

## **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  
Carlstr. 5  
93049 Regensburg

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

**Projektnummer:** 02/081

**Ort und Datum:** Regensburg, den 27. September 2002

# 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	5
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>Anlagen</b>	13
	Photos	13

## 1. Aufgabenstellung

Mit Schreiben vom 13.06.2002 wurde das EM-Institut, 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.

Hauptursache für die, an den betrachteten Punkten messbaren Hochfrequenzfelder, sind Mobilfunksender, die an etwa 100 Standorten im Stadtgebiet von Augsburg installiert sind, sowie lokale Sendetürme zur Abstrahlung von Rundfunkprogrammen.

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), Bauung 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 Frage möglich werden:

**Wie groß, im Vergleich zum gesetzlichen Grenzwert, sind die Immissionen, die durch die Mobilfunksendeanlagen bei Vollaustattung an den Messpunkten erzeugt werden?**

Die Ergebnisse der Messungen 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, wie auch in der 26. BImSchV praktiziert, 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. Messantenne Schwarzbeck SBA 9113 (Ser. Nr. 101)
3. Messantenne Schwarzbeck UBA 9116 (Ser. Nr. 384)

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 [6].

Bei Vorhandensein mehrerer etwa gleich großer Immissionen wurde entsprechend der Vorgaben der Normen eine Summation durchgeführt, um die wirksame **Summenimmission** zu er-

halten. 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 [6,7]. 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 der Mobilfunksender (Immission, verursacht durch den Signalisierungskanal je Sektor) unter Zuhilfenahme der uns von den Betreibern zur Verfügung gestellten technischen Daten der Anlagen (Von der RegTP genehmigte Kanalzahl je Antenne) auf die Immissionswerte bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung hochgerechnet, damit eine echte "worst-case"-Betrachtung sichergestellt ist.

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

### 2.4 Qualitätssicherung

Für alle verwendeten Messantennen liegen die entsprechenden Wandlungsfaktoren als Kalibrierdaten der Hersteller in Tabellenform vor.

Die aktiven Geräte (insbesondere der Spektrumanalysator) wurden sowohl vor als auch nach der Messaktion auf ihre ordnungsgemäße Funktion und ihre Frequenz- und Amplitudengenauigkeit hin überprüft. Die letzte Werkskalibrierung des Analysators fand am 09. August 2002 statt. Die frequenzabhängigen Dämpfungswerte der bei den Messungen eingesetzten Kabel sind ebenfalls dokumentiert.

## 2.5 Messorte

Die Messungen wurden im Freien in verschiedenen Abständen zu den Sendeanlagen durchgeführt.

Folgende Messpunkte wurden in Absprache mit der Stadt Augsburg gewählt:

Messpunkt Nr.	Bezeichnung	Horizontaldistanz zum nächsten Mobilfunkstandort	Sichtverbindung zum Standort
1	Obstmarkt 11 (Wohnzimmer 4. OG)	Ca. 40 m	Ja
2	Springergässchen 12a (Wohnzimmer 2. OG)	Ca. 50 m	Ja
3	Hoher Weg 11 (Praxis 2. OG)	Ca. 200 m	Nein
4	Emilienstr. 18 (Wohnung 2. OG)	Ca. 400 m	Nein
5	Riedinger Str. 24 (BFI, Raum 3, 2. OG)	Ca. 160 m	Ja
6	Heckenrosenweg 9 (Kinderzimmer 2. OG)	Ca. 60 m	Ja
7	Bärenstr. 15 (Volksschule, Raum B26, 1. OG)	Ca. 400 m	Nein
8	Ulmer Str. 152 (Dachterrasse)	Ca. 300 m	Ja
9	Thelottstr. 17 (Balkon 1. OG)	Ca. 600 m	Nein
10	Elisenstr. 5 (Volksschule, Pausenhof)	Ca. 300 m	Nein
11	Neudecker Str. 22 (Balkon 6. OG)	Ca. 45 m	Ja
12	Wellenburger Str. 16 (Vor Eingang Nordseite)	Ca. 130 m	Ja
13	Radaustr. (vor Hs. Nr. 31)	Ca. 180 m	Ja
14	Bergheim, Hauptstr. 9 1/3	Ca. 60 m	Ja
15a	Friedenstr. 14 (9. OG, Dachterrasse)	Ca. 40 m	Ja
15b	Friedenstr. 14 (9. OG, Wohnzimmer)	Ca. 40 m	Ja
16	Siebenbrunn (Ochsenbachweg/Ecke Hugentotenweg)	Ca. 950 m	Ja
17	Wilhelm-Hauff-Str. 23b (5. OG, Balkon)	Ca. 140 m	Ja
18	Erhart-Kästner-Str. (vor Hs. Nr. 10)	Ca. 200 m	Ja
19	Peterhofstr. 2 1/2 (Flur 2. OG)	Ca. 25 m	Ja

20	Christleseeweg 4 (Küche 3. OG)	Ca. 35 m	Ja
21	Königsplatz (Mikrozellenantenne auf Litfasssäule)	Ca. 15 m	Ja

**Tab. 1:** Messpunkte

Photos von den Messpunkten finden sich in der Anlage zu diesem Bericht.

Vorgenommen wurden die Messungen am 22. August 2002, zwischen 08:15 und 17:15 Uhr (Verantwortlicher vor Ort: Dr.-Ing. M. Wuschek). Ein Vertreter der Stadt Augsburg war bei den Messungen anwesend.

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

### 3. Festgestellte Immissionswerte

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

An den Messorten, von denen aus Sichtverbindung zu in unmittelbarer Nähe befindlichen Mobilfunkantennen herrschte, konnten zwar gelegentlich auch Immissionen festgestellt werden, die durch weiter entfernte Mobilfunksender verursacht werden, diese haben allerdings keinen nennenswerten Anteil an der Summenimmission durch Mobilfunk, da die Felder der in unmittelbarer Umgebung befindlichen Sendeanlagen immer deutlich überwiegen.

Am Punkt 10 wurden zum Vergleich auch die Immissionen gemessen, die durch lokale Rundfunksender (insbesondere vom Augsburger Hotelturn) verursacht werden (blaue Zeile).

An einigen Punkten wurden zusätzlich die Immissionen gemessen, die durch dort vorhandene Feststationen von DECT-Schnurlostelefonssystemen erzeugt werden. Diese sind in der Tabelle ebenfalls gesondert ausgewiesen (rote Zeilen).

Messpunkt Nr.	Summenimmission Mobilfunk in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV
1	9,80 %
1**	2,23 %
2	7,71 %
3	0,93 %
4	0,44 %
5	1,14 %
6	1,88 %
7	0,15 %
8	1,82 %
8**	2,47 %
9	0,18 %
10	0,47 %
10*	4,46 %
11	2,48 %
12	1,67 %
13	2,88 %
14	2,03 %
15a	27,9 %
15b	12,2 %
15b**	6,51 %
16	0,04 %
17	2,50 %
18	2,79 %
19	5,18 %
20	1,15 %

21	5,82 %
----	--------

\*: Immissionen, verursacht durch lokale UKW- und TV-Sender

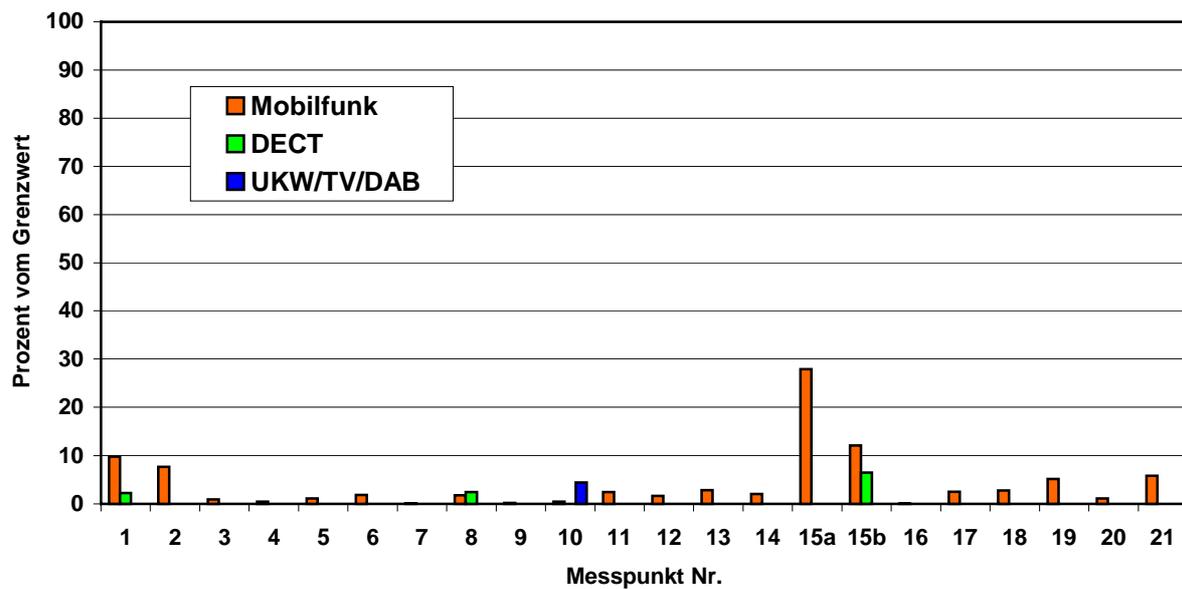
\*\* : Immissionen, verursacht durch DECT-Systeme

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

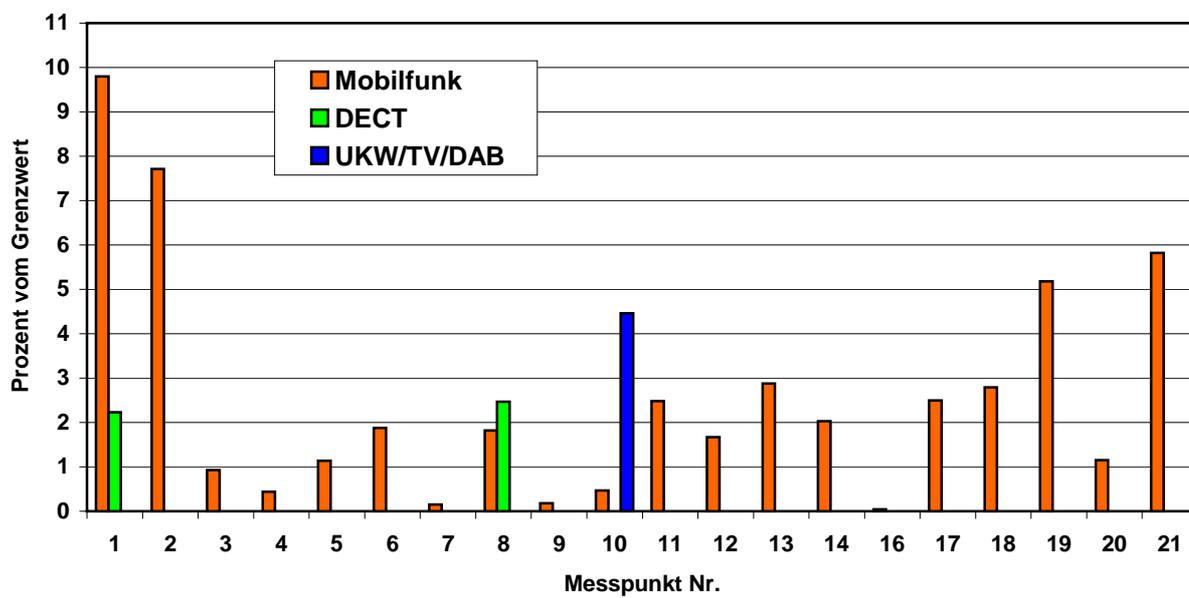
Nach 26. BImSchV gilt für den Mobilfunk ein Grenzwert von zirka 42 Volt/m (D-Netz) bzw. zirka 59 Volt/m (E-Netz).

Für die gemessenen Immissionen von UKW- und TV-Sendern gilt, je nach Frequenz, ein Grenzwert von zirka 27 bis zirka 38 Volt/m.

Folgende Abbildungen stellen die Ergebnisse aus Tabelle 2 graphisch dar:



**Abb. 1:** Graphische Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 2 (Immission in Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV)



**Abb. 2:** Detaillierte Darstellung der Ergebnisse aus Tabelle 2 (ohne Messpunkte 15a und 15 b)

## 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 unterschritten. Bei den Messungen ergaben sich Immissionswerte, die bei Vollausbau und Vollaustlastung der verursachenden Anlagen zwischen 0,04 und 28 Prozent des gesetzlich zulässigen Wertes betragen.
- An den Messpunkten 15a und 15b verursacht die benachbarte Mobilfunkanlage Immissionen, die deutlich über den Werten liegen, wie sie nach unserer Erfahrung typischerweise bei derartigen Messkampagnen in Wohnungen gefunden werden. Die durch die Bewohner geschilderten Gerätestörungen (Schnurlostelefon, Videokamera) auf der Dachterrasse erscheinen uns daher durchaus als nachvollziehbar, da die dort gefundenen Feldstärken über dem Wert liegen, der für derartige elektronische Geräte als Störfestigkeitsgrenze im Rahmen der CE-Kennzeichnung festgelegt sind (3 Volt/m).
- An 11 von 21 Messpunkten bleiben die Immissionen durch Mobilfunk unter zwei Prozent des Grenzwertes nach 26. BImSchV.
- Die am Punkt 10 gemessenen Immissionen, verursacht durch lokale UKW-, TV- und DAB-Sender, liegen in der gleichen Größenordnung wie die typisch gefundenen Immissionen des Mobilfunks.

Regensburg, den 27. September 2002

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] **Bundesamt für Post und Telekommunikation (heute: RegTP)**  
"Messvorschrift BAPT MV 22"  
Mainz 1995.
- [7] **M. Wuschek**  
"Feldstärkemessungen in der Umgebung von Mobilfunkbasisstationen"  
EMV 2002; Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit  
VDE Verlag GmbH, Berlin, Offenbach 2002, S. 683-692

## 6. Anlagen

Photos



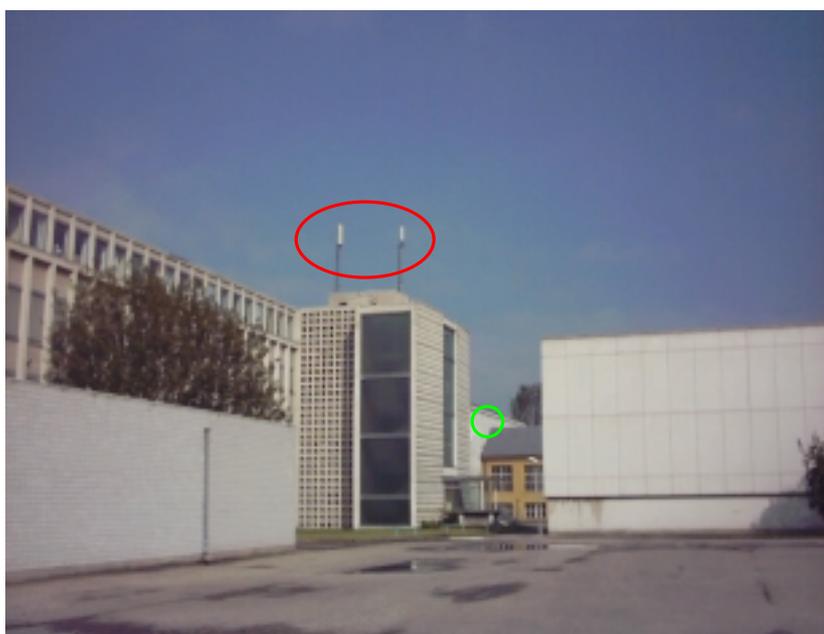
**Bild 1:** Benachbarter Anlagenstandort, von Messpunkt 1 aus gesehen



**Bild 2:** Benachbarter Anlagenstandort, von Messpunkt 2 aus gesehen



**Bild 3:** Benachbarter Anlagenstandort (O<sub>2</sub>), von Messpunkt 5 aus gesehen



**Bild 4:** Anlagenstandort (T-Mobile), mit Messpunkt 5 im Hintergrund



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



**Bild 6:** Richtfunkturn (Vodafone), von Messpunkt 7 aus gesehen



**Bild 7:** Messpunkt 8 (Benachbarte UMTS-Antenne noch nicht in Betrieb)



**Bild 8:** Sendemast Hotelurm, von Messpunkt 9 aus gesehen



**Bild 9:** Sendemast Hotelturn, von Messpunkt 10 aus gesehen



**Bild 10:** Messpunkt 10



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



**Bild 12:** Benachbarter Anlagenstandort, von Messpunkt 12 aus gesehen



**Bild 13:** Messpunkt 13, mit Anlagenstandort im Hintergrund



**Bild 14:** Messpunkt 14, mit Anlagenstandort im Hintergrund



**Bild 15:** Benachbarter Anlagenstandort, von Messpunkt 15a aus gesehen



**Bild 16:** Messpunkt 16



**Bild 17:** Benachbarter Anlagenstandort (westliche Richtung), von Messpunkt 17 aus gesehen



**Bild 18:** weiterer Anlagenstandort (östliche Richtung), von Messpunkt 17 aus gesehen



**Bild 19:** Messpunkt 18, mit benachbarten Anlagenstandorten im Hintergrund



**Bild 20:** Benachbarter Anlagenstandort, von Messpunkt 19 aus gesehen



**Bild 21:** Benachbarter Anlagenstandort, von Messpunkt 20 aus gesehen



**Bild 22:** Mikrozellenstandort, von Messpunkt 21 aus gesehen