

Ergebnisbericht über die Messung elektromagnetischer Felder in der Umgebung von Mobilfunksendeanlagen

Auftraggeber: Stadt Nürnberg
Umweltamt
Lina-Ammon-Str. 28
90317 Nürnberg

Ort: Stadtgebiet von Nürnberg

Durchführung: EM-Institut
Carlstr. 5
93049 Regensburg

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

Projektnummer: 03/028

Ort und Datum: Regensburg, 14. Juli 2003

Inhaltsverzeichnis

	Seite	
1	Aufgabenstellung	3
2	Felder in der Umgebung einer Mobilfunksendeanlage	5
3	Durchführung der Messungen	7
3.1	Messgrößen für hochfrequente Felder	7
3.2	Verwendete Messgeräte, Messverfahren	8
3.3	Messgenauigkeit, Bestimmung der Maximalimmission	8
3.4	Qualitätssicherung	9
3.5	Messorte	9
4	Festgestellte Immissionswerte	12
4.1	Vergleich mit den gesetzlichen Grenzwerten nach 26. BImSchV	12
4.2	Vergleich mit den Schweizer "Anlagegrenzwerten"	15
4.3	Betrachtung einiger Detailergebnisse	19
4.4	Ergebnisse der Messung von Handyimmissionen in einem Linienbus	24
5	Schlussfolgerungen	31
6	Literaturverzeichnis	33
7	Anlagen	34
	Anlage 1: Ausführliche Ergebnistabellen	34
	Anlage 2: Lagepläne mit Senderstandorten und Messpunkten	43
	Anlage 3: Photos	55

1. Aufgabenstellung

Mit Schreiben vom 05.05.2003 wurde das EM-Institut, Regensburg von der Stadt Nürnberg beauftragt, an verschiedenen Punkten im Stadtgebiet von Nürnberg die durch Mobilfunk verursachten hochfrequenten Immissionen messtechnisch zu erfassen. Die Ergebnisse der Messungen sind zu dokumentieren und mit den derzeit in Deutschland verbindlichen Grenzwerten zu vergleichen.

Ursache für die, an den betrachteten Punkten messbaren Hochfrequenzfelder, sind Mobilfunktower aller vier in Deutschland aktiven Netzbetreiber, deren Antennen auf Gebäudedächern, in Kirchtürmen, an Industriekaminen oder freistehenden Masten installiert sind, wobei es sich nicht nur um GSM-Sendeanlagen handelt, sondern auch um einige Standorte an denen Stationen für den neuen UMTS-Mobilfunk betrieben werden. In folgender Tabelle sind die, in der Umgebung der Messpunkte vorhandenen Mobilfunksendeanlagen aufgelistet.

Standort Nr.	Ort	Betreiber
1	Witzlebenstr. 14	O ₂ , E-Plus
2*	Keßlerplatz 12 / Prinzregentenufer 7	O ₂ , E-Plus / T-Mobile
3	Brehmstr. 2-4	Vodafone
4*	Wilhelm-Marx-Str. 36 (Kirche St. Michael)	T-Mobile, Vodafone, O ₂ , E-Plus
5	Höflester Hauptstr. 82 / Höflester Hauptstr. 46	T-Mobile / Vodafone
6	Aischweg 70 (Fl. Nr. 608/1, Gem Großreuth)**	Vodafone
7	Beim Wahlbaum 20 (Philippuskirche)	T-Mobile, Vodafone, E-Plus
8	Eibacher Forst (Fl. Nr. 640; Marthweg)** / Saarbrückener Str. 63 (Wunibaldkirche)	T-Mobile, Vodafone / E-Plus
9	Wohlauer Str. 15 (Industriekamin)	Vodafone, O ₂ , E-Plus
10*	Muggenhofer Str. 65	T-Mobile

*: Weitere Standorte sind in näherer Umgebung vorhanden

** : Freistehender Mast

Tab. 1: In der Umgebung der Messpunkte vorhandene Mobilfunksendeanlagen

An den Messpunkten in der Umgebung der Standorte 2, 3, 4 und 6 wurden, zusätzlich zu den GSM-, auch die UMTS-Immissionen ermittelt, da dort UMTS-Sender von T-Mobile bzw. Vodafone bereits in Betrieb sind (Probetrieb mit Signalisierungssignalen). Bei Standort 10

handelt es sich um einen reinen UMTS-Standort. Von E-Plus und O₂ konnten derzeit noch keine UMTS-Signale gemessen werden.

Zusätzlich zu diesen Messungen in der Umgebung von Mobilfunkbasisstationen, wurden noch die Immissionen näher untersucht, die sich im Inneren eines Linienbusses der Nürnberger Verkehrsbetriebe durch die Handynutzung von Fahrgästen einstellen.

In einer Ausstellungshalle des Nürnberger Messegeländes wurde außerdem eine Langzeitimmissionsmessung über einen Zeitraum von zirka 4 Stunden durchgeführt, um einen Eindruck über die Größenordnung der Immissionen durch Handy und Indoor-Repeater während eines Tages mit starkem Besucherverkehr im Messezentrum zu gewinnen. Allerdings konnten die Ergebnisse der Messung wegen technischer Probleme nicht für diesen Bericht verwendet werden (Bei der obligatorischen Geräteüberprüfung nach Abschluss der Messung stellte sich heraus, dass der Stecker, der die Messantenne mit dem Messempfänger verbindet, defekt war). Die Untersuchungen im Messegelände werden daher zu einem späteren Zeitpunkt wiederholt.

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 basieren auf 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 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 Felder in der Umgebung einer Funksendeanlage treffen zu können, sind daher Messungen häufig unverzichtbar. Ein Vergleich der Messergebnisse mit den gesetzlichen Grenzwerten für elektromagnetische Felder erlaubt eine objektive Einschätzung der Immissionssituation vor Ort.

Im vorliegenden Fall soll mittels der Messergebnisse die Beantwortung der folgenden Fragen möglich werden:

- **Wie groß, im Vergleich zum gesetzlichen Grenzwert, sind die Immissionen, die durch die Mobilfunksendeanlagen bei Vollaustattung an den Messpunkten erzeugt werden?**
- **Werden an den Messpunkten auch die sehr strengen Schweizer Grenzwerte ('Anlagegrenzwerte für Orte mit empfindlicher Nutzung') eingehalten?**

- Welche Immissionen ergeben sich in einem öffentlichen Linienbus durch die Handynutzung der Fahrgäste?

Die Ergebnisse der Messungen und die sich daraus ergebenden Schlussfolgerungen sind im folgenden dargestellt.

2. Felder in der Umgebung einer Mobilfunksendeanlage

Neben der Sendeleistung ist insbesondere das Bündelungsverhalten der montierten Antennen ein wesentlicher Faktor für die Stärke der Felder in der unmittelbaren Umgebung einer Mobilfunksendeanlage.

Die beim Mobilfunk verwendeten Antennen senden in der horizontalen Ebene entweder omnidirektional, d.h. in alle Richtungen parallel zum Erdboden wird gleich viel Energie abgegeben oder die elektromagnetische Welle wird mittels Richtantennen horizontal auf einen typisch 30° bis 120° breiten Sektor konzentriert (Abb. 2). Häufig werden von einem Anlagenstandort aus, durch die Montage mehrerer derartiger Richtantennen, gleich zwei oder drei Sektoren versorgt (Abb. 1).

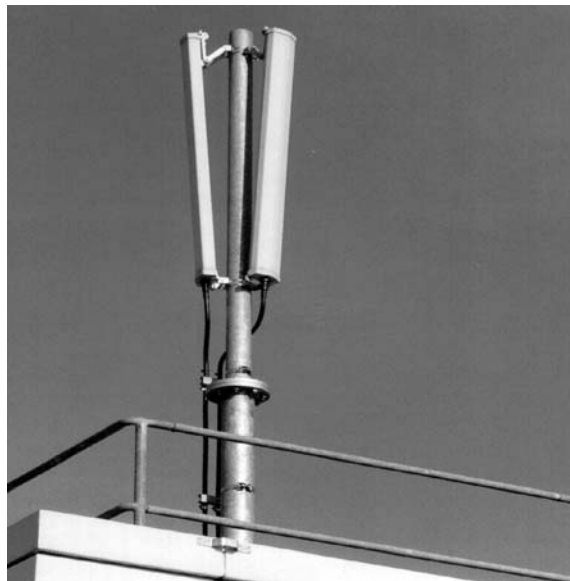


Abb. 1: Zwei Sektorantennen, montiert auf einem Flachdach (hier mit mechanischer Strahlabsenkung, engl. "Downtilt")

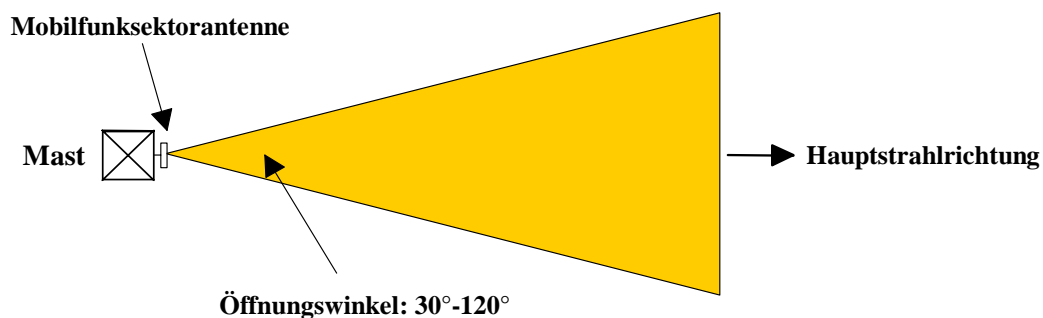
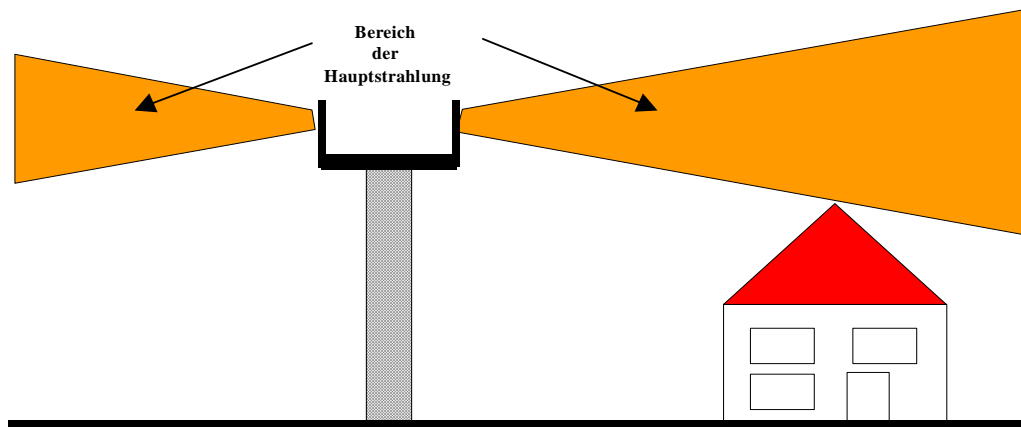


Abb. 2: Horizontales Abstrahlverhalten einer Mobilfunksektorantenne

In der Vertikalen hingegen senden alle Mobilfunkantennen, ähnlich wie die Scheinwerfer eines Leuchtturmes, sehr stark gebündelt (Abb. 3). Der Hauptabgabebereich der elektromagnetischen Energie wird als "Öffnungswinkel" der Antenne bezeichnet. Er beträgt vertikal typisch ca. 5 - 10°. Zusätzlich ist die Hauptstrahlrichtung häufig bezüglich der Horizontalen um einige Grad nach unten geneigt [5]. Damit erreicht man eine gezielte Versorgung der lokalen Funkzelle, eine Leistungsabgabe in unerwünschte Bereiche, wie beispielsweise in weiter entfernt liegende Funkzellen, die mit der gleichen Trägerfrequenz arbeiten, wird verhindert (Vermeidung sog. "Gleichkanalstörungen").

**Abb. 3:** Vertikales Bündelungsverhalten von Mobilfunkantennen (prinzipielle Darstellung mit übertriebenem großem vertikalem Öffnungswinkel).

Außerhalb dieses schmalen Feldkegels der Antenne (vergleichbar mit der Lichtaussendung im Kegel eines Scheinwerfers) ist die Energieabgabe deutlich geringer (typisch nur 1/10 bis 1/1000 der Werte 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 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 Antennen und die Gebäudemauern bedingt ist, erreicht der dominierende Teil der hochfrequenten Energie, die im Gebäude messbar ist, häufig nicht auf dem direkten Weg durch Dach und Decke den Innenbereich. Vielmehr gelangt sie als von benachbarten Gebäuden, Berghängen, Bäumen oder Büschen reflektiertes Signal durch die Fenster in das Gebäudeinnere.

Die Stärke der Felder, die im Inneren eines benachbarten Gebäudes noch messbar sind, wird hauptsächlich vom Abstand, dem relativen Höhenunterschied zu den Mobilfunkantennen und ebenfalls der Dämpfung der Mauern, des Daches und der vorhandenen Fenster bestimmt. Abhängig von den verwendeten Baumaterialien (Holz, Ziegel, Beton) tritt damit eine zusätzliche, unter Umständen erhebliche, Schwächung der Felder auf.

An dieser Stelle muss zudem darauf hingewiesen werden, dass bei elektromagnetischen Wellen die Intensität mit zunehmendem Abstand zur Sendeanlage sehr stark abnimmt: Wenn sich die elektromagnetische Welle ungestört ausbreitet, nimmt die Leistungsflussdichte in der Hauptstrahlrichtung mit wachsender Entfernung quadratisch ab. Dies bedeutet, dass sie bei Verdoppelung der Distanz bereits auf ein Viertel, bei Verzehnfachung des Abstandes sogar auf ein Hundertstel des Ausgangswertes abgefallen ist. Unter realen Ausbreitungsverhältnissen (Einfluss von Topographie, Bewuchs, Bebauung) ist die Abnahme der Felder sogar noch stärker ausgeprägt [6]. Das gilt unabhängig vom Typ der verwendeten Antenne.

3. Durchführung der Messungen

3.1 Messgrößen für hochfrequente Felder

Für die Beurteilung der Feldintensität in der Umgebung von Hochfrequenzquellen werden üblicherweise die folgenden Größen verwendet [7]:

- Der Effektivwert der elektrischen Feldstärke E in Volt pro Meter.
- Der Effektivwert der magnetischen Feldstärke H in Ampere pro Meter.
- Die Leistungsflussdichte S in Watt pro Quadratmeter oder Mikrowatt pro Quadratmeter (1 Mikrowatt = 1 Millionstel Watt).

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

Im Fernfeld einer Antenne stehen Leistungsflussdichte, elektrische und magnetische Feldstärke in einem festen Verhältnis zueinander. Alle drei Größen sind im Fernfeld also äquivalent, ähnlich wie Stromaufnahme und Leistungsverbrauch bei Elektrogeräten. Bei allen hier durchgeführten Messungen kann von Fernfeldbedingungen ausgegangen werden, da man sich ausreichend weit von der Antenne entfernt befindet. Für die Beurteilung der Feldintensität in den bei dieser Untersuchung auftretenden Abständen zu den Antennen genügt also die Angabe einer dieser drei Größen. In der Auswertung der durchgeführten Messungen wird deshalb, wie auch in der 26. BImSchV praktiziert, die **elektrische Feldstärke** als Größe für die Immissionswerte verwendet.

3.2 Verwendete Messgeräte, Messverfahren

Im Rahmen der Immissionsmessungen wurden die folgenden Messgeräte eingesetzt:

1. Spektrumanalysator Advantest R3131 (Ser. Nr. 81780497)
2. Spektrumanalysator Rohde & Schwarz ESPI03 (Ser. Nr. 100093)
3. Messantenne Schwarzbeck SBA 9113 (Ser. Nr. 101)
4. 10 Meter kalibriertes Messkabel RG 214
5. Langzeitmesssystem Rohde & Schwarz TS-EMF mit Spektrumanalysator FSH3

Mittels des Spektrumanalysators und einer geeigneten Messantenne wurden Frequenz und Empfangspegel der einzelnen am Messort zu untersuchenden Funksignale festgestellt. Unter Zuhilfenahme der Kalibrierdaten der verwendeten Messantenne und unter Berücksichtigung der Dämpfung des Kabels zwischen Messantenne und Spektrumanalysator 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 [8].

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.

3.3 Messgenauigkeit, Bestimmung der Maximalimmission

Bei derartigen Immissionsmessungen muss immer mit einer gerätebedingten Messunsicherheit von typisch ± 3 dB gerechnet werden [9]. Gründe dafür sind u.a. unvermeidbare Restfehler bei der Kalibrierung von Messantennen, die entsprechende Messtoleranz des Spektrumanalysators und die Unsicherheiten der Kabelkalibrierung. Zur Kompensation wurden alle Messwerte um diesen Unsicherheitsfaktor erhöht, d.h. die in diesem Bericht angegebenen Feldstärkewerte sind, gegenüber der vor Ort abgelesenen Anzeige des Messgerätes, zur Sicherheit **um den Faktor 1,4 vergrößert** worden.

Die Intensität der Felder von GSM-Mobilfunksendeanlagen ist zusätzlich abhängig von der momentanen Gesprächsauslastung. Nach 26. BImSchV ist die bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung entstehende Immission zu bestimmen. Aus diesem Grund wurden zusätzlich die gefundenen Messergebnisse des GSM-Mobilfunks (Immission, verursacht durch den Signalisierungskanal je Sektor) unter Zuhilfenahme der uns von den Betreibern zur Verfügung gestellten technischen Anlagendaten (Von der RegTP genehmigte Kanalzahl je Antenne) auf die Immissionswerte bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung hochgerechnet, damit eine echte "worst-case"-Betrachtung sichergestellt ist.

Bei der Hochrechnung der gemessenen UMTS-Signale wurde in vergleichbarer Weise vorgegangen: Da derzeit noch keine Kunden die vorhandenen Anlagen nutzen, repräsentieren die an den Messpunkten gemessenen Felder die Immissionen, verursacht durch die, beim UMTS-Mobilfunk ebenfalls permanent abgestrahlten Signalisierungssignale. Aus den, von den

Betreibern zur Verfügung gestellten technischen Daten der UMTS-Anlagen (Leistung der Signalisierungssignale im Verhältnis zur Maximalleistung der Station), sowie aus der von der RegTP genehmigten Kanalzahl für die Anlagen, wurde ein Korrekturfaktor errechnet, um den der Messwert jeweils vergrößert wurde, damit im diesem Bericht die maximal mögliche Immission, die durch die UMTS-Anlagen bei regulärem Betrieb am Messpunkt erzeugt werden kann, angegeben ist.

Durch diese Korrekturen ist gewährleistet, dass in diesem Bericht möglichst die, am jeweils betrachteten Punkt erzeugbare **Maximalimmission** dargestellt ist. Die Messergebnisse beim GSM- und UMTS-Mobilfunk sind damit nicht mehr vom momentanen Gesprächs- bzw. Datenaufkommen abhängig.

3.4 Qualitätssicherung

Für alle verwendeten Messantennen liegen die entsprechenden Wandlungsfaktoren als Kalibrierdaten der Hersteller in Tabellenform vor. Die aktiven Geräte (insbesondere die Spektrumanalysatoren) unterliegen einem regelmäßigen Kalibrierzyklus beim Hersteller, sie wurden zusätzlich sowohl vor als auch nach der Messaktion auf ihre ordnungsgemäße Funktion und ihre Frequenz- und Amplitudengenauigkeit hin überprüft. Die frequenzabhängigen Dämpfungswerte der bei den Messungen eingesetzten Kabel sind ebenfalls dokumentiert.

3.5 Messorte

Bei der Festlegung der Messorte wurde versucht, einige extreme Immissionssituationen zu untersuchen, andererseits aber auch Konstellationen zu berücksichtigen, die in Städten häufig anzutreffen sind, bzw. die in der öffentlichen Diskussion immer wieder besonders kritisch beäugt werden.

Die gewählten Messpunkte können folgenden Kategorien zugeordnet werden:

Kategorie 1: Mobilfunkstandorte im Umfeld von "sensiblen" Einrichtungen

Kategorie 2: Standorte mit Mehrfachnutzung in bzw. in der Nähe von Wohngebieten

Kategorie 3: Standorte mit besonders geringem Höhenunterschied zu Wohnbereichen

Kategorie 4: Standorte mit UMTS-Nutzung

Insgesamt ergaben sich 21 Messpunkte (an 10 verschiedenen Standortbereichen im Stadtgebiet von Nürnberg), die sich sowohl in Gebäuden (z.B. im Wohnbereich) als auch im Freien befinden und sehr unterschiedliche Entfernungen und Höhenunterschiede zu den Antennenstandorten besitzen.

Folgende Messpunkte wurden in Absprache mit dem Auftraggeber gewählt:

1. Senderstandort Witzlebenstr. 14

Messpunkt Nr.	Bezeichnung	Kategorie	Entfernung zum Standort	Sichtverbindung zur Anlage?
1a	Kindergarten Rudolf-Steiner-Schule, Steinplattenweg 25 (Terrasse)	1	Ca. 300 m	Ja*
1b	Rudolf-Steiner-Schule (Musiksaal, 2. OG)	1	Ca. 300 m	Nein

*: Sichtverbindung durch Bäume stark eingeschränkt

2. Senderstandort Keßlerplatz 12 / Prinzregentenufer 7

Messpunkt Nr.	Bezeichnung	Kategorie	Entfernung zum Standort	Sichtverbindung zur Anlage?
2a	Maria-Ward-Schule, Keßlerplatz 2 (Flur, 4. OG)	1+3+4	Ca. 165 m	Ja*
2b	Maria-Ward-Schule (Raum 409, 4. OG)	1+3+4	Ca. 150 m	Ja**

*: Sichtverbindung zum Standort Kesslerplatz 12

** Sichtverbindung zum Standort Prinzregentenufer 7

3. Senderstandort Brehmstr. 2-4

Messpunkt Nr.	Bezeichnung	Kategorie	Entfernung zum Standort	Sichtverbindung zur Anlage?
3a	Förderschule Herschelplatz 1 (Raum 102, 1. OG)	1+4	Ca. 110 m	Ja
3b	Hauptschule Herschelplatz 1 (Raum 202, 2. OG)	1+4	Ca. 110 m	Ja

4. Senderstandort Wilhelm-Marx-Str. 36 (Kirche St. Michael)

Messpunkt Nr.	Bezeichnung	Kategorie	Entfernung zum Standort	Sichtverbindung zur Anlage?
4a	Vor dem Kircheneingang	2**	Ca. 5 m*	Ja
4b	Wilhelm-Marx-Str. 41 (Wohnzimmer, 3.OG)	2**	Ca. 40 m	Ja
4c	Kindergarten, Amalienstr. 19 (Außenbereich)	1**	Ca. 45 m	Ja

*: Horizontaldistanz zum Kirchturm (Antennen in ca. 25 Meter Höhe)

** UMTS in der Nachbarschaft vorhanden, nicht jedoch am Standort

5. Senderstandort Höflester Hauptstr. 82 / 46

Messpunkt Nr.	Bezeichnung	Kategorie	Entfernung zum Standort	Sichtverbindung zur Anlage?
5a	Höflester Hauptstr. (Straße vor Hs. Nr. 77)	3	Ca. 75 m	Ja*
5b	Höflester Hauptstr. 45 (Gästezimmer 1. OG)	3	Ca. 80 m	Ja**

*: Sichtverbindung zum Standort Höflester Hauptstr. 82

** Sichtverbindung zum Standort Höflester Hauptstr. 46

6. Senderstandort Aischweg 70

Messpunkt Nr.	Bezeichnung	Kategorie	Entfernung zum Standort	Sichtverbindung zur Anlage?
6a	Alter Bahndamm südlich Senderstandort	2+4	Ca. 100 m	Ja
6b	Dambacher Weg 21 (Balkon, 1. OG)	2+4	Ca. 150 m	Ja
6c	Flexdorfer Weg (Straße vor Hs. Nr. 9)	2+4	Ca. 205 m	Ja

7. Senderstandort Beim Wahlbaum 20 (Philippuskirche)

Messpunkt Nr.	Bezeichnung	Kategorie	Entfernung zum Standort	Sichtverbindung zur Anlage?
7a	Kindergarten, Im Steinlach 12 (Außenbereich)	1	Ca. 90 m	Ja
7b	Beim Wahlbaum (Straße vor Hs. Nr. 19)	2	Ca. 55 m	Ja
7c	Beim Wahlbaum 19 (Balkon, 1. OG)	2	Ca. 60 m	Ja

8. Senderstandort Eibacher Forst / Saarbrückener Str. 63 (Wunibaldkirche)

Messpunkt Nr.	Bezeichnung	Kategorie	Entfernung zum Standort	Sichtverbindung zur Anlage?
8	Saarbrückener Str. (Gehweg vor Hs. Nr. 112)	2	Ca. 295 m	Ja*

*: Sichtverbindung zum Standort Saarbrückener Str. 63, Sichtverbindung zum Standort Eibacher Forst durch Bäume eingeschränkt

9. Senderstandort Wohlaer Str. 15

Messpunkt Nr.	Bezeichnung	Kategorie	Entfernung zum Standort	Sichtverbindung zur Anlage?
9	Wichernstr. (Straße vor Hs. Nr. 6)	2	Ca. 105 m	Ja

10. Senderstandort Muggenhofer Str. 65

Messpunkt Nr.	Bezeichnung	Kategorie	Entfernung zum Standort	Sichtverbindung zur Anlage?
10a	Johann-Sebastian-Bach-Str. 35 (Wohnraum Dachgeschoss)	3+4	Ca. 25 m	Ja
10b	Johann-Sebastian-Bach-Str. 35 (Saunazimmer, 4. OG)	4	Ca. 30 m	Nein

Tab. 2: Gewählte Messpunkte

Umgebungspläne mit eingezeichneten Senderstandorten und den Messpunkten, sowie einige Photos finden sich in den Anlagen 2 und 3 zu diesem Bericht.

Durchgeführt wurden die Messungen an den 21 Punkten am 23. Juni 2003, zwischen 08:10 und 16:10 Uhr, sowie am 24. Juni 2003 zwischen 08:40 und 09:30 Uhr (Verantwortlicher vor Ort: Dr.-Ing. M. Wuschek; Messtechniker: Dipl.-Ing. (FH) Peter Schmidt). Vertreter des Auftraggebers und der Bürgerinitiative "Mobilfunksmog Franken" waren bei den Messungen vor Ort anwesend.

4. Festgestellte Immissionswerte

4.1 Vergleich mit den gesetzlichen Grenzwerten nach 26. BImSchV

In folgender Tabelle sind die an den Messpunkten ermittelten und gemäß der Beschreibung in Abschnitt 3.3 hochgerechneten Summenimmissionswerte des Mobilfunks für **Vollausbau** und **Vollauslastung** dargestellt. Zur besseren Verständlichkeit werden jedoch nicht nur absolute Feldstärkewerte angegeben, sondern es ist aufgeführt, wie viel Prozent bezüglich der Grenzwerte nach 26. BImSchV an den einzelnen Messpunkten jeweils erreicht werden. Zusätzlich sind in der Tabelle die Messergebnisse auch als Leistungsflussdichte angegeben.

Immissionen, verursacht durch weiter entfernte Mobilfunksender, konnten an einigen Messpunkten zwar festgestellt werden, sie haben allerdings keinen nennenswerten Anteil an der Mobilfunk-Summenimmission, da hier die Felder der in unmittelbarer Umgebung befindli-

chen Sendeanlagen immer deutlich überwiegen. Ausführliche Ergebnistabellen der durchgeführten Messungen finden sich in der Anlage 1 zu diesem Bericht.

Messpunkt Nr.	Summenfeldstärke in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV	Summenfeldstärke in Volt/m	Leistungsflussdichte (Summe) in Mikrowatt/m ²
1a	0,71 %	0,42 V/m	462,0 µW/m ²
1b	0,37 %	0,22 V/m	126,7 µW/m ²
2a	6,97 %	4,10 V/m	44.561,2 µW/m ²
2b	5,01 %	3,06 V/m	24.813,5 µW/m ²
3a	3,74 %	1,73 V/m	7.959,7 µW/m ²
3b	3,95 %	1,79 V/m	8.477,7 µW/m ²
4a	2,07 %	1,16 V/m	3.555,9 µW/m ²
4b	2,54 %	1,14 V/m	3.462,5 µW/m ²
4c	0,82 %	0,41 V/m	447,8 µW/m ²
5a	6,07 %	2,58 V/m	17.590,3 µW/m ²
5b	10,92 %	4,62 V/m	56.605,3 µW/m ²
6a	7,26 %	3,14 V/m	26.085,9 µW/m ²
6b	3,01 %	1,32 V/m	4.627,6 µW/m ²
6c	3,27 %	1,61 V/m	6.918,2 µW/m ²
7a	1,93 %	0,82 V/m	1.779,7 µW/m ²
7b	3,36 %	1,53 V/m	6.215,0 µW/m ²
7c	4,00 %	1,73 V/m	7.918,8 µW/m ²
8	0,58 %	0,32 V/m	277,7 µW/m ²
9	1,87 %	0,89 V/m	2.092,6 µW/m ²
10a	16,80 %	10,25 V/m	278.474,8 µW/m ²
10b	0,81 %	0,50 V/m	652,0 µW/m ²

Tab. 3: Festgestellte Immissionswerte

Nach 26. BImSchV gilt für den Mobilfunk ein Grenzwert von zirka 42 Volt/m (D-Netz), zirka 59 Volt/m (E-Netz) bzw. 61 Volt/m (UMTS).

Die folgenden beiden Abbildungen stellen die Ergebnisse aus Tabelle 3 graphisch dar:

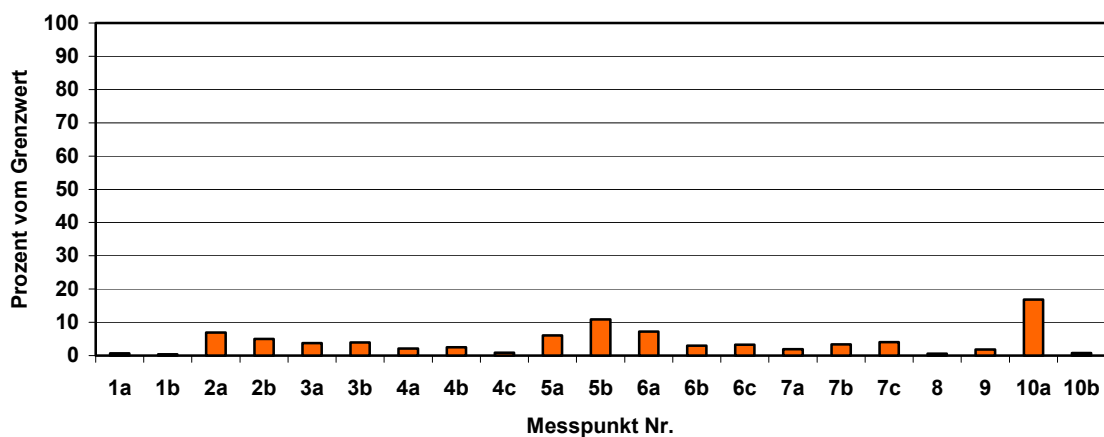


Abb. 4: Graphische Darstellung der Ergebnisse aus den Tabelle 3 (Summenimmission in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV)

Die Vorgaben der 26. BImSchV sind eingehalten, so lange der Summenimmissionswert am Messpunkt den Wert von 100 % unterschreitet.

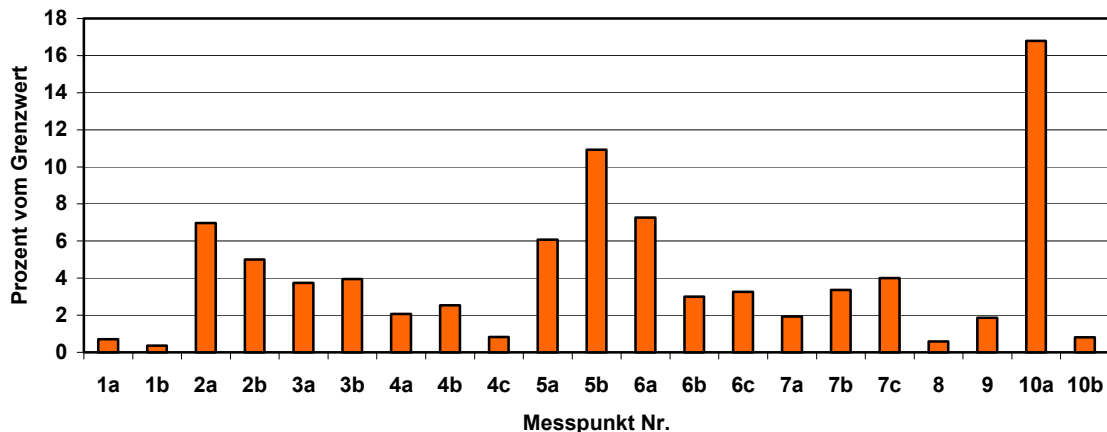


Abb. 5: Detaillierte Darstellung der Ergebnisse aus den Tabelle 3

4.2 Vergleich mit den Schweizer "Anlagegrenzwerten"

Auf besonderen Wunsch des Auftraggebers, sollen die gefundenen Immissionswerte auch mit den in der Schweiz derzeit verbindlichen "Anlagegrenzwerten" [10] verglichen werden. Diese Grenzwerte sind derzeit die strengsten rechtsverbindlichen Vorgaben zum Schutz vor nicht ionisierenden Strahlen der Welt.

In der Schweiz gelten für "Orte mit empfindlicher Nutzung", 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 Kinderspielflächen, 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, Autogaragen und -stellplätze, Sport- und Freizeitanlagen, Badeanstalten, Aussichtsterrassen, Kirchen, Konzert- und Theatersäle sowie Tierställe sind nicht als "Orte mit empfindlicher Nutzung" anzusehen [11].

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. Die Verordnung definiert, dass eine "Anlage" alle Sendeannten umfasst, die auf einem Mast angebracht sind oder die in einem engen räumlichen Zu-

sammenhang - z.B. auf dem Dach des gleichen Gebäudes - stehen (Nur in Ausnahmefällen werden die Felder von Antennen, die auf verschiedenen Masten oder Dächern stehen, als eine einzige "Anlage" betrachtet [11]). 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 verschärften Schweizer Vorgaben sind eingehalten, so lange an den "Orten mit empfindlicher Nutzung" folgende Summenfeldstärkewerte, verursacht durch die betrachtete "Anlage" nicht überschritten werden [10]:

Anlage für	Anlagegrenzwert
GSM 900 (D-Netz)	4 Volt/m
GSM 1800 (E-Netz) oder UMTS	6 Volt/m
GSM 1800 oder UMTS und GSM 900	5 Volt/m

Tab. 4: Schweizer "Anlagegrenzwerte" für Mobilfunksender

Ja nach Bestückung des benachbarten Anlagenstandortes, ergibt sich also für die einzelnen Messpunkte ein individueller "Anlagegrenzwert", mit dem die gemessene Immission zu vergleichen ist.

Außerdem ist zu berücksichtigen, dass nicht alle der hier untersuchten 21 Messpunkte als "Orte mit empfindlicher Nutzung" im Sinne der Schweizer "NIS-Verordnung" anzusehen sind (siehe Markierung in Tabelle 5 bzw. in Abbildung 6).

Es muss an dieser Stelle noch zusätzlich angemerkt werden, dass in der Schweiz ein wesentlicher Unterschied bei der messtechnischen Immissionsbestimmung gegenüber der in Deutschland üblichen Vorgehensweise besteht: Während in Deutschland die gefundenen Immissionswerte noch um die Faktor der Messunsicherheit **erhöht** werden (so wie es auch im Rahmen dieser Messaktion geschehen ist; siehe Hinweis im ersten Absatz von Kapitel 3.3), wird in der Schweiz die Messunsicherheit **nicht** auf den Messwert **aufgeschlagen** [12].

Ohne Berücksichtigung der Messunsicherheit (3 dB), ergibt sich für die hier betrachteten Messpunkte folgendes Bild:

Messpunkt Nr.	Summenfeldstärke (ohne Messunsicherheit) in Volt/m	Anzuwendender Anlage- grenzwert in Volt/m	Grenzwertausschöpfung in Prozent
1a	0,30 V/m	6 V/m	5,0 %
1b	0,15 V/m	6 V/m	2,5 %
2a	2,90 V/m	6 V/m	48,3 %
2b	2,17 V/m	6 V/m	36,2 %
3a	1,23 V/m	5 V/m	24,6 %
3b	1,27 V/m	5 V/m	25,4 %
4a*	0,45 V/m	5 V/m	9,0 %
4b	0,69 V/m	5 V/m	13,8 %
4c	0,28 V/m	5 V/m	5,6 %
5a*	1,82 V/m	4 V/m	45,5 %
5b	3,27 V/m	4 V/m	81,8 %
6a*	2,22 V/m	5 V/m	44,4 %
6b*	0,94 V/m	5 V/m	18,8 %
6c*	1,14 V/m	5 V/m	22,8 %
7a	0,58 V/m	5 V/m	11,6 %
7b*	1,08 V/m	5 V/m	21,6 %
7c*	1,22 V/m	5 V/m	24,4 %
8*	0,23 V/m	6 V/m	3,8 %
9*	0,63 V/m	5 V/m	12,6 %
10a	7,25 V/m	6 V/m	120,8 %
10b	0,35 V/m	6 V/m	5,8 %

*: Kein "Ort mit empfindlicher Nutzung" nach Schweizer NIS-Verordnung

Tab. 5: Vergleich mit "Anlagegrenzwerten" nach Schweizer NIS-Verordnung

Folgende Abbildung stellt die Ergebnisse aus Tabelle 5 graphisch dar:

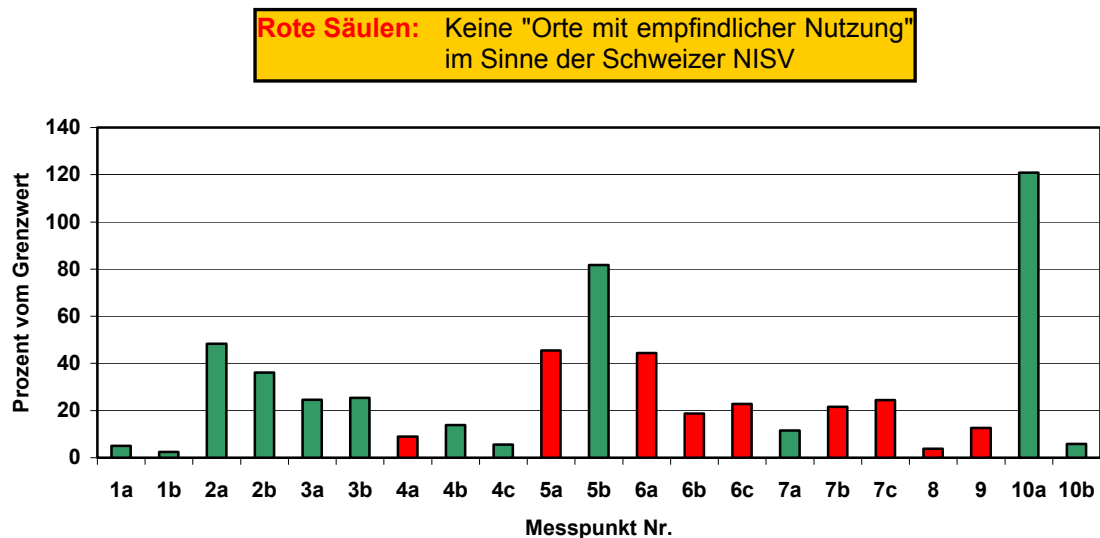


Abb. 6: Darstellung der Ergebnisse aus den Tabelle 5

Es kann also festgehalten werden, dass die Schweizer "Anlagegrenzwerte für Orte mit empfindlicher Nutzung" an den meisten Messpunkten deutlich unterschritten werden. Nur an zwei Punkten wurde mehr als 50 Prozent vom Grenzwert erreicht. An einem dieser beiden Messpunkte (Punkt 10a) ist allerdings bei Vollausbau und Vollaustlastung der verursachenden Anlage eine Nichteinhaltung der Schweizer Vorgaben zu erwarten.

Anmerkung:

Da die Feldstärke **proportional zur Wurzel der abgestrahlten Leistung** zunimmt, könnte an allen Punkten, die weniger als 50 Prozent des Anlagegrenzwertes erreichen, die abgestrahlte Leistung mindestens **vervierfacht** werden, ohne dass es zu einer Überschreitung der Grenzwerte an den betrachteten Punkten käme.

4.3 Betrachtung einiger Detailergebnisse

Im folgen werden einige Detailergebnisse der Messungen etwas ausführlicher betrachtet:

1. Mobilfunk in der Umgebung von "sensiblen" Einrichtungen

In Schulen und Kindergärten ergaben sich Immissionswerte, die in ihrer Spanne etwa den Resultaten der Messkampagne aus dem Jahr 2002 entsprachen (siehe Abb. 7). Besonders niedrige Messwerte fanden sich im Bereich der Rudolf-Steiner-Schule (Steinplattenweg), was hauptsächlich auf den relativ großen Abstand zum verursachenden Anlagenstandort (etwa 300 Meter), sowie die nicht vorhandene bzw. eingeschränkte Sichtverbindung zu den Mobilfunkantennen zurückzuführen ist. Die höchsten Messwerte fanden sich im obersten Stockwerk der Maria-Ward-Schule (Messpunkte 2a und 2b), da hier in der Umgebung Mobilfunkantennen etwa in gleicher Höhe installiert sind, zu denen auch gute Sichtverbindung besteht.

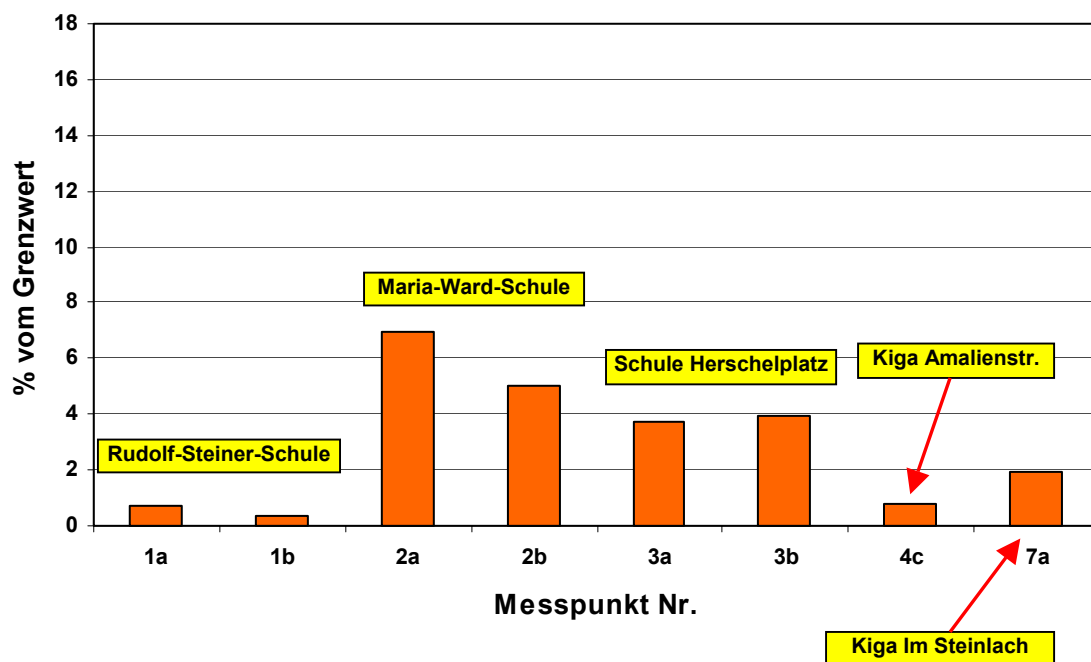


Abb. 7: Messpunkte im Bereich von "sensiblen" Einrichtungen

Obwohl der Messpunkt 4c (Kindergarten) nur 45 Meter vom Antennenstandort entfernt ist, wurden im Außenbereich verhältnismäßig niedrige Immissionen gemessen. Hier kommt der in Kapitel 2 bereits näher erläuterte "Nahbereichsschatten" von Mobilfunkantennen besonders deutlich zur Geltung (siehe dazu auch Bild 8 in Anlage 3).

2. Kumulation mehrerer benachbarter Einzelstandorte

An den Messpunkten 4a bis 4c lässt sich das Zusammenwirken mehrerer Einzelstandorte gut beobachten. Folgende Tabelle zeigt, welche Immission an den drei Messpunkten allein durch den unmittelbar benachbarten Standort (Kirche St. Michael) erzeugt wird. In einer zweiten Spalte dieser Tabelle findet sich zum Vergleich die Summenimmission, wenn auch die, in wenigen hundert Meter Entfernung befindlichen Standorte "Wilhelm-Marx-Str. 60" und "Wilhelm-Marx-Str. 72" mit einbezogen werden:

Messpunkt	Immission, verursacht nur durch den Standort "Kirche St. Michael" (in $\mu\text{W}/\text{m}^2$)	Immission, verursacht durch alle in der Umgebung befindliche Standorte incl. Kirche St. Michael (in $\mu\text{W}/\text{m}^2$)
4a	1.092,7 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	3.555,9 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
4b	2.844,0 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	3.462,9 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
4c	418,5 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	447,8 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

Tab. 6: Immissionswerte an den Messpunkten 4a bis 4c, aufgeschlüsselt nach Verursachern

Folgende Abbildung stellt die Ergebnisse aus Tabelle 6 graphisch dar.

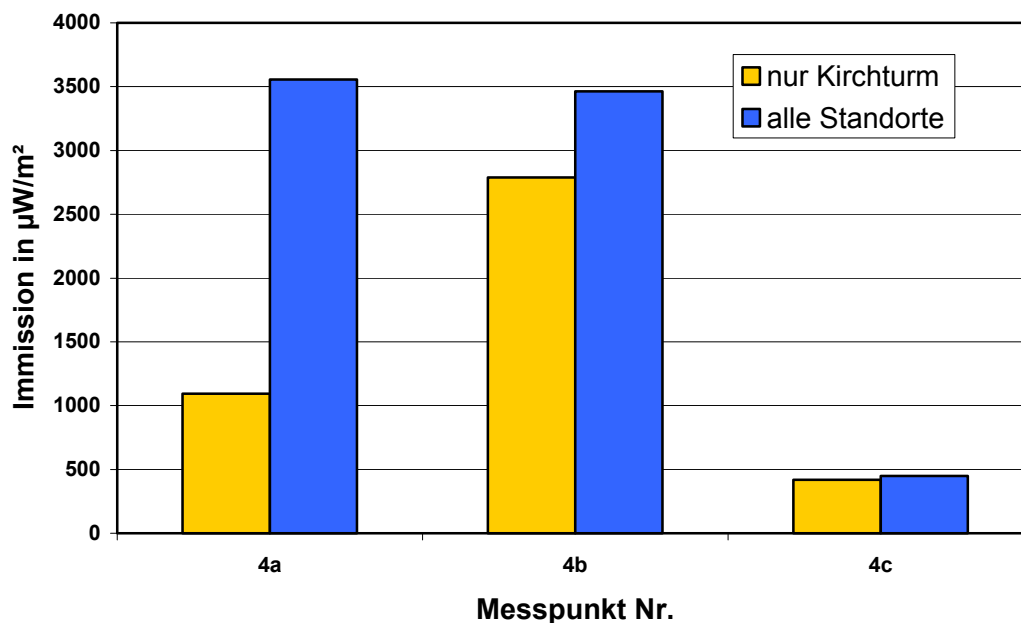


Abb. 8: Immissionen an den Messpunkten 4a bis 4c, aufgeschlüsselt nach Verursachern

Messpunkt 4a befindet sich so nahe am Kirchturm (Horizontalentfernung: zirka 5 Meter), dass hier wieder der oben bereits erwähnte "Nahbereichsschatten" von Mobilfunkantennen wirksam ist. Auch Reflexionen an der gegenüberliegenden Häuserfront führen offensichtlich nicht zu einer "Auffüllung" dieses Immissionsminimums. Die Immissionen, verursacht durch die Antennen im Turm (Montagehöhe der Antennen: zirka 23 bis 29 m über Grund), sind so niedrig, dass die, in einigen hundert Meter Entfernung befindlichen weiteren Mobilfunkstandorte den größten Teil der an diesem Punkt messbaren Summenimmission erzeugen.

An Messpunkt 4b (3. Obergeschoss; auf der gegenüberliegenden Straßenseite) wurden, wie nicht anders zu erwarten, größere Felder, verursacht durch die Antennen des Kirchturms, gemessen. Allerdings war dort offensichtlich der Höhenunterschied zu den Antennen immer noch so groß, dass es, trotz des relativ geringen Abstandes (etwa 40 Meter), nicht zu übermäßig hohen Immissionen kommt. Es wurden hier keine größeren Summenimmissionswerte gemessen, als auf der Straße an Punkt 4a durch die verschiedenen Sendeanlagen der Umgebung erzeugt wird.

An Punkt 4c sind die weiter entfernten Standorte nicht mehr nennenswert an der Summenimmission beteiligt, da aufgrund der vorhandenen Bebauung keine Sichtverbindung vom Messpunkt zu diesen Antennen herrscht.

3. Immission im Vergleich zur Zahl der installierten Funksysteme

Häufig wird in der Öffentlichkeit die Zahl der an einem Standort installierten Mobilfunksysteme als Kriterium zur Einschätzung der in der Umgebung auftretenden Immission herangezogen. Das heißt, dass bei einem Standort mit besonders viel Antennen davon ausgegangen wird, dass in der Umgebung auch sehr hohe Immissionswerte auftreten werden.

Um nachzuprüfen, ob dieser vereinfachte Beurteilungsansatz in der Praxis auch zu richtigen Einschätzungen führt, wurden die, im Rahmen dieser Messkampagne gefundenen Messergebnisse, der Zahl der jeweils am verursachenden (bzw. in unmittelbarer Nähe befindlichen) Standort in Betrieb befindlichen Mobilfunksysteme gegenübergestellt. An den betrachteten Standorten waren zum Zeitpunkt der Messungen folgende Systeme in Betrieb:

Standort Nr.	Standort	Zahl der Systeme
1	Witzlebenstr. 14	2 x GSM 1800
2a	Keßlerplatz 12	2 x GSM 1800
2b	Prinzregentenufer 7	1 x UMTS
3	Brehmstr. 2-4	1 x GSM 900 + 1 x GSM 1800 1 x UMTS
4	Wilhelm-Marx-Str. 36 (Kirche St. Michael)	2 x GSM 900 + 2 x GSM 1800
5a	Höfleser Hauptstr. 82	1 x GSM 900

5b	Höfleser Hauptstr. 46	1 x GSM 900
6	Aischweg 70 (Fl. Nr. 608/1, Gem. Großreuth)	1 x GSM 900 1 x UMTS
7	Beim Wahlbaum 20 (Philippuskirche)	2 x GSM 900 + 1 x GSM 1800
8	Saarbrückener Str. 63 (Wunibaldkirche)*	1 x GSM 1800
9	Wohlauer Str. 15	1 x GSM 900 + 3 x GSM 1800
10	Muggenhofer Str. 65	1 x UMTS

*: Standort "Marthweg" hat keinen nennenswerten Einfluss auf die Immissionen am Messpunkt 8 (da keine Sichtverbindung vorhanden)

Tab. 7: In der Umgebung der Messpunkte vorhandene Anzahl an Mobilfunksystemen

Folgende Abbildung gibt die, an den einzelnen Messpunkten gefundene Immission in Abhängigkeit von der Zahl der Systeme wieder:

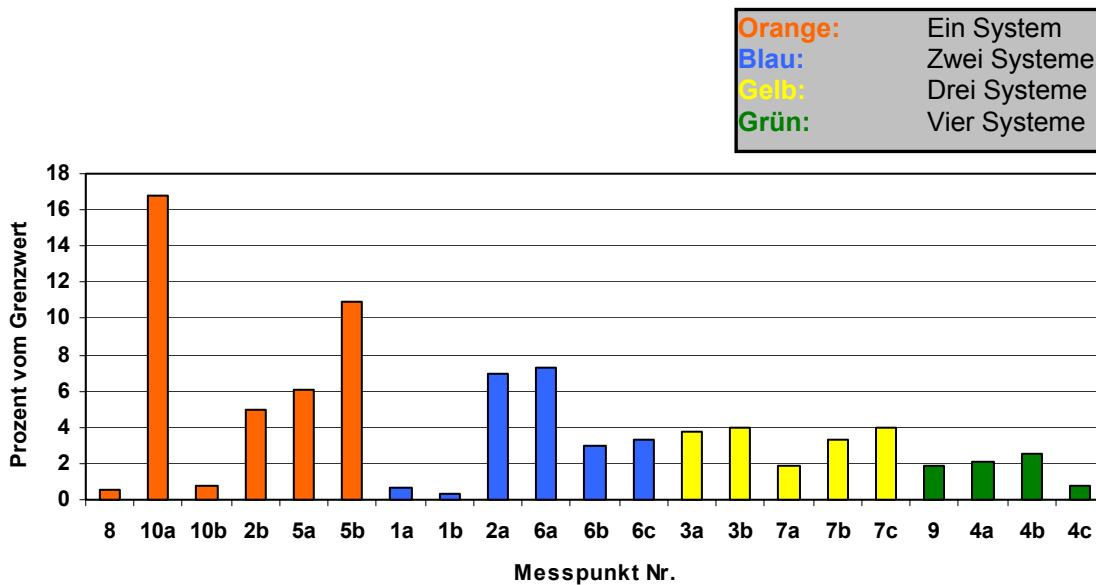


Abb. 9: Immissionen im Vergleich zur Ausstattung des verursachenden Standortes

Aus Abbildung 9 zeigt sich deutlich, dass die Zahl der installierten Systeme **kein zuverlässiges Kriterium** zur Abschätzung der in der Umgebung entstehenden Immission darstellt. Offensichtlich haben andere Parameter, wie der Höhenunterschied zwischen dem Montageort der Antennen und den umliegenden Wohnbereichen einen deutlich größeren Einfluss auf die Größe der entstehenden Immission, als die Zahl der installierten Systeme. Standortkonzentrationen auf ausreichend hohen Gebäuden oder Masten bei gleichzeitig deutlich niedrigerer Umgebungsbebauung erscheinen daher sowohl als Verfahren zur Verringerung der optischen Beeinträchtigung des Stadtbildes durch zu viele Einzelstandorte als auch als Maßnahme zur Immissionsminimierung sinnvoll.

4. Entfernungs- und Höhenabhängigkeit der Immission

Auch die Horizontalentfernung zwischen Sendeanlage und Immissionsort wird in der Öffentlichkeit häufig als Kriterium zur Einschätzung der am betrachteten Punkt auftretenden Immission herangezogen. Das heißt, dass bei sehr geringer Entfernung zur Anlage von besonders großen Immissionen ausgegangen wird. Die Abstrahlcharakteristik der Mobilfunkantenne mit ihrer ausgeprägten Richtcharakteristik wird bei einer derartigen Betrachtungsweise übersehen.

Um festzustellen, ob die Horizontalentfernung zur Anlage und die, im Rahmen dieser Messkampagne gefundenen Immissionswerte in einem direkten Zusammenhang stehen, wurden die Werte aus Tabelle 3 in folgender Graphik nach aufsteigendem Abstand zur verursachenden Sendeanlage sortiert:

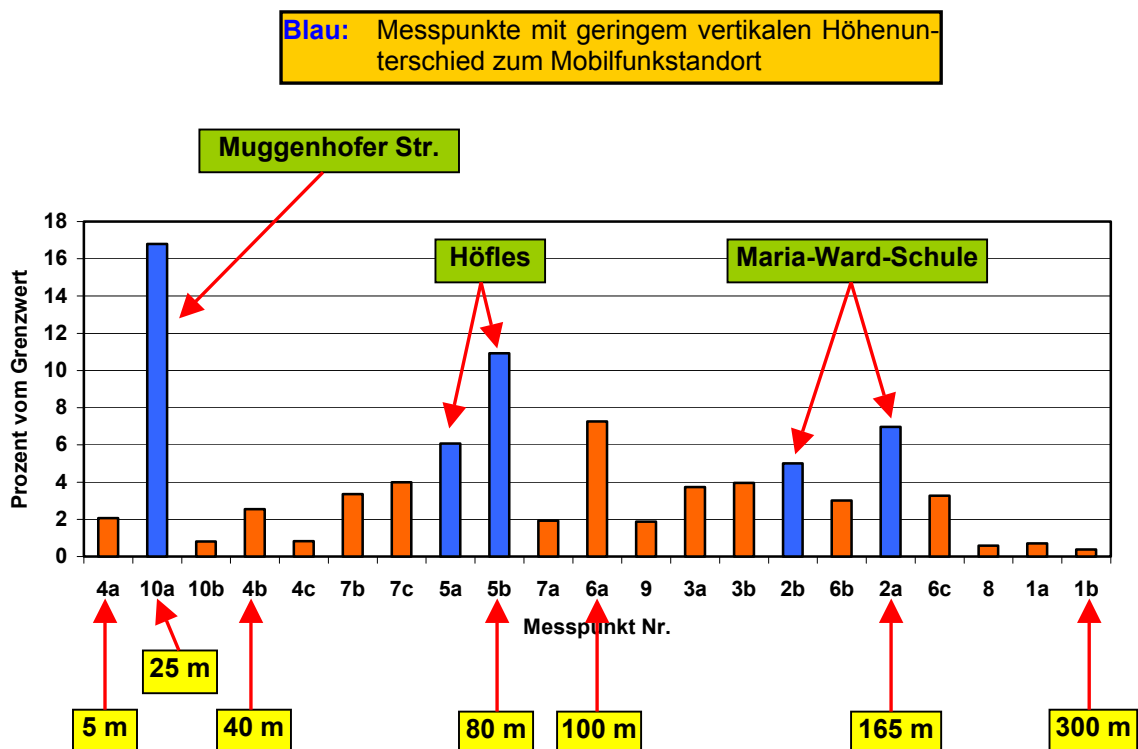


Abb. 10: Immission in Abhängigkeit vom Abstand zur verursachenden Anlage
Es zeigt, sich, dass an den Orten, die sich besonders nahe an den verursachenden Mobilfunkanlagen befinden, eher geringe Immissionswerte entstehen, da aufgrund des vorhandenen Höhenunterschiedes zur Antenne der "Nahbereichsschatten" sehr deutlich ausgeprägt ist.

Eine Ausnahme bildet natürlich Messpunkt 10a, da hier nur ein geringer Höhenunterschied zu den Mobilfunkantennen besteht. Auch die anderen Messpunkte mit geringem Höhenunterschied "ragen" deutlich aus den übrigen Immissionswerten heraus (blaue Säulen in Abbildung 10).

In der Tendenz ergeben sich die höchsten Immissionswerte in Bodennähe bei Entfernungen von etwa 100 bis 250 Meter zur Sendestation. Dieses Ergebnis deckt sich auch mit eigenen Simulationsrechnungen, die bei Montagehöhen von zirka 25 bis 30 Meter, ebener Umgebung und den, im städtischen Umfeld typischen Downtiltwinkeln der Mobilfunkantennen (etwa 4 bis 8 °) das Immissionsmaximum für etwa diesen Entfernungsbereich prognostizieren.

Aufgrund dieser physikalisch bedingten Tatsache, erscheint die in der Öffentlichkeit häufig gestellte Forderung nach Mobilfunkanlagen-Freihaltbereichen von 100 bis 200 Meter um Schulen, Kindergärten, Krankenhäuser etc. aus fachlicher Sicht als fragwürdige Maßnahme, da bei **ausschließlicher** Anwendung eines derartigen reinen Entfernungskriteriums gegebenenfalls keine Immissionsverringerung, sondern eine Immissionsvergrößerung erzielt wird. Vielmehr bedarf es jedes Mal einer detaillierten Einzelfallbetrachtung.

4.4 Ergebnisse der Messung von Handyimmissionen in einem Linienbus

Zusätzlich zu den oben dokumentierten Messungen in der Umgebung von Mobilfunkbasisstationen, wurden noch die Immissionen näher untersucht die sich im Inneren eines Linienbusses der Nürnberger Verkehrsbetriebe durch die Handynutzung von Fahrgästen einstellen.

Mittels eines Basisstationssimulators (CMD55 von Rohde & Schwarz) wurde im Inneren des Busses eine Verbindung zu einem D-Netz-Handy (Siemens S4) aufgebaut und dieses in einen definierten Betriebszustand (permanentes Senden mit maximal möglicher Leistung) gebracht. Dadurch wird verhindert, dass es zu einem Herunterregeln der Sendeleistung des Telefons während der Immissionsmessung kommt, womit bei einer Verbindung in einem realen Mobilfunknetz aufgrund der vorhandenen guten Verbindungsqualität im Bereich des Omnibus-Betriebshofes zu rechnen wäre. Das Handy wurde im hinteren Teil des Busses positioniert.

Eine Messantenne (SBA 9113 von Schwarzbeck), die in 1,5 Meter Höhe über dem Boden auf einem Stativ aufgebaut wurde, diente zur Ermittlung der im Inneren des Busses herrschenden Feldstärke. Als Messgerät kam ein Spektrumanalysator (ESPI 03 von Rohde & Schwarz) zum Einsatz. Die Messungen wurden in fünf verschiedenen Abständen zum Handy durchgeführt, um verschiedene Abstände zwischen Telefonierer und Immissionsort zu simulieren. Während der Messung wurde das Handy manuell im Bus in einer Ebene senkrecht zur Verbindungsline zwischen Messantenne und Handy hin und her bewegt, damit sichergestellt ist, dass von der Messantenne die maximal durch das Handy am Immissionsort erzeugbare Feldstärke aufgenommen wird. Dieser Maximalwert wurde durch die "peak-hold"-Funktion des Spektrumanalysegeräts

lysators festgehalten und dokumentiert. Folgende Abbildungen geben den Messaufbau im Inneren des Busses wieder:



Abb. 11: Basisstationssimulator CMD 55 mit Testhandy Siemens S4

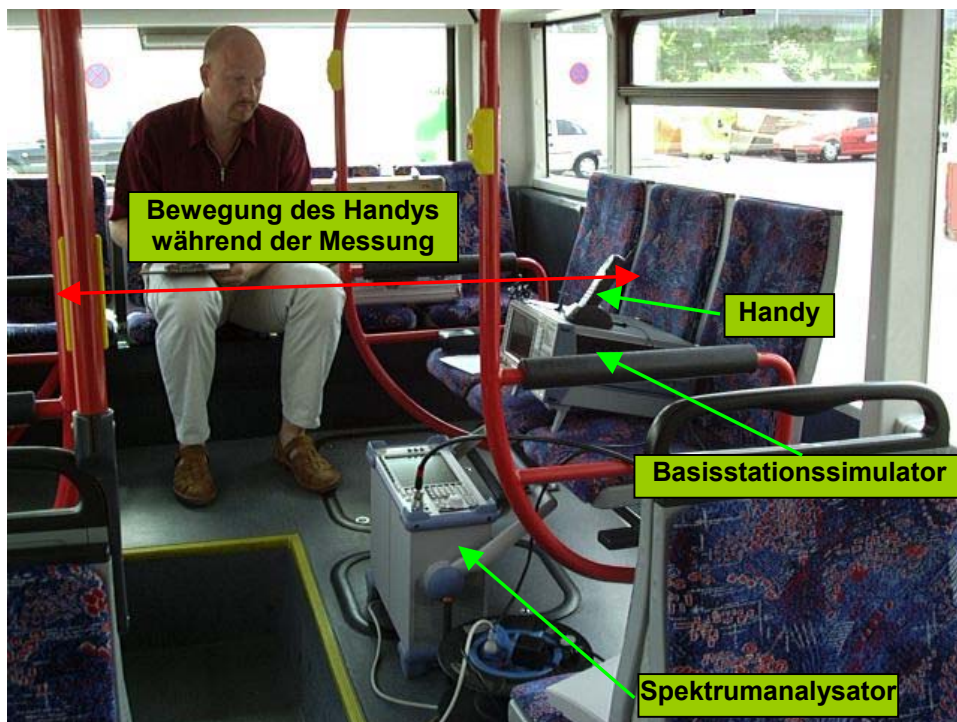


Abb. 12: Messaufbau im hinteren Teil des Busses

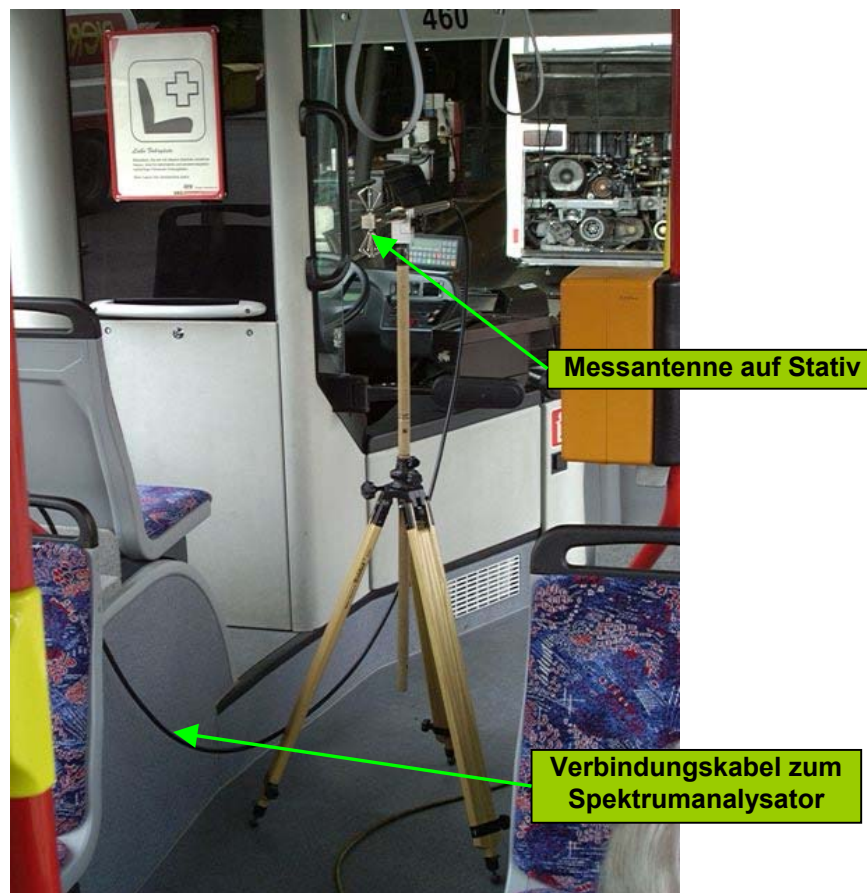


Abb. 13: Messaufbau am Immissionsort

In folgender Tabelle sind die, für fünf Messabstände gefundenen Immissionswerte wiedergegeben. Es handelt sich hierbei nicht um die Spitzenwerte sondern um die, gemäß des thermischen Wirkungsmodells bei Hochfrequenz, wirksame mittlere Immission, die sich bei GSM-Telefonen aufgrund des Tastverhältnisses von 1:8 ergibt. Diese Werte stellen quasi die "worst-case-Immission" innerhalb des Busses bei Betrieb eines Mobiltelefons dar, da durch den Basisstationssimulator maximale Sendeleistung vom Handy abgefordert wurde. Diese Situation tritt beispielsweise dann auf, wenn der Bus sich in einem Bereich befindet, von dem aus schlechte Verbindung zur Mobilfunkbasisstation herrscht (z.B. in längeren Unterführungen oder Tunnels ohne spezielle Mobilfunk-Tunnelversorgung durch Repeater). Kurzfristig sendet ein Handy im realen Betrieb auch dann mit maximaler Leistung, wenn eine Verbindung neu aufgebaut wird oder das Handy den Versorgungsbereich einer Zelle verlässt bzw. durch die Basisstation zu einer Positionsmeldung aufgefordert wird.

Im realen Umfeld werden, aufgrund der dynamischen Leistungsregelung von GSM-Telefonen, diese maximalen Immissionen nur selten auftreten. Mobiltelefone reduzieren bei Vorhandensein einer guten Verbindung ihre Sendeleistung auf typisch ein Hundertstel bis ein Tausendstel des Maximalwertes. Daher können die in Tabelle 8 angegebenen Immissionswerte bei günstigen Bedingungen durchaus um mindestens den Faktor 100 (bezüglich der Leistungsflussdichte) bzw. um mindestens den Faktor 10 (bezüglich der Feldstärke bzw. dem in der Tabelle angegebenen prozentualen Immissionswert) geringer ausfallen [13].

Messentfernung	Elektrische Feldstärke im Volt/m	Immission in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV (bezogen auf die el. Feldstärke)	Leistungsflussdichte in Mikrowatt /m ²
7,3 m	0,7 V/m	1,6 %	1.131,5 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
5,3 m	1,2 V/m	2,9 %	3.746,8 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
3,3 m	2,2 V/m	5,4 %	13.294,1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
1,3 m	5,2 V/m	12,5 %	71.393,5 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
0,6 m	7,1 V/m	17,1 %	132.940,9 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

Tab. 8: Im Inneren des Busses gemessene Immissionen bei maximaler Sendeleistung des Mobiltelefons (gemittelt gemäß dem GSM-Tastverhältnis von 1:8)

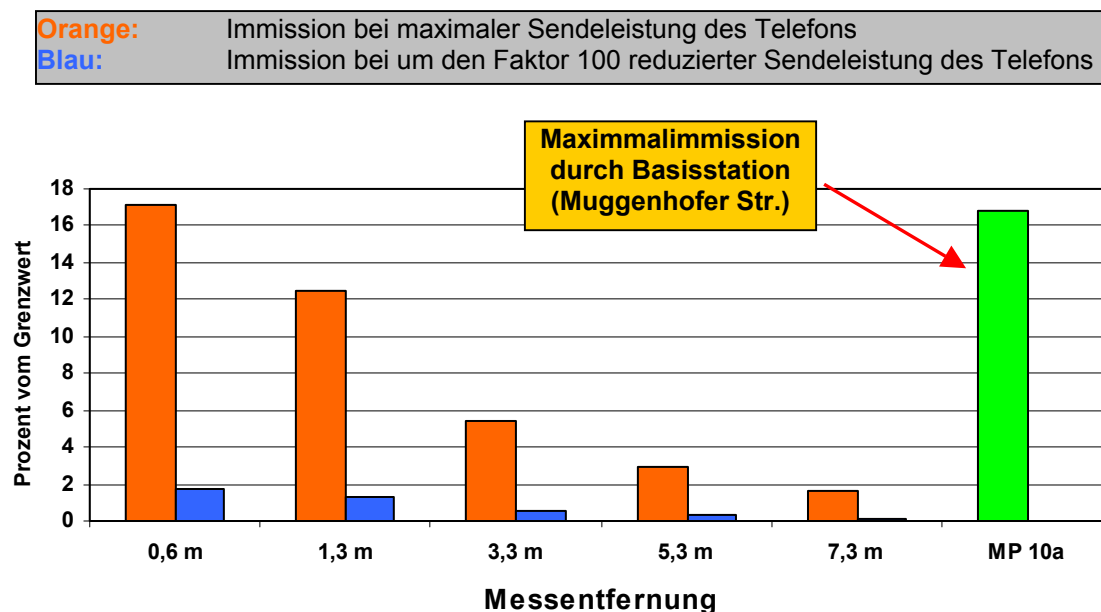


Abb. 14: Ergebnisse der Immissionsmessung innerhalb des Linienbusses (Elektrische Feldstärke in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV)

Die Immissionswerte nehmen mit größer werdendem Abstand kontinuierlich ab, wobei sich eine recht gute Übereinstimmung zur theoretischen Freiraumdämpfung des Feldes proportional $1/r$ ergibt (Bei Vergrößerung des Messabstandes um den Faktor 12, verringert sich die gemessene Feldstärke zirka um den Faktor 10).

Um einen Vergleich mit Messwerten bei ungestörter Wellenausbreitung ziehen zu können, wurde die Messreihe einige Tage später im Freien wiederholt. Dabei wurden das gleiche Equipment eingesetzt und die gleichen Messabstände, wie bei den Messungen im Bus gewählt. Abbildung 15 zeigt den Messaufbau:

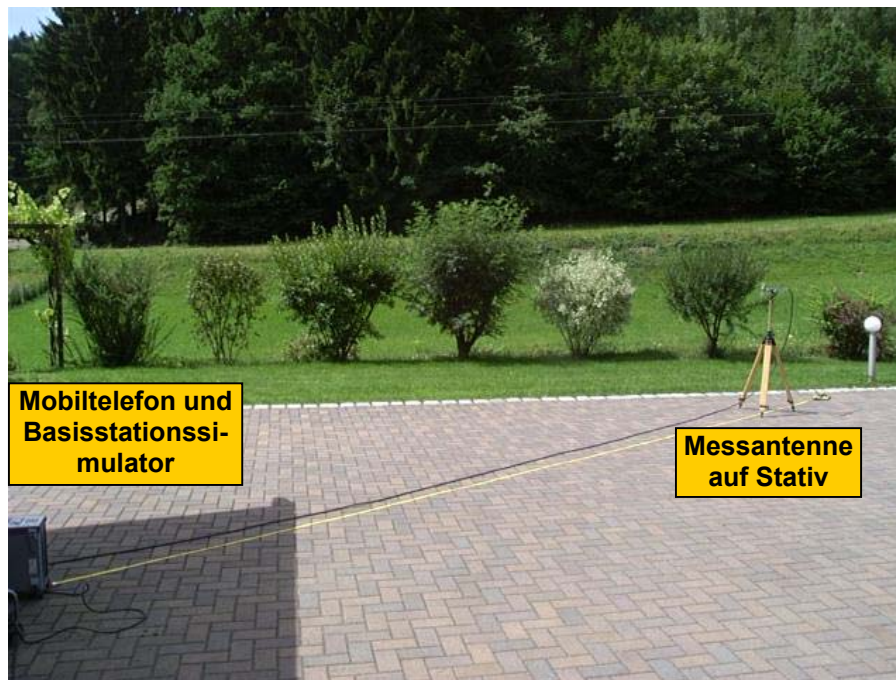


Abb. 15: Immissionsmessung von Mobiltelefonen: Messaufbau im Freien

Folgende Tabelle gibt die Ergebnisse der Messungen im Freien wieder. In Abbildung 16 sind die Handy-Immissionswerte im Inneren des Busses denen im Freien gegenübergestellt.

Messentfernung	Elektrische Feldstärke im Volt/m	Immission in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV (bezogen auf die el. Feldstärke)	Leistungsflussdichte in Mikrowatt /m ²
7,3 m	0,4 V/m	1,0 %	482,7 μ W/m ²
5,3 m	0,6 V/m	1,5 %	1.031,9 μ W/m ²
3,3 m	1,0 V/m	2,4 %	2.533,1 μ W/m ²
1,3 m	2,5 V/m	6,0 %	16.355,3 μ W/m ²
0,6 m	5,0 V/m	12,1 %	66.628,3 μ W/m ²

Tab. 9: Im Freien gemessene Immissionen bei maximaler Sendeleistung des Mobiltelefons (gemittelt gemäß dem GSM-Tastverhältnis von 1:8)

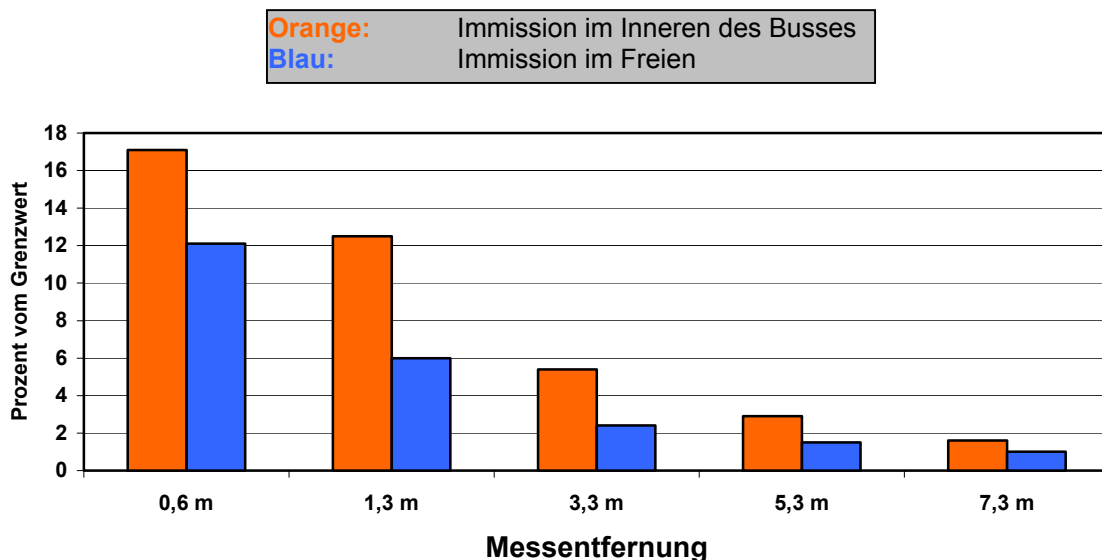


Abb. 16: Ergebnisse der Handy-Immissionsmessung im Freien im Vergleich zu den Messwerten im Inneren des Busses (Elektrische Feldstärke in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV bei maximaler Sendeleistung des Handys)

Im Freien ergeben sich etwa um den Faktor 2 niedrigere Messwerte. Diese Tatsache lässt sich wie folgt erklären: Außerhalb des Busses herrscht im betrachteten Entfernungsbereich offensichtlich nahezu ungestörte Wellenausbreitung. Insbesondere Reflexionen an Objekten in der Umgebung sind nur sehr gering ausgeprägt. Es entstehen daher kaum Feldstärkeüberhöhungen durch Überlagerung der, direkt vom Telefon zur Messantenne laufenden Welle mit den, auf Umwegen, über Reflexionen am Messpunkt ankommenden Signalen.

Im Bus hingegen treten sehr wohl Reflexionen an metallischen Objekten (z.B. Boden, Decke, Wände) auf, so dass es hier zu deutlich stärker ausgeprägten Feldstärkeüberhöhungen aufgrund von Mehrwegeausbreitung kommt. Theoretisch ergibt die Überlagerung zweier gleich starker Teilwellen (direkter Weg und Umwegsignal) eine Feldstärkeüberhöhung um den Faktor 2, der hier auch messtechnisch annähernd nachweisbar ist.

Die im Bus gemessenen Feldstärkeüberhöhungen erlauben allerdings nicht den Schluss, dass Personen im Fahrzeug größeren Immissionen ausgesetzt sind, als unter gleichen Bedingungen im Freien, denn die Feldstärke ist bei Vorhandensein von Interferenzen durch Mehrwegeausbreitung nicht an allen Orten überhöht. Es entstehen genauso Stellen mit niedrigerer Immission, als sie bei ungestörter Ausbreitung gemessen wird (theoretisch ergibt sich im Abstand von einer viertel Wellenlänge zum Maximum, das sind im D-Netz etwa 8 cm, ein Punkt an dem die Feldstärke im Idealfall den Wert Null besitzt). Mit dem hier angewendeten Messverfahren (Maximalwertermittlung) wurden nur die Feldstärkespitzen, nicht aber die Feldminima ermit-

telt. Über das gesamte Volumen eines Menschen betrachtet, ändert sich in der Summe an der Energieaufnahme nichts Wesentliches, da an manchen Stellen des Körpers zwar Feldmaxima, an anderen dafür Minima wirksam sind.

Zusammenfassend kann man sagen, dass sich im Inneren des Busses Wellen, ausgehend vom Mobiltelefon, auf unterschiedlichen Wegen ausbreiten, die jedoch rasch den Bus durch die Fenster verlassen. Massive Feldstärkeüberhöhungen, wie sie in einem geschlossenen Raum mit leitfähigen Wänden auftreten können (Hohlraumresonator), wurden nicht festgestellt. Es treten nur die, für Mehrwegeausbreitung typischen Feldstärkeschwankungen auf, so dass gegenüber einer Ausbreitung im ungestörten Freiraum an manchen Stellen im Bus zwar um etwa den Faktor 2 höhere Felder vorhanden sind, jedoch an ebenso vielen Stellen geringere Felder auftreten, als bei ungestörter Ausbreitung festgestellt werden.

Die Messungen unterstützen also die, bereits durch frühere Versuche gewonnene Erkenntnis, dass in einem Fahrzeug (ohne verspiegelte Scheiben) betriebene GSM-Mobiltelefone bei Vergleich mit dem Betrieb im Freiraum, im Gegensatz zur landläufigen Meinung, keine signifikanten Änderungen in den Immissionen der Benutzer bzw. der Umgebung hervorrufen [14].

Dies bedeutet allerdings nicht, dass der Betrieb von Freisprecheinrichtungen mit Außenantennen im Kfz nutzlos bzw. unnötig ist. Diese Zubehörteile stellen selbstverständlich eine wirksame und empfehlenswerte Maßnahme zur Immissionsminderung und Senkung der Unfallgefahr dar.

Imposant ist die bei den Messungen gefundene Schwankungsbreite der Immission: Die Leistungsflussdichte nimmt bei Veränderung des Messabstandes von 0,6 Meter auf 7,3 Meter (dass ist etwa die Entfernungsspanne für betriebene Mobiltelefone, denen beispielsweise der Busfahrer während seiner Tätigkeit ausgesetzt ist) etwa um den Faktor 120 ab. Zusätzlich kann die Immission je nach aktueller Verbindungsqualität etwa um mindestens den Faktor 100 schwanken. Somit sind innerhalb des Busses Immissionen mit einer Schwankungsbreite von mehr als den Faktor 10.000 bezüglich der Leistungsflussdichte (bzw. mehr als den Faktor 100 bezüglich der Feldstärke) möglich.

Wichtige Anmerkungen:

- Um einen Vergleich zu den Ergebnissen der Messungen, die in der Umgebung von Mobilfunkbasisstationen durchgeführt wurden, ziehen zu können, wurden die Immissionen, die das Mobiltelefon erzeugt, mit den Grenzwerten der 26. BImSchV bewertet. Die 26. BImSchV ist jedoch für Mobiltelefone nicht anzuwenden, da sie nur für **ortsfeste** Funkseندانlagen Gültigkeit besitzt. Mobiltelefone werden vor dem Inverkehrbringen durch Messung der, von ihnen im Kopf des Nutzers erzeugten Energieabsorption ("SAR-Wert") auf Einhaltung der Grenzwerte typgeprüft.
- Aus einem weiteren Grund ist der hier durchgeführte Vergleich mit den Grenzwerten nach 26. BImSchV mit äußerster Vorsicht zu genießen: Die Grenzwerte der 26. BImSchV basieren auf dem Fall einer "Ganzkörperexposition", d.h. das komplette Körpervolumen der im Feld einer Sendeanlage befindlichen Person ist gleich stark den Immissionen ausgesetzt. Für diese Expositionssituation gilt eine maximale SAR ("spezifische Absorptionsra-

te") von 0,08 Watt/kg Körpergewicht. Bei Immissionen durch Mobiltelefone, die am Nutzer und auch bei Personen, die sich in unmittelbarer Nähe des Telefons befinden, eine sehr inhomogene Feldverteilung im Körper erzeugen (der Kopf ist in der Regel wesentlich höheren Feldern ausgesetzt, als beispielsweise der Rumpf oder die Beine), gelten andere Grenzwerte ("Teilkörperexposition"). Da bei Teilkörperexposition der Körper die Möglichkeit besitzt, durch den Kreislauf lokale Erwärmungen abzuführen, werden bei Mobiltelefonen deutlich höhere Grenzwerte angewendet. In Europa gilt derzeit ein Grenzwert für Mobiltelefone von 2 Watt/kg, also ein um den Faktor 25 höherer Wert als für die Ganzkörperexposition. Aus diesem Grund ist es eigentlich nicht korrekt, Immissionen von Mobiltelefonen mit Grenzwerten zu vergleichen, die für Basisstationen Gültigkeit besitzen.

5. Schlussfolgerungen

Aus den in Kapitel 4 dargestellten Ergebnissen lassen sich die folgenden Schlüsse ziehen:

- Wie aus Tabelle 3 und den Abbildungen 4 und 5 ersichtlich ist, wird der Grenzwert nach 26. BImSchV an allen Messpunkten unterschritten. Bei den Messungen ergaben sich Immissionen, die bei Vollausbau und Vollaustlastung der verursachenden Anlagen etwa zwischen 0,4 und 17 Prozent des gesetzlich zulässigen Wertes betragen.
- Die Messergebnisse an Punkten mit "sensibler Nutzung" lagen zwischen 0,4 und 7 Prozent vom gesetzlichen Grenzwert.
- Der Medianwert aus allen Messergebnissen lag bei etwa 3 Prozent vom Grenzwert, d.h. an etwa der Hälfte der Messpunkte wurde weniger als zirka 3 Prozent vom Grenzwert gemessen.
- Auf besonderen Wunsch des Auftraggebers, wurden die gefundenen Immissionswerte auch mit den in der Schweiz derzeit verbindlichen Grenzwerten verglichen. An 20 Messpunkten wurden die Schweizer Vorgaben eingehalten, an einem Punkt jedoch, ist die verschärfte schweizerische Betrachtungsweise für "Orte mit empfindlicher Nutzung" bei Vollausbau und Vollaustlastung voraussichtlich nicht erfüllt.
- Die Messungen haben deutlich gezeigt, dass die Entfernung zur Anlage oder die Zahl der installierten Systeme als alleinige Kriterien zur Einschätzung der Größe der elektromagnetischen Felder in der Umgebung eines Mobilfunksenders kaum geeignet sind, da die Feldstärke auch noch von sehr vielen anderen Faktoren abhängig ist. Solche Faktoren sind beispielsweise die Antennenausrichtung, Montagehöhe und Neigungswinkel ("Downtilt") der Antennen, Dämpfung durch Bewuchs und Bebauung sowie als sehr wichtige EinflussgröÙe, die relative Höhe der Immissionsorte bezüglich der Mobilfunkantennen.
- Standortkonzentrationen auf ausreichend hohen Gebäuden oder Masten bei gleichzeitig deutlich niedrigerer Umgebungsbebauung erscheinen sowohl als Verfahren zur Verringerung der optischen Beeinträchtigung des Stadtbildes durch zu viele Einzelstandorte als auch als Maßnahme zur Immissionsminimierung sinnvoll.

- Feldstärkemessungen im Inneren eines Linienbusses konnten die häufig vertretene Auffassung nicht bestätigen, dass im Fahrzeug betriebene GSM-Mobiltelefone bei Vergleich mit dem Betrieb im Freiraum, signifikante Änderungen in den Immissionen der Benutzer bzw. der Umgebung hervorrufen. Aufgrund der sehr inhomogenen Immissionsverteilung im Inneren eines Fahrzeuges besitzen derartige Feldstärkemessungen nur eingeschränkte Aussagekraft. Hier sind Messungen der direkten Beeinflussung ("SAR-Messungen") das zuverlässigere Verfahren zur Gewinnung belastbarer quantitativer Aussagen zur Immissionssituation innerhalb von Fahrzeugen.

Regensburg, 14. Juli 2003

Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek

6. 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] **Firma Kathrein, Rosenheim**
"Base Station Antennas for Mobile Communications"
Firmenschrift, Rosenheim 01/2001.
- [6] **S. R. Saunders**
"Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems"
John Wiley & Sons, Chichester, New York 1999.
- [7] **DIN VDE 0848**
"Sicherheit in elektromagnetischen Feldern – Grenzwerte von Feldstärken zum Schutz von Personen, Teil 1: Mess- und Berechnungsverfahren"
VDE-Verlag GmbH, Berlin, 08/2000.
- [8] **Bundesamt für Post und Telekommunikation (heute: RegTP)**
"Messvorschrift BAPT MV 22"
Mainz 1995.
- [9] **M. Wuschek**
"Feldstärkemessungen in der Umgebung von GSM-Mobilfunkbasisstationen"
EMV 2002; Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit
VDE Verlag GmbH, Berlin, Offenbach 2002, S. 683-692
- [10] **Schweizerischer Bundesrat**
"Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV)"
23.12.1999; Veröffentlicht durch das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).
- [11] **Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)**
"Mobilfunk- und WLL-Basisstationen: Vollzugsempfehlung zur NISV"
Bern, Juni 2002
- [12] **Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und Bundesamt für Metrologie und Akkreditierung (METAS)**
"Mobilfunkbasisstationen (GSM), Messempfehlung"
Bern, 2002.

- [13] **J. Wiart et al.**
"Analysis of the Influence of the Power Control and Discontinuous Transmission on RF Exposure with GSM Mobile Phones"
IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol 42, Nr. 4, Nov. 2000; S. 376 - 385
- [14] **A. Bahr**
"Nahfeld-Untersuchungen innerhalb von Fahrzeugen"
Funkschau, Heft 25/1998; S. 80 - 81