

Elektromagnetische Immissionen in der Umgebung von Mobilfunksendeanlagen

Rechnerische Abschätzung der zu erwartenden Immissionswerte
für einen geplanten Mobilfunkstandort



Auftraggeber: Stadt Ravensburg
Bauordnungsamt
Seestr. 32/2
88214 Ravensburg

Ort: Florianstr. 4
88214 Ravensburg-Weißenau

Durchführung: EM-Institut GmbH
Carlstr. 5
93049 Regensburg

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

Projektnummer: 10/014

Ort und Datum: Regensburg, 05. Juli 2010

Inhaltsverzeichnis

| | Seite |
|---|--------------|
| 1 Aufgabenstellung | 3 |
| 2 Darstellung der Berechnungsergebnisse | 4 |
| 2.1 Beschreibungsgrößen für hochfrequente Immissionen | 4 |
| 2.2 Wichtige Randbedingungen | 4 |
| 2.3 Berechnete Feldstärkewerte, Grenzwertvergleich | 6 |
| 3 Zusammenfassung | 9 |
| 4 Anlagen | 10 |
| 5 Literaturverzeichnis | 11 |

1 Aufgabenstellung

Wissenschaftlich gesichert ist, dass elektromagnetische Wellenfelder, wie sie beispielsweise von Rundfunk-, Fernseh-, Radar- und Mobilfunksendern abgestrahlt werden, ab einer bestimmten Intensität negative Auswirkungen auf die Gesundheit haben können.

Der Schutz der Bevölkerung vor diesen 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 entsprechen den aktuellen Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO), der Internationalen Kommission für den Schutz vor nichtionisierenden Strahlen (ICNIRP), des Europäischen Rates sowie der deutschen Strahlenschutzkommission [2,3,4].

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.

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

Im vorliegenden Fall sollen die hochfrequenten Immissionen näher quantifiziert werden, die bei der Realisierung einer Sendeanlage für den GSM- bzw. UMTS-Mobilfunk (Betreiber: Telefónica O₂ Deutschland GmbH & Co. OHG bzw. E-Plus Mobilfunk GmbH & Co. KG) an verschiedenen Punkten in der Umgebung des geplanten Standortes (Mast auf dem Gelände des Feuerwehrgerätehauses Ravensburg-Weißenu) zu erwarten sind.

Mittels der Berechnungsergebnisse soll insbesondere die folgende Frage beantwortet werden:

Wie groß, im Vergleich zum gesetzlichen Grenzwert [1], sind die Immissionen, die durch den geplanten Standort in der Umgebung erzeugt werden?

Die Ergebnisse der durchgeführten Immissionsberechnungen sind im folgenden dokumentiert.

2 Darstellung der Berechnungsergebnisse

2.1 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.
- Die Leistungsflussdichte S in Watt pro Quadratmeter oder Mikrowatt pro Quadratmeter (1 Mikrowatt = 1 Millionstel Watt).

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 Feldstärke in einem festen Verhältnis zueinander. Beide Größen sind im Fernfeld äquivalent, ähnlich wie Stromaufnahme und Leistungsverbrauch bei Elektrogeräten. Bei allen hier durchgeführten Prognoseberechnungen kann von Fernfeldbedingungen ausgegangen werden, da die Prognosepunkte ausreichend weit von der Antenne entfernt sind. Für die Beurteilung der Feldintensität in den bei dieser Untersuchung auftretenden Abständen zu den Antennen genügt also die Angabe einer dieser beiden Größen.

Im folgenden wird die elektrische Feldstärke E als Größe für die Immissionswerte verwendet.

2.2 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 dort herrschende **Maximalimmission** der betrachteten Station zu erhalten. Auf diese Weise wird in der Abschätzung versucht, möglichst "ungünstige" Bedingungen und somit möglichst "hohe" Felder an Prognosepunkten 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 Betreiber mitgeteilt. Auch die anderen notwendigen technischen Daten (Typ, Montagehöhe, Downtilt und Ausrichtung der Antennen) wurden uns ebenfalls schriftlich übermittelt (siehe Tabellen in Kapitel 4). Die angegebenen Werte sind nach unserer Erfahrung typisch für derartige Mobilfunksendeanlagen.
- Topografische Höhenunterschiede zwischen dem Antennenstandort und den betrachteten Punkten wurden der topografischen Karte Baden-Württemberg (1:50.000) sowie "Google-Earth" entnommen und bei den Prognoseberechnungen berücksichtigt. Zusätzlich wurden

die Örtlichkeiten im Rahmen einer Begehung in Augenschein genommen und fotografisch dokumentiert.

- Die berechneten Immissionswerte beziehen sich auf Punkte an der Gebäudefassade an denen die höchste Immission zu erwarten ist. In den meisten Fällen handelt es sich dabei um die obersten genutzten Stockwerke der vorhandenen Wohnbebauung, von denen aus direkte Sichtverbindung zu den Antennen besteht. Wird die Sichtverbindung zum Installationsort der Antennen durch Gebäude oder Bewuchs (Bäume) versperrt, sind dort deutlich niedrigere Immissionswerte zu erwarten, als in der Prognose errechnet. Auch im Gebäudeinneren ist aufgrund der Gebäudedämpfung mit niedrigeren Immissionswerten, als hier prognostiziert, zu rechnen.
- Bei den betrachteten Punkten wurde nicht nur der Immissionswert für einen einzigen Ort prognostiziert, sondern es wurde jeweils der höchste Immissionswert innerhalb eines Volumens von etwa 1 m^3 gesucht und als Expositionswert im Gutachten verwendet.
- Das für die Feldstärkebestimmung angewendete Berechnungsmodell (ungestörte Freiraumausbreitung) führt regelmäßig 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 Aufschlagfaktor 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.

2.3 Berechnete Feldstärkewerte, Grenzwertvergleich

Der im folgenden durchgeführte Grenzwertvergleich erfolgt mit den in Deutschland rechtsverbindlichen Vorgaben der 26. BImSchV [1]. Diese gibt für Sendeanlagen des GSM-900-Mobilfunks einen Grenzwert für die Leistungsflussdichte von ca. 4,6 Watt/m² vor, was einer elektrischen Feldstärke von etwa 42 Volt/m entspricht. Für GSM-1800-Sendeanlagen gilt ein Grenzwert von ca. 9,2 Watt/m² bzw. 59 Volt/m. Bei UMTS-Sendeanlagen beträgt der Grenzwert 61 Volt/m (Leistungsflussdichte: 10 Watt/m²).

Es wurden für die in Tabelle 1 ausgewiesenen speziellen Punkte individuelle Immissionsberechnungen durchgeführt. Die Lage der untersuchten Punkte (grüne Punkte) sowie des betrachteten Standortes (roter Punkt) ist in Abbildung 1 dargestellt, die Ergebnisse der Immissionsuntersuchungen werden in Tabelle 2 wiedergegeben.

Neben der elektrischen Feldstärke in Volt/m und der Leistungsflussdichte in $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (Mikrowatt pro Quadratmeter) ist in Tabelle 2 auch angegeben, wie viel Prozent der Grenzwerte nach 26. BImSchV in der Summe von der elektrischen Feldstärke an den einzelnen Berechnungspunkten jeweils erreicht werden ("Grenzwertausschöpfung").

Die Prognoseberechnungen wurden für neun Punkte in der Umgebung des geplanten Antennenstandortes durchgeführt. Im Detail handelt es sich um folgende Punkte:

| Punkt Nr. | Beschreibung | Entfernung zum Standort | Betrachtete Höhe über Grund |
|-----------|---|-------------------------|-----------------------------|
| 1 | Wohnhaus Ravensburger Str. 21 | ca. 175 m | 7,5 m |
| 2 | Wohnhaus Kohlerstr. 4 | ca. 124 m | 6,0 m |
| 3 | Wohnhaus Kohlerstr. / Am Kanal | ca. 178 m | 6,0 m |
| 4 | Grundschule Weißenau | ca. 399 m | 7,5 m |
| 5 | Schwabenstr. (Kindergarten) | ca. 296 m | 5,0 m |
| 6 | Wohnhaus Am Kanal | ca. 160 m | 6,0 m |
| 7 | Wohnhaus Am Kanal / Weingartshofer Str. | ca. 313 m | 10,0 m |
| 8 | Wohnhaus Ravensburger Str. 11 | ca. 180 m | 6,0 m |
| 9 | Wohnhaus Weißenauer Str. | ca. 241 m | 7,5 m |

Tab. 1: Betrachtete Punkte in der Umgebung des geplanten Standortes.

Für diese Punkte ergaben die Berechnungen folgende Immissionswerte:

| Punkt Nr. | Elektrische Feldstärke in Volt/m | Grenzwertausschöpfung (bezüglich der elektr. Feldstärke) | Leistungsflussdichte in $\mu\text{W}/\text{m}^2$ |
|-----------|----------------------------------|--|--|
| 1 | 3,45 V/m | 6,93 % | 31.600,0 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ |
| 2 | 4,41 V/m | 9,10 % | 51.584,5 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ |
| 3 | 2,38 V/m | 4,08 % | 15.051,2 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ |
| 4 | 1,26 V/m | 2,13 % | 4.218,7 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ |
| 5 | 2,04 V/m | 3,42 % | 11.016,9 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ |
| 6 | 3,94 V/m | 6,63 % | 41.111,3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ |
| 7 | 1,45 V/m | 2,67 % | 5.552,3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ |
| 8 | 3,80 V/m | 7,60 % | 38.229,2 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ |
| 9 | 2,32 V/m | 3,90 % | 14.324,9 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ |

Tab. 2: Ergebnis der Immissionsberechnungen für die betrachteten Punkte in der Umgebung des geplanten Standortes.



Abb. 1: Umgebung des geplanten Standortes, Lage der betrachteten Punkte sowie Ergebnis der Immissionsberechnungen.

3 Zusammenfassung

Aus Tabelle 2 bzw. Abbildung 1 lassen sich somit die folgenden Schlüsse ziehen:

- Der Grenzwert nach 26. BImSchV wird an allen betrachteten Punkten deutlich unterschritten.
- Die Prognoseberechnungen an den neun betrachteten Punkten ergaben für den Fall der Maximalauslastung und Vollausbau Grenzwertausschöpfungen zwischen 2,1 und 9,1 Prozent.
- Die zu erwartenden Immissionswerte werden in diesem Gutachten sehr konservativ prognostiziert, d.h. es wird eher eine Über- als eine Unterschätzung vorgenommen. Grund dafür ist - neben der Annahme einer ungestörten Sichtverbindung zwischen Antennenstandort und Prognosepunkt - die teilweise Verwendung von Antennendaten, die alle möglichen Downtilt-Einstellungen auf einmal umfassen. In der Realität wird jedoch nur ein Strahlabsenkungs-Winkel für die jeweilige Sektorantenne eingestellt, so dass an einigen Orten durchaus Immissionen in der hier prognostizierten Höhe auftreten können, an anderen Orten aber auch deutlich weniger.

An dieser Stelle sei noch darauf hingewiesen, dass im Rahmen dieses Gutachtens keine Prüfung der funktechnischen Eignung des betrachteten Standortes durchgeführt wurde. Diese Bewertung kann nur durch den jeweiligen Netzbetreiber erfolgen.

Regensburg, 05. Juli 2010



Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek

4 Anlagen

Technische Daten der Mobilfunkanlagen

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

| Betreiber: Telefónica O ₂ | Ravensburg-Weißenau, Florianstr. 4 | | | | | |
|---|------------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|--|--|
| Antennen | A | B | C | D | | |
| Funksystem | GSM 1800 | GSM 1800 | GSM 1800 | GSM 900 | | |
| Montagehöhe der Senderantennenunterkante über Grund in Meter | 22 | 22 | 22 | 22 | | |
| Hauptstrahlrichtung in Grad | 40 | 160 | 280 | 160 | | |
| Mechanische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Elektrische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad | 0 - 6 | 0 - 6 | 0 - 6 | 0 - 8 | | |
| Antennentyp | HBXX-6516-DS-VTM | TBXLHB-6565-VTM | HBXX-6516-DS-VTM | TBXLHB-6565-VTM | | |
| Spitzenleistung pro Kanal am Senderausgang in Watt | 40 | 40 | 40 | 40 | | |
| Anzahl der beantragten Kanäle | 2 | 2 | 2 | 2 | | |
| Verluste zwischen Senderausgang und Antenneneingang in dB | 0 | 0 | 0 | 0 | | |

| Betreiber: Telefónica O ₂ | Ravensburg-Weißenau, Florianstr. 4 | | | | | |
|---|------------------------------------|-----------------|------------------|--|--|--|
| Antennen | E | F | G | | | |
| Funksystem | UMTS | UMTS | UMTS | | | |
| Montagehöhe der Senderantennenunterkante über Grund in Meter | 22 | 22 | 22 | | | |
| Hauptstrahlrichtung in Grad | 40 | 160 | 280 | | | |
| Mechanische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad | 0 | 0 | 0 | | | |
| Elektrische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad | 0 - 4 | 0 - 4 | 0 - 4 | | | |
| Antennentyp | HBXX-6516-DS-VTM | TBXLHB-6565-VTM | HBXX-6516-DS-VTM | | | |
| Spitzenleistung pro Kanal am Senderausgang in Watt | 24 | 24 | 24 | | | |
| Anzahl der beantragten Kanäle | 2 | 2 | 2 | | | |
| Verluste zwischen Senderausgang und Antenneneingang in dB | 0 | 0 | 0 | | | |

| Betreiber: E-Plus | Ravensburg-Weißenau, Florianstr. 4 | | | | | |
|---|---|---------|---------|---|---|---|
| Antennen | A | B | C | D | E | F |
| Funksystem | UMTS | UMTS | UMTS | | | |
| Montagehöhe der Senderantennenunterkante über Grund in Meter | 25 | 25 | 25 | | | |
| Hauptstrahlrichtung in Grad | 70 | 180 | 260 | | | |
| Mechanische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad | 0 | 0 | 0 | | | |
| Elektrische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad | 2 | 2 | 2 | | | |
| Antennentyp | 742_236 | 742_236 | 742_236 | | | |
| Spitzenleistung pro Kanal am Senderausgang in Watt | 25 | 25 | 25 | | | |
| Anzahl der beantragten Kanäle | 2 | 2 | 2 | | | |
| Verluste zwischen Senderausgang und Antenneneingang in dB | 2,3 | 2,4 | 2,4 | | | |

5 Literaturverzeichnis

- [1] **Bundesrepublik Deutschland**
 "26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes"
 Bundesgesetzblatt Jg. 1996, Teil I, Nr.66, Bonn 20.12.1996.
- [2] **International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)**
 "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)"
 Health Physics, Vol. 74, Nr. 4, April 1998, S. 494-522.
- [3] **Der Rat der Europäischen Union**
 "Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz - 300 GHz)"
 Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L199, 30.07.1999, S. 59 – 70.
- [4] **Strahlenschutzkommission (SSK)**
 "Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern; Empfehlungen der Strahlenschutzkommission"
 Bonn, 14.09.2001 (www.ssk.de).
- [5] **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).