

Elektromagnetische Immissionen in der Umgebung von Mobilfunksendeanlagen

Rechnerische Abschätzung der zu erwartenden Immissionswerte für die Erweiterung eines Mobilfunkstandortes



Auftraggeber: Telekom Deutschland GmbH
Niederlassung Stuttgart
Lise-Meitner-Str. 4
70736 Fellbach

Ort: Marienplatz 28
88212 Ravensburg

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: 10/023

Ort und Datum: Regensburg, 16. August 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
2.4 Vergleich mit den Schweizer "Anlagegrenzwerten"	14
3 Zusammenfassung	16
4 Technische Daten der Mobilfunkanlagen	17
5 Literaturverzeichnis	20

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 nach Erweiterung eines vorhandenen GSM-Mobilfunkstandortes (88212 Ravensburg, Marienplatz 28; "Blaserturm") mit Sendeanlagen für den UMTS-Mobilfunk (Betreiber: Telekom) an verschiedenen Punkten in der Umgebung des Standortes zu erwarten sind. Da in unmittelbarer Nachbarschaft des betrachteten Standortes bereits Mobilfunkanlagen betrieben werden, sollen nicht nur die Immissionen, verursacht durch den Standort der Telekom bestimmt werden. Vom Auftraggeber gewünscht ist hingegen die Berechnung der Summenimmission, verursacht durch alle in der näheren Umgebung befindlichen Mobilfunkstandorte.

In die Berechnungen wurden daher folgende Standorte einbezogen:

Standort Nr.	Standort	Betreiber (Mobilfunksystem)
1	Marienplatz 28 (Blaserturm)	Telekom (GSM-900 + GSM-1800 + UMTS)
2	Marienplatz 26 (Rathausturm)	Telefónica (GSM-1800)
3	Bachstr. 2-4	Vodafone (GSM-900 + UMTS), E-Plus (GSM-900 + GSM-1800 + UMTS)

Tab. 1: In die Immissionsberechnungen einbezogene Standorte.

Am Standort 3 wird von E-Plus aktuell zwar noch keine UMTS-Sendeanlage betrieben, da jedoch nach Auskunft des Betreibers diese Erweiterung für die absehbare Zukunft bereits geplant ist, wird im Rahmen dieser Berechnungen UMTS bei E-Plus bereits mit berücksichtigt.

Mittels der Berechnungsergebnisse soll insbesondere die folgende Frage beantwortet werden:

- **Wie groß, im Vergleich zum gesetzlichen Grenzwert [1], sind die Immissionen, die durch die vorhandenen und geplanten Anlagen in der Umgebung erzeugt werden?**
- **Werden an den betrachteten Punkten auch die Schweizer Grenzwerte ("Anlagegrenzwerte für Orte mit empfindlicher Nutzung") eingehalten?**

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 (V/m).
- Die Leistungsflussdichte S in Watt pro Quadratmeter (W/m^2) oder Mikrowatt pro Quadratmeter ($\mu W/m^2$).

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

Im "Fernfeld" einer Antenne stehen Leistungsflussdichte und elektrische 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 den Antennen entfernt sind. Für die Beschreibung der Immission genügt also die Angabe einer der beiden Größen.

In der folgenden Untersuchung wird primär die elektrische Feldstärke E bzw. ihr Grenzwert-Ausschöpfungsgrad 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 Abschät-

zung 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 (1:25.000) sowie "Google-Earth" entnommen und bei den Prognoseberechnungen berücksichtigt. Zusätzlich wurden die Örtlichkeiten im Rahmen einer Begehung in Augenschein genommen und fotografisch dokumentiert.
- Die hier berechneten Immissionswerte beziehen sich grundsätzlich auf Punkte im Freien bzw. an der Fassade von Gebäuden. Wird die Sichtverbindung zum Installationsort der Antennen durch andere Gebäude oder Bewuchs (Bäume) versperrt, sind in diesen Bereichen 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. Dies gilt insbesondere für Räume auf der vom Antennenstandort abgewandten Seite der Gebäude.
- 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 Para-

meter 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 2 ausgewiesenen speziellen Punkte individuelle Immissionsberechnungen durchgeführt. Die Lage der untersuchten Punkte (grüne Punkte) sowie der Mobilfunkstandorte (rote Punkte) ist in Abbildung 2 dargestellt, die Ergebnisse der Immissionsuntersuchungen werden in den Tabellen 3 bis 5 wiedergegeben.

Neben der elektrischen Feldstärke in Volt/m und der Leistungsflussdichte in $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (Mikrowatt pro Quadratmeter) ist in den folgenden Tabellen 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 insgesamt 28 Punkte in der Umgebung der betrachteten Antennenstandorte durchgeführt. Im Detail handelt es sich um folgende Punkte:

Punkt Nr.	Adresse	Entfernung zum Standort 1	Betrachtete Höhe über Grund
1	Marienplatz 28	ca. 25 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m
2	Marienplatz 32	ca. 15 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m
3	Herrenstr. 12	ca. 110 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m
4	Gespintsmarkt 13	ca. 80 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m
5	Rathhausstr. 3	ca. 110 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m
6	Marktstr. 10	ca. 145 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m
7	Marienplatz 5	ca. 190 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m
8	Marienplatz 2	ca. 245 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m
9	Adlerstr. 50	ca. 285 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m
10	Marktstr. 55	ca. 285 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m
11	Herrenstr. 41	ca. 265 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m

Punkt Nr.	Beschreibung	Entfernung zum Standort 1	Betrachtete Höhe über Grund
12	Marienplatz 29	ca. 55 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m
13	Marienplatz 69	ca. 140 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m
14	Bachstr. 57	ca. 340 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m
15	Marienplatz 12	ca. 165 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m
16	Marktstr. 67	ca. 365 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m
17	Marktstr. 28	ca. 270 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m
18	Herrenstr. 48	ca. 280 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m
19	Herrenstr. 29	ca. 230 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m
20	Herrenstr. 2	ca. 100 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m
21	Kirchstr. 21	ca. 110 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m
22	Kirchstr. 2	ca. 35 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m
23	Marienplatz 37	ca. 55 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m
24	Marienplatz 51	ca. 85 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m
25	Marienplatz 52	ca. 175 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m
26	Herrenstr. 3	ca. 145 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m
27	Charlottenstr. 14	ca. 180 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m
28	Bachstr. 25	ca. 190 m	1,5m / 5,0 m / 10,0 m

Tab. 2: Prognosepunkte in der Umgebung der betrachteten Standorte.

Um die für den Innenstadtbereich von Ravensburg typischen mehrstöckigen Gebäude angemessen zu berücksichtigen, wurden die Immissionen nicht nur für eine, sondern jeweils für drei Höhen über Grund (1,5 Meter, 5,0 Meter und 10,0 Meter) berechnet. Für diese drei Höhen ergaben die Berechnungen folgende Immissionswerte:

1,5 Meter über Grund:

Punkt Nr.	Elektrische Feldstärke in Volt/m	Grenzwertausschöpfung (bezüglich der elektr. Feldstärke)	Leistungsflussdichte in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
1	6,62 V/m	12,66 %	116.419,7 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
2	5,28 V/m	10,48 %	73.942,8 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

Punkt Nr.	Elektrische Feldstärke in Volt/m	Grenzwertausschöpfung (bezüglich der elektr. Feldstärke)	Leistungsflussdichte in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
3	5,90 V/m	10,57 %	92.233,0 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
4	7,42 V/m	13,22 %	146.179,5 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
5	4,98 V/m	9,05	65.769,9 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
6	4,66 V/m	8,35 %	57.719,3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
7	3,94 V/m	7,04 %	41.155,9 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
8	3,12 V/m	5,58 %	25.888,5 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
9	3,51 V/m	6,45 %	32.749,0 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
10	2,38 V/m	4,32 %	15.001,2 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
11	2,68 V/m	4,88 %	19.066,1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
12	5,66 V/m	10,97 %	85.032,9 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
13	5,12 V/m	9,52 %	69.638,0 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
14	3,13 V/m	5,76 %	26.056,0 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
15	5,29 V/m	9,31 %	74.349,0 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
16	1,78 V/m	3,23 %	8.366,4 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
17	2,60 V/m	4,69 %	17.962,4 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
18	2,48 V/m	4,53 %	16.296,7 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
19	3,19 V/m	5,77 %	26.930,6 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
20	5,38 V/m	9,81 %	76.786,6 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
21	4,97 V/m	9,22 %	65.516,0 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
22	5,40 V/m	10,65 %	77.528,9 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
23	4,65 V/m	8,29 %	57.380,8 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
24	6,71 V/m	12,52 %	119.491,1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
25	3,99 V/m	7,35 %	42.277,1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
26	5,00 V/m	8,96 %	66.441,5 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
27	4,84 V/m	9,06 %	62.242,7 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
28	3,58 V/m	7,15 %	34.014,1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

Tab. 3: Ergebnis der Immissionsberechnungen für die betrachteten Punkte in der Umgebung der betrachteten Standorte (1,5 Meter über Grund).

5,0 Meter über Grund:

Punkt Nr.	Elektrische Feldstärke in Volt/m	Grenzwertausschöpfung (bezüglich der elektr. Feldstärke)	Leistungsflussdichte in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
1	7,10 V/m	13,65 %	133.632,5 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
2	7,52 V/m	14,50 %	150.124,3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
3	5,91 V/m	10,59 %	92.673,1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
4	8,24 V/m	14,55 %	180.144,0 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
5	6,88 V/m	12,13 %	125.676,0 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
6	4,66 V/m	8,34 %	57.524,9 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
7	3,92 V/m	7,02 %	40.867,5 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
8	3,10 V/m	5,54 %	25.506,0 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
9	3,72 V/m	6,81 %	36.812,2 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
10	2,34 V/m	4,25 %	14.531,2 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
11	2,63 V/m	4,80 %	18.393,0 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
12	6,51 V/m	12,46 %	112.445,9 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
13	5,42 V/m	10,03 %	77.954,9 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
14	3,23 V/m	5,91 %	27.644,9 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
15	5,33 V/m	9,37 %	75.492,5 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
16	1,73 V/m	3,15 %	7.966,7 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
17	2,57 V/m	4,63 %	17.521,9 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
18	2,43 V/m	4,44 %	15.625,2 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
19	3,12 V/m	5,66 %	25.865,7 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
20	5,51 V/m	10,01 %	80.529,6 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
21	5,14 V/m	9,51 %	70.174,0 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
22	6,44 V/m	12,30 %	110.022,7 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
23	5,94 V/m	10,64 %	93.707,5 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
24	7,95 V/m	14,99 %	167.547,3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
25	4,07 V/m	7,47 %	43.868,7 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
26	5,00 V/m	8,95 %	66.269,0 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
27	5,15 V/m	9,58 %	70.417,2 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

Punkt Nr.	Elektrische Feldstärke in Volt/m	Grenzwertausschöpfung (bezüglich der elektr. Feldstärke)	Leistungsflussdichte in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
28	3,84 V/m	7,59 %	39.136,0 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

Tab. 4: Ergebnis der Immissionsberechnungen für die betrachteten Punkte in der Umgebung der betrachteten Standorte (5,0 Meter über Grund).

10,0 Meter über Grund:

Punkt Nr.	Elektrische Feldstärke in Volt/m	Grenzwertausschöpfung (bezüglich der elektr. Feldstärke)	Leistungsflussdichte in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
1	8,38 V/m	15,78 %	186.297,3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
2	10,15 V/m	19,03 %	273.562,4 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
3	5,84 V/m	10,47 %	90.377,6 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
4	8,36 V/m	14,76 %	185.711,4 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
5	9,24 V/m	16,03 %	226.662,0 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
6	4,56 V/m	8,18 %	55.267,8 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
7	3,91 V/m	6,98 %	40.504,4 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
8	3,09 V/m	5,53 %	25.383,9 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
9	3,97 V/m	7,24 %	41.931,9 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
10	2,27 V/m	4,13 %	13.725,7 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
11	2,53 V/m	4,63 %	17.037,1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
12	7,25 V/m	13,71 %	139.690,4 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
13	5,70 V/m	10,50 %	86.184,2 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
14	3,28 V/m	5,99 %	28.535,5 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
15	5,23 V/m	9,19 %	72.496,6 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
16	1,66 V/m	3,02 %	7.277,2 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
17	2,51 V/m	4,52 %	16.661,0 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
18	2,34 V/m	4,29 %	14.504,1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
19	3,02 V/m	5,48 %	24.163,9 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
20	5,50 V/m	10,02 %	80.384,0 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
21	5,25 V/m	9,68 %	73.092,9 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

Punkt Nr.	Elektrische Feldstärke in Volt/m	Grenzwertausschöpfung (bezüglich der elektr. Feldstärke)	Leistungsflussdichte in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
22	8,59 V/m	15,74 %	195.765,1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
23	11,38 V/m	21,52 %	343.772,5 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
24	9,94 V/m	18,66 %	262.069,5 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
25	4,08 V/m	7,50 %	44.211,0 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
26	4,91 V/m	8,80 %	64.105,5 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
27	5,43 V/m	10,06 %	78.333,1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
28	4,19 V/m	8,15 %	46.660,6 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

Tab. 5: Ergebnis der Immissionsberechnungen für die betrachteten Punkte in der Umgebung der betrachteten Standorte (10,0 Meter über Grund).

Wie aus obigen Tabellen ersichtlich, ergeben sich an einigen Punkten vergleichsweise hohe Immissionswerte mit Grenzwertausschöpfungen von mehr als zehn Prozent. An dieser Stelle muss allerdings nochmals darauf hingewiesen werden, dass es sich hierbei um die Summenimmission einer großen Anzahl an Anlagen handelt und dass die Dämpfung der Gebäude in den Berechnungen nicht berücksichtigt wurde. Dies bedeutet, dass die hier angegebenen Werte nur an den Punkten in der prognostizierten Höhe auftreten werden, von denen aus direkte Sichtverbindungen zu allen drei Antennenstandorten (Blaserturm, Rathausturm und Bachstr.) besteht. Fehlt die Sichtverbindung zu einigen oder allen Standorten, sind Immissionen zu erwarten, die um Größenordnungen geringer ausfallen.

Zum Vergleich ist in folgender Tabelle dargestellt, welche Immissionen an den 28 Punkten (in 10 Meter Höhe) nur durch den Standort "Blaserturm" verursacht werden.

Punkt Nr.	Elektrische Feldstärke in Volt/m	Grenzwertausschöpfung (bezüglich der elektr. Feldstärke)	Leistungsflussdichte in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
1	2,14 V/m	4,68 %	12.176,0 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
2	1,78 V/m	3,47 %	8.391,8 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
3	2,85 V/m	4,93 %	21.556,5 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
4	3,55 V/m	6,15 %	33.381,4 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
5	2,81 V/m	4,86 %	20.976,8 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
6	1,70 V/m	2,92 %	7.652,2 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
7	1,74 V/m	3,00 %	8.053,4 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
8	1,36 V/m	2,33 %	4.883,7 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

Punkt Nr.	Elektrische Feldstärke in Volt/m	Grenzwertausschöpfung (bezüglich der elektr. Feldstärke)	Leistungsflussdichte in $\mu\text{W}/\text{m}^2$
9	0,70 V/m	1,26 %	1.313,7 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
10	0,80 V/m	1,38 %	1.717,4 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
11	1,03 V/m	1,77 %	2.798,4 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
12	2,03 V/m	4,26 %	10.915,3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
13	1,68 V/m	2,96 %	7.526,0 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
14	0,43 V/m	0,76 %	482,5 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
15	2,04 V/m	3,52 %	11.055,9 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
16	0,55 V/m	0,96 %	811,3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
17	0,92 V/m	1,58 %	2.259,6 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
18	0,90 V/m	1,55 %	2.146,0 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
19	1,31 V/m	2,25 %	4.555,7 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
20	2,44 V/m	4,21 %	15.777,6 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
21	1,63 V/m	2,82 %	7.039,2 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
22	2,13 V/m	4,62 %	11.981,9 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
23	0,81 V/m	1,51 %	1.754,8 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
24	3,38 V/m	5,86 %	30.378,6 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
25	1,05 V/m	1,84 %	2.943,5 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
26	2,31 V/m	3,99 %	14.171,9 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
27	1,98 V/m	3,51 %	10.382,3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
28	0,83 V/m	1,44 %	1.835,5 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

Tab. 6: Ergebnis der Immissionsberechnungen nur durch den Standort "Blaserturm" (10,0 Meter über Grund).

In Abbildung 1 sind die Berechnungsergebnisse aus den Tabellen 5 und 6 vergleichend gegenübergestellt:

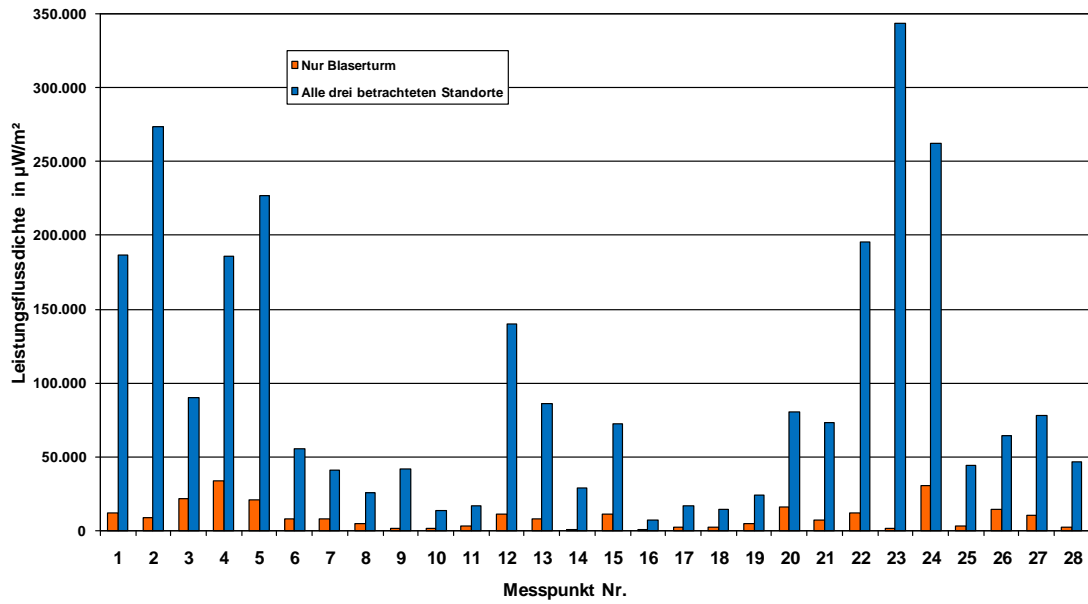


Abb. 1: Immissionsvergleich: "Blaserturm" - Alle drei betrachteten Standorte.

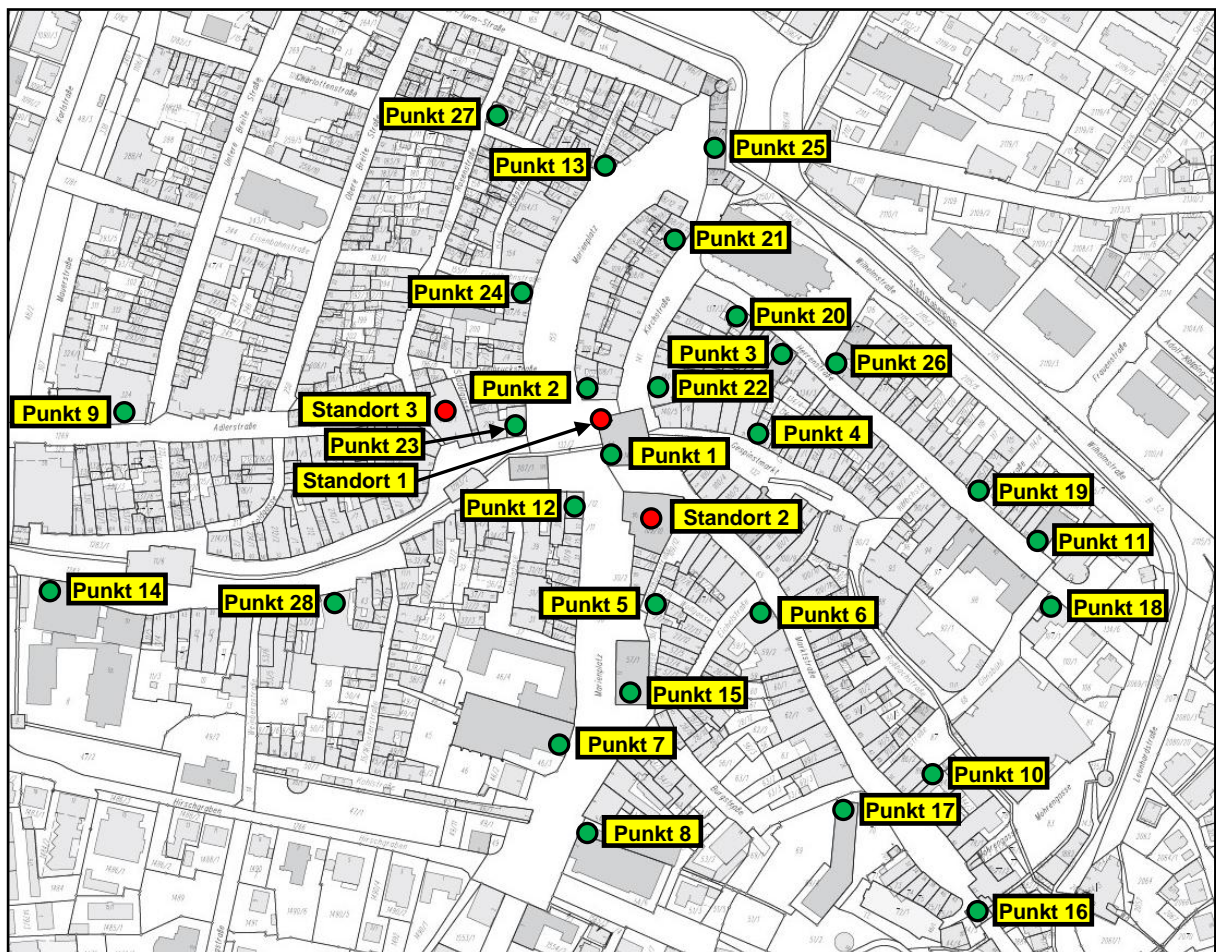


Abb. 2: Umgebung der betrachteten Standorte mit Lage der Prognosepunkte.

2.4 Vergleich mit den Schweizer "Anlagegrenzwerten"

Auf besonderen Wunsch des Auftraggebers sollen die hier festgestellten Immissionswerte auch mit den in der Schweiz derzeit verbindlichen "Anlagegrenzwerten" [6] verglichen werden.

In der Schweiz gelten für "Orte mit empfindlicher Nutzung" ("OMEN"), also für Räume in Gebäuden, in denen sich Personen regelmäßig während längerer Zeit aufhalten (das sind z.B. Wohnräume, Schulräume, Kindergärten, Krankenhäuser, Alters- und Pflegeheime, ständige Arbeitsplätze), sowie für Pausenhöfe von Schulen und raumplanungsrechtlich festgesetzte Kinderspielplätze, strengere Grenzwerte als in Deutschland. An allen anderen Orten (z.B. im Garten oder auf Straßen und Plätzen) sind die **gleichen Grenzwerte wie in Deutschland** anzuwenden. Auch Dachterrassen, Balkone, Treppenhäuser, Lagerräume, Garagen und Autoeinstellplätze, Sport- und Freizeitanlagen, Badeanstalten, Aussichtsterrassen, Kirchen, Konzert- und Theatersäle sowie Tierställe sind **nicht** als "Orte mit empfindlicher Nutzung" anzusehen [7].

Die an den "Orten mit empfindlicher Nutzung" wirksame Immission wird - im Gegensatz zu den in Deutschland gültigen Vorgaben - **standortbezogen** ermittelt. Die zur Beurteilung heranzuziehende Immission ergibt sich dabei als Summe der Felder, die jeweils von einer einzelnen "Anlage" erzeugt werden. Alle Einzelfelder, welche die Mobilfunkantennen einer "Anlage" am Messpunkt erzeugen, werden aufsummiert und anschließend mit dem nach der Verordnung für den Standort relevanten Grenzwert ("Anlagegrenzwert") verglichen.

Die Verordnung definiert, dass eine "Anlage" alle Sendeantennen umfasst, die auf einem Mast angebracht sind oder die in einem engen räumlichen Zusammenhang - z.B. auf dem Dach des gleichen Gebäudes - stehen. Bei Antennen, die auf verschiedenen Masten oder Dächern stehen, entscheiden die technischen Daten der am betrachteten Standort (hier: Blaserturm) installierten Anlagen (Funksystem, Sendeleistung, Antennentyp, Antennenausrichtung), sowie der Abstand zu den benachbarten Anlagen (hier: Rathausturm, Bachstraße), ob diese zum Standort "Blaserturm" hinzugezählt werden oder nicht. Nähere Erläuterungen dazu finden sich in [7]. Mittels der dort angegebenen Formel errechnet sich für den Standort "Blaserturm" ein sogenannter "Anlageperimeter" von 56 Meter. Dieser besagt, dass alle Antennen, die weniger als 56 Meter vom Blaserturm entfernt sind, zum Standort Blaserturm hinzugenommen werden, also bei den Immissionsberechnungen berücksichtigt werden.

Eine Auswertung des vorliegenden Katasterplans ergab, dass der Rathausturm etwa 59 Meter, der Standort "Bachstraße" etwa 85 Meter vom Blaserturm entfernt ist. Für die Beurteilung, ob der Standort "Blaserturm" die Schweizer Anlagegrenzwerte einhält, müssen die Nachbarstandorte somit nicht einbezogen werden.

Die verschärften Schweizer Vorgaben sind eingehalten, so lange an den "Orten mit empfindlicher Nutzung" folgende Summenfeldstärkewerte, verursacht durch die betrachtete "Anlage" nicht überschritten werden [6]:

Anlage für	Anlagegrenzwert
GSM 900	4 V/m
GSM 1800 und / oder UMTS	6 V/m
(GSM 1800 oder UMTS) und GSM 900	5 V/m

Tab. 7: Schweizer "Anlagegrenzwerte" für Mobilfunksender.

Ja nach Bestückung des benachbarten Anlagenstandortes, ergibt sich also für die betrachteten Punkte ein individueller "Anlagegrenzwert", mit dem die gemessene Immission zu vergleichen ist. Für die am hier betrachteten Standort vorhandenen Anlagen (GSM 900, GSM 1800 und UMTS) ist somit ein Anlagegrenzwert von **5 V/m** anzuwenden.

Ein Blick auf die Berechnungsergebnisse in Tabelle 6 zeigt, dass an allen betrachteten Punkten in der Umgebung weniger als 5 V/m prognostiziert wurden. Als größter Wert ergaben die Prognoseberechnungen etwa 3,55 Volt/m (Punkt 4). Die Schweizer "Anlagegrenzwerte" werden also an allen betrachteten Punkten auch nach Inbetriebnahme der neuen Antennen voraussichtlich eingehalten.

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 unterschritten.
- Die Prognoseberechnungen an den 28 betrachteten Punkten ergaben für den Fall der Maximalauslastung und Vollausbau aller drei betrachteter Standorte folgende Grenzwertausschöpfungen:

Betrachtete Höhe über Grund	Grenzwertausschöpfung
1,5 Meter	3,2 % - 13,2 %
5,0 Meter	3,2 % - 15,0 %
10,0 Meter	3,0 % - 21,5 %

Tab. 6: Spannweite der berechneten Immissionswerte (prozentuale Grenzwertausschöpfung) für die drei betrachteten Höhen über Grund.

- Wie aus obigen Tabellen ersichtlich, ergeben sich an einigen Punkten vergleichsweise hohe Immissionswerte mit Grenzwertausschöpfungen von mehr als zehn Prozent. An dieser Stelle muss allerdings nochmals darauf hingewiesen werden, dass es sich hierbei um die Summenimmission einer großen Anzahl von Antennen handelt und dass die Dämpfung der Gebäude in den Berechnungen nicht berücksichtigt wurde. Dies bedeutet, dass die hier angegebenen Werte nur an den Punkten in der prognostizierten Höhe auftreten werden, von denen aus direkte Sichtverbindungen zu allen drei Antennenstandorten (Blaserturm, Rathausturm und Bachstr.) besteht. Fehlt die Sichtverbindung zu einigen oder allen Standorten, sind Immissionen zu erwarten, die um Größenordnungen geringer ausfallen.
- Auf besonderen Wunsch des Auftraggebers wurden für den Standort "Blaserturm" die berechneten Mobilfunk-Immissionswerte auch mit den in der Schweiz verbindlichen verschärften "Anlagegrenzwerten" verglichen. Diese werden an den betrachteten Punkten eingehalten.

Regensburg, 16. August 2010

Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek



4 Technische Daten der Mobilfunkanlagen

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

Betreiber: Telekom	Standort: 88212 Ravensburg, Marienplatz 28 (Blaserturm)					
Antennen	A	B	C	D	E	F
Funksystem	GSM 900	GSM 900	GSM 900	GSM 900	GSM 900	GSM 1800
Montagehöhe der Sendeantennenunterkante über Grund in Meter	47,6	47,6	47,6	47,6	47,6	47,6
Hauptstrahlrichtung in Grad	80	80	180	180	320	320
mechanische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	22	22	25	25	9	12
elektrische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	0	0	0	0	0	0
Antennentyp	H&S SPA 920/65/9	H&S SPA 920/65/9	H&S SPA 920/65/9	H&S SPA 920/65/9	K 741325	K 741325
Spitzenleistung pro Kanal am Senderausgang in Watt	9	9	9	9	9	22
Anzahl der beantragten Kanäle	2	2	2	2	4	2
Verluste zwischen Senderausgang und Antenneneingang in dB	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5

Betreiber: Telekom	Standort: 88212 Ravensburg, Marienplatz 28 (Blaserturm)					
Antennen	G	H	I			
Funksystem	UMTS	UMTS	UMTS			
Montagehöhe der Sendeantennenunterkante über Grund in Meter	47,6	47,6	47,6			
Hauptstrahlrichtung in Grad	80	180	320			
mechanische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	10	10	10			
elektrische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	0 - 10	0 - 10	0 - 10			
Antennentyp	K 742211	K 742211	K 742211			
Spitzenleistung pro Kanal am Senderausgang in Watt	32	32	32			
Anzahl der beantragten Kanäle	2	2	2			
Verluste zwischen Senderausgang und Antenneneingang in dB	1,0	1,0	1,0			

Betreiber: Vodafone	Standort: 88214 Ravensburg, Bachstr. 2-4					
Antennen	A	B	C	D	E	F
Funksystem	GSM 900	GSM 900	GSM 900	UMTS	UMTS	UMTS
Montagehöhe der Sendeantennen- unterkante über Grund in Meter	18,3	18,3	18,3	18,9	18,8	18,9
Hauptstrahlrichtung in Grad	10	120	205	30	120	250
mechanische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	0	-4	0	0	-3	0
elektrische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10
Antennentyp	K 739665	K 739665	K 739665	K 742215	K 742215	K 742215
Spitzenleistung pro Kanal am Senderausgang in Watt	7,4	7,4	7,4	31,6	31,6	31,6
Anzahl der beantragten Kanäle	4	4	4	2	2	2
Verluste zwischen Senderausgang und Antenneneingang in dB	0	0	0	0	0	0

Betreiber: E-Plus	Standort: 88214 Ravensburg, Bachstr. 2-4					
Antennen	A	B	C	D	E	F
Funksystem	GSM 900	GSM 900	GSM 900	GSM 1800	GSM 1800	GSM 1800
Montagehöhe der Sendeantennen- unterkante über Grund in Meter	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Hauptstrahlrichtung in Grad	25	100	250	25	100	250
mechanische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	0	0	0	0	0	0
elektrische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	4	4	4	2	2	2
Antennentyp	K 742151	K 742151	K 742151	K 742151	K 742151	K 742151
Spitzenleistung pro Kanal am Senderausgang in Watt	45	45	45	45	45	45
Anzahl der beantragten Kanäle	2	2	2	2	2	2
Verluste zwischen Senderausgang und Antenneneingang in dB	1,5	1,5	1,5	1,9	1,9	1,8

Betreiber: E-Plus	Standort: 88214 Ravensburg, Bachstr. 2-4					
Antennen	G	H	I			
Funksystem	UMTS	UMTS	UMTS			
Montagehöhe der Sendeantennenunterkante über Grund in Meter	20,0	20,0	20,0			
Hauptstrahlrichtung in Grad	25	100	250			
mechanische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	0	0	0			
elektrische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	4	4	4			
Antennentyp	TBXLHB_6565 A_VTM	TBXLHB_6565 A_VTM	TBXLHB_6565 A_VTM			
Spitzenleistung pro Kanal am Senderausgang in Watt	30	30	30			
Anzahl der beantragten Kanäle	2	2	2			
Verluste zwischen Senderausgang und Antenneneingang in dB	1,9	1,9	1,8			

Betreiber: Telefónica O₂	Standort: 88212 Ravensburg, Marienplatz 26 (Rathausturm)					
Antennen	A	B	C			
Funksystem	GSM 1800	GSM 1800	GSM 1800			
Montagehöhe der Sendeantennenunterkante über Grund in Meter	22,35	22,35	22,35			
Hauptstrahlrichtung in Grad	50	180	310			
mechanische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	0	0	0			
elektrische vertikale Absenkung der Hauptstrahlrichtung in Grad	0 - 10	0 - 10	0 - 10			
Antennentyp	K 742236	K 742236	K 742236			
Spitzenleistung pro Kanal am Senderausgang in Watt	40	40	40			
Anzahl der beantragten Kanäle	2	2	2			
Verluste zwischen Senderausgang und Antenneneingang in dB	1,43	1,43	1,43			

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