.

Anlage 2: Grenzwerte und ihre Festlegung

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 *Internationalen Kommission für den Schutz nicht ionisierender Strahlung* (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

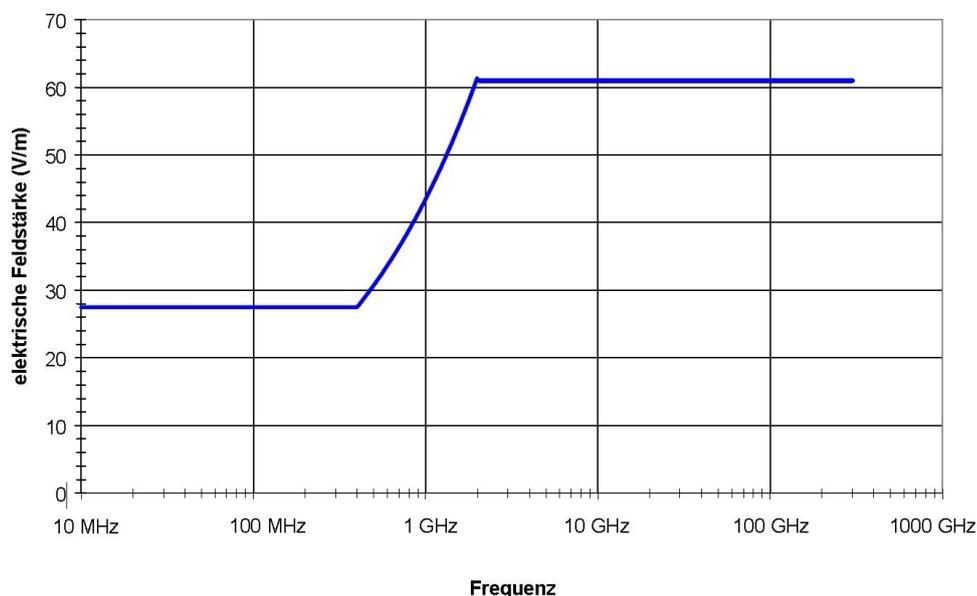


Bild 1: Grafische Darstellung der Grenzwerte (elektrische Feldstärke) aus Tabelle 1 (nach 26. BImSchV) für Hochfrequenzanlagen ab 10 MHz

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.

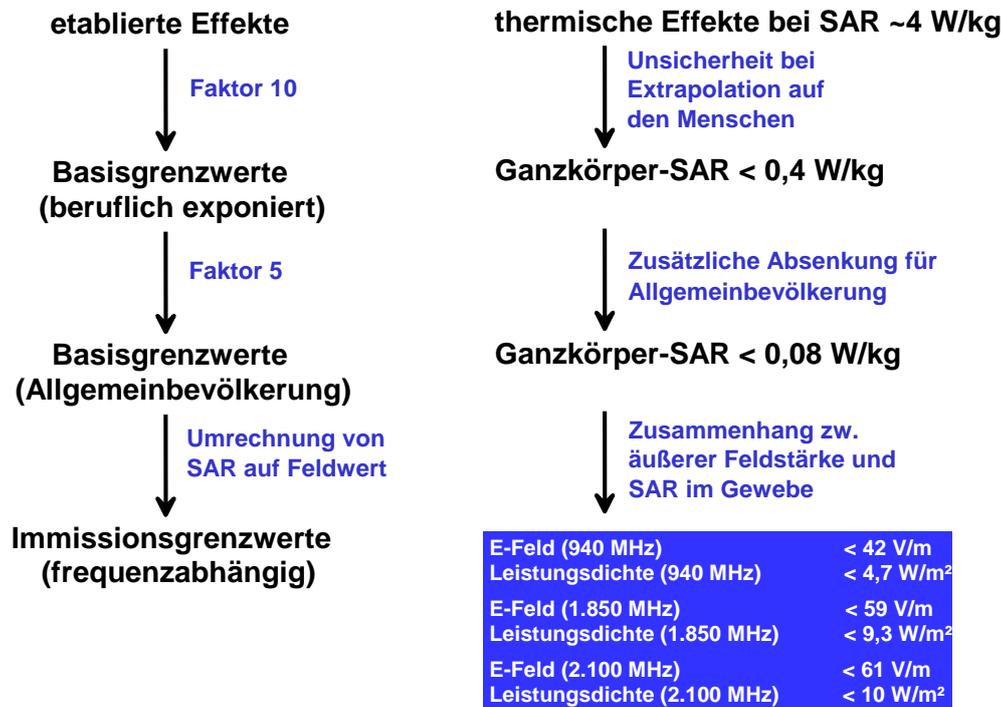
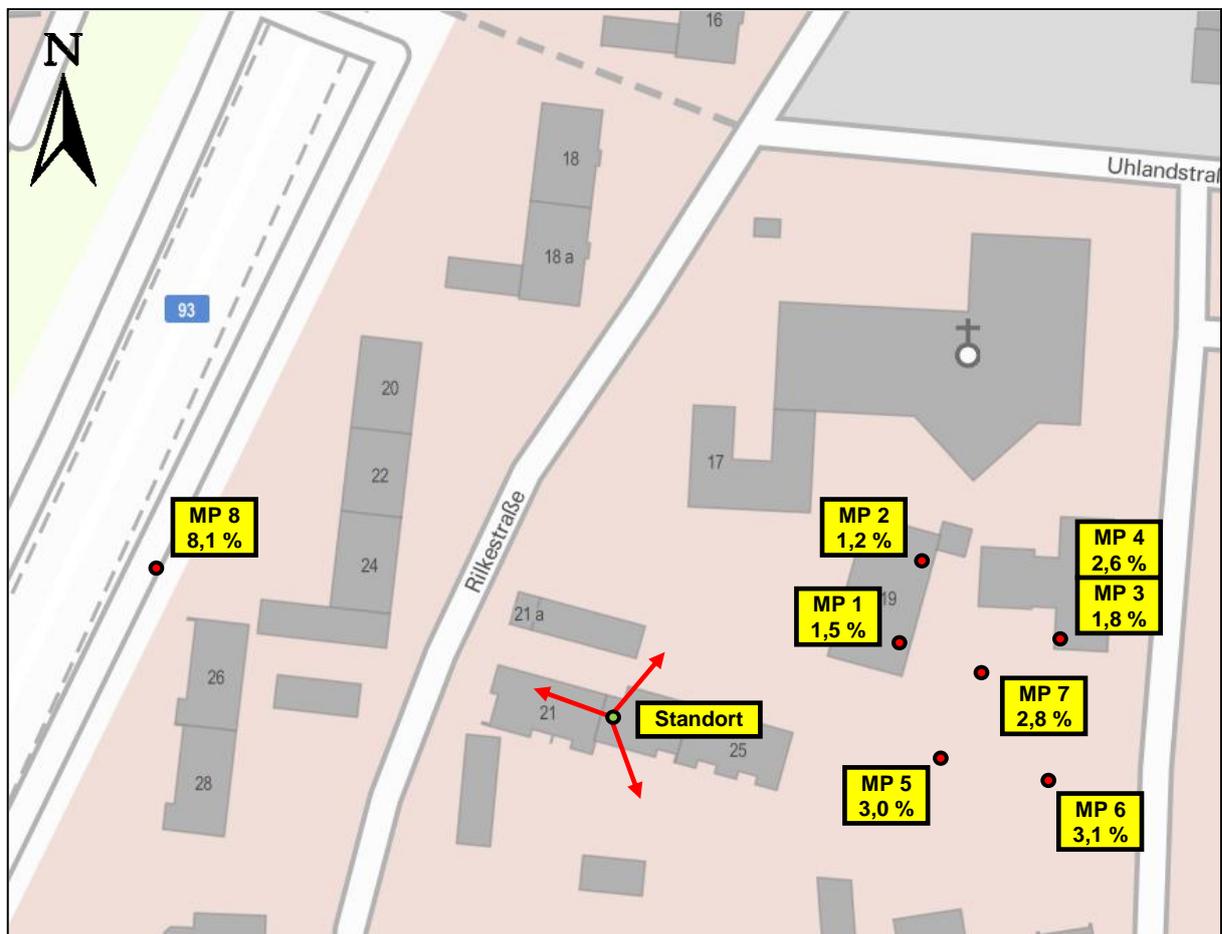


Bild 2: Darstellung der Entstehung internationaler Grenzwertempfehlungen

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 "Nachhermessung" festgestellte Mobilfunk-Immissionswert (für Maximalauslastung und Vollausbau der Anlagen) in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV ("Grenzwertausschöpfung" bezüglich der elektrischen Feldstärke) angegeben.

Die roten Pfeile am Anlagenstandort geben symbolisieren die horizontalen Hauptsenderrichtungen der Mobilfunkantennen.