

# Elektromagnetische Immissionen in der Umgebung von Mobilfunksendeanlagen

Rechnerische Prognose der zu erwartenden Immissionswerte für zwei unterschiedliche  
Standortalternativen



**Auftraggeber:** Gemeinde Wiesenthau  
c/o VG Gosberg  
Reuther Straße 1  
91361 Gosberg

**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:** 20/028

**Ort und Datum:** Regensburg, 01. April 2021

---

## Inhaltsverzeichnis

	<b>Seite</b>
<b>1 Aufgabenstellung</b>	3
<b>3 Darstellung der Berechnungsergebnisse</b>	5
3.1 Beschreibungsgrößen für hochfrequente Immissionen	5
3.2 Wichtige Randbedingungen	6
3.3 Prognosepunkte, Berechnungsergebnisse	7
<b>4 Schlussfolgerungen</b>	11
<b>5 Detaillierte Dokumentation der Immissionsberechnungen</b>	13
<b>6 Grenzwerte und ihre Festlegung</b>	19
<b>7 Literaturverzeichnis</b>	22

# 1 Aufgabenstellung

Zur Verbesserung der Mobilfunkversorgung insbesondere im Bereich von Wiesenthau und Schlaifhausen plant die Deutsche Telekom die Errichtung eines neuen Mobilfunkstandortes. Um bereits vorab einen Eindruck über die sich daraus zukünftig ergebende Immissionssituation zu erhalten, wurde die EM-Institut GmbH von der Gemeinde Wiesenthau beauftragt, die hochfrequenten Immissionen durch Berechnungen näher zu quantifizieren, die in der Umgebung des Standortes zu erwarten sind. Die Ergebnisse der Berechnungen sind den in Deutschland geltenden Grenzwerten für Hochfrequenzimmissionen gegenüberzustellen.

Die Immissionen sollen für zwei Standortalternativen ermittelt und verglichen werden. Hierbei handelt es sich um folgende Standorte

- **Alternative 1:** Wiesenthau, Hauptstraße 27 (Montage der Antennen auf dem Dach eines landwirtschaftliches Wirtschaftsgebäudes)
- **Alternative 2:** Fl. Nr. 361/23, Gem. Wiesenthau (Maststandort)

Die genaue Lage der Standortalternativen kann einem Lageplan (Abbildung 3) entnommen werden. Der Betreiber beabsichtigt, am Standort Mobilfunksysteme in den Frequenzbändern 700, 800, 900, 1.800 und 2.100 MHz in Betrieb zu nehmen.

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 nichtionisierenden Strahlen (ICNIRP) [2], des Europäischen Rates [3] sowie der deutschen Strahlenschutzkommission [4].

Die Intensität elektromagnetischer Wellenfelder wird durch die *Feldstärke* oder die *Leistungsdichte* beschrieben. Welche Feldstärke- bzw. Leistungsdichtewerte 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. Ein Vergleich der Rechenergebnisse mit den gesetzlichen Grenzwerten erlaubt eine objektive Einschätzung der Immissionssituation vor Ort.

Mittels der Berechnungsergebnisse sollen die folgenden Fragen beantwortet werden:

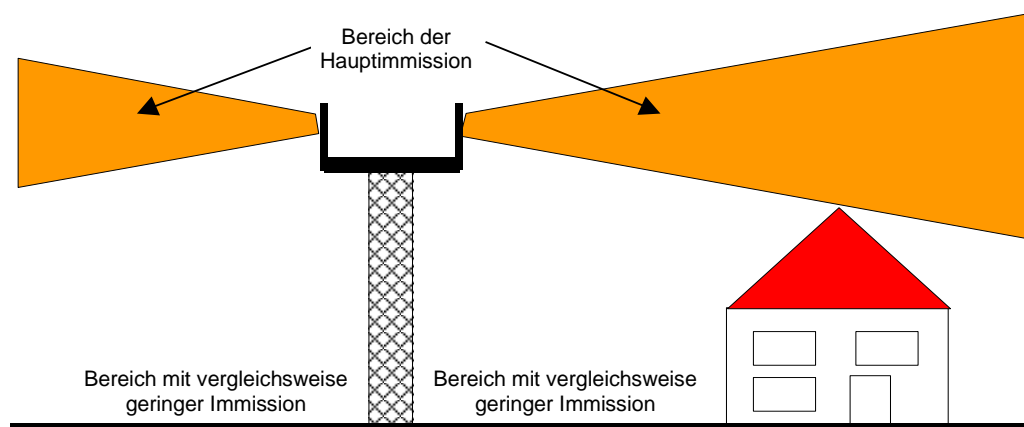
- *Welche Immissionswerte sind an den betrachteten Punkten nach Inbetriebnahme der Anlagen für die beiden Standortalternativen zu erwarten?*
- *Wie sind die beiden Standortalternativen in Bezug auf die von ihnen generierten Immissionen im Vergleich zu bewerten?*

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 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, 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 Verdopplung 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.

### 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:

- Die *elektrische Feldstärke*  $E$  in Volt pro Meter (V/m).
- Die *magnetische Feldstärke*  $H$  in Ampere pro Meter (A/m).
- Die *Leistungsdichte* (gelegentlich auch *Leistungsflussdichte* bezeichnet)  $S$  in Watt pro Quadratmeter ( $W/m^2$ ) oder Milliwatt pro Quadratmeter ( $mW/m^2$ ).

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

Im "Fernfeld" einer Antenne stehen Leistungsdichte 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 hier dokumentierten 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, geplante Up- bzw. Downtiltwinkelseinstellungen 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 geeigneten topografischen Karten sowie "Google-Earth" 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.

- 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 Prognosepunkte, Berechnungsergebnisse

Die Immissionsberechnungen wurden für 14 Punkte im Gemeindegebiet von Wiesenthau und Schlafhausen durchgeführt. Die Punkte wurden zum Teil von der Gemeinde vorgegeben, der Rest wurde durch uns festgelegt, wobei hier auch Orte berücksichtigt wurden, an denen jeweils die höchsten Immissionswerte für die Umgebung des jeweiligen Stadtortes zu erwarten sind. Im Detail handelt es sich um folgende Punkte:

Punkt Nr.	Ort	Entfernung zur Standortalternative 1	Entfernung zur Standortalternative 2
1	Wiesenthau, Schulstraße 12 (Grundschule)	120 m	664 m
2	Wiesenthau, Ortsmitte (Parkplatz Rathaus)	365 m	798 m
3	Wiesenthau, Schlossplatz 1 (Schloss)	277 m	626 m
4	Wiesenthau, Am Anger 20	506 m	479 m
5	Wiesenthau, Hauptstraße 38	121 m	449 m
6	Wiesenthau, Langenlohe 11	351 m	281 m
7	Wiesenthau, Langenlohe 34	386 m	351 m
8	Wiesenthau, Langenlohe 4a	320 m	505 m
9	Wiesenthau, Schulstraße, Spielplatz	223 m	764 m
10	Schlafhausen 110 (Kindergarten, Außenbereich)	461 m	944 m
11	Schlafhausen, Sportplatz	334 m	782 m
12	Schlafhausen 111a	457 m	847 m
13	Schlafhausen 140f	755 m	920 m
14	Schlafhausen 30	988 m	1.298 m

**Tab. 1:** Untersuchungspunkte.

Die Immissionen wurden an jedem Punkt einmal für Bodennähe (1,5 Meter über Grund) sowie zusätzlich für eine größere Höhe (4,0 Meter über Grund) ermittelt, um beispielsweise auch die Immissionssituation in oberen Geschossen von Gebäuden zu darzustellen.

Der im Folgenden durchgeführte Grenzwertvergleich erfolgt mit den in Deutschland rechtsverbindlichen Vorgaben der 26. BImSchV [1]. Diese gibt - je nach Frequenz des abgestrahlten Signals - für die elektrische Feldstärke im Frequenzbereich des Mobilfunks einen Grenzwert zwischen etwa 38 und 61 Volt/m vor [1].

Aufgrund des im Fernfeld anwendbaren quadratischen Zusammenhangs zwischen elektrischer Feldstärke und Leistungsdichte sind im hier betrachteten Frequenzbereich auch die Grenzwerte für Feldstärke und Leistungsdichte quadratisch mit einander verknüpft, was dazu führt, dass sich die ergebenden Grenzwertausschöpfungen ebenfalls im quadratischen Zusammenhang befinden. Aus diesem Grund führt eine Grenzwertausschöpfung von zehn Prozent bezüglich der elektrischen Feldstärke zu einer Grenzwertausschöpfung bezüglich der Leistungsdichte von einem Prozent ( $0,1^2 = 0,01$ ).

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

In Tabelle 2 ist die an den betrachteten Punkten zu erwartende Immissionssituation für die beiden Standortalternativen vergleichend gegenübergestellt. Die Punkte 1a, 2a usw. beziehen sich hierbei jeweils auf die Berechnungshöhe von 1,5 Meter über Grund, während die Punkte 1b, 2b usw. die Ergebnisse für die Berechnungshöhe 4,0 Meter über Grund dokumentieren.

<b>Punkt Nr.</b>	<b>Berechnete Grenzwertausschöpfung in Prozent (Standortalternative 1)</b>	<b>Berechnete Grenzwertausschöpfung in Prozent (Standortalternative 2)</b>
1a	17,4 %	3,0 %
1b	18,0 %	3,0 %
2a	5,6 %	2,0 %
2b	5,6 %	2,0 %
3a	5,0 %	2,5 %
3b	5,1 %	2,5 %
4a	2,7 %	1,6 %
4b	2,7 %	1,6 %
5a	12,0 %	4,2 %
5b	14,0 %	4,3 %



Punkt Nr.	Berechnete Grenzwertausschöpfung in Prozent (Standortalternative 1)	Berechnete Grenzwertausschöpfung in Prozent (Standortalternative 2)
6a	3,9 %	6,4 %
6b	3,7 %	6,5 %
7a	3,0 %	4,6 %
7b	2,9 %	4,6 %
8a	3,9 %	3,7 %
8b	3,9 %	3,7 %
9a	7,5 %	2,6 %
9b	7,5 %	2,5 %
10a	4,0 %	1,8 %
10b	4,0 %	1,7 %
11a	6,4 %	2,4 %
11b	6,4 %	2,3 %
12a	4,6 %	1,9 %
12b	4,5 %	1,8 %
13a	2,4 %	1,2 %
13b	2,4 %	1,2 %
14a	2,1 %	0,9 %
14b	2,1 %	0,9 %

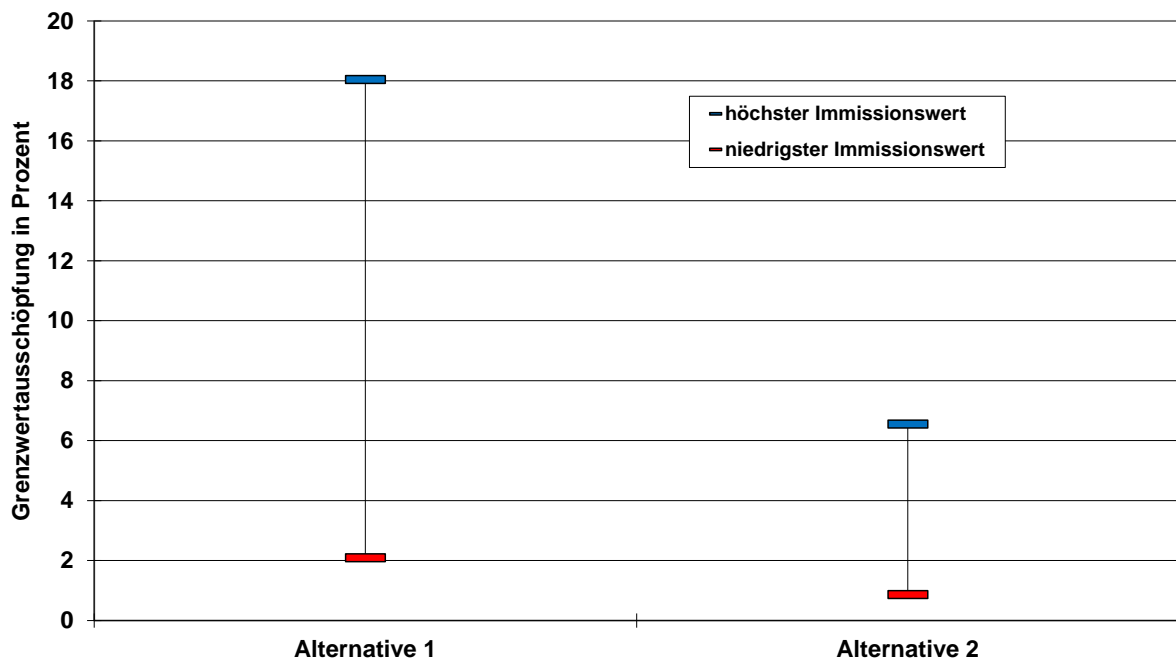
**Tab. 2:** Prognostizierte Immissionswerte für die beiden betrachteten Standortalternativen (Prozentuale Grenzwertausschöpfung bezüglich der Feldstärke in Prozent bei Maximalauslastung).

Ein Blick auf Tabelle 2 zeigt, dass an 12 der 14 untersuchten Punkte die Alternative 2 geringere Immissionen erzeugt als Alternative 1. Insbesondere an den Punkten in unmittelbarer Umgebung von Standortalternative 1 ist der Unterschied sehr deutlich ausgeprägt.

Grenzwertausschöpfungen von mehr als zehn Prozent treten bei Standortalternative 2 nicht, bei Alternative 1 hingegen in der unmittelbaren Umgebung des Standortes durchaus auf.

Nur an den Immissionsorten 6 und 7 überwiegt die Immission von Alternative 2 der von Alternative 1.

Folgende Abbildung stellt die prognostizierte Immissionsituation an den betrachteten Punkten für die beiden Standortalternativen vergleichend gegenüber:

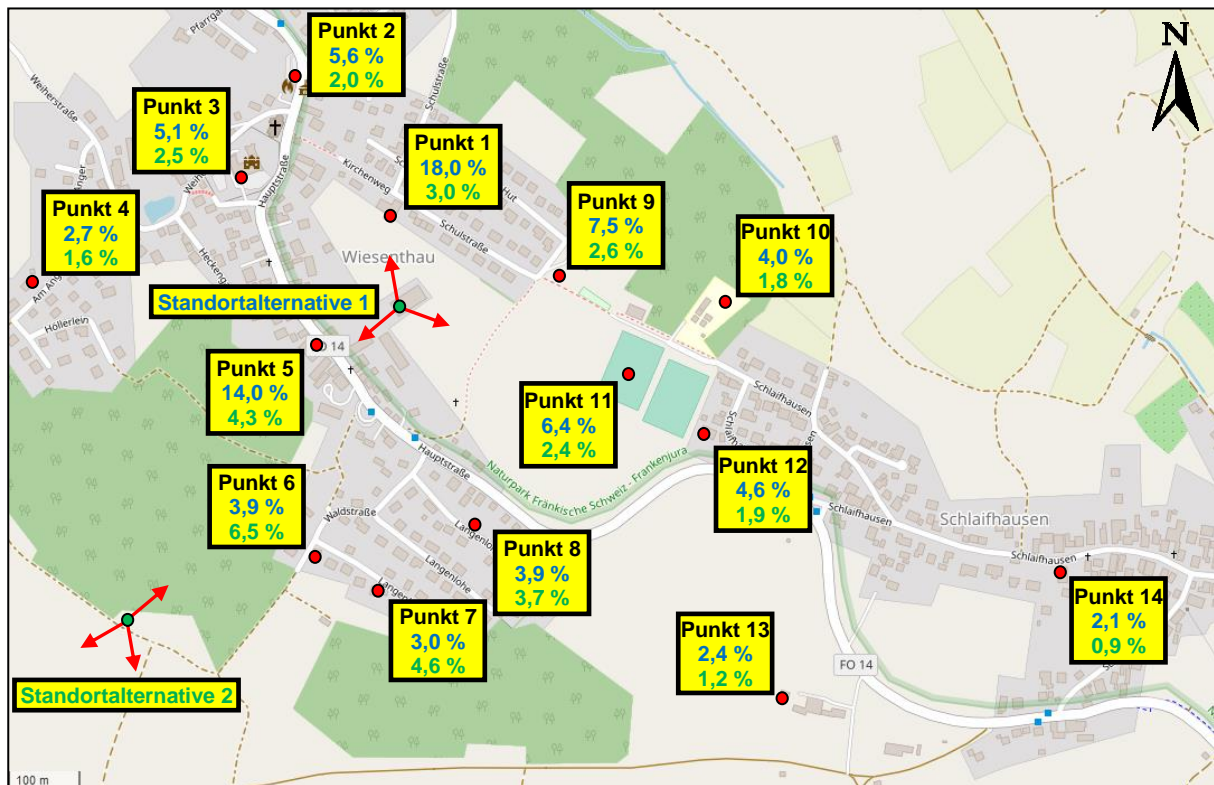


**Abb. 2:** Spannweite der in Tabelle 2 dokumentierten Immissionswerte für die beiden Standortalternativen (Grenzwertausschöpfung bezüglich der Feldstärke in Prozent für Maximalauslastung).

Abbildung 3 zeigt die beiden Standortalternativen und die Lage der betrachteten Immissionsorte. Zusätzlich sind die geplanten horizontalen Ausrichtungen der Mobilfunkantennen durch Pfeile dargestellt.

Angegeben ist für jeden Ort jeweils der größte für die beiden betrachteten Höhen ermittelte Immissionswert. Der erstgenannte Immissionswert bezieht sich hierbei auf die Standortalternative 1 (blau), während der Wert darunter die Immission angibt, die dort bei Realisierung von Alternative 2 (grün) generiert wird.

An dieser Stelle sei nochmals darauf hingewiesen, dass alle Immissionen unter der Annahme einer direkten Sichtverbindung zwischen den Mobilfunkantennen und dem Immissionsort ermittelt wurden. Bei nicht vorhandener Sicht können die Immissionen durchaus deutlich geringer ausfallen.



**Abb. 3:** Betrachtete Standortalternativen mit geplanten horizontalen Ausrichtungen der Antennen und Lage der Berechnungsorte. Für die beiden Standortalternativen sind die jeweils berechneten Mobilfunk-Immissionswerte (für die real geplanten Anlagenparameter) als prozentuale Grenzwertausschöpfung (bezüglich der elektrischen Feldstärke) angegeben.

## 4 Schlussfolgerungen

Die Deutsche Telekom plant die Errichtung eines neuen Mobilfunkstandortes im Gemeindegebiet von Wiesenthau. Um bereits vorab einen Eindruck über die sich daraus zukünftig ergebende Immissionssituation zu erhalten, sollten die hochfrequenten Immissionen durch Berechnungen näher zu quantifiziert werden, die in der Umgebung des Standortes zu erwarten sind. Die Immissionen sollten für zwei Standortalternativen ermittelt und verglichen werden. Hierbei handelt es sich um folgende Standorte

- **Alternative 1:** Wiesenthau, Hauptstraße 27 (Montage der Antennen auf dem Dach eines landwirtschaftliches Wirtschaftsgebäudes)
- **Alternative 2:** Fl. Nr. 361/23 Gem. Wiesenthau (Maststandort)

Aus den in Kapitel 3 dargestellten Ergebnissen der durchgeführten Untersuchungen lassen sich die folgenden Schlüsse ziehen:

- An allen untersuchten Punkten werden für beide Standortalternativen bei Annahme der vom Betreiber real geplanten Sendeleistungen und Tiltwinkel mit Grenzwertausschöpfungen zwischen etwa 1 und 18 Prozent die Vorgaben der 26. BImSchV eingehalten.
- Ein Vergleich der Berechnungsergebnisse zeigt zudem, dass an 12 der 14 untersuchten Punkte die Alternative 2 die geringeren Immissionen erzeugt. Insbesondere an den Punkten in unmittelbarer Umgebung von Standortalternative 1 ist der Unterschied sehr deutlich ausgeprägt.
- Aus Sicht der Immissionsminimierung ist daher die Standortalternative 2 der Alternative 1 eindeutig vorzuziehen.
- 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 Gebäudemauern und Bäume vollumfänglich zu berücksichtigen. Die ermittelten Immissionen sind nur dann in der angegebenen Größenordnung zu erwarten, wenn vom Berechnungspunkt aus auch eine unbeeinträchtigte Sichtverbindung zum Antennenstandort besteht.

Regensburg, 01. April 2021



Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek



## 5 Detaillierte Dokumentation der Immissionsberechnungen

Den Immissionsberechnungen wurden folgende technische Anlagendaten zu Grunde gelegt:

### Standortalternative 1:

Betreiber: <b>Telekom</b>	91369 Wiesenthau, Hauptstraße 47 (Wirtschaftsgebäude)					
System	A	B	C	D	E	F
Antennenträger	AT 1	AT 1	AT 1	AT 1	AT 1	AT 1
Funksystem	MB07	MB07	MB07	MB08	MB08	MB08
Relevante Betriebsfrequenz in MHz	768,0	768,0	768,0	811,0	811,0	811,0
Grenzwert in V/m	38,1	38,1	38,1	39,2	39,2	39,2
Montagehöhe der Senderantennenunterkante über Grund in Meter	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Hauptstrahlrichtung in Grad	110	230	350	110	230	350
Mechanische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	-3	-2	-2	-3	-2	-2
Elektrische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	2	5	5	2	5	5
Antenne (Hersteller und Typ)	Huawei APE 4518R14V06	Huawei APE 4518R14V06	Huawei APE 4518R14V06	Huawei APE 4518R14V06	Huawei APE 4518R14V06	Huawei APE 4518R14V06
Spitzenleistung pro Kanal am Senderausgang in Watt	60,0	60,0	60,0	65,0	65,0	65,0
Anzahl der Kanäle	1	1	1	1	1	1
Verluste zwischen Senderausgang und Antenneneingang in dB	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Betreiber: <b>Telekom</b>	91369 Wiesenthau, Hauptstraße 47 (Wirtschaftsgebäude)					
System	G	H	I	J	K	L
Antennenträger	AT 1	AT 1	AT 1	AT 1	AT 1	AT 1
Funksystem	MB09	MB09	MB09	MB18	MB18	MB18
Relevante Betriebsfrequenz in MHz	945,0	945,0	945,0	1805,0	1805,0	1805,0
Grenzwert in V/m	42,3	42,3	42,2	58,4	58,4	58,4
Montagehöhe der Senderantennenunterkante über Grund in Meter	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Hauptstrahlrichtung in Grad	110	230	350	110	230	350
Mechanische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	-3	-2	-2	-3	-2	-2
Elektrische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	2	5	5	2	5	5
Antenne (Hersteller und Typ)	Huawei APE 4518R14V06	Huawei APE 4518R14V06	Huawei APE 4518R14V06	Huawei APE 4518R14V06	Huawei APE 4518R14V06	Huawei APE 4518R14V06
Spitzenleistung pro Kanal am Senderausgang in Watt	95,0	95,0	95,0	22,5	22,5	22,5
Anzahl der Kanäle	1	1	1	4	4	4
Verluste zwischen Senderausgang und Antenneneingang in dB	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Betreiber: <b>Telekom</b>	<b>91369 Wiesenthau, Hauptstraße 47 (Wirtschaftsgebäude)</b>					
System	M	N	O	P	Q	R
Antennenträger	AT 1	AT 1	AT 1			
Funksystem	MB21	MB21	MB21			
Relevante Betriebsfrequenz in MHz	2110,0	2110,0	2110,0			
Grenzwert in V/m	61,0	61,0	61,0			
Montagehöhe der Senderantennenunterkante über Grund in Meter	12,0	12,0	12,0			
Hauptstrahlrichtung in Grad	110	230	350			
Mechanische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	-3	-2	-2			
Elektrische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	2	5	5			
Antenne (Hersteller und Typ)	Huawei APE 4518R14V06	Huawei APE 4518R14V06	Huawei APE 4518R14V06			
Spitzenleistung pro Kanal am Senderausgang in Watt	120,0	120,0	120,0			
Anzahl der Kanäle	1	1	1			
Verluste zwischen Senderausgang und Antenneneingang in dB	0,2	0,2	0,2			

Topografische Höhe des Antennenstandortes (Bodenniveau über N.N.): 322 m

### Alternative 2:

Betreiber: <b>Telekom</b>	<b>Fl. Nr. 361/23, Gem. Wiesenthau (Mast)</b>					
System	A	B	C	D	E	F
Antennenträger	AT 1	AT 1	AT 1	AT 1	AT 1	AT 1
Funksystem	MB07	MB07	MB07	MB08	MB08	MB08
Relevante Betriebsfrequenz in MHz	768,0	768,0	768,0	811,0	811,0	811,0
Grenzwert in V/m	38,1	38,1	38,1	39,2	39,2	39,2
Montagehöhe der Senderantennenunterkante über Grund in Meter	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9
Hauptstrahlrichtung in Grad	50	170	240	50	170	240
Mechanische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	0	0	0	0	0	0
Elektrische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	4	4	4	4	4	4
Antenne (Hersteller und Typ)	Huawei APE 4518R14V06	Huawei APE 4518R14V06	Huawei APE 4518R14V06	Huawei APE 4518R14V06	Huawei APE 4518R14V06	Huawei APE 4518R14V06
Spitzenleistung pro Kanal am Senderausgang in Watt	60,0	60,0	60,0	65,0	65,0	65,0
Anzahl der Kanäle	1	1	1	1	1	1
Verluste zwischen Senderausgang und Antenneneingang in dB	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Betreiber: <b>Telekom</b>	<b>Fl. Nr. 361/23, Gem. Wiesenthau (Mast)</b>					
System	G	H	I	J	K	L
Antennenträger	AT 1	AT 1	AT 1	AT 1	AT 1	AT 1
Funksystem	MB09	MB09	MB09	MB18	MB18	MB18
Relevante Betriebsfrequenz in MHz	945,0	945,0	945,0	1805,0	1805,0	1805,0
Grenzwert in V/m	42,3	42,3	42,2	58,4	58,4	58,4
Montagehöhe der Senderantennenunterkante über Grund in Meter	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9
Hauptstrahlrichtung in Grad	50	170	240	50	170	240
Mechanische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	0	0	0	0	0	0
Elektrische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	3	3	3	4	4	4
Antenne (Hersteller und Typ)	Huawei APE 4518R14V06	Huawei APE 4518R14V06	Huawei APE 4518R14V06	Huawei APE 4518R14V06	Huawei APE 4518R14V06	Huawei APE 4518R14V06
Spitzenleistung pro Kanal am Senderausgang in Watt	95,0	95,0	95,0	22,5	22,5	22,5
Anzahl der Kanäle	1	1	1	4	4	4
Verluste zwischen Senderausgang und Antenneneingang in dB	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Betreiber: <b>Telekom</b>	<b>Fl. Nr. 361/23, Gem. Wiesenthau (Mast)</b>					
System	M	N	O	P	Q	R
Antennenträger	AT 1	AT 1	AT 1			
Funksystem	MB21	MB21	MB21			
Relevante Betriebsfrequenz in MHz	2110,0	2110,0	2110,0			
Grenzwert in V/m	61,0	61,0	61,0			
Montagehöhe der Senderantennenunterkante über Grund in Meter	38,9	38,9	38,9			
Hauptstrahlrichtung in Grad	50	170	240			
Mechanische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	0	0	0			
Elektrische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	4	4	4			
Antenne (Hersteller und Typ)	Huawei APE 4518R14V06	Huawei APE 4518R14V06	Huawei APE 4518R14V06			
Spitzenleistung pro Kanal am Senderausgang in Watt	120,0	120,0	120,0			
Anzahl der Kanäle	1	1	1			
Verluste zwischen Senderausgang und Antenneneingang in dB	0,2	0,2	0,2			

Topografische Höhe des Antennenstandortes (Bodenniveau über N.N.): 324 m

Die Immissionsberechnungen wurden für folgende Punkte durchgeführt:

Punkt Nr.	Horizontale Entfernung zu Alternative 1	Azimet, bzgl. Alternative 1 (N über O)	Horizontale Entfernung zu Alternative 2	Azimet, bzgl. Alternative 2 (N über O)	Topografische Höhe (Bodenniveau) über NN
1	120 m	355°	664 m	34°	323 m
2	365 m	336°	798 m	17°	309 m
3	277 m	308°	626 m	15°	310 m
4	506 m	273°	479 m	345°	319 m
5	121 m	248°	449 m	34°	317 m
6	351 m	198°	281 m	74°	334 m
7	386 m	184°	351 m	84°	336 m
8	320 m	159°	505 m	75°	327 m
9	223 m	79°	764 m	51°	335 m
10	461 m	90°	944 m	63°	348 m
11	334 m	105°	782 m	64°	337 m
12	457 m	112°	847 m	72°	348 m
13	755 m	135°	920 m	96°	354 m
14	988 m	112°	1.298 m	87°	368 m

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

Detaillierte Dokumentation der Ergebnisse der Immissionsberechnungen für die beiden betrachteten Anlagenkonfigurationen:



## Standortalternative 1:

Punkt Nr.	Elektrische Feldstärke in Volt/m	Grenzwertausschöpfung (bzgl. der elektrischen Feldstärke)	Leistungsdichte in Milliwatt/m <sup>2</sup>
1a	8,5 V/m	17,4 %	189,9 mW/m <sup>2</sup>
1b	8,8 V/m	18,0 %	207,0 mW/m <sup>2</sup>
2a	2,7 V/m	5,6 %	19,6 mW/m <sup>2</sup>
2b	2,7 V/m	5,6 %	19,6 mW/m <sup>2</sup>
3a	2,4 V/m	5,0 %	14,8 mW/m <sup>2</sup>
3b	2,4 V/m	5,1 %	15,4 mW/m <sup>2</sup>
4a	1,3 V/m	2,7 %	4,4 mW/m <sup>2</sup>
4b	1,3 V/m	2,7 %	4,3 mW/m <sup>2</sup>
5a	5,4 V/m	12,0 %	78,8 mW/m <sup>2</sup>
5b	6,5 V/m	14,0 %	112,8 mW/m <sup>2</sup>
6a	1,8 V/m	3,9 %	9,0 mW/m <sup>2</sup>
6b	1,7 V/m	3,7 %	8,1 mW/m <sup>2</sup>
7a	1,4 V/m	3,0 %	5,0 mW/m <sup>2</sup>
7b	1,3 V/m	2,9 %	4,7 mW/m <sup>2</sup>
8a	1,8 V/m	3,9 %	9,0 mW/m <sup>2</sup>
8b	1,9 V/m	3,9 %	9,2 mW/m <sup>2</sup>
9a	3,7 V/m	7,5 %	35,6 mW/m <sup>2</sup>
9b	3,7 V/m	7,5 %	35,8 mW/m <sup>2</sup>
10a	2,0 V/m	4,0 %	10,3 mW/m <sup>2</sup>
10b	1,9 V/m	4,0 %	10,0 mW/m <sup>2</sup>
11a	3,2 V/m	6,4 %	26,4 mW/m <sup>2</sup>
11b	3,2 V/m	6,4 %	26,6 mW/m <sup>2</sup>
12a	2,3 V/m	4,6 %	13,6 mW/m <sup>2</sup>
12b	2,2 V/m	4,5 %	13,1 mW/m <sup>2</sup>
13a	1,2 V/m	2,4 %	3,5 mW/m <sup>2</sup>
13b	1,1 V/m	2,4 %	3,5 mW/m <sup>2</sup>
14a	1,0 V/m	2,1 %	2,8 mW/m <sup>2</sup>
14b	1,0 V/m	2,1 %	2,8 mW/m <sup>2</sup>

## Standortalternative 2:

Punkt Nr.	Elektrische Feldstärke in Volt/m	Grenzwertausschöpfung (bzgl. der elektrischen Feldstärke)	Leistungsdichte in Milliwatt/m <sup>2</sup>
1a	1,4 V/m	3,0 %	5,5 mW/m <sup>2</sup>
1b	1,4 V/m	3,0 %	5,5 mW/m <sup>2</sup>
2a	1,0 V/m	2,0 %	2,5 mW/m <sup>2</sup>
2b	1,0 V/m	2,0 %	2,5 mW/m <sup>2</sup>
3a	1,2 V/m	2,5 %	3,8 mW/m <sup>2</sup>
3b	1,2 V/m	2,5 %	3,8 mW/m <sup>2</sup>
4a	0,8 V/m	1,6 %	1,5 mW/m <sup>2</sup>
4b	0,8 V/m	1,6 %	1,5 mW/m <sup>2</sup>
5a	2,1 V/m	4,2 %	11,2 mW/m <sup>2</sup>
5b	2,1 V/m	4,3 %	11,7 mW/m <sup>2</sup>
6a	3,1 V/m	6,4 %	25,3 mW/m <sup>2</sup>
6b	3,2 V/m	6,5 %	26,7 mW/m <sup>2</sup>
7a	2,2 V/m	4,6 %	13,4 mW/m <sup>2</sup>
7b	2,3 V/m	4,6 %	13,5 mW/m <sup>2</sup>
8a	1,8 V/m	3,7 %	8,4 mW/m <sup>2</sup>
8b	1,8 V/m	3,7 %	8,3 mW/m <sup>2</sup>
9a	1,2 V/m	2,6 %	4,1 mW/m <sup>2</sup>
9b	1,2 V/m	2,5 %	4,0 mW/m <sup>2</sup>
10a	0,8 V/m	1,8 %	1,9 mW/m <sup>2</sup>
10b	0,8 V/m	1,7 %	1,8 mW/m <sup>2</sup>
11a	1,1 V/m	2,4 %	3,4 mW/m <sup>2</sup>
11b	1,1 V/m	2,3 %	3,3 mW/m <sup>2</sup>
12a	0,9 V/m	1,9 %	2,1 mW/m <sup>2</sup>
12b	0,9 V/m	1,8 %	2,0 mW/m <sup>2</sup>
13a	0,6 V/m	1,2 %	0,8 mW/m <sup>2</sup>
13b	0,6 V/m	1,2 %	0,8 mW/m <sup>2</sup>
14a	0,4 V/m	0,9 %	0,4 mW/m <sup>2</sup>
14b	0,4 V/m	0,9 %	0,4 mW/m <sup>2</sup>

## 6 Grenzwerte und ihre Festlegung

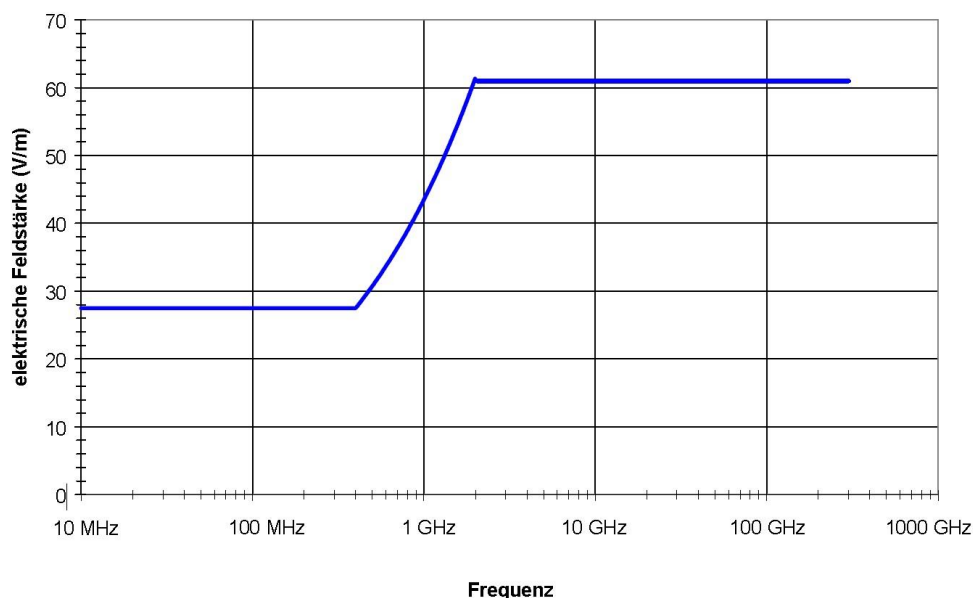
Die Bewertung elektromagnetischer Felder ist in Deutschland seit Januar 1997 in der "26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes" (26. BImSchV) [1] verbindlich geregelt. Die in dieser Verordnung festgelegten Immissionsgrenzwerte entsprechen den aktuellen Empfehlungen der *Internationalen 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 2020 [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 Mitgliedsstaaten die Übernahme dieser Werte in nationale Gesetze und Normen.

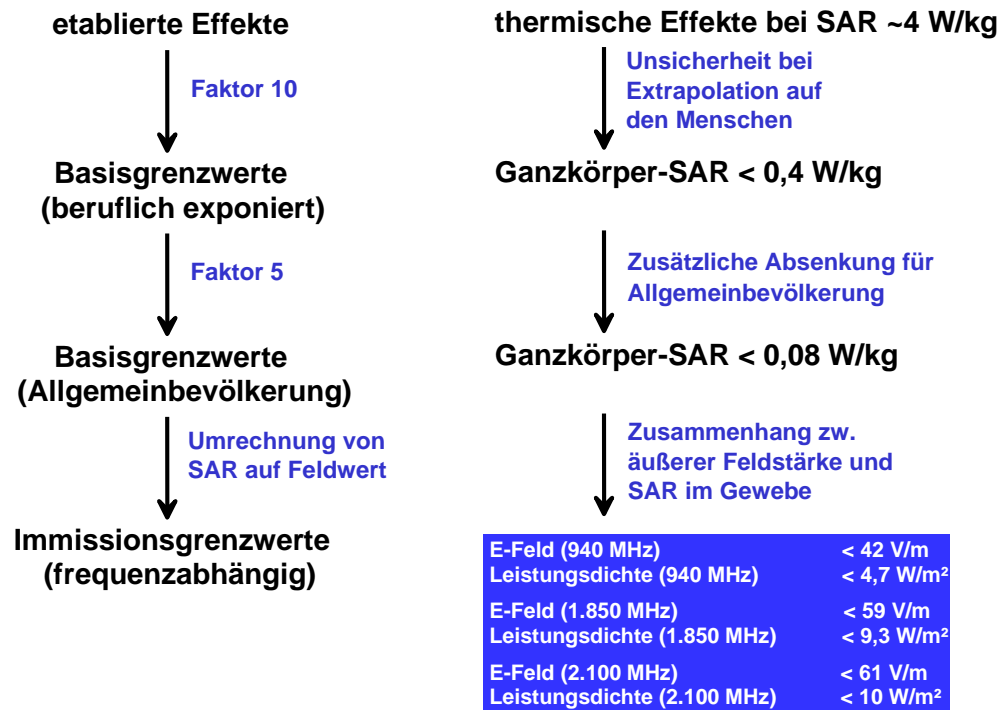
Das Prinzip des Personenschutzes im Bereich des Mobilfunks ist die Begrenzung der vom Körper aufgenommenen Energie. Als Maß hierfür dient die "*spezifische Absorptionsrate*" (SAR), gemessen in Watt pro Kilogramm (W/kg) Körpergewicht. Um den Schutz der Bevölkerung vor den thermischen Einwirkungen hochfrequenter nicht ionisierender Strahlen zu gewährleisten, wurden die sog. "*Basisgrenzwerte*" so festgelegt, dass eine zusätzliche Erwärmung von Körperbereichen um mehr als 1°C mit Sicherheit ausgeschlossen wird.

Um diese Sicherheit zu gewährleisten, ist der *Basisgrenzwert* so gewählt, dass er um den Faktor 10 niedriger liegt, als die spezifische Absorptionsrate, ab der Wirkungen auf den Menschen wissenschaftlich gesichert nachgewiesen werden können. Bei Personen, die im Rahmen ihrer *beruflichen Tätigkeit* während der gesamten täglichen Arbeitszeit (typisch 6 bis 8 Stunden) 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 Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz)", Health Physics, 118(5): S. 483 - 524; 2020.
- [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-forschungs-programm.de](http://www.emf-forschungs-programm.de)).