

Elektromagnetische Immissionen durch Mobilfunksendeanlagen

Bericht über durchgeführte Feldstärkemessungen



Auftraggeber: Universitätsstadt Tübingen
Friedrichstraße 21
72072 Tübingen

Ort: Stadtgebiet von Tübingen

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: 14/054

Ort und Datum: Regensburg, 06. Dezember 2014

Inhaltsverzeichnis

	Seite	
1	Aufgabenstellung	3
2	Immissionen durch Mobilfunksendeanlagen	5
3	Durchführung der Messungen	8
3.1	Messgrößen für hochfrequente Felder	8
3.2	Verwendete Messgeräte, Messverfahren	8
3.3	Messgenauigkeit, Bestimmung der Maximalimmission	9
3.4	Qualitätssicherung	10
3.5	Messorte	10
4	Festgestellte Immissionswerte	11
4.1	Vergleich mit den gesetzlichen Grenzwerten	11
4.2	Vergleich mit den Schweizer "Anlagegrenzwerten"	14
5	Schlussfolgerungen	17
6	Literaturverzeichnis	18
7	Anlagen	19
	Anlage 1: Ausführliche Ergebnistabellen	19
	Anlage 2: Grenzwerte und ihre Entstehung	24
	Anlage 3: Lagepläne mit Anlagenstandorten und Messpunkten	27
	Anlage 4: Fotos	31

1 Aufgabenstellung

Die EM-Institut GmbH wurde von der Universitätsstadt Tübingen beauftragt, an einigen Punkten im Stadtgebiet die dort vorhandenen elektromagnetischen Immissionen, verursacht durch die Signale von Mobilfunksendern, messtechnisch zu erfassen. Die Ergebnisse der Messungen sind mit den derzeit in Deutschland verbindlichen Grenzwerten zu vergleichen.

Bereits in den Jahren 2007, 2008 und 2009 wurden in Tübingen Kontrollmessungen an Mobilfunkanlagen durchgeführt. Mit den Messungen des Jahres 2014 sollen Standorte, an denen inzwischen auch LTE-Sendeanlagen in Betrieb gegangen sind, bezüglich ihrer Immissionswirkung beurteilt werden.

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

Standort Nr.	Adresse (Standortbescheinigungsnummer)	Betreiber (Mobilfunksysteme)
1	Vordere Halde 19, Tü-Derendingen (751052)	Telekom (GSM-900 + UMTS + LTE-800), Vodafone (GSM-900), Telefónica (GSM-1800 + UMTS), E-Plus (GSM-1800 + UMTS)
2	Österberg 1 (Österbergturm) (750407)	Telekom (GSM-900 + UMTS + LTE-1800), Vodafone (GSM-900), Telefónica (GSM-1800), E-Plus (GSM-900/1800 + UMTS + LTE-1800)
3	Sindelfinger Str. 3-5 (752005)	Telekom (GSM-900 + UMTS + LTE-1800), Telefónica (GSM-1800 + UMTS), E-Plus (GSM-1800 + UMTS + LTE-1800)
4	Gewann Brand, Tü-Pfrondorf (752039)	Telekom (GSM-900 + LTE-800), Vodafone (GSM-900 + UMTS), Telefónica (GSM-900 + UMTS), E-Plus (GSM-900/1800 + UMTS)

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

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

Der Schutz der Bevölkerung vor den Wirkungen elektromagnetischer Felder ist in Deutschland seit Januar 1997 in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) [1] verbindlich geregelt. Die in dieser Verordnung festgelegten Immissionsgrenzwerte basieren auf den aktuellen Empfehlungen der 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 Hochfrequenzimmissionen in der Umgebung einer Funkstation treffen zu können, sind daher bei in Betrieb befindlichen Anlagen Messungen in der Regel Berechnungen vorzuziehen. Ein Vergleich der Messergebnisse mit den gesetzlichen Grenzwerten für elektromagnetische Felder erlaubt eine objektive Einschätzung der Immissionsituation vor Ort. Bei geplanten oder noch nicht in Betrieb befindlichen Sendern sind hingegen rechnerische Prognosen die einzige Möglichkeit zur Darstellung der Immissionsverhältnisse.

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

- *Wie groß, im Vergleich zum gesetzlichen Grenzwert, sind die Immissionen, die derzeit durch Mobilfunksignale an den betrachteten Messpunkten im Tübingen erzeugt werden?*
- *Werden an den betrachteten Punkten auch die sehr strengen Schweizer Grenzwerte ("Anlagegrenzwerte für Orte mit empfindlicher Nutzung") eingehalten?*

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

2 Imissionen durch Mobilfunksendeanlagen

Neben der Sendeleistung ist insbesondere das Bündelungsverhalten der montierten Antennen ein wesentlicher Faktor für die Größe der Immissionen in der unmittelbaren Umgebung einer Mobilfunksendeanlage. Die beim Mobilfunk verwendeten Antennen senden in der horizontalen Ebene entweder omnidirektional (Abb. 1), d.h. in alle Richtungen parallel zum Erdboden wird gleich viel Energie abgegeben oder die elektromagnetische Welle wird mittels Richtantennen horizontal auf einen typisch 60° bis 120° breiten Sektor konzentriert (Abb. 3). Häufig werden von einem Anlagenstandort aus, durch die Montage mehrerer derartiger Richtantennen, gleich zwei oder drei Sektoren versorgt (Abb. 2).



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

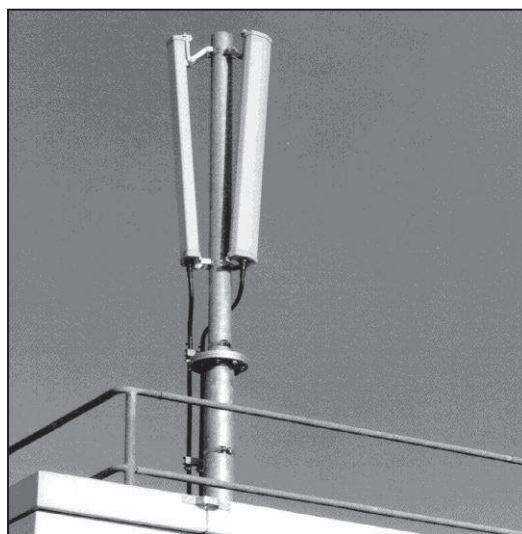


Abb. 2: Zwei Sektorantennen, montiert auf einem Flachdach (hier mit mechanischer Strahlabsenkung, engl. "Downtilt").

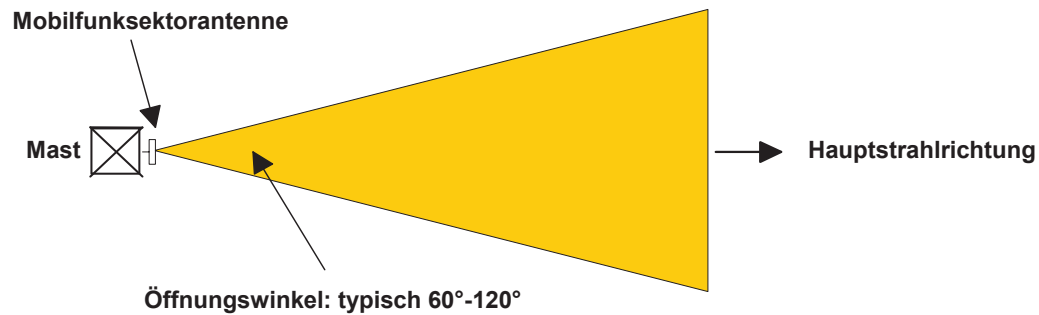


Abb. 3: Horizontales Abstrahlverhalten einer Mobilfunksektorantenne.

An den meisten Standorten werden Sektorantennen verwendet.

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

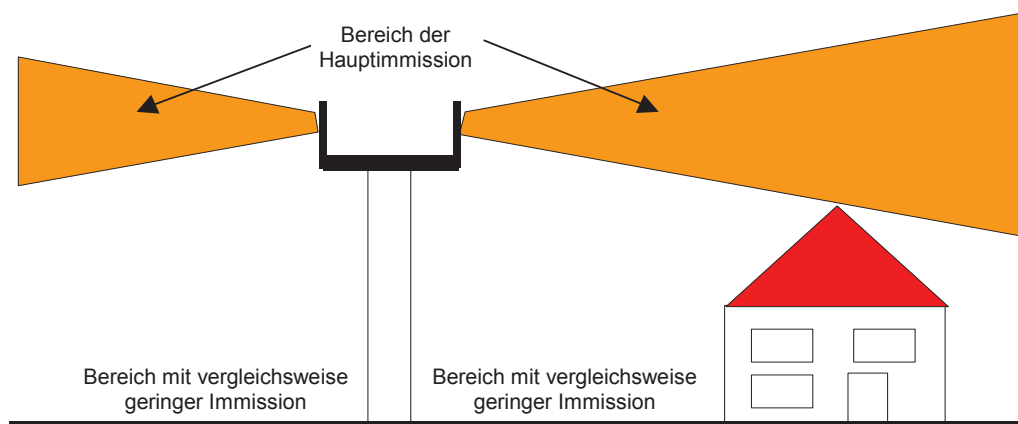


Abb. 4: Vertikales Bündelungsverhalten von Mobilfunkantennen (prinzipielle Darstellung).

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

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

3 Durchführung der Messungen

3.1 Messgrößen für hochfrequente Felder

Für die Beurteilung der elektromagnetischen Immissionen in der Umgebung von Hochfrequenzquellen werden bei Frequenzen oberhalb 30 Megahertz üblicherweise die folgenden Größen verwendet [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. Zur Kompensation wurden alle Messwerte um diesen Unsicherheitsfaktor erhöht, d.h. die in diesem Bericht angegebenen Feldstärkewerte sind, gegenüber der vor Ort abgelesenen Anzeige des Messgerätes, zur Sicherheit *um den Faktor 1,4 vergrößert* worden.

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

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

Die Messungen wurden an insgesamt elf Punkten in der Umgebung der betrachteten Anlagenstandorte durchgeführt. Sechs Messpunkte befanden sich im Gebäudeinneren, die restlichen im Freien.

Folgende Messpunkte wurden in Absprache mit dem Auftraggeber gewählt:

Messpunkt Nr.	Bezeichnung	Entfernung zum nächsten Standort*	Sichtverbindung zu den Antennen?
1.1	Primus-Truber-Str. 45 (Vor Südostseite des Kindergartens)	ca. 375 m (1)	eingeschränkt**
1.2	Primus-Truber-Str. 45 (Kindergarten, Raum 3)	ca. 380 m (1)	eingeschränkt**
2.1	Stauffenbergstr. 32 (Vor Eingang Kindergarten)	ca. 245 m (2)	ja
2.2	Stauffenbergstr. 32 (Kindergarten, 1. OG, Esszimmer 3)	ca. 250 m (2)	ja
3.1	Sindelfinger Straße 2 (Kindergarten Weststadt, vor Eingang)	ca. 195 m (3)	ja
3.2	Sindelfinger Straße 2 (Kindergarten Weststadt, 1. OG, Esszimmer 3)	ca. 180 m (3)	ja

Messpunkt Nr.	Bezeichnung	Entfernung zum nächsten Standort*	Sichtverbindung zu den Antennen?
3.3	Sindelfinger Straße 1 (Grundschule im Aischbach, 1. OG, Westseite, Abstellraum)	ca. 270 m (3)	eingeschränkt**
4.1	Pfrondorf, Baumwiesenweg 6, Städt. Kindergarten (Außenbereich, Ost)	ca. 850 m (4)	eingeschränkt**
4.2	Pfrondorf, Baumwiesenweg 6, Städt. Kindergarten (Werkstatt)	ca. 860 m (4)	eingeschränkt**
4.3	Pfrondorf, Kohlplattenweg 49, Grundschule (Pausenhof, Ostseite)	ca. 1.180 m (4)	ja
4.4	Pfrondorf, Kohlplattenweg 49, Grundschule (1. OG, Raum 25)	ca. 1.200 m (4)	ja

*: Siehe Nummerierung in Tabelle 1

** : Sichtverbindung durch Bäume beeinträchtigt

Tab. 2: Messpunkte.

Die aktuellen Immissionen wurden am 15. Oktober 2014 zwischen 08:40 und 12:45 Uhr gemessen (Verantwortlicher vor Ort: Dr.-Ing. M. Wuschek). Ein Vertreter des Auftraggebers war bei den Messungen anwesend.

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

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

4 Festgestellte Immissionswerte

4.1 Vergleich mit den gesetzlichen Grenzwerten

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)
1.1	0,72 %	1,52 %
1.2	0,59 %	1,21 %
2.1	2,06 %	4,51 %
2.2	2,39 %	4,70 %
3.1	6,15 %	14,59 %
3.2	5,59 %	13,39 %
3.3	1,60 %	4,03 %
4.1	0,77 %	1,68 %
4.2	0,60 %	1,18 %
4.3	0,82 %	1,87 %
4.4	0,23 %	0,50 %

Tab. 3: Festgestellte aktuelle Hochfrequenz-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-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:

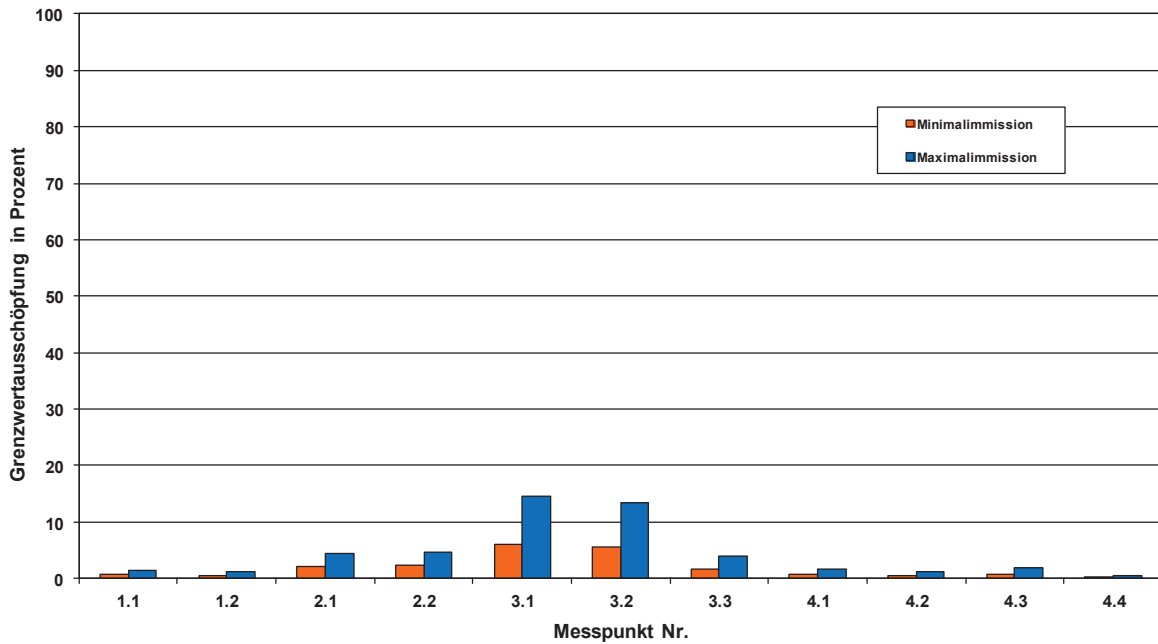


Abb. 5: Grafische Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 3 (Grenzwertausschöpfung bezogen auf die Feldstärkegrenzwerte nach 26. BImSchV).

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

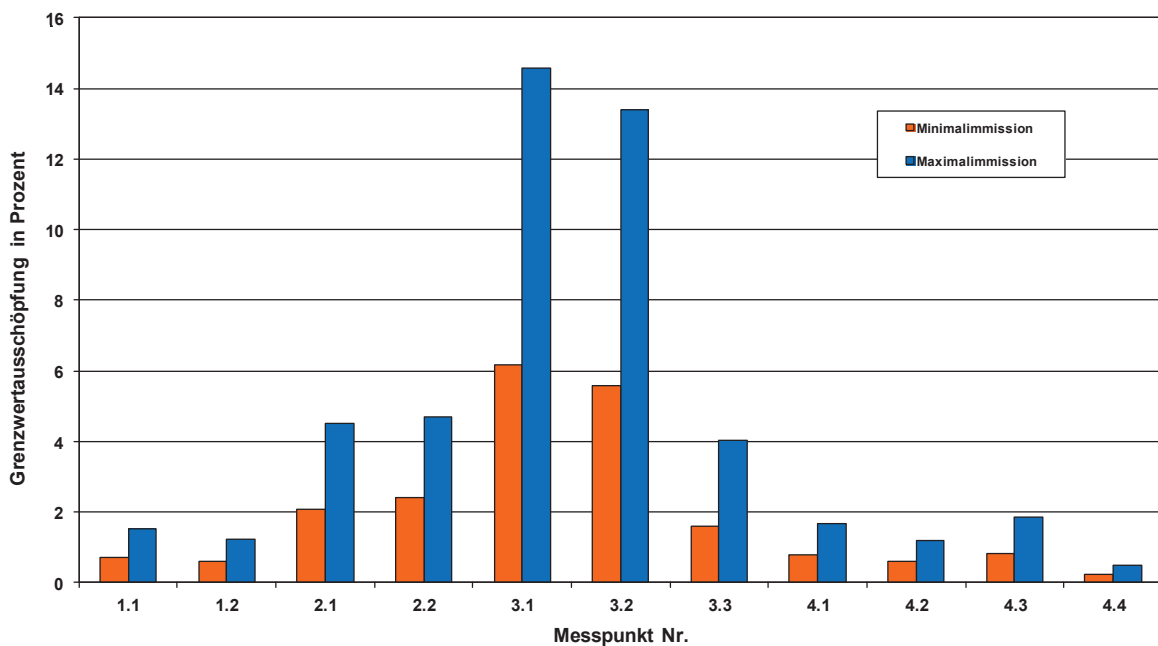


Abb. 6: Detaillierte Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 3.

4.2 Vergleich mit den Schweizer "Anlagegrenzwerten"

Auf besonderen Wunsch des Auftraggebers sollen die hier berechneten Immissionswerte auch mit den in der Schweiz derzeit verbindlichen "Anlagegrenzwerten" [12] verglichen werden. Diese Grenzwerte gehören derzeit zu den strengsten rechtsverbindlichen Vorgaben zum Schutz vor nicht ionisierenden Strahlen der Welt.

In der Schweiz gelten für "Orte mit empfindlicher Nutzung" ("OMEN"), also für Räume in Gebäuden, in denen sich Personen regelmäßig während längerer Zeit aufhalten (das sind z.B. Wohnräume, Schulräume, Kindergärten, Krankenhäuser, Alters- und Pflegeheime, ständige Arbeitsplätze), sowie für Pausenhöfe von Schulen und raumplanungsrechtlich festgesetzte Kinderspielplätze, strengere Grenzwerte als in Deutschland. An allen anderen Orten (z.B. im Garten oder auf Straßen und Plätzen) sind die *gleichen Grenzwerte wie in Deutschland* anzuwenden. Auch Dachterrassen, Balkone, Treppenhäuser, Lagerräume, Garagen und Autoeinstellplätze, Sport- und Freizeitanlagen, Badeanstalten, Aussichtsterrassen, Kirchen, Konzert- und Theatersäle sowie Tierställe sind *nicht* als "Orte mit empfindlicher Nutzung" anzusehen [13].

Die an den "Orten mit empfindlicher Nutzung" wirksame Immission wird - im Gegensatz zu den in Deutschland gültigen Vorgaben - *standortbezogen* ermittelt. Die zur Beurteilung heranzuziehende Immission ergibt sich dabei als Summe der Felder, die jeweils von einer einzelnen "Anlage" erzeugt werden. Die Verordnung definiert, dass eine "Anlage" alle Sendeantennen umfasst, die auf einem Mast angebracht sind oder die in einem engen räumlichen Zusammenhang - z.B. auf dem Dach des gleichen Gebäudes - stehen (Nur in Ausnahmefällen werden die Felder von Antennen, die auf verschiedenen Masten oder Dächern stehen, als eine einzige "Anlage" betrachtet [13]). Alle Einzelfelder, welche die Mobilfunkantennen einer "Anlage" am Messpunkt erzeugen, werden aufsummiert und anschließend mit dem nach der Verordnung für den Standort relevanten Grenzwert ("Anlagegrenzwert") verglichen.

Die verschärften Schweizer Vorgaben sind eingehalten, so lange an den "Orten mit empfindlicher Nutzung" folgende Summenfeldstärkewerte, verursacht durch die betrachtete "Anlage" nicht überschritten werden [12]:

Anlage für	Anlagegrenzwert
LTE 800 / GSM 900	4 Volt/m
GSM /LTE 1800 oder UMTS / LTE 2600	6 Volt/m
(GSM /LTE 1800 oder UMTS / LTE 2600) und LTE 800 / GSM 900	5 Volt/m

Tab. 4: Schweizer "Anlagegrenzwerte" für Mobilfunksender.

Ja nach Bestückung des Standortes, ergibt sich also ein individueller "Anlagegrenzwert", mit dem die gemessene Immission zu vergleichen ist. Für alle hier betrachteten Standorte ist aufgrund ihrer Ausstattung mit Mobilfunkanlagen ein Anlagegrenzwert von *5 Volt/m* anzuwenden (siehe Tabelle 1).

Es muss an dieser Stelle noch zusätzlich angemerkt werden, dass in der Schweiz ein wesentlicher Unterschied bei der messtechnischen Immissionsbestimmung gegenüber der in Deutschland üblichen Vorgehensweise besteht: Während in Deutschland die gefundenen Immissionswerte meist noch um die Faktor der Messunsicherheit *erhöht* werden (so wie es auch im Rahmen dieser Messaktion geschehen ist; siehe Hinweis im ersten Absatz von Kapitel 3.3), wird in der Schweiz die Messunsicherheit *nicht* auf den Messwert *aufgeschlagen* [13].

Ohne Berücksichtigung der Messunsicherheit (3 dB), ergibt sich für die hier betrachteten Messpunkte folgendes Bild:

Messpunkt Nr.	Summenfeldstärke (ohne Messunsicherheitsaufschlag) in Volt/m	Anzuwendender Anlagegrenzwert in Volt/m	Grenzwertausschöpfung in Prozent
1.1	0,48 V/m	5 V/m	9,6 %
1.2	0,35 V/m	5 V/m	7,1 %
2.1*	1,34 V/m	5 V/m	26,7 %
2.2	1,48 V/m	5 V/m	29,7 %
3.1*	5,45 V/m	5 V/m	109,0 %
3.2	5,23 V/m	5 V/m	104,7 %
3.3	1,55 V/m	5 V/m	31,0 %
4.1	0,59 V/m	5 V/m	11,9 %
4.2	0,37 V/m	5 V/m	7,4 %
4.3	0,66 V/m	5 V/m	13,3 %
4.4	0,19 V/m	5 V/m	3,8 %

*: "Kein Ort mit empfindlicher Nutzung" nach Schweizer NIS-Verordnung.

Tab. 5: Vergleich mit "Anlagegrenzwerten" nach Schweizer NIS-Verordnung

Folgende Abbildung stellt die Ergebnisse aus Tabelle 5 grafisch dar:

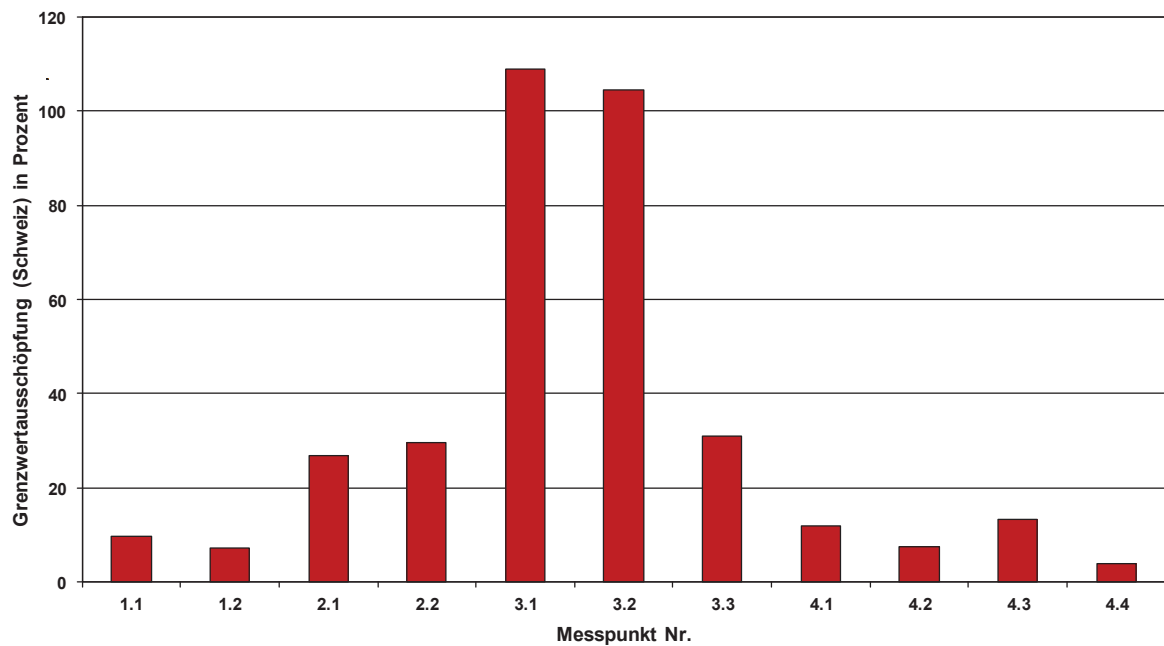


Abb. 7: Darstellung der Ergebnisse aus den Tabelle 5

An den Punkten 3.1 und 3.2 hat sich eine geringfügige Überschreitung der Schweizer Vorgaben ergeben, allerdings ist diese für Punkt 3.1 nicht relevant, da es sich bei diesem Messpunkt *nicht* um einen "Ort mit empfindlicher Nutzung" nach Schweizer Verordnung handelt und somit dort die verschärften Schweizer Anlagegrenzwerte gar nicht zur Anwendung kommen.

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 unterschritten. Im Rahmen der Messungen ergaben sich - für den Fall der Vollausslastung der verursachenden Mobilfunkanlagen - an den untersuchten Punkten aktuell (feldstärkebezogene) Grenzwertausschöpfungen zwischen etwa 0,5 und 14,6 Prozent der maximal zulässigen Summenimmission.
- Auf besonderen Wunsch des Auftraggebers wurden die gefundenen Mobilfunk-Immissionswerte auch mit den in der Schweiz verbindlichen verschärften "*Anlagegrenzwerte für Orte mit empfindlicher Nutzung*" verglichen. An einem Messpunkt (Punkt 3.2), der auch nach Schweizer Rechtslage als "Ort mit empfindlicher Nutzung" anzusehen ist, werden die Schweizer Vorgaben derzeit geringfügig überschritten.

Regensburg, 06. Dezember 2014



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 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
- [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.
- [12] **Schweizerischer Bundesrat**
"Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV)"
23.12.1999; Veröffentlicht durch das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).
- [13] **Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)**
"Mobilfunk- und WLL-Basisstationen: Vollzugsempfehlung zur NISV", Bern, Juni 2002

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:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
[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 [µW/m²]	Faktor max. Imm. (BNetzA)	Emax beentr. [dBµV/m]	Emax beentr. [V/m]	Emax beentr. [% vom GW]	Smax beentr. [mW/m²]	
Messpunkt:	1.1														
939,2	Telekom	41,7	81,3	3,0	1	84,3	0,016	0,039	0,0007		7,3	92,9	0,044	0,106	0,005
943,6	Telekom	41,7	85,7	3,0	1	88,7	0,027	0,065	0,0020		7,5	97,4	0,074	0,179	0,015
949,2	Vodafone	41,7	94,5	3,0	1	97,5	0,075	0,180	0,0149		4,3	103,8	0,155	0,372	0,064
1831,0	Telefónica	58,4	81,7	3,0	1	84,7	0,017	0,029	0,0008		4,0	90,7	0,034	0,059	0,003
1837,2	Telefónica	58,4	86,3	3,0	1	89,3	0,029	0,050	0,0023		4,0	95,3	0,058	0,100	0,009
1841,4	Telefónica	58,4	99,0	3,0	1	102,0	0,126	0,216	0,0420		4,0	108,0	0,252	0,431	0,168
1854,8	E-Plus	58,4	87,0	3,0	1	90,0	0,032	0,054	0,0027		6,3	98,0	0,079	0,135	0,017
1864,2	E-Plus	58,4	94,9	3,0	1	97,9	0,079	0,134	0,0164		13,0	109,1	0,284	0,486	0,213
2132,6/0	E-Plus	61,0	80,4	3,0	2	86,4	0,021	0,034	0,0012		80,0	102,4	0,132	0,217	0,046
2157,2/265	Telefónica	61,0	78,4	3,0	2	84,4	0,017	0,027	0,0007		30,0	96,2	0,064	0,105	0,011
2167,2/51	Telekom	61,0	80,5	3,0	2	86,5	0,021	0,035	0,0012		32,0	98,6	0,085	0,139	0,019
816/3-0	Telekom	39,2	82,7	3,0	99	105,6	0,192	0,489	0,0974		395,2	111,7	0,383	0,978	0,389
816/3-1	Telekom	39,2	81,0	3,0	99	103,9	0,158	0,402	0,0658		395,2	110,0	0,315	0,804	0,263
						minimal:	0,31	0,72	0,25			maximal:	0,68	1,52	1,22
Messpunkt:	1.2														
949,2	Vodafone	41,7	87,9	3,0	1	90,9	0,035	0,084	0,0033		4,3	97,2	0,073	0,174	0,014
1841,4	Telefónica	58,4	88,2	3,0	1	91,2	0,036	0,062	0,0035		4,0	97,2	0,073	0,124	0,014
1864,2	E-Plus	58,4	88,7	3,0	1	91,7	0,038	0,066	0,0039		13,0	102,9	0,139	0,238	0,051
2132,6/0	E-Plus	61,0	77,6	3,0	2	83,6	0,015	0,025	0,0006		80,0	99,6	0,096	0,157	0,024
2157,2/265	Telefónica	61,0	76,4	3,0	2	82,4	0,013	0,022	0,0005		30,0	94,2	0,051	0,084	0,007
2167,2/51	Telekom	61,0	76,7	3,0	2	82,7	0,014	0,022	0,0005		32,0	94,8	0,055	0,090	0,008
816/3-0	Telekom	39,2	81,2	3,0	99	104,1	0,161	0,411	0,0689		395,2	110,2	0,322	0,822	0,276
816/3-1	Telekom	39,2	81,0	3,0	99	103,9	0,158	0,402	0,0658		395,2	110,0	0,315	0,804	0,263
						minimal:	0,24	0,59	0,15			maximal:	0,50	1,21	0,66
Messpunkt:	2.1														
925,8	E-Plus	41,7	83,9	3,0	1	86,9	0,022	0,053	0,0013		2,1	90,2	0,032	0,077	0,003
928,0	E-Plus	41,7	90,2	3,0	1	93,2	0,046	0,110	0,0055		2,1	96,5	0,067	0,160	0,012
929,6	E-Plus	41,7	112,6	3,0	1	115,6	0,603	1,445	0,9631		2,1	118,9	0,879	2,108	2,049
938,0	Telekom	41,7	97,3	3,0	1	100,3	0,104	0,248	0,0284		9,2	109,9	0,314	0,753	0,261
940,6	Telekom	41,7	102,3	3,0	1	105,3	0,184	0,441	0,0899		9,2	114,9	0,558	1,339	0,827
941,6	Telekom	41,7	80,7	3,0	1	83,7	0,015	0,037	0,0006		4,0	89,7	0,031	0,073	0,002
944,8	Telekom	41,7	82,7	3,0	1	85,7	0,019	0,046	0,0010		9,2	95,3	0,058	0,140	0,009
948,6	Vodafone	41,7	96,0	3,0	1	99,0	0,089	0,214	0,0211		6,4	107,1	0,226	0,542	0,135
950,0	Vodafone	41,7	111,2	3,0	1	114,2	0,513	1,230	0,6977		6,4	122,3	1,300	3,118	4,485
1835,8	Telefónica	58,4	86,6	3,0	1	89,6	0,030	0,052	0,0024		17,8	102,1	0,127	0,218	0,043
1863,4	E-Plus	58,4	100,4	3,0	1	103,4	0,148	0,253	0,0580		6,1	111,2	0,365	0,625	0,353
394,1625	BOS (TETRA)	28,0	93,3	3,0	1	96,3	0,065	0,233	0,0113		38,1	112,1	0,403	1,440	0,431
2132,6/15	E-Plus	61,0	72,2	3,0	2	78,2	0,008	0,013	0,0002		60,0	93,0	0,045	0,073	0,005
2132,6/17	E-Plus	61,0	86,7	3,0	2	92,7	0,043	0,071	0,0050		60,0	107,5	0,237	0,388	0,149
2167,2/74	Telekom	61,0	72,6	3,0	2	78,6	0,009	0,014	0,0002		32,0	90,7	0,034	0,056	0,003
2167,2/447	Telekom	61,0	86,3	3,0	2	92,3	0,041	0,068	0,0045		32,0	104,4	0,165	0,271	0,072
1815/210-0	Telekom	58,4	63,1	3,0	385	92,0	0,040	0,068	0,0042		1540,9	98,0	0,079	0,136	0,017
1815/210-1	Telekom	58,4	60,3	3,0	385	89,2	0,029	0,049	0,0022		1540,9	95,2	0,057	0,098	0,009
1815/212-0	Telekom	58,4	69,9	3,0	770	101,8	0,123	0,210	0,0398		3081,9	107,8	0,245	0,420	0,159
1870,5/12-0	E-Plus	57,8	78,6	3,0	150	103,4	0,147	0,255	0,0575		600,0	109,4	0,294	0,510	0,230
1870,5/12-1	E-Plus	57,8	78,3	3,0	150	103,1	0,142	0,246	0,0537		600,0	109,1	0,284	0,492	0,215
						minimal:	0,88	2,06	2,05			maximal:	1,89	4,51	9,47

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), MCCH (TETRA), des CPICH (UMTS) bzw. der RS-Symbole (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.
Spalte 6	Faktor für die minimale Immission; bei GSM und TETRA = 1 (da die minimale Immission durch den BCCH (MCCH) bestimmt wird) und bei UMTS = 2 (da die minimale Immission durch die doppelte CPICH-Leistung bestimmt 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.
Spalte 7	Minimale Immission (inkl. Messunsicherheitsaufschlag) in dB μ V/m: <Spalte 7> = <Spalte 4> + <Spalte 5> + 10·log <Spalte 6>
Spalte 8	Wert aus Spalte 7 als elektrische Feldstärke in V/m
Spalte 9	Prozentuale Grenzwertausschöpfung: <Spalte 9> = 100 %·<Spalte 8> / <Spalte 3>
Spalte 10	Wert aus Spalte 7 als Leistungsflussdichte in mW/m ²
Spalte 11	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.
Spalte 12	Maximale Immission (inkl. Messunsicherheitsaufschlag) in dB μ V/m: <Spalte 12> = <Spalte 4> + <Spalte 5> + 10·log <Spalte 11>
Spalte 13	Wert aus Spalte 12 als elektrische Feldstärke in V/m
Spalte 14	Prozentuale Grenzwertausschöpfung: <Spalte 14> = 100 %·<Spalte 13> / <Spalte 3>
Spalte 15	Wert aus Spalte 12 als Leistungsflussdichte in mW/m ²

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

Anlage 2: Grenzwerte und ihre Entstehung

Die Bewertung elektromagnetischer Felder ist in Deutschland seit Januar 1997 in der "26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes" (26. BImSchV) [1] verbindlich geregelt. Die in dieser Verordnung festgelegten Immissionsgrenzwerte entsprechen den aktuellen Empfehlungen der *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

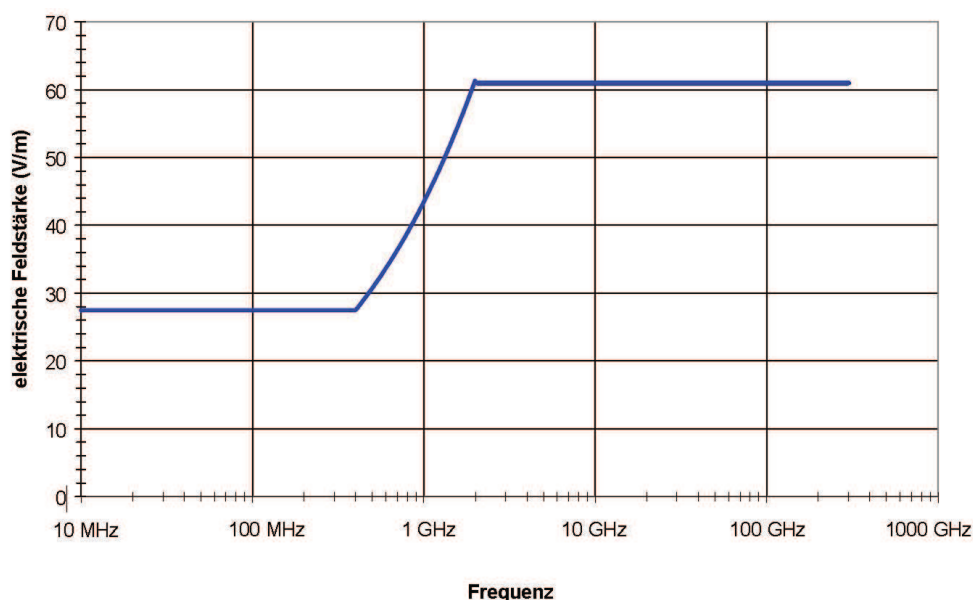


Bild 1: Grafische Darstellung der Grenzwerte (elektrische Feldstärke) aus Tabelle 1 (nach 26. BImSchV) für Hochfrequenzanlagen ab 10 MHz

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.

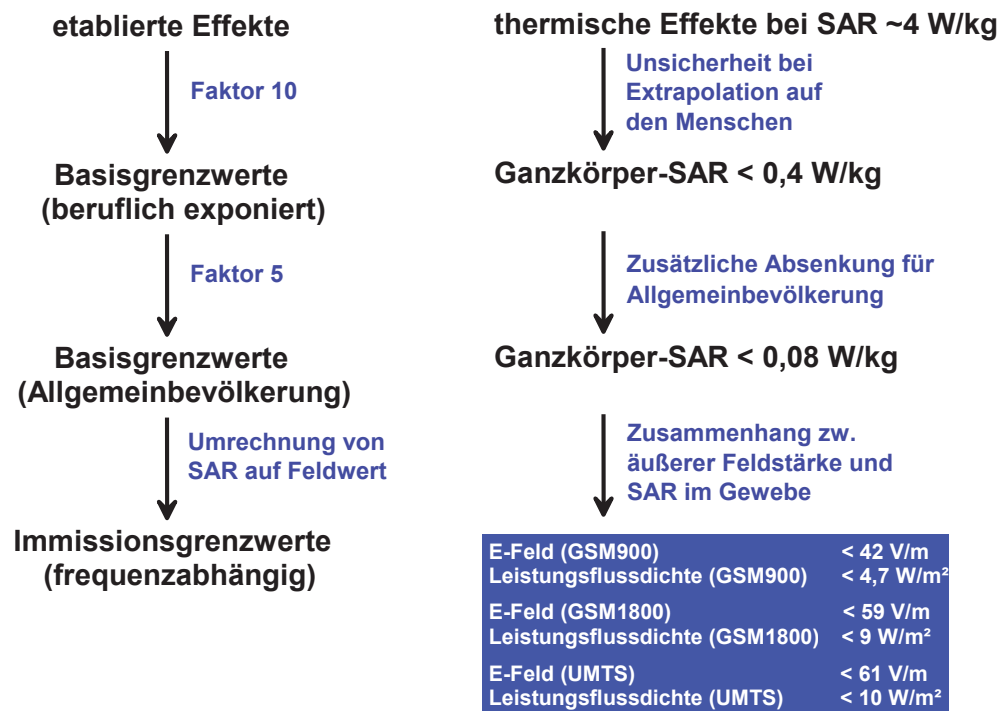
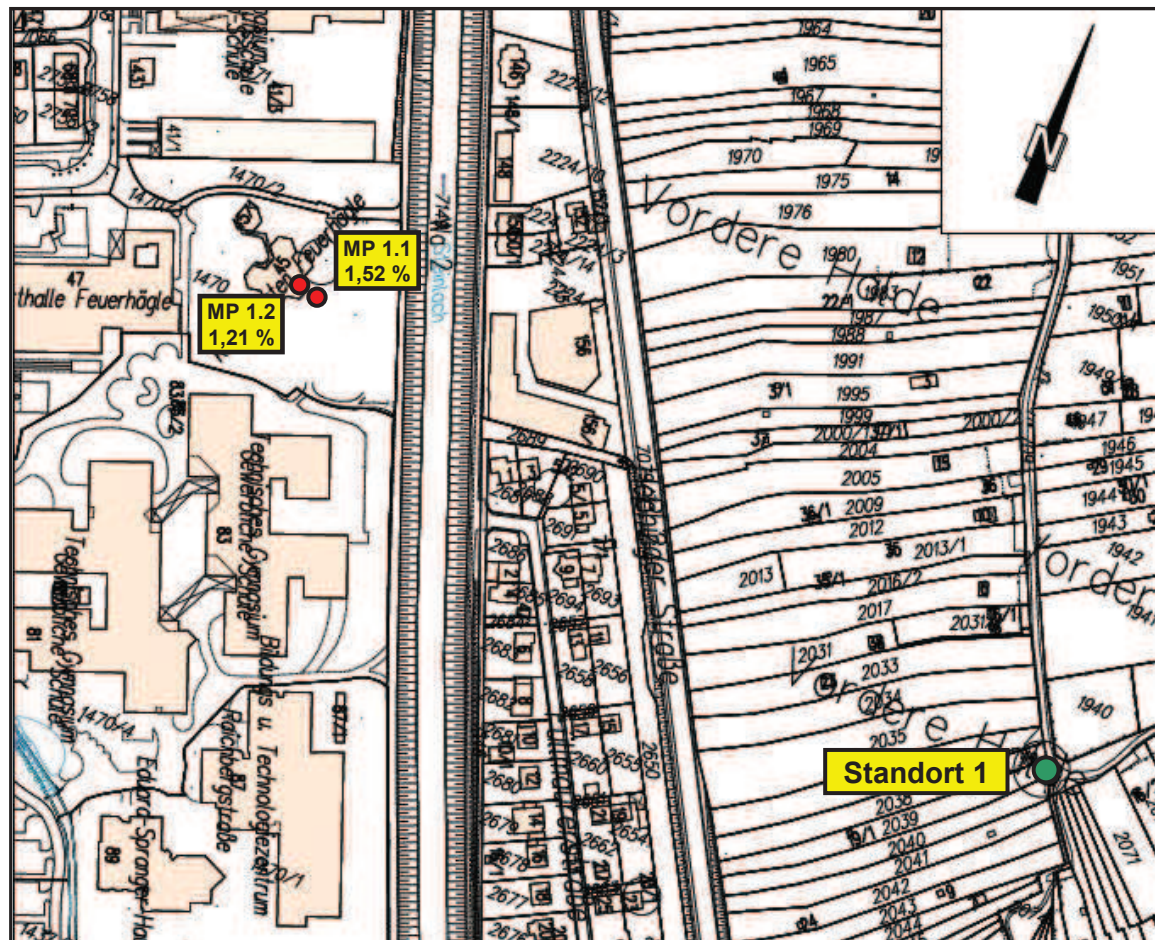


Bild 2: Darstellung der Entstehung internationaler Grenzwertempfehlungen

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.

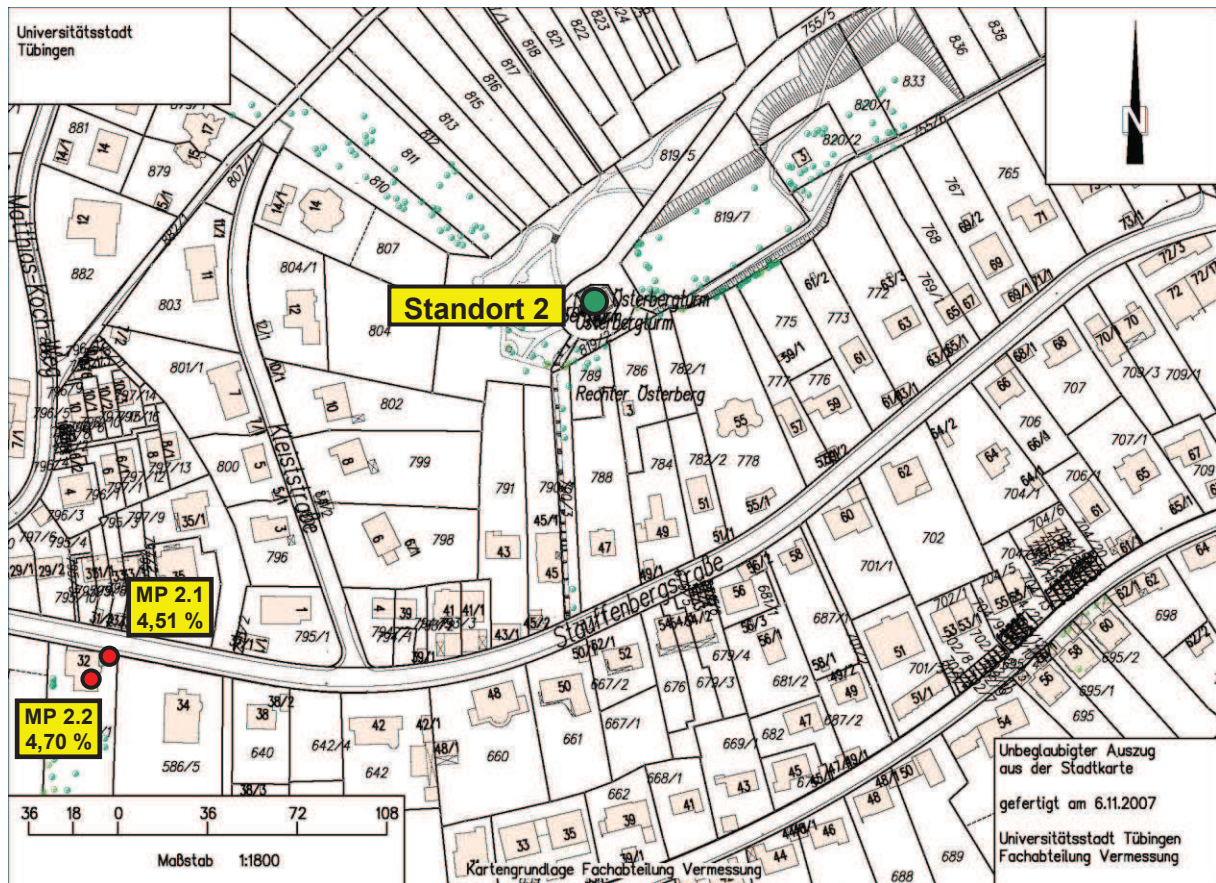
Anlage 3: Lagepläne mit Anlagenstandorten und den Messpunkten

Standort 1: "Vordere Halde 19"

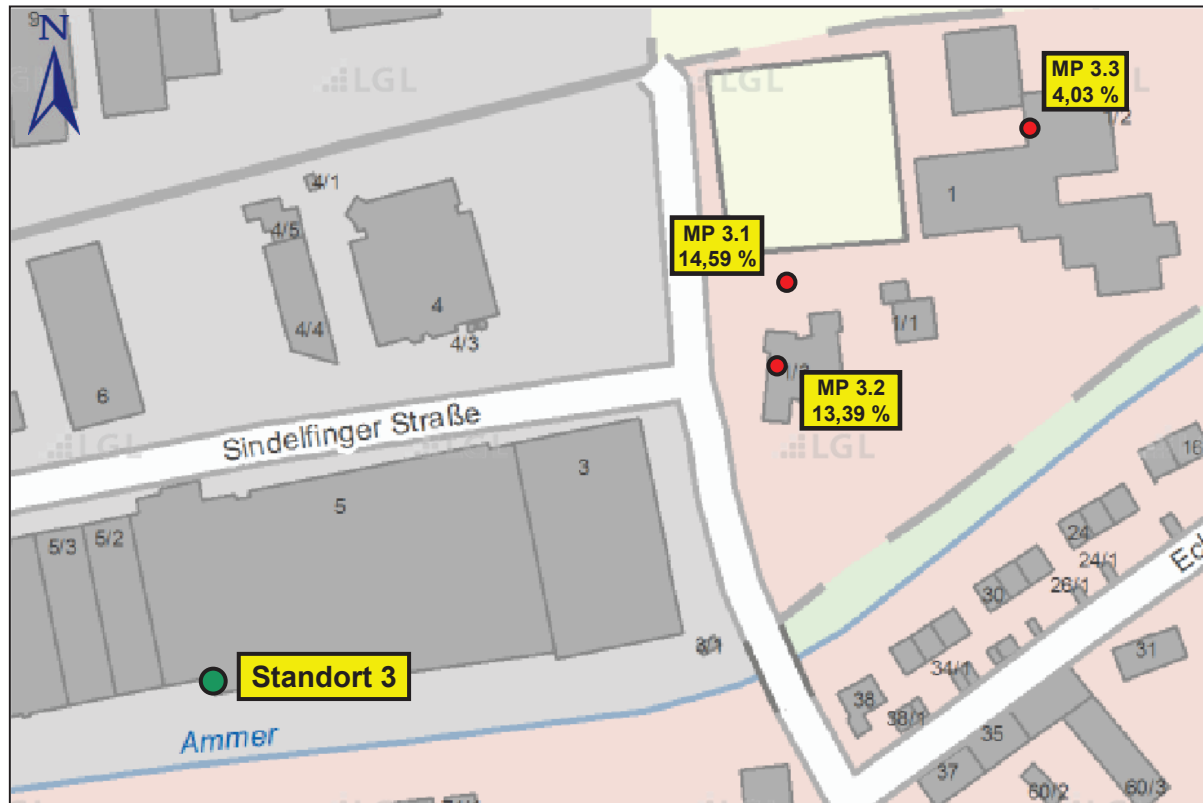


An den Messpunkten ist der festgestellte Mobilfunk-Immissionswert (für Maximalauslastung und Vollausbau der Anlagen) in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV ("Grenzwertausschöpfung" bezüglich der elektrischen Feldstärke) angegeben.

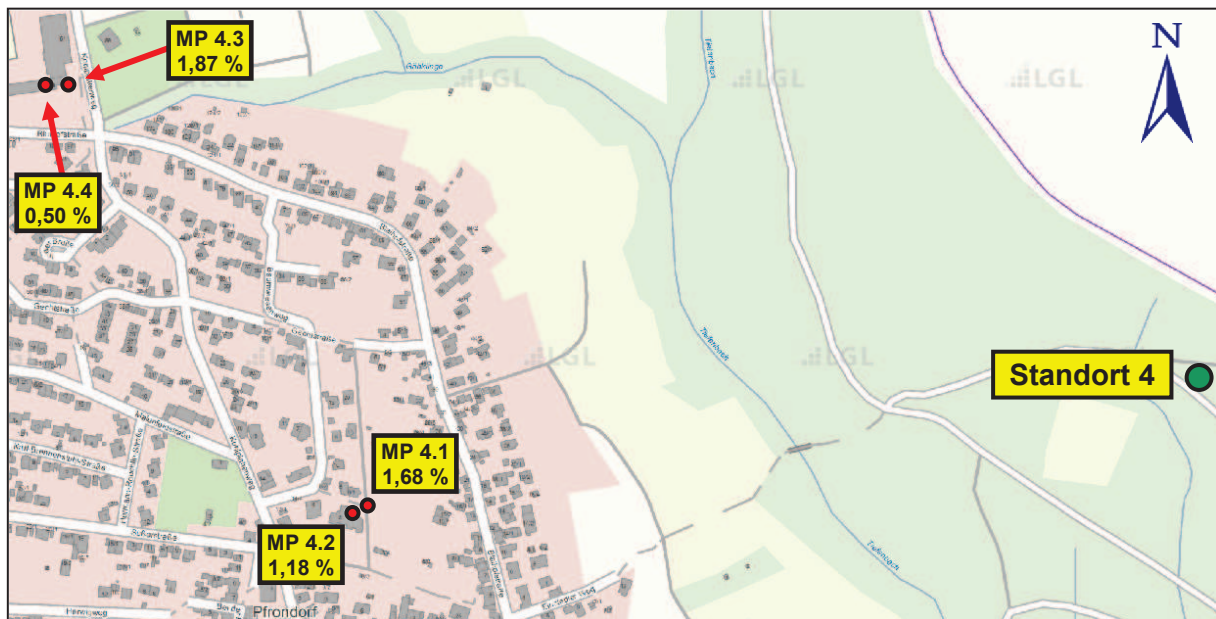
Standort 2: "Österbergturm"



An den Messpunkten ist der festgestellte Mobilfunk-Immissionswert (für Maximalauslastung und Vollausbau der Anlagen) in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV ("Grenzwertauschöpfung" bezüglich der elektrischen Feldstärke) angegeben.

Standort 3: "Sindelfinger Str. 3-5"

An den Messpunkten ist der festgestellte Mobilfunk-Immissionswert (für Maximalauslastung und Vollausbau der Anlagen) in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV ("Grenzwertauschöpfung" bezüglich der elektrischen Feldstärke) angegeben.

Standort 4: "Pfrondorf - Gewann Brand"

An den Messpunkten ist der festgestellte Mobilfunk-Immissionswert (für Maximalauslastung und Vollausbau der Anlagen) in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV ("Grenzwertauschöpfung" bezüglich der elektrischen Feldstärke) angegeben.

Anlage 4: Fotos



Bild 1: Messpunkt 2.1



Bild 2: Messpunkt 2.2 (hinter der Notausgangstür)



Bild 3: Anlagenstandort 2 von Messpunkt 2.2 aus gesehen



Bild 4: Messpunkt 3.1 mit Anlagenstandort 3 im Hintergrund



Bild 5: Anlagenstandort 3 von Messpunkt 3.2 aus gesehen



Bild 6: Anlagenstandort 3 von Messpunkt 3.3 aus gesehen