

Elektromagnetische Immissionen durch Mobilfunksendeanlagen

Bericht über durchgeführte Feldstärkemessungen



Auftraggeber: Gemeinde Rattenberg
Dorfplatz 15
94371 Rattenberg

Untersuchungsort: Umgebung des Mobilfunkanlagenstandortes "Aigenberg"

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: 21/030

Ort und Datum: Regensburg, 25. Oktober 2023

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1	Aufgabenstellung 3
2	Immissionen durch Mobilfunksendeanlagen 5
3	Durchführung der Messungen 7
3.1	Messgrößen für hochfrequente elektromagnetische Felder 7
3.2	Verwendete Messgeräte, Qualitätssicherung 8
3.3	Wie wurde gemessen und bewertet? 8
3.4	Wo wurde gemessen? 10
4	Festgestellte Immissionswerte 11
4.1	Aktuelle Immission durch Mobilfunk 11
4.2	Veränderung der Immission im Vergleich zur "Vorhermessung" 13
5	Zusammenfassung 15
6	Literaturverzeichnis 16
7	Anlagen 17
	Anlage 1: Ausführliche Ergebnistabellen 17
	Anlage 2: Grenzwerte und ihre Festlegung 20
	Anlage 3: Lageplan 23
	Anlage 4: Fotos 24

Hinweis: Eine Weitergabe des Berichts (auch auszugsweise) ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Autors zulässig.

1 Aufgabenstellung

Aufgrund der Errichtung eines neuen Mobilfunkanlagenstandortes (Mast auf Fl. Nr. 397, Gem. Siegersdorf) durch die Deutsche Telekom wurde die EM-Institut GmbH von der Gemeinde Rattenberg beauftragt, an einigen Punkten in der Umgebung des Standortes mittels einer "Vorhermessung" vor und einer "Nachhermessung" nach Inbetriebnahme der neuen Sendeanlagen die Veränderung der dort durch Mobilfunksignale verursachten elektromagnetischen Immissionen messtechnisch zu ermitteln.

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

Zum Zeitpunkt der "Nachhermessung" waren am neuen Standort folgende Mobilfunksendeanlagen in Betrieb:

Lage des Standortes (Nummer der BNetzA-Standortbescheinigung)	Betreiber (Durch die Mobilfunksysteme abgedeckte Frequenzbänder)
94371 Rattenberg, Flurstück 397, Gem. Siegersdorf (66013088)	Deutsche Telekom (MB07 / MB08 / MB09)

MB: "Mobile Broadband"

Tab. 1: Zum Zeitpunkt der Messungen am betrachteten Standort in Betrieb befindliche Mobilfunksysteme (Frequenzbänder).

In diesem Bericht sind die Ergebnisse der "Nachhermessung" dokumentiert. Zusätzlich wird ein Vergleich mit den Ergebnissen der "Vorhermessung" vom Juli 2021 vorgenommen.

Der Schutz der Bevölkerung vor den Wirkungen elektromagnetischer Felder ist in Deutschland seit Januar 1997 in der 26. *Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV)* [1] verbindlich geregelt. Die in dieser Verordnung festgelegten Immissionsgrenzwerte folgen den Empfehlungen der Internationalen Kommission für den Schutz vor nicht ionisierenden Strahlen (ICNIRP) [2], des Europäischen Rates [3] und 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 im Allgemeinen nur näherungsweise berechnen, da neben der Leistung der Sendeanlage verschiedene andere Einflussfaktoren zusätzlich eine Rolle spielen können. Als Beispiel seien hier Antennencharakteristik, Bewuchs (vor allem Bäume), Bebauung und Gebäudeschirmung genannt.

Um zuverlässige Aussagen über die Hochfrequenzimmission in der Umgebung einer Funkanlage 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 zu den gesetzlichen Grenzwerten, sind die Immissionen, die aktuell durch Mobilfunksignale an den betrachteten Messpunkten erzeugt werden?*
- *Wie hat sich die Immission im Vergleich zu den Ergebnissen der "Vorhermessung" (Juli 2021) verändert?*

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

2 Immissionen durch Mobilfunksendeanlagen

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



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

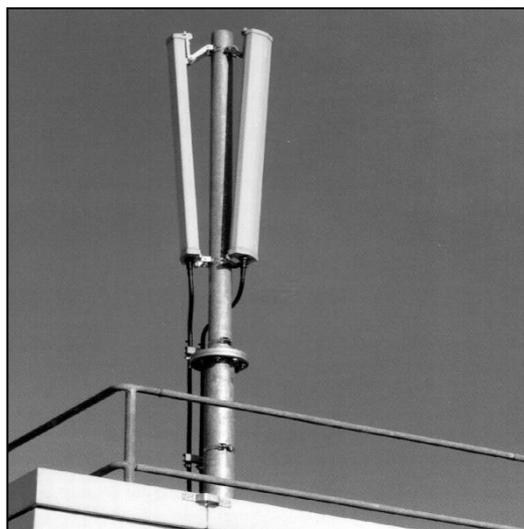


Abb. 2: Zwei Sektorantennen, montiert auf einem Flachdach (hier mit mechanischer Strahlabsenkung, engl. "Downtilt").

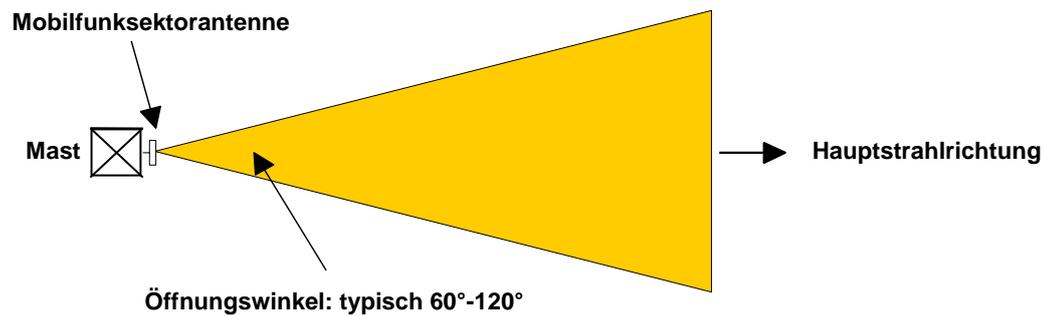


Abb. 3: Horizontales Abstrahlverhalten einer Mobilfunksektorantenne.

An den meisten Standorten werden Sektorantennen verwendet.

In der Vertikalen hingegen senden alle Mobilfunkantennen, ähnlich wie die Scheinwerfer eines Leuchtturmes, stark gebündelt (Abbildung 4). Der Hauptabgabebereich der elektromagnetischen Energie wird als "Öffnungswinkel" der Antenne bezeichnet. Er beträgt vertikal typisch zirka 5 bis 10°. Zusätzlich ist die Hauptstrahlrichtung häufig bezüglich der Horizontalen um einige Grad nach unten geneigt. Damit erreicht man eine gezielte Versorgung der lokalen Funkzelle, eine Leistungsabgabe in benachbarte Funkzellen wird verhindert (Vermeidung von sogenannten "Interferenzstörungen").

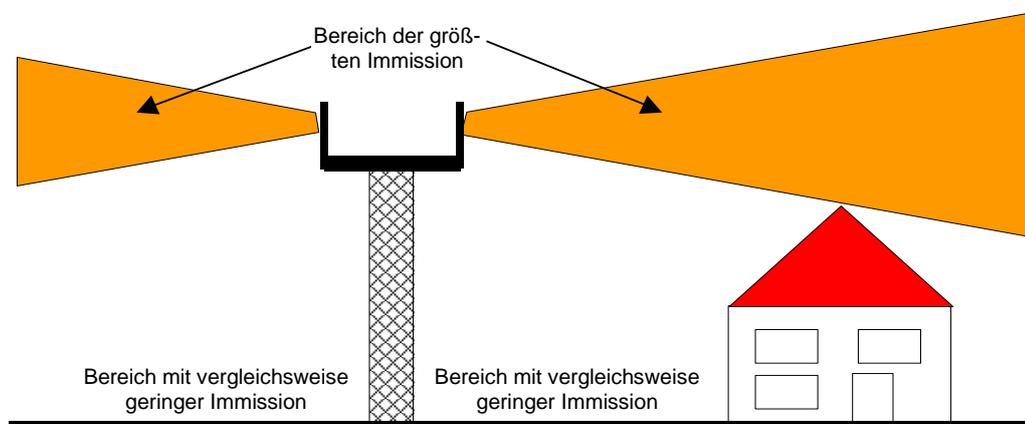


Abb. 4: Vertikales Bündelungsverhalten von Mobilfunkantennen (prinzipielle Darstellung).

Außerhalb dieses schmalen Feldkegels der Antenne (vergleichbar mit der Lichtverteilung im Kegel eines Scheinwerfers) ist die Energieabgabe deutlich geringer (typisch nur 1/10 bis 1/1.000 des Wertes, der in der Hauptstrahlrichtung der Antenne entsteht). Der bodennahe Raum in unmittelbarer Nähe einer erhöht angebrachten Mobilfunkantenne und auch die Räume eines Gebäudes, auf dessen Dach 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 Antennencharakteristik 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 beispielsweise als von benachbarten Gebäuden reflektiertes Signal durch die Fenster in das Gebäudeinnere.

Die Stärke der Felder, die im Inneren eines in der Nachbarschaft zum Anlagenstandort befindlichen 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 die Intensität elektromagnetischer Wellen mit zunehmendem Abstand zur Sendeanlage stark abnimmt: Wenn sich eine elektromagnetische Welle ungestört ausbreitet, nimmt die Leistungsdichte 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, Vegetation und 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 oder der Vermittlungszentrale des Betreibers. Diese Antennen geben, ähnlich wie eine Hochleistungstaschenlampe, ein sehr stark gebündeltes Signal in horizontaler Richtung ab und erzeugen daher keine nennenswerten Immissionen in der näheren Umgebung.

3 Durchführung der Messungen

3.1 Messgrößen für hochfrequente elektromagnetische Felder

Für die Beurteilung der elektromagnetischen Immissionen in der Umgebung von Hochfrequenzquellen werden bei Frequenzen oberhalb 30 Megahertz üblicherweise die folgenden Größen verwendet [5]:

- 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* (gelegentlich auch *Leistungsflussdichte* bezeichnet) S in Watt pro Quadratmeter (W/m^2) oder Milliwatt pro Quadratmeter (mW/m^2).

Die Leistungsdichte gibt die durch eine 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 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.

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 ($0,1^2 = 0,01$).

In der folgenden Untersuchung wird primär die elektrische Feldstärke E bzw. ihr Grenzwertausschöpfungsgrad als Größe für die Immissionswerte verwendet.

3.2 Verwendete Messgeräte, Qualitätssicherung

Im Rahmen der Immissionsmessungen wurde folgende Messausrüstung eingesetzt:

1. Feldanalysatorsystem Narda SRM-3006 (Seriennummer: C-0034)
2. Isotrope Messantenne 3AX 350M-6G (Seriennummer: B-0090)

Für alle verwendeten Messantennen liegen die entsprechenden Wandlungsfaktoren als Kalibrierdaten vor. Die frequenzabhängigen Dämpfungswerte der bei den Messungen gegebenenfalls eingesetzten Koaxialkabel sind ebenfalls dokumentiert. Die Messmittel (insbesondere der Feldanalysator) unterliegen einem regelmäßigen Kalibrierzyklus, sie wurden zusätzlich sowohl vor als auch nach der Messung auf ihre ordnungsgemäße Funktion überprüft.

3.3 Wie wurde gemessen und bewertet?

Mittels des Feldanalysators und einer geeigneten Messantenne wurden Frequenz und Stärke der einzelnen am Messort vorhandenen Funksignale festgestellt. Unter Einbeziehung der Kalibrierdaten der verwendeten Messantenne sowie 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") [6].

GSM-Signale werden spektral mit einer Messbandbreite von 0,2 MHz, TETRA-Signale mit 0,03 MHz, LTE-Signale mit ca. 1 MHz sowie 5G-Signale mit zirka 1,9 oder 3,8 MHz (plus anschließender Extrapolation auf die volle Signalbandbreite) erfasst. Als Detektor kommt der

RMS-Detektor zum Einsatz. Bei den LTE- und 5G-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.

Bei derartigen Immissionsmessungen muss mit einer Messunsicherheit von typisch ± 3 Dezibel (dB) gerechnet werden [7]. Gründe dafür sind beispielsweise unvermeidbare Toleranzen bei der Kalibrierung der Messantennen, die entsprechende Messtoleranz des Feldanalysators und die Unsicherheit der Probennahme. Um eine Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen der Messungen aus dem Jahr 2015 zu gewährleisten, wurde bei den im Folgenden dokumentierten Immissionswerten die Messunsicherheit auf die ermittelten Messwerte aufgeschlagen (so wie es auch 2015 praktiziert wurde).

Falls die Messunsicherheit von typisch 3 dB keine Berücksichtigung finden soll, muss die hier jeweils angegebene elektrische Feldstärke (bzw. die prozentuale Grenzwertausschöpfung) um den Faktor 1,4 verkleinert werden. Erfolgt ein Vergleich hinsichtlich der Leistungsdichte, sind die dokumentierten Ergebnisse um den Faktor 2 niedriger anzusetzen.

Die Intensität der von Mobilfunksendeanlagen erzeugten Felder ist zeitlich nicht konstant, sondern schwankt in Abhängigkeit von Verkehrsauslastung und Verbindungsqualität. Nachts sinkt die Immission durch geringes Verkehrsaufkommen in der Regel auf einen Minimalwert, der nur durch die permanent von den Anlagen abgestrahlten Signalisierungssignale erzeugt wird. Nach 26. BImSchV ist die bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung entstehende Immission zu bestimmen. Dies wird im Rahmen der durchgeführten Messungen folgendermaßen sichergestellt:

GSM-Anlagen:

Bei GSM-Anlagen wird ein spezielles Signalisierungssignal permanent mit konstanter Leistung abgestrahlt. ("Broadcastkanal", "BCCH-Träger"). Die von diesem Referenzsignal erzeugte Feldstärke wird mit dem Feldanalysator ermittelt. Um daraus die entstehenden Felder bei maximaler Anlagenauslastung zu erhalten, werden die Messergebnisse mittels der von den Betreibern zur Verfügung gestellten technischen Anlagendaten (von der Bundesnetzagentur maximal für die jeweilige Funkzelle genehmigte GSM-Sendeleistung im Verhältnis zur aktuellen Leistung des Signalisierungssignals) hochgerechnet [7].

TETRA-Anlagen:

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

LTE-Anlagen:

Bei LTE-Anlagen existieren ebenfalls Signalisierungssignale ("Reference Signal", kurz "RS"), die mit definierter, konstanter Leistung abgegeben werden. Die Feldstärke des RS-Signals wird mittels des Feldanalysators bestimmt (sogenannte "codeselektive Messung"). Die Maximallimmission ergibt sich durch Multiplikation der gemessenen RS-Feldstärken mit einem Faktor,

der sich aus der von der Bundesnetzagentur maximal genehmigten Sendeleistung des Frequenzkanals im Verhältnis zur aktuell eingestellten Leistung der RS-Signale ergibt [7].

5G-Anlagen:

Aufgrund sehr ähnlicher Signalstruktur erfolgt die Bestimmung der Maximalimmission bei 5G-Anlagen in vergleichbarer Art und Weise wie bei LTE (codeselektive Messung eines Referenzsignals mit nachfolgender multiplikativer Hochrechnung auf maximale Sendeleistung).

3.4 Wo wurde gemessen?

Die Messungen erfolgten an insgesamt sechs Punkten in der Umgebung des neuen Anlagenstandortes. Alle Messpunkte befanden sich im Freien in Bodennähe (ca. 1,5 bis 2 Meter über Grund).

Folgende Messpunkte wurden in Absprache mit dem Auftraggeber gewählt:

Messpunkt Nr.	Beschreibung	Horizontaldistanz zum Anlagenstandort	Direkte Sicht zu den Antennen?
1	Wassesbühl (südlich Hs. Nr. 9)	ca. 510 m	ja
2	Steinachern (Einfahrt Hs. Nr. 4a)	ca. 420 m	ja
3	Steinachern (Einfahrt Hs. Nr. 14)	ca. 310 m	ja
4	Steinachern (Einfahrt Hs. Nr. 16)	ca. 425 m	ja
5	Steinachern (Einfahrt Hs. Nr. 18)	ca. 425 m	ja
6	Gneiß (Bushaltestelle)	ca. 850 m	nein

Tab. 2: Messpunkte.

An diesen Punkten wurden im Juli 2021 im Rahmen der "Vorhermessung" die Immissionen, verursacht durch die damals bereits in der weiteren Umgebung vorhandenen Mobilfunkanlagen ermittelt. Die Ergebnisse dieser Messungen liegen dem Auftraggeber vor [8].

Die aktuellen Messungen erfolgten am 05. Oktober 2023 zwischen 18:00 und 18:45 Uhr (Verantwortlicher vor Ort: Dr.-Ing. M. Wuschek).

Der genaue Termin der Messungen wurde dem Anlagenbetreiber im Vorfeld nicht mitgeteilt.

Ein Umgebungsplan mit den Messpunkten sowie einige Fotos vom neuen Anlagenstandort finden sich in den Anlagen 3 beziehungsweise 4 zu diesem Bericht.

4 Festgestellte Immissionswerte

4.1 Aktuelle Immission durch Mobilfunk

In Tabelle 3 sind die an den Messpunkten ermittelten Summenimmissionswerte des Mobilfunks dokumentiert. Dabei wird in Spalte 2 angegeben, welche Immissionen auftreten, wenn die Mobilfunkanlagen gerade gar keinen Telefon- bzw. Datenverkehr abwickeln (beispielsweise nachts). Dieser Wert stellt die *Minimalimmission* dar und wird durch die permanent abgegebenen Signalisierungssignale der Sender erzeugt.

Zusätzlich aufgeführt ist auch der *Maximalimmissionswert* für Vollausbau und Vollaustlastung (Spalte 3). Dieser tritt auf, wenn die Anlagen gemäß der BNetzA-Standortbescheinigung voll ausgebaut sind und gerade den maximal möglichen Telefon- beziehungsweise 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"). Die 26. BImSchV 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].

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 Leistungsdichte in Milliwatt/m² angegeben.

Messpunkt Nr.	Grenzwertausschöpfung (<u>Minimalimmission</u>)	Grenzwertausschöpfung (<u>Maximalimmission</u>)
1	0,6 %	1,4 %
2	1,4 %	3,2 %
3	0,9 %	1,9 %
4	0,6 %	1,5 %
5	0,4 %	0,9 %
6	0,2 %	0,4 %

Tab. 3: Im Rahmen der "Nachhermessung" festgestellte Mobilfunkimmissionswerte (Grenzwertausschöpfung bezogen auf die Feldstärkegrenzwerte nach 26. BImSchV).

Die folgenden beiden Abbildungen stellen die Ergebnisse der Messungen (Tabelle 3) grafisch dar:

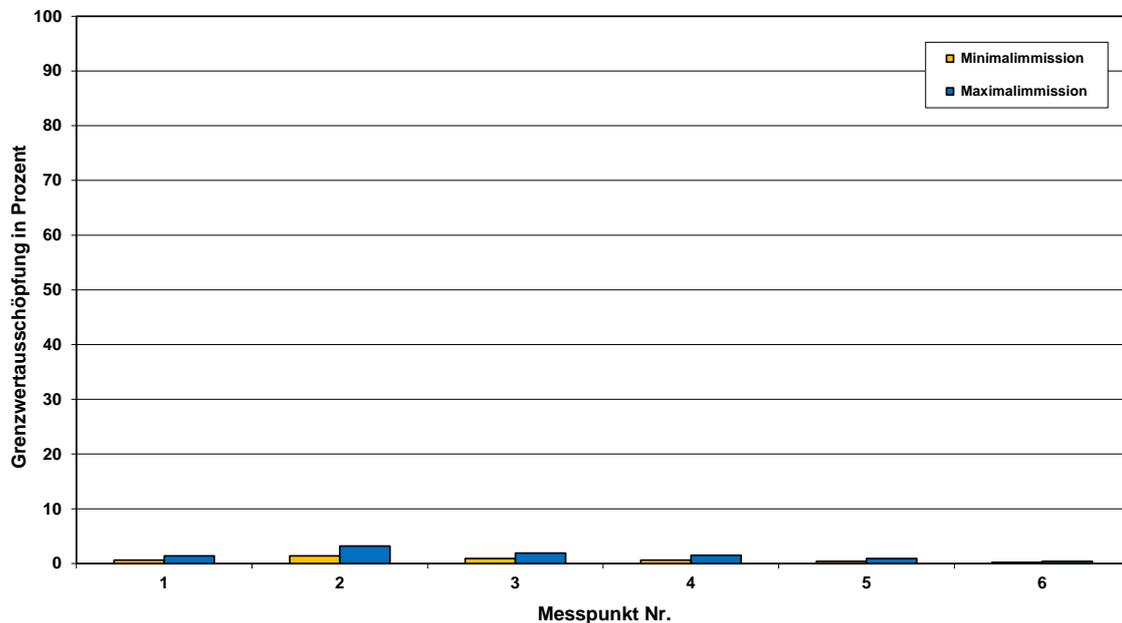


Abb. 5: Grafische Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 3 (Grenzwertausschöpfung bezogen auf die Feldstärkegrenzwerte nach 26. BImSchV).

Die Vorgaben der 26. BImSchV sind eingehalten, wenn die Grenzwertausschöpfung auch bei Maximalauslastung den Wert von 100 Prozent unterschreitet, was an den Messpunkten offensichtlich *sehr deutlich* der Fall ist.

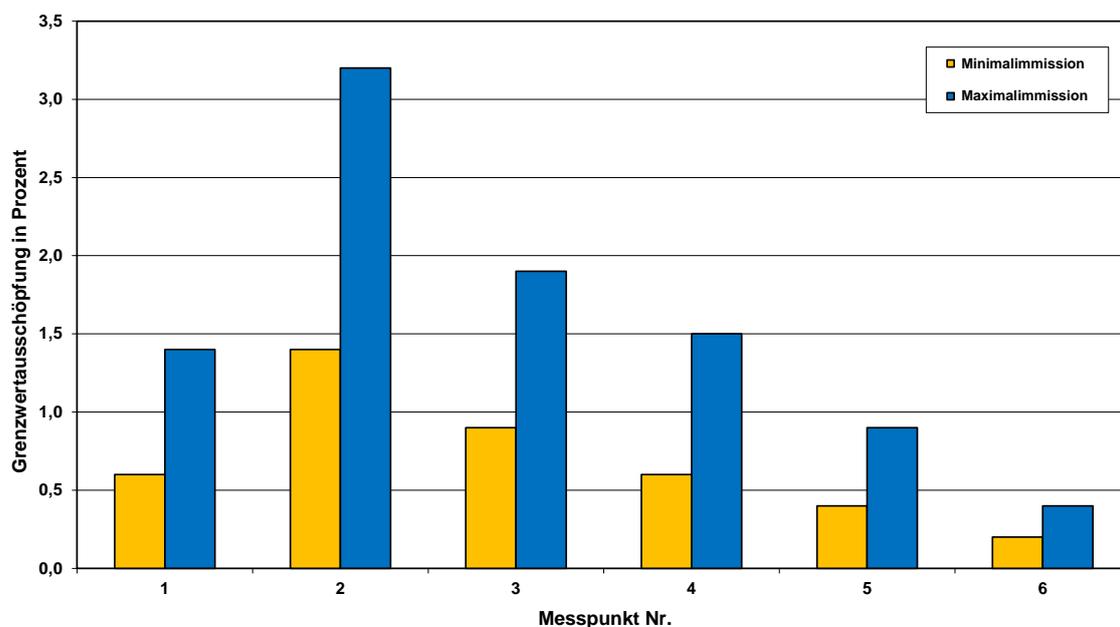


Abb. 6: Gezoomte Darstellung von Abbildung 5 (Grenzwertausschöpfung bezogen auf die Feldstärkegrenzwerte nach 26. BImSchV).

Die geringsten Immissionswerte ergaben sich am Messpunkt ohne direkte Sicht zu den Antennen des neuen Standortes (Punkt Nr. 6).

4.2 Veränderung der Immission im Vergleich zur "Vorhermessung"

Ein Vergleich der im Oktober 2023 gemessenen Immissionswerte mit den Ergebnissen der "Vorhermessung" vom Juli 2021 [8] soll Aufschluss über die Veränderung der Hochfrequenzimmissionen an den untersuchten Punkten geben.

In Tabelle 4 ist die Veränderung der ermittelten Mobilfunkimmissionswerte zahlenmäßig dokumentiert.

Messpunkt Nr.	Grenzwertausschöpfung Mobilfunk (Messung 07/2021)	Grenzwertausschöpfung Mobilfunk (Messung 10/2023)
1	0,1 %	1,4 %
2	0,2 %	3,2 %
3	0,2 %	1,9 %
4	0,1 %	1,5 %
5	0,1 %	0,9 %
6	0,2 %	0,4 %

Tab. 4: Vergleich der Ergebnisse der aktuellen Messungen mit den Resultaten der Messungen vom Juli 2021 (Grenzwertausschöpfung für Maximalimmission bezogen auf die 26. BImSchV).

Abbildung 7 stellt die Ergebnisse aus Tabelle 4 grafisch dar.

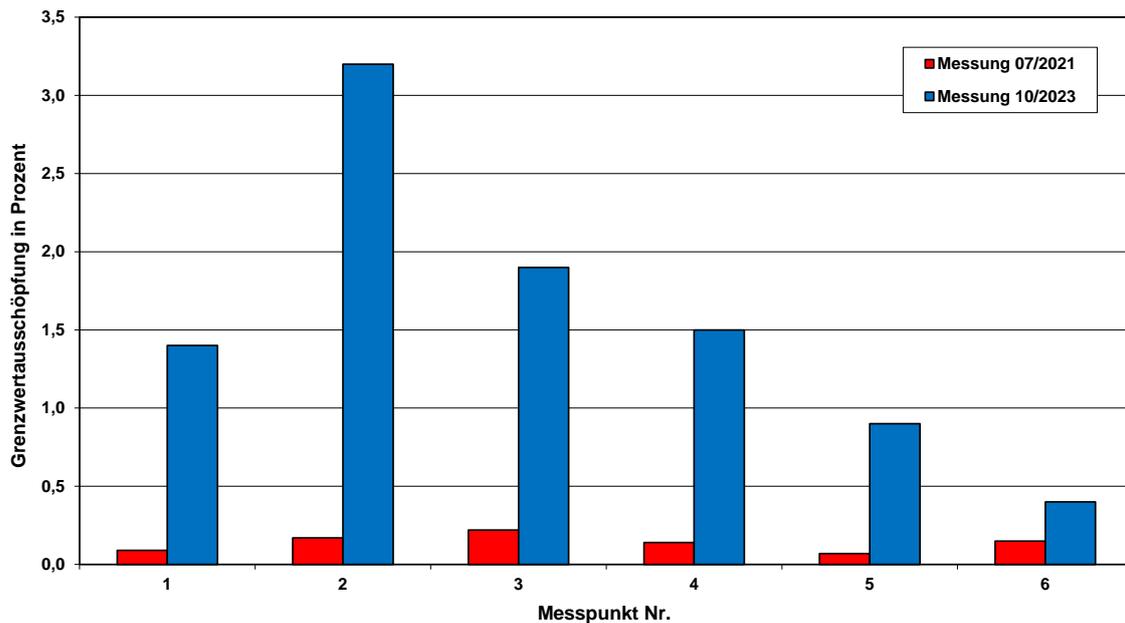


Abb. 7: Grafische Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 4 (Mobilfunk-Grenzwertausschöpfung "10/2023" und "07/2021" für Maximalimmission bezogen auf die 26. BImSchV).

Bei näherer Betrachtung der Ergebnisse aus Tabelle 4 beziehungsweise Abbildung 7 erkennt man, dass an allen Messpunkten die nach Inbetriebnahme des neuen Standortes vorhandenen Immissionen im Vergleich zu den Ergebnissen der "Vorhermessung" vom Juli 2021 signifikant zugenommen haben.

Dies ist nicht verwunderlich, denn bisher war in der näheren Umgebung dieser Punkte noch keine Mobilfunkanlage in Betrieb, was bisher zu sehr geringen Mobilfunkimmissionen (und damit auch zu einer sehr schlechten Versorgungsqualität) geführt hat.

5 Zusammenfassung

Aufgrund der Errichtung eines neuen Mobilfunkanlagenstandortes (Mast auf Fl. Nr. 397, Gem. Siegersdorf) durch die Deutsche Telekom wurde die EM-Institut GmbH von der Gemeinde Rattenberg beauftragt, an einigen Punkten in der Umgebung des Standortes mittels einer "Vorhermessung" vor und einer "Nachhermessung" nach Inbetriebnahme der neuen Sendeanlagen die Veränderung der dort durch Mobilfunksignale verursachten elektromagnetischen Immissionen messtechnisch zu ermitteln.

Die Ergebnisse der Messungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Wie aus Tabelle 3 sowie den Abbildungen 5 und 6 ersichtlich, unterschreiten die an den untersuchten Punkten festgestellten Immissionswerte auch nach Inbetriebnahme des neuen Standortes die Grenzwertvorgaben der 26. BImSchV *sehr deutlich*.
- Im Rahmen der Messungen ergaben sich - für den Extremfall der Vollaustattung der verursachenden Mobilfunkanlagen - an den untersuchten Punkten (feldstärkebezogene) Grenzwertausschöpfungen zwischen etwa 0,4 und 3,2 Prozent der nach 26. BImSchV maximal zulässigen Summenimmission.
- Die geringsten Immissionswerte ergaben sich am Messpunkt ohne direkte Sicht zu den Antennen des neuen Standortes (Punkt Nr. 6).
- Der Vergleich mit den Resultaten der im Juli 2021 durchgeführten "Vorhermessung" zeigt, dass an allen Messpunkten die nach Inbetriebnahme des neuen Standortes vorhandenen Immissionen im Vergleich zu den Ergebnissen der "Vorhermessung" vom Juli 2021 signifikant zugenommen haben.
- Dies ist nicht verwunderlich, denn bisher war in der näheren Umgebung der Messpunkte noch keine Mobilfunkanlage in Betrieb, was bisher zu äußerst geringen Mobilfunkimmissionen (und damit auch zu einer sehr schlechten Versorgungsqualität) geführt hat.

Regensburg, 25. Oktober 2023



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 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)**
"Elektromagnetische Felder im Zuge des aktuellen 5G-Netzausbaus: Technische Aspekte und biologische Wirkungen im unteren Frequenzbereich (FR1, bis ca. 7 GHz)", Stellungnahme der Strahlenschutzkommission, Bonn, (2021), www.ssk.de.
- [5] **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 50413:2019.
- [6] **Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI)**
"Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV in der Fassung des Beschlusses der 128. Sitzung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz am 17. und 18.9.2014 in Landshut"; 09/2014; Internet: www.lai-immissionsschutz.de
- [7] **M. Wuschek**
"Measuring RF Electromagnetic Fields at Mobile Communications Base Stations and Broadcast Transmitter Sites", Narda Safety Test Solutions GmbH, Pfullingen 2023.
- [8] **M. Wuschek**
Messbericht Nr. 21/030 vom 29.10.2021, EM-Institut GmbH, Regensburg

7 Anlagen

Anlage 1: Ausführliche Ergebnistabellen

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Messungen der Hochfrequenzfelder als Einzelwerte und als Summe sowie die Hochrechnung auf maximale betriebliche Anlagenauslastung dokumentiert.

Anmerkung:

Nach 26. BImSchV [1] wird im hier betrachteten Frequenzbereich die Summenbildung bei Vorhandensein mehrerer Einzelimmissionen 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 anzuwendender 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.

Leistungsdichtewerte können hingegen auf herkömmliche Weise linear aufsummiert werden.

Legende zu obiger Tabelle:

Spalte 1	Frequenz des Signalisierungskanals BCCH (MCCH) bei GSM (TETRA) bzw. Mittenfrequenz des Signalisierungssignals und Physical Cell-ID (PCI) bei LTE bzw. 5G.
Spalte 2	Messpunktnummer; Betreiberzuordnung
Spalte 3	Gesetzlicher Grenzwert nach 26. BImSchV in V/m (Worst Case, d.h. für die niedrigste Frequenz des betrachteten Bandes)
Spalte 4	Gemessene Feldstärke des BCCH (GSM), des MCCH (TETRA), der RS-Signale (LTE) bzw. des SS-Signals (5G) in dB μ V/m. Anmerkung: Wurde bei den GSM bzw. TETRA-Messungen festgestellt, dass ein Verkehrskanal (TCH) am Messpunkt eine höhere Immission erzeugt als der dazugehörige BCCH (MCCH), ist hier die Immission des TCH dokumentiert und bildet die Basis für die weitere Auswertung.
Spalte 5	Messunsicherheitsaufschlag in dB (Es wird keine Messunsicherheit aufgeschlagen, daher ist dieser Wert zu Null gesetzt).
Spalte 6	Faktor für die minimale Immission; bei GSM und TETRA = 1 (da die minimale Immission etwa der Immission entspricht, die allein durch den BCCH (MCCH) verursacht wird). Bei LTE wird hier ein Wert verwendet, der um den Faktor 4 kleiner ist, als der in Spalte 11 verwendete Faktor zur Extrapolation auf maximale Leistung, da bei LTE die minimal abgestrahlte Leistung in etwa ein Viertel der maximal abgestrahlten Leistung beträgt. Bei 5G wird ein Unterschiedsfaktor zwischen maximal und minimal abgestrahlter Leistung von 10 angewendet [4].
Spalte 7	Minimale Immission (inkl. Messunsicherheitsaufschlag) in dB μ V/m: $\langle \text{Spalte 7} \rangle = \langle \text{Spalte 4} \rangle + \langle \text{Spalte 5} \rangle + 10 \cdot \log \langle \text{Spalte 6} \rangle$
Spalte 8	Wert aus Spalte 7 als elektrische Feldstärke in V/m
Spalte 9	Prozentuale Grenzwertausschöpfung: $\langle \text{Spalte 9} \rangle = 100 \% \cdot \langle \text{Spalte 8} \rangle / \langle \text{Spalte 3} \rangle$
Spalte 10	Wert aus Spalte 7 als Leistungsdichte in mW/m ²
Spalte 11	Faktor für die maximale Immission für den Fall einer Abstrahlung der von der BNetzA maximal für das jeweilige Band genehmigten Sendeleistungen: Bei GSM bzw. TETRA fließt in diesen Faktor die von der BNetzA pro Funkzelle genehmigte Maximalleistung im Verhältnis zur aktuellen Leistung des BCCH- (MCCH-) Kanals ein. Bei LTE bzw. 5G fließen in diesen Faktor die von der BNetzA pro Funkzelle genehmigte Maximalleistungen im Verhältnis zur aktuellen RS- bzw. SSS-Leistung ein. Werden auch 5G-Antennen mit elektronischer Strahlschwenkung (mMIMO) eingesetzt (im Frequenzband MB36), wird hier zusätzlich ein Faktor eingebracht, der den größeren Antennengewinn, mit der die für die Immission verantwortlichen Verkehrssignale abgestrahlt werden berücksichtigt.
Spalte 12	Maximale Immission (inkl. Messunsicherheitsaufschlag) in dB μ V/m: $\langle \text{Spalte 12} \rangle = \langle \text{Spalte 4} \rangle + \langle \text{Spalte 5} \rangle + 10 \cdot \log \langle \text{Spalte 11} \rangle$
Spalte 13	Wert aus Spalte 12 als elektrische Feldstärke in V/m
Spalte 14	Prozentuale Grenzwertausschöpfung: $\langle \text{Spalte 14} \rangle = 100 \% \cdot \langle \text{Spalte 13} \rangle / \langle \text{Spalte 3} \rangle$
Spalte 15	Wert aus Spalte 12 als Leistungsdichte in mW/m ²

In den gelb markierten Feldern sind die sich ergebenden Summenwerte angegeben (Spalten 8/9 und 13/14: Wurzel aus der quadratischen Summe der Einzelbeiträge; Spalten 10 und 15: lineare Summation der Einzelbeiträge).

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

Falls Messwerte von weiter entfernten (d.h. unbekannt) Mobilfunkanlagenstandorten mit in die Auswertung einbezogen wurden, kommen typische Anlagendaten für die Hochrechnung auf Maximalauslastung zur Anwendung.

Anlage 2: Grenzwerte für hochfrequente Immissionen

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 folgen den Empfehlungen der *Internationalen Kommission für den Schutz nicht ionisierender Strahlung* (ICNIRP) [2], des *Europäischen Rates* [3] und 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

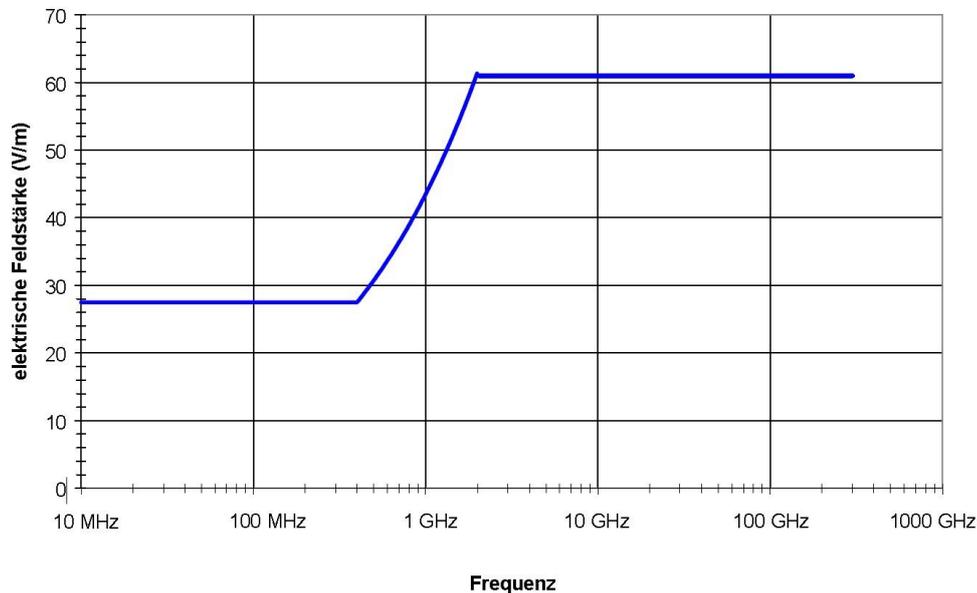


Bild 1: Grafische Darstellung der Grenzwerte (elektrische Feldstärke) aus Tabelle 1 (nach 26. BImSchV) für Hochfrequenzanlagen ab 10 MHz

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 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 Hochfrequenzbereich basiert auf der Begrenzung der vom Körper aufgenommenen Leistung, die durch die elektromagnetischen Wellen transportiert wird. 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 schwer 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.

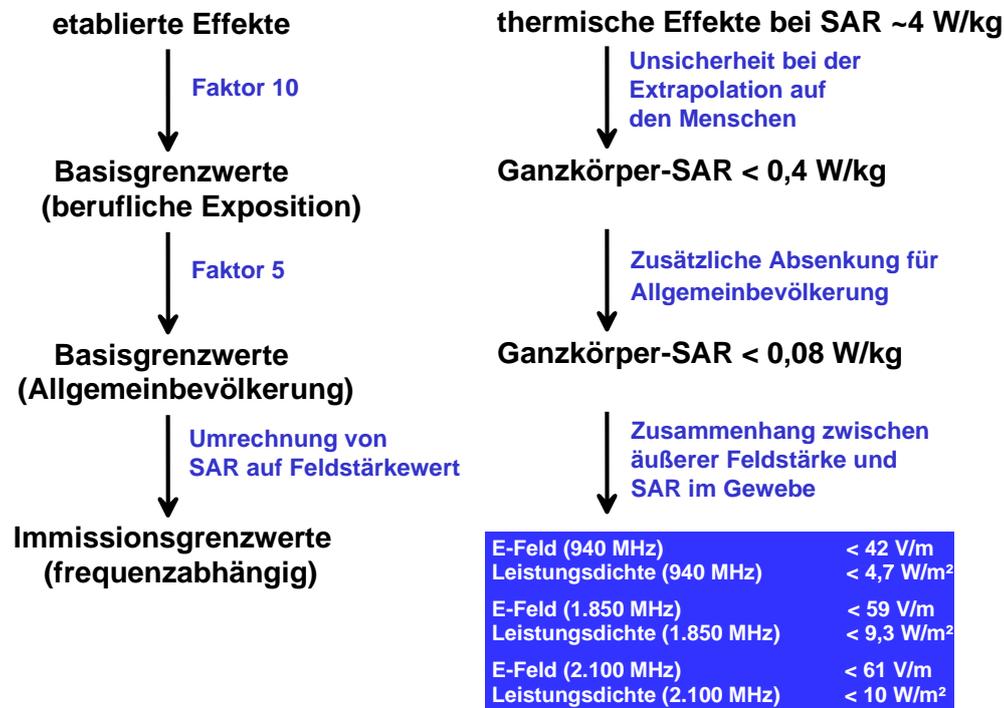
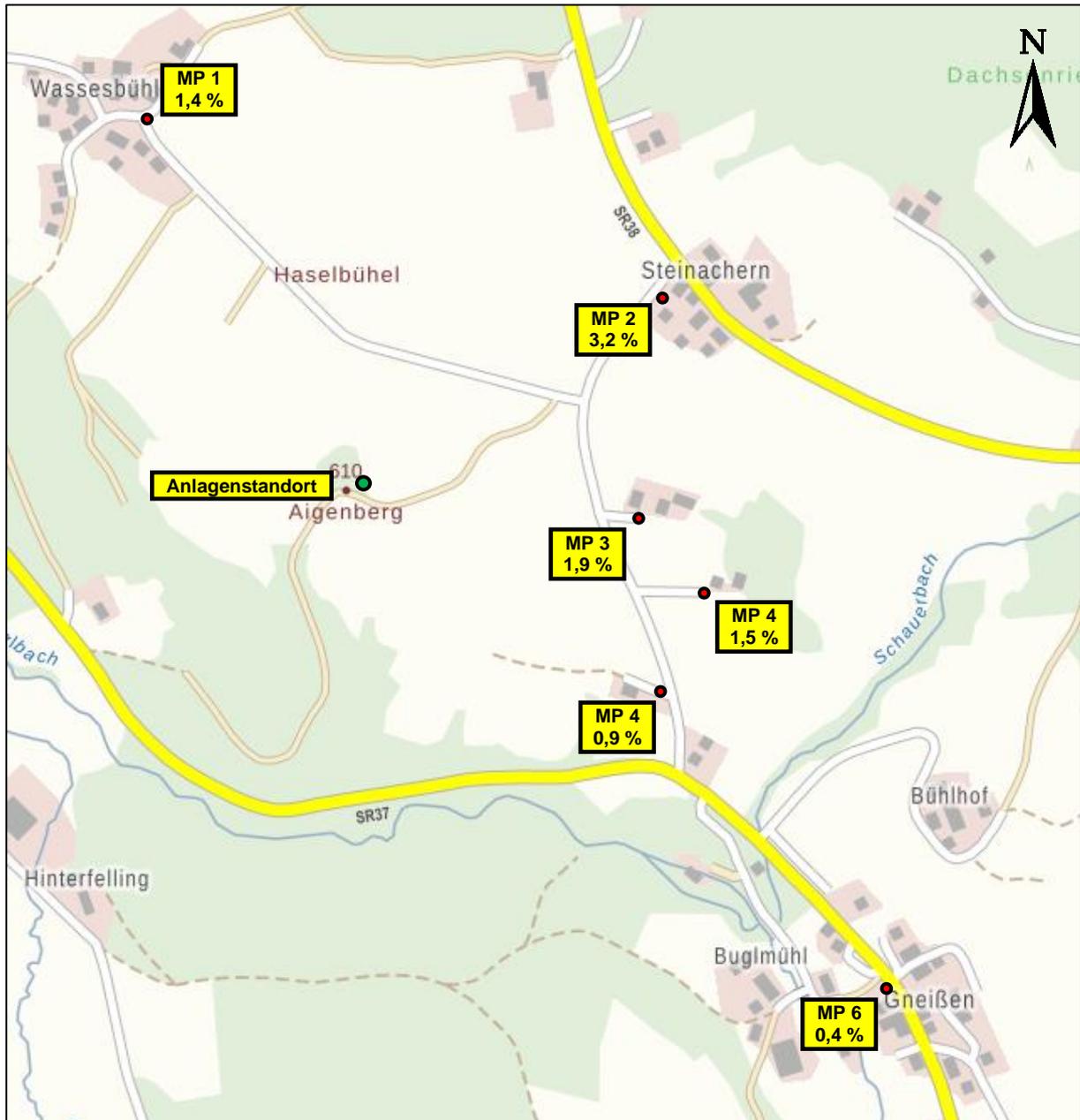


Bild 2: Darstellung der Entstehung internationaler Grenzwertempfehlungen

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*" festzulegen. Diese werden z.B. bei der Bewertung der Immissionen, verursacht durch die Benutzung von Mobiltelefonen angewendet.

Anlage 3: Lageplan



Umgebungsplan mit Anlagenstandort und den Messpunkten. An jedem Messpunkt ist der im Rahmen der "Nachhermessung" vom 05. Oktober 2023 festgestellte Mobilfunk-Immissionswert (für Maximalauslastung und Vollausbau der Anlagen nach BNetzA-Standortbescheinigung) gemäß den Vorgaben der 26. BImSchV ("Grenzwertausschöpfung" bezüglich der elektrischen Feldstärke) angegeben.

Anlage 4:



Bild 1: Messpunkt 1 mit Anlagenstandort im Hintergrund



Bild 2: Messpunkt 2 mit Anlagenstandort im Hintergrund



Bild 3: Anlagenstandort (von Messpunkt 3 aus gesehen)



Bild 4: Messpunkt 4 mit Anlagenstandort im Hintergrund



Bild 5: Messpunkt 5 mit Anlagenstandort im Hintergrund



Bild 6: Messpunkt 6