

# Elektromagnetische Immissionen in der Umgebung von Mobilfunksendeanlagen

## Rechnerische Prognose der zu erwartenden Immissionswerte



**Auftraggeber:** Stadt Neuenbürg  
Mühlstraße 24  
75305 Neuenbürg

**Ort:** Umgebung des Mobilfunkstandortes "Buchberg" (Fl. Nr. 414/30)  
75305 Neuenbürg  
Standortbescheinigung Nr. 27010739

**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:** 16/065

**Ort und Datum:** Regensburg, 17. Februar 2017

---

## Inhaltsverzeichnis

	<b>Seite</b>
<b>1 Aufgabenstellung</b>	3
<b>2 Immissionen in der Umgebung eines Mobilfunksenders</b>	5
<b>3 Darstellung der Berechnungsergebnisse</b>	7
3.1 Beschreibungsgrößen für hochfrequente Immissionen	7
3.2 Wichtige Randbedingungen	7
3.3 Berechnete Feldstärkewerte, Grenzwertvergleich	9
<b>4 Schlussfolgerungen</b>	12
<b>5 Technische Daten der betrachteten Mobilfunksendeanlagen</b>	13
<b>6 Grenzwerte und ihre Festlegung</b>	17
<b>7 Literaturverzeichnis</b>	20

## 1 Aufgabenstellung

In der unmittelbaren Nachbarschaft zum Mobilfunkanlagenstandort "Buchberg" (Fl. Nr. 414/30; Standortbescheinigung Nr. 27010739) plant die Stadt Neuenbürg die Ausweisung eines neuen Baugebietes. Aus diesem Grund wurde die EM-Institut GmbH von der Stadtverwaltung beauftragt, die hochfrequenten Immissionen durch Berechnungen näher zu quantifizieren, die durch die Anlagen des Standortes im Bereich des Baugebietes verursacht werden.

Die Immissionsberechnungen wurden für die in Tabelle 1 dokumentierte Anlagenkonfiguration durchgeführt. Dabei entsprechen die dort genannten Anlagen von Vodafone und Telekom auch der aktuellen Situation am Standort. Im Unterschied dazu entspricht die in Tabelle 1 für Telefónica gelistete Anlagenkonfiguration noch nicht der aktuellen Situation am Standort, da dort derzeit sowohl Anlagen von Telefónica als auch von E-Plus betrieben werden.

Da jedoch die Firma E-Plus von Telefónica übernommen wurde, ist nach Auskunft des Betreibers für die nähere Zukunft eine Anlagenkonsolidierung am Standort vorgesehen, da derzeit hier einige Funkssysteme von E-Plus und Telefónica doppelt betrieben werden, was zu einer unnötigen Überkapazität am Standort führt. Die in Tabelle 1 für Telefónica angegebene Konfiguration entspricht daher bereits der für die Zukunft vorgesehenen Situation.

Zusätzlich wird am Standort auch eine Sendeanlage für den BOS-Digitalfunk (TETRA-Standard) betrieben, deren Immissionen ebenfalls in die Berechnungen einbezogen werden.

Betreiberfirma	Mobilfunksystem
Deutsche Telekom	GSM-900, UMTS, LTE-800
Vodafone	GSM-900
Telefónica	GSM-900, UMTS, LTE-800, LTE-1800
BDBOS	BOS-TETRA

**Tab. 1:** In die Immissionsberechnungen einbezogene Anlagen des betrachteten Standortes "Buchberg".

Der Schutz der Bevölkerung vor diesen Wirkungen elektromagnetischer Felder ist in Deutschland in der *Sechszwanzigsten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV)* [1] verbindlich geregelt. Die in dieser Verordnung festgelegten Immissionsgrenzwerte entsprechen 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 an bereits in Betrieb genommenen Sendern messtechnisch ermitteln.

---

Bei Anlagen, die sich erst in der Planungs- oder Bauphase befinden, können die zukünftig entstehenden Felder in den meisten Fällen mit ausreichender Genauigkeit berechnet werden.

Immissionsberechnungen sind auch für das geplante Baugebiet in Neuenbürg Immissionsmessungen vorzuziehen, da zum einen die aktuelle Anlagenkonfiguration in absehbarer Zukunft durch die Konsolidierungsmaßnahmen von Telefónica verändert wird, was aktuell nur durch eine Berechnung korrekt berücksichtigt werden kann.

Andererseits ist derzeit das gesamte geplante Baugebiet noch dicht bewaldet ist, so dass die vom Anlagenstandort emittierten Funkwellen durch die vorhandenen Bäume deutlich gedämpft werden. Dies führt zu kleineren Messwerten, als bei nicht vorhandener Bewaldung. Die genaue Größe der durch die Bäume verursachten Dämpfung kann allerdings nicht pauschal angegeben werden, so dass aus den Messergebnissen nicht zuverlässig auf die herrschenden Immissionswerte nach Abholzung der Bewaldung geschlossen werden kann.

Eine rechnerische Immissionsprognose hat hingegen der Vorteil, dass hierbei eine ungedämpfte Wellenausbreitung angenommen werden kann, wodurch eine Unterbewertung der entstehenden Immission mit großer Sicherheit ausgeschlossen werden kann.

Ein Vergleich der Rechenergebnisse mit den gesetzlichen Grenzwerten erlaubt somit eine objektive Einschätzung der Immissionssituation vor Ort.

Mittels der Berechnungsergebnisse soll insbesondere die folgende Frage beantwortet werden:

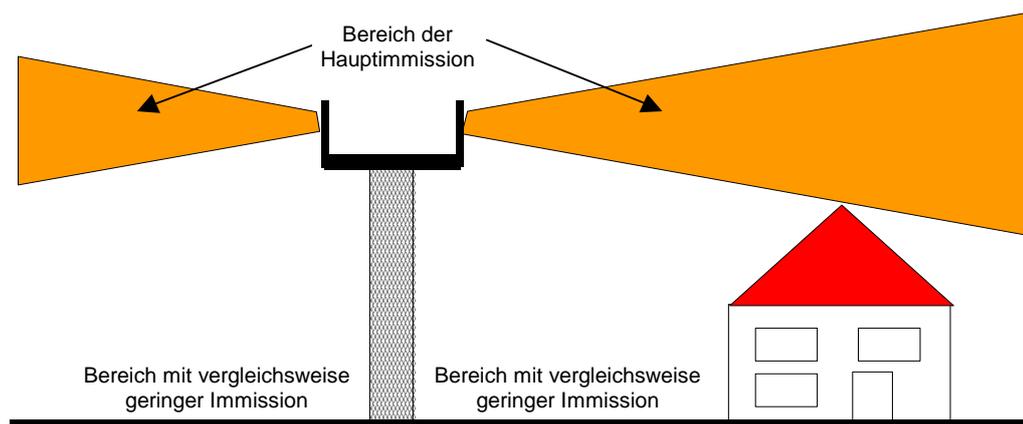
*Welche Immissionswerte sind im Bereich des betrachteten Baugebietes durch den vorhandenen Mobilfunkstandort "Buchberg" zu erwarten?*

Die Ergebnisse der durchgeführten Immissionsberechnungen und die sich daraus ergebenden Schlussfolgerungen sind im Folgenden dokumentiert.

## 2 Immissionen in der Umgebung eines Mobilfunksenders

Neben der Sendeleistung sind insbesondere das Bündelungsverhalten und die Ausrichtung der montierten Antennen wesentliche Faktoren für die Größe der Immissionen in der unmittelbaren Umgebung einer Mobilfunksendeanlage. In der horizontalen Ebene sorgen die Antennen meist für eine annähernd omnidirektionale Versorgung mit Mobilfunksignalen des Netzbetreibers, d.h. in alle Richtungen parallel zum Erdboden wird etwa gleich viel elektromagnetische Energie abgegeben.

In der Vertikalen hingegen senden Mobilfunkantennen, ähnlich wie die Scheinwerfer eines Leuchtturmes, meist relativ stark gebündelt. Der Hauptbereich der Energieabgabe ("Öffnungswinkel" der Antenne) beträgt typisch etwa  $5^\circ$  bis  $15^\circ$  mit einer zusätzlichen Neigung ("Downtilt") bezüglich der Horizontalen (d.h. etwas schräg nach unten) von maximal etwa  $15^\circ$ . Damit erreicht man eine gezielte Versorgung der lokalen Funkzelle, eine Leistungsabgabe in unerwünschte Bereiche, wird verhindert.



**Abb. 1:** Vertikales Bündelungsverhalten von Mobilfunkantennen (prinzipielle Darstellung).

Außerhalb dieses schmalen Feldkegels der Antenne (vergleichbar mit der Lichtausbreitung 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 Immissionen 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

fung, 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. Das gilt unabhängig vom Typ der verwendeten Antenne.

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

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

*[http://www.lfu.bayern.de/strahlung/fachinformationen/emf\\_minimierung\\_schirmung/index.htm](http://www.lfu.bayern.de/strahlung/fachinformationen/emf_minimierung_schirmung/index.htm)*

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

## 3 Darstellung der Berechnungsergebnisse

### 3.1 Beschreibungsgrößen für hochfrequente Immissionen

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

- Der Effektivwert der *elektrischen Feldstärke* E in Volt pro Meter (V/m).
- 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 Untersuchungen kann von Fernfeldbedingungen ausgegangen werden, da die Berechnungspunkte 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 Wichtige Randbedingungen

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

- Es werden die Felder berechnet, die bei *maximaler Sendeleistung* der Anlagen als Summenwert in der Umgebung entstehen. Die Größe der maximal an den Antenneneingängen anstehenden Sendeleistungen wurden uns vom jeweiligen Betreiber mitgeteilt. Auch die anderen notwendigen technischen Daten (Typ, Montagehöhe, Downtilt und Ausrichtung der Antennen) wurden uns ebenfalls schriftlich übermittelt (Details sind in Kapitel 5 dokumentiert). Die angegebenen Werte sind nach unserer Erfahrung typisch für derartige Mobilfunksendeanlagen.
- Entfernungen, Azimutwinkel und topografische Höhenunterschiede zwischen dem Antennenstandort und den betrachteten Immissionspunkten wurden einer geeigneten topografi-

schen Karte ("TOP 10 Baden-Württemberg") entnommen und bei den Immissionsberechnungen berücksichtigt.

- Die berechneten Immissionswerte beziehen sich auf Punkte im Freien, von denen aus direkte Sichtverbindung zu den Antennen besteht. Wird in der Realität die Sichtverbindung zum Installationsort der Antennen durch Gebäude oder Bewuchs (Bäume) beeinträchtigt, sind dort deutlich niedrigere Immissionswerte zu erwarten, als in der Prognose errechnet. Auch im Gebäudeinneren kann aufgrund der Gebäudedämpfung von geringeren Immissionswerten ausgegangen werden.
- Bei den betrachteten Punkten wurde nicht nur der Immissionswert für einen einzigen Ort berechnet, sondern es wurde durch die verwendete Software automatisch jeweils der höchste Immissionswert innerhalb eines Volumens von etwa  $1 \text{ m}^3$  gesucht und als Immissionswert im Gutachten verwendet.
- Das für die Feldstärkebestimmung angewendete Berechnungsmodell (ungestörte Freiraumausbreitung) führt ebenfalls eher zu einer Über- als zu einer Unterschätzung der Immissionswerte [5].
- Trotz der insgesamt sehr konservativen Feldstärkeberechnung, wird der Einfluss von lokalen Feldstärkeüberhöhungen, die durch Reflexionen entstehen können, nicht vernachlässigt, sondern mit einem Aufschlag von 40 % (d.h. 3 dB) berücksichtigt.
- Für die Antennen wird vom Betreiber bezüglich der elektrischen Strahlabsenkung ("Downtilt") oft nicht nur ein bestimmter Vertikalwinkel (z.B.  $4^\circ$ ) sondern häufig gleich ein größerer Winkelbereich (z.B. 0 bis  $8^\circ$ ) bei der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) beantragt. Ist dies bei den hier betrachteten Antennen der Fall, wird in der Simulation auch mit entsprechenden Antennendaten gerechnet, die diesen gesamten Winkelbereich mit einschließen, um alle im realen Betrieb möglichen "Downtilt-Einstellungen" auf einmal zu erfassen. Dadurch wird allerdings - im Gegensatz zur Wirklichkeit - der Hauptbereich der Energieabgabe ("Hauptstrahl") deutlich vergrößert, was ebenfalls zu einer Überbewertung der Immission führen kann.
- Zusätzlich wurden, gegenüber dem theoretischen Abstrahlverhalten der Mobilfunkantennen, die Einzüge im vertikalen Antennendiagramm auf maximal 20 dB begrenzt, wodurch verhindert wird, dass im Nahbereich lokale Immissionsminima prognostiziert werden, die im realen Umfeld erfahrungsgemäß so nicht auftreten.
- Wegen der komplexen Ausbreitung elektromagnetischer Wellen kann eine Immissionsprognose niemals eine hundertprozentige Zuverlässigkeit erreichen. Des Weiteren ist klarzustellen, dass der Prognose die technischen Daten zugrunde liegen, die auf Grund der aktuellen Planungen des Betreibers vorgesehen sind. Änderungen dieser technischen Parameter sind jederzeit möglich und können zu einer Veränderung der in der Prognose enthaltenen Immissionswerte führen.

### 3.3 Berechnete Feldstärkewerte, Grenzwertvergleich

Die Immissionsberechnungen wurden für 13 Punkte auf dem geplanten Baugebiet durchgeführt (siehe Tabelle 2 bzw. Abbildung 2). Um auch einen Eindruck über die Größe der Immission im ersten Obergeschoss einer möglichen Wohnbebauung zu erhalten, wurde an jedem Punkt die Immission nicht nur für 1,5 Meter über Grund sondern zusätzlich auch für eine Höhe von 4,0 Meter über Grund berechnet.

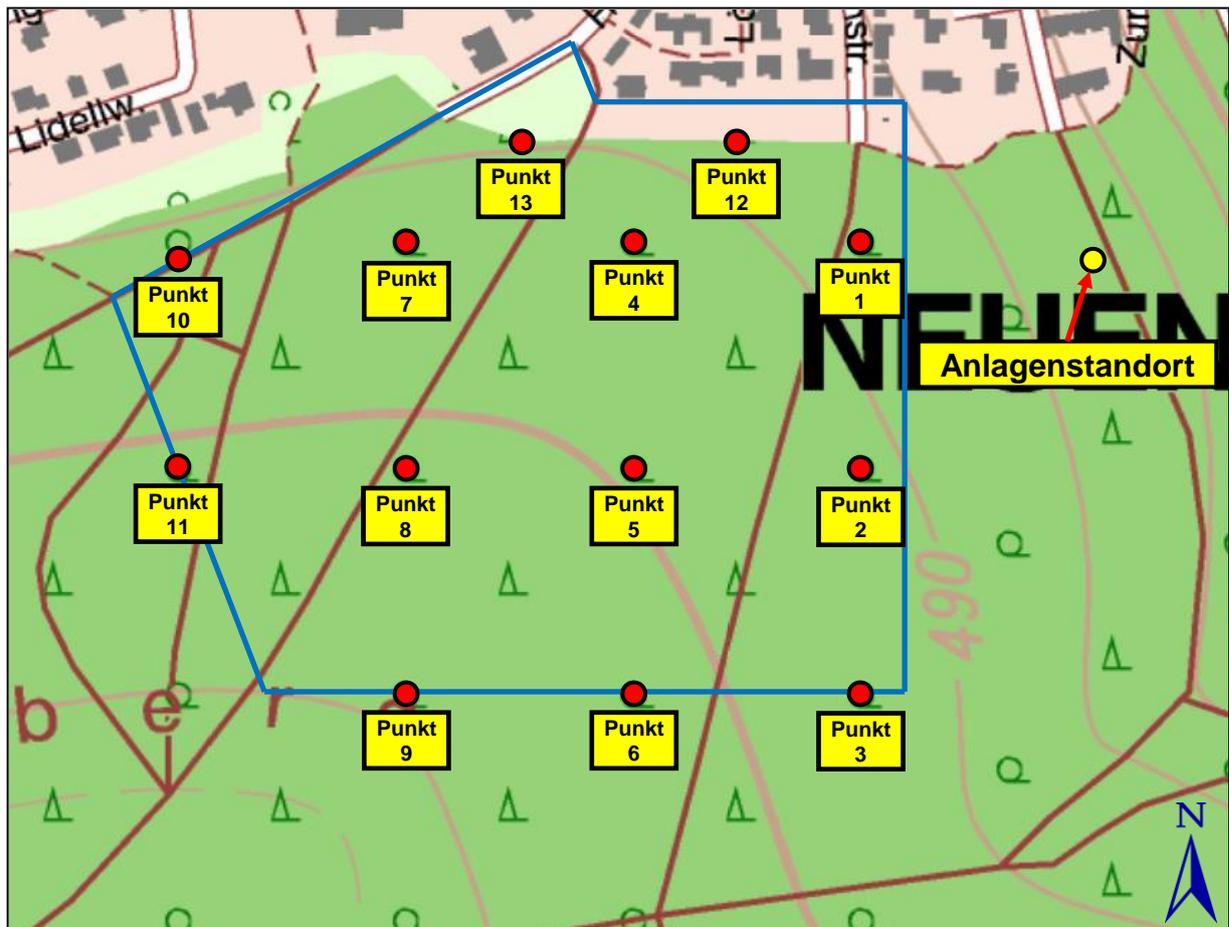
Punkt Nr.	Höhe über Grund	Azimut bezüglich des Anlagenstandortes (N über O)	Horizontaldistanz zum Anlagenstandort
1a/b	1,5 m / 4,0 m	273°	116 m
2a/b	1,5 m / 4,0 m	227°	156 m
3a/b	1,5 m / 4,0 m	207°	247 m
4a/b	1,5 m / 4,0 m	271°	228 m
5a/b	1,5 m / 4,0 m	245°	251 m
6a/b	1,5 m / 4,0 m	226°	315 m
7a/b	1,5 m / 4,0 m	271°	340 m
8a/b	1,5 m / 4,0 m	252°	354 m
9a/b	1,5 m / 4,0 m	237°	404 m
10a/b	1,5 m / 4,0 m	270°	447 m
11a/b	1,5 m / 4,0 m	256°	464 m
12a/b	1,5 m / 4,0 m	287°	185 m
13a/b	1,5 m / 4,0 m	281°	293 m

**Tab. 2:** Betrachtete Punkte in der Umgebung des Antennenstandortes.

Abbildung 2 zeigt die Umgebung des Anlagenstandortes und die Lage der betrachteten Punkte.

Der im Folgenden durchgeführte Grenzwertvergleich erfolgt mit den in Deutschland rechtsverbindlichen Vorgaben der 26. BImSchV [1]. Diese gibt für Sendeanlagen des GSM-900- und LTE-900-Mobilfunks einen Grenzwert für die elektrische Feldstärke von etwa 42 Volt/m vor, was einer Leistungsflussdichte von zirka 4,6 Watt/m<sup>2</sup> entspricht. Für GSM-1800- und auch LTE-1800-Sendeanlagen gilt ein Grenzwert von etwa 59 Volt/m bzw. zirka 9,2 Watt/m<sup>2</sup>. Bei LTE-800 beträgt der Grenzwert etwa 39 Volt/m (4,0 Watt/m<sup>2</sup>), bei UMTS- und LTE-2600-Sendeanlagen 61 Volt/m (10 Watt/m<sup>2</sup>). Für die hier ebenfalls vorhandene BOS-Digitalfunkanlage ist ein Grenzwert von 28 Volt/m (2,0 Watt/m<sup>2</sup>) anzuwenden.

Von der für die Immissionsprognose eingesetzten Berechnungssoftware wird am betrachteten Punkt jede Einzelimmission (erzeugt von den verschiedenen vorhandenen Systemen bzw. Antennen) getrennt ermittelt und zum jeweils anzuwendenden Grenzwert ins Verhältnis gesetzt. Anschließend werden die so ermittelten einzelnen prozentualen Grenzwertausschöpfungen leistungsbezogen (d.h. quadratisch) summiert, um die resultierende Gesamtgrenzwertausschöpfung für den Punkt zu erhalten.



**Abb. 2:** Umgebung des Anlagenstandortes mit der Lage des geplanten Baugebietes (blaue Umrandung) sowie der betrachteten Immissionspunkte.

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der Immissionsberechnungen dargestellt. Neben der elektrischen Feldstärke in Volt/Meter und der Leistungsflussdichte in Milliwatt pro Quadratmeter ist in der Tabelle insbesondere auch angegeben, wie groß die am einzelnen Berechnungspunkt vorhandene prozentuale Grenzwertausschöpfung ist.

Die Vorgaben der 26. BImSchV sind eingehalten, wenn die Grenzwertausschöpfung am betrachteten Punkt den Wert von 100 Prozent unterschreitet, was hier offensichtlich an allen Untersuchungspunkten der Fall ist.

Punkt Nr.	Immission in Volt/Meter	Prozentuale Grenzwertausschöpfung bezüglich der Feldstärke	Leistungsflussdichte in Milliwatt pro Quadratmeter
1a	4,0 V/m	9,4 %	43,3 mW/m <sup>2</sup>
1b	4,6 V/m	10,7 %	55,6 mW/m <sup>2</sup>
2a	2,0 V/m	4,8 %	10,9 mW/m <sup>2</sup>
2b	2,1 V/m	5,0 %	11,6 mW/m <sup>2</sup>
3a	1,4 V/m	3,4 %	5,0 mW/m <sup>2</sup>
3b	1,4 V/m	3,5 %	5,1 mW/m <sup>2</sup>
4a	4,0 V/m	9,0 %	42,7 mW/m <sup>2</sup>
4b	4,2 V/m	9,3 %	47,7 mW/m <sup>2</sup>
5a	2,3 V/m	5,3 %	14,4 mW/m <sup>2</sup>
5b	2,3 V/m	5,3 %	14,4 mW/m <sup>2</sup>
6a	1,2 V/m	3,2 %	4,1 mW/m <sup>2</sup>
6b	1,2 V/m	3,1 %	4,0 mW/m <sup>2</sup>
7a	3,1 V/m	6,6 %	26,0 mW/m <sup>2</sup>
7b	3,1 V/m	6,6 %	26,1 mW/m <sup>2</sup>
8a	1,9 V/m	4,2 %	9,4 mW/m <sup>2</sup>
8b	1,8 V/m	4,1 %	8,9 mW/m <sup>2</sup>
9a	1,1 V/m	2,7 %	3,2 mW/m <sup>2</sup>
9b	1,1 V/m	2,7 %	3,1 mW/m <sup>2</sup>
10a	2,3 V/m	4,9 %	14,1 mW/m <sup>2</sup>
10b	2,3 V/m	4,8 %	13,8 mW/m <sup>2</sup>
11a	1,5 V/m	3,4 %	6,0 mW/m <sup>2</sup>
11b	1,5 V/m	3,3 %	5,8 mW/m <sup>2</sup>
12a	4,5 V/m	10,6 %	53,9 mW/m <sup>2</sup>
12b	4,7 V/m	11,1 %	58,1 mW/m <sup>2</sup>
13a	3,8 V/m	8,3 %	38,1 mW/m <sup>2</sup>
13b	4,0 V/m	8,6 %	41,4 mW/m <sup>2</sup>

**Tab. 3:** Ergebnis der Immissionsberechnungen für die betrachteten Punkte.

## 4 Schlussfolgerungen

- In der unmittelbaren Nachbarschaft zum Mobilfunkanlagenstandort "Buchberg" (Fl. Nr. 414/30; Standortbescheinigung Nr. 27010739) plant die Stadt Neuenbürg die Ausweisung eines neuen Baugebietes. Aus diesem Grund wurde die EM-Institut GmbH von der Stadtverwaltung beauftragt, die hochfrequenten Immissionen durch Berechnungen näher zu quantifizieren, die durch die Anlagen des Standortes im Bereich des Baugebietes verursacht werden.
- Wie aus Tabelle 3 ersichtlich, unterschreiten die für 13 betrachtete Punkte im geplanten Neubaugebiet für maximale Anlagenauslastung berechneten Immissionen mit Grenzwertausschöpfungen von etwa zwischen 3 und 11 Prozent des gesetzlich zulässigen Wertes die Vorgaben der 26. BImSchV.
- Wie in Kapitel 3.2 bereits näher erläutert, können Immissionsberechnungen niemals mit hundertprozentiger Genauigkeit durchgeführt werden. Beispielsweise ist es unmöglich, den dämpfenden Einfluss von Abschattungen durch Gebäude und Bäume vollumfänglich zu berücksichtigen. Daher wird im Regelfall bei den Berechnungen eher eine Überbewertung der zu erwartenden Immission angestrebt. Grund dafür ist, neben der Annahme einer vorhandenen Sichtverbindung zwischen Antennenstandort und Berechnungspunkt, die Verwendung von Antennendaten, die alle möglichen elektrischen Downtilt-Einstellungen auf einmal umfassen (was hier bei den Antennen der Firmen Vodafone und Telekom der Fall ist). In der Realität wird jedoch nur ein Strahlabsenkungs-Winkel für die jeweilige Mobilfunk-Sektorantenne eingestellt, so dass an den betrachteten Punkten theoretisch Immissionen in der hier prognostizierten Höhe auftreten können, möglicherweise aber auch deutlich weniger.

Regensburg, 17. Februar 2017



Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek



## 5 Technische Daten der betrachteten Mobilfunksendeanlagen

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

Betreiber: <b>Telekom</b>	75305 Neuenbürg, Flurstück 414/30					
System	A	B	C	D	E	F
Funksystem	GSM-900	GSM-900	GSM-900	UMTS	UMTS	UMTS
Relevante Betriebsfrequenz in MHz	945,0	945,0	945,0	2110,0	2110,0	2110,0
Grenzwert in V/m	42,3	42,3	42,3	61,0	61,0	61,0
Montagehöhe der Senderantennenunterkante über Grund in Meter	47,59	47,59	47,59	47,59	47,59	47,59
Hauptstrahlrichtung in Grad	50	130	330	80	200	320
Mechanische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	0...2	0	0	0...2	0	0
Elektrische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	0...16	0...16	0...16	2...10	2...10	2...10
Antenne (Hersteller und Typ)	Kathrein 80010664	Kathrein 80010664	Kathrein 80010664	Kathrein 80010664	Kathrein 80010664	Kathrein 80010664
Spitzenleistung pro Kanal am Senderausgang in Watt	102,0	102,0	102,0	32,0	32,0	32,0
Anzahl der Kanäle	1	1	1	2	2	2
Verluste zwischen Senderausgang und Antenneneingang in dB	2,20	2,37	2,28	0,96	1,05	0,93

Betreiber: <b>Telekom</b>	75305 Neuenbürg, Flurstück 414/30					
System	G	H	I	J	K	L
Funksystem	LTE-800	LTE-800	LTE-1800	LTE-1800		
Relevante Betriebsfrequenz in MHz	811,0	811,0	1805,0	1805,0		
Grenzwert in V/m	39,1	39,1	58,4	58,4		
Montagehöhe der Senderantennenunterkante über Grund in Meter	47,59	47,59	47,59	47,59		
Hauptstrahlrichtung in Grad	10	130	10	130		
Mechanische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	0	0	0	0		
Elektrische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	0...16	0...16	2...10	2...10		
Antenne (Hersteller und Typ)	Kathrein 80010664	Kathrein 80010664	Kathrein 80010664	Kathrein 80010664		
Spitzenleistung pro Kanal am Senderausgang in Watt	30,0	30,0	30,0	30,0		
Anzahl der Kanäle	2	2	2	2		
Verluste zwischen Senderausgang und Antenneneingang in dB	0,39	0,39	0,45	0,45		

Betreiber: <b>Vodafone</b>	75305 Neuenbürg, Flurstück 414/30					
System	A	B	C	D	E	F
Funksystem	GSM-900	GSM-900	GSM-900			
Relevante Betriebsfrequenz in MHz	935,0	935,0	935,0			
Grenzwert in V/m	42,0	42,0	42,0			
Montagehöhe der Senderantennenunterkante über Grund in Meter	47,2	47,2	47,2			
Hauptstrahlrichtung in Grad	30	100	320			
Mechanische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	-5...5	-5...5	-5...5			
Elektrische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	0...10	0...10	0...10			
Antenne (Hersteller und Typ)	Kathrein 80010668	Kathrein 80010668	Kathrein 80010668			
Spitzenleistung pro Kanal am Senderausgang in Watt	132,1	132,1	132,1			
Anzahl der Kanäle	1	1	1			
Verluste zwischen Senderausgang und Antenneneingang in dB	0	0	0			

Betreiber: <b>Telefónica</b>	75305 Neuenbürg, Flurstück 414/30					
System	A	B	C	D	E	F
Funksystem	GSM-900	GSM-900	GSM-900	UMTS	UMTS	UMTS
Relevante Betriebsfrequenz in MHz	925,0	925,0	925,0	2110,0	2110,0	2110,0
Grenzwert in V/m	41,8	41,8	41,8	61,0	61,0	61,0
Montagehöhe der Senderantennenunterkante über Grund in Meter	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5
Hauptstrahlrichtung in Grad	25	110	300	25	110	300
Mechanische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	0	5	0	0	5	0
Elektrische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	9	10	7	7	5	4
Antenne (Hersteller und Typ)	Huawei AQU4518R5	Huawei AQU4518R5	Huawei AQU4518R5	Huawei AQU4518R5	Huawei AQU4518R5	Huawei AQU4518R5
Spitzenleistung pro Kanal am Senderausgang in Watt	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0
Anzahl der Kanäle	1	1	1	1	1	1
Verluste zwischen Senderausgang und Antenneneingang in dB	0	0	0	0	0	0

Betreiber: <b>Telefónica</b>	75305 Neuenbürg, Flurstück 414/30					
System	G	H	I	J	K	L
Funksystem	LTE-800	LTE-800	LTE-800	LTE-1800	LTE-1800	LTE-1800
Relevante Betriebsfrequenz in MHz	791,0	791,0	791,0	1835,0	1835,0	1835,0
Grenzwert in V/m	38,7	38,7	38,7	58,9	58,9	58,9
Montagehöhe der Senderantennenunterkante über Grund in Meter	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5
Hauptstrahlrichtung in Grad	25	110	300	25	110	300
Mechanische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	0	5	0	0	5	0
Elektrische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	9	10	7	7	5	4
Antenne (Hersteller und Typ)	Huawei AQU4518R5	Huawei AQU4518R5	Huawei AQU4518R5	Huawei AQU4518R5	Huawei AQU4518R5	Huawei AQU4518R5
Spitzenleistung pro Kanal am Senderausgang in Watt	160,0	160,0	160,0	80,0	80,0	80,0
Anzahl der Kanäle	1	1	1	1	1	1
Verluste zwischen Senderausgang und Antenneneingang in dB	0	0	0	0	0	0

Betreiber: <b>BOS-Digitalfunk</b>	75305 Neuenbürg, Flurstück 414/30					
System	A	B	C	D	E	F
Funksystem	BOS-TETRA					
Relevante Betriebsfrequenz in MHz	390,0					
Grenzwert in V/m	28,0					
Montagehöhe der Senderantennenunterkante über Grund in Meter	50,64					
Hauptstrahlrichtung in Grad	Omni					
Mechanische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	0					
Elektrische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	0					
Antenne (Hersteller und Typ)	Kathrein 751637					
Spitzenleistung pro Kanal am Senderausgang in Watt	30,0					
Anzahl der Kanäle	4					
Verluste zwischen Senderausgang und Antenneneingang in dB	0					

Topografische Höhe des Mastfußpunktes (über N.N.): 476 m

Die Immissionsberechnungen wurden für folgende Punkte durchgeführt:

Punkt Nr.	Höhe über Grund	Azimut bezüglich des Anlagenstandortes (N über O)	Horizontale Entfernung zum Anlagenstandort	Höhe des Punktes über NN
1a/b	1,5 m / 4,0 m	273°	116 m	491 m
2a/b	1,5 m / 4,0 m	227°	156 m	492 m
3a/b	1,5 m / 4,0 m	207°	247 m	495 m
4a/b	1,5 m / 4,0 m	271°	228 m	494 m
5a/b	1,5 m / 4,0 m	245°	251 m	502 m
6a/b	1,5 m / 4,0 m	226°	315 m	507 m
7a/b	1,5 m / 4,0 m	271°	340 m	495 m
8a/b	1,5 m / 4,0 m	252°	354 m	505 m
9a/b	1,5 m / 4,0 m	237°	404 m	513 m
10a/b	1,5 m / 4,0 m	270°	447 m	495 m
11a/b	1,5 m / 4,0 m	256°	464 m	505 m
12a/b	1,5 m / 4,0 m	287°	185 m	486 m
13a/b	1,5 m / 4,0 m	281°	293 m	488 m

Als Berechnungssoftware wurde "FieldView", Version 6.2.0 (eine Eigenentwicklung der EM-Institut GmbH) eingesetzt.

## 6 Grenzwerte und ihre Festlegung

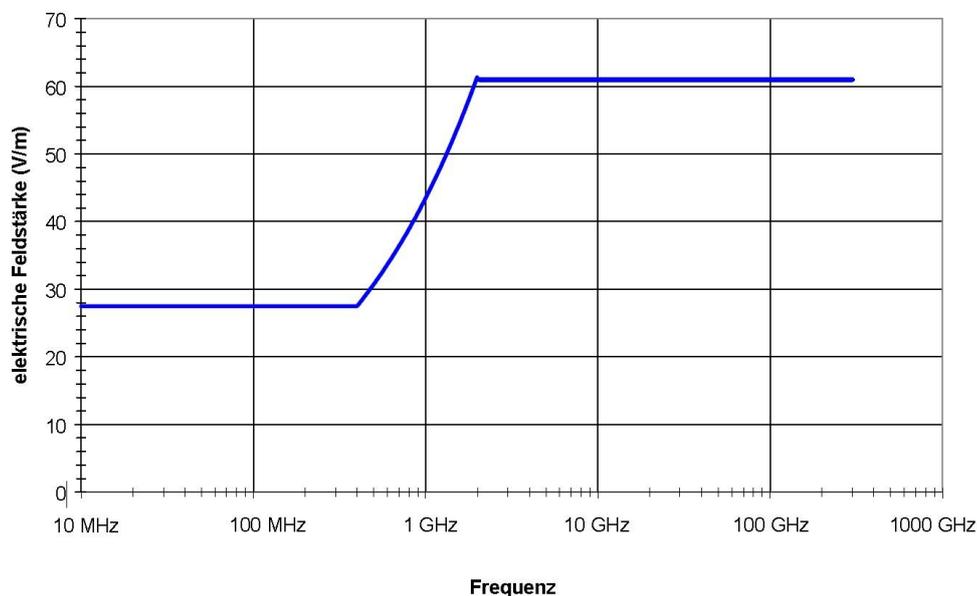
Die Bewertung elektromagnetischer Felder ist in Deutschland seit Januar 1997 in der "26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes" (26. BImSchV) [1] verbindlich geregelt. Die in dieser Verordnung festgelegten Immissionsgrenzwerte entsprechen den aktuellen Empfehlungen der *Internationalen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

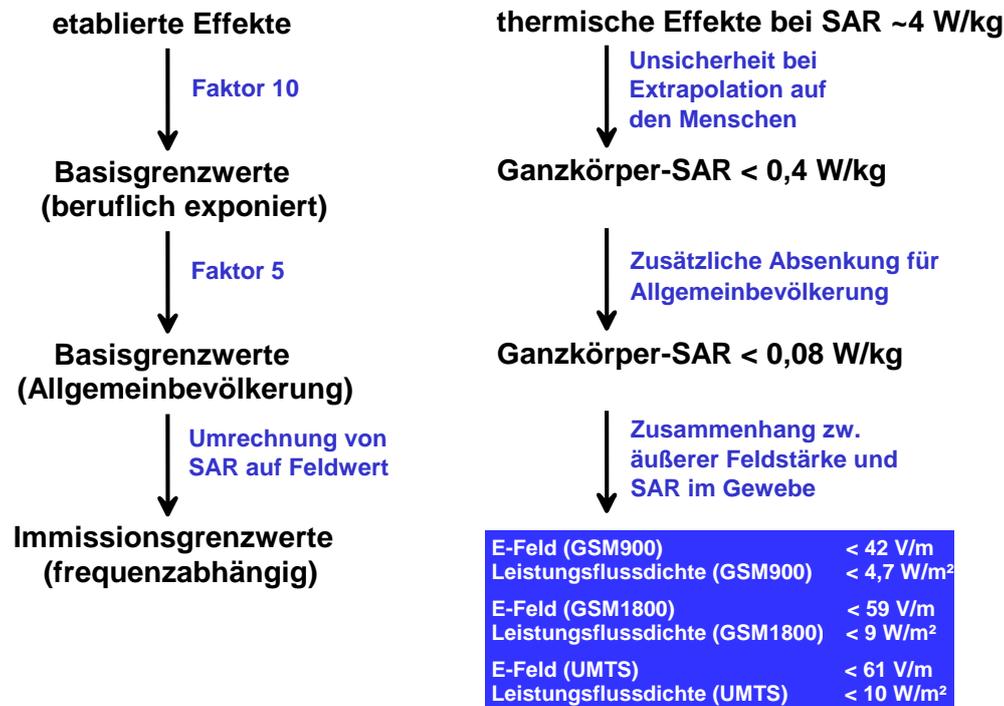
Um diese Sicherheit zu gewährleisten, ist der *Basisgrenzwert* so gewählt, dass er um den Faktor 10 niedriger liegt, als die spezifische Absorptionsrate, ab der Wirkungen auf den Menschen wissenschaftlich gesichert nachgewiesen werden können. Bei Personen, die im Rahmen ihrer *beruflichen Tätigkeit*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

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] **Bundesrepublik Deutschland**  
"Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV)"  
Bundesgesetzblatt Jg. 2013, Teil I, Nr.50, Bonn 21.08.2013.
- [2] **International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)**  
"Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)", Health Physics, Vol. 74, Nr. 4, April 1998, S. 494-522.
- [3] **Der Rat der Europäischen Union**  
"Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz - 300 GHz)"  
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L199, 30.07.1999, S. 59 – 70.
- [4] **Strahlenschutzkommission (SSK)**  
"Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern; Empfehlungen der Strahlenschutzkommission", Bonn, 14.09.2001 ([www.ssk.de](http://www.ssk.de)).
- [5] **Chr. Bornkessel; M. Schubert**  
"Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunk Basisstationen" Abschlussbericht, Studie im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz, Kamp-Lintfort, 2005 ([www.emf-forschungsprogramm.de](http://www.emf-forschungsprogramm.de)).