

## **Bericht über die Messung elektromagnetischer Felder in der Umgebung von Mobilfunksendeanlagen**

**Auftraggeber:** Bayerisches Landesamt für Umweltschutz  
Bürgermeister-Ulrich-Str. 160  
86179 Augsburg

**Ort:** Stadtgebiet von Augsburg

**Durchführung:** EM-Institut GmbH  
Carlstr. 5  
93049 Regensburg

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

**Projektnummer:** 04/069

**Ort und Datum:** Regensburg, 20. Januar 2005

---

## Inhaltsverzeichnis

	<b>Seite</b>	
<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung</b>	3
<b>2</b>	<b>Durchführung der Messungen</b>	4
2.1	Messgrößen für hochfrequente Felder	4
2.2	Verwendete Messgeräte, Messverfahren	4
2.3	Messgenauigkeit, Bestimmung der Maximalimmission	5
2.4	Qualitätssicherung	6
2.5	Messorte	6
<b>3</b>	<b>Festgestellte Immissionswerte</b>	7
<b>4</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	11
<b>5</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	12
<b>6</b>	<b>Anlage      Photos</b>	13

# 1 Aufgabenstellung

Mit Schreiben vom 04.10.2004 wurde die EM-Institut GmbH, Regensburg vom Bayerischen Landesamt für Umweltschutz beauftragt, an verschiedenen Punkten im Stadtgebiet von Augsburg, die durch Mobilfunksendeanlagen 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 eine Vielzahl von Mobilfunkstationen, die teilweise erst nach der letzten Messkampagne (August 2002 [9]) neu in Betrieb genommen wurden. Insbesondere befinden sich im Umfeld der Messpunkte neue Sendeanlagen für den UMTS-Mobilfunk

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 Funkstation treffen zu können, sind daher bei in Betrieb befindlichen Anlagen Messungen in der Regel Berechnungen vorzuziehen. Ein Vergleich der Messergebnisse mit den gesetzlichen Grenzwerten für elektromagnetische Felder erlaubt eine objektive Einschätzung der Immissionssituation vor Ort. Bei geplanten oder noch nicht in Betrieb befindlichen Sendern sind hingegen rechnerische Prognosen die einzige Möglichkeit zur Darstellung der Immissionsverhältnisse.

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

- **Wie groß, im Vergleich zum gesetzlichen Grenzwert, sind die Immissionen, die durch die Mobilfunksender bei Vollauslastung an den Messpunkten erzeugt werden?**
- **Wie hat sich die Immission im Vergleich zu den Ergebnissen der Messungen vom August 2002 verändert?**

Die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen sind im folgenden dargestellt.

## 2 Durchführung der Messungen

### 2.1 Messgrößen für hochfrequente Felder

Für die Beurteilung der Feldintensität in der Umgebung von Hochfrequenzquellen werden üblicherweise die folgenden Größen verwendet [5]:

- 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 Watt 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 die **elektrische Feldstärke** als Größe für die Immissionswerte verwendet.

### 2.2 Verwendete Messgeräte, Messverfahren

Im Rahmen der Immissionsmessungen wurden die folgenden Messgeräte eingesetzt:

1. Spektrumanalysator Advantest R3131 (Ser. Nr. 81780497)
2. Radio Network Analyzer Rohde & Schwarz TSMU (Ser. Nr. 100110)
3. Messantenne Schwarzbeck USLP 9142 (Ser. Nr. 112)
4. 10 Meter kalibriertes Messkabel RG 214 (K1, rot)

Mittels des Spektrumanalysators bzw. des Radio Network Analyzers (bei UMTS-Signalen) 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 [6].

GSM-Signale werden mit einer Auflösebandbreite (RBW) von 0,2 MHz, UMTS-Signale hingegen mit einer Bandbreite 5 MHz erfasst. Als Detektor kommt beim Spektrumanalysator der RMS-Detektor zum Einsatz.

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.

### 2.3 Messgenauigkeit, Bestimmung der Maximalimmission

Bei derartigen Immissionsmessungen muss immer mit einer gerätebedingten Messunsicherheit von typisch  $\pm 3$  dB gerechnet werden [7]. 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 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, häufig als "BCCH-Träger" oder "Broadcast-Channel" bezeichnet) unter Zuhilfenahme der von den Betreibern zur Verfügung gestellten technischen Anlagendaten (Von der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post genehmigte Kanalzahl je Antenne) auf die Immissionswerte bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung hochgerechnet, damit eine echte "worst-case"-Betrachtung sichergestellt ist.

Auch bei UMTS-Stationen schwankt die von der Anlage abgegebene Sendeleistung und damit die Immission in der Umgebung mit der momentanen Auslastung der Station. Jedoch existiert hier ebenfalls ein Signalisierungssignal (der "Common Pilot Channel", kurz "CPICH"), das ähnlich wie der BCCH-Träger mit definierter, konstanter Leistung abgegeben wird. Falls UMTS-Stationen vorhanden sind, wird mit dem Radio Network Analyzer (TSMU von Rohde & Schwarz) an jedem Messpunkt die vorhandene Feldstärke, welche die CPICH-Signale dort erzeugen, gemessen. Aus den von den Betreibern zur Verfügung gestellten technischen Daten der UMTS-Anlagen (Leistung des CPICH im Verhältnis zur Maximalleistung der Station), sowie aus der von der RegTP genehmigten Kanalzahl errechnet sich ein Korrekturfaktor, um den der Messwert jeweils vergrößert wird, damit in diesem Bericht die maximal mögliche Immission, die durch die gemessenen UMTS-Anlagen bei regulärem Betrieb am Messpunkt erzeugt werden kann, angegeben ist [8].

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

### 2.4 Qualitätssicherung

Für alle verwendeten Messantennen liegen die entsprechenden Wandlungsfaktoren als Kalibrierdaten in Tabellenform vor. Die frequenzabhängigen Dämpfungswerte der bei den Messungen eingesetzten Kabel sind ebenfalls dokumentiert.

Die Messmittel (insbesondere der Spektrumanalysator) unterliegen einem regelmäßigen Kalibrierzyklus, sie wurden zusätzlich sowohl vor als auch nach der Messaktion auf ihre ordnungsgemäße Funktion überprüft.

## 2.5 Messorte

Die Messungen wurden im Gebäude bzw. im Freien in verschiedenen Abständen zu den Sendeanlagen durchgeführt. Folgende Messpunkte wurden in Absprache mit dem Umweltamt der Stadt Augsburg gewählt:

Messpunkt Nr.	Bezeichnung	Horizontalf Entfernung zum nächsten Mobilfunkstandort	Sichtverbindung zum Standort
1a	Peterhofstr. 2 1/2 (Abstellraum, 2. OG)	Ca. 25 m	Ja
1b	Friedberger Str. 151 / Ecke Karwendelstr.	Ca. 55 m	Ja
1c	Karwendelstr. 2 (Wohnzimmer, 2. OG)	Ca. 50 m	Ja
2a	Carron-du-Val-Str. 22 (Schlafzimmer, 2. OG; Fenster zu)	Ca. 100 m	Eingeschränkt*
2b	Carron-du-Val-Str. 22 (Schlafzimmer, 2. OG; Fenster offen)	Ca. 100 m	Eingeschränkt*
3	Haunstetter Str. 95 (Balkon, 8. OG)	Ca.130 m	Ja
4	Bleriotstr. 13 (Wohnzimmer, 7. OG)	Ca.10 m	Nein
5	Ulrich-Schiegg-Str. 18 (Kindergarten, Hortgruppenraum, 1.OG)	Ca. 220 m	Ja
6	Siebenbrunn (Ochsenbachweg/Ecke Hugenottenweg	Ca. 950 m	Nein
7a	Friedenstr. 14 (9. OG, Dachterrasse)	Ca. 40 m	Ja
7b	Friedenstr. 14 (9. OG, Wohnzimmer)	Ca. 40 m	Ja
8a	Traminerweg 3b (Balkon, 1. OG)	Ca. 70 m	Ja
8b	Traminerweg 3b (Arbeitszimmer, 2. OG)	Ca. 70 m	Ja

9	Wellenburgerstr. 16 (Kindergarten, Atelier, EG)	Ca. 80 m	Eingeschränkt*
10	Luitpoldstr. 44 (Küche, 7. OG)	Ca. 40 m	Ja
11	Neusässer Satr. 3 (Schlafzimmer, 2. OG)	Ca. 95 m	Ja
12	Ulmer Str. 152 (Dachterrasse)	Ca. 2 m	Ja
13	Bärenstr. 15 (Schule, Flur vor Raum A24, 1. OG)	Ca. 200 m	Nein
14	Zollernstr. 81-85 (Sanderstift, Weg vor App. 201)	Ca. 55 m	Ja
15	Emilienstr. 18 (Wohnung 2. OG)	Ca 20 m	Nein
16	Obstmarkt 11 (Wohnzimmer 4. OG)	Ca. 40 m	Ja
17	Frauentorstr. 22 (Balkon, 5. OG)	Ca. 40 m	Ja

\*: Sicht durch Bäume behindert

**Tab. 1: Messpunkte**

Es handelt sich teilweise um die gleichen Messpunkte wie in der Messaktion vom August 2002 (Messpunkte 1a, 7a, 7b, 12, 15 und 16), allerdings sind auch neue Messorte festgelegt worden. Einige Photos von den Messpunkten finden sich in der Anlage 2 zu diesem Bericht.

Vorgenommen wurden die Messungen am 07. Dezember 2004, zwischen 08:15 und 17:00 Uhr (Verantwortlicher vor Ort: Dr.-Ing. M. Wuschek). Ein Vertreter des Umweltamtes der Stadt Augsburg war bei den Messungen anwesend.

Der genaue Zeitpunkt der Messungen wurde den Betreibern der Sendeanlagen im Vorfeld nicht mitgeteilt.

### 3 Festgestellte Immissionswerte

In folgender Tabelle sind die an den Messpunkten ermittelten und gemäß der Beschreibung in Abschnitt 2.3 hochgerechneten Summenimmissionswerte des Mobilfunks dargestellt. Zur einfacheren Verständlichkeit ist dort angegeben, wie viel Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV jeweils erreicht werden.

An den Messorten konnten zwar gelegentlich auch Immissionen festgestellt werden, die durch weiter entfernte Mobilfunksender verursacht werden, diese haben allerdings keinen nennenswerten Anteil an der Mobilfunk-Summenimmission, da die Felder der in unmittelbarer Umgebung befindlichen Sendeanlagen immer deutlich dominierten.

Messpunkt Nr.	Messergebnisse 2004	Messergebnisse 2002
---------------	---------------------	---------------------

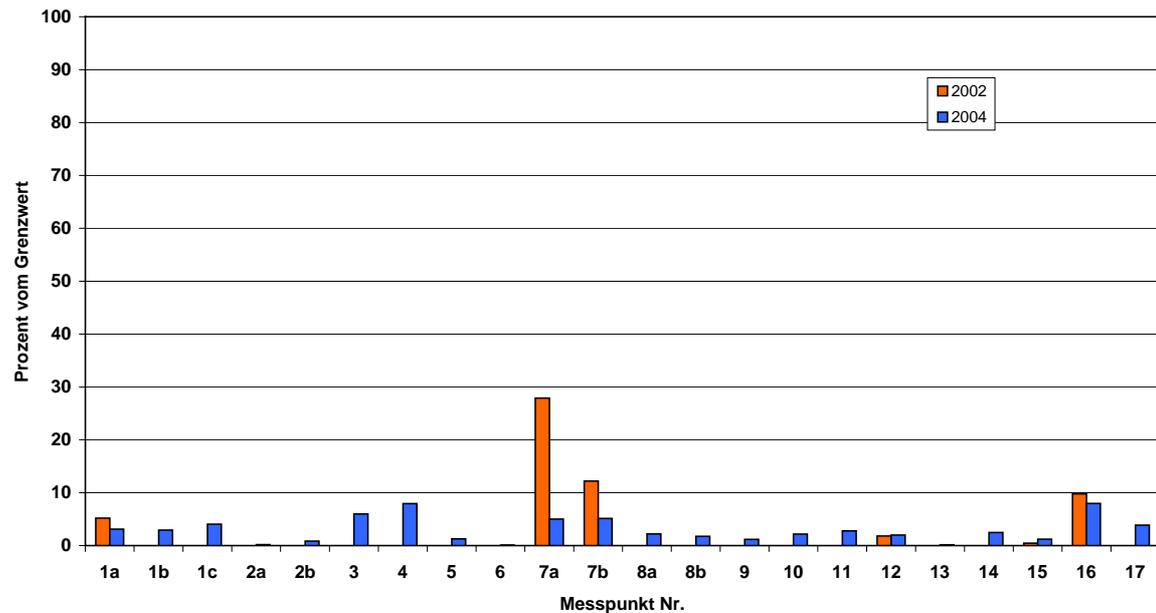
1a	3,10 %	5,18 %
1b	2,93 %	-*
1c	4,05 %	-*
2a	0,18 %	-*
2b	0,84 %	-*
3	5,98 %	-*
4	7,92 %	-*
5	1,27 %	-*
6	0,06 %	-*
7a	4,99 %	27,9 %
7b	5,15 %	12,2 %
8a	2,21 %	-*
8b	1,75 %	-*
9	1,19 %	-*
10	2,17 %	-*
11	2,78 %	-*
12	2,01 %	1,82 %
13	0,15 %	-*
14	2,47 %	-*
15	1,22 %	0,44 %
16	7,97 %	9,80 %
17	3,85 %	-*

\*: 2002 keine Messung an diesem Ort

**Tab. 2:** Gemessene Immissionswerte des Mobilfunks in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV

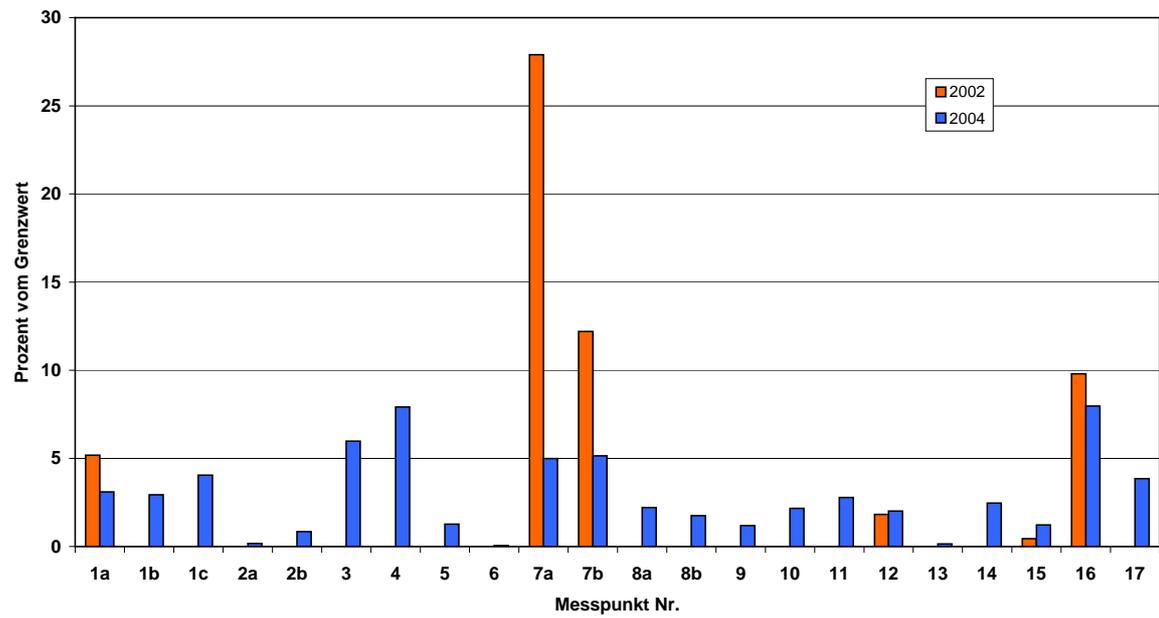
Nach 26. BImSchV gilt für den Mobilfunk ein Grenzwert von zirka 42 Volt/m (D-Netz), zirka 59 Volt/m (E-Netz) bzw. 61 Volt/m (UMTS).

Folgende Abbildungen stellen die Ergebnisse der Messungen aus Tabelle 2 graphisch dar. Zum Vergleich sind für die betreffenden Messpunkte auch die Resultate der Messkampagne vom August 2002 angegeben.



**Abb. 1:** Graphische Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 2 (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. 2:** Detaillierte Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 2

## 4 Schlussfolgerungen

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

- Wie aus Tabelle 2 und den Abbildungen 1 und 2 ersichtlich ist, wird der Grenzwert nach 26. BImSchV an allen Messpunkten deutlich unterschritten. Die gefundenen Immissionswerte liegen zwischen etwa 0,1 und 8 Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV.
- Bemerkenswert ist die Verringerung der Immission an den Messpunkten 7a und 7b. Diese wurde erreicht durch eine Erhöhung des nördlichen Antennenträgers auf dem Nachbargebäude (Siehe Bild 7 in Anlage 2). Die Modifikation wurde im Rahmen des "Runden Tisches" als Reaktion auf die im August 2002 gemessenen Immissionswerte mit dem Betreiber vereinbart. Simulationsrechnungen zeigten, dass eine Erhöhung des Antennenträgers um etwa 4 bis 5 Meter die effektivste Maßnahme zur Verringerung der Immission darstellt. Am Messpunkt 7a ergibt sich nun eine um etwa 14 dB geringere elektrische Feldstärke als in 2002. In dieser Größenordnung wurde auch die Reduktion im Rahmen der Simulationsrechnungen prognostiziert.
- Die Veränderungen der Immissionen an den anderen vier Messpunkten sind nicht besonders auffällig.

Regensburg, 20. Januar 2005



Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek

## 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] **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.
- [6] **Länderausschuss für Immissionsschutz"**  
"Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV in der Fassung vom 26. März 2004"  
3/2004; Internet: [www.lai-immissionsschutz.de](http://www.lai-immissionsschutz.de)
- [7] **M. Wuschek**  
"Feldstärkemessungen in der Umgebung von GSM-Mobilfunkbasisstationen"  
EMV 2002; Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit  
VDE Verlag GmbH, Berlin, Offenbach 2002, S. 683-692.
- [8] **M. Wuschek**  
"Feldstärkemessungen in der Umgebung von UMTS-Mobilfunkbasisstationen"  
EMV 2004; Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit  
VDE Verlag GmbH, Berlin, Offenbach 2004, S. 539-548.
- [9] **M. Wuschek**  
"Bericht über die Messung elektromagnetischer Felder in der Umgebung von Mobilfunksendeanlagen"  
Messbericht Nr. 02/081 "Augsburg"; Erstellt im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz; Regensburg, September 2002.

## 6 Anlage Photos



**Bild 1:** Messpunkt 1 mit benachbartem Anlagenstandort



**Bild 2:** Anlagenstandort von Messpunkt 1b aus gesehen



**Bild 3:** Anlagenstandort von Messpunkt 2 aus gesehen



**Bild 4:** Anlagenstandort von Messpunkt 3 aus gesehen



**Bild 5:** Messpunkt 4 mit benachbartem Anlagenstandort



**Bild 6:** Anlagenstandort von Messpunkt 5 aus gesehen



**Bild 7:** Anlagenstandort von Messpunkt 7a aus gesehen (links: 2002, rechts: 2004). Deutlich ist die Erhöhung des nördlichen Antennenträgers zu erkennen.



**Bild 8:** Anlagenstandort von Messpunkt 8a aus gesehen



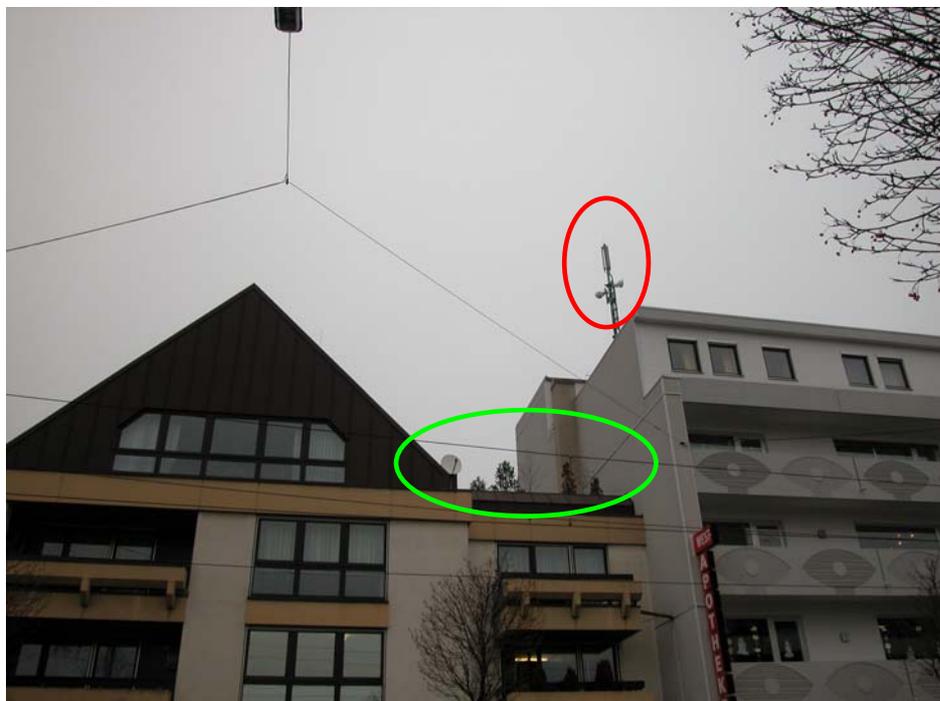
**Bild 9:** Anlagenstandort von Messpunkt 9 aus gesehen



**Bild 10:** Anlagenstandort von Messpunkt 10 aus gesehen



**Bild 11:** Anlagenstandort von Messpunkt 11 aus gesehen



**Bild 12:** Messpunkt 12 mit benachbartem Anlagenstandort



**Bild 13:** Anlagenstandorte von Messpunkt 14 aus gesehen



**Bild 14:** Anlagenstandort (Nachbargebäude von Messpunkt 15)



**Bild 15:** Anlagenstandorte von Messpunkt 16 aus gesehen



**Bild 16:** Anlagenstandort von Messpunkt 17 aus gesehen